ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Jón Örn Bjarnason

UNDIRFORRITASAFNIÐ STEAM

Tæki til að reikna varmafræðilega eiginleika vatns og gufu

OS-85069/JHD-09
Reykjavík, ágúst 1985

ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknúmer : 360-310

Jón Örn Bjarnason

UNDIRFORRITASAFNIÐ STEAM

Tæki til að reikna varmafræðilega eiginleika vatns og gufu

OS-85069/JHD-09
Reykjavík, ágúst 1985

ÁGRIP

Lýst er safni undirforrita til reikninga á varmafræðilegum eiginleikum vatns og gufu á hitastigsbilinu frá 273,15 K til 1073,15 K (0°C til 800°C), og þrýstingsbilinu frá 0,001 bar-absolute til 1000 bar-a. Safnið er skrifað í FORTRAN-77 fyrir VAX-11 tölvur og hefur eingöngu að geyma fallsundirforrit. Í safninu er að finna undirforrit sem skila varmainnihaldi (enþalpíu), entrópíu og eðlisrúmmáli vatns eða gufu, eftir því sem við á, sem föllum af hitastigi og þrýstingi á ofangreindu svæði. Einnig eru í safninu undirforrit sem skila þessum eiginleikum á mettunarlínunni, sem föllum af hitastigi eingöngu, og eru þá sérstök forrit fyrir vatn en önnur fyrir gufu. Að auki hefur safnið að geyma undirforrit til að reikna mettunarþrýsting, mettunarhitastig, yfirborðsspennu og gufuhluta. Þá má nefna undirforrit, til að finna hitastig það sem samsvarar gefnu varmainnihaldi og gefnum þrýstingi. Loks eru í safninu undirforrit, sem skila gildum seigju og varmaleiðni.

Hægt er að velja á milli undirforrita í einfaldri nákvæmni (REAL*4) og tvöfaldri (REAL*8). Hvorki sparast tölvutími né -rými við að nota téð notendaforrit fremur í einfaldri nákvæmni en tvöfaldri, heldur er REAL*4 föllunum einungis ætlað að spara notendum safnsins ómak. Auk þessara REAL*4 og REAL*8 notendaforrita inniheldur safnið undirforrit (í tvöfaldri nákvæmni), sem kallað er á af öðrum undirforritum í safninu, og ekki eru ætluð til almennrar notkunar.

Undirforritin í safninu eru byggð á jöfnum sem samdar voru árið 1967 af sérstakri nefnd á vegum sjöttu alþjóðaráðstefnunnar um varmaeiginleika gufu. Jöfnur þessar má finna í flestum stærri gufutöflubókum.

FORTRAN skrár allra undirforrita í safninu eru í viðauka.

EFNISYFIRLIT

		bls.
ÁGRIP		2
1	INNGANGUR	5
2	NOTKUN SAFNSINS	8
	2.1 Hvernig kallað er á föll í safninu	8
	2.2 Villur og vandræði	10
	2.3 Aðrar ábendingar	11
	2.4 Dæmi	12
	2.5 Skrá yfir gufutöfluföll	14
	2.6 Fallaskrá í stafrófsröð	23
3	UPPBYGGING SAFNSINS	24
4	SVÆÐASKIPTING FASALÍNURITSINS	26
5	FÖLL SEM SKILA FÖSTUM	28
6	EININGALAUS SVÆÐAFÖLL	29
	6.1 Almennt	29
	6.2 CHI_3(TR,BET)	30
	6.3 CHI_4(TR,BET)	35
7	VARMAEIGINLEIKAFÖLL Í TVÖFALDRI NÁKVÆMNI	37
	7.1 Almennt	37
	7.2 T_DP(P,H)	40
8	VARMAEIGINLEIKAFÖLL Í EINFALDRI NÁKVÆMNI	46
HEIMILDIR		47

bls.

VIÐAUKAR

A FORTRANskrár forrita sem skila föstum 49

B FORTRANskrár einingarlausra svæðafalla 59

C FORTRANskrár varmaeiginleikafalla í tvöfaldri nákvæmni 83

D FORTRANskrár varmaeiginleikafalla í einfaldri nákvæmni 113

MYNDIR

1 Fasalínurit vatns og gufu: Svæðaskipting. 27

2 Svæði 3: Einingarlaus þrýstingur sem fall af einingarlausu eðlisrúmmáli. 31

3 Svæði 3: Einingarlaus þrýstingur sem fall af einingarlausu eðlisrúmmáli við hitastig lægra en krítískt 33

4 Svæði 4: Einingarlaus þrýstingur sem fall af einingarlausu eðlisrúmmáli. 35

5 Varmainnihald vatns og gufu sem fall af hitastigi við mismunandi þrýsting. 42

1 INNGANGUR

Eins og að líkum lætur, skipta varmafræðilegir eiginleikar vatns og gufu geysimiklu máli við allar jarðhitarannsóknir. Ekki á þetta síður við um hönnun mannvirkja til nýtingar jarðgufu. Þessir eiginleikar hafa raunar þýðingu miklu víðar en á jarðhitasviðinu, enda er vatn eitt algengast efni í umhverfi voru. Það er því ekki að undra, að síðastliðin 150 ár hefur víða um heim verið lögð gífurleg vinna í það að kanna þessa eiginleika sem gerst.

Þeir varmaeiginleikar vatns og gufu sem mestu máli skipta hafa verið skráðir í töflur sem fall af hitastigi og þrýstingi. Slíkar töflur eru í daglegu tali nefndar gufutöflur og verður því nafni haldið hér. Töflur þessar eru til í nokkrum útgáfum, og lítill munur á þeim. Rétt er þó að geta þess, að í því sem á eftir fer verður stuðst við töflur Schmidt og Grigull (1979). Í töflum þessum er að finna gildi varma-innihalds (enþalpíu), entrópíu og eðlisrúmmáls sem falls af hitastigi frá 0°C til 800°C, og sem falls af þrýstingi frá 0,001 bar-a til 1000 bar-a. Auk þess hafa töflurnar að geyma upplýsingar um mettunar-þrýsting og -hitastig, seigju (viskositet) og varmaleiðni.

Þegar reiknað er með vasatölvu eða í hendi, er tiltölulega lítil töf að því að fletta upp í gufutöflum þeim tölum sem nota þarf í það og það skiptið. Þegar unnið er með stærri tölvu gegnir hins vegar nokkuð öðru máli. Þá ganga reikningarnir sjálfir svo fljótt fyrir sig, að uppfletting og innsláttur talna verður óhjákvæmilega langseinlegasti hluti verksins.

Til þess að reyna að bæta úr þessu hafa tvær leiðir helst verið farnar. Ein er sú að slá inn í sérstakar tölvuskrár þá hluta gufu-taflanna sem oftast eru notaðir. Síðan láta notendur forrit sín leita að viðeigandi tölum í þessum skrám og brúa (interpolera) á milli þeirra eftir þörfum. Slíkar skrár hafa þann ókost, að notendur verða að bæta í forrit sín setningum fyrir lestur og brúun og getur sá lestur verið tiltölulega seinvirkur. Ekki er heldur alltaf augljóst hvernig brúun er best framkvæmd, einkum í nánd við krítíska punktinn. Þá ná þær tölvutöflur sem höfundur hefur haft spurnir af aðeins til lítils hluta gildissviðs gufutaflanna, og er það á stundum bagalegt.

Hin leiðin er sú, að fella jöfnur að gögnum úr gufutöflunum og reikna síðan viðeigandi gildi úr jöfnunum þegar þörf krefur. Nokkrar slíkar jöfnur hafa verið notaðar í forritum á Orkustofnun, einkum til reikninga á varmainnihaldi, en þær eiga við mettunarlínuna eingöngu og eru ekki allar mjög nákvæmar.

Aftantil í ofangreindri töflubók Schmidt og Grigull (1979) getur að líta safn af jöfnum og tilheyrandi stuðlum, og er þetta sama safn raunar að finna í fleiri útgáfum gufutafla. Þetta eru jöfnur fyrir mikilvægustu varmaeiginleika vatns og gufu, en í einingarlausu formi þó; það er m. ö. o. gert ráð fyrir því, að hitastig, þrýstingur, varmainnihald og eðlisrúmmál hafi öll gildið einn við krítíska punktinn. Til hægðarauka við verk sitt hafa jöfnusmiðirnir skipt fasalínuriti vatns og gufu í fjögur svæði og síðan fellt jöfnur að gögnum, sínar á hverju svæði. Á tveimur svæðanna eru jöfnur sem skila einingarlausu eðlisrúmmáli, varmainnihaldi og entrópíu sem falli af einingarlausum þrýstingi og hitastigi, en á hinum tveimur eru jöfnur sem skila einingarlausum þrýstingi, varmainnihaldi og entrópíu sem falli af einingarlausu eðlisrúmmáli og hitastigi. Á hinum tveimur síðarnefndu svæðum þarf því að leysa þrýstingsjöfnuna fyrir eðlisrúmmál og setja síðan inn þegar finna á entrópíu og varmainnihald. Þetta er einungis unnt að gera tölulega.

Nefndar jöfnur eru flestar allflóknar. Ekki er það til að einfalda notkun þeirra, að ólíkar jöfnur gilda á hverju hinna fjögurra svæða fasalínurítsins, eins og áður kom fram. Þegar þar við bætist, að í sumum jafnanna er eðlisrúmmál óháð breyta, í stað þrýstings, gefur auga leið, að eins og jöfnurnar koma fyrir í töflubókum eru þær ekki ýkja aðgengilegar, né sýnast þær fýsilegar til daglegs brúks. Þær hafa á hinn bóginn tvo mikla kosti. Annar er sá, að saman ná títtnefndar jöfnur yfir allt svæði gufutaflanna, en hinn, að þær skila varmaeiginleikum vatns og gufu með sömu nákvæmni og töflurnar.

Til þess að komast fram hjá göllum gufutöflujafnanna, en nýta samt kosti þeirra, hefi ég ráðist í að skrifa það safn undirforrita sem lýst verður hér að neðan og byggt er á margnefndum jöfnum. Með því að þær birtust fyrst árið 1967, kæmi mér ekki á óvart þótt einhverjir hefðu áður orðið til þess að skrifa svipuð forritasöfn. Ekki rýrir það þó gildi safnsins, enda er það umfram allt hugsað sem verkfæri, - hjálpartæki til annarra reikninga. Er þess vænst, að téð undirforrit séu svo þjál, að engum þyki áhorfsmál að nota þau við tölvureikninga.

Öll undirforrit í safninu eru svokölluð fallsundirforrit (function subprograms), og verða þau hér að neðan ýmist nefnd föll eða undirforrit. Átt er við sama hlutinn hvort orðið sem notað er. Safnið er skrifað á forritunarmálinu FORTRAN 77. Þótt það sé skrifað fyrir VAX-11 tölvu ætti það að vera auðflutt yfir á aðrar vélar, með því að ég hefi reynt að forðast sérviskulega forritunarhætti.

FORTRAN skrá forritasafnins, STEAM.FOR, tekur 78 kílóbæti (156 blokkir) í geymsluminni, en vélarmálsskráin, STEAM.OLB, 85 kílóbæti (170 blokkir). Vinnslurými alls safnsins er hins vegar um 36 kílóbæti.

Í kaflanum hér á eftir er að finna leiðbeiningar til notanda safnsins, og geta þeir, sem ekki hafa áhuga á innri gerð þess, látið vera að lesa annað í skýrslunni. Í kafla 3 er byggingu safnsins lýst í stórum dráttum. Í kafla 4 er sagt frá skiptingu fasalínuritsins í svæði. Í köflum 5,6,7 og 8 er einstökum undirforritum lýst, flestum aðeins stuttlega, enda eiga þau að skýra sig að mestu sjálf. Þremur föllum eru þó gerð ýtarlegri skil, vegna þess að ekki er víst, að þau séu jafn auðskilin. Aftast í skýrslunni er útskrift á forritasafninu í heild.

2 NOTKUN SAFNSINS

"Nefndu mig, ef þér liggur lítið á"

2.1 Hvernig kallað er á föll í safninu

Í undirkafla 2.5 hér á eftir er að finna skrá yfir nöfn þeirra undirforrita, í einfaldri og tvöfaldri nákvæmni, sem almennir notendur safnsins eru líklegir til að kalla beint á. Í skránni kemur fram hvaða stærð hvert undirforrit skilar, hverjar inntaksbreytur þess eru og hvaða takmörk þessum breytum eru sett. Vísast til skráar þessarar um skýringar á undirforritanöfnum þeim, sem koma fyrir í umræðunni hér að neðan.

Sérhvert þeirra undirforrita, sem ætluð eru til almennra nota, er til í tveimur útgáfum, og er önnur þeirra í einfaldri nákvæmni (REAL*4) en hin í tvöfaldri (REAL*8). Undirforritasafnið er að mestu skrifað í tvöfaldri nákvæmni, en REAL*4 föllin eru höfð með til þæginda fyrir notendur. Hvorki sparast vinnslurými eða keyrslutími við að nota REAL*4 föll í stað REAL*8 falla.

Sum undirforritanna gilda einungis fyrir mettunarlínuna ("tveggja fasa svæðið") en önnur ná yfir allt fasalínurit vatns og gufu frá 273,15 K (0°C) til 1073,15 K (800°C), og frá 0,001 bar-a til 1000 bar-a.

Gufutöfluföllin eru ekki sjálfstæð forrit, það er m.ö.o. ekki unnt að gera þau keyrsluhæf ein sér, heldur verður að kalla á þau úr einhverju aðalforriti, sem að vísu þarf hvorki að vera stórt né merkilegt.

Til þess að nota eitthvert gufutöflufallanna nægir að setja nafn þess í forrit, á þann stað sem fallgildisins er óskað. Þess verður að sjálfsögðu að gæta, að inntaksbreytur hafi viðeigandi gildi. Til þess að finna entrópíu mettaðrar gufu við 200°C (473,15 K) og geyma gildið í breytunni ENT, væri t.d. nóg að rita

```
ENT = S_VAP(473.15),
```

eða

```
T1 = 200.
ENT = S_VAP(T1 + 273.15)
```

og til þess að geyma í breytunni T mettunarhitastig vatns við það gildi þrýstings (í bar-a), sem breytan P inniheldur, mætti á sama hátt

setja

```
T = T_SAT(P).
```

Rétt er að benda á það, að inntaksbreytur undirforrits mega gjarnan vera fallgildi einhvers annars undirforrits. Væri þess t.d. óskað að skrifa í breytuna VAR varmainnihald mettaðs vatns við þrýsting P, mætti hvort heldur vildi rita

```
T = T_SAT(P)
VAR = H_LIQ(T),
```

ellegar

```
VAR = H_LIQ(T_SAT(P))
```

og kæmi í sama stað niður.

Þegar forritið er fullgert er það þýtt yfir á vélarmál. FORTRAN skrá forrits, sem inniheldur tilvísanir til undirforrita í gufutöflusafninu, er þýdd á sama hátt og önnur FORTRAN forrit:

```
FOR NAFN
```

Hér er NAFN.FOR að sjálfsögðu heiti FORTRAN forritsins. Vélarmálsskráin sem þessi skipun framleiðir, NAFN.OBJ, er síðan tengd gufutöflusafninu með skipuninni

```
LIN NAFN,OSLIB:STEAM/LIB
```

Viðbótin /LIB sem fylgir tengiskipuninni gefur til kynna að STEAM sé safn undirforrita. OSLIB er sú efnisskrá sem vélarmálssafnið er geymt á þegar þetta er ritað, en þar heitir það fullu nafni STEAM.OLB. Auknefnið OLB táknar safn undirforrita á vélarmáli (object module library).

Ef tengja á við NAFN undirforrit, sem ekki eru í safninu STEAM, koma heiti þeirra með í skipunina á eftir nafni aðalforritsins, aðgreind með kommum. Ef NAFN kallar á undirforrit í öðru safni en STEAM, t.d. OSPLOTLIB, kemur nafn þess safns einnig með í skipunina. Í slíku tilfelli gæti tengiskipunin litið þannig út:

```
LIN NAFN,SUB1,SUB2,OSLIB:STEAM/LIB,OSLIB:OSPLOTLIB/LIB
```

þar sem SUB1 og SUB2 eru vélarmálsskrár undirforrita sem hvorki eru í STEAM né í OSPLOTLIB.

2.2 Villur og vandræði

Sérhvert þeirra gufutöfluforrita, sem ætluð eru til almennra nota, hefur að geyma ákvæði um leyfileg gildi inntaksbreyta. Sé inntaksgildi utan settra marka, er tilkynning þess efnis send á skjáinn og núlli skilað sem fallgildi. Ég hygg, að tíðasta orsök óleyfilegra inntaksgilda muni reynast sú, að menn noti gráður Celcius í ógáti í stað Kelvin í hitastigsbreytum. En hvernig sem því kann að vera varið, er leiðrétting á slíkri villu augljós. Það er á ábyrgð notanda að halda gildum á inntaksbreytum í kalli innan auglýstra marka.

Notendur verða að sjálfsögðu einnig að gæta þess að nota viðeigandi tegund breyta, REAL*4 fyrir föll í einfaldri nákvæmni og REAL*8 fyrir föll í tvöfaldri.

Eins og fram kom í 2.1 mega inntaksbreytur undirforrits gjarnan vera fallgildi einhvers annars undirforrits. Forðast skal þó að láta undirforrit kalla á sjálf sig, beint eða óbeint, því slíkt þykir vafasöm forritun, enda þótt FORTRAN mál VAX-11 tölvunnar leyfi það. Reyndar er ekki veruleg hætta á, að þvílíkt gerist óvart við venjulega (skynsamlega) notkun safnsins.

Einnig ber að forðast að nota setningar eins og

```
TYPE *, FALL(A)

WRITE (3,`(FMT)`), FALL(A)
```

þar sem FALL er eitthvert gufutöflufallanna og FMT táknar ritlýsingu (FORMAT). Mörg fallanna hafa nefnilega sjálf að geyma TYPE setningar, (sem senda tilkynningar á skjá ef inntaksbreytur eru utan leyfilegra marka). VAX-11 FORTRAN leyfir ekki að ein útskriftarsetning kalli á aðra með þessum hætti. Komi slíkt fyrir í keyrslu forrits, hættir vélin henni í snatri og sendir út tilkynninguna

```
%FOR-F-RECIO_OPE, recursive I/O operation
```

og fleira þess háttar. Úr þessu má einfaldlega bæta með því að setja

```
Q = FALL(A)
TYPE *, Q
```

eða

```
Q = FALL(A)
WRITE (3,`(FMT)`), Q
```

Á þennan hátt heldur vélin ró sinni þótt inntaksbreyta taki óleyfilegt gildi.

2.3 Aðrar ábendingar

Þegar reiknað er varmainnihald á mettunarlínunni ("tveggja fasa svæðinu") er sjálfsagt að nota til þess H_LIQ(T) eða H_VAP(T), eftir því sem við á, fremur en fallið H(T,P,X). Fallið H(T,P,X) skilar nefnilega varmainnihaldi á mettunarlínunni fyrir blöndu gufu og vatns með gufuhluta X einungis ef þrýstingurinn P reynist nákvæmlega hinn sami og reiknaður mettunarþrýstingur við hitastigið T. Þetta próf er framkvæmt í tvöfaldri nákvæmni. Sé mettunarþrýstingur, reiknaður í REAL*8, ójafn P, skilar H(T,P,X) varmainnihaldi við T og P og gildi X er ekki notað. Væri þannig t.d. reynt að reikna varmainnihald mettaðs vatns við Tl og Pl með H(Tl,Pl,0.), gæti örlítil skekkja í Tl eða Pl valdið því að í staðinn fengist gildi, sem væri nærri því hið sama og varmainnihald mettaðrar gufu. Slík skekkja gæti t.d. orsakast af mismun á tölum í einfaldri og tvöfaldri nákvæmni. Með því að T_SAT(P) og H(T,P,X) eru REAL*4 föll, eru álíka miklar líkur á því, að H(T_SAT(P),P,0.) skili varmainnihaldi mettaðs vatns og varmainnihaldi mettaðrar gufu, og er það breytilegt frá einu gildi þrýstings til annars hvoru skilað er. Slíka notkun ber því augljóslega að forðast.

Hið sama er að segja um entrópíu og eðlisrúmmál. Sjálfsagt er að nota S_LIQ(T) eða S_VAP(T) í stað S(T,P,X) á mettunarlínunni og V_LIQ(T) eða V_VAP(T) í stað V(T,P,X). Föllin S(T,P,X) og V(T,P,X) eru, eins og H(T,P,X), fyrst og fremst ætluð til notkunar utan tveggja fasa svæðisins.

Ofansagt gildir að sjálfsögðu einnig fyrir REAL*8 útgáfu téðra falla.

Rétt er að benda á að auðvelt er að nota gufutöfluföllin til að finna gildi ýmissa varmaeiginleika, sem ekki eru sérstök forrit fyrir í safninu. Má þar nefna orkuföll þau sem kennd eru við Gibbs og Helmholtz. Til þess að geyma í breytunni G gildi Gibbs orku ("frjálsrar orku") við hitastig Tl og þrýsting Pl væri t.d. nóg að setja

$$G = H(Tl,Pl,X) - Tl * S(Tl,Pl,X)$$

og til að geyma í A gildi Helmholtz orku við Tl og Pl dygði

$$A = H(Tl,Pl,X) - Pl * V(Tl,Pl,X) - Tl * S(Tl,Pl,X).$$

Gildi fleiri falla mætti finna á svipaðan hátt.

Reikningar með gufutöfluföllunum ganga mismunandi hratt fyrir sig eftir því hvar á fasalínuritinu er. Undirforritin eru öll tiltölulega hraðvirk á undirsvæðum 1 og 2 (sjá mynd 1 og kafla 4) en seinvirkari á svæðum 3 og 4, mismunandi mikið þó. Til allrar hamingju eru þau hraðvirk þar sem mestu máli skiptir, þ.e. neðan við 350°C. Mettunarlínuföllin eru, að öðru jöfnu, ekki hraðvirkari en önnur.

Ef reikna skal afleiður af gufutöfluföllunum er rétt að fara að öllu með gát. Afleiðurnar eru nefnilega ekki samfelldar á mótum hinna fjögurra svæða fasalínuritsins og á þetta reyndar einnig við um föllin sjálf, þótt ósamfellan sé ekki stór. Helst eru brögð að þessu á mörkum svæðis 4 við háan þrýsting.

2.4 Dæmi

Til frekari skýringar á notkun safnsins verða hér að neðan sýnd tvö einföld dæmi um heil forrit sem kalla á föll úr því.

Fyrra dæmið lítur þannig út:

```
      PROGRAM METTUN
C
C***  Þetta forrit reiknar mettunarhitastig vatnsgufu (Celcius) við
C     umbeðinn þrýsting P (bar-absolute).
C
10    TYPE `(/``$P?  ``)`
      ACCEPT `(Q,F12.0)`,IQ,P
      IF (IQ.NE.0) THEN
           IF (P.LT.0.006108) THEN
              TYPE*,`HITASTIG NEÐAN VIÐ FROSTMARK`
           ELSE IF (P.GT.221.2) THEN
              TYPE*,`ÞRYSTINGUR OFAN VIÐ KRITISKAN`
           ELSE
              T = T_SAT(P) - 273.15
              TYPE `(`` T = ``,F6.2)`, T
           END IF
           GO TO 10
      END IF
C
      END
```

Þetta forrit spyr um þrýsting og sendir tilkynningu ef hann er utan viðunandi marka, en reiknar mettunarhitastig ella og skrifar það út á

skjá. Síðan biður það um nýtt gildi þrýstings og svo koll af kolli uns svarað er með <RET>.

Seinna dæmið er forrit sem reiknar þrýsting, hitastig og eðlismassa vatns í 1000 m súlu, sem gert er ráð fyrir að alls staðar sé við suðumark, en hvergi í suðu. Gert er ráð fyrir að þrýstingur á hverju dýpi ráðist einungis af þunga þeirrar vatnssúlu sem ofan á liggur, auk andrúmsloftsins. Forritið þarf því að leysa diffurjöfnuna

$$dP(x)/dx = + g*r(x) \qquad (P(0) = 1.01325 \text{ bar, ein loftþyngd}),$$

þar sem P(x) er þrýstingur á dýpi x (x er talið pósitívt niður á við), r(x) eðlismassi á sama dýpi og g þyngdarhröðunin. Eðlismassinn er háður hitastigi, sem aftur ræðst af samsvarandi þrýstingi vegna þess að súlan er öll við suðumark. Þannig er

$$r(x) = 1/V(T(P(x)))$$

en V og T tákna að sjálfsögðu eðlisrúmmál og hitastig. Lausn diffurjöfnunnar er því nálguð með því að leysa ítrekunarjöfnuna

$$P(x + Dx) = P(x) + 10**(-5)*Dx*g/V(T(P(x)))$$

fyrir eitthvert nægilega stutt skref Dx. (Þátturinn 10**(-5) er til þess að breyta úr Pascal í bar.) Í dæminu hér að neðan er skrefið valið einn metri, en gildi þrýstings, hitastigs og eðlismassa skrifuð út á tuttugasta hverjum metra í skrána SUDSUL.DAT. Reikningarnir eru hafðir hér í tvöfaldri nákvæmni þótt þess sé í raun ekki þörf. Er þetta gert einungis til þess að sýna einnig notkun REAL*8 fallanna.

```
      PROGRAM SUDSUL
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      PARAMETER (N=1000)
      DIMENSION P(0:N),T(0:N),RHO(0:N)
C
      OPEN (UNIT=1,FILE=`SUDSUL.DAT`,TYPE=`NEW`)
C
      DX = 1.                                          !m
      G = 9.82                                         !m/s2
      T(0) = 100. + 273.15
      P(0) = P_SAT_DP(T(0))
      RHO(0) = 1./V_LIQ_DP(T(0))
C
      WRITE(1,`(``1``,//``   Dypi (m)  ``,``  Þrystingur (bar) ``,
```

```
     2         `` Hitastig (C) ``,`` Eðlismassi (m3/kg) ``/)`)
     WRITE(1,`(I8,F17.2,F18.2,F19.3)`) 0,P(0),100.,RHO(0)
     DO I=0,N-1
          P(I+1) = P(I) + 1.0D-05*G*DX*RHO(I)    !1.D-05 breytir ur Pa i bar
          T(I+1) = T_SAT_DP(P(I+1))
          RHO(I+1) = 1./V_LIQ_DP(T(I+1))
          IF (MOD(I+1,20).EQ.0) THEN
             WRITE(1,`(I8,F17.2,F18.2,F19.3)`),
     2       I+1,P(I+1),T(I+1)-273.15,RHO(I+1)
          END IF
     END DO
C
     END
```

Einungis ber að líta á þessi tvö dæmi sem svolitla vísbendingu um hvernig hægt er að nota gufutöflusafnið. Raunverulegt notagildi safnsins takmarkast aðeins af þörfum og hugarflugi notandans.

2.5 Skrá yfir gufutöfluföll

Hér að neðan eru talin upp öll þau undirforrit í gufutöflusafninu sem venjulegir notendur eru líklegir til að kalla beint á. Í fyrstu línu hvers liðar upptalningarinnar kemur fram nafn viðkomandi undirforrits, vinstra megin í einfaldri nákvæmni (REAL*4), en hægra megin í tvöfaldri nákvæmni (REAL*8). Í næstu línu stendur hvaða varmaeiginleika undirforritið skilar og í hvaða einingu. Þá kemur listi yfir inntaksbreytur, merkingu þeirra og takmörk. Sumum undirforritunun fylgja loks frekari skýringar. Undirforritin eru öll svokölluð falls-undirforrit (function subprograms), eins og þegar hefur komið fram.

Í safninu eru notaðar SI-einingar svo og margfeldi af þeim og veldum af 10 (t.d. bar og kJ). Hitastig er alls staðar í Kelvin. Núllpunktur entrópíu er valinn sem entrópía vatns við þrípunktinn (273,16 K eða 0,01°C). Núllpunktur Gibbs orku er valinn eins. Af þessu leiðir að núllpunktur varmainnihalds (enþalpíu) er einnig varmainnihald vatns við þrípunktinn. Aðrir núllpunktar eru sjálfgefnir.

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

P_SAT(T) P_SAT_DP(T)

METTUNARÞRÝSTINGUR VATNSGUFU (bar-absolute)

T : Hitastig
Leyfileg gildi eru frá og með 273,15
og til og með 647,3 Kelvin.

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

T_SAT(P) T_SAT_DP(P)

METTUNARHITASTIG VATNSGUFU (Kelvin)

P : Þrýstingur
Leyfileg gildi eru frá og með 0,006108
og til og með 221,2 bar-absolute.

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

H_VAP(T) H_VAP_DP(T)

VARMAINNIHALD (enþalpía) METTAÐRAR GUFU (kJ/kg)

T : Hitastig
Leyfileg gildi eru frá og með 273,15
og til og með 647,3 Kelvin.

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

H_LIQ(T) H_LIQ_DP(T)

VARMAINNIHALD (enþalpía) METTAÐS VATNS (kJ/kg)

T : Hitastig
Leyfileg gildi eru frá og með 273,15
og til og með 647,3 Kelvin.

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

DEL_H(T) DEL_H_DP(T)

UPPGUFUNARVARMI VATNS (kJ/kg)

T : Hitastig
Leyfileg gildi eru frá og með 273,15
og til og með 647,3 Kelvin.

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

S_VAP(T) S_VAP_DP(T)

ENTRÓPÍA METTAÐRAR GUFU (kJ/(kg*K))

T : Hitastig
Leyfileg gildi eru frá og með 273,15
og til og með 647,3 Kelvin.

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

S_LIQ(T) S_LIQ_DP(T)

ENTRÓPÍA METTAÐS VATNS (kJ/(kg*K))

T : Hitastig
Leyfileg gildi eru frá og með 273,15
og til og með 647,3 Kelvin.

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

V_VAP(T) V_VAP_DP(T)

EÐLISRÚMMÁL METTAÐRAR GUFU (m3/kg)

T : Hitastig
Leyfileg gildi eru frá og með 273,15
og til og með 647,3 Kelvin.

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

V_LIQ(T) V_LIQ_DP(T)

EÐLISRÚMMÁL METTAÐS VATNS (m3/kg)

T : Hitastig
Leyfileg gildi eru frá og með 273,15
og til og með 647,3 Kelvin.

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

TENS(T) TENS_DP(T)

YFIRBORÐSSPENNA VATNS (Newton/m)

T : Hitastig
Leyfileg gildi eru frá og með 273,15
og til og með 647,3 Kelvin.

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

H(T,P,X) H_DP(T,P,X)

VARMAINNIHALD VATNS EÐA GUFU (kJ/kg)

T : Hitastig
Leyfileg gildi eru frá og með 273,15
og til og með 1073,15 Kelvin.

P : Þrýstingur
Leyfileg gildi eru frá og með 0,001
og til og með 1000 bar-absolute.

X : Gufuhluti
Leyfileg gildi eru frá og með 0
og til og með 1 (einingarlaus) ef
punkturinn er á mettunarferlinum.
Annars skiptir gildið engu máli.

Þetta undirforrit skilar varmainnihaldi vatns eða gufu eftir því sem við á. Ef (T,P) fellur ekki á mettunarferilinn er breytan X ekki notuð og gildi hennar skiptir engu máli. Ef (T,P) er punktur á mettunarferlinum er varmainnihaldi mettaðrar gufu, HVAP, skilað ef X = 1, varmainnihaldi mettaðs vatns, HLIQ ef X = 0, en annars X*HVAP + (1.-X)*HLIQ.

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

S(T,P,X) S_DP(T,P,X)

ENTRÓPÍA VATNS EÐA GUFU (kJ/(kg*K))

T : Hitastig
Leyfileg gildi eru frá og með 273,15
og til og með 1073,15 Kelvin.

P : Þrýstingur
Leyfileg gildi eru frá og með 0,001
og til og með 1000 bar-absolute.

X : Gufuhluti
Leyfileg gildi eru frá og með 0
og til og með 1 (einingarlaus) ef
punkturinn er á mettunarferlinum.
Annars skiptir gildið engu máli.

Þetta undirforrit skilar entrópíu vatns eða gufu eftir því sem við á. Ef (T,P) fellur ekki á mettunarferilinn er breytan X ekki notuð og gildi hennar skiptir engu máli. Ef (T,P) er punktur á mettunarferlinum er entrópíu mettaðrar gufu, SVAP, skilað ef X = 1, entrópíu mettaðs vatns, SLIQ ef X = 0, en annars X*SVAP + (1.-X)*SLIQ.

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

V(T,P,X) V_DP(T,P,X)

EÐLISRÚMMÁL VATNS EÐA GUFU (m3/kg)

T : Hitastig
Leyfileg gildi eru frá og með 273,15
og til og með 1073,15 Kelvin.

P : Þrýstingur
Leyfileg gildi eru frá og með 0,001
og til og með 1000 bar-absolute.

X : Gufuhluti
Leyfileg gildi eru frá og með 0
og til og með 1 (einingarlaus) ef
punkturinn er á mettunarferlinum.
Annars skiptir gildið engu máli.

Þetta undirforrit skilar eðlisrúmmáli vatns eða gufu eftir því sem við á. Ef (T,P) fellur ekki á mettunarferilinn er breytan X ekki notuð og gildi hennar skiptir engu máli. Ef (T,P) er punktur á mettunarferlinum er eðlisrúmmáli mettaðrar gufu, VVAP, skilað ef X = 1, eðlisrúmmáli mettaðs vatns, VLIQ ef X = 0, en annars X*VVAP + (1.-X)*VLIQ.

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

ETA(T,V) ETA_DP(T,V)

SEIGJA (viskositet) VATNS EÐA GUFU (0,01*g/(cm*s), centipoise)

T : Hitastig
Leyfileg gildi eru frá og með 273,15
og til og með 1073,15 Kelvin.

V : Eðlisrúmmál
Leyfileg gildi eru frá og með 0,0009564
og til og með 4952,694 m3/kg.

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

COND(T,V) COND_DP(T,V)

VARMALEIÐNI VATNS EÐA GUFU (W/(K*m))

T : Hitastig
Leyfileg gildi eru frá og með 273,15
og til og með 1073,15 Kelvin.

V : Eðlisrúmmál
Leyfileg gildi eru frá og með 0,0009564
og til og með 4952,694 m3/kg.

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

T(P,H) T_DP(P,H)

HITASTIG (Kelvin) VATNS EÐA GUFU

P : Þrýstingur
Leyfileg gildi eru frá og með 0,001
og til og með 1000 bar-absolute.

H : Varmainnihald (enþalpía)
Leyfileg gildi eru háð þrýstingi.
(Sjá hér á eftir.)

Þetta forrit skilar hitastigi (Kelvin) vatns eða gufu sem hefur varmainnihald H við þrýsting P. Mörk fyrir varmainnihald, H, eru reiknuð fyrir þrýsting P. Neðri mörk eru á bilinu frá ca. -0,04209 kJ/kg til ca. 95,895 kJ/kg, en efri mörk frá ca. 3714,263 kJ/kg til ca. 4158,748 kJ/kg. Þannig eru leyfileg gildi varmainnihalds á milli ca. -0,04209 kJ/kg og ca. 4158,748 kJ/kg ef P = 0,001 bar-absolute, en á milli ca. 95,895 kJ/kg og ca. 3714,263 kJ/kg ef P = 1000 bar-absolute.

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

XS(P,H) XS_DP(P,H)

GUFUHLUTI (MASSAHLUTI) ÚT FRÁ VARMAINNIHALDI

P : Þrýstingur
Leyfileg gildi eru frá og með 0,006108
og til og með 221,2 bar-absolute.

H : Varmainnihald (enþalpía)
Leyfileg gildi eru frá og með -0,04209
og til og með 4158,748 kJ/kg.

Þetta undirforrit skilar massahluta gufu í blöndu vatns og gufu sem hefur varmainnihald (enþalpíu) H við þrýsting P.

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

XS_S(P,S) XS_S_DP(P,S)

GUFUHLUTI (MASSAHLUTI) ÚT FRÁ ENTRÓPÍU

P : Þrýstingur
Leyfileg gildi eru frá og með 0,006108
og til og með 221,2 bar-absolute.

S : Entrópía
Leyfileg gildi eru frá og með -0,006689167
og til og með 12,75378 kJ/(kg*K).

Þetta forrit skilar massahluta gufu í blöndu vatns og gufu sem hefur entrópíu S við þrýsting P.

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

XVOL(P,H) XVOL_DP(P,H)

GUFUHLUTI (RÚMMÁLSHLUTI) ÚT FRÁ VARMAINNIHALDI

P : Þrýstingur
Leyfileg gildi eru frá og með 0,006108 og til og með 221,2 bar-absolute.

H : Varmainnihald (enþalpía)
Leyfileg gildi eru frá og með -0,04209 og til og með 4158,748 kJ/kg.

Þetta forrit skilar rúmmálshluta gufu í blöndu vatns og gufu sem hefur varmainnihald (enþalpíu) H við þrýsting P.

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

2.6 Fallaskrá í stafrófsröð

Loks er hér skrá yfir öll föllin í safninu, í stafrófsröð. Þau föll, sem ekki eru ætluð til almennrar notkunar og einungis er kallað á af öðrum föllum í safninu, eru merkt með stjörnu (*).

* A_CAP(N)
* A_LC(N)
* BETA_3(TR,CHI)
* BETA_4(TR,CHI)
* BETA_K(TR)
* BETA_L(TR)
* B_CAP(M,N)
* B_LC(M,L)
* CHI_1(TR,BET)
* CHI_2(TR,BET)
* CHI_3(TR,BET)
* CHI_4(TR,BET)
COND(T,V)
COND_DP(T,V)
* C_CAP(M,N)
DEL_H(T)
DEL_H_DP(T)
* D_CAP(M,N)
* EPS_1(TR,BET)
* EPS_2(TR,BET)
* EPS_3(TR,CHI)
* EPS_4(TR,CHI)
ETA(T,V)
ETA_DP(T,V)
H(T,P,X)
H_DP(T,P,X)
H_LIQ(T)
H_LIQ_DP(T)
H_VAP(T)
H_VAP_DP(T)
* K_LC
P_SAT(T)
P_SAT_DP(T)
S(T,P,X)
* SIG_1(TR,BET)
* SIG_2(TR,BET)
* SIG_3(TR,CHI)
* SIG_4(TR,CHI)
S_DP(T,P,X)
S_LIQ(T)
S_LIQ_DP(T)
S_VAP(T)
S_VAP_DP(T)
T(P,H)
TENS(T)
TENS_DP(T)
T_DP(P,H)
T_SAT(P)
T_SAT_DP(P)
V(T,P,X)
V_DP(T,P,X)
V_LIQ(T)
V_LIQ_DP(T)
V_VAP(T)
V_VAP_DP(T)
XS(P,H)
XS_DP(P,H)
XS_S(P,S)
XS_S_DP(P,S)
XVOL(P,H)
XVOL_DP(P,H)

3 UPPBYGGING SAFNSINS

Undirforritum í safninu má skipta í fjóra flokka:

A. Föll, sem skila föstum.
B. Einingarlaus svæðaföll.
C. Gufutöfluföll í tvöfaldri nákvæmni.
D. Gufutöfluföll í einfaldri nákvæmni.

Skal þetta nú skýrt svolítið nánar og í sömu röð.

A. Þessi undirforrit eru harla einföld að gerð. Þau skila stuðlum, sem notaðir eru í hinum einingarlausu svæðaföllum, í tvöfaldri nákvæmni (REAL*8). Þau kalla ekki á önnur undirforrit. Mjög ólíklegt er, að almennir notendur sjái nokkru sinni ástæðu til að kalla beint á þessi forrit.

B. Í þessum flokki eru undirforrit, sem taka við einingarlausum gildum á hitastigi, þrýstingi og eðlisrúmmáli, og skila út einingarlausum gildum á varmainnihaldi, entrópíu og eðlisrúmmáli fyrir tiltekna hluta af fasalínuriti vatns og gufu. Þá er hér einnig að finna fall sem skilar einingarlausum mettunarþrýstingi. Tæplega er við því að búast, að venjulegir notendur safnisins kalli beint á þessi forrit, nema undir sérstökum kringumstæðum, t.d. ef það er heppilegt sökum nákvæmni reikninga, að gildi falla séu ekki mjög fjarri einum. Undirforrit í þessum flokki kalla sum hver á önnur. Þá kalla þau flest á föll í flokki A. Þessi föll eru öll í tvöfaldri nákvæmni (REAL*8).

C. Þessi föll eru ætluð til almennrar notkunar. Hér er um að ræða undirforrit í tvöfaldri nákvæmni (REAL*8). Inntaksbreytur þeirra eru hitastig, þrýstingur, varmainnihald, gufuhluti og eðlisrúmmál, eftir því sem við á. Þau skila varmafræðilegum gildum fyrir vatn og gufu, svo sem mettunarþrýstingi, mettunarhitastigi, varmainnihaldi (enþalpíu), eðlisrúmmáli, entrópíu, uppgufunarvarma og gufuhluta við suðu; einnig seigju (viskositeti), varmaleiðni og yfirborðsspennu. Undirforrit í þessum flokki kalla á undirforrit í flokki B. Einnig kalla sum á önnur föll í eigin flokki. Nöfn þessara forrita getur að líta hægra megin í skránni í kafla 2.5.

D. Þessi undirforrit eru einnig ætluð til almennrar notkunar. Þau skila sömu stærðum og föllin í flokki C, en í einfaldri nákvæmni (REAL*4). Gera má ráð fyrir, að þetta séu þau föll,

sem oftast verður kallað beint á úr forritum notenda, enda eru forrit oftast nær skrifuð í einfaldri nákvæmni. Ekki sparast þó tími eða tölvurými við það að nota föllin fremur í einfaldri nákvæmni en tvöfaldri. Er það vegna þess, að í þessum undirforritum er inntaksbreytum snúið úr einfaldri nákvæmni í tvöfalda, kallað á viðeigandi undirforrit úr flokki C, og reikningsniðurstöðu síðan breytt í einfalda nákvæmni. Föll í þessum flokki eru því einungis höfð með til þæginda fyrir notendur, og ástæðulaust að taka þau fram yfir föll úr flokki C af öðrum ástæðum. Undirforrit í flokki D kalla á samsvarandi föll í flokki C, en eru að öðru leyti óháð innbyrðis. Nöfn þessara forrita eru vinstra megin í skránni í kafla 2.5.

Hinum einstöku flokkum og föllum er lýst nánar í köflum 5 - 8 hér á eftir.

4 SVÆÐASKIPTING FASALÍNURITSINS

Til þess að gera verk sitt viðráðanlegra hafa höfundar gufutöflujafnanna skipt fasalínuriti vatns og gufu í fjögur svæði og gilda sínar jöfnurnar fyrir hvert. Svæðin takmarkast af hitastigi, T, og þrýstingi, P, sem hér segir:

Svæði 1 :	Psat(T)	$\leq$	P	$\leq$	1000 bar-a
	273,15 K	$\leq$	T	$\leq$	623,15 K
Svæði 2 :	0 bar-a	$\leq$	P	$\leq$	Psat(T)
	273,15 K	$\leq$	T	$\leq$	623,15 K
einnig	0 bar-a	$\leq$	P	$\leq$	P1(T)
	623,15 K	$<$	T	$<$	647,3 K
auk þess	0 bar-a	$\leq$	P	$\leq$	P1(T)
	647,30 K	$\leq$	T	$<$	863,15 K
og	0 bar-a	$\leq$	P	$\leq$	1000 bar-a
	863,15 K	$\leq$	T	$\leq$	1073,15 K
Svæði 3 :	P1(T)	$<$	P	$<$	Psat(T)
	623,15 K	$<$	T	$<$	647,3 K
einnig	P1(T)	$\leq$	P	$\leq$	1000 bar-a
	647,3 K	$\leq$	T	$<$	863,15 K
Svæði 4 :	Psat(T)	$<$	P	$\leq$	1000 bar-a
	623,15 K	$<$	T	$<$	647,3 K

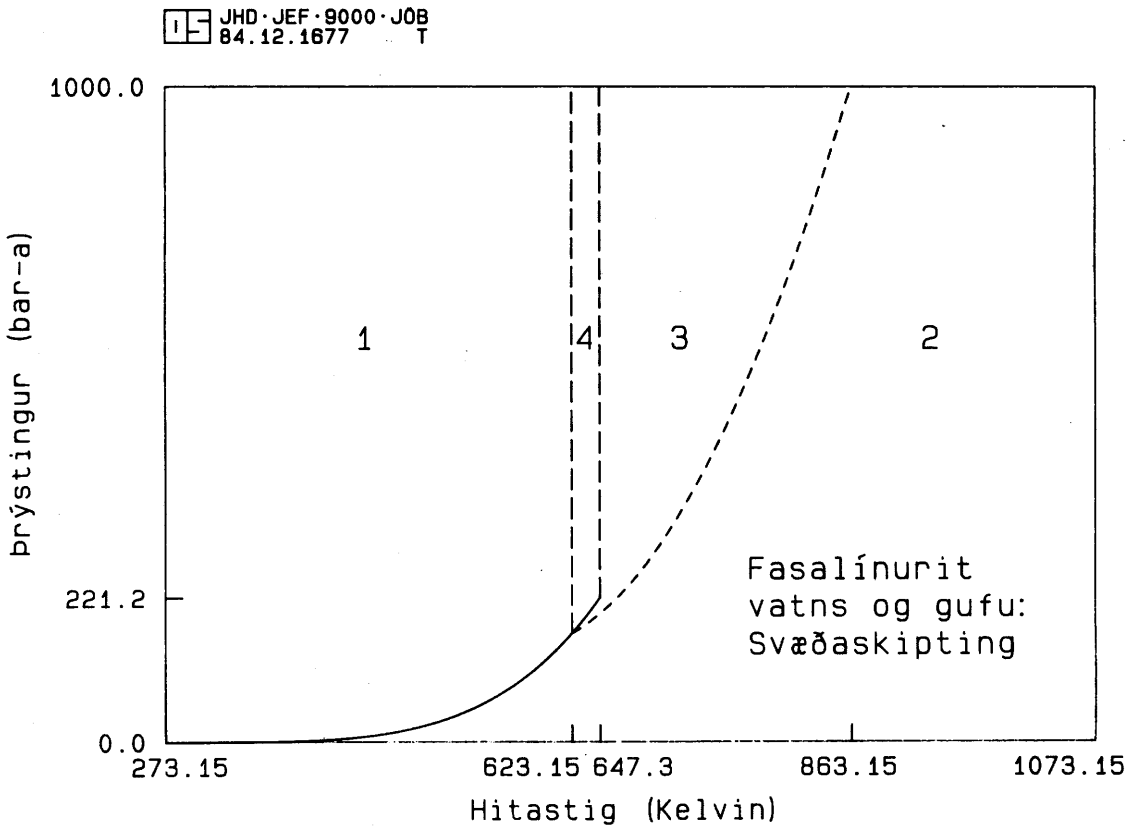
Á mettunarferlinum, P = Psat(T), gilda jöfnur svæða 1 og 4 fyrir vatn, en jöfnur svæða 2 og 3 fyrir gufu. Hér að ofan táknar P1 þrýstinginn á L-ferlinum svonefnda, en hann skilur svæði 2 og 3. Jafna ferilsins er

$$Pl(T) = 221,2\ (L0 + L1\ (T/647,3) + L2\ (T/647,3)^{**}2)$$

þar sem Pl er í bar-a, T í Kelvin, og

L0 = 15,74373327
L1 = -34,17061978
L2 = 19,31380707.

Til glöggvunar er svæðaskiptingin sýnd á mynd 1. Strikalínan með styttri strikunum er L-ferillinn, en mettunarferillinn er heildreginn.



Mynd 1. Fasalínurit vatns og gufu: Svæðaskipting.

5 FÖLL SEM SKILA FÖSTUM

Um þessi föll þarf ekki að fara mörgum orðum. Hvert þeirra inniheldur lista af stuðlum. Inntaksbreytur eru einfaldlega listanúmer þess stuðuls sem skilað er út. Föllin eru þessi:

```
A_CAP(N)
a_lc(N)
B_CAP(M,N)
b_lc(M,L)
C_CAP(M,N)
D_CAP(M,N)
k_lc(N)
```

A_CAP og a_lc skila stuðlum sem notaðir eru í einingarlausum föllum fyrir svæði nr. 1. Fallið A_CAP getur tekið 23 gildi sem samsvara stuðlunum A0 til A23 í gufutöflubókinni. Á sama hátt skilar a_lc gildum fyrir a1 til a12. (Ástæða þess að _lc og _CAP hefur verið hnýtt aftan við nöfnin er að sjálfsögðu sú, að FORTRAN gerir ekki greinarmun á stórum stöfum og litlum.) Föllin B_CAP og b_lc skila stuðlum fyrir svæði nr. 2., C_CAP fyrir svæði nr. 3, D_CAP fyrir nr. 4 og k_lc fyrir mettunarlínuna. Föllin eru öll í tvöfaldri nákvæmni (REAL*8), einnig k_lc. Á þessi undirforrit er kallað af hinum einingarlausu svæðaföllum, sem lýst er í næsta kafla. Ólíklegt er, að almennir notendur gufutöflusafnsins sjái nokkru sinni ástæðu til þess að kalla beint á nokkurt þessara sjö undirforrita.

6 EININGARLAUS SVÆÐAFÖLL

6.1 Almennt

Þessi undirforrit eru bakfiskur safnsins. Hvert undirforrit skilar út einingarlausum gildum á tiltekinni varmafræðilegri stærð á einhverju einu hinna fjögurra ofangreindra svæða fasalínuritsins. Þegar hér er rætt um einingarlaus gildi varmaeiginleika, er átt við að hitastigi hafi verið deilt með Tcl, þrýstingi með Pcl, eðlisrúmmáli með vcl, varmainnihaldi með pclvcl og entrópíu með Pclvcl/Tcl, þar sem Tcl, Pcl og vcl eru gildi hitastigs, þrýstings og eðlisrúmmáls við krítíska punktinn.

Einingarlausu svæðaföllin eru sextán að tölu, þessi:

CHI_1(TR,BET),	CHI_2(TR,BET),	CHI_3(TR,BET),	CHI_4(TR,BET),
EPS_1(TR,BET),	EPS_2(TR,BET),	EPS_3(TR,CHI),	EPS_4(TR,CHI),
SIG_1(TR,BET),	SIG_2(TR,BET),	SIG_3(TR,CHI),	SIG_4(TR,CHI),
		BETA_3(TR,CHI),	BETA_4(TR,CHI),

og

BETA_K(TR), BETA_L(TR).

Tölurnar í nöfnum undirforritanna gefa til kynna við hvaða svæði fasalínuritsins hvert fall á. Í nöfnum fallanna táknar CHI að um eðlisrúmmál sé að ræða, EPS varmainnihald, SIG entrópíu og BETA þrýsting. BETA_K skilar mettunarþrýstingi, en BETA_L þrýstingi á mörkum svæða 2 og 3. Raunar er BETA_L skilgreining á ferli þeim sem skilur svæði 2 og 3. Inntaksbreytur allra þessara falla eru einnig einingarlausar og táknar TR þar hitastig, BET þrýsting og CHI eðlisrúmmál. Flest þeirra kalla á eitt eða tvö af þeim undirforritum sem lýst var í kafla 5.

Fjórtán af þessum sextán undirforritum (þ.e. öll nema CHI_3 og CHI_4) eru þýðingar á jöfnum úr töflubókinni yfir á FORTRAN. Hvert undirforrit samsvarar einni jöfnu. Til þess að gera forritin læsilegri, hefur við samningu þeirra verið reynt að fylgja sem best uppsetningu jafnanna í töflubókinni. Þannig er t.d. ein lína í prentaðri jöfnu víðast hvar látin samsvara einum lið í forriti. Ætti því að vera auðvelt, fyrir þá sem áhuga hafa, að sjá hvar einstakir hlutar hinna ýmsu undirforrita eiga uppruna sinn.

Um föllin CHI_3 og CHI_4 gegnir dálítið öðru máli. Gufutöflubækur hafa

ekki að geyma neinar jöfnur fyrir þau. Hins vegar eru til jöfnur (og undirforrit), sem skila varmainnihaldi, entrópíu og þrýstingi, sem falli af hitastigi og eðlisrúmmáli, fyrir svæði 3 og 4. Nú eru hitastig og þrýstingur þær breytur, sem oftast eru notaðar sem óháðar breytur, enda þær sem oftast eru þekktar (gjarnan mældar). Er því óhjákvæmilegt að leysa þrýstingsjöfnurnar fyrir eðlisrúmmál. Vegna þess hve flóknar þær eru, er nauðsynlegt að leysa þær tölulega. Þetta er einmitt hlutverk undirforritanna CHI_3(TR,BET) og CHI_4(TR,BET) eins og lýst er hér að neðan.

6.2 CHI_3(TR,BET)

Í undirforriti þessu er fundin lausn fyrir CHI á jöfnunni

(6.2.1) BETA_3(TR,CHI) = BET (BET fasti)

á svæði 3. Með því að BETA_3 er ólínulegt fall af TR og CHI og nokkuð flókið að auki, er rétt að gera dálitla grein fyrir því hvernig undirforritið er hugsað og hvaða meðölum er beitt við lausn á jöfnunni.

Allmargar tölulegar aðferðir til lausnar á ólínulegum jöfnum eru þekktar. Sú einfaldasta er helmingunaraðferðin. Ef leysa á með henni jöfnuna

$$F(X) = C \qquad (C \text{ fasti})$$

á bilinu $A \leq X \leq B$, þar sem F(X) er eitthvert fall, er bilið fyrst helmingað og síðan fundið á hvorum helmingnum F(X)-C skiptir um formerki. Þessi helmingur er síðan helmingaður aftur og athugað hvoru megin lausnin liggur, og svo koll af kolli uns tiltekinni nákvæmni er náð. Þótt þessi aðferð dugi þar sem margar aðrar bregðast, hefur hún þann ókost að vera seinvirk. Þegar um er að ræða jöfnur sem leysa þarf oft fyrir mismunandi gildi á C, er því ómaksins vert að leita að fljótvirkari aðferð.

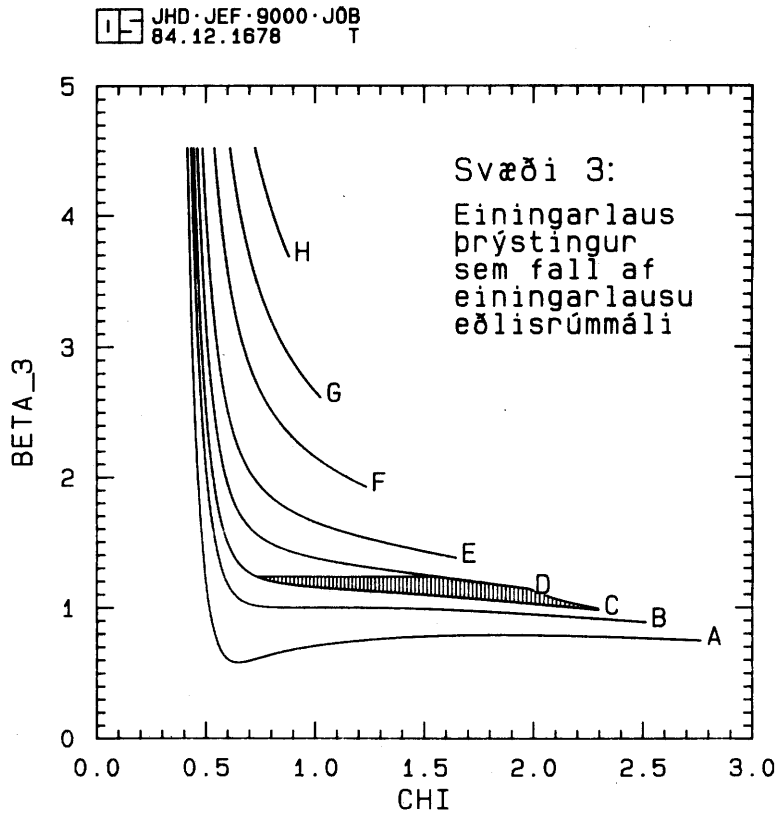
Svonefnd Newton-Raphson ítrekun er ákaflega fljótvirk og hentug þar sem hún á við. Henni eru gerð góð skil í flestöllum bókum um tölulega greiningu (sjá t.d. Kunz (1957), Hildebrand (1974) eða Conte & de Boor (1980)) og því ekki ástæða til að lýsa henni hér. Þó verður að taka fram, að til þess að tryggt sé að aðferðin dugi verða stærðirnar

$$F(X) - C \qquad \text{og} \qquad F``(X),$$

þar sem `` táknar tvídiffrun, að hafa sama formerki. Ef nota á Newton-Raphson aðferðina til þess að leysa jöfnu (6.2.1) fyrir CHI,

verður því fyrst að ganga úr skugga um að þessu skilyrði sé fullnægt. Þegar það er gert er nauðsynlegt að hafa í huga forskriftina í töflubókinni, en hún mælir svo fyrir, að hafi jafna (6.2.1) fleiri lausnir en eina, skuli hin stærsta valin.

Mynd 2 sýnir BETA_3 sem fall af CHI fyrir nokkur mismunandi gildi á TR. Neðsti ferillinn, A, er jafnhitalínan við 623,15K, en þar eru lághitamörk svæðis 3, þótt reyndar liggi aðeins einn punktur þessa ferils innan svæðis 3, eins og síðar verður sagt frá. Næsti ferill, B, er krítíska jafnhitalínan, 647,3K. Hinir ferlarnir, C,D,E,F,G og H svara, í sömu röð, til 660K, 678K, 700K, 740K, 780K og 830K. Hægri mörk allra jafnhitalínanna ákvarðast af einingarlausu eðlisrúmmáli á L-ferlinum, sem aðskilur svæði 2 og 3 (sjá kafla 4). Þessa stærð má finna með því að setja BETA_L(TR) inn fyrir BET í fallinu CHI_2(TR,BET). Vinstra megin ákvarðast ferlarnir af háþrýstingsjaðri fasalínuritsins, 1000 bar-a (BETA_3 = 4,5208). Þessi vinstri mörk eru eðlileg fyrir krítísku jafnhitalínuna og ferlana þar fyrir ofan, og samsvara þau mörkum svæðis 3. Um jafnhitalínur neðan við krítískt hitastig gegnir dálítið öðru máli eins og síðar verður vikið að.



Mynd 2. Svæði 3: Einingarlaus þrýstingur sem fall af einingarlausu eðlisrúmmáli. Hitastig eru sem hér segir:
A: 623,15 K, B: 647,3 K, C: 660 K, D: 678 K,
E: 700 K, F: 740 K, G: 780 K, H: 830 K.

Vegna eiginleika fallsins BETA_3 er aðferðin við lausn jöfnu (6.2.1) ekki hin sama alls staðar á svæði 3, heldur er um fimm tilvik að ræða. Skal nú gerð grein fyrir hverju þeirra um sig.

Tilvik 1.: $T > 678K$

Ofan við 678K (feril D á mynd 2) er önnur afleiða af BETA_3(TR,CHI) með tilliti til CHI alls staðar > 0. Hér dugar því Newton-Raphson nálgunin, sé ítrekun hafin við minnsta gildi á CHI (lengst til vinstri).

Tilvik 2.: $660K \leq T \leq 678K$ og $P > 270$ bar-a

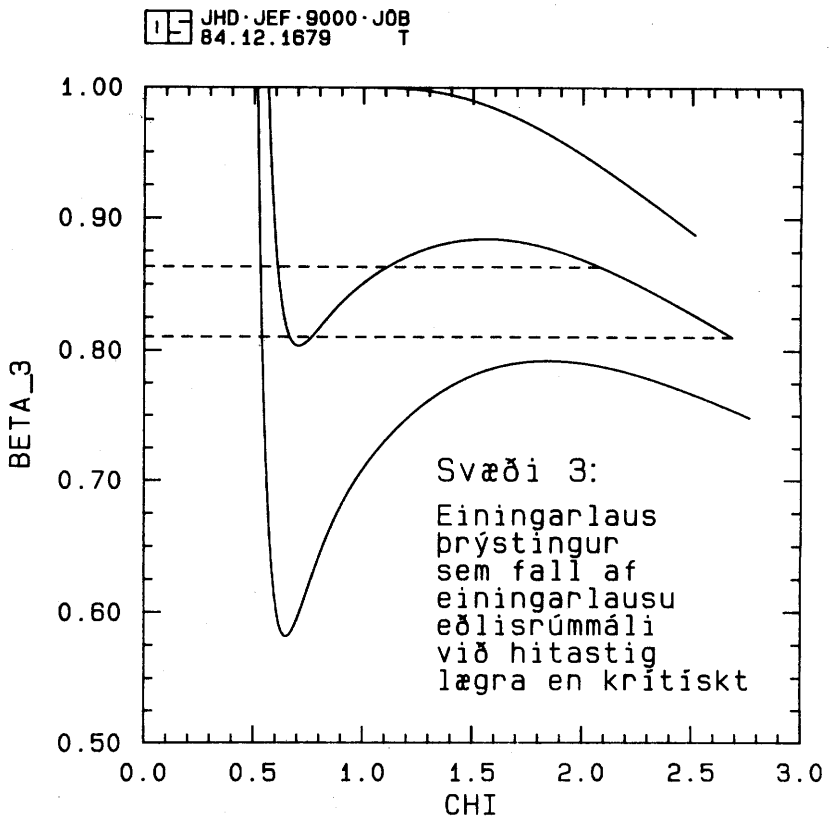
Á hitastigsbilinu frá 660K til 678 K (milli ferla C og D á mynd 2) en ofan við 270 bar-a þrýsting (BETA_3 = 1,2206), þ.e. ofan við skyggða svæðið á mynd 2, er önnur afleiðan af BETA_3(TR,CHI) með tilliti til CHI einnig > 0 og beita má Newton-Raphson ítrekun ef byrjað er við minnsta gildi á CHI.

Tilvik 3.: $660K \leq T \leq 678K$ og $P \leq 270$ bar-a

Milli 660K og 678K, en neðan við 270 bar-a (BETA_3 = 1,2206), þ.e. á skyggða svæðinu á mynd 2, hefur BETA_3 víða tvo vendipunkta (beygjuskil) þótt ekki sjáist af mynd 2. Undir slíkum kringumstæðum er Newton-Raphson ítrekun ekki treystandi. Á þessu svæði er því notuð helmingunaraðferðin sem áður var minnst á.

Tilvik 4.: $647,3K \leq T < 660K$

Á milli krítíska hitastigsins og 660K hefur BETA_3 einn vendipunkt og breytist lega hans með hitastigi. Hægra megin við punktinn er önnur afleiðan af BETA_3 neikvæð, en jákvæð vinstra megin. Til þess að koma við Newton-Raphson ítrekun er því farið að sem hér segir. Ítrekun er hafin lengst til hægri, við stærsta gildi á CHI. Sé þrýstingur sá, sem vendipunkturinn samsvarar, hærri en BET, liggur lausnin hægra megin við vendipunktinn og skilyrði þess, að ítrekun dugi, eru uppfyllt. Liggi BET hins vegar ofan við vendipunktinn getur farið svo, að ítrekun verði ekki samleitin heldur bendi hún á gildi sem er minna en minnsta leyfilega gildi á CHI. Þegar slíkt hendir er ítrekun einfaldlega hafin að nýju, en í þetta skiptið er byrjað við vinstri mörk ferils (minnsta gildi á CHI). Þá er önnur afleiða BETA_3 jákvæð og BETA_3(TR,CHI) - BET >0 sömuleiðis, svo ítrekunarskilyrðunum er fullnægt.



Mynd 3. Svæði 3: Einingarlaus þrýstingur sem fall af einingarlausu eðlisrúmmáli við hitastig lægra en krítískt.
Hitastig eru: Neðsti ferill, 623,15 K, miðferill 635 K, efsti ferill, 647,3 K (krítíska jafnhitalínan).

Tilvik 5.: $T < 647,3K$

Sé hitastigið lægra en krítískt verður málið svolítið flóknara og er mynd 3 ætluð til glöggvunar. Hún nær aðeins yfir hluta af því svæði sem mynd 2 spannar og er í miklu fínni skala. Neðsti ferillinn á mynd 3 er jafnhitalínan við 623,15K (samsvarar A á mynd 2), en sá efsti er krítíska jafnhitalínan (B á mynd 2). Miðferillinn samsvarar 635K. Hann er dæmigerður fyrir alla þá ferla sem liggja milli hinna tveggja, sem hafa sérstöðu. Allar jafnhitalínurnar neðan við þá krítísku hafa hágildi , lággildi og vendipunkt (beygjuskil) á milli. Með hækkandi hitastigi jafnast hæðin og lægðin út og vendipunkturinn færist. Við krítíska hitastigið eru lággildið og hágildið horfin, en eftir er einn vendipunktur.

Við hitastig lægra en krítískt afmarkast jafnhitalínurnar hægra megin af einingarlausu eðlisrúmmáli á L-ferlinum, svo sem við hin hærri hitastig. Þetta eru eðlileg mörk, eins og áður kom fram, því L-ferillinn er einmitt einn jaðra svæðis 3. Háþrýstingsjaðar fasa-

línuritsins, 1000 bar-a, myndar hins vegar alls ekki eðlileg vinstri mörk jafnhitalína neðan við krítíska hitastigið, enda þótt myndir 2 og 3 gefi slíkt í skyn. Ástæðan er sú að svæði 3 afmarkast á þessu hitastigsbili af mettunarþrýstingi að ofan og er þetta í samræmi við skilgreininguna á svæðaskiptingu fasalínuritsins (kafli 4 og mynd 1). Af þessu leiðir að jafnhitalínur þær sem dregnar eru á mynd 3 liggja ekki nema að nokkru leyti innan svæðis 3. Krítíska jafnhitalínan liggur að vísu öll innan svæðisins, en öðru máli gegnir um hinar sem lægra hitastigi samsvara.

Sem dæmi má taka 635K jafnhitalínuna (miðferilinn á mynd 3). Efri strikalínan á myndinni sýnir mettunarþrýsting við 635K, en sú neðri þrýsting á L-ferlinum við sama hitastig. Það eru því aðeins þeir þrír bútar jafnhitaferilsins, sem falla á milli strikalínanna, sem í raun liggja á svæði 3. Mest er bilið á milli mettunarþrýstings og þrýstings á L-ferlinum við krítíska hitastigið. Þar myndu strikalínurnar spanna allt það sem sést af krítísku jafnhitalínunni á mynd 3. Með lækkandi hitastigi færast strikalínurnar neðar á grafið og nálgast hvor aðra um leið, unz þær falla saman við 623,15K, þar sem L-ferillinn sker mettunarferilinn.

Augljóst er, að í tilfellum eins og því sem miðferillinn á mynd 3 sýnir, hefur jafna (6.2.1) þrjár lausnir fyrir CHI á svæði 3. Eins og áður kom fram, mæla leiðbeiningarnar sem fylgja gufutöflujöfnunum svo fyrir, að stærsta lausnin skuli valin þegar svona stendur á. Nú er hámarkið á jafnhitalínunum neðan við 647,3K ávallt hærra en samsvarandi mettunarþrýstingur og er því nóg að leita lausnar á jöfnunni hægra megin við hámarkið. Með því að tvídiffra BETA_3 (tölulega) má sannreyna að á þessum hluta ferilsins er önnur afleiðan með tilliti til CHI ávallt < 0. Til þess að tryggja það, að skilyrði Newton-Raphson ítrekunar séu uppfyllt er því nægilegt (og nauðsynlegt) í þessu tilviki að byrja ítrekun yst til hægri á jafnhitalínu, á mörkum svæðis 2.

Þess má að lokum geta, að þar sem Newton-Raphson aðferðinni verður við komið í þessu undirforriti þarf einungis 5-10 ítrekanir til að uppfylla þá samleitnikröfu sem gerð er (ca. 10**(-10)). Á blettinum þar sem helmingunaraðferðin er notuð duga hins vegar ekki færri en liðlega 30.

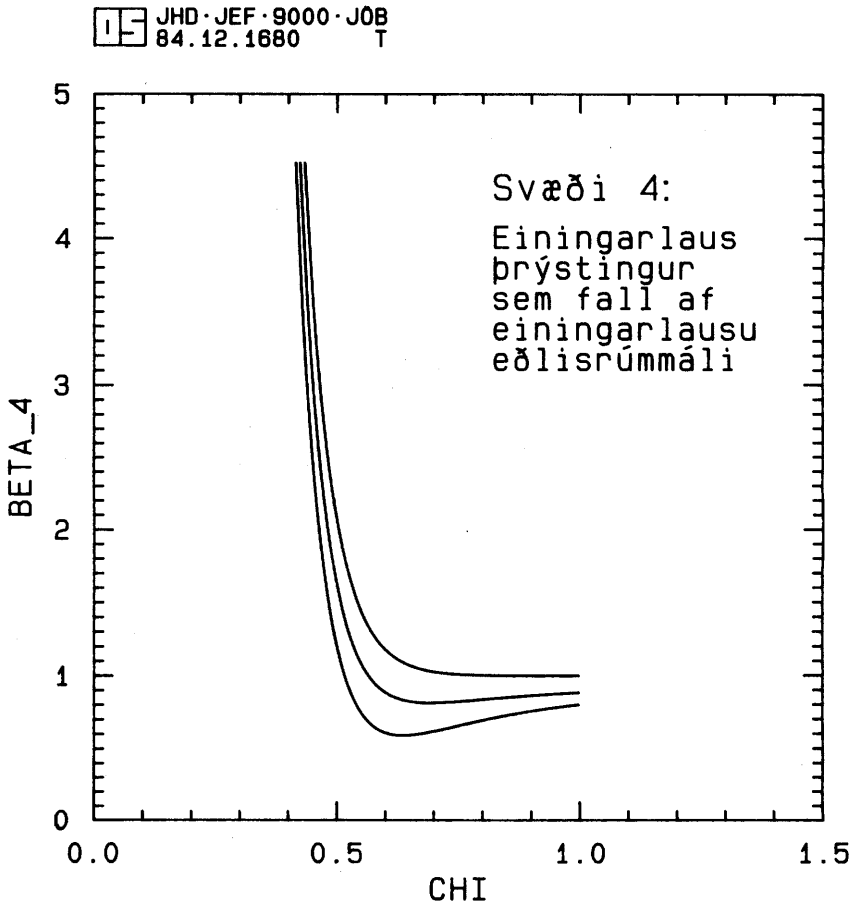
6.3 CHI_4(TR,BET)

Þetta undirforrit finnur lausn fyrir CHI á jöfnunni

BETA_4(TR,CHI) = BET (BET fasti)

á svæði 4. Á mynd 4 er BETA_4 dregið sem fall af CHI fyrir þrjú mismunandi gildi á TR.

Við 623,15K (neðsti ferillinn) hefur BETA_4 lággildi. Það grynnist, ef svo má að orði komast, eftir því sem hitastig hækkar (ferillinn í miðið), og hverfur þegar krítísku hitastigi er náð (efsti ferillinn). Jafnan hér að ofan getur því augljóslega haft tvær lausnir á svæði 4. Samkvæmt forskrift í gufutöflubókinni skal, á svæði 4, minni lausnin valin þegar svona er ástatt. Lausnin liggur þá vinstra megin við lággildið.



Mynd 4. Svæði 4: Einingarlaus þrýstingur sem fall af einingarlausu eðlisrúmmáli. Hitastig eru sem hér segir: Neðsti ferill, 623,15 K; miðferill, 635 K; efsti ferill, 647,3 K (krítíska jafnhitalínan).

Með því að tvídiffra BETA_4 (tölulega) með tilliti til CHI, má sýna fram á að önnur afleiðan er > 0 alls staðar þar sem lausnar skal leitað. Þannig má alltaf nota Newton-Raphson ítrekun (sbr. kaflann hér á undan) til þess að leysa jöfnuna, sé þess einungis gætt að byrja ítrekun við minnsta gildi á CHI (lengst til vinstri).

Samleitnikrafan, 10**(-10), er að jafnaði uppfyllt eftir 5 til 12 skref ítrekunar.

7 VARMAEIGINLEIKAFÖLL Í TVÖFALDRI NÁKVÆMNI

7.1 Almennt

Þessi flokkur undirforrita er annar þeirra sem ætlaðir eru til almennrar notkunar; frá hinum er sagt í kafla 8. Inntaksbreytur undirforrita þessara eru stærðir svo sem hitastig og þrýstingur. Þau skila út samsvarandi gildum varmaeiginleika, t.d. eðlisrúmmáls, varmainnihalds og entrópíu. Sum undirforritanna eru ætluð til notkunar á mettunarlínunni eingöngu, en gildissvið annarra er allt fasalínuritið frá og með 273,15K (0°C) til og með 1073,15K (800°C) og frá og með 0,001 bar-absolute og til og með 1000 bar-a.

Í safninu eru notaðar SI-einingar svo og margfeldi af þeim og veldum af 10 (t.d. bar og kJ). Hitastig er alls staðar í Kelvin. Núllpunktur entrópíu er valinn sem entrópía vatns við þrípunktinn (273,16 K eða 0,01°C). Núllpunktur Gibbs orku er valinn eins. Af þessu leiðir að núllpunktur varmainnihalds (enþalpíu) er einnig varmainnihald vatns við þrípunktinn. Aðrir núllpunktar eru sjálfgefnir.

Undirforrit þessi vinna sem hér segir. Fyrst er athugað hvort gildi inntaksbreyta sé innan leyfilegra marka. Ef svo er ekki, er fallgildið sett núll og tilkynning um það send út á skjáinn. Sé inntaksgildið hins vegar lögmætt, er fundið á hvaða svæði fasalínuritsins það liggur. Síðan er viðeigandi svæðisfall notað til að reikna út gildi og því breytt í SI-einingar. Þannig þarf notandinn einungis að gæta þess að gildi inntaksbreyta sé innan leyfilegra marka, en engar áhyggjur að hafa af því hvaða svæðisfall skuli nota í það og það skiptið.

Varmaeiginleikaföllin í tvöfaldri nákvæmni eru þessi:

P_SAT_DP(T)
T_SAT_DP(P)
H_VAP_DP(T)
H_LIQ_DP(T)
DEL_H_DP(T)
S_VAP_DP(T)
S_LIQ_DP(T)
V_VAP_DP(T)
V_LIQ_DP(T)
TENS_DP(T)

H_DP(T,P,X)
S_DP(T,P,X)
V_DP(T,P,X)
ETA_DP(T,V)
COND_DP(T,V)
T_DP(P,H)

XS_DP(P,H)
XS_S_DP(P,S)
XVOL_DP(P,H)

Viðskeytið _DP ("double precision") í nöfnum þessara falla gefur til kynna að þau séu í tvöfaldri nákvæmni.

Athugum nú fyrst föllin í vinstra dálki. Gildissvið þeirra er mettunarlínan. Inntaksbreyta undirforrits þess sem skilar mettunarhitastigi, T_SAT_DP, er þrýstingur, P, en leyfileg gildi hans eru bar-absolute frá og með 0,006108 og til og með 221,2. Þessi mörk samsvara að sjálfsögðu mettunarþrýstingi við frostmark og við krítíska punktinn.

Inntaksbreyta hinna fallanna í þessum dálki, T, táknar hitastig í Kelvin og eru leyfileg gildi frá og með frostmarki, 273,15, og til og með krítísku hitastigi, 647,3. Föllin H_VAP_DP, S_VAP_DP og V_VAP_DP skila, í sömu röð, varmainnihaldi (enþalpíu) í kJ/kg, entrópíu í kJ/(kg*K) og eðlisrúmmáli í m3/kg, fyrir mettaða gufu. H_LIQ_DP, S_LIQ_DP og V_LIQ_DP skila sömu stærðum fyrir mettað vatn. Til þæginda er uppgufunarvarminn DEL_H_DP hafður með sem sérstakt fall, enda þótt hann sé aðeins mismunur H_VAP_DP og H_LIQ_DP. Þá eru ótalin tvö föll og skilar hið fyrra, P_SAT_DP, mettunarþrýstingi í bar-a. Undirforritið TENS_DP skilar hins vegar yfirborðsspennu vatns í N/m.

Ég hygg, að téð undirforrit skýri sig að öðru leyti sjálf, en rétt er þó að geta þess, að í T_SAT_DP(P) er mettunarhitastig fundið með því að leysa jöfnuna P_SAT_DP(T) = P fyrir T. Er þá notuð Newton-Raphson ítrekun og byrjað við krítíska punktinn.

Gildissvið efstu sex fallanna í hægri dálknum hér að ofan er allt fasalínuritið. Leyfileg gildi fyrir hitastigið, T, í þeim fimm af þessum sex föllum, sem það er inntaksbreyta í, eru þannig frá 273,15K til 1073,15K, að báðum meðtöldum. Fyrir þrýsting, P, er gildissviðið frá og með 0,001 bar-a og til og með 1000 bar-a, en þrýstingur er inntaksbreyta í fjórum af þessum föllum. Neðri mörk eðlisrúmmáls, V, sem er inntaksbreyta tveggja falla, eru 0,0009564 m3/kg, en þetta gildi samsvarar eðlisrúmmáli við 273,15K og 1000 bar-a. Efri mörkin eru eðlisrúmmálið við 0,001 bar-a og 1073,15K, eða 4952,694 m3/kg.

Föllin H_DP(T,P,X), S_DP(T,P,X) og V_DP(T,P,X) skila varmainnihaldi í kJ/kg, entrópíu í kJ/(kg*K) og eðlisrúmmáli í m3/kg, hvar sem er á fasalínuritinu innan ofangreindra marka. Falli punkturinn (T,P) á mettunarlínuna, þ.e. sé skilyrðinu P = P_SAT_DP(T) fullnægt, táknar X gufuhluta og eru leyfileg gildi að sjálfsögðu frá 0 til 1 að báðum meðtöldum. Falli (T,P) utan við mettunarlínuna, er breytan X ekki notuð og skiptir gildi hennar þá engu máli.

Það kann að vekja furðu, að í sumum föllum hafa neðri mörk þrýstings verið valin 0,001 bar-a enda þótt gufutöflujöfnurnar gildi niður að 0

bar-a. Ástæða þessa er einföld. Við lágan þrýsting breytist rúmmál í hlutfalli við 1/P og entrópía í hlutfalli við log(1/P). Það er því nauðsynlegt að setja neðri mörk P svolítið hærri en 0 til þess að koma í veg fyrir að reiknað rúmmál og reiknuð entrópía vaxi upp úr öllu valdi í föllunum V_DP(T,P,X) og S_DP(T,P,X). Í H_DP(T,P,X) hafa mörkin verið sett eins til samræmis, þó að þar sé vandamálið ekki fyrir hendi.

Undirforritið ETA_DP(T,V) reiknar seigju (viskositet) vatns og gufu í 0,01*g/(s*cm) (centipoise), en COND_DP(T,V) skilar varmaleiðni í W/(K*m). Sé V ekki þekkt má auðveldlega finna það með V_DP(T,P,X). Í töflubókinni er ekki að finna mjög ítarlegar töflur yfir seigju og varmaleiðni, heldur einungis svokallaðar rammatöflur með óvissumörkum. Gildi þau sem ETA_DP(T,V) og COND_DP(T,V) skila eru nærri því öll innan gefinna óvissumarka, flest langt innan þeirra. Fáein eru þó rétt utan marka, og eru þau gildi öll svolítið ofan við krítískan þrýsting og krítískt hitastig.

Undirforritið T_DP(P,H) finnur hitastig vatns eða gufu sem hefur varmainnihald H (kJ/kg) við þrýsting P (bar-a). Þetta er gert á þann hátt að jafnan H = H_DP(T,P,X) er leyst fyrir T og ræðst það af gildi inntaksbreyta hvaða aðferð er beitt við lausnina hverju sinni. Með því að ekki er endilega augljóst hvernig aðferðirnar eru valdar, er rétt að gefa ýtarlegri lýsingu á T_DP(P,H). Er það gert í samnefndum kafla hér á eftir.

Enn er eftir að nefna þrjú föll. XS_DP(P,H) finnur gufuhluta (þ.e. hinn venjulega massahluta gufu í blöndu vatns og gufu) í vökva með varmainnihald H við þrýsting P. Fallið XVOL_DP(P,H) skilar hins vegar rúmmálshluta gufu undir sömu kringumstæðum. Mörk varmainnihalds, H, í þessum föllum eru ýtrustu gildi á fasalínuritinu, þ.e. varmainnihald við 1073,15K og 0,001 bar-a, eða 4158,748 kJ/kg, annars vegar, og við 273,15K og 0,001 bar-a, eða -0,04209 kJ/kg, hins vegar. Undirforritið XS_S_DP(P,S) er frábrugðið XS_DP(P,H) í því einu að gufuhluti (massahluti) er reiknaður út frá entrópíu, S, en ekki varmainnihaldi. Mörk entrópíunnar eru -0,006689168 kJ/(kg*K) og 12,75379 kJ/(kg*K). Leyfileg gildi þrýstingsbreytunnar, P, eru á hinn bóginn frá og með 0,006108 bar-a og til og með 221,2 bar-a í öllum þremur föllunum. Efri þrýstingsmörkin eru til komin vegna þess að ofan við krítíska punktinn er aðeins um einn fasa að ræða. Þar hefur hugtakið gufuhluti því enga merkingu.

Undirforritin í þessum flokki eru öll í tvöfaldri nákvæmni (REAL*8). Færslurnar í gufutöflunum hafa að vísu hvergi fleiri markverða stafi en sex og sýnast því ekki bjóða upp á meiri nákvæmni en REAL*4. En gufutöflujöfnurnar gefa hins vegar tilefni til tvöfaldrar nákvæmni,

enda eru föllin, sem skila föstum, og einingarlausu svæðaföllin, sem lýst var í köflunum hér að framan, öll skrifuð í REAL*8. Í mörgum tilvikum getur það verið æskilegt eða jafnvel nauðsynlegt vegna samleitni að framkvæma reikninga í tvöfaldri nákvæmni og er það ástæðan fyrir tilvist þessa flokks undirforrita.

Enda þótt neðri mörk hitastigs í föllum þessa flokks hafi verið sögð 273,15K, er í forritunum notuð talan 273,149. Þá er þar einnig að finna 1073,151 í stað 1073,15 og 0,00610799 í stað 0,006108. Ástæðan er sem hér segir. Kallað er á undirforritin, sem lýst hefur verið í þessum kafla, af öðrum undirforritum, í einfaldri nákvæmni (kafli 8). Þegar tölunni 273,15 er snúið úr REAL*8 yfir í REAL*4 kemur út tala sem er örlítið minni en 273,15. Til þess að geta haldið mörkunum 273,15 í REAL*4 föllunum er því nauðsynlegt að rýmka REAL*8 mörkin svolítið. Svipað er að segja um 1073,15 og 0,006108, en þær tölur hækka svolítið við að snúast í REAL*8. Aðrar tölur sem setja inntaksbreytunum mörk breytast ekki við snúning úr REAL*4 í REAL*8 ellegar falla réttu megin við gefin mörk.

7.2 T_DP(P,H)

Þetta undirforrit finnur og skilar út hitastigi (í K) vatns eða gufu, sem hefur varmainnihald H (kJ/kg) við þrýsting P (bar-a), eins og þegar hefur komið fram. Þetta er gert með því að leysa jöfnuna

(7.2.1) $\qquad H = H\_DP(T,P,X)$

fyrir T. Gildi inntaksbreyta ráða því hvaða aðferð er notuð við lausnina. Vegna tölulegra eiginleika H_DP henta hinar ýmsu aðferðir ekki alls staðar jafn vel.

Auk Newton-Raphson ítrekunar og helmingunaraðferðar, sem lýst var í kaflanum um CHI_3(TR,BET) (kafla 6.2), er í þessu undirforriti einnig notuð fastapunktsítrekun (fixed point iteration, method of successive substitutions, sjá t.d. Kunz (1957), Conte & de Boor (1980), eða Hildebrand (1974)). Þessi aðferð byggist á því að jafnan sem leysa skal,

$$f(Z) = 0$$

er skrifuð á forminu

$$h(Z) = g(Z)$$

eða öllu heldur sem hneppið

$$Y = g(Z)$$
$$Y = h(Z).$$

Lausnin sem finna skal er augljóslega láhnit skurðpunkts þessara falla. Til þess að aðferðin dugi verður, í fyrsta lagi, að vera unnt að leysa seinni jöfnuna nákvæmlega:

$$Z = H(Y).$$

Í öðru lagi verður tölugildi afleiðunnar af h(Z), í og nálægt skurðpunktinum, að vera minna, helst miklu minna, en tölugildi afleiðunnar af g(Z). Sé þessum skilyrðum fullnægt má velja hæfilegt upphafsgildi, ZO, reikna síðan

$$YO = g(ZO)$$

nota þetta gildi til þess að finna nýtt gildi á Z,

$$Z1 = H(YO),$$

reikna svo nýtt gildi á Y,

$$Y1 = g(Z1),$$

og svo koll af kolli

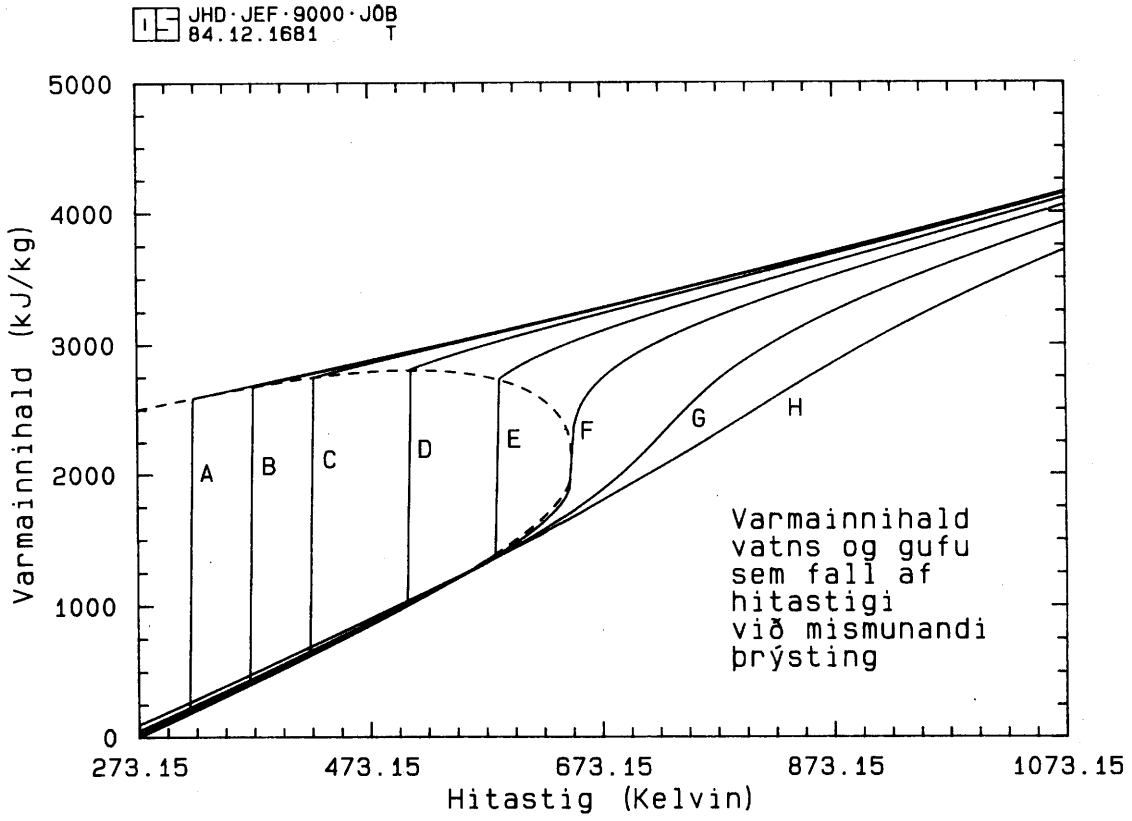
$$Zn = H(Yn-1) \qquad Yn = g(Zn),$$

uns einhver tiltekin samleitnikrafa er uppfyllt.

Hér að neðan er gerð stuttlega grein fyrir því hvernig undirforritið vinnur og því hvaða aðferðir eru notaðar til að leysa jöfnu (7.2.1) við hin ýmsu gildi H og P. Til glöggvunar við lestur lýsingarinnar er gott að hafa mynd 5 til hliðsjónar, en hún sýnir varmainnihald vatns og gufu sem fall af hitastigi við mismunandi gildi þrýstings. Heildregnu ferlarnir eru jafnþrýstilínur, en strikaferillinn afmarkar tveggja fasa svæðið.

Hið fyrsta sem undirforritið gerir er að kanna hvort gildi inntaksbreytanna séu innan leyfilegra marka. Mörk P eru 0,001 bar-a og 1000 bar-a eins og þegar hefur komið fram, en mörk H eru háð þrýstingi. Neðri mörk H eru þannig varmainnihald vatns við hitastigið 273,15K og þrýstinginn Pm bar-a, og eru auðfundin í hverju tilviki sem H_DP(273.15,Pm,0.). Efri mörk varmainnihalds, við 1073,15K og Pm bar-a, eru fundin á svipaðan hátt.

Reynist inntaksgildin lögmæt, er hafin leit að lausn á jöfnu (7.2.1) og er það undir inntaksgildunum komið hvaða aðferð er valin. Um níu tilvik er að ræða og verður nú gerð grein fyrir hverju þeirra um sig. Í þessari umfjöllun táknar TS mettunarhitastig við þrýsting P, HL varmainnihald mettaðs vatns, og HV varmainnihald mettaðrar gufu, við sama þrýsting. Varmainnihald við 273,15K og þrýsting P verður táknað með HBOT, en varmainnihald við 1073,15K og þrýsting P með HTOP.



Mynd 5: Varmainnihald vatns og gufu sem fall af hitastigi við mismunandi þrýsting. Gildi þrýstings eru sem hér segir:
A: 0,1 bar-a, B: 1 bar-a, C: 5 bar-a, D: 30 bar-a,
E: 100 bar-a, F: 221,2 bar-a G: 500 bar-a H: 1000 bar-a

Tilvik 1.: $0{,}001 \text{ bar-a} \leq P < 221{,}2 \text{ bar-a}$ og $HL \leq H \leq HV$

Þetta er tveggja fasa svæðið, sem afmarkast af strikalínunni á mynd 5.

Fundið er það mettunarhitastig, sem samsvarar P. Síðan er HL reiknað við þetta hitastig, svo og HV. Falli H á milli HL og HV, eða sé H jafnt HL eða HV, er leitinni lokið og mettunarhitastiginu er skilað út.

Tilvik 2.: $0{,}001 \text{ bar-a} \leq P < 221{,}2 \text{ bar-a}$ og $H < HL$ og $H < 1500$ kJ/kg

Á þessu svæði leynast víða vendipunktar þótt ekki sé það augljóst af mynd 5, og er Newton-Raphson ítrekun þess vegna ekki treystandi. Hér er því gripið til fastapunktsítrekunar og h(T) valin -m(T-273,15) þar sem m er hallatala línu sem dregin er í gegnum punktana (273,15;HBOT) og (TS;HL). Með þessu vali næst það að hallatala fallsins g(T) = H_DP(T,P,X) - H + h(T) verður mjög lítil og samleitni því hröð. Ítrekun er hafin við 273,15 K og verður hún víðast hvar samleitin í 6 til 12 skrefum, en nálægt efri mörkum svæðisins getur þurft 20 skref. Samleitnikrafan hljóðar upp á 10**(-8) Kelvin.

Tilvik 3.: $0{,}001 \text{ bar-a} \leq P < 221{,}2 \text{ bar-a}$ og $H < HL$ og $H \geq 1500$ kJ/kg

Hér er önnur afleiðan af H_DP (T,P,0.) með tilliti til T ávallt > 0. Skilyrðum Newton-Raphson ítrekunar er því fullnægt ef ítrekun er hafin við TS. Til samleitni nægja 5 til 7 skref.

Tilvik 4.: $0{,}001 \text{ bar-a} \leq P \leq 30 \text{ bar-a}$ og $H > HV$

Á þessu bili eru víða vendipunktar (beygjuskil). Hér er því notuð fastapunktsítrekun með h(T) = -m(T-TS), þar sem m = (HTOP - HV)/(1073,15 - TS). Ítrekun er hafin við T = 1073,15 K og er hún langoftast samleitin í 8 til 12 skrefum.

Tilvik 5.: 30 bar-a < P < 221,2 bar-a
og H > HV
og H < 3350 kJ/kg

Á þessu svæði er önnur afleiðan af H_DP (T,P,l.) með tilliti til T ávallt < 0. Skilyrði Newton-Raphson aðferðarinnar má uppfylla með því að byrja við TS. Samleitni næst í 5 til 7 þrepum.

Tilvik 6.: 30 bar-a < P < 221,2 bar-a
og H > HV
og H ≥ 3350 kJ/kg

Einnig hér finnast vendipunktar, og valin er fastapunktsítrekun með h(T) = -m(T-TS) og m = (HTOP-HV)/(1073,15-TS). Ítrekun er hafin við 1073,15 K og samleitni næst oftast í 10 til 20 skrefum.

Tilvik 7.: 221,2 bar-a ≤ P ≤ 1000 bar-a
og H < 1500 kJ/kg

Aftur er notuð fastapunktsítrekun, með h(T) = -m(T-273,15) og m = (1235-HBOT)/280. Ítrekun er hafin við 273,15 K, en samleitnikröfunni, 10**(-8) K, er yfirleitt fullnægt í 7 til 15 skrefum.

Tilvik 8.: 221,2 bar-a ≤ P ≤ 1000 bar-a
og H > HEDGE(P)

Fallið HEDGE(P) skilar varmainnihaldi sem nærri lætur að samsvari 873 K við þrýsting P. Fall þetta þjónar þeim tilgangi einum að setja mörkin milli tilvika 8 og 9. Enn er hér gripið til fastapunktsítrekunar og næst samleitni í u.þ.b. 9 til 14 skrefum, en byrjað er við 1073,15 K.

Tilvik 9.: 221,2 bar-a ≤ P ≤ 1000 bar-a
1500 kJ/kg ≤ H ≤ HEDGE(P)

Um skýringar á HEDGE(P) vísast til tilviks 8. Á þessu svæði bregst Newton-Raphson ítrekun, en vegna þess hve ört fyrsta afleiðan af H_DP(T,P,l.) með tilliti til T breytist er erfitt að koma við fastapunktsítrekun. Hér er því helmingunaraðferðin notuð. Hún er fremur seinvirk og duga ekki minna en liðlega 30 skref til þess að finna T með tilskilinni nákvæmni.

Þær tölur, sem hér að ofan hafa verið gefnar yfir fjölda ítrekana segja engann veginn alla sögu um hlutfallslegan vinnsluhraða T_DP(P,H) á hinum ýmsu svæðum fasalínuritsins. Ástæðan er sú að fallið H_DP(T,P,X), sem notað er við ítrekunina, er misjafnlega hraðvirkt eftir því hvar á fasalínuritinu er. Hægvirkast er það á svæðum 3 og 4 (sjá mynd 1) vegna þess að þar er varmainnihald ekki reiknað beint út frá hitastigi og þrýstingi, heldur út frá hitastigi og eðlisrúmmáli, en á þessum svæðum er eðlisrúmmál fundið með ítrekun á þrýstings-jöfnunum (kaflar 6.2 og 6.3). Samleitni þeirra ítrekana krefst víðast 5 til 10 skrefa, eins og komið hefur fram, en nálægt 35 á dálitlum bletti á svæði 3.

Þannig getur það í raun kostað T_DP(P,H) allt frá ca. 5 - 12 skrefum í ítrekun upp í ca. 1150 - 1250 (35 í T_DP(P,H) * 35 í CHI_3(TR,BET)) að finna lausn á jöfnu (7.2.1) fyrir T utan tveggja fasa svæðisins. Lægri gildin eiga við mestallt svæði 1 og mikið af svæði 2 (sjá mynd 1), en hin hærri einungis við þann litla blett á svæði 3 þar sem helmingunar-aðferð er notuð til að finna eðlisrúmmál (sjá kafla 6.2). Annars staðar á svæði 3 og á svæði 4 er heildarfjöldi ítrekana yfirleitt ca. 170 - 400 en um 35 víðast á þeim hlutum svæða 1 og 2 sem ótaldir eru.

8 VARMAEIGINLEIKAFÖLL Í EINFALDRI NÁKVÆMNI

Undirforritin í þessum flokki skila sömu stærðum og undirforritin í kaflanum hér á undan, en í einfaldri nákvæmni (REAL*4) þó. Inntaksbreyturnar eru hinar sömu, nema auðvitað í REAL*4, svo og takmörk þeirra. Nöfn fallanna eru frábrugðin nöfnum samsvarandi falla í tvöfaldri nákvæmni að því leyti einu, að _DP er sneitt aftan af.

Föllin eru því þessi:

P_SAT(T)	H(T,P,X)
T_SAT(P)	S(T,P,X)
H_VAP(T)	V(T,P,X)
H_LIQ(T)	ETA(T,V)
DEL_H(T)	COND(T,V)
S_VAP(T)	T(P,H)
S_LIQ(T)	
V_VAP(T)	XS(P,H)
V_LIQ(T)	XS_S(P,S)
TENS(T)	XVOL(P,H)

Undirforrit þessi eru ekki sjálfstæð. Hvert undirforrit snarar einungis inntaksbreytu eða -breytum yfir í tvöfalda nákvæmni, lætur síðan samsvarandi REAL*8 fall um að reikna fallgildi, og snýr að lokum niðurstöðu í REAL*4. Þannig sparast hvorki tölvutími né -rými við að nota gufutöfluföllin fremur í einfaldri nákvæmni en tvöfaldri. Þessi REAL*4 föll eru eingöngu samin með það fyrir augum að spara notendum ómak, með því að flest almenn forrit eru skrifuð í einfaldri nákvæmni.

HEIMILDIR

Conte, S.D. & de Boor, C., 1980: Elementary Numerical Analysis. An Algorithmic Approach, 3rd edition. McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo, 432 pp.

Hildebrand, F.B., 1974: Introduction to Numerical Analysis, 2nd edition. McGraw-Hill, New York, 669 pp.

Kunz K. S., 1957: Numerical Analysis. McGraw-Hill, New York, 381 pp.

Schmidt, E. & Grigull, U., 1979: Properties of Water and Steam in SI-Units. Springer, Berlin, 189 pp.

VIÐAUKI A:

FORTRANSKRÁR FORRITA SEM SKILA FÖSTUM

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION A_CAP(N)
C
C***  Skilar A-stuðlum fyrir afleidd föll á svæði nr. 1;
C     í tvöfaldri nákvæmni.
C     Svæði og stuðlar skýrgreind í gufutöflum.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1983  ---
C
      REAL*8 A_CAP,AA(0:22)
C
      AA(0)  =  6.824687741D+03
      AA(1)  = -5.422063673D+02
      AA(2)  = -2.096666205D+04
      AA(3)  =  3.941286787D+04
      AA(4)  = -6.733277739D+04
      AA(5)  =  9.902381028D+04
      AA(6)  = -1.093911774D+05
      AA(7)  =  8.590841667D+04
      AA(8)  = -4.511168742D+04
      AA(9)  =  1.418138926D+04
      AA(10) = -2.017271113D+03
      AA(11) =  7.982692717D+00
      AA(12) = -2.616571843D-02
      AA(13) =  1.522411790D-03
      AA(14) =  2.284279054D-02
      AA(15) =  2.421647003D+02
      AA(16) =  1.269716088D-10
      AA(17) =  2.074838328D-07
      AA(18) =  2.174020350D-08
      AA(19) =  1.105710498D-09
      AA(20) =  1.293441934D+01
      AA(21) =  1.308119072D-05
      AA(22) =  6.047626338D-14
C
      A_CAP  =  AA(N)
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION a_lc(N)
C
C***  Skilar a-stuðlum fyrir afleidd föll á svæði nr. 1;
C     í tvöfaldri nákvæmni.
C     Svæði og stuðlar skýrgreind í gufutöflum.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1983 ---
C
      REAL*8 a_lc,a(12)
C
      a(1)  = 8.438375405D-01
      a(2)  = 5.362162162D-04
      a(3)  = 1.720000000D+00
      a(4)  = 7.342278489D-02
      a(5)  = 4.975858870D-02
      a(6)  = 6.537154300D-01
      a(7)  = 1.150000000D-06
      a(8)  = 1.510800000D-05
      a(9)  = 1.418800000D-01
      a(10) = 7.002753165D+00
      a(11) = 2.995284926D-04
      a(12) = 2.040000000D-01
C
      a_lc  = a(N)
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION B_CAP(M,N)
C
C***  Skilar B-stuðlum fyrir afleidd föll á svæði nr. 2:
C     í tvöfaldri nákvæmni.
C     Svæði og stuðlar skýrgreind í gufutöflum.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1983 ---
C
      REAL*8 B_CAP,BB(0:9,0:6)
C
      DO I=0,9
           DO J=0,6
              BB(I,J) = 0.
           END DO
      END DO
C
      BB(0,0) =  1.683599274D+01
      BB(0,1) =  2.856067796D+01
      BB(0,2) = -5.438923329D+01
      BB(0,3) =  4.330662834D-01
      BB(0,4) = -6.547711697D-01
      BB(0,5) =  8.565182058D-02
      BB(1,1) =  6.670375918D-02
      BB(1,2) =  1.388983801D+00
      BB(2,1) =  8.390104328D-02
      BB(2,2) =  2.614670893D-02
      BB(2,3) = -3.373439453D-02
      BB(3,1) =  4.520918904D-01
      BB(3,2) =  1.069036614D-01
      BB(4,1) = -5.975336707D-01
      BB(4,2) = -8.847535804D-02
      BB(5,1) =  5.958051609D-01
      BB(5,2) = -5.159303373D-01
      BB(5,3) =  2.075021122D-01
      BB(6,1) =  1.190610271D-01
      BB(6,2) = -9.867174132D-02
      BB(7,1) =  1.683998803D-01
      BB(7,2) = -5.809438001D-02
      BB(8,1) =  6.552390126D-03
      BB(8,2) =  5.710218649D-04
      BB(9,0) =  1.936587558D+02
      BB(9,1) = -1.388522425D+03
```

```
      BB(9,2) =  4.126607219D+03
      BB(9,3) = -6.508211677D+03
      BB(9,4) =  5.745984054D+03
      BB(9,5) = -2.693088365D+03
      BB(9,6) =  5.235718623D+02
C
      B_CAP   =  BB(M,N)
C
      RETURN
      END



C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION b_lc(M,L)
C
C***  Skilar b-stuðlum fyrir afleidd föll á svæði nr. 2;
C     í tvöfaldri nákvæmni.
C     Svæði og stuðlar skýrgreind í gufutöflum.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1983 ---
C
      REAL*8 b_lc,b(6:8,1:2)
C
      DO I=6,8
           DO J=1,2
              b(I,J) = 0.
           END DO
      END DO
C
      b(6,1) =  4.006073948D-01
      b(7,1) =  8.636081627D-02
      b(8,1) = -8.532322921D-01
      b(8,2) =  3.460208861D-01
C
      b_lc   =  b(M,L)
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION C_CAP(M,N)
C
C***  Skilar C-stuðlum fyrir afleidd föll á svæðum nr. 3 og 4;
C     í tvöfaldri nákvæmni.
C     Svæði og stuðlar skýrgreind í gufutöflum.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1983  ---
C
      REAL*8 C_CAP,CC(0:7,0:12)
C
      DO J=0,12
           DO I=0,7
              CC(I,J) = 0.
           END DO
      END DO
C
      CC(0,0)  = -6.839900000D+00
      CC(0,1)  = -1.722604200D-02
      CC(0,2)  = -7.771750390D+00
      CC(0,3)  =  4.204607520D+00
      CC(0,4)  = -2.768070380D+00
      CC(0,5)  =  2.104197070D+00
      CC(0,6)  = -1.146495880D+00
      CC(0,7)  =  2.231380850D-01
      CC(0,8)  =  1.162503630D-01
      CC(0,9)  = -8.209005440D-02
      CC(0,10) =  1.941292390D-02
      CC(0,11) = -1.694705760D-03
      CC(0,12) = -4.311577033D+00
      CC(1,1)  =  7.086360850D-01
      CC(1,2)  =  1.236794550D+01
      CC(1,3)  = -1.203890040D+01
      CC(1,4)  =  5.404374220D+00
      CC(1,5)  = -9.938650430D-01
      CC(1,6)  =  6.275231820D-02
      CC(1,7)  = -7.747430160D+00
      CC(2,1)  = -4.298850920D+00
      CC(2,2)  =  4.314305380D+01
      CC(2,3)  = -1.416193130D+01
      CC(2,4)  =  4.041724590D+00
      CC(2,5)  =  1.555463260D+00
      CC(2,6)  = -1.665689350D+00
```

```
      CC(2,7)  =  3.248811580D-01
      CC(2,8)  =  2.936553250D+01
      CC(3,1)  =  7.948418420D-06
      CC(3,2)  =  8.088597470D+01
      CC(3,3)  = -8.361533800D+01
      CC(3,4)  =  3.586365170D+01
      CC(3,5)  =  7.518959540D+00
      CC(3,6)  = -1.261606400D+01
      CC(3,7)  =  1.097174620D+00
      CC(3,8)  =  2.121454920D+00
      CC(3,9)  = -5.465295660D-01
      CC(3,10) =  8.328754130D+00
      CC(4,0)  =  2.759717760D-06
      CC(4,1)  = -5.090739850D-04
      CC(5,0)  =  2.106363320D+02
      CC(6,0)  =  5.528935335D-02
      CC(6,1)  = -2.336365955D-01
      CC(6,2)  =  3.697071420D-01
      CC(6,3)  = -2.596415470D-01
      CC(6,4)  =  6.828087013D-02
      CC(7,0)  = -2.571600553D+02
      CC(7,1)  = -1.518783715D+02
      CC(7,2)  =  2.220723208D+01
      CC(7,3)  = -1.802039570D+02
      CC(7,4)  =  2.357096220D+03
      CC(7,5)  = -1.462335698D+04
      CC(7,6)  =  4.542916630D+04
      CC(7,7)  = -7.053556432D+04
      CC(7,8)  =  4.381571428D+04
C
      C_CAP    =  CC(M,N)
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION D_CAP(M,N)
C
C***  Skilar D-stuðlum fyrir afleidd föll á svæði nr. 4;
C     í tvöfaldri nákvæmni.
C     Svæði og stuðlar skýrgreind í gufutöflum.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1983  ---
C
      REAL*8 D_CAP,DD(3:5,0:4)
C
      DO J=0,4
         DO I=3,5
            DD(I,J) = 0.
         END DO
      END DO
C
      DD(3,0) = -1.717616747D+00
      DD(3,1) =  3.526389875D+00
      DD(3,2) = -2.690899373D+00
      DD(3,3) =  9.070982605D-01
      DD(3,4) = -1.138791156D-01
      DD(4,0) =  1.301023613D+00
      DD(4,1) = -2.642777743D+00
      DD(4,2) =  1.996765362D+00
      DD(4,3) = -6.661557013D-01
      DD(4,4) =  8.270860589D-02
      DD(5,0) =  3.426663535D-04
      DD(5,1) = -1.236521258D-03
      DD(5,2) =  1.155018309D-03
C
      D_CAP   =  DD(M,N)
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION k_lc(N)
C
C***  Skilar k-stuðlum fyrir þrýsting á mettunarlínu;
C     í tvöfaldri nákvæmni.
C     Stuðlar skýrgreindir í gufutöflum.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1983 ---
C
      REAL*8 k_lc,kk(9)
C
      kk(1) = -7.691234564D+00
      kk(2) = -2.608023696D+01
      kk(3) = -1.681706546D+02
      kk(4) =  6.423285504D+01
      kk(5) = -1.189646225D+02
      kk(6) =  4.167117320D+00
      kk(7) =  2.097506760D+01
      kk(8) =  1.000000000D+09
      kk(9) =  6.000000000D+00
C
      k_lc  =  kk(N)
C
      RETURN
      END
```

VIÐAUKI B:

FORTRANSKRÁR EININGARLAUSRA SVÆÐAFALLA

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION BETA_K(TR)
C
C***  Skilar einingarlausum mettunarþrýsting, P/Pcl.
C     Kallar á k_lc.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1983 ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      REAL*8 k_lc
C
      SUM = 0.
      DO N=1,5
          SUM = SUM + k_lc(N)*(1. - TR)**N
      END DO
C
      D1 = 1. + k_lc(6)*(1. - TR) + k_lc(7)*(1. - TR)**2
      D2 = k_lc(8)*(1. - TR)**2 + k_lc(9)
C
      BETA_K = DEXP((SUM/TR)/D1 - (1. - TR)/D2)
C
      RETURN
      END
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION BETA_L(TR)
C
C***  Skilar einingarlausum þrýstingi, P/Pcl, á mörkum svæða 2 og 3
C     skýrgreindra í gufutöflum.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1983 ---
C
      REAL*8 BETA_L,TR,L(0:2)
C
      DATA (L(I),I=0,2) / 1.574373327D+01,
      2                   -3.417061978D+01,
      3                    1.931380707D+01/
C
      BETA_L = L(0) + L(1)*TR + L(2)*TR**2
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION CHI_1(TR,BET)
C
C***  Skilar einingarlausu eðlisrúmmáli, v/vcl, fyrir svæði nr. 1
C     skýrgreint í gufutöflum.
C     Kallar á a_lc og A_CAP.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1983  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      Y = 1. - a_lc(1)*TR**2 - a_lc(2)*TR**(-6)
      Z = Y + DSQRT(a_lc(3)*Y**2 - 2.*a_lc(4)*TR + 2.*a_lc(5)*BET)
C
      PT_1 = A_CAP(11)*a_lc(5)*Z**(-5./17.)
C
      PT_2 = A_CAP(12) + A_CAP(13)*TR + A_CAP(14)*TR**2 + A_CAP(15)
     2      *(a_lc(6) - TR)**10 + A_CAP(16)*(a_lc(7) + TR**19)**(-1)
C
      PT_3 = -((a_lc(8) + TR**11)**(-1))*(A_CAP(17) + 2.*A_CAP(18)*BET
     2      + 3.*A_CAP(19)*BET**2)
C
      PT_4 = -(A_CAP(20)*TR**18)*(a_lc(9) + TR**2)
     2      *(-3.*(a_lc(10) + BET)**(-4) + a_lc(11))
C
      PT_5 = 3.*A_CAP(21)*(a_lc(12) - TR)*BET**2
     2      + 4.*A_CAP(22)*(TR**(-20))*BET**3
C
      CHI_1 = PT_1 + PT_2 + PT_3 + PT_4 + PT_5
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION SIG_1(TR,BET)
C
C***  Skilar einingarlausri entrópíu, s/(Pcl*vcl/Tcl), fyrir svæði nr. 1
C     skýrgreint í gufutöflum.
C     Kallar á a_lc og A_CAP.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1983  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      Y = 1. - a_lc(1)*TR**2 - a_lc(2)*TR**(-6)
      Z = Y + DSQRT(a_lc(3)*Y**2 - 2.*a_lc(4)*TR + 2.*a_lc(5)*BET)
      YPRIM = -2.*a_lc(1)*TR + 6.*a_lc(2)*TR**(-7)
C
      SUM = 0.
      DO N=2,10
           SUM = SUM + (N-1)*A_CAP(N)*TR**(N-2)
      END DO
C
      PT_1 = A_CAP(0)*DLOG(TR) - SUM
C
      PT_2 = A_CAP(11)*(((5./12.)*Z - (a_lc(3) - 1.)*Y)*YPRIM + a_lc(4))
     2      *Z**(-5./17.)
C
      PT_3 = (-A_CAP(13) - 2.*A_CAP(14)*TR + 10.*A_CAP(15)*(a_lc(6) - TR)**9
     2      + 19.*A_CAP(16)*(a_lc(7) + TR**19)**(-2)*TR**18)*BET
C
      PT_4 = -11.*(a_lc(8) + TR**11)**(-2)*TR**10
     2      *(A_CAP(17)*BET + A_CAP(18)*BET**2 + A_CAP(19)*BET**3)
C
      PT_5 = A_CAP(20)*TR**17*(18.*a_lc(9) + 20.*TR**2)
     2      *((a_lc(10) + BET)**(-3) + a_lc(11)*BET)
C
      PT_6 = A_CAP(21)*BET**3 + 20.*A_CAP(22)*TR**(-21)*BET**4
C
      SIG_1 = PT_1 + PT_2 + PT_3 + PT_4 + PT_5 + PT_6
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION EPS_1(TR,BET)
C
C***  Skilar einingarlausu varmainnihaldi (enþalpíu), h/(Pcl*vcl),
C     fyrir  svæði nr. 1 skýrgreint í gufutöflum.
C     Kallar á a_lc og A_CAP.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1983  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      Y = 1. - a_lc(1)*TR**2 - a_lc(2)*TR**(-6)
      Z = Y + DSQRT(a_lc(3)*Y**2 - 2.*a_lc(4)*TR + 2.*a_lc(5)*BET)
      YPRIM = -2.*a_lc(1)*TR + 6.*a_lc(2)*TR**(-7)
C
      SUM = 0.
      DO N=1,10
          SUM = SUM + (N-2)*A_CAP(N)*TR**(N-1)
      END DO
C
      PT_1 = A_CAP(0)*TR - SUM
C
      PT_2 = A_CAP(11)*(Z*(17.*(Z/29. - Y/12.) + 5.*TR*YPRIM/12.) +
      2      a_lc(4)*TR - (a_lc(3) - 1.)*TR*Y*YPRIM)*Z**(-5./17.)
C
      PT_3 = (A_CAP(12) - A_CAP(14)*TR**2 + A_CAP(15)*(9.*TR + a_lc(6))
      2      *(a_lc(6) - TR)**9 + A_CAP(16)*(20.*TR**19 + a_lc(7))
      3      *(a_lc(7) + TR**19)**(-2))*BET
C
      PT_4 = -(12.*TR**11 + a_lc(8))*(a_lc(8) + TR**11)**(-2)
      2      *(A_CAP(17)*BET + A_CAP(18)*BET**2 + A_CAP(19)*BET**3)
C
      PT_5 = A_CAP(20)*TR**18*(17.*a_lc(9) + 19.*TR**2)
      2      *((a_lc(10) + BET)**(-3) + a_lc(11)*BET)
C
      PT_6 = A_CAP(21)*a_lc(12)*BET**3 + 21.*A_CAP(22)*TR**(-20)*BET**4
C
      EPS_1 = PT_1 + PT_2 + PT_3 + PT_4 + PT_5 + PT_6
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION CHI_2(TR,BET)
C
C***  Skilar einingarlausu rúmmali, v/vcl, fyrir svæði nr. 2
C     skýrgreint í gufutöflum.
C     Kallar á b_lc og B_CAP og BETA_L.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1983 ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      DIMENSION N(8),L(8),IZ(8,3),IX(8,2)
C
      DATA    (N(M),M=1,8) / 2, 3, 2, 2, 3, 2, 2, 2/
      DATA    (L(M),M=1,8) / 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 2/
      DATA (IZ(M,1),M=1,8) /13,18,18,25,32,12,24,24/
      DATA (IZ(M,2),M=1,8) / 3, 2,10,14,28,11,18,14/
      DATA (IZ(M,3),M=1,8) / 0, 1, 0, 0,24, 0, 0, 0/
      DATA (IX(M,1),M=1,8) / 0, 0, 0, 0, 0,14,19,54/
      DATA (IX(M,2),M=1,8) / 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,27/
C
      bee = 7.6333333333D-01
      X_CAP = DEXP((1. - TR)*bee)
C
      PT_1 = 4.260321148D0*TR/BET
C
      PT_2 = 0.
      DO MU=1,5
           SUM1 = 0.
           DO NU=1,N(MU)
              SUM1 = SUM1 + B_CAP(MU,NU)*X_CAP**IZ(MU,NU)
           END DO
           PT_2 = PT_2 - MU*BET**(MU-1)*SUM1
      END DO
C
```

```
      PT_3 = 0.
      DO MU=6,8
           SUM2 = 0.
           DO NU=1,N(MU)
              SUM2 = SUM2 + B_CAP(MU,NU)*X_CAP**IZ(MU,NU)
           END DO
           SUM3 = 0.
           DO LAM=1,L(MU)
              SUM3 = SUM3 + b_lc(MU,LAM)*X_CAP**IX(MU,LAM)
           END DO
           DIV = (MU-2)*BET**(1-MU)*SUM2/(BET**(2-MU) + SUM3)
           PT_3 = PT_3 - DIV/(BET**(2-MU) + SUM3)
      END DO
C
      SUM4 = 0.
      DO NU=0,6
           SUM4 = SUM4 + B_CAP(9,NU)*X_CAP**NU
      END DO
      PT_4 = 11.*(BET/BETA_L(TR))**10*SUM4
C
      CHI_2 = PT_1 + PT_2 + PT_3 + PT_4
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION SIG_2(TR,BET)
C
C***  Skilar einingarlausri entrópíu, s/(Pcl*vcl*Tcl), fyrir svæði nr. 2
C     skýrgreint í gufutöflum.
C     Kallar á b_lc, B_CAP og BETA_L.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1983  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      REAL*8 I1
      DIMENSION N(8),L(8),IZ(8,3),IX(8,2)
C
      DATA    (N(M),M=1,8) / 2, 3, 2, 2, 3, 2, 2, 2/
      DATA    (L(M),M=1,8) / 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 2/
      DATA (IZ(M,1),M=1,8) /13,18,18,25,32,12,24,24/
      DATA (IZ(M,2),M=1,8) / 3, 2,10,14,28,11,18,14/
      DATA (IZ(M,3),M=1,8) / 0, 1, 0, 0,24, 0, 0, 0/
      DATA (IX(M,1),M=1,8) / 0, 0, 0, 0, 0,14,19,54/
      DATA (IX(M,2),M=1,8) / 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,27/
C
      bee = 7.6333333333D-01
      I1 =  4.260321148D+00
C
      X_CAP = DEXP((1. - TR)*bee)
      BETPRI = -3.417061978D+01 + 2.*1.931380707D+01*TR
C
      SUM1 = 0.
      DO NU=1,5
           SUM1 = SUM1 + (NU - 1)*B_CAP(0,NU)*TR**(NU - 2)
      END DO
C
      PT_1 = -I1*DLOG(BET) + B_CAP(0,0)*DLOG(TR) - SUM1
C
```

```
      SUM2 = 0.
      DO MU=1,5
           SUM3 = 0.
           DO NU=1,N(MU)
              SUM3 = SUM3 + IZ(MU,NU)*B_CAP(MU,NU)*X_CAP**IZ(MU,NU)
           END DO
           SUM2 = SUM2 + BET**MU*SUM3
      END DO
C
      PT_2 = -bee*SUM2
C
      SUM7 = 0.
      DO MU=6,8
           SUM4 = 0.
           SUM5 = 0.
           DO LAM=1,L(MU)
              SUM4 = SUM4 + b_lc(MU,LAM)*X_CAP**IX(MU,LAM)
              SUM5 = SUM5 + IX(MU,LAM)*b_lc(MU,LAM)*X_CAP**IX(MU,LAM)
           END DO
           SUM6 = 0.
           DO NU=1,N(MU)
              SUM6 = SUM6 + B_CAP(MU,NU)*X_CAP**IZ(MU,NU)
     2               *(IZ(MU,NU) - SUM5/(BET**(2 - MU) + SUM4))
           END DO
           SUM7 = SUM7 + SUM6/(BET**(2 - MU) + SUM4)
      END DO
C
      PT_3 = -bee*SUM7
C
      SUM8 = 0.
      DO NU = 0,6
           SUM8 = SUM8 + (10.*BETPRI/BETA_L(TR) + NU*bee)
     2           *B_CAP(9,NU)*X_CAP**NU
      END DO
C
      PT_4 = BET*(BET/BETA_L(TR))**10*SUM8
C
      SIG_2 = PT_1 + PT_2 + PT_3 + PT_4
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION EPS_2(TR,BET)
C
C***  Skilar einingarlausu varmainnihaldi (enþalpíu), h/(Pcl*vcl),
C     fyrir svæði nr. 2 skýrgreint í gufutöflum.
C     Kallar á b_lc, B_CAP og BETA_L.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1983 ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      DIMENSION N(8),L(8),IZ(8,3),IX(8,2)
C
      DATA    (N(M),M=1,8) / 2, 3, 2, 2, 3, 2, 2, 2/
      DATA    (L(M),M=1,8) / 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 2/
      DATA (IZ(M,1),M=1,8) /13,18,18,25,32,12,24,24/
      DATA (IZ(M,2),M=1,8) / 3, 2,10,14,28,11,18,14/
      DATA (IZ(M,3),M=1,8) / 0, 1, 0, 0,24, 0, 0, 0/
      DATA (IX(M,1),M=1,8) / 0, 0, 0, 0, 0,14,19,54/
      DATA (IX(M,2),M=1,8) / 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,27/
C
      bee = 7.6333333333D-01
C
      X_CAP = DEXP((1. - TR)*bee)
      BETPRI = -3.417061978D+01 + 2.*1.931380707D+01*TR
C
      SUM1 = 0.
      DO NU=1,5
           SUM1 = SUM1 + B_CAP(0,NU)*(NU - 2)*TR**(NU - 1)
      END DO
C
      PT_1 = B_CAP(0,0)*TR - SUM1
C
```

```
      SUM3 = 0.
      DO MU=1,5
           SUM2 = 0.
           DO NU=1,N(MU)
              SUM2 = SUM2 + B_CAP(MU,NU)*(1. + IZ(MU,NU)*bee*TR)
     2               *X_CAP**IZ(MU,NU)
           END DO
           SUM3 = SUM3 + BET**MU*SUM2
      END DO
C
      PT_2 = -SUM3
C
      SUM7 = 0.
      DO MU=6,8
           SUM4 = 0.
           SUM5 = 0.
           DO LAM=1,L(MU)
              SUM4 = SUM4 + b_lc(MU,LAM)*X_CAP**IX(MU,LAM)
              SUM5 = SUM5 + IX(MU,LAM)*b_lc(MU,LAM)*X_CAP**IX(MU,LAM)
           END DO
           SUM6 = 0.
           DO NU=1,N(MU)
              SUM6 = SUM6 + B_CAP(MU,NU)*X_CAP**IZ(MU,NU)
     2               *((1. + IZ(MU,NU)*bee*TR) - bee*TR*SUM5/
     3               (BET**(2-MU) + SUM4))
           END DO
           SUM7 = SUM7 + SUM6/(BET**(2 - MU) + SUM4)
      END DO
C
      PT_3 = -SUM7
C
      SUM8 = 0.
      DO NU=0,6
           SUM8 = SUM8 + (1. + TR*(10.*BETPRI/BETA_L(TR) + NU*bee))
     2           *B_CAP(9,NU)*X_CAP**NU
      END DO
C
      PT_4 = BET*(BET/BETA_L(TR))**10*SUM8
C
      EPS_2 = PT_1 + PT_2 + PT_3 + PT_4
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION BETA_3(TR,CHI)
C
C***  Skilar einingarlausum þrýstingi, P/Pcl, fyrir svæði nr. 3
C     skýrgreint í gufutöflum.
C     Kallar á C_CAP.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1983  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      SUM1 = 0.
      DO NU=2,11
           SUM1 = SUM1 + (1 - NU)*C_CAP(0,NU)*CHI**(-NU)
      END DO
C
      PT_1 = -(C_CAP(0,1) + SUM1 + C_CAP(0,12)*CHI**(-1))
C
      SUM2 = 0.
      DO NU=2,6
           SUM2 = SUM2 + (1 - NU)*C_CAP(1,NU)*CHI**(-NU)
      END DO
C
      PT_2 = -(C_CAP(1,1) + SUM2 + C_CAP(1,7)*CHI**(-1))*(TR - 1.)
C
      SUM3 = 0.
      DO NU=2,7
           SUM3 = SUM3 + (1 - NU)*C_CAP(2,NU)*CHI**(-NU)
      END DO
C
      PT_3 = -(C_CAP(2,1) + SUM3 + C_CAP(2,8)*CHI**(-1))*(TR - 1.)**2
C
      SUM4 = 0.
      DO NU=2,9
           SUM4 = SUM4 + (1 - NU)*C_CAP(3,NU)*CHI**(-NU)
      END DO
C
      PT_4 = -(C_CAP(3,1) + SUM4 + C_CAP(3,10)*CHI**(-1))*(TR - 1.)**3
C
      SUM5 = 0.
      DO NU=0,4
         SUM5 = SUM5 + C_CAP(6,NU)*TR**(-2-NU)
      END DO
C
      PT_5 = 5.*C_CAP(4,1)*CHI**(-6)*TR**(-23)*(TR - 1.) - 6.*CHI**5*SUM5
C
      BETA_3 = PT_1 + PT_2 + PT_3 + PT_4 + PT_5
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION CHI_3(TR,BET)
C
C***  Leysir jöfnuna BETA_3(TR,CHI) - BET = 0 fyrir CHI og skilar út
C     einingarlausu eðlisrúmmáli, v/vcl, fyrir svæði nr. 3 skýrgreint í
C     gufutöflum. Ef um fleiri en eina lausn er að ræða er hin stærsta
C     valin (sbr. gufutöflur).
C     Svæði nr. 3 má skipta í fimm hluta eða undirsvæði eftir hitastigi
C     og þrýstingi:
C
C       1)             TR < 1.                        (T<647.3K)
C       2) 1.00000000=< TR < 1.01961996            (647.3K=<T<660.K)
C       3) 1.01961996=< TR <=1.04742777 ;          (660.K=<T<=678.K;
C                          BET < 1.2206148            P=<270.bar-a)
C       4) 1.01961996=< TR <=1.04742777 ;          (660.K=<T<=678.K;
C                          BET > 1.2206148            P>270.bar-a)
C       5) 1.04742777 < TR                            (T>678.K)
C
C     Sé BETA_3 dregið sem fall af CHI við eitthvert fast hitastig,
C     fæst ferill sem í fyrsta tilvikinu lítur út eins og S sem liggur á
C     bakinu; ferillinn hefur hágildi, lággildi og vendipunkt á milli.
C     Eftir því sem hitastigið hækkar, dregur úr bugðunum á essinu.
C
C     Í tilviki 2 eru hágildi og lággildi horfin, en eftir er einn
C     vendipunktur.
C
C     Víðast hvar á milli þeirra hitastigsmarka sem skilja þriðja og fjórða
C     undirsvæðið frá öðru og fimmta hefur BETA_3(TR,CHI)
C     tvo vendipunkta. Hitastigsbilinu 1.011961996 < TR < 1.04742777
C     er skipt í tvo hluta á þann hátt, að enginn vendipunktur verði á
C     þeim hluta sem við hærri þrýsting liggur (tilvik 4). Á þessu
C     síðastnefnda undirsvæði er önnur afleiða af BETA_3(TR,CHI) með tilliti
C     til CHI alls staðar pósitív en sú fyrsta negatív.
C
C     Í fimmta tilvikinu er heldur enginn vendipunktur og önnur afleiða af
C     BETA_3(TR,CHI) með tilliti til CHI er pósitív á þessu undirsvæði, en
C     sú fyrsta negatív.
C
C     Aðferðin við lausnina er því sem hér segir:
C
C     TILVIK 1): Hér getur jafnan BETA_3(TR,CHI) - BET = 0 haft þrjár lausnir
C     fyrir CHI. Á þeim kafla sem hina stærstu er að finna, en það er hægra
C     megin við hámarkið, er önnur afleiða af BETA_3(TR,CHI) með tilliti til
C     CHI ávallt < 0. Við stærstu leyfilegu gildi á CHI (sem ákvarðast að
C     sjálfsögðu af CHI_2(TR,BET) á línunni BET=BETA_L(TR)) er
```

```
C       BETA_3(TR,CHI) - BET einnig < 0. Á þessu undirsvæði dugar því
C       Newton-Raphson nálgun ætíð ef ítrekun er hafin við stærstu gildi á CHI.
C
C       TILVIK 2): Hér hefur BETA_3(TR,CHI) - BET = 0 aðeins eina lausn
C       fyrir CHI. Byrjað er á ítrekun við stærsta gildi á CHI.
C       Við það gildi og upp að vendipunkti er önnur afleiða af
C       BETA_3(TR,CHI) með tilliti til CHI negatív. Sé lausnin á þessu bili
C       dugar Newton-Raphson ítrekun augljóslega. Ef lausnin er við minna
C       CHI (og þá hærri þrýsting) en vendipunktur, getur svo farið, að
C       ítrekunin bendi á  gildi sem er minna en minnsta leyfilega gildi
C       á CHI. Þá er ítrekunin hafin upp á nýtt, en í þetta skipti er byrjað
C       við minnsta gildi á CHI. Frá því gildi og niður að vendipunkti er
C       önnur afleiðan af BETA_3 pósitív og Newton-Raphson aðferðin virkar
C       eftir sem áður.
C
C       TILVIK 3): Hér hefur jafnan BETA_3(TR,CHI) - BET = 0 líka aðeins eina
C       lausn fyrir CHI. Hins vegar skiptir önnur afleiðan a.m.k. einu sinni
C       um formerki fyrir sérhvert TR á þessu undirsvæði, en tvisvar fyrir sum
C       gildi á TR. Þannig er því ekki að treysta hér að Newton-Raphson
C       ítrekun finni lausnina. Í þessu tilviki er því gripið til svonefndrar
C       helmingunaraðferðar. Þá er það bil, sem leitað skal lausnar á,
C       helmingað. Síðan er fundið á hvorum helming bilsins lausnin liggur,
C       sá helmingur síðan helmingaður aftur og svo koll af kolli uns
C       tiltekinni nákvæmni er náð. Aðferðin er mun hægvirkari en Newton-
C       Raphson ítrekun en hefur þann kost að duga þar sem hin síðari bregst.
C
C       TILVIK 4) og 5): Hér er önnur afleiða af BETA_3(TR,CHI) alls staðar
C       > 0 (og sú fyrsta að sjálfsögðu < 0). Newton-Raphson ítrekun dugar hér
C       alltaf ef byrjað er við minnsta leyfilega gildi á CHI, því þar er
C       BETA_3(TR,CHI) - BET einnig < 0.
C
C       Ofangreind skipting í undirsvæði er að sjálfsögðu gerð með það fyrir
C       augum að minnka eins og unnt er það svæði sem nota verður hina
C       hægvirku helmingunaraðferð á.
C       Þetta undirforrit kallar á BETA_3, BETA_L og CHI_2.
C       ---  Jón Örn Bjarnason, 1983  ---
C
        IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
        TT1 = 1.024486328D0
        TT2 = 1.039935115D0
        TR2 = 1.333462073D0
C
        Y = (TR - 1.)/(TR2 - 1.)
        Z = (TR - TT1)/(TT2 - TT1)
C
        IF (TR.GE.1.) THEN
             CHIMIN = 0.433450D0 + 0.38037697D0*Y**1.6 + 2.8*Y**2*DEXP(-12.*Y)
        ELSE
```

```
          CHIMIN = 0.
        END IF
        CHIMAX = CHI_2(TR,BETA_L(TR)) + 1.0D-05
C
        IF (TR.LT.1.) THEN
          CHI = CHIMAX                                          !Undirsvæði 1
        ELSE IF (TR.GE.1..AND.TR.LT.1.01961996D0) THEN
          CHI = CHIMAX                                          !Undirsvæði 2
        ELSE IF (TR.GE.1.01961996D0.AND.TR.LE.1.04742777D0
        2                          .AND.BET.LE.1.2206148D0) THEN
          C1 = 0.88076D0 + 0.49600D0*Z                          !Undirsvæði 3
          C2 = CHIMAX
          BE_C1 = BETA_3(TR,C1) - BET
          DO WHILE (C2-C1.GT.1.0D-10)
             CHI = (C1 + C2)/2.
             BE_CHI = BETA_3(TR,CHI) - BET
             IF(BE_C1*BE_CHI.LE.0.) THEN
                C2 = CHI
             ELSE
                C1 = CHI
                BE_C1 = BE_CHI
             END IF
          END DO
          CHI_3 = CHI
          RETURN
        ELSE IF (TR.GE.1.01961996D0.AND.TR.LE.1.04742777D0
        2                          .AND.BET.GT.1.2206148D0) THEN
          CHI = CHIMIN                                          !Undirsvæði 4
        ELSE IF (TR.GT.1.04742777D0) THEN
          CHI = CHIMIN                                          !Undirsvæði 5
        END IF
C
10      BE_3 = BETA_3(TR,CHI)
        DERBET = (BE_3 - BETA_3(TR,CHI - 1.0D-08))/1.0D-08
        CH = CHI - (BE_3 - BET)/DERBET
        IF(DABS(CHI - CH).LT.1.0D-10) THEN
          CHI_3 = CH
          RETURN
        ELSE IF (CH.LT.CHIMIN) THEN
          CHI = CHIMIN
          GO TO 10
        END IF
        CHI = CH
        GO TO 10
C
        END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION SIG_3(TR,CHI)
C
C***  Skilar einingarlausri entrópíu, s/(Pcl*vcl/Tcl), fyrir svæði nr. 3
C     skýrgreint í gufutöflum.
C     Kallar á C_CAP.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1983 ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      SUM1 = 0.
      DO NU=2,6
         SUM1 = SUM1 + C_CAP(1,NU)*CHI**(1 - NU)
      END DO
C
      PT_1 = -(C_CAP(1,1)*CHI + SUM1 + C_CAP(1,7)*DLOG(CHI) + C_CAP(5,0))
C
      SUM2 = 0.
      DO NU=2,7
         SUM2 = SUM2 + C_CAP(2,NU)*CHI**(1 - NU)
      END DO
C
      PT_2 = -2.*(C_CAP(2,1)*CHI + SUM2 + C_CAP(2,8)*DLOG(CHI))*(TR - 1.)
C
      SUM3 = 0.
      DO NU=2,9
         SUM3 = SUM3 + C_CAP(3,NU)*CHI**(1 - NU)
      END DO
C
      PT_3 = -3.*(C_CAP(3,1)*CHI + SUM3 + C_CAP(3,10)*DLOG(CHI))*(TR - 1.)**2
C
```

```
      PT_4 = (C_CAP(4,0) + C_CAP(4,1)*CHI**(-5))
     2       *(22.*TR**(-23) - 23.*TR**(-24)) - C_CAP(5,0)*DLOG(TR)
C
      SUM4 = 0.
      DO NU= 0,4
           SUM4 = SUM4 + (NU + 2)*C_CAP(6,NU)*TR**(-3 - NU)
      END DO
C
      PT_5 = CHI**6*SUM4
C
      SUM5 = 0.
      DO NU=1,8
           SUM5 = SUM5 + (NU + 1)*C_CAP(7,NU)*(TR - 1.)**NU
      END DO
      SUM5 = SUM5 + C_CAP(7,0)
C
      PT_6 = -SUM5
C
      SIG_3 = PT_1 + PT_2 + PT_3 + PT_4 + PT_5 + PT_6
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION EPS_3(TR,CHI)
C
C***  Skilar einingarlausu varmainnihaldi (enþalpíu), h/(Pcl*vcl),
C     fyrir svæði nr. 3 skýrgreint í gufutöflum.
C     Kallar á C_CAP.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1983 ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      SUM1 = 0.
      DO NU=2,11
         SUM1 = SUM1 + NU*C_CAP(0,NU)*CHI**(1 - NU)
      END DO
      SUM2 = 0.
      DO NU=2,6
         SUM2 = SUM2 + C_CAP(1,NU)*CHI**(1-NU)
      END DO
C
      PT_1 = C_CAP(0,0) - C_CAP(0,12) - C_CAP(5,0) - C_CAP(1,1)*CHI
     2      + SUM1 - SUM2 + (C_CAP(0,12) - C_CAP(1,7))*DLOG(CHI)
C
      SUM3 = 0.
      DO NU=2,6
         SUM3 = SUM3 + (NU - 1)*C_CAP(1,NU)*CHI**(1 - NU)
      END DO
      SUM4 = 0.
      DO NU=2,7
         SUM4 = SUM4 + C_CAP(2,NU)*CHI**(1 - NU)
      END DO
C
      PT_2 = (-C_CAP(1,7) - C_CAP(5,0) -(C_CAP(1,1) + 2.*C_CAP(2,1))*CHI
     2       + SUM3 - 2.*SUM4 - 2.*C_CAP(2,8)*DLOG(CHI))*(TR - 1.)
```

```
C
      SUM5 = 0.
      DO NU=2,7
           SUM5 = SUM5 + (NU - 2)*C_CAP(2,NU)*CHI**(1 - NU)
      END DO
      SUM6 = 0.
      DO NU=2,9
           SUM6 = SUM6 + C_CAP(3,NU)*CHI**(1 - NU)
      END DO
C
      PT_3 = (-C_CAP(2,8) - (2.*C_CAP(2,1) + 3.*C_CAP(3,1))*CHI + SUM5
     2       -3.*SUM6 - (C_CAP(2,8) + 3.*C_CAP(3,10))*DLOG(CHI))*(TR - 1.)**2
C
      SUM7 = 0.
      DO NU=2,9
           SUM7 = SUM7 + (NU - 3)*C_CAP(3,NU)*CHI**(1 - NU)
      END DO
C
      PT_4 = (-C_CAP(3,10) - 3.*C_CAP(3,1)*CHI + SUM7 -
     2       2.*C_CAP(3,10)*DLOG(CHI))*(TR - 1.)**3
C
      PT_5 = (23.*C_CAP(4,0) + 28.*C_CAP(4,1)*CHI**(-5))*TR**(-22)
     2      -(24.*C_CAP(4,0) + 29.*C_CAP(4,1)*CHI**(-5))*TR**(-23)
C
      SUM8 = 0.
      DO NU=0,4
           SUM8 = SUM8 + (NU - 3)*C_CAP(6,NU)*TR**(-2 - NU)
      END DO
      SUM9 = 0.
      DO NU=1,8
           SUM9 = SUM9 + C_CAP(7,NU)*(1. + NU*TR)*(TR - 1.)**NU
      END DO
      SUM9 = SUM9 + C_CAP(7,0)
C
      PT_6 = CHI**6*SUM8 - SUM9
C
      EPS_3 = PT_1 + PT_2 + PT_3 + PT_4 + PT_5 + PT_6
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION BETA_4(TR,CHI)
C
C***  Skilar einingarlausum þrýstingi, P/Pcl, fyrir svæði nr. 4
C     skýrgreint í gufutöflum.
C     Kallar á D_CAP og BETA_3.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1983  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      TR1 = 9.626911787D-01
C
      Y = (1. - TR)/(1. - TR1)
C
      SUM2 = 0.
      DO MU=3,4
            SUM1 = 0.
            DO NU=0,4
               SUM1 = SUM1 + NU*D_CAP(MU,NU)*Y**MU*CHI**(-NU - 1)
            END DO
            SUM2 = SUM2 + SUM1
      END DO
      SUM3 = 0.
      DO NU=0,2
            SUM3 = SUM3 + NU*D_CAP(5,NU)*CHI**(NU - 1)
      END DO
C
      BETA_4 = BETA_3(TR,CHI) + SUM2 - SUM3*Y**32
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION CHI_4(TR,BET)
C
C***  Leysir jöfnuna BETA_4(TR,CHI) - BET = 0 fyrir CHI með Newton-Raphson
C     nálgun og skilar út einingarlausu eðlisrúmmáli, v/vcl, fyrir svæði nr. 4
C     skýrgreint í gufutöflum. Ef um fleiri en eina lausn er að ræða er
C     hin minnsta valin (sbr. gufutöflur). Aðferðin dugar vegna þess að
C     a) byrjað er á ítrekun við minnsta gildi á CHI sem samsvarar
C     gildi á BETA_4(TR,CHI) - BET sem er alltaf > 0 og
C     b) vegna þess að önnur afleiða af BETA_4 með tilliti til CHI er
C     > 0 á svæði 4.
C     Kallar á BETA_4.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1983  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      TR1 = 9.626911787D-01
C
      Y = (TR - TR1)/(1. - TR1)
      CHI = 0.41472D0 + 0.01855235D0*Y**1.02
10    BE_4 = BETA_4(TR,CHI)
      DERBET = (BE_4 - BETA_4(TR,CHI - 1.0D-08))/1.0D-08
      CH = CHI - (BE_4 - BET)/DERBET
      IF (DABS(CHI - CH).LT.1.0D-10) THEN
          CHI_4 = CH
          RETURN
      END IF
      CHI = CH
      GO TO 10
C
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION SIG_4(TR,CHI)
C
C***  Skilar einingarlausri entrópíu, s/(Pcl*vcl/Tcl), fyrir svæði nr. 1
C     skýrgreint í gufutöflum.
C     Kallar á D_CAP og SIG_3.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1983  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      TR1 = 9.626911787D-01
C
      Y = (1.- TR)/(1. - TR1)
C
      SUM2 = 0.
      DO MU=3,4
           SUM1 = 0.
           DO NU= 0,4
              SUM1 = SUM1 + MU*D_CAP(MU,NU)*Y**(MU - 1)*CHI**(-NU)
           END DO
           SUM2 = SUM2 + SUM1
      END DO
      SUM3 = 0.
      DO NU=0,2
           SUM3 = SUM3 + D_CAP(5,NU)*CHI**NU
      END DO
C
      SIG_4 = SIG_3(TR,CHI) + (SUM2 + SUM3*32.*Y**31)/(1. - TR1)
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION EPS_4(TR,CHI)
C
C***  Skilar einingarlausu varmainnihaldi (enþalpíu), h/(Pcl*vcl),
C     fyrir svæði nr. 4 skýrgreint í gufutöflum.
C     Kallar á D_CAP og EPS_3.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1983  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      TR1 = 9.626911787D-01
C
      Y = (1. - TR)/(1. - TR1)
C
      SUM2 = 0.
      DO MU=3,4
         SUM1 = 0.
         DO NU=0,4
            SUM1 = SUM1 + D_CAP(MU,NU)*((1-MU+NU)*Y + MU/(1. - TR1))
     2                *Y**(MU - 1)*CHI**(-NU)
         END DO
         SUM2 = SUM2 + SUM1
      END DO
      SUM3 = 0.
      DO NU=0,2
         SUM3 = SUM3 + D_CAP(5,NU)*((31 + NU)*Y - 32./(1. - TR1))*CHI**NU
      END DO
C
      EPS_4 = EPS_3(TR,CHI) + SUM2 - SUM3*Y**31
C
      RETURN
      END
```

VIÐAUKI C:

FORTRANSKRÁR VARMAEIGINLEIKAFALLA Í TVÖFALDRI NÁKVÆMNI

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION P_SAT_DP(T)
C
C***  Skilar mettunarþrýstingi vatnsgufu í bar-absolute í tvöfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15
C     og til og með 647.3.
C     Kallar á BETA_K.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      Tcl = 647.3                     !K
      Pcl = 221.2                     !bar-a
C
      IF (T.LT.273.149.OR.T.GT.647.3) THEN
           P_SAT_DP = 0.
           TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, P_SAT_DP SETT NULL`
           RETURN
      END IF
C
      TR = T/Tcl
      P_SAT_DP = Pcl*BETA_K(TR)
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION T_SAT_DP(P)
C
C***  Skilar mettunarhitastigi vatnsgufu í Kelvin í tvöfaldri nákvæmni.
C     Hitastigið er fundið með því að leysa jöfnuna P=P_SAT_DP(T) fyrir
C     T með Newton-Raphson nálgun.
C     Leyfileg gildi þrýstings, P, eru bar-absolute frá og með 0.00610799
C     og til og með 221.2.
C     Kallar á P_SAT_DP.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1984 ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      Tcl = 647.3                     !K
      Pcl = 221.2                     !bar-a
C
      IF (P.LT.0.00610799.OR.P.GT.Pcl) THEN
          T_SAT_DP = 0.
          TYPE*,`ÞRYSTINGUR UTAN LEYFILEGRA MARKA, T_SAT_DP SETT NULL`
          RETURN
      END IF
C
      T = Tcl
10    PS = P_SAT_DP(T)
      DERP = (PS - P_SAT_DP(T - 1.0D-06))/1.0D-06
      T_SAT_DP = T - (PS - P)/DERP
      IF (DABS(T - T_SAT_DP).LT.1.0D-08) RETURN
      T = T_SAT_DP
      GO TO 10
C
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION H_VAP_DP(T)
C
C***  Skilar varmainnihaldi (enþalpíu) mettaðrar vatnsgufu í kJ/kg í
C     tvöfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og
C     með 273.15 og til og með 647.3.
C     Pcl*vcl er margfaldað með 100 til að breyta úr bar*m3/kg yfir í kJ/kg.
C     Kallar á BETA_K, EPS_2, EPS_3 og CHI_3.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      Tcl = 647.3                   !K
      Pcl = 221.2                   !bar-a
      vcl = 0.00317                 !m3/kg
C
      TR = T/Tcl
      PR = BETA_K(TR)
C
      IF (T.GE.273.149.AND.T.LE.623.15) THEN
          H_VAP_DP = 100.*Pcl*vcl*EPS_2(TR,PR)
      ELSE IF (T.GT.623.15.AND.T.LE.647.3) THEN
          H_VAP_DP = 100.*Pcl*vcl*EPS_3(TR,CHI_3(TR,PR))
      ELSE
          H_VAP_DP = 0.
          TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, H_VAP_DP SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION H_LIQ_DP(T)
C
C***  Skilar varmainnihaldi (enþalpíu) mettaðs vatns í kJ/kg í
C     tvöfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15
C     og til og með 647.3.
C     Pcl*vcl er margfaldað með 100 til að breyta úr bar*m3/kg yfir í kJ/kg.
C     Kallar á BETA_K, EPS_1, EPS_4 og CHI_4.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      Tcl = 647.3                    !K
      Pcl = 221.2                    !bar-a
      vcl = 0.00317                  !m3/kg
C
      TR = T/Tcl
      PR = BETA_K(TR)
C
      IF (T.GE.273.149.AND.T.LE.623.15) THEN
          H_LIQ_DP = 100.*Pcl*vcl*EPS_1(TR,PR)
      ELSE IF (T.GT.623.15.AND.T.LE.647.3) THEN
          H_LIQ_DP = 100.*Pcl*vcl*EPS_4(TR,CHI_4(TR,PR))
      ELSE
          H_LIQ_DP = 0.
          TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, H_LIQ_DP SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION DEL_H_DP(T)
C
C***  Skilar uppgufunarvarma vatns í kJ/kg í tvöfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15 og
C     til og með 647.3.
C     Kallar á H_VAP_DP og H_LIQ_DP.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      IF (T.GE.273.149.AND.T.LE.647.3) THEN
           DEL_H_DP = H_VAP_DP(T) - H_LIQ_DP(T)
      ELSE
           DEL_H_DP = 0.
           TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, DEL_H_DP SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION S_VAP_DP(T)
C
C***  Skilar entrópíu mettaðrar vatnsgufu í kJ/kg-K í tvöfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15
C     og til og með 647.3.
C     Pcl*vcl er margfaldað með 100 til að breyta úr bar*m3/kg yfir í kJ/kg.
C     Kallar á BETA_K, SIG_2, SIG_3 og CHI_3.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      Tcl = 647.3                       !K
      Pcl = 221.2                       !bar-a
      vcl = 0.00317                     !m3/kg
C
      TR =T/Tcl
      PR = BETA_K(TR)
C
      IF (T.GE.273.149.AND.T.LE.623.15) THEN
          S_VAP_DP = (100.*Pcl*vcl/Tcl)*SIG_2(TR,PR)
      ELSE IF (T.GT.623.15.AND.T.LE.647.3) THEN
          S_VAP_DP = (100.*Pcl*vcl/Tcl)*SIG_3(TR,CHI_3(TR,PR))
      ELSE
          S_VAP_DP = 0.
          TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, S_VAP_DP SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION S_LIQ_DP(T)
C
C***  Skilar entrópíu mettaðs vatns í kJ/kg-K í tvöfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15
C     og til og með 647.3.
C     Pcl*vcl er margfaldað með 100 til að breyta úr bar*m3/kg yfir í kJ/kg.
C     Kallar á BETA_K, SIG_1, SIG_4 og CHI_4.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      Tcl = 647.3                       !K
      Pcl = 221.2                       !bar-a
      vcl = 0.00317                     !m3/kg
C
      TR = T/Tcl
      PR = BETA_K(TR)
C
      IF (T.GE.273.149.AND.T.LE.623.15) THEN
           S_LIQ_DP = (100.*Pcl*vcl/Tcl)*SIG_1(TR,PR)
      ELSE IF (T.GT.623.15.AND.T.LE.647.15) THEN
           S_LIQ_DP = (100.*Pcl*vcl/Tcl)*SIG_4(TR,CHI_4(TR,PR))
      ELSE
           S_LIQ_DP = 0.
           TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, S_LIQ_DP SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION V_VAP_DP(T)
C
C***   Skilar eðlisrúmmáli mettaðrar vatnsgufu í m3/kg í tvöfaldri nákvæmni.
C      Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15
C      og til og með 647.3.
C      Kallar á BETA_K, CHI_2 og CHI_3.
C      ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      Tcl = 647.3                       !K
      Pcl = 221.2                       !bar-a
      vcl = 0.00317                     !m3/kg
C
      TR = T/Tcl
      PR = BETA_K(TR)
C
      IF (T.GE.273.149.AND.T.LE.623.15) THEN
           V_VAP_DP = vcl*CHI_2(TR,PR)
      ELSE IF (T.GT.623.15.AND.T.LE.647.3) THEN
           V_VAP_DP = vcl*CHI_3(TR,PR)
      ELSE
           V_VAP_DP = 0.
           TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, V_VAP_DP SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION V_LIQ_DP(T)
C
C***  Skilar eðlisrúmmáli mettaðs vatns í m3/kg í tvöfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15
C     og til og með 647.3.
C     Kallar á BETA_K, CHI_1 og CHI_4.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      Tcl = 647.3                    !K
      Pcl = 221.2                    !bar-a
      vcl = 0.00317                  !m3/kg
C
      TR = T/Tcl
      PR = BETA_K(TR)
C
      IF (T.GE.273.149.AND.T.LE.623.15) THEN
           V_LIQ_DP = vcl*CHI_1(TR,PR)
      ELSE IF (T.GT.623.15.AND.T.LE.647.3) THEN
           V_LIQ_DP = vcl*CHI_4(TR,PR)
      ELSE
           V_LIQ_DP = 0.
           TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, V_LIQ_DP SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION XS_DP(P,H)
C
C***  Skilar gufuhluta (massahluta gufu) í blöndu vatns og gufu sem hefur
C     varmainnihald (enþalpíu) H við þrýsting P; í tvöfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi á P eru bar-absolute frá og með 0.00610799
C     og til og með 221.2.
C     Leyfileg gildi varmainnihalds eru kJ/kg frá og með -0.04209
C     og til og með 4158.748.
C     Kallar á H_VAP_DP og H_LIQ_DP.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      IF (H.LT.-0.0420899.OR.H.GT.4158.7481D0) THEN
         XS_DP = 0.
         TYPE*,`ENÞALPIA UTAN LEYFILEGRA MARKA, XS_DP SETT NULL`
      ELSE IF (P.GE.0.00610799.AND.P.LE.221.2) THEN
         HV = H_VAP_DP(T_SAT_DP(P))
         HL = H_LIQ_DP(T_SAT_DP(P))
         IF (H.GT.HV) THEN
            XS_DP = 1.
         ELSE IF (H.LT.HL) THEN
            XS_DP = 0.
         ELSE
            XS_DP = (H - HL)/(HV - HL)
         END IF
      ELSE IF (P.LT.0.00610799.OR.P.GT.221.2) THEN
         XS_DP = 0.
         TYPE*,`ÞRYSTINGUR UTAN LEYFILEGRA MARKA, XS_DP SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION XS_S_DP(P,S)
C
C***  Skilar gufuhluta (massahluta gufu) í blöndu vatns og gufu sem hefur
C     entrópíu S við þrýsting P; í tvöfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi á P eru bar-absolute frá og með 0.00610799
C     og til og með 221.2.
C     Leyfileg gildi entrópíu eru kJ/kg-K frá og með -0.006689168
C     og til og með 12.75379.
C     Kallar á S_VAP_DP og S_LIQ_DP.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      IF (S.LT.-0.006689168D0.OR.S.GT.12.75379D0) THEN
         XS_S_DP = 0.
         TYPE*,`ENTROPIA UTAN LEYFILEGRA MARKA, XS_S_DP SETT NULL`
      ELSE IF (P.GE.0.00610799.AND.P.LE.221.2) THEN
         SV = S_VAP_DP(T_SAT_DP(P))
         SL = S_LIQ_DP(T_SAT_DP(P))
         IF (S.GT.SV) THEN
            XS_S_DP = 1.
         ELSE IF (S.LT.SL) THEN
            XS_S_DP = 0.
         ELSE
            XS_S_DP = (S - SL)/(SV - SL)
         END IF
      ELSE IF (P.LT.0.00610799.OR.P.GT.221.2) THEN
         XS_S_DP = 0.
         TYPE*,`ÞRYSTINGUR UTAN LEYFILEGRA MARKA, XS_S_DP SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION H_DP(T,P,X)
C
C***   Skilar varmainnihaldi (enþalpíu) vatns eða gufu, eftir því sem við á;
C      í kJ/kg, í tvöfaldri nákvæmni. Ef (T,P) fellur ekki á mettunarferilinn
C      er gildið X ekki notað og skiptir engu máli.
C      Ef (T,P) er punktur á mettunarferlinum eru gildi gufuhluta, X,
C      einingalaus, frá og með 0 og til og með 1. Í þessu tilviki er
C      varmainnihaldi mettaðrar gufu, H_VAP_DP, skilað ef X=1, enþalpíu
C      mettaðs vatns, H_LIQ_DP, ef X=0, en annars H_VAP_DP*X + H_LIQ_DP*(1-X).
C      Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15 og
C      til og með 1073.15. Leyfileg gildi þrýstings, P, eru bar-absolute
C      frá og með 0.001 og til og með 1000.
C      Pcl*vcl er margfaldað með 100 til að breyta úr bar*m3/kg í kJ/kg.
C      Kallar á BETA_L, P_SAT_DP, EPS_1, EPS_2, EPS_3, EPS_4, CHI_3, CHI_4,
C      H_VAP_DP og H_LIQ_DP.
C      --- Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      Tcl = 647.3                 !K
      Pcl = 221.2                 !bar-a
      vcl = 0.00317               !m3/kg
      T0  = 273.149               !K
      T1  = 623.15                !K
      T2  = 863.15                !K
      T3  = 1073.151              !K
      P0  = 0.001                 !bar-a
      P2  = 1000.                 !bar-a
C
      TR = T/Tcl
      PR = P/Pcl
      IF (T.GE.T0.AND.T.LE.Tcl) THEN
          PS = P_SAT_DP(T)
      ELSE
          PS = 0.
      END IF
```

```
      IF (T.GE.T1.AND.T.LE.T2) THEN
           BTL = Pcl*BETA_L(TR)
      ELSE
           BTL = 0.
      END IF
C
      IF (T.GE.TO.AND.T.LE.T1.AND.P.GT.PS.AND.P.LE.P2) THEN
           H_DP = 100.*Pcl*vcl*EPS_1(TR,PR)
      ELSE IF ((T.GE.TO.AND.T.LE.T1.AND.P.GE.PO.AND.P.LT.PS).OR.
     2         (T.GT.T1.AND.T.LT.T2.AND.P.GE.PO.AND.P.LE.BTL).OR.
     3         (T.GE.T2.AND.T.LE.T3.AND.P.GE.PO.AND.P.LE.P2)) THEN
           H_DP = 100.*Pcl*vcl*EPS_2(TR,PR)
      ELSE IF ((T.GT.T1.AND.T.LT.Tcl.AND.P.GT.BTL.AND.P.LT.PS).OR.
     2         (T.GE.Tcl.AND.T.LT.T2.AND.P.GT.BTL.AND.P.LE.P2)) THEN
           H_DP = 100.*Pcl*vcl*EPS_3(TR,CHI_3(TR,PR))
      ELSE IF (T.GT.T1.AND.T.LT.Tcl.AND.P.GT.PS.AND.P.LE.P2) THEN
           H_DP = 100.*Pcl*vcl*EPS_4(TR,CHI_4(TR,PR))
      ELSE IF (T.GE.TO.AND.T.LE.Tcl.AND.P.EQ.PS) THEN
           IF (X.GE.0..AND.X.LE.1.) THEN
              H_DP = X*H_VAP_DP(T) + (1. - X)*H_LIQ_DP(T)
           ELSE IF (X.LT.0.) THEN
              H_DP = 0.
              TYPE*,`GUFUHLUTI < 0, H_DP SETT NULL`
           ELSE
              H_DP = 0.
              TYPE*,`GUFUHLUTI > 1, H_DP SETT NULL`
           END IF
      ELSE IF ((T.LT.TO.OR.T.GT.T3).AND.(P.LT.PO.OR.P.GT.P2)) THEN
           H_DP = 0.
           TYPE*,`HITASTIG OG ÞRYSTINGUR UTAN MARKA, H_DP SETT NULL`
      ELSE IF (T.LT.TO.OR.T.GT.T3) THEN
           H_DP = 0.
           TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, H_DP SETT NULL`
      ELSE
           H_DP = 0.
           TYPE*,`ÞRYSTINGUR UTAN LEYFILEGRA MARKA, H_DP SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION S_DP(T,P,X)
C
C***   Skilar entrópíu vatns eða gufu, eftir því sem við á; í kJ/kg-K,
C      í tvöfaldri nákvæmni. Ef (T,P) fellur ekki á mettunarferilinn er
C      gildið X ekki notað og skiptir engu máli.
C      Ef (T,P) er punktur á mettunarferlinum eru gildi gufuhluta, X,
C      einingalaus, frá og með 0 og til og með 1. Í þessu tilviki er
C      entrópíu mettaðrar gufu, S_VAP_DP, skilað ef X=1, entrópíu mettaðs
C      vatns, S_LIQ_DP, ef X=0, en annars S_VAP_DP*X + S_LIQ_DP*(1-X).
C      Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15 og
C      til og með 1073.15. Leyfileg gildi þrýstings, P, eru bar-absolute
C      frá og með 0.001 og til og með 1000.
C      Pcl*vcl er margfaldað með 100 til að breyta úr bar*m3/kg í kJ/kg.
C      Kallar á BETA_L, P_SAT_DP, SIG_1, SIG_2, SIG_3, SIG_4, CHI_3, CHI_4,
C      S_VAP_DP og S_LIQ_DP.
C      ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      Tcl = 647.3                   !K
      Pcl = 221.2                   !bar-a
      vcl = 0.00317                 !m3/kg
      T0  = 273.149                 !K
      T1  = 623.15                  !K
      T2  = 863.15                  !K
      T3  = 1073.151                !K
      P0  = 0.001                   !bar-a
      P2  = 1000.                   !bar-a
C
      TR = T/Tcl
      PR = P/Pcl
      IF (T.GE.T0.AND.T.LE.Tcl) THEN
          PS = P_SAT_DP(T)
      ELSE
          PS = 0.
      END IF
```

```
      IF (T.GE.T1.AND.T.LE.T2) THEN
           BTL = Pcl*BETA_L(TR)
      ELSE
           BTL = 0.
      END IF
C
      IF (T.GE.TO.AND.T.LE.T1.AND.P.GT.PS.AND.P.LE.P2) THEN
           S_DP = (100.*Pcl*vcl/Tcl)*SIG_1(TR,PR)
      ELSE IF ((T.GE.TO.AND.T.LE.T1.AND.P.GE.PO.AND.P.LT.PS).OR.
     2         (T.GT.T1.AND.T.LT.T2.AND.P.GE.PO.AND.P.LE.BTL).OR.
     3         (T.GE.T2.AND.T.LE.T3.AND.P.GE.PO.AND.P.LE.P2)) THEN
           S_DP = (100.*Pcl*vcl/Tcl)*SIG_2(TR,PR)
      ELSE IF ((T.GT.T1.AND.T.LT.Tcl.AND.P.GT.BTL.AND.P.LT.PS).OR.
     2         (T.GE.Tcl.AND.T.LT.T2.AND.P.GT.BTL.AND.P.LE.P2)) THEN
           S_DP = (100.*Pcl*vcl/Tcl)*SIG_3(TR,CHI_3(TR,PR))
      ELSE IF (T.GT.T1.AND.T.LT.Tcl.AND.P.GT.PS.AND.P.LE.P2) THEN
           S_DP = (100.*Pcl*vcl/Tcl)*SIG_4(TR,CHI_4(TR,PR))
      ELSE IF (T.GE.TO.AND.T.LE.Tcl.AND.P.EQ.PS) THEN
           IF (X.GE.0..AND.X.LE.1.) THEN
              S_DP = X*S_VAP_DP(T) + (1. - X)*S_LIQ_DP(T)
           ELSE IF (X.LT.0.) THEN
              S_DP = 0.
              TYPE*,`GUFUHLUTI < 0, S_DP SETT NULL`
           ELSE
              S_DP = 0.
              TYPE*,`GUFUHLUTI > 1, S_DP SETT NULL`
           END IF
      ELSE IF ((T.LT.TO.OR.T.GT.T3).AND.(P.LT.PO.OR.P.GT.P2)) THEN
           S_DP = 0.
           TYPE*,`HITASTIG OG ÞRYSTINGUR UTAN MARKA, S_DP SETT NULL`
      ELSE IF (T.LT.TO.OR.T.GT.T3) THEN
           S_DP = 0.
           TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, S_DP SETT NULL`
      ELSE
           S_DP = 0.
           TYPE*,`ÞRYSTINGUR UTAN LEYFILEGRA MARKA, S_DP SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION V_DP(T,P,X)
C
C***  Skilar eðlisrúmmáli vatns eða gufu, eftir því sem við á; í m3/kg,
C     í tvöfaldri nákvæmni. Ef (T,P) fellur ekki á mettunarferilinn er
C     gildið X ekki notað og skiptir engu máli.
C     Ef (T,P) er punktur á mettunarferlinum eru gildi gufuhluta, X,
C     einingalaus, frá og með 0 og til og með 1. Í þessu tilviki er eðlis-
C     rúmmáli mettaðrar gufu, V_VAP_DP, skilað ef X=1, eðlisrúmmáli mettaðs
C     vatns, V_LIQ_DP, ef X=0, en annars V_VAP_DP*X + V_VLIQ_DP*(1-X).
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15 og
C     til og með 1073.15. Leyfileg gildi þrýstings, P, eru bar-absolute
C     frá og með 0.001 og til og með 1000.
C     Kallar á BETA_L, P_SAT_DP, CHI_1, CHI_2, CHI_3, CHI_4, V_VAP_DP
C     og V_LIQ_DP.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      Tcl = 647.3                    !K
      Pcl = 221.2                    !bar-a
      vcl = 0.00317                  !m3/kg
      T0  = 273.149                  !K
      T1  = 623.15                   !K
      T2  = 863.15                   !K
      T3  = 1073.151                 !K
      P0  = 0.001                    !bar-a
      P2  = 1000.                    !bar-a
C
      TR = T/Tcl
      PR = P/Pcl
      IF (T.GE.T0.AND.T.LE.Tcl) THEN
           PS = P_SAT_DP(T)
      ELSE
           PS = 0.
      END IF
```

```
      IF (T.GE.T1.AND.T.LE.T2) THEN
           BTL = Pcl*BETA_L(TR)
      ELSE
           BTL = 0.
      END IF
C
      IF (T.GE.TO.AND.T.LE.T1.AND.P.GT.PS.AND.P.LE.P2) THEN
           V_DP = vcl*CHI_1(TR,PR)
      ELSE IF ((T.GE.TO.AND.T.LE.T1.AND.P.GE.PO.AND.P.LT.PS).OR.
     2         (T.GT.T1.AND.T.LT.T2.AND.P.GE.PO.AND.P.LE.BTL).OR.
     3         (T.GE.T2.AND.T.LE.T3.AND.P.GE.PO.AND.P.LE.P2)) THEN
           V_DP = vcl*CHI_2(TR,PR)
      ELSE IF ((T.GT.T1.AND.T.LT.Tcl.AND.P.GT.BTL.AND.P.LT.PS).OR.
     2         (T.GE.Tcl.AND.T.LT.T2.AND.P.GT.BTL.AND.P.LE.P2)) THEN
           V_DP = vcl*CHI_3(TR,PR)
      ELSE IF (T.GT.T1.AND.T.LT.Tcl.AND.P.GT.PS.AND.P.LE.P2) THEN
           V_DP = vcl*CHI_4(TR,PR)
      ELSE IF (T.GE.TO.AND.T.LE.Tcl.AND.P.EQ.PS) THEN
           IF (X.GE.0..AND.X.LE.1.) THEN
              V_DP = X*V_VAP_DP(T) + (1. - X)*V_LIQ_DP(T)
           ELSE IF (X.LT.0.) THEN
              V_DP = 0.
              TYPE*,`GUFUHLUTI < 0, V_DP SETT NULL`
           ELSE
              V_DP = 0.
              TYPE*,`GUFUHLUTI > 1, V_DP SETT NULL`
           END IF
      ELSE IF ((T.LT.TO.OR.T.GT.T3).AND.(P.LT.PO.OR.P.GT.P2)) THEN
           V_DP = 0.
           TYPE*,`HITASTIG OG ÞRYSTINGUR UTAN MARKA, V_DP SETT NULL`
      ELSE IF (T.LT.TO.OR.T.GT.T3) THEN
           V_DP = 0.
           TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, V_DP SETT NULL`
      ELSE
           V_DP = 0.
           TYPE*,`ÞRYSTINGUR UTAN LEYFILEGRA MARKA, V_DP SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION XVOL_DP(P,H)
C
C***  Skilar út (einingalausum) rúmmálshluta gufu í tvöfaldri nákvæmni
C     (ekki massahluta). XVOL getur tekið gildi frá og með 0 og til
C     og með 1. Gufuhlutinn XVOL er háður eðlismassa, RHO, á sama hatt og
C     massahluti gufu, XS, er háður eðlisrúmmáli, þ.e.
C           XVOL = (RHO - RHO_LIQ)/(RHO_VAP - RHO_LIQ).
C     Þá er XVOL þeirrar nátturu að XVOL + YVOL = 1, þar sem YVOL
C     er rúmmálshluti vatns. Því er
C          XVOL = XS*V_VAP/(V_LIQ + XS*(V_VAP - V_LIQ)).
C     Leyfileg gildi þrýstings P, eru bar-absolute frá og með 0.00610799
C     og til og með 221.2.
C     Leyfileg gildi varmainnihalds (enþalpíu), H, eru kJ/kg frá og
C     með -0.04209 og til og með 4158.748.
C     Kallar á V_VAP_DP, V_LIQ_DP og XS_DP.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1984 ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      IF (P.LT.0.00610799.OR.P.GT.221.2) THEN
         XVOL_DP = 0.
         TYPE*,`ÞRYSTINGUR UTAN LEYFILEGRA MARKA, XVOL_DP SETT NULL`
      ELSE IF (H.LT.-0.0420899.OR.H.GT.4158.7481D0) THEN
         XVOL_DP = 0.
         TYPE*,`ENÞALPIA UTAN LEYFILEGRA MARKA, XVOL_DP SETT NULL`
      ELSE
         VV = V_VAP_DP(T_SAT_DP(P))
         VL = V_LIQ_DP(T_SAT_DP(P))
         X = XS_DP(P,H)
         XVOL_DP = X*VV/(VL + X*(VV - VL))
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION T_DP(P,H)
C
C***  Skilar hitastigi (Kelvin) vatns eða gufu sem hefur varmainnihald
C     (enþalpíu) H við þrýsting P; í tvöfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi þrýstings, P, eru bar-absolute frá og með 0.001
C     og til og með 1000.
C     Mörk fyrir varmainnihald, H, eru reiknuð fyrir þrýsting P.
C     Neðri mörk eru á bilinu frá ca. -0.04209 kJ/kg til ca. 95.895 kJ/kg,
C     en efri mörk frá ca. 3714.263 kJ/kg til ca. 4158.748 kJ/kg.
C     Þannig eru leyfileg gildi varmainnihalds á milli ca. -0.04209 kJ/kg
C     og ca. 4158.748 kJ/kg ef P = 0.001 bar-a, en á milli ca. 95.895 kJ/kg
C     og ca. 3714.263 kJ/kg ef P = 1000 bar-a.
C
C     Aðferðin við að finna það hitastig, T_DP, sem samsvarar H og P er sem
C     hér segir:
C     Ef þrýstingur er neðan við krítískan, er samsvarandi mettunarhitastig,
C     TS, fundið og varmainnihald mettaðrar gufu og mettaðs vatns síðan
C     reiknað við þetta hitastig. Ef H liggur á milli bessara gilda er
C     mettunarhitastigi skilað. Ef H liggur neðan við varmainnihald
C     mettaðs vatns, er jafnan H_DP(T,P,0.) - H = 0 leyst fyrir T með
C     fastapunktsítrekun ef H nær ekki 1500 kJ/kg, en með Newton-Raphson
C     nálgun annars. Ef H liggur ofan við varmainnihald mettaðrar gufu
C     er sama jafna leyst með Newton-Raphson ítrekun ef þrýstingur er
C     hærri en 30 bar-a og varmainnihald undir 3350 kJ/kg, en með
C     fastapunktsítrekun annars.
C     Sé þrýstingur hins vegar krítískur eða hærri, er beitt fastapunkts-
C     ítrekun ef varmainnihald er neðan við 1500 kJ/kg og einnig ef
C     varmainnihald við hinn tiltekna þrýsting er hærra en sem samsvarar
C     600 C. Annars er beitt helmingunaraðferð.
C     Ástæður þess að mismunandi aðferðum er beitt á hinum ýmsu svæðum eru
C     sem hér segir. Vendipunktar leynast víðar en ætla mætti, svo
C     erfitt er að koma Newton-Raphson nálgun við, en sú aðferð er að
C     jafnaði sú fljótvirkasta. Þá eru afleiður ekki alls staðar samfelldar
C     a mótum þeirra undirsvæða, sem notuð eru við reikninga á varma-
C     innihaldi. Er því gjarnan gripið til fastapunktsítrekunar.
C     Á nokkru bili ofan við krítíska punktinn breytist fyrsta afleiðan
C     af H með tilliti til T of hratt til þess að fastapunktsítrekun
C     sé viðeigandi. Þar verður því að notast við hina tiltölulega
C     hægvirku helmingunaraðferð.
C     Kallar á H_DP, T_SAT_DP, H_VAP_DP og H_LIQ_DP.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
```

```
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      HEDGE(X) = 3517.4 - 0.846*(X - 220.)
     2          + 1.333*(DABS((X - 610.)/390.)**2.5 - 1.)*(X-220.)**0.55
C
      TO = 273.149
      T3 = 1073.151
C
      IF (P.GE.0.001.AND.P.LE.1000.) THEN
           HTOP = H_DP(T3,P,1.)
           HBOT = H_DP(TO,P,0.)
      ELSE
           T_DP = 0.
           TYPE*,`ÞRYSTINGUR UTAN LEYFILEGRA MARKA, T_DP SETT NULL`
           RETURN
      END IF
C
      IF (H.LT.HBOT) THEN
           T_DP = 0.
           TYPE*,`ENÞALPIA NEÐAN MARKA FYRIR ÞENNAN ÞRYSTING, T_DP SETT NULL`
           RETURN
      ELSE IF (H.GT.HTOP) THEN
           T_DP = 0.
           TYPE*,`ENÞALPIA OFAN MARKA FYRIR ÞENNAN ÞRYSTING, T_DP SETT NULL`
           RETURN
      END IF
C
      IF (P.GE.0.001.AND.P.LT.221.2) THEN
           TS = T_SAT_DP(P)
           HL = H_LIQ_DP(TS)
           HV = H_VAP_DP(TS)
           IF(H.GE.HL.AND.H.LE.HV) THEN
              T_DP = TS
              RETURN
           ELSE IF (H.LT.HL.AND.H.LT.1500.) THEN
              SLOPE = (HL - HBOT)/(TS - TO)
              TOLD = 0.
              TNEW = TO
              DO WHILE (DABS(TNEW-TOLD).GT.1.0D-08)
                 TOLD = TNEW
                 HIT = H_DP(TOLD,P,0.) - H - SLOPE*(TOLD - TO)
                 TNEW = -HIT/SLOPE + TO
              END DO
              T_DP = TNEW
              RETURN
```

```
            ELSE IF (H.LT.HL.AND.H.GE.1500.) THEN
               T1 = TS
10             HLI = H_DP(T1,P,0.)
               DERH = (HLI - H_DP(T1-1.0D-06,P,0.))/1.0D-06
               T_DP = T1 - (HLI - H)/DERH
               IF (DABS(T1-T_DP).LT.1.0D-08) RETURN
               T1 = T_DP
               GO TO 10
            ELSE IF (H.GT.HV.AND.P.LE.30.) THEN
               SLOPE = (HTOP - HV)/(T3 - TS)
               TOLD = 0.
               TNEW = T3
               DO WHILE (DABS(TNEW-TOLD).GT.1.0D-08)
                  TOLD = TNEW
                  HIT = H_DP(TOLD,P,1.) - H - SLOPE*(TOLD - TS)
                  TNEW = -HIT/SLOPE + TS
               END DO
               T_DP = TNEW
               RETURN
            ELSE IF (H.GT.HV.AND.P.GT.30..AND.H.LT.3350.) THEN
               T1 = TS
20             HVA = H_DP(T1,P,1.)
               DERH = (H_DP(T1 + 1.0D-06,P,1.) - HVA)/1.0D-06
               T_DP = T1 - (HVA - H)/DERH
               IF (DABS(T1 - T_DP).LT.1.0D-08) RETURN
               T1 = T_DP
               GO TO 20
            ELSE IF (H.GT.HV.AND.P.GT.30.AND.H.GE.3350.) THEN
               SLOPE = (HTOP - HV)/(T3 - TS)
               TOLD = 0.
               TNEW = T3
               DO WHILE (DABS(TNEW-TOLD).GT.1.0D-08)
                  TOLD = TNEW
                  HIT = H_DP(TOLD,P,1.) - H - SLOPE*(TOLD - TS)
                  TNEW = -HIT/SLOPE + TS
               END DO
               T_DP = TNEW
               RETURN
            END IF
         ELSE IF (P.GE.221.2.AND.P.LE.1000..AND.H.LT.1500.) THEN
            SLOPE = (1235. - HBOT)/280.
            TOLD = 0.
            TNEW = T0
            DO WHILE (DABS(TNEW-TOLD).GT.1.0D-08)
               TOLD = TNEW
               HIT = H_DP(TOLD,P,0.) - H - SLOPE*(TOLD - T0)
```

```
            TNEW = -HIT/SLOPE + TO
         END DO
         T_DP = TNEW
         RETURN
      ELSE IF (P.GE.221.2.AND.P.LE.1000..AND.H.GE.HEDGE(P)) THEN
         SLOPE = (HTOP - HEDGE(P))/200.
         TOLD = 0.
         TNEW = T3
         DO WHILE(DABS(TNEW-TOLD).GT.1.0D-08)
            TOLD = TNEW
            HIT = H_DP(TOLD,P,1.) - H - SLOPE*(TOLD - 873.15)
            TNEW = -HIT/SLOPE + 873.15
         END DO
         T_DP = TNEW
         RETURN
      ELSE IF(P.GE.221.2.AND.P.LE.1000.
     2      .AND.H.GE.1500..AND.H.LT.HEDGE(P)) THEN
         T1 = 600.
         T2 = 873.15
         H_T1 = H_DP(T1,P,0.) - H
         DO WHILE(T2-T1.GT.1.0D-08)
            TMP = (T1 + T2)/2.
            H_TMP = H_DP(TMP,P,0.) - H
            IF (H_T1*H_TMP.LE.0.) THEN
               T2 = TMP
            ELSE
               T1 = TMP
               H_T1 = H_TMP
            END IF
         END DO
         T_DP = TMP
         RETURN
      END IF
C
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION ETA_DP(T,V)
C
C***  Skilar seigju (viskositeti) vatns eða gufu í centipoise (0.01 g/s cm);
C     í tvöfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15
C     og til og með 1073.15.
C     Leyfileg gildi eðlisrúmmáls, V, eru m3/kg frá og með 0.0009564
C     og til og með 4952.694.
C     Mörkum á gildi inntaksbreyta er hér haldið til samræmis við önnur
C     undirforrit í safninu, enda þótt gildissvið jafnanna hér að neðan
C     sé víðara.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      DIMENSION a(0:3),b(0:5,0:4)
C
      DATA (a(I),I=0,3)/0.0181583D0, 0.0177624D0, 0.0105287D0, -0.0036744D0/
C
      DATA (b(I,0),I=0,5)/ 0.501938D0,  0.162888D0, -0.130356D0,
     2                     0.907919D0, -0.551119D0,  0.146543D0 /
      DATA (b(I,1),I=0,5)/ 0.235622D0,  0.789393D0,  0.673665D0,
     2                     1.207552D0,  0.0670665D0,-0.084337D0 /
      DATA (b(I,2),I=0,5)/-0.274637D0, -0.743539D0, -0.959456D0,
     2                    -0.687343D0, -0.497089D0,  0.195286D0 /
      DATA (b(I,3),I=0,5)/ 0.145831D0,  0.263129D0,  0.347247D0,
     2                     0.213486D0,  0.100754D0, -0.032932D0 /
      DATA (b(I,4),I=0,5)/-0.0270448D0,-0.0253093D0,-0.0267758D0,
     2                    -0.0822904D0, 0.0602253D0,-0.0202595D0/
C
C
      VSTAR = 0.003147                        !m3/kg
      TSTAR = 647.27                          !K
C
```

```
      IF (T.LT.273.149.OR.T.GT.1073.151) THEN
           ETA_DP = 0.
           TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, ETA_DP SETT NULL`
           RETURN
      ELSE IF (V.LT.0.0009564.OR.V.GT.4952.694) THEN
           ETA_DP = 0.
           TYPE*,`EÐLISRUMMAL UTAN LEYFILEGRA MARKA, ETA_DP SETT NULL`
           RETURN
      END IF
C
      SUM1 = 0.
      DO K=0,3
           SUM1 = SUM1 + a(K)*(TSTAR/T)**K
      END DO
      ETA_0 = DSQRT(T/TSTAR)*1.D-03/SUM1
C
      SUM2 = 0.
      DO I=0,5
           SUM3=0.
           DO J=0,4
              SUM3 = SUM3 + b(I,J)*(TSTAR/T - 1.)**I*(VSTAR/V - 1.)**J
           END DO
           SUM2 = SUM2 + SUM3
      END DO
C
      ETA_DP = ETA_0*DEXP(SUM2*VSTAR/V)
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION COND_DP(T,V)
C
C***  Skilar varmaleiðni vatns og gufu í W/K m; í tvöfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15
C     og til og með 1073.15.
C     Leyfileg gildi eðlisrúmmáls, V, eru m3/kg frá og með 0.0009564
C     og til og með 4952.694.
C     Mörkum a gildi inntaksbreyta er haldið til samræmis við önnur
C     undirforrit í safninu, enda þótt gildissvið jafnanna hér að neðan
C     sé víðara.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      REAL*8 LAM_0,LAM_BAR
C
      DIMENSION a(0:3),b(0:2),B_CAPP(2), C_CAPP(6),d(4)
C
      DATA    (a(I),I=0,3) / 1.02811D-02,  2.99621D-02,  1.56146D-02,
     2                      -4.22464D-03                            /
C
      DATA    (b(I),I=0,2) /-3.97070D-01,  4.00302D-01,  1.06000D0  /
C
      DATA (B_CAPP(I),I=1,2)/             -1.71587D-01,  2.39219D0  /
C
      DATA (C_CAPP(I),I=1,6)/              6.42857D-01, -4.11717D0,
     2                      -6.17937D0,    3.08976D-03,  8.22994D-02,
     3                       1.00932D+01                            /
C
      DATA    (d(I),I=1,4) /               7.01309D-02,  1.18520D-02,
     2                       1.69937D-03, -1.02000D0                /
C
      TSTAR = 647.3                   !K
      RHO_STAR = 317.7                !kg/m3
C
```

```
      IF (T.LT.273.149.OR.T.GT.1073.151) THEN
           COND_DP = 0.
           TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, COND_DP SETT NULL`
           RETURN
      ELSE IF (V.LT.0.0009564.OR.V.GT.4952.694) THEN
           COND_DP = 0.
           TYPE*,`EÐLISRUMMAL UTAN LEYFILEGRA MARKA, COND_DP SETT NULL`
           RETURN
      END IF
C
      T_RAT = T/TSTAR
      RHO_RAT = 1./(V*RHO_STAR)
      DTSTAR = DABS(T_RAT - 1.) + C_CAPP(4)
      Q = 2.0 + C_CAPP(5)*DTSTAR**(-0.6)
      R = Q*T_RAT + 1.0
      IF (T_RAT.GE.1.) THEN
           S = DTSTAR**(-1.0)
      ELSE IF (T_RAT.LT.1.) THEN
           S = C_CAPP(6)*DTSTAR**(-0.6)
      END IF
C
      SUM = 0.
      DO I=0,3
           SUM = SUM + a(I)*T_RAT**I
      END DO
      LAM_0 = SUM*DSQRT(T_RAT)
C
      LAM_BAR = b(0) + b(1)*RHO_RAT +
     2          b(2)*DEXP(B_CAPP(1)*(RHO_RAT + B_CAPP(2))**2)
C
      DEL_LAM = (d(1)/T_RAT**10 + d(2))*RHO_RAT**1.8
     2           *DEXP(C_CAPP(1)*(1. - RHO_RAT**2.8))
     3           + d(3)*S*RHO_RAT**Q*DEXP((1. - RHO_RAT**R)*Q/R)
     4           + d(4)*DEXP(C_CAPP(2)*T_RAT**1.5 + C_CAPP(3)/RHO_RAT**5)
C
      COND_DP = LAM_0 + LAM_BAR + DEL_LAM
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION TENS_DP(T)
C
C***  Skilar yfirborðsspennu vatns í N/m á mettunarlínunni;
C     í tvöfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15
C     og til og með 647.3.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      Tc = 647.15                        !Samkvæmt forskrift i gufutöflum
C
      IF (T.GE.273.149.AND.T.LE.Tc) THEN
          TENS_DP = 0.2358*((Tc-T)/Tc)**1.256*(1. - 0.625*(Tc-T)/Tc)
      ELSE IF (T.GT.Tc.AND.T.LE.647.3) THEN
          TENS_DP = 0.
      ELSE
          TENS_DP = 0.
          TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, TENS_DP SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

VIÐAUKI D:

FORTRANSKRÁR VARMAEIGINLEIKAFALLA Í EINFALDRI NÁKVÆMNI

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION P_SAT(T)
C
C***  Skilar mettunarþrýstingi vatnsgufu í bar-absolute í einfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15 og til
C     og með 647.3.
C     Kallar á P_SAT_DP.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1984 ---
C
      REAL*8 P_SAT_DP,TDP
C
      IF (T.GE.273.15.AND.T.LE.647.3) THEN
           TDP = DBLE(T)
           P_SAT = SNGL(P_SAT_DP(TDP))
      ELSE
           P_SAT = 0.
           TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, P_SAT SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION T_SAT(P)
C
C***  Skilar mettunarhitastigi vatnsgufu í Kelvin í einfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi þrýstings, P, eru bar-absolute frá og með 0.006108
C     og til og með 221.2.
C     Kallar á T_SAT_DP.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1984 ---
C
      REAL*8 T_SAT_DP,PDP
C
      IF (P.GE.0.006108.AND.P.LE.1000.) THEN
           PDP = DBLE(P)
           T_SAT = SNGL(T_SAT_DP(PDP))
      ELSE
           T_SAT = 0.
           TYPE*,`ÞRYSTINGUR UTAN LEYFILEGRA MARKA, T_SAT SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION H_VAP(T)
C
C***   Skilar varmainnihaldi (enþalpíu) mettaðrar gufu í kJ/kg í
C      einfaldri nákvæmni.
C      Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15 og
C      til og með 647.3.
C      Kallar á H_VAP_DP.
C      ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      REAL*8 H_VAP_DP,TDP
C
      IF (T.GE.273.15.AND.T.LE.647.3) THEN
           TDP = DBLE(T)
           H_VAP = SNGL(H_VAP_DP(TDP))
      ELSE
           H_VAP = 0.
           TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, H_VAP SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
C
C
C<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION H_LIQ(T)
C
C***   Skilar varmainnihaldi (enþalpíu) mettaðs vatns í kJ/kg í
C      einfaldri nákvæmni.
C      Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15 og
C      til og með 647.3.
C      Kallar á H_LIQ_DP.
C      ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      REAL*8 H_LIQ_DP,TDP
C
      IF (T.GE.273.15.AND.T.LE.647.3) THEN
           TDP = DBLE(T)
           H_LIQ = SNGL(H_LIQ_DP(TDP))
      ELSE
           H_LIQ = 0.
           TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, H_LIQ SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION DEL_H(T)
C
C     Skilar uppgufunarvarma vatns í kJ/kg í einfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15 og
C     til og með 647.3.
C     Kallar á DEL_H_DP.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      REAL*8 DEL_H_DP,TDP
C
      IF (T.GE.273.15.AND.T.LE.647.3) THEN
          TDP = DBLE(T)
          DEL_H = SNGL(DEL_H_DP(TDP))
      ELSE
          DEL_H = 0.
          TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, DEL_H SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION S_VAP(T)
C
C***  Skilar entrópíu mettaðrar vatnsgufu í kJ/kg-K í einfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15 og til
C     og með 647.3.
C     Kallar á S_VAP_DP.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1984 ---
C
      REAL*8 S_VAP_DP, TDP
C
      IF (T.GE.273.15.AND.T.LE.647.3) THEN
           TDP = DBLE(T)
           S_VAP = SNGL(S_VAP_DP(TDP))
      ELSE
           S_VAP = 0.
           TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, S_VAP SET NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION S_LIQ(T)
C
C***  Skilar entrópíu mettaðs vatns í kJ/kg-K í einfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15
C     og til og með 647.3.
C     Kallar á S_LIQ_DP.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1984 ---
C
      REAL*8 S_LIQ_DP,TDP
C
      IF (T.GE.273.15.AND.T.LE.647.3) THEN
           TDP = DBLE(T)
           S_LIQ = SNGL(S_LIQ_DP(TDP))
      ELSE
           S_LIQ = 0.
           TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, S_LIQ SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION V_VAP(T)
C
C***  Skilar eðlisrúmmáli mettaðrar vatnsgufu í m3/kg í einfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15 og
C     til og með 647.3.
C     Kallar á V_VAP_DP.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      REAL*8 V_VAP_DP,TDP
C
      IF (T.GE.273.15.AND.T.LE.647.3) THEN
           TDP = DBLE(T)
           V_VAP = SNGL(V_VAP_DP(TDP))
      ELSE
           V_VAP = 0.
           TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, V_VAP SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION V_LIQ(T)
C
C***  Skilar eðlisrúmmáli mettaðs vatns í m3/kg í einfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15 og
C     til og með 647.3.
C     Kallar á V_LIQ_DP.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      REAL*8 V_LIQ_DP,TDP
C
      IF (T.GE.273.15.AND.T.LE.647.3) THEN
           TDP = DBLE(T)
           V_LIQ = SNGL(V_LIQ_DP(TDP))
      ELSE
           V_LIQ = 0.
           TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, V_LIQ SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION XS(P,H)
C
C***  Skilar gufuhluta (massahluta gufu) í blöndu vatns og gufu sem hefur
C     varmainnihald (enþalpíu) H við þrýsting P; í einfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi á P eru bar-absolute frá og með 0.006108
C     og til og með 221.2.
C     Leyfileg gildi varmainnihalds eru kJ/kg frá og með -0.04209
C     og til og með 4158.748.
C     Kallar á XS_DP.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      REAL*8 XS_DP,PDP,HDP
C
      IF (P.GE.0.006108.AND.P.LE.221.2
      2   .AND.H.GE.-0.04209.AND.H.LE.4158.748) THEN
           PDP = DBLE(P)
           HDP = DBLE(H)
           XS = SNGL(XS_DP(PDP,HDP))
      ELSE IF (P.LT.0.006108.OR.P.GT.221.2) THEN
           XS = 0.
           TYPE*,`ÞRYSTINGUR UTAN LEYFILEGRA MARKA, XS SETT NULL`
      ELSE IF (H.LT.-0.04209.OR.H.GT.4158.748) THEN
           XS = 0.
           TYPE*,`ENÞALPIA UTAN LEYFILEGRA MARKA, XS SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION XS_S(P,S)
C
C***   Skilar gufuhluta (massahluta gufu) í blöndu vatns og gufu sem hefur
C      entrópíu S við þrýsting P; í einfaldri nákvæmni.
C      Leyfileg gildi á P eru bar-absolute frá og með 0.006108
C      og til og með 221.2.
C      Leyfileg gildi entrópíu eru kJ/kg-K frá og með -0.006689167
C      og til og með 12.75378.
C      Kallar á XS_S_DP.
C      ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      REAL*8 XS_S_DP,PDP,SDP
C
      IF (P.GE.0.006108.AND.P.LE.221.2
     2   .AND.S.GE.-0.006689167.AND.S.LE.12.75378) THEN
         PDP = DBLE(P)
         SDP = DBLE(S)
         XS_S = SNGL(XS_S_DP(PDP,SDP))
      ELSE IF (P.LT.0.006108.OR.P.GT.221.2) THEN
         XS_S = 0.
         TYPE*,`ÞRYSTINGUR UTAN LEYFILEGRA MARKA, XS_S SETT NULL`
      ELSE IF (S.LT.-0.006689167.OR.S.GT.12.75378) THEN
         XS_S = 0.
         TYPE*,`ENTROPIA UTAN LEYFILEGRA MARKA, XS_S SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION H(T,P,X)
C
C***   Skilar varmainnihaldi (enþalpíu) vatns eða gufu, eftir því sem við á:
C      í kJ/kg, í einfaldri nákvæmni. Ef (T,P) fellur ekki á mettunarferilinn
C      er gildið X ekki notað og skiptir engu máli.
C      Ef (T,P) er punktur á mettunarferlinum eru gildi gufuhluta, X,
C      einingalaus, frá og með 0 og til og með 1. Í þessu tilviki er
C      varmainnihaldi mettaðrar gufu, H_VAP, skilað ef X=1, varmainnihaldi
C      mettaðs vatns, H_LIQ, ef X=0, en annars H_VAP*X + H_LIQ*(1-X).
C      Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15 og
C      til og með 1073.15. Leyfileg gildi þrýstings, P, eru bar-absolute
C      frá og með 0.001 og til og með 1000.
C      Kallar á H_DP og P_SAT_DP.
C      --- Jón Örn Bjarnason, 1984 ---
C
      REAL*8 H_DP,TDP,PDP,XDP,PS,P_SAT_DP
C
      TDP = DBLE(T)
      PDP = DBLE(P)
      XDP = DBLE(X)
C
      IF (T.LT.273.15.OR.T.GT.1073.15) THEN
          H = 0.
          TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, H SETT NULL`
      ELSE IF (P.LT.0.001.OR.P.GT.1000.) THEN
          H = 0.
          TYPE*,`ÞRYSTINGUR UTAN LEYFILEGRA MARKA, H SETT NULL`
      ELSE IF (T.GE.273.15.AND.TDP.LE.647.3D0) THEN
          PS = P_SAT_DP(TDP)
          IF (PDP.EQ.PS.AND.XDP.LT.0.D0) THEN
             H = 0.
             TYPE*,`GUFUHLUTI NEGATIVUR, H SETT NULL`
          ELSE IF (PDP.EQ.PS.AND.XDP.GT.1.D0) THEN
             H = 0.
             TYPE*,`GUFUHLUTI STÆRRI EN EINN, H SETT NULL`
          ELSE
             H = SNGL(H_DP(TDP,PDP,XDP))
          END IF
      ELSE
          H = SNGL(H_DP(TDP,PDP,XDP))
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION S(T,P,X)
C
C***  Skilar entrópíu vatns eða gufu, eftir því sem við á; í kJ/kg-K,
C     í einfaldri nákvæmni. Ef (T,P) fellur ekki á mettunarferilinn er
C     gildið X ekki notað og skiptir engu máli.
C     Ef (T,P) er punktur á mettunarferlinum eru gildi gufuhluta, X,
C     einingalaus, frá og með 0 og til og með 1. Í þessu tilviki er
C     entrópíu mettaðrar gufu, S_VAP, skilað ef X=1, entrópíu mettaðs
C     vatns, S_LIQ, ef X=0, en annars S_VAP*X + S_LIQ*(1-X).
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15 og
C     til og með 1073.15. Leyfileg gildi þrýstings, P, eru bar-absolute
C     frá og með 0.001 og til og með 1000.
C     Kallar á S_DP og P_SAT_DP.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      REAL*8 S_DP,TDP,PDP,XDP,PS,P_SAT_DP
C
      TDP = DBLE(T)
      PDP = DBLE(P)
      XDP = DBLE(X)
C
      IF (T.LT.273.15.OR.T.GT.1073.15) THEN
         S = 0.
         TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, S SETT NULL`
      ELSE IF (P.LT.0.001.OR.P.GT.1000.) THEN
         S = 0.
         TYPE*,`ÞRYSTINGUR UTAN LEYFILEGRA MARKA, S SETT NULL`
      ELSE IF (T.GE.273.15.AND.TDP.LE.647.3D0) THEN
         PS = P_SAT_DP(TDP)
         IF(PDP.EQ.PS.AND.XDP.LT.0.D0) THEN
            S = 0.
            TYPE*,`GUFUHLUTI NEGATIVUR, S SETT NULL`
         ELSE IF (PDP.EQ.PS.AND.XDP.GT.1.D0) THEN
            S = 0.
            TYPE*,`GUFUHLUTI STÆRRI EN EINN, S SETT NULL`
         ELSE
            S = SNGL(S_DP(TDP,PDP,XDP))
         END IF
      ELSE
         S = SNGL(S_DP(TDP,PDP,XDP))
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION V(T,P,X)
C
C***  Skilar eðlisrúmmáli vatns eða gufu, eftir því sem við á; í m3/kg,
C     í einfaldri nákvæmni. Ef (T,P) fellur ekki á mettunarferilinn er
C     gildið X ekki notað og skiptir engu máli.
C     Ef (T,P) er punktur á mettunarferlinum eru gildi gufuhluta, X,
C     einingalaus, frá og með 0 og til og með 1. Í þessu tilviki er
C     eðlisrúmmáli mettaðrar gufu, V_VAP, skilað ef X=1, eðlisrúmmáli
C     mettaðs vatns, V_LIQ, ef X=0, en annars V_VAP*X + V_LIQ*(1-X).
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15 og
C     til og með 1073.15. Leyfileg gildi þrýstings, P, eru bar-absolute
C     frá og með 0.001 og til og með 1000.
C     Kallar á V_DP og P_SAT_DP.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      REAL*8 V_DP,TDP,PDP,XDP,PS,P_SAT_DP
C
      TDP = DBLE(T)
      PDP = DBLE(P)
      XDP = DBLE(X)
C
      IF (T.LT.273.15.OR.T.GT.1073.15) THEN
          V = 0.
          TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, V SETT NULL`
      ELSE IF (P.LT.0.001.OR.P.GT.1000.) THEN
          V = 0.
          TYPE*,`ÞRYSTINGUR UTAN LEYFILEGRA MARKA, V SETT NULL`
      ELSE IF (T.GE.273.15.AND.TDP.LE.647.3D0) THEN
          PS = P_SAT_DP(TDP)
          IF (PDP.EQ.PS.AND.XDP.LT.0.D0) THEN
             V = 0.
             TYPE*,`GUFUHLUTI NEGATIVUR, V SETT NULL`
          ELSE IF (PDP.EQ.PS.AND.XDP.GT.1.D0) THEN
             V = 0.
             TYPE*,`GUFUHLUTI STÆRRI EN EINN, V SETT NULL`
          ELSE
             V = SNGL(V_DP(TDP,PDP,XDP))
          END IF
      ELSE
          V = SNGL(V_DP(TDP,PDP,XDP))
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION XVOL(P,H)
C
C***   Skilar út (einingalausum) rúmmálshluta gufu (ekki massahluta).
C      XVOL getur tekið gildi frá og með 0 og til og með 1. Gufuhlutinn
C      XVOL er háður eðlismassa, RHO, á sama hatt og massahluti gufu, XS,
C      er háður eðlisrúmmáli, þ.e.
C              XVOL = (RHO - RHO_LIQ)/(RHO_VAP - RHO_LIQ).
C      Þá er XVOL þeirrar nátturu að XVOL + YVOL = 1, þar sem YVOL
C      er rúmmálshluti vatns. Því er
C             XVOL = XS*V_VAP/(V_LIQ + XS*(V_VAP - V_LIQ)).
C      Leyfileg gildi þrýstings P, eru bar-absolute frá og með 0.006108
C      og til og með 221.2.
C      Leyfileg gildi varmainnihalds eru kJ/kg frá og með -0.04209 og
C      til og með 4158.748.
C      Kallar á XVOL_DP.
C      ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      REAL*8 XVOL_DP,PDP,HDP
C
      IF (P.GE.0.006108.AND.P.LE.221.2
     2   .AND.H.GE.-0.04209.AND.H.LE.4158.748) THEN
          PDP = DBLE(P)
          HDP = DBLE(H)
          XVOL = SNGL(XVOL_DP(PDP,HDP))
      ELSE IF (P.LT.0.006108.OR.P.GT.221.2) THEN
          XVOL = 0.
          TYPE*,`ÞRYSTINGUR UTAN LEYFILEGRA MARKA, XVOL SETT NULL`
      ELSE IF (H.LT.-0.04209.OR.H.GT.4158.748) THEN
          XVOL = 0.
          TYPE*,`ENÞALPIA UTAN LEYFILEGRA MARKA, XVOL SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION T(P,H)
C
C***  Skilar hitastigi (Kelvin) vatns eða gufu sem hefur varmainnihald
C     (enþalpíu) H við þrýsting P; í einfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi þrýstings, P, eru bar-absolute frá og með 0.001
C     og til og með 1000.
C     Mörk fyrir varmainnihald, H, eru reiknuð fyrir þrýsting P.
C     Neðri mörk eru á bilinu frá ca. -0.04209 kJ/kg til ca. 95.895 kJ/kg,
C     en efri mörk frá ca. 3714.263 kJ/kg til ca. 4158.748 kJ/kg.
C     Þannig eru leyfileg gildi varmainnihalds á milli ca. -0.04209 kJ/kg
C     og ca. 4158.748 kJ/kg ef P = 0.001 bar-a, en á milli ca. 95.895 kJ/kg
C     og ca. 3714.263 kJ/kg ef P = 1000 bar-a.
C     Kallar á T_DP og H_DP.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      REAL*8 HDP,PDP,T0,T3,H_DP,HTOP,HBOT,T_DP
C
      T0 = 273.15D0
      T3 = 1073.15D0
      HDP = DBLE(H)
      PDP = DBLE(P)
C
      IF (P.GE.0.001.AND.P.LE.1000.) THEN
           HTOP = H_DP(T3,PDP,1.D0)
           HBOT = H_DP(T0,PDP,0.D0)
      END IF
C
      IF (P.LT.0.001.OR.P.GT.1000.) THEN
           T = 0.
           TYPE*,`ÞRYSTINGUR UTAN LEYFILEGRA MARKA, T SETT NULL`
      ELSE IF (HDP.LT.HBOT) THEN
           T = 0.
           TYPE*,`ENÞALPIA NEÐAN MARKA FYRIR ÞENNAN ÞRYSTING, T SETT NULL`
      ELSE IF (HDP.GT.HTOP) THEN
           T = 0.
           TYPE*,`ENÞALPIA OFAN MARKA FYRIR ÞENNAN ÞRYSTING, T SETT NULL`
      ELSE
           T = SNGL(T_DP(PDP,HDP))
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION ETA(T,V)
C
C***  Skilar seigju (viskositeti) vatns eða gufu í centipoise (0.01 g/s cm);
C     í einfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15
C     og til og með 1073.15.
C     Leyfileg gildi eðlisrúmmals, V, eru m3/kg frá og með 0.0009564
C     og til og með 4952.694.
C     Kallar á ETA_DP.
C     ---  Jón Örn Bjarnason, 1984  ---
C
      REAL*8 ETA_DP,TDP,VDP
C
      IF (T.LT.273.15.OR.T.GT.1073.15) THEN
          ETA = 0.
          TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, ETA SETT NULL`
      ELSE IF (V.LT.0.0009564.OR.V.GT.4952.694) THEN
          ETA = 0.
          TYPE*,`EÐLISRUMMAL UTAN LEYFILEGRA MARKA, ETA SETT NULL`
      ELSE
          TDP = DBLE(T)
          VDP = DBLE(V)
          ETA = SNGL(ETA_DP(TDP,VDP))
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION COND(T,V)
C
C***  Skilar varmaleiðni vatns og gufu í W/K m; í einfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15
C     og til og með 1073.15.
C     Leyfileg gildi eðlisrúmmáls, V, eru m3/kg frá og með 0.0009564
C     og til og með 4952.694.
C     Kallar á COND_DP.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1984 ---
C
      REAL*8 COND_DP,TDP,VDP
C
      IF (T.LT.273.15.OR.T.GT.1073.15) THEN
          COND = 0.
          TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, COND SETT NULL`
      ELSE IF (V.LT.0.0009564.OR.V.GT.4952.694) THEN
          COND = 0.
          TYPE*,`EÐLISRUMMAL UTAN LEYFILEGRA MARKA, COND SETT NULL`
      ELSE
          TDP = DBLE(T)
          VDP = DBLE(V)
          COND = SNGL(COND_DP(TDP,VDP))
      END IF
C
      RETURN
      END
```

```
C
C
C><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>
C
C
      FUNCTION TENS(T)
C
C***  Skilar yfirborðsspennu vatns í N/m á mettunarlínunni;
C     í einfaldri nákvæmni.
C     Leyfileg gildi hitastigs, T, eru stig Kelvin frá og með 273.15
C     og til og með 647.3.
C     Kallar á TENS_DP.
C     --- Jón Örn Bjarnason, 1984 ---
C
      REAL*8 TDP,TENS_DP
C
      IF (T.GE.273.15.AND.T.LE.647.3) THEN
           TDP = DBLE(T)
           TENS = SNGL(TENS_DP(TDP))
      ELSE
           TENS = 0.
           TYPE*,`HITASTIG UTAN LEYFILEGRA MARKA, TENS SETT NULL`
      END IF
C
      RETURN
      END
```

UNDIRFORRITASAFNID STEAM

YFIRLIT YFIR FÖLL

METTUNARLÍNUFÖLL

Leyfileg gildi inntaksbreyta eru:

Hitastig:	273,15 Kelvin	<	T	<	647,3 Kelvin
Þrýstingur:	0,006108 bar-a	<	P	<	221,2 bar-a

REAL*4 Nafn falls	REAL*8 Nafn falls	Það sem reiknað er	Eining
P_SAT(T)	P_SAT_DP(T)	Mettunarþrýstingur vatnsgufu	bar-a
T_SAT(P)	T_SAT_DP(P)	Mettunarhitastig vatnsgufu	K
H_VAP(T)	H_VAP_DP(T)	Varmainnihald mettaðrar gufu	kJ/kg
H_LIQ(T)	H_LIQ_DP(T)	Varmainnihald mettaðs vatns	kJ/kg
DEL_H(T)	DEL_H_DP(T)	Uppgufunarvarmi vatns	kJ/kg
S_VAP(T)	S_VAP_DP(T)	Entrópía mettaðrar gufu	kJ/(kg*K)
S_LIQ(T)	S_LIQ_DP(T)	Entrópía mettaðs vatns	kJ/(kg*K)
V_VAP(T)	V_VAP_DP(T)	Eðlisrúmmál mettaðrar gufu	m3/kg
V_LIQ(T)	V_LIQ_DP(T)	Eðlisrúmmál mettaðs vatns	m3/kg
TENS(T)	TENS_DP(T)	Yfirborðspenna vatns	Newton/m

GUFUHLUTAFÖLL

Leyfileg gildi inntaksbreyta eru:

Þrýstingur:	0,006108 bar-a	<	P	<	221,2	bar-a
Varmainnihald:	-0,04209 kJ/kg	<	H	<	4158,748	kJ/kg
Entrópía:	-0,006689167 kJ/(kg*K)	<	S	<	12,75378	kJ/(kg*K)

REAL*4 Nafn falls	REAL*8 Nafn falls	Það sem reiknað er	Eining
XS(P,H)	XS_DP(P,H)	Massahluti gufu með varmainnihald H við þrýsting P	engin
XS_S(P,S)	XS_S_DP(P,S)	Massahluti gufu með entrópíu S við þrýsting P	engin
XVOL(P,H)	XVOL_DP(P,H)	Rúmmálshluti gufu með varma-innihald H við þrýsting P	engin

---

FÖLL SEM NÁ YFIR ALLT FASALÍNURITIÐ

Leyfileg gildi inntaksbreyta eru:

Hitastig:	273,15 Kelvin	<	T	<	1073,15	Kelvin
Þrýstingur:	0,001 bar-a	<	P	<	1000	bar-a
Eðlisrúmmál:	0,0009564 m3	<	V	<	4952,694	m3
Varmainnihald:	-0,04209 kJ/kg	<	H	<	4158,748	kJ/kg
Gufuhluti:	0	<	X	<	1	

(Mörk varmainnihalds eru háð þrýstingi. Gefin eru ýtrustu mörk.
Gildi gufuhluta skiptir þá og því aðeins máli að punkturinn (T,P) falli nákvæmlega á mettunarlínuna)

REAL*4 Nafn falls	REAL*8 Nafn falls	Það sem reiknað er	Eining
H(T,P,X)	H_DP(T,P,X)	Varmainnihald vatns eða gufu	kJ/kg
S(T,P,X)	S_DP(T,P,X)	Entrópía vatns eða gufu	kJ/(kg*K)
V(T,P,X)	V_DP(T,P,X)	Eðlisrúmmál vatns eða gufu	m3/kg
ETA(T,V)	ETA_DP(T,V)	Seigja vatns eða gufu	0,01*g/(cm*s);(cp)
COND(T,V)	COND_DP(T,V)	Varmaleiðni vatns eða gufu	W/(m*K)
T(P,H)	T_DP(P,H)	Hitastig	K