

RAZVOJ DIJAGRAMA VLAŽNOG VAZDUHA

Psihrometrijski dijagram, ili dijagram vlažnog vazduha, izradili su tri autora u vremenskom razmaku od 12 do 17 godina, sasvim moguće nezavisno jedan od drugog. Zanimljivo je kako su tri čoveka došla na istu ideju na tri različita mesta na Zemlji, u vreme kada nisu postojali radio, dobre telefonske veze i elektronski mediji, dakle u vreme odsustva brze komunikacije i razmene informacija. Kerijer (Carrier) u SAD, Ramzin u Rusiji i Molijer (Mollier) u Nemačkoj, bez obzira ko je bio prvi a ko poslednji, pomogli su svim termodinamičarima i njima treba da budemo zahvalni. Evropljani su koristili Molijerov dijagram, oni sa engleskog govornog područja Kerijerov, a Rusi Ramzinov dijagram.

KLJUČNE REČI: vlažan vazduh; klimatizacija; termodinamika; Kerijer; Molijer; Ramzin

Prof, dr BRANISLAV TODOROVIC, dipl. inž.,
Mašinski fakultet, Beograd

Uvod

Proračuni klimatizacije su zasnovani na dijagramu na kome se može vizuelno predstaviti kompletan tok promena stanja vazduha sa svim stanjima kroz koje prolazi vazduh od svog stanja u spoljnoj okolini do ubacivanja u klimatizovan prostor. U njemu se mogu tačno definisati i obeležiti sve termodinamičke promene sa krajnjim stanjima, kako tokom predgrevanja, vlaženja, sušenja, dogrevanja i hlađenja, tako i za vreme procesa koji se dešava u samoj kontrolisanoj prostoriji, kada vazduh obično nadoknađuje toplotne gubitke ili neutralise dobitke toplote.

Taj dijagram ili karta u centralnoj Evropi se naziva „Molijerov dijagram vlažnog vazduha“, a na području Rusije "Dijagram Ramzina". U SAD dijagram se naziva "Psychrometric chart", a njegov autor je V. Kerier.

Molijerov dijagram se praktično razlikuje od Kerijerove karte u postavci koordinatnog sistema: Molijerov je desni dijagram sa temperaturama (entalpijom) na jednoj i sadržajem vlage na drugoj osi (t, h-x). Kerijerov je levo orijentisan i predstavlja sistem zavisnosti sadržaja vlage u vazduhu od temperature (x-t), pa ako bi se upoređivala ova dva dijagrama, jedan treba gledati u ogledalu, ili ako je na slajdu, treba ga posmatrati sa zadnje strane i rotirati.

Ramzinov dijagram je po konstrukciji kao Molijerov, ali je prvobitno bio prilagođen procesima orijentisanim ka smanjenju vlažnosti materijala u sušarama.

DEVELOPMENT OF HUMID AIR DIAGRAM

The psychrometric diagram, or diagram of humid air, was established by three authors within a period of 12-17 years, very possibly independently one from another. It is interesting how three men got the same idea on three very different locations on the planet, in the time when there were not radios, good phones and electronic connections, in bad time for close dialogs and exchange of information. Carrier in USA, Ramzin in Russia and Mollier in Germany, disregarding who was the first and who the last, had helped to all world's thermodynamical engineers and we have to be thankful to them. Europeans used Mollier's diagram, English speaking nations used Carrier's and engineers in Russia and Soviet Union used Ramzin's one.

KEYWORDS: humid air; air conditioning; thermodynamics; Carrier; Mollier; Ramzin

Ova tri dijagrama su objavljena u razmaku od 7 do 12 godina. Kerijerov je prvi bio zvanično objavljen 1911. godine, Ramzinov 1918, a Molijerov 1923.

Da bi se shvatilo da raspon godina u vreme pojave ova tri dijagrama nije bio veliki za tadašnje uslove komuniciranja, treba se podsetiti da je to bilo pre nešto manje od sto godina, kada je komunikacija mogla da bude samo preko pisane korespondencije, korišćenjem poštanskih usluga koje su se odvijale prvo putem konjske zaprege, ili plovidbom brodovima, retkim železničkim vezama, sve daleko sporije nego danas. To je vreme kada su telefoni i radio bili na svom početku, tako da dopisivanje među naučnicima sličnih opredeljenja i naučne ljubopitljivosti nisu bili ni brzi ni česti. A ako se neko opredeljavao za direktne kontakte, onda su to bila dugotrajna putovanja. Verovatno da su Molijer i Kerier znali jedan za drugoga, međutim teško je verovati da je to bio slučaj sa Ramzinom, koji je radio i stvarao u periodu pred rusku Oktobarsku revoluciju, a potom u boljševičko vreme.

Kako je onda moguće da se na tri udaljene tačke našeg sveta, u Nemačkoj, Rusiji i SAD, u kratkom vremenskom razmaku pojave tri, može se apsolutno reći, iste ideje, iste potrebe, ista saznanja u vezi sa vlažnim vazduhom? Jedini prihvatljiv odgovor je da se radilo o tri nacije izuzetnog intelektualnog potencijala koje su osvajale nove tehnologije i napredovale u industrijalizaciji svojih zemalja. Tako da su ljudski duh, saznanja i potrebe, u zemljama sličnih mo-

gućnosti i tehnoloških sposobnosti imale približno isti stepen razvoja. Slični problemi su se istraživali, a rešenja, ako su bila otkrivanje prirodnih zakona i nalaženje mogućih primena, morala da budu u osnovi ista, jer postoji samo jedno rešenje, ono istinsko. Uz napomenu da su u to vreme održavani naučni skupovi u Nemačkoj i Americi i da su susretanja istraživača srodnih tema postojala ne često ali dovoljno da se direktno dozna šta ko radi i šta je već uradio.

Vilis Hevilend Kerijer (Willis Haviland Carrier) (1876-1950)

Vilis Kerijer (SAD), važio je za izuzetno kreativnog inženjera, koji je 1901. godine počeo da radi u firmi „Buffalo Forge“ u mestu Bufalo, u SAD. Tu je odmah dobio zadatak da vodi istraživanje i razvoj ovog preduzeća, a ubrzo imao zadatak da reši problem održavanja smanjene vlažnosti u jednoj štampariji u Bruklinu, koja je u vreme visokih spoljnih temperatura i uvećane vlažnosti imala velike gubitke, posebno pri štampanju izdanja u boji. Razlivanje boje u vlažnoj i toploj sredini u tom periodu visokih letnjih spoljnih temperatura, donosilo je velike gubitke ovom štamparskom preduzeću.



Slika 1. V. Kerijer

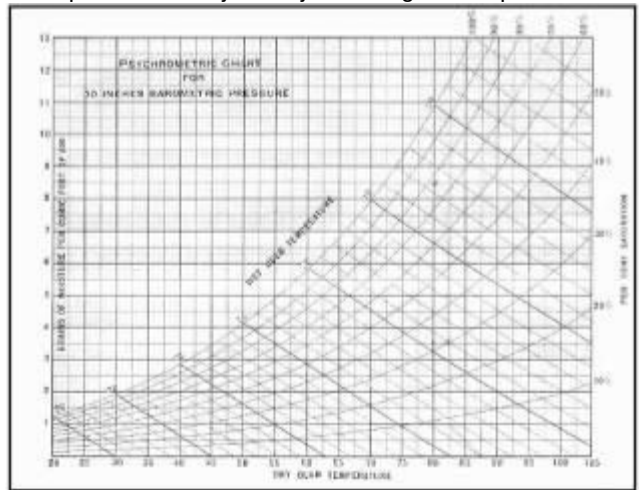
Kada se Kerijer upoznao sa problemom, napisao je da bi „bilo mnogo lakše ako bi unutrašnja relativna vlažnost bila veća od one spoljne“. Tako je počeo da smanjuje vlažnost u štampariji pomoću rastvora soli kalcijum-hlorida kao higroskopnog agensa. Postavio je platno na dva valjka i ventilator u sredini platna, koje je bilo neprekidno vlaženo zasićenim rastvorom kalcijum-hloridne rasoline. Vazduh je postajao suvlji, ali su se na platnu pojavljivale majušne kapi soli, koje nisu bile poželjne u sredini u kojoj se hartija štampala. Zato je odlučio da vazduh suši pomoću hladnog vazduha. Tom prilikom je primetio da se pri prskanju vodom po vazdušnoj masi njegova vlažnost smanjivala, pošto je temperatura vazduha bila ispod tačke rose. Osam godina ranije, Nemač Herman Ričel, kreator naučnog pristupa grejanju i klimatizaciji u srednjoj Evropi, pisao je o tome, tvrdeći da se komore za vlaženje vazduha mogu koristiti za smanjenje vlažnosti vazduha prskanjem vodom, ali da su dalja istraživanja neophodna da bi se postigao željeni efekat.

A onda je Kerijer odlučio da ostvari sušenje koristeći razmenjivač toplote sa njegovom temperaturom hladne vode ispod tačke rose vazduha. Sve ga je upućivalo na proučavanje promena koje se događaju u vazduhu u pogledu njegovog sadržaja vlage, prateći temperaturne promene po suvom i vlažnom termometru. Kao rezultat ovih eksperimenata, Kerijerov dijagram je štampan u katalogu kompanije 1908, a 1911. je zvanično objavljen na kongresu Američkog društva mašinskih inženjera (ASME).

Iako je Kerijer prvo izneo svoju kartu vlažnog vazduha u obnovljenom radu izloženom na kongresu ASME, 1911, koja je je stvarno prvi put objavljena u katalogu komora za vlaženje vazduha firme „Buffalo Forge“.

Pre ovoga vremena, raspoloživi podaci o svojstvima vlažnog vazduha bili su ograničeni na Marvinove psihrometrijske tabele, štampane u Ministarstvu poljoprivrede SAD, 1900. Te tabele su se sastojale od 67 strana sa podacima i

odnos vlažnosti i depresije tačke rose mogao se tražiti mučnim proračunima –jer to nije bilo očigledno u podacima.



Slika 2. Kerijerova psihrometrijska karta

Rihard Molijer (Richard Mollier) (1863-1935)

Rihard Molijer je rođen kao najstarije dete direktora mašinske i brodograđevne kompanije, u Trstu (Italija), tada gradu u Austrougarskom carstvu. Studirao je matematiku i fiziku na Univerzitetu u Gracu - čuvenoj školi tehničkih nauka, gde su studirali mnogi svetski poznati naučnici, među kojima i Nikola Tesla, izumitelj naizmenične struje, hidroelektrane na Nijagarinim vodopadima i autor brojnih патената koji i danas izazivaju ogromnu pažnju, pošto savremena tehnologija čini njihovu realizaciju mogućom.

Nakon diplomiranja u Gracu, Molijer prelazi na studije u Minhen, gde stiče diplomu mašinskog inženjera i gde nastavlja rad kao asistent. Usmerava rad ka termodinamici i brani habilitacionu tezu a onda i doktorski rad o temi dijagrama grejanja: „Entropija toplote“. Nakon zaposlenja na Univerzitetu u Getingenu, 1897, prelazi na drezdenski Univerzitet gde nakon sedmogodišnjeg rada objavljuje „Novi dijagram za tehničku termodinamiku“, koji potpuno



menja tehnički pristup proračunu grejnih sistema, omogućujući vizualizaciju procesa projektovanja. Molijer je ozvaničio termin „entalpija“, koji je Gibbs 1870-ih godina prvi pomenuo, upotrebivši ga kao jednu od koordinata svoga termodinamičkog dijagrama 1904. godine. Iste godine Molijer objavljuje članak pod naslovom „Novi dijagrami za tehničku termodinamiku“. On nastavlja izlaganje vizuelnog procesa inženjerima, tako da već 1906. objavljuje „Tabele i dijagrame vodene pare“. Zapisano je da je uvek po povratku sa odmora Molijer donosio cedulje u svojoj torbi sa novim jednačinama prema kojima su svi u laboratoriji morali da izračunavaju tabele i crtaju dijagrame. Iz te grupe studenata i saradnika postala su čuvena imena na polju prenosa mase i toplote i termodinamike, među kojima su i Nuselt, Plank, Merkel i Bošnjaković.

Molijer je 1923. godine bio na kongresu termičara u Los Angelesu na kome mu je dodeljeno priznanje u vidu raznih di-

jagrama na kojima je jedna koordinata uvek bila entalpija ili entropija, pojmovi neizbežni u termodinamici, koje je Molijer koristio u svojim novim tabelama i dijagramima. Da li je u toj grupi raznih dijagrama bio i psihometrijski dijagram ili ne, da li je u mnoštvu dijagrama koje je do tada objavio Molijer konstruisao i svoj dijagram vlažnog vazduha, osta- je nerazjašnjeno.

Ali ostaje fakat da je 1923. godine objavljen Molijerov dja- gram za vlažan vazduh (sl. 2) u časopisu Društva nemačkih inženjera. Jedan novi dijagram za mešavine para-vazduh, a 1929. i-x dijagram za mešavinu para-vazduh, a serija di- jagrama koje je objavio tokom svog života su bili: Toplotni dijagram, Novi dijagram termotehnickih procesa, Jednačine i dijagrami za procese u gasogeneratorima, grafičko pred- stavljanje jednačina stanja.

Leon Konstantinovič Ramzin (1887-1948)

Ramzin je rođen u selu Sosnovka, u Tambovskoj guberniji, u porodici seoskog učitelja. Diplomirao je 1914. na moskov- skoj Visokoj tehničkoj školi, stekavši diplomu mašinskog in- ženjera.

U istoj školi postaje profesor 1920, i šef Katedre za gorivo, peći i kotlove, predajući Termodinamička postrojenja. Go- dine 1930. politički je osuđen, jer je osnovao "industrijsku partiju", a 1944. postaje profesor čuvenog moskovskog In- stituta za energiju.



Ramzinova glavna aktivnost bila je konstrukcija kotlova i u tom domenu ostavio je mnogo projekata i publikacija. Osnovao je odeljenje za konstrukciju kotlova i nagrađen prestižnim ordenom Lenjina za rad na konstrukciji kotlova.

Ostavio je zapažen trag u pra- računima prenosa toplote zra- čenjem, projektima u domenu proizvodnje energije daljinskog transporta toplote i velikih ko- tlova. Jedna vrsta kotlova čak

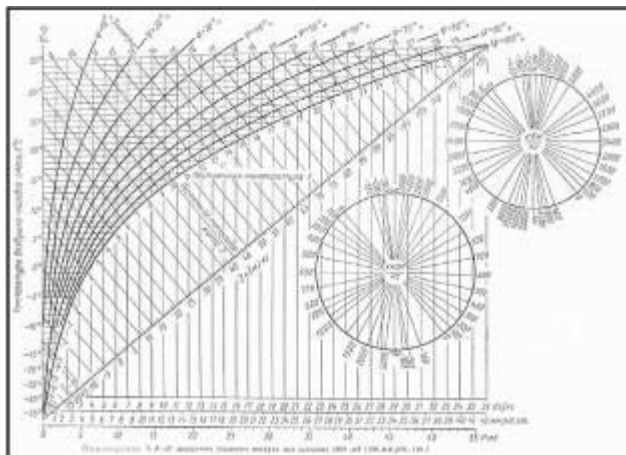
Slika 4. L. K. Ramzin nosi njegovo ime - Ramzinov kotao.

U periodu kada je u Rusiji bila na snazi direktiva o korišće- nju ugljenog treseta koji je bio veoma vlažan, Ramzin je bio predvodnik programa njegovog sušenja.

Tako je započelo njegovo teoretsko istraživanje procesa su- šenja vazduhom i to je bio način na koji je konstruisao dja- gram vlažnog vazduha entalpija - vlažnost.

U bezmalo svim ruskim izdanjima o ventilaciji ili klimatizaci- ji, pominje se njegovo ime uz dijagram vlažnog vazduha.

Dijagram je objavljen 1918, kao "Ramzinov dijagram". Na njemu se linije konstantne entalpije spuštaju pod uglom od 135 stepeni u odnosu na koordinatu.



Slika 5. Ramzinov dijagram vlažnog vazduha

Zaključak

Nikada nećemo znati celu istinu. Sudeći po godini obja- vljivanja i po konstrukciji, Kerijerov dijagram je sigurno bio originalno delo i prvi dijagram vlažnog vazduha. Teško je verovati da je Ramzin mogao poznavati Kerijerov rad, pa moramo pretpostaviti da je Ramzin izradio svoj dijagram samostalno. Molijerov dijagram je objavljen je 5 godina po- sle Ramzinovog.

Da li je Molijerov dijagram stvoren nakon Kerijerove ideje, pošto je Molijer mogao sresti Kerijera u LosAnđelesu 1923? Molijer je objavio svoj dijagram iste godine, ali je teško znati da li pre ili posle puta u Ameriku. Da li je mogao bar nešto znati o Ramzinovom radu? Mogao je. Njihovi dijagrami su izrađeni pod istim uglom nagiba entalpije. Ako se to tako do- godilo, to je moralo biti pre 1923, jer su granice Sovjetskog Saveza bile zatvorene u prvom periodu socijalizma. Zašto bi Molijer, u tom slučaju, čekao 5 godina? Znajući sve činje- nice, ali i znajući da je Molijer celog svog života konstruisao različite dijagrame - kao nijedan naučnik na polju termodi- namike ni pre ni posle njega - jedini zaključak je da su tri termodinamičara izradili svoje dijagrame potpuno samostal- no: na tri tačke globusa, daleko jedan od drugog, u vremenu kada su kontakti i razmene informacija bili teško ostvarljivi.

Literatura

- [1] ***, *Russian Encyclopedia*, Moscow, 1976.
- [2] Bošnjaković, F., *Thermodynamics*, "Prosveta", Za- greb, 1948.
- [3] Donaldson, Nagengast, *Heat and Cold*, ASHRAE, USA, 1994.
- [4] ***, *Wissenschaftliche Zeitschrift*, Technische Universi- taet, Dresden, 1964.
- [5] Hrustalev, B. M., A. P. Nesecuk, V. N. Romanjuk, *Tec- hnical Thermodynamics*, Part 1, Minsk, UP Tehnoprint, 2004