

UDK 536.7

Računanje termodinamičnih lastnosti vode in vodne pare s poenostavljenimi enačbami

ANDREJ SENEGAČNIK – TADEJ TUMA – MATIJA TUMA

1. UVOD

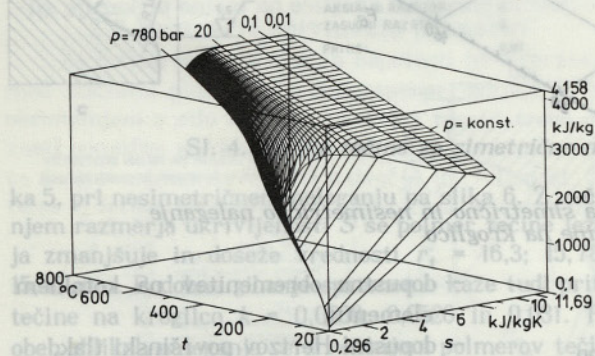
Termodinamične lastnosti vode in vodne pare se običajno računajo po enačbah, ki jih je postavil in objavil mednarodni komite IFC (International Formulation Committee) in so od tedaj naprej v uporabi v mnogih deželah [1]. Te zelo obsežne enačbe so bile primerne za tedanje računalnike, seveda pa jih je mogoče uporabiti tudi v današnjih osebnih računalnikih (sl. 1), vendar so časi računanja precej dolgi (preglednica 1); to pa pri simulirnih programih za različne dinamične postopke ni ugodno. S tem v zvezi je bila pred kratkim objavljena interpolacijska metoda za računanje termodinamičnih lastnosti vode in vodne pare z računalnikom IBM 3081, ki ima razmeroma velike zmogljivosti [2]. Pri tem se je pokazalo, da aproksimativne enačbe ne morejo nadomestiti preglednic za vodo in vodno paro, ki so vnesene v računalnik, kajti časi računanja so bili predolgi ali pa natančnost računanja premajhna.

2. MOŽNOSTI ZA RAČUNANJE

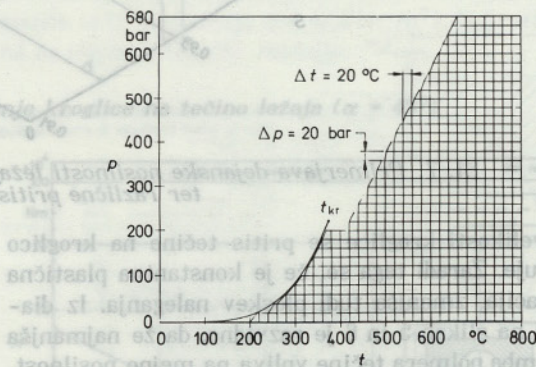
Pri raziskavah dinamičnih in nestacionarnih postopkov so pogosto nujni kratki časi računanja. Če so za take raziskave na voljo samo osebni računalniki, potem lahko zaradi manjše zmogljivosti in krajšega časa računanja uporabimo starejše in manj natančne aproksimativne enačbe. Načeloma je mogoče postaviti tudi popolnoma nove enačbe, ki so veljavne samo v določenem področju, zato pa imajo bistveno krajši čas računanja. V tem primeru postane simuliranje procesov za računalniško obdelavo bolj zanimivo, na primer: zagon ali ustavitev termoelektrarne, analiza izpadov toplotnega postrojenja itd.

3. REZULTATI

Raziskane so bile znane starejše in novejšje enačbe, ki opisujejo termodinamične lastnosti vode in vodne pare; obravnavano področje prikazuje slika 2. Ozek



Sl. 1. Termodinamične lastnosti vode in vodne pare izračun in grafični prikaz z računalnikom IBM PC

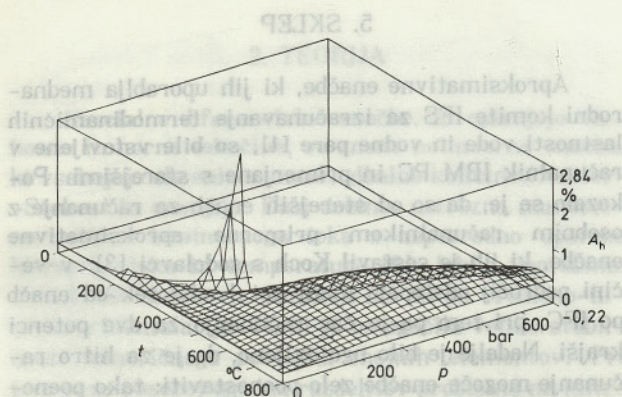


Sl. 2. Obdelano področje termodinamičnih lastnosti za vodo in vodno paro

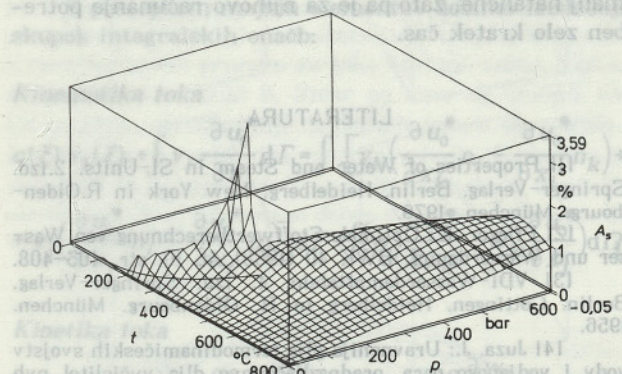
Preglednica 1: Potrebni časi računanja

Enačbe za termodinamične lastnosti vode in vodne pare	Veličina stanja	Število izračunov na sekundo
IFC enačbe [2]	h	4,5–1,3
	s	4,9–1,6
	v	8,6–0,2
Koch in sodelavci [3]	h	298
	s	208
	v	417
Vukalović in sodelavci [5]	h	8,5
	s	8,5
	v	8,9
Poenostavljene enačbe	h	1815
	s	2398
	v	1080

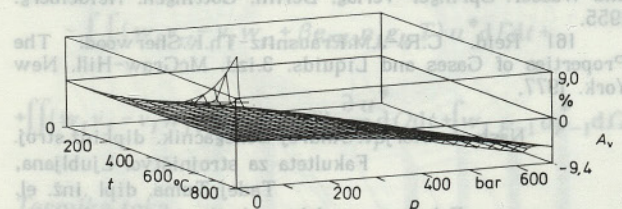
pas ($\Delta t = 3$ K) v bližini krivulje nasičenja, kakor tudi področje v okolici kritične točke, je bilo izvzeto. Ugotovljeno je bilo, da kažejo enačbe po Kochu [3] v primerjavi z enačbami po IFC le manjše razlike, čas računanja pa je približno 100-krat krajši. Kakor je razvidno s slik 3, 4 in 5, so razlike večje predvsem v področju kritične točke: pri entalpiji znašajo +2,8 %, pri entropiji +3,6 % in pri specifični prostornini +9,0 %. Zgornja meja področja obsega 680 bar in 800 °C, čeprav je veljavnost enačbe po Kochu omejena na 300 bar in 800 °C. Druge aproksimativne enačbe za vodo in vodno paro [4], [5] in [6] ne dajejo tako dobrih rezultatov: glede na enačbe po IFC so manj natančne ali pa je kljub preprosti zgradbi čas računanja dolg.



Sl. 3. Odstopki entalpijskih vrednosti A_h . Primerjava enačb po Kochu z enačbami po IFC



Sl. 4. Odstopki entropijskih vrednosti A_s . Primerjava enačb po Kochu z enačbami po IFC



Sl. 5. Odstopki vrednosti za specifično prostornino A_v . Primerjava enačb po Kochu z enačbami po IFC

Da bi dobili zelo kratke čase računanja in s tem čim natančnejše simuliranje nekega nestacionarnega toplotnega procesa, lahko enačbe, ki popisujejo termodinamične lastnosti vode in vodne pare, povsem poenostavimo. Pri tem je treba paziti, da so zajeta čim večja področja, v katerih imajo te poenostavitve veljavo. Možnosti je precej, tu sta prikazana samo dva primera. Področje raziskave je ostalo enako kakor na sliki 2. Seveda pa je treba tako dobljene rezultate primerjati z rezultati, dobljenimi z enačbami po IFC predvsem glede na natančnost in hitrost računanja.

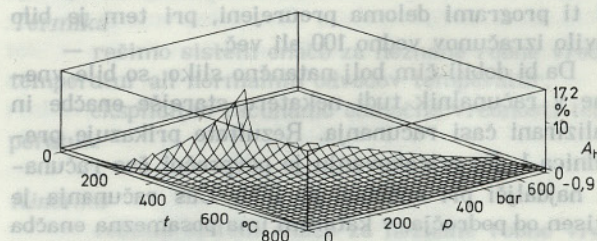
3.1. Primer za entalpijo

Entalpija pregrete vodne pare je v velikem področju premo sorazmerna tlaku in temperaturi. Vrednosti za entalpijo je mogoče prikazati s ploskvijo, ki jo določata dve mimobežni premici:

$$h = \frac{\left[\frac{h_4 - h_2}{t_4 - t_2} (t - t_2) + h_2 \right] - \left[\frac{h_3 - h_1}{t_3 - t_1} (t - t_1) + h_1 \right]}{\left[\frac{p_4 - p_2}{t_4 - t_2} (t - t_2) + p_2 \right] - \left[\frac{p_3 - p_1}{t_3 - t_1} (t - t_1) + p_1 \right]} \times$$

$$\times \left[p - \frac{p_3 - p_1}{t_3 - t_1} (t - t_1) + p_1 \right] + \frac{h_3 - h_1}{t_3 - t_1} (t - t_1) + h_1$$

Zgornja enačba je bila ovrednotena za premici, ki gresta skozi 1 bar, 250 °C in 800 °C ter 800 bar, 600 °C in 800 °C. V primerjavi z enačbami po IFC so odstopki večinoma približno 1 %; večji so šele v neposredni bližini krivulje nasičenja in še posebej v okolici kritične točke. V področju, ki je bilo raziskano, je odstop največ +17,2 % (sl. 6). Če bi določili obe premici skozi točke, ki ležijo bolj skupaj, bi bila natančnost rezultatov boljša, območje veljavnosti enačbe pa seveda manjše. Če se zelo približamo kritični točki, so odstopki pri obravnavani poenostavitvi kakor tudi pri enačbi po Kochu večji. Tu je nujno potrebno, da uporabimo interpolacijske preglednice.



Sl. 6. Odstopki entalpijskih vrednosti A_h . Primerjava poenostavljenih enačb z enačbami po IFC

3.2. Primer za entropijo

Če so tlaki višji od 80 bar, je mogoče tudi vrednosti za entropijo predstaviti enako kakor za entalpijo. Natančnost rezultatov in hitrost računanja sta podobni kakor pri entalpiji. pri tlakih pod 80 bar pa je mogoče vrednosti za entropijo opisati z enačbo:

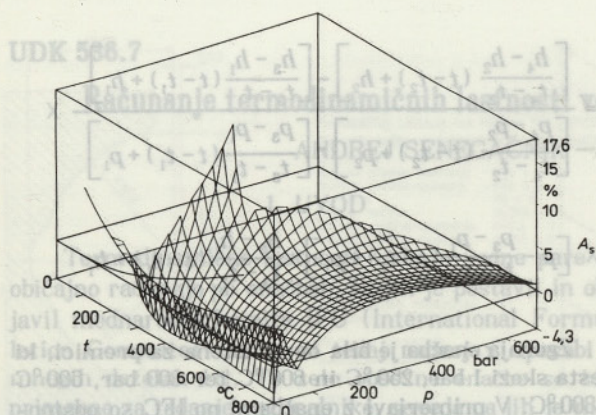
$$s = p^2 [-0,00000160546 (t - 280) + 0,00108118] +$$

$$+ p [0,000111111 (t - 280) - 0,101866] +$$

$$+ [0,00174059 (t - 280) + 8,39627]$$

Enačba ne daje tako natančnih rezultatov kakor enačba za entalpijo, vendar pa so odstopki v povprečju manjši od 5 %. V področju, ki je bilo raziskano, znaša največji odstop glede enačbe po IFC +17,6 % (sl. 7). Če se bližamo kritični točki, potem je — enako kakor pri vrednostih za entalpijo — uporaba interpolacijskih preglednic nujno potrebna.

Poenostavitve za izračun specifične prostornine in za izračun dinamične viskoznosti kažejo, da so tudi tu mogoče poenostavitve.



Sl. 7. Odstopanja entropijskih vrednosti A_s .
Primerjava poenostavljenih enačb z enačbami po IFC

4. ČAS RAČUNANJA

Vse enačbe po IFC so bile vnesene v računalnik IBM PC/AT s koprocesorjem Intel 80287. Zaradi čim krajšega časa računanja so bile za termodinamične veličine, ki so v enačbah podane implicitno, uporabljene nekatere iterativne metode. Vsi programi so bili napisani v računalniškem jeziku pascal (Compiler turbopascal 5.0). Za meritve hitrosti računanja so bili ti programi deloma preurejeni, pri tem je bilo število izračunov vedno 100 ali več.

Da bi dobili čim bolj natančno sliko, so bile vnešene v računalnik tudi nekatere starejše enačbe in analizirani časi računanja. Rezultate prikazuje preglednica 1. Po pričakovanju je povprečni čas računanja najdaljši pri enačbah po IFC. Čas računanja je odvisen od področja, v katerem ima posamezna enačba veljavnost: krajši časi veljajo za vodo in daljši za področje okoli kritične točke. Po oceni so časi računanja dolgi tudi za enačbe po Juzi [4], kajti zgradba enačb je podobna enačbam po IFC. Enačbe po Vukaloviču potrebujejo zaradi iterativnega računanja specifične prostornine precej časa. Ugodne čase računanja kaže enačba po Kochu [3], najhitrejša so seveda poenostavljene aproksimativne enačbe.

UDK 532.517.2:519.61

Robni elementi za časovno odvisni prostorski laminarni viskozni tok

IVAN ŽAGAR – POLDE ŠKERGET

1. UVOD

Od leta 1978, ko je izšla prva knjiga o postopku »robnihi« elementov [1] s področja potencialnega toka in elastičnosti, se je postopek do danes razširil tudi na nelinearna področja problemov, npr. za viskozni tok tekočin. Dejansko pa lahko opazimo prvo uporabo »panelne« metode na področju mehanike fluidov že 20 let prej [4].

5. SKLEP

Aproksimativne enačbe, ki jih uporablja mednarodni komite IFS za izračunavanje termodinamičnih lastnosti vode in vodne pare [1], so bile vstavljene v računalnik IBM PC in primerjane s starejšimi. Pokazalo se je, da so od starejših enačb za računanje z osebnim računalnikom primerne aproksimativne enačbe, ki jih je sestavil Koch s sodelavci [3]: v večini področij odstopajo manj kot 1 odstotek od enačb po IFC, pri tem pa je čas računanja za dve potenci krajši. Nadalje je bilo ugotovljeno, da je za hitro računanje mogoče enačbe zelo poenostaviti: tako poenostavljene enačbe za termodinamične lastnosti vode in vodne pare veljajo sicer le v določenem področju, so manj natančne, zato pa je za njihovo računanje potreben zelo kratek čas.

LITERATURA

- [1] Properties of Water and Steam in SI-Units. 2. izd. Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg. New York in R. Oldenbourg. München. 1979.
- [2] Pflieger. E.: Optimale Stoffwertberechnung von Wasser und Wasserdampf. BWK 40 (1988). št. 10. str. 405-408.
- [3] VDI-Wasserdampf Tafeln. 4. izd. Springer-Verlag. Berlin. Göttingen. Heidelberg in R. Oldenbourg. München. 1956.
- [4] Juzi. J.: Uravnenja dlja termodinamiških svojst vody i vodjanogo para. prednaznačennye dlja vyčislitel'nyh mašin. Teploenergetika 14 (1967). št. 1. str. 80-86.
- [5] Enthalpie - Entropie - Diagramme für Wasserdampf und Wasser. Springer-Verlag. Berlin. Göttingen. Heidelberg. 1955.
- [6] Reid. C.R.-J.M. Prausnitz-Th.K. Sherwood: The Properties of Gases and Liquids. 3. izd. McGraw-Hill. New York. 1977.

Naslovi avtorjev: Andrej Senegačnik, dipl.inž.stroj.
Fakulteta za strojništvo. Ljubljana,
Tadej Tuma, dipl.inž. el.
Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo,
Ljubljana in
prof.dr.Matija Tuma, dipl.inž.
Fakulteta za strojništvo. Ljubljana