

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ตารางผลการคำนวณ

ตารางที่ ก.1 แสดงการกระจายของอุณหภูมิในวัสดุและของไหล โดยที่อุณหภูมิขาเข้าของของไหล 65.0°C อุณหภูมิเริ่มต้นของวัสดุ 30.7°C
 เส้นค่าศูนย์กลางทรงกลม = 0.0432 m ความเร็วของของไหล = 0.15 m/s

เวลา (hr)	ระยะ ห่าง จาก ขอบ (m)	ผลจากการ ทดลองโดย Natawat		การกระจาย อุณหภูมิในวัสดุ สม่ำเสมอ		การกระจายอุณหภูมิในวัสดุ ไม่สม่ำเสมอ (โดยผลเฉลยเชิงวิเคราะห์)		
		Ta ($^{\circ}\text{C}$)	Tb ($^{\circ}\text{C}$)	Ta ($^{\circ}\text{C}$)	Tb ($^{\circ}\text{C}$) ระยะจากจุดศูนย์กลาง (m)	Ta ($^{\circ}\text{C}$)	Tb ($^{\circ}\text{C}$) ระยะจากจุดศูนย์กลาง (m)	
							0.007	0.014
0	0.050	30.70	30.70	30.70	0.021	30.70	0.007	0.021
	0.200	31.00	31.00	30.70	30.70	30.70	30.70	30.70
	0.350	31.00	31.00	30.70	30.70	30.70	30.70	30.70
	0.450	30.70	30.70	30.70	30.70	30.70	30.70	30.70
1	0.050	60.50	59.00	64.59	62.43	64.46	57.58	62.61
	0.200	57.10	55.20	62.16	57.78	61.77	52.99	58.58
	0.350	46.90	42.90	58.56	52.87	57.97	43.93	48.46
	0.450	40.00	39.00	55.79	49.75	55.16	38.14	41.10

ตารางที่ ก.1 แสดงการกระจายของอุณหภูมิในวัสดุและของไหล โดยที่อุณหภูมิเข้าของของไหล 65.0°C อุณหภูมิเริ่มต้นของวัสดุ 30.7°C
 เส้นผ่านศูนย์กลางทรงกลม = 0.0432 m ความเร็วของของไหล = 0.15 m/s (ต่อ)

เวลา (hr)	ระยะ ห่าง จาก ขอบ (m)	ผลจากการทดลองโดย Natavut		การกระจายอุณหภูมิในวัสดุ สม่ำเสมอ		การกระจายอุณหภูมิในวัสดุ ไม่สม่ำเสมอ (โดยผลเฉลยเชิงวิเคราะห์)		
		Ta ($^{\circ}\text{C}$)	Tb ($^{\circ}\text{C}$)	Ta ($^{\circ}\text{C}$)	Tb ($^{\circ}\text{C}$)	Ta ($^{\circ}\text{C}$)	ระยะจากจุดศูนย์กลาง (m)	
							0.007	0.021
2	0.050	62.70	62.50	64.97	64.90	65.00	63.38	64.83
	0.200	62.70	62.20	64.71	64.57	64.94	62.28	64.46
	0.350	59.40	57.50	64.02	63.11	64.12	59.07	62.60
	0.450	56.00	55.00	63.26	61.94	62.00	55.29	59.52
3	0.050	64.70	64.50	64.99	64.99	65.00	64.65	64.99
	0.200	64.20	64.00	64.97	64.93	65.00	64.40	64.96
	0.350	62.00	61.50	64.88	64.74	64.97	63.65	64.79
	0.450	61.00	60.70	64.74	64.49	64.81	62.60	64.36

ตารางที่ ก.1 แสดงการกระจายของอุณหภูมิในวัสดุและของไหล โดยที่อุณหภูมิขาเข้าของของไหล 65.0°C อุณหภูมิเริ่มต้นของวัสดุ 30.7°C
 เส้นผ่านศูนย์กลางทรงกลม = 0.0432 m ความเร็วของของไหล = 0.15 m/s (ต่อ)

เวลา (hr)	ระยะ ห่าง จาก ขอบ (m)	ผลจากการ หดร่องโดย Natavut		การกระจาย อุณหภูมิในวัสดุ สม่ำเสมอ		การกระจายอุณหภูมิในวัสดุ ไม่สม่ำเสมอ (โดยผลเฉลยเชิงวิเคราะห์)		
		Ta ($^{\circ}\text{C}$)	Tb ($^{\circ}\text{C}$)	Ta ($^{\circ}\text{C}$)	Tb ($^{\circ}\text{C}$)	Ta ($^{\circ}\text{C}$)	ระยะจากจุดศูนย์กลาง (m)	
							0.007	0.014
4	0.050	64.70	64.50	65.00	65.00	65.00	64.92	64.98
	0.200	64.50	64.20	65.00	64.99	65.00	64.87	64.97
	0.350	63.20	62.50	64.97	64.94	65.00	64.70	64.91
	0.450	62.70	62.50	64.94	64.87	64.99	64.47	64.79
5	0.050	64.70	64.70	65.00	65.00	65.00	64.98	65.00
	0.200	64.70	64.20	65.00	65.00	65.00	64.97	65.00
	0.350	64.20	64.00	65.00	64.99	65.00	64.94	64.99
	0.450	63.70	63.70	64.99	64.98	65.00	64.88	64.97

ตารางที่ ก.2 แสดงการกระจายของอุณหภูมิในวัสดุแต่ละของไหล โดยที่อุณหภูมิขาเข้าของของไหล 65.0°C อุณหภูมิเริ่มต้นของวัสดุ 30.7°C
 เส้นผ่าศูนย์กลางทรงกลม = 0.0432 m ความเร็วของของไหล = 0.0445 m/s

เวลา (hr)	ระยะ ห่าง จาก ขอบ (m)	ผลจากการ ทดลองโดย Naravut		การกระจาย อุณหภูมิในวัสดุ สม่ำเสมอ		การกระจายอุณหภูมิในวัสดุ ไม่สม่ำเสมอ (โดยผลเฉลยเชิงวิเคราะห์)		
		Ta ($^{\circ}\text{C}$)	Tb ($^{\circ}\text{C}$)	Ta ($^{\circ}\text{C}$)	Tb ($^{\circ}\text{C}$)	Ta ($^{\circ}\text{C}$)	Tb ($^{\circ}\text{C}$)	
					ระยะจากจุดศูนย์กลาง (m)		ระยะจากจุดศูนย์กลาง (m)	
0	0.050	37.40	37.40	34.40	0.007	34.40	0.014	0.021
	0.200	36.10	36.10	34.40	34.40	34.40	34.40	34.40
	0.350	33.00	33.00	34.40	34.40	34.40	34.40	34.40
	0.450	31.00	31.00	34.40	34.40	34.40	34.40	34.40
1	0.050	51.40	48.60	61.93	54.14	63.35	49.60	55.72
	0.200	43.70	41.70	52.82	45.58	47.41	40.29	43.20
	0.350	36.90	35.70	45.71	40.46	36.28	35.16	35.59
	0.450	34.00	34.00	42.29	38.36	34.71	34.52	34.59

ตารางที่ ก.2 แสดงการกระจายของอุณหภูมิในวัสดุและของไหล โดยที่อุณหภูมิมาเข้าของของไหล 65.0°C อุณหภูมิเริ่มต้นของวัสดุ 30.7°C
เส้นผ่าศูนย์กลางทรงกลม = 0.0432 m ความเร็วของของไหล = 0.0445 m/s (ต่อ)

เวลา (hr)	ระยะ ห่าง จาก ขอบ (m)	ผลจากการ ทดลองโดย Natahut		การกระจาย อุณหภูมิในวัสดุ สม่ำเสมอ		การกระจายอุณหภูมิในวัสดุ ไม่สม่ำเสมอ (โดยผลเฉลยเชิงวิเคราะห์)		
		Ta ($^{\circ}\text{C}$)	Tb ($^{\circ}\text{C}$)	Ta ($^{\circ}\text{C}$)	Tb ($^{\circ}\text{C}$) ระยะจากจุดศูนย์กลาง (m)	Ta ($^{\circ}\text{C}$)	Tb ($^{\circ}\text{C}$) ระยะจากจุดศูนย์กลาง (m)	
							0.007	0.014
4	0.050	59.00	58.60	64.87	64.56	65.00	62.98	64.03
	0.200	56.90	56.20	63.65	62.34	64.73	60.77	62.35
	0.350	49.40	48.00	61.10	58.78	61.83	55.09	57.07
	0.450	44.50	44.00	58.81	56.01	56.83	49.56	51.46

ตารางที่ ก.4 แสดงการกระจายของอุณหภูมิในวัสดุและของไหล โดยที่อุณหภูมิเข้าของของไหล 65.0°C อุณหภูมิเริ่มต้นของวัสดุ 30.7°C
 เส้นผ่านศูนย์กลางทรงกลม = 0.0432 m ความเร็วของของไหล = 0.15 m/s โดยใช้ค่า h_c จากสมการของ Colburn

เวลา (hr)	ระยะ ห่าง จาก ขอบ (m)	ผลจากการ ทดสอบโดย Natahut		การกระจาย อุณหภูมิในวัสดุ สม่ำเสมอ		การกระจายอุณหภูมิในวัสดุ ไม่สม่ำเสมอ (โดยผลเฉลยเชิงวิเคราะห์)		
		Ta ($^{\circ}\text{C}$)	Tb ($^{\circ}\text{C}$)	Ta ($^{\circ}\text{C}$)	Tb ($^{\circ}\text{C}$)	Ta ($^{\circ}\text{C}$)	ระยะจากจุดศูนย์กลาง (m)	
							0.007	0.021
1	0.050	60.50	59.00	64.47	37.97	64.07	34.02	36.26
	0.200	57.10	55.20	62.43	37.61	56.89	33.50	35.39
	0.350	46.90	42.90	61.46	37.28	46.93	32.48	33.68
	0.450	40.00	39.00	60.52	37.07	41.04	31.83	32.60

ตารางที่ ก.5 แสดงการกระจายของอุณหภูมิในวัสดุและของไหล โดยที่อุณหภูมิมาเข้าของของไหล 65.0°C อุณหภูมิเริ่มต้นของวัสดุ 30.7°C
 เส้นผ่านศูนย์กลางทรงกลม = 0.0432 m ความเร็วของของไหล = 0.15 m/s โดยใช้ค่า h_v จากสมการของ Williams

เวลา (hr)	ระยะ ห่าง จาก ขอบ (m)	ผลจากการทดลองโดย Natavut		การกระจายอุณหภูมิในวัสดุ สม่ำเสมอ		การกระจายอุณหภูมิในวัสดุ ไม่สม่ำเสมอ		การกระจายอุณหภูมิในวัสดุ ไม่สม่ำเสมอ (โดยผลเฉลยเชิงวิเคราะห์)		
		Ta ($^{\circ}\text{C}$)	Tb ($^{\circ}\text{C}$)	Ta ($^{\circ}\text{C}$)	Tb ($^{\circ}\text{C}$)	Ta ($^{\circ}\text{C}$)	Tb ($^{\circ}\text{C}$)	Ta ($^{\circ}\text{C}$)	ระยะจากจุดศูนย์กลาง (m)	
									0.007	0.021
I	0.050	60.50	59.00	64.94	31.39	64.94	31.37	64.88	30.90	31.03
	0.200	57.10	55.20	64.77	31.38	64.78	31.34	63.89	30.89	31.02
	0.350	46.90	42.90	64.61	31.38	64.61	31.34	61.99	30.89	31.01
	0.450	40.00	39.00	64.50	31.38	64.50	31.34	60.30	30.88	30.99

ตารางที่ ก.6 แสดงการกระจายของอุณหภูมิในวัสดุและของไหล โดยที่อุณหภูมิขาเข้าของของไหล 65.0°C อุณหภูมิเริ่มต้นของวัสดุ 30.7°C
เส้นผ่านศูนย์กลางทรงกลม = 0.0432 m ความเร็วของของไหล = 0.15 m/s โดยใช้ค่า h_v จากสมการของ Gamson

เวลา (hr)	ระยะ ห่าง จาก ขอบ (m)	ผลจากการ ทดลองโดย Natavut		การกระจาย อุณหภูมิในวัสดุ สม่ำเสมอ		การกระจายอุณหภูมิในวัสดุ ไม่สม่ำเสมอ (โดยผลเฉลยเชิงตัวเลข)			การกระจายอุณหภูมิในวัสดุ ไม่สม่ำเสมอ (โดยผลเฉลยเชิงวิเคราะห์)				
		Ta (°C)	Tb (°C)	Ta (°C)	Tb (°C)	Ta (°C)	Tb (°C)	ระยะจากจุดศูนย์กลาง (m)	Ta (°C)	ระยะจากจุดศูนย์กลาง (m)			
										0.007	0.014	0.021	
1	0.050	60.50	59.00	64.93	31.49	64.93	31.44	31.45	31.45	64.87	30.95	31.02	31.14
	0.200	57.10	55.20	64.74	31.48	64.74	31.44	31.44	31.45	63.75	31.03	31.12	31.27
	0.350	46.90	42.90	64.55	31.48	64.55	31.43	31.44	31.45	61.62	31.01	31.09	31.24
	0.450	40.00	39.00	64.42	31.48	64.42	31.43	31.43	31.44	59.74	30.99	31.07	31.21

ตารางที่ ก.7 แสดงการกระจายของอุณหภูมิในวัสดุและของไหล โดยที่อุณหภูมิเข้าของของไหล 65.0°C อุณหภูมิเริ่มต้นของวัสดุ 30.7°C
 เส้นผ่านศูนย์กลางทรงกลม = 0.0432 m ความเร็วของของไหล = 0.15 m/s โดยใช้ค่า ε จากสมการของ Ogawa

เวลา (hr)	ระยะ ห่าง จาก ขอบ (m)	ผลจากการ ทดลองโดย Natavut		การกระจาย อุณหภูมิในวัสดุ สม่ำเสมอ		การกระจายอุณหภูมิในวัสดุ ไม่สม่ำเสมอ (โดยผลเฉลยเชิงวิเคราะห์)		
		Ta ($^{\circ}\text{C}$)	Tb ($^{\circ}\text{C}$)	Ta ($^{\circ}\text{C}$)	Tb ($^{\circ}\text{C}$) ระยะจากจุดศูนย์กลาง (m)	Ta ($^{\circ}\text{C}$)	ระยะจากจุดศูนย์กลาง (m)	
							0.007	0.014
I	0.050	60.50	59.00	64.38	62.13	64.91	57.18	59.75
	0.200	57.10	55.20	61.32	57.04	62.19	52.18	54.79
	0.350	46.90	42.90	57.13	51.82	61.63	42.78	44.64
	0.450	40.00	39.00	54.16	48.58	43.00	37.17	38.28
					48.87		0.007	0.014
					0.021			0.021
					62.26			62.38
					57.27			57.85
					52.10			47.10
					48.87			39.83

ภาคผนวก ข. โปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อนในชั้นหนากรณีวัสดุมี
อุณหภูมิสม่ำเสมอ

```

Program Rock;
uses Printer;
Var Ta,Tb : array[0..70,0..70] of real;
    Tc : array[0..70] of real;
    B,C,sa,sb,sw,ca,cb,A,hs,hv,x,t,
    V,Vel,G,E,dx,dt,t0,yo,r,M,Re:real;
    i,j,k,y1,y2,n,n1 : integer;
    dn      : text;
    fn      : string[14];

Const pi = 22/7;

Function power(b,p:real):real;
Begin
    power := exp(p*ln(b));
    {power(b,p) = b^p}
end;

Begin
    { READ DATA }
    writeln('ENTER NAME OF FILE TO READ ');
    readln(fn);
    assign(dn,fn);
    reset(dn);
    readln(dn,Ta[0,0]);    writeln('Ta = ',Ta[0,0]:10:6);
    readln(dn,Tb[1,0]);    writeln('Tb = ',Tb[1,0]:10:6);
    readln(dn,VeL);        writeln('Vel = ',VEL:10:6);
    readln(dn,E);          writeln('E = ',E:10:6);
    readln(dn,cb);         writeln('cb = ',cb:10:6);
    readln(dn,sb);         writeln('sb = ',sb:10:6);
    readln(dn,r);          writeln('r = ',r:10:6);
    readln(dn,x);          writeln('x = ',x:10:6);
    readln(dn,y1);         writeln('y1 = ',y1:2);
    readln(dn,y2);         writeln('y2 = ',y2:2);
    readln(dn,t);          writeln('t = ',t:10:6);
    close(dn);

    { MAIN PROGRAM }

    dx := x/y2;
    dt := t/y1;

    for n := 0 to 60 do
        begin Tb[n,0] := Tb[1,0]; Ta[0,n] := Ta[0,0];
              Ta[n,0] := Ta[0,0]; Ta[n,i-2] := Ta[0,0]; end;
        for k := 1 to 64 do
            begin
                for j := 0 to 60 do
                    Begin

```

```

    if k = 1 then
    for n := 1 to 24 do begin Tb[n,0] := Tb[1,0];end
    Else
    for n1 := 1 to 9 do begin    Tb[n1,0] := Tc[n1];end;
for i := 1 to y1 do
Begin
ca := 1005.0 + power(((Ta[i,j-1]-250)/50),2);
sa := 352.98325/(Ta[i,j-1]);
G := sa*Vel;
hv := 652*power((G/(2*r)),0.7);
hs := hv*2*r/(6*(1-E));
B := sa*ca*E*Vel/(hv*dx);
C := ((1-E)*sb*cb*dx)/(sa*ca*E*Vel*dt);
Ta[i+1,j] := (1/(1+2*B))*(2*Tb[i,j]+(2*B-1)*Ta[i-1,j]);
Tb[i,j+1] := 1/2*((2/C+1-2*B)*Ta[i-1,j]+
                (1+2*B-2/C)*Ta[i+1,j]);
Ta[i,j] := (Ta[i+1,j]+Ta[i-1,j])/2;
if (j=60)and((k=4)or(k=8)or
(k=12)or(k=16)or(k=32)or(k=48)or(k=64))then
begin
write(1st,'* Ta[' ,i*dx:4:3,',',k*j*dt/60:4:1,'] = ',
Ta[i,j]-273.15:10:4,' * ');
writeln(1st,' * Tb[' ,r:3:2,',',k:2,'] = ',
Tb[i,j+1]-273.15:10:4,' * ');
end;
end;
end;
for n1 := 1 to y1 do begin Tc[n1] := Tb[n1,j+1]; end;
end;
End.

```

โปรแกรมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อนในชั้นหนากรณีวัสดุมี
อุณหภูมิไม่สม่ำเสมอโดยการวิเคราะห์เชิงเลข

```

Program Rock;
uses Printer;
Var Tb,Ta : array[0..60,0..64] of real;
    Tc : array[0..20,0..20] of real;
    ua,uc,ub,ud : array[0..62] of real;
    B,C,F,sa,sb,sw,ca,cb,kb,A,hs,hv,x,t,Ka,Tao,Tbo,c3,c4,dv,
    Vel,G,E,D,dx,dt,r,ro,dr,z,t0,yo,c1,c2,Re,r1,r2,r3,Mv : real;
    i,j,m,n,n1,n2,n3,n4,y1,y2,y3,p,k,q : integer;
    dn      : text;
    fn      : string[14];

Const pi = 22/7;

Function power(b,p:real):real;
Begin
    power := exp(p*ln(b));
    {power(b,p) = b^p}
end;

Begin
    { READ DATA }

    writeln('ENTER NAME OF FILE TO READ ');
    readln(fn);
    assign(dn,fn);
    reset(dn);
    readln(dn,Tao);      writeln('Ta = ',Tao:10:6);
    readln(dn,Tbo);      writeln('Tb = ',Tbo:10:6);
    readln(dn,VeL);      writeln('Vel = ',VEL:10:6);
    readln(dn,E);        writeln('E = ',E:10:6);
    readln(dn,cb);       writeln('cb = ',cb:10:6);
    readln(dn,kb);       writeln('kb = ',kb:10:6);
    readln(dn,sb);       writeln('sb = ',sb:10:6);
    readln(dn,r);        writeln('r = ',r:10:6);
    readln(dn,x);        writeln('x = ',x:10:6);
    readln(dn,y1);       writeln('y1 = ',y1:2);
    readln(dn,y2);       writeln('y2 = ',y2:2);
    readln(dn,y3);       writeln('y3 = ',y3:2);
    readln(dn,t);        writeln('t = ',t:10:6);
    close(dn);

    { MAIN PROGRAM }

    dx := x/y2;

```

```

dt := t/y1;
dr := r/y3;
yo := dx;

for n := 0 to 63 do begin
  for n3 := 0 to y2 do begin
    Ta[n+1,n-1] := Tbo; Ta[0,n-2] := Tao;
    Tb[n3,n] := Tbo; Ta[0,0] := Tao;
  end; end;
for q := 1 to 64 do
begin
  for k := 1 to y2 do
  begin
    if q = 1 then begin
      for p := 0 to y3 do begin Tb[n3,0] := Tbo end
    else begin
      for p := 0 to y3 do begin Tb[p,0] := Tc[p,k];
    end;
    for i := 0 to 60 do
    Begin
      ua[0] := 0.0; ub[0] := 0.0;
      ca := 1005.0 - power(((Ta[k-1,i]-250)/50),2);
      sa := 352.98325/(Ta[k-1,i]);
      G := sa*Vel;
      hv := 652*power((G/(2*r)),0.7);
      hs := hv*2*r/(6*(1-E));
      B := sa*ca*E*vel/(hv*dx);
      C := kb*dx*(1-E)*hv*2/(E*ca*dr*sa*vel*hs);
      Ta[k+1,i] := 1/(1+2*B)*(2*Tb[y,i]+(2*B-1)*Ta[k-1,i]);
      Ta[k,i] := (Ta[k+1,i]+Ta[k-1,i])/2;
      ua[i] := sa*ca*vel*E*(Ta[k-1,i]-Ta[k+1,i])/dx;
      ro := dr;
      for j := 1 to y3-1 do
      begin
        for n3 := 0 to 15*n4 do begin Tb[n3,0] := Tbo; end;
        F := (sb*cb)/(kb*dt);
        c2 := dt*2/(cb*sb);
        r1 := kb*4*pi*power(j*dr-dr/2,2);
        r3 := kb*4*pi*power(j*dr+dr/2,2);
        r2 := kb*4*pi*(power(j*dr-dr/2,2)+power(j*dr+dr/2,2));
        c4 := dt/(sb*cb*4*pi*power(j*dr,2)*power(dr,2));
        Tb[j,i+1] := c4*(r3*Tb[j+1,i]-r2*Tb[j,i]+
          r1*Tb[j-1,i])+Tb[j,i];
      end;
      ro := ro+dr;
    end;
  end;
end;

```

```

c1 := dt*6*kb/(sb*cb*power(dr,2));
Tb[0,i+1] := c1*(Tb[1,i]-Tb[0,i])+Tb[0,i];
Tb[y3,i+1] := c2*(hs*(Ta[k,i]-Tb[y3,i])/dr+
      Kb*power(r-dr/2,2)/(power(r,2)*power(dr,2))*
      (Tb[y3-1,i]-Tb[y3,i]))+Tb[y,i];
dv := 1/6*pi*power(dr,3);
uc[0] := sb*cb*(1-E)*dv*(Tb[0,i+1]-Tb[0,i])/dt;
  for j := 1 to 4 do
    begin
      dv := 4*pi*power(j*dr,2)*dr;
      uc[j] := uc[j-1]+sb*cb*dv*(1-E)*(Tb[j,i+1]-Tb[j,i])/dt;
    end;
dv := 4*pi*power(r,2)*dr/2;
uc[j+1] := uc[j]+(Tb[y,i+1]-Tb[y,i])*sb*cb*(1-E)*dv/dt;
c3 := 4/3*pi*power(r,3);
ub[i] := uc[j+1]/c3;
if (i=60) and ((q=4)or(q=8)or(q=12)
  or(q=16)or(q=32)or(q=48)or(q=64)) then
  begin
    write(lst,'* Ta[' ,dx*k:4:3,' ,',q*i*dt/60:3:1,' ] = ',
      Ta[k,i]-273.15:6:2);
    write(lst,'ua=' ,ua[i]:6:3,'ub=' ,ub[i]:6:3);
    writeln(lst,'* Tb[' ,0:4,' ,',q*i*dt/60:3:1,' ] = ',
      Tb[0,i]-273.15:6:2,' *');
    for p := 0 to y3 do begin
      write(lst,'* Tb[' ,dr*p:4:3,' ,',n2,' ] = ',
        Tb[p,i]-273.15:5:2,' *');
    end;
  end;
end;
end;
  For p := 0 to y do begin Tc[p,k] := Tb[p,i]; end;
end;
End.

```

โปรแกรมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อนในชั้นหนากรณีวัสดุมี
อุณหภูมิไม่สม่ำเสมอโดยการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์

```

Program Rock;
uses Printer;
var Tb,Ta,Tc :array[0..40,0..80] of real;
    TbR,Mn,Mo,L,sum2,er3: array[0..40] of real;
    c,sa,sb,ca,cb,ks,hv,x,t,sum,sum1,Vel,G,E,dx,dt,
    r,ro,dr,yo,zo,y4,ao,err1,err2,err4,co,bo,eo,t0,er1,
    er2,er4,h1,Ka,Re,k1,k2,k3,test,xu,xr,xl,id,d,id1,d1,
    mm,c1,c2,Tbo,Tao,Mv:real;
    q,i,j,m,n,p,y1,y2,y3,k,no,n1,n2,n3 : integer;
    dn      : text;
    fn      : string[14];

Const pi = 22/7;

Function power(b,p:real):real;
Begin
if b = 0 then power := 0;
if b > 0 then
    power := exp(p*ln(b));
    {power(b,p) = b^p}
end;

Function tan(x:real):real;
Begin
tan := sin(x)/cos(x);
End;

Function Fx(x,r,c1:real):real;
Begin
Fx := ((1-c1)-x*r/tan(x*r));
End;

Begin
    { READ DATA }

writeln('ENTER NAME OF FILE TO READ ');
readln(fn);
assign(dn,fn);
reset(dn);
readln(dn,Ta[0,0]);    writeln('Ta  = ',Ta[0,0]:10:6);
readln(dn,Tb[0,0]);    writeln('Tb  = ',Tb[0,0]:10:6);
readln(dn,VeL);        writeln('Vel = ',VEL:10:6);
readln(dn,E);          writeln('E   = ',E:10:6);
readln(dn,cb);          writeln('cb  = ',cb:10:6);
readln(dn,kb);          writeln('kb  = ',kb:10:6);
readln(dn,sb);          writeln('sb  = ',sb:10:6);
readln(dn,r);           writeln('r   = ',r:10:6);
readln(dn,x);           writeln('x   = ',x:10:6);

```

```

readln(dn,y1);          writeln('y1 =',y1:2);
readln(dn,y2);          writeln('y2 =',y2:2);
readln(dn,y3);          writeln('y3 =',y3:2);
readln(dn,t);           writeln('t   =',t:10:6);
close(dn);

```

{ MAIN PROGRAM }

```

k3 := kb/(sb*cb);
dx := x/y2;    dt := t/y1;  dr := r/y3;
m  := 0;      y4 := dx;     no := 1;
Tao := Ta[0,0]; Tbo := Tb[0,0];
for i := 0 to 100 do begin
  Tb[i,0] := Tbo; Ta[0,i] := Tao; Ta[i,0] := Tao;
  Ta[0,0] := Tao; end;
for q := 1 to 5 do
begin
  y4 := dx;
  for n2 := 1 to 21 do
  begin
    if q = 1 then begin
      for p := 1 to y3 do begin Tb[p,0] := Tbo; end; end
    else begin
      for p := 1 to y3 do begin Tb[p,0] := Tc[p,n2]; end; end;
      for n3 := 1 to 70 do
      begin
        ca := 1005.0-power(((Ta[n2,n3-1]-250)/50),2);
        sa := 352.98325/(Ta[n2,n3-1]);
        G  := sa*Vel;;
        hv := 650*power((G/(2*r)),0.7);
        hs := hv*2*r/(6*(1-E));
        k1 := hv/(sa*ca*E*vel);
        k2 := hs/kb;
        ao := 1;
        yo := k1*y4;
        zo := k2*r;
        ro := dr;
        cl := (hs*r/kb);
        for p := 1 to y3 do
        begin
          L[0] := 0;      sum2[0] := 0;
          j    := 1;      n      := 1;
          er4  := 1;      xu      := 0.0;
          Repeat xu := xu+5.0; until (Fx(xu,r,cl) < 0);
          xl := xu;
          Repeat xl := xl+5.0; until (Fx(xl,r,cl) > 0);

```

```

Repeat
begin
  i := 1;          er3[1] := 1;
  Repeat
  begin
    xr := (xl+xu)/2;
    if xl+xu <> 0 then
      test := Fx(xr,r,c1)*Fx(xl,r,c1);
      er3[i+1] := abs(tan(xr*r)-xr*r/(1-c1));
      if test = 0 then er3[i+1] := 0
      Else if (test < 0.0) then xu := xr
      Else xl := xr;
      i := i+1;
    end;
  Until (er3[i] < 1E-7);
  L[j] := xr;
  if ((k3*sqr(L[j])*t) < 75) then
  begin
    sum2[j] := sum2[j-1]+(((sin(L[j]*r)-L[j]*r*cos(L[j]*r))
      *sin(L[j]*ro)*(exp(-k3*sqr(L[j])*dt)))
      /(ro*L[j]*(2*L[j]*r-sin(2*L[j]*r))));
  end
  Else sum2[j] := er4;
  err4 := abs((er4-sum2[j])/sum2[j]*100);
  er4 := sum2[j];
  j := j+1;
end;
if err4 > abs(0.00005) then begin
  xu := xr;
  Repeat xu := xu +5.0; Until (Fx(xu,r,c1) < abs(0.0));
  xl := xu;
  Repeat xl := xl +5.0; Until (Fx(xl,r,c1) > abs(0.0));
end;
Until (err4 < abs(0.000005));
sum2[no] := sum2[j-1];
Tb[p,n3] := Ta[n2-1,n3]+4*(Tb[p,n3-1]-Ta[n2-1,n3])*sum2[no];
if (n3=70) and((q=1)or(q=5)or(q=10)) then begin
write(1st,'*Tb[' ,p*dr:4:3,',',n3*dt/60:3:1,']=',
      Tb[p,n3]-273.15:5:2,'*');
end;
ro := ro+dr;      no := no+1;
end;
no := 1;
ao := 1;
er1 := 0;
Mo[0] := 1;

```

```

Repeat
begin
  ao := ao*no;
  Mo[0] := Mo[0]+power(yo*zo,no)/power(ao,2);
  err1 := abs((er1-Mo[0])/Mo[0]);
  er1 := Mo[0];
  no := no+1;
end;
Until(err1 < 1E-5);
Mn[0] := Mo[0];      sum1 := Mn[0];      er2 := 0;
k := 1;
Repeat
begin
  n1 := 2;          ao := 1;          er1 := 0;
  bo := 1;          eo := 1;
  for i := 1 to k do begin
    eo := eo*bo; bo := bo+1; end;
  Repeat
  begin
    bo := n1;      co := 1;
    for i := 1 to k do begin
      co := co*bo; bo := bo+1; end;
    bo := 1;      ao := 1;
    for i := 1 to k+n1-1 do begin
      ao := ao*bo; bo := bo+1; end;
    Mo[1] := (1/eo);
    Mo[n1] := Mo[n1-1]+power(yo*zo,n1-1)*co/power(ao,2);
    mm := power(yo*zo,n1-1)*co/power(ao,2);
    err1 := abs((er1-Mo[n1])/Mo[n1]);
    er1 := Mo[n1];      n1 := n1+1;
  end;
  Until (err1 < 1E-5) or (Mo[n1] < 1E-7);
  Mn[k] := Mo[n1-1];
  sum1 := sum1+power(zo,k)*Mn[k];
  writeln('sum=',sum1:10:5,' Mn[k]=' ,Mn[k]:10:8);
  k := k+1;

  err2 := abs((er2-sum1)/sum1);
  er2 := sum1;
end;
Until (err2 < 1E-5) or (Mn[k] < 1E-7);
Ta[n2,n3] := Ta[n2-1,n3]+(Tb[p,n3]-Ta[n2-1,n3])*
  (1-exp(-yo-zo)*sum1);
TbR[n2] := Ta[n2-1,n3]+(Tb[p,n3]-Ta[n2-1,n3])*
  (1-exp(-yo-zo)*(sum1-Mn[0]));
if (n3=70) and ((q=1) or (q=5) or (q=10)) Then Begin
write(lst,'*Ta[' ,y4:4:3,' ,',n3*dt/60:3:1,']=',
  Ta[n2,n3]-273.15:8:4,'*');
writeln(lst,'*TbR[' ,n2,']=',TbR[n2]-273.15:8:4,'*');
end;
end;
for p := 1 to y3 do begin Tc[p,n2] := Tb[p,n3]; end;
y4 := y4+dx;
end;
end;
End.

```