FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE

POPIS ZÁKLADNÍCH FUNKCÍ

DESCRIPTION OF BASIC FUNCTIONS

MANUÁL K ZÁKLADNÍM FUNKCÍM

2018

AUTOR PRÁCE	Bc. Petr ŠPLÍCHAL
VEDOUCÍ PRÁCE	Ing. Petr SKLENÁŘ, Ph.D.

ZÁKLADNÍ FUNKCE

Soubor základních funkcí představují funkce (skripty), které vznikly na základě rozboru výsledků CFD analýzy. Označení „základní“ znamená, že se jedná o „kostru“ funkce, která byla následně implementována do grafického rozhraní (GUI). Soubor úplných funkcí je uveden na přiloženém CD. Výsledné výstupy základních funkcí se tedy neliší od výsledných hodnot úplných funkcí, avšak přehlednost uvedených skriptů je u základních vyšší.

Seznam základních funkcí

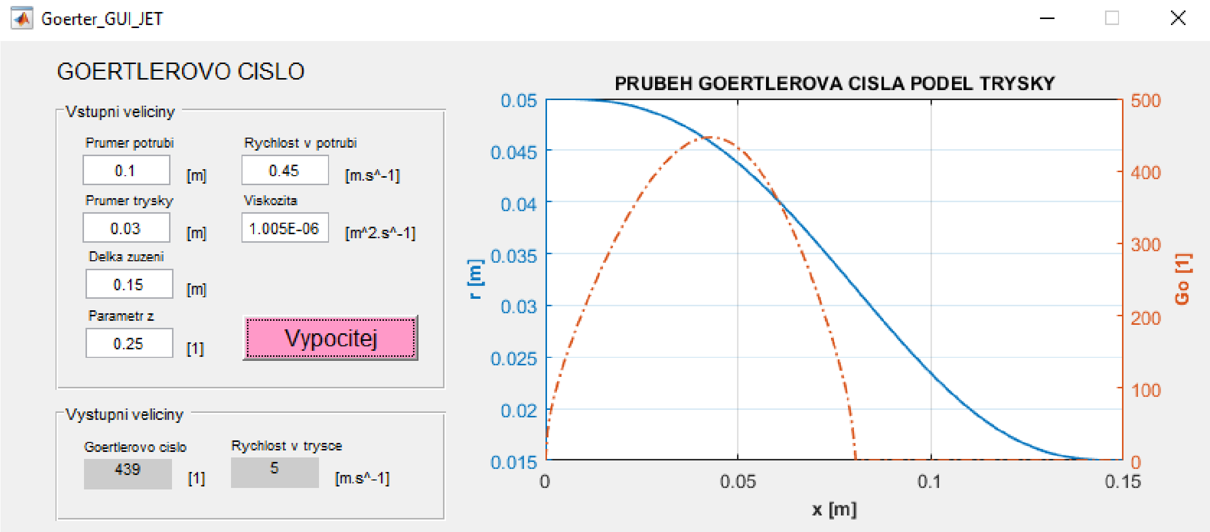
1. *Funkce Görtlerovo číslo* (strana 3) – Jedná se o funkci vzniklou za účelem optimalizace a návrhu tvaru trysky, která tvoří 8. kapitolu hlavního textu diplomové práce.
2. *Funkce Turbulentní rychlostní profil* (strana 9) – Představuje funkci, která posloužila k analýze rychlostního profilu modelu přívodního potrubí jako vstupní okrajová podmínka. Funkce byla uplatněna v 8. kapitole hlavního textu diplomové práce.
3. *Funkce Turbulentní paprsek ZFE* (strana 15) – Funkce založená na rozboru modelování jádra turbulentního paprsku. Ve funkci jsou zakomponovány výsledky z 9. kapitoly hlavního textu diplomové práce.
4. *Funkce Turbulentní paprsek ZEF* (strana 21) – Tato funkce shrnuje výsledky bakalářské práce v oblasti vyvinutého proudění.

Manuál k základním funkcím doplňuje hlavní text diplomové práce. Z důvodu větší přehlednosti jsou základní funkce odděleny od hlavního textu diplomové práce a doplněny o popis funkce, struktury funkce, zadávaní vstupních hodnot a formě výstupů (v případě potřeby jsou doplněny o poznámku).

GÖRTLEROVO ČÍSLO

Popis funkce

Funkce *Görtlerovo číslo* poskytuje vyčíslení a grafické znázornění velikosti Görtlerova parametru uvnitř trysky, grafickou ukázku navrženého vnitřního tvaru kontrakce trysky a výpočet střední průřezové rychlosti v ústí trysky. Jedná se matematický model popsaný v hlavním textu diplomové práce, který je doplněn o výsledky modelu $k\text{-}\omega\ SST$.



Obr. 1 Ukázka funkce *Görtlerovo číslo*

Struktura funkce

V první části funkce je na základě pevně zvolených okrajových podmínek (doplněných volnou (optimalizační) podmínkou) navržen tvar kontrakce trysky jako polynomická funkce 6. řádu. Pro navržený tvar trysky je následně vykreslen průběh a vyčíslena hodnota Görtlerova čísla (základní principy výpočtu jsou uvedeny níže). Výpočet Görtlerova čísla využívá předpoklady, které slouží jednoduchosti výpočtu, avšak do jisté míry poskytují zkreslené výsledky, a proto je funkce doplněna o poznatky z výsledků modelu $k\text{-}\omega\ SST$. Funkce byla odvozena pro návrhovou trysku $T155\ (100/30/150)$, avšak ji lze použít i pro odlišné trysky s vědomím, že může docházet ke zkreslení výsledků. Výhodou této funkce je jednoduchost a rychlost poskytnutých výsledků.

Výpočet Görtlerova parametru pro navrženou geometrii trysky probíhá v následujících krocích:

- Vyčíslení velikosti průtoku v trysce ze zadané hodnoty střední průřezové rychlosti a průměru přívodního potrubí.
- Určení střední průřezové rychlosti v jednotlivých profilech trysky z rovnice kontinuity (předpoklad proudění nestlačitelné tekutiny).
- Výpočet Reynoldsova čísla pro střední rychlosti a geometrii trysky při zadané hodnotě kinematické vazkosti tekutiny.

- Stanovení součinitele tření pomocí Prandtl-Kármánovy rovnice ve zvolených krocích a výpočet třecí rychlosti.
- Na základě logaritmického rozdělení rychlosti bude vypočtena maximální rychlosti v ose potrubí a následně bude provedena korekce rychlosti na základě výsledků modelu k-ω SST.
- Výpočet pošinovací tloušťky mezní vrstvy ze znalosti maximální rychlosti v ose potrubí a velikosti průběhu trysky v posuzovaném místě v trysce.
- Impulzová tloušťka je vypočtena pomocí tvarového faktoru mezní vrstvy, jehož průběh byl převzat z výsledků modelu k-ω SST.
- Následně je možné vypočítat prvotní velikost Görtlerova čísla, která se v průměru liší o 13% od výsledků modelu k-ω SST, a proto je provedena další korekce, jež poskytuje stejné výsledky jako model k-ω SST.

Vstupní hodnoty

Viskozita – vlastnost tekutiny nezbytná pro určení Görtlerova čísla. Defaultně nastavená hodnota 1,005E-06 [m^2.s^{-1}] lze použít při proudění vody tryskou.

Rychlost v potrubí – představuje střední průřezovou rychlost v přívodním potrubí v [m.s^{-1}]. Záporné hodnoty budou převedeny na kladné číslo.

Průměr potrubí – reprezentuje charakteristický rozměr přívodního potrubí v [m]. Velikost průměru musí být zadána ve formě kladného čísla většího než nula. Záporné číslo bude převedeno na kladné číslo.

Průměr trysky – představuje velikost otvoru trysky v [m]. Hodnota velikosti průměru trysky musí být zadána ve formě kladného čísla většího než nula. Záporné číslo bude převedeno na kladné číslo.

Délka zúžení – vyjadřuje délku v [m] kontrakce trysky, při které dochází k plynulému přechodu z průměru přívodního potrubí na průměr trysky. Délka zúžení musí být zadána ve formě kladného čísla.

Optimalizační parametr z – optimalizační podmínka, která určuje polohu maximální křivosti na vodorovné ose. Defaultně nastavená hodnota vychází z výsledků optimalizace modelu k-ω SST.

Výstupní hodnoty

Görtlerovo číslo – bezrozměrné číslo udávající poměr odstředivých a vazkých sil, které lze použít při popisu vzniku hydrodynamických nestabilit na konkávní straně trysky.

Rychlost v trysce – střední průřezová rychlost v [m.s^{-1}] stanovená z rovnice kontinuity pro proudění nestlačitelné tekutiny.

```
function Goertlerovo_cislo
%-------------------------------------------------------------------------
% Zpracoval:                                                  Petr Splichal
% Datum:                                                         18/12/2017
%-------------------------------------------------------------------------

clc; clear all; clear variables;
disp('-------------------------------------------------------------------')
disp('-------------------------GOERTLEROVO ČÍSLO-------------------------')
disp('-------------------------------------------------------------------')

%% Vstupni hodnoty
% Kinameticka vazkost tekutiny      nu  [m^2.s^-1]
nu = input('Kinematická vazkost tekutiny nu [m^2.s^-1] = ');
% Rychlost tekutiny v potrubi       v_p [m.s^-1]
v_p = input('Střední průřezová rychlost v přívodním potrubí vm [m.s^-1] =
');
% Prumer trysky                     d   [m]
d = input('Průměr trysky d [m] = ');
% Prumer trysky                     d   [m]
D = input('Průměr přívodního potrubí D [m] = ');
% Delka kontrakce                   L   [m]
L = input('Délka zúžení trysky L [m] = ');
% Velikost optimalizacniho parametru z  [1]
z = input('Velikost optimalizačního parametru z [1] = ');
z = z*L;

% Objemovy prutok
Q = 0.25*v_p*pi*D^2;
fprintf('\nVelikost objemového průtoku [m^3.s^-1]:\nQ = %f',Q)

% Funkce TRYSKA
OUT = Tryska(nu,D,d,L,z,Q);
disp(OUT);

end

function OUT = Tryska (nu,D,d,L,z,Q)
%% Vypocet Goertlerova parametru
% Matice reseni
A = [0 0 0 0 0 0 1; 0 0 0 0 0 1 0; 0 0 0 0 2 0 0; L^6 L^5 L^4 L^3 L^2 L
1;...
    6*L^5 5*L^4 4*L^3 3*L^2 2*L 1 0; 30*L^4 20*L^3 12*L^2 6*L 2 0 0;...
    120*z^3 60*z^2 24*z 6 0 0 0];

% Vektor pravych stran
b = [D/2; 0; 0; d/2; 0; 0; 0];

% Kontrola reseni
if det(A)== 0;
    error('Soustava nemá řešení')
else
    a = A\b;
end

% Tvar trysky
x = 0:0.01*L:L;
r = a(1).*(x).^6 + a(2).*(x).^5 + a(3).*(x).^4 + a(4).*(x).^3 + ...
```

```
    a(5).*(x).^2 + a(6).*(x) + a(7);
dr = 6.*a(1).*x.^5 + 5.*a(2).*x.^4 + 4.*a(3).*x.^3 + 3.*a(4).*x.^2 + ...
    2.*a(5).*x + a(6);
ddr = 30.*a(1).*x.^4 + 20.*a(2).*x.^3 + 12.*a(3).*x.^2 + 6.*a(4).*x +
2.*a(5);
dddr = 120.*a(1).*x.^3 + 60.*a(2).*x.^2 + 24.*a(3).*x + 6.*a(4);

% Stredni prurezove rychlosti
v_m = Q./(pi.*r.^2);

% Reynoldsovo cislo
Re = (2.*v_m.*r)./nu;

% Soucinitel ztraty trenim
lambda_0 = 0.015;
xn = 1/((lambda_0)^0.5);
A = 2.51./Re;

% Vypocet soucinitele treni
f = @(xn)((xn)+2.*log10(A.*(xn)));
df = @(xn)(1+2./((xn).*log(10)));
diff = 1;
tol = 1E-06;

while diff > tol
    xn1 = xn - f(xn)./df(xn);
    diff = abs(xn1 - xn);
    xn = xn1;
end
lambda = 1./(xn.^2);

% Treci rychlost
u_tau = ((lambda./8).^0.5).*v_m;

% Opravny soucinitel vlivem odstredivych zrychleni (sinusoidal)
a = 0.941493;
b = 0.100641;
c = 4.807147;
d = -1.188716;
Psi = a + b.*cos(c.*(x./L)+d);

% Maximalni rychlost
A = 5.75;
B = 5.5;
yp = (u_tau.*r)./nu;
u_max = Psi.*(A.*log10(yp) + B).*u_tau;

% Prevedeni rychlostniho profilu na obdelnik
y = (Q./(u_max.*pi)).^0.5;

% Posinovaci tloustka
delta = r - y;

% Tvarovy faktor
H = 7.9841.*(x/L).^6 - 24.9244.*(x/L).^5 + 26.9555.*(x/L).^4 - ...
    9.7023.*(x/L).^3 - 1.1663.*(x/L).^2 + 0.4639.*(x/L) + 1.4361;

% Impulzova tloustka
```

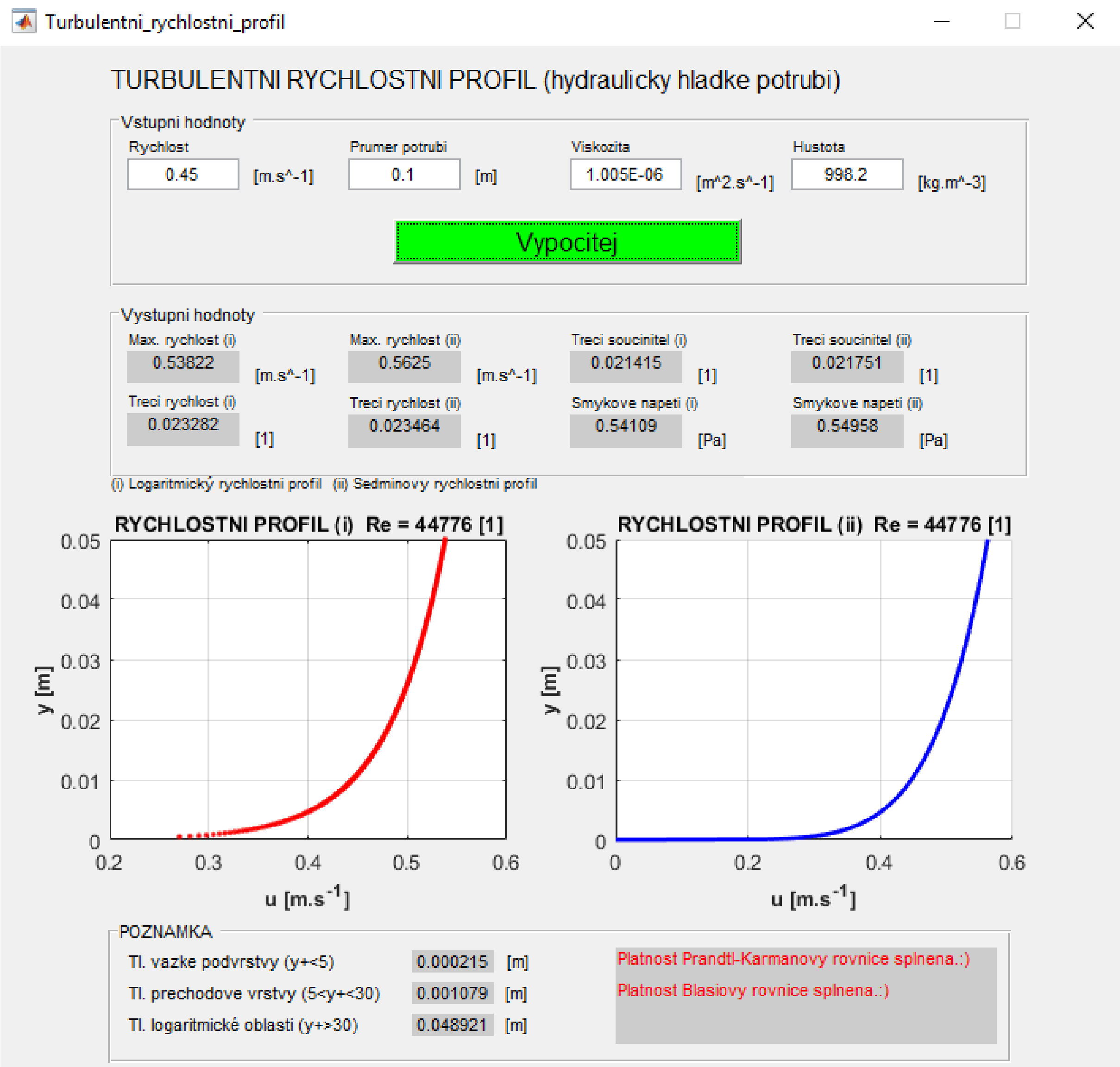
```
theta = abs(delta./H);

% Goertlerovo cislo
Re_theta = (theta.*u_max)./nu;
Go2 = -Re_theta.^2.*theta.*ddr;

% Finalni korekce Goertlerova cisla
Z = z/L;
if Z < 0.20
    ksi = 1.307;
elseif Z > 0.35
    ksi = 1.262;
else
    K1 = [0.2 0.25 0.27 0.30 0.35];
    K2 = [1.3095 1.1793 1.1932 1.1897 1.2642];
    ksi = interp1(K1,K2,Z);
end

% Maximalni velikost Goertlerova cisla
Go_m = interp1(x,Go2,z,'spline');
Go_m = ksi*Go_m^0.5;
fprintf('\nMaximální velikost Goertlerova čísla (konkávní stěna) Go_m
[1]:\nGo_m = %f',Go_m)
fprintf('\nPoloha maxima Goertlerova čísla (konkávní stěna) z [m]:\nz =
%f\n',z)

% Vypocet Goertlerova parametru
Go = ksi.*sqrt(Go2);

%% Grafy
figure(1)
plot(x,r,'r','Linewidth',2)
hold on
grid on
xlabel('x [m]','Fontsize',10,'FontWeight','bold')
ylabel('r [m]','Fontsize',10,'FontWeight','bold')
title('TVAR TRYSKY','Fontsize',10)

figure(2)
subplot(3,1,1)
plot(x,dr,'r-','Linewidth',2)
hold on
grid on
xlabel('x [m]','Fontsize',10,'FontWeight','bold')
ylabel('První derivace dr(x)','Fontsize',10,'FontWeight','bold')
title('PRŮBĚH PRVNÍ DERIVACE','Fontsize',10)

subplot(3,1,2)
plot(x,ddr,'r--','Linewidth',2)
hold on
grid on
xlabel('x [m]','Fontsize',10,'FontWeight','bold')
ylabel('Druhá derivace ddr(x)','Fontsize',10,'FontWeight','bold')
title('PRŮBĚH DRUHÉ DERIVACE (Křivost)','Fontsize',10)

subplot(3,1,3)
plot(x,dddr,'r-.','Linewidth',2)
hold on
grid on
```

```
xlabel('x [m]','Fontsize',10,'FontWeight','bold')
ylabel('Treti derivace dddr(x)','Fontsize',10,'FontWeight','bold')
title('PRŮBĚH TŘECÍ DERIVACE','Fontsize',10)

figure(3)
plot(x,delta,'b','Linewidth',2)
hold on
grid on
xlabel('x [m]','Fontsize',10,'FontWeight','bold')
ylabel('Go^2 = -Re_t^2\thetaddr [1]','Fontsize',10,'FontWeight','bold')
title('PRŮBĚH KVADRÁTU GOERTLEROVA ČÍSLA','Fontsize',10)

figure(4)
yyaxis left
plot(x,r,'Linewidth',2)
ylabel('r [m]','FontSize',10,'FontWeight','bold')
yyaxis right
plot(x,Go,'-.','Linewidth',2)
title('PRŮBĚH GOERTLEROVA ČÍSLA PODÉL TRYSKY','Fontsize',10)
grid on
xlabel('x [m]','FontSize',10,'FontWeight','bold')
ylabel('Go [1]','FontSize',10,'FontWeight','bold')

%% Vysledky
format short
fprintf('\n\n    x          r          u_max      theta      Go^2*10^-4\n')
OUT = [x' r' u_max' theta' (Go.^2.*10^-4)'];

end
```

TURBULENTNÍ RYCHLOSTNÍ PROFIL (hydraulicky hladké potrubí)

Popis funkce

Funkce *Turbulentní rychlostní profil (hydraulicky hladké potrubí)* vykreslí turbulentní rychlostní profily (logaritmický rychlostní profil (i) a mocninný rychlostní profil (ii)) pro hydraulicky hladké potrubí spolu s výčtem základních charakteristik (maximální rychlost, třecí součinitel, třecí rychlost a smykové napětí na stěně potrubí).



Obr. 2 Ukázka funkce *Turbulentní rychlostní profil*

Struktura funkce

V hydraulicky hladkých potrubí je součinitel ztráty třením závislý na Reynoldsově čísle. Pro zadané velikosti vstupních hodnot střední průřezové rychlosti, průměru potrubí a velikosti kinematické vazkosti spočítá hodnotu Reynoldsova čísla. Pokud je Reynoldosovo číslo dostatečně vysoké (turbulentní režim proudění) a vyskytuje se v rozmezí hodnot platnosti Blasiovy a/nebo Prandtl-Kármanovy rovnice pro stanovení součinitele ztrát třením vypočte velikost součinitele ztrát třením a vykreslí turbulentní rychlostní profil pro polovinu potrubí (předpoklad rotační symetrie proudění s maximální rychlostí v ose potrubí). Ze znalosti součinitele ztráty třením a střední průřezové rychlosti dopočte velikost třecí rychlosti. Doplněním údaje hodnoty hustoty tekutiny lze při známé hodnotě třecí rychlosti vypočíst velikost tečného napětí na stěně potrubí. Veškeré implementované rovnice jsou uvedeny v kapitole věnované popisu turbulentního proudění.

POZN.: Součinitel ztráty třením je z Prandtl-Kármánovy rovnice stanoven pomocí Newton-Raphsonovy iterační metody (metody tečen) s přesností 1E-06.

V přechodové oblasti mezní vrstvy je pro bezrozměrné souřadnice $5 < y^+ < 11$ použito rozdělení rychlosti odpovídající vazké podvrstvě a pro bezrozměrné souřadnice $11 \leq y^+ < 30$ rozdělení rychlosti odpovídající logaritmické oblasti.

Vstupní hodnoty

Rychlost – představuje střední průřezovou rychlost v ústí trysky zadanou v [m.s^{-1}]. Hodnota vstupní rychlosti musí být zadána jako nezáporné číslo. Záporná velikost bude převedena na kladnou hodnotu velikosti rychlosti.

Průměr potrubí – reprezentuje charakteristický rozměr v [m]. Velikost průměru potrubí musí být zadána ve formě kladného čísla většího než nula. Záporné číslo bude převedeno na kladné číslo.

Viskozita – odpor tekutiny proti změně tvaru. Defaultně nastavená hodnota 1,005E-06 [m^2.s^{-1}].
Hustota tekutiny – charakteristická vlastnost tekutiny zadaná v [kg.m^{-3}]. V konkrétní funkci je defaultně nastavená velikost hustoty tekutiny hodnotou 998,2 [kg.m^{-3}].

Výstupní hodnoty

Maximální rychlost – rychlost v [m.s^{-1}] na ose potrubí (logaritmický rychlostní profil (i), sedminový rychlostní profil (ii)).

Třecí součinitel – vyjadřuje bezrozměrnou hodnotu součinitele ztráty třením (Prandtl-Kármanova rovnice (i), Blasiova rovnice (ii)).

Třecí rychlost – bezrozměrná veličina stanovená ze znalosti součinitele ztráty třením a střední profilové rychlosti (logaritmický rychlostní profil (i), sedminový rychlostní profil (ii)).

Smykové napětí – hodnota napětí na stěně potrubí v [Pa] (logaritmický rychlostní profil (i), sedminový rychlostní profil (ii)).

Poznámka

Tloušťka vazké podvrstvy – reprezentuje mocnost (pod)vrstvy mezní vrstvy turbulentního proudění podél pevné stěny v [m]. Horní hranice zvolena bezrozměrnou souřadnicí $y^+ = 5$, dolní hranice odpovídá velikosti $y^+ = 0$ (stěna potrubí).

Tloušťka přechodové vrstvy – reprezentuje mocnost přechodové vrstvy mezní vrstvy turbulentního proudění podél pevné stěny v [m]. Horní hranice zvolena bezrozměrnou souřadnicí $y^+ = 30$, dolní hranice odpovídá velikosti $y^+ = 5$.

Tloušťka logaritmické oblasti – reprezentuje mocnost logaritmické oblasti mezní vrstvy turbulentního proudění podél pevné stěny v [m]. Dolní hranice je zvolena bezrozměrnou souřadnicí $y^+ = 30$ a horní hranice leží na ose potrubí $y^+ = (u_\tau * R)/v$.

ERROR 1 – režim proudění tekutiny v potrubí je *laminární*.

ERROR 2 – Reynoldsovo číslo se nachází mimo oblast platnosti Prandtl-Kármánovy rovnice pro stanovení součinitele ztráty třením.

ERROR 3 – Reynoldsovo číslo se nachází mimo oblast platnosti Blasiovy rovnice pro stanovení součinitele ztráty třením.

Platnost Prandtl-Kármánovy rovnice splněna – velikost Reynoldsova čísla se pohybuje v rozmezí platnosti vzorce pro stanovení součinitele ztráty třením na základě Prandtl-Kármánovy rovnice.

Platnost Blasiovy rovnice splněna – velikost Reynoldsova čísla se pohybuje v rozmezí platnosti vzorce pro stanovení součinitele ztráty třením na základě Blasiovy Rovnice.

```
function Turbulentni_rychlostni_profil
%---------------------------------------------------------------------------
% Zpracoval:                                                    Petr Splichal
% Datum:                                                           18/12/2017
%---------------------------------------------------------------------------
clc; clear all; clear variables;
disp('--------------------------------------------------------------------')
disp('------------------TURBULENTNÍ RYCHLOSTNÍ PROFIL---------------------')
disp('--------------------------------------------------------------------')

%% Vstupni hodnoty
vm = input('Střední průřezová rychlost v přívodním potrubí vm [m.s^-1] =
');
% Prumer trysky                      d    [m]
D = input('Průměr přívodního potrubí D [m] = ');
% Hustota tekutiny                   rho [kg.m^-3]
rho = input('Hustota tekutiny rho [kg.m^-3] = ');
% Kinameticka vazkost tekutiny       nu   [m^2.s^-1]
nu = input('Kinematická vazkost tekutiny nu [m^2.s^-1] = ');

% Reynoldsovo cislo
Re = vm*D/nu;
Re = round(Re);
fprintf('Velikost Reynoldsova čísla [1]:\nRe = %f\n\n',Re)

%% Turbulentni rychlostni profil (Prandtl-Karmanova rovnice)
if (0 < Re) && (Re <= 2000)
    disp('Laminární proudění.')
    error('Prandtl-Kármánovu rovnici nelze použít.')

elseif (2000 < Re) && (Re < 4000) && (Re > 10E08)
    disp('Mimo oblast platnosti použitého výrazu.')
    error('Prandtl-Kármánovu rovnici nelze použít.')

elseif (4000 <= Re) && (Re <= 10E08);
    disp('Oblast platnosti Prandtl-Kármánovy rovnice splněna.')
    % Substituce
    lambda_0 = 0.015;
    xn = 1/((lambda_0)^0.5);
    A = 2.51/Re;

    f = @(xn)((xn)+2*log10(A*(xn)));
    df = @(xn)(1+2/((xn)*log(10)));
    diff = 1;
    tol = 1E-05;

    while diff > tol
        xn1 = xn - f(xn)/df(xn);
        diff = abs(xn1 - xn);
        xn = xn1;
    end
    lambda = 1/(xn^2);
    fprintf('Součinitel ztrát třením (Prandtl-Kármánova rovnice)
[1]:\nlambda = %f',lambda)

    % Treci rychlost
    u_tau = ((lambda/8)^0.5)*vm;
    fprintf('\nTřecí rychlost (Prandtl-Kármánova rovnice) [m.s^-1]:\nu_tau
= %f',u_tau)
```

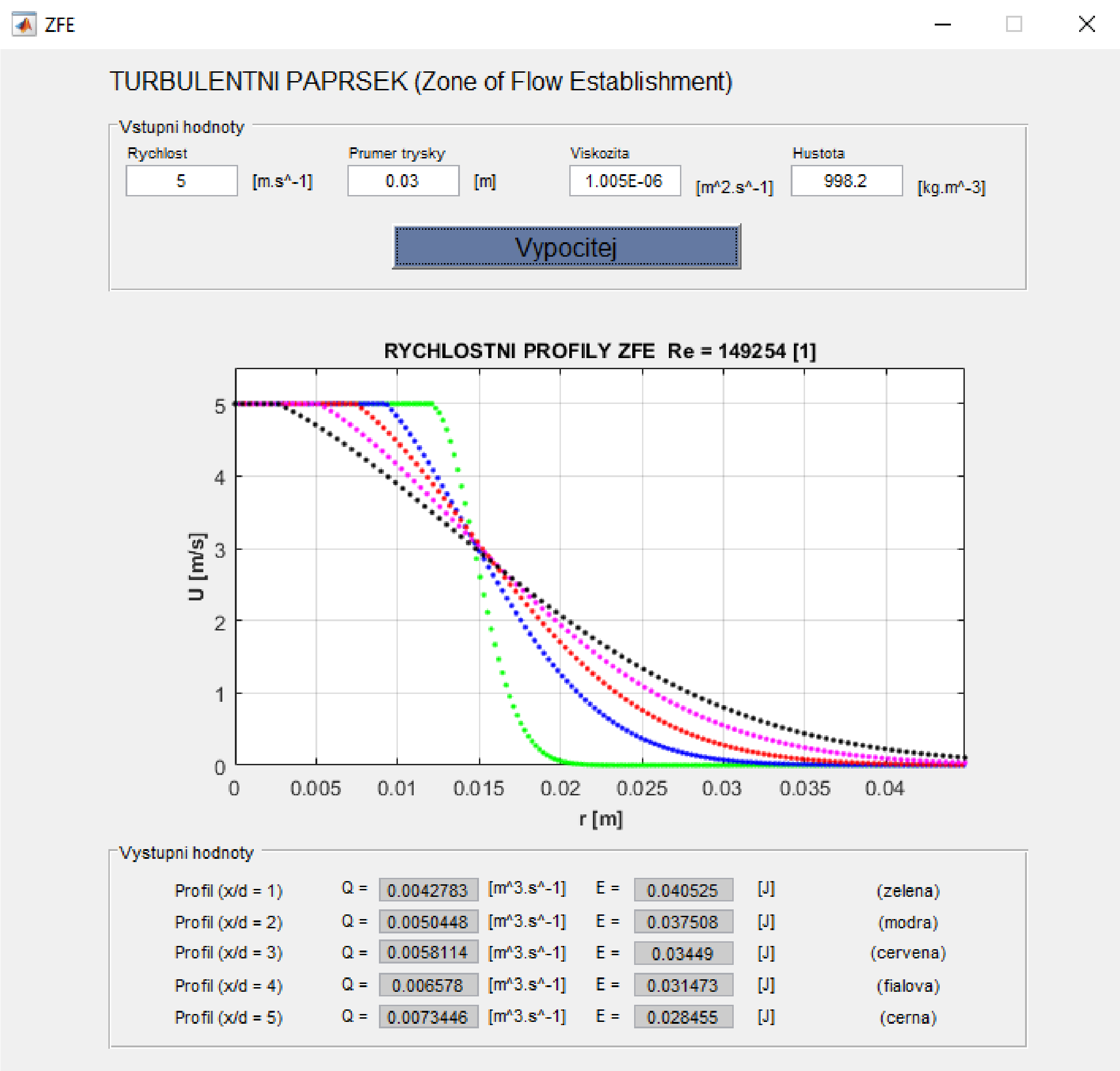
```
    % Smykove napeti na stene potrubi
    tau = rho*u_tau^2;
    fprintf('\nSmykové napětí na stěne potrubí (Prandtl-Kármánova rovnice)
[Pa]:\ntau = %f',tau)

    for y = 0:1E-04:D/2
        yp = (u_tau.*y)./nu;
        if yp <= 5
            % Vazka podvrstva
            up = yp;
            u = up.*u_tau;

        elseif (yp > 5) && (yp < 11)
            % Prechodova oblast
            if yp < 11
                up = yp;
                u = up.*u_tau;

            else
                A = 5.75;
                B = 5.5;
                up = A.*log10(yp) + B;
                u = up.*u_tau;

            end

        else
            % Logaritmicka oblast
            A = 5.75;
            B = 5.5;
            up = A.*log10(yp) + B;
            u = up.*u_tau;
            u_max = (A.*log10((D/2*u_tau)/nu) + B)*u_tau;

        figure(1)
        plot(u,y,'r.','linewidth',2)
        hold on
        grid on
        xlabel('u [m.s^-^1]','FontSize',10,'FontWeight','bold');
        ylabel('y [m]','FontSize',10,'FontWeight','bold');
        title(['RYCHLOSTNÍ PROFIL (Prandtl-Kármánova rovnice) Re = ',...
            num2str(Re),' [1]'],'FontSize',10,'FontWeight','bold')

        end

    end
    fprintf('\nMaximální rychlost (Logaritmický profil) [m.s^-1]:\nu_max =
%f',u_max)
    % Tlousky jednotlivych podvrstev
    ypD = (u_tau*D/2)/nu;
    t_vp = (5*nu)/u_tau;
    fprintf('\nTloušťka vazké podvrstvy [m]:\nt_vp = %f',t_vp)
    t_pv = (30*nu)/u_tau - t_vp;
    fprintf('\nTloušťka přechodové vrstvy [m]:\nt_pv = %f',t_pv)
    t_lo = (ypD*nu)/u_tau - t_pv;
    fprintf('\nTloušťka logaritmické oblasti [m]:\nt_lo = %f\n',t_lo)
```

```
else
    error('Neplatná hodnota Reynoldsova čísla.')

end

%% Turbulentni rychlostni profil (Sedminovy zakon)
if (Re > 2000) && (Re <= 10E05)
    disp('Oblast platnosti Blasiovy rovnice splněna.')
    % Soucinitel ztrat trenim
    lambda = 0.3164/(Re^0.25);
    fprintf('\nSoučinitel ztrát třením (Blasiova rovnice) [1]:\nlambda =
%f',lambda)

    % Velikost maximalni rychlosti
    u_max = 1/0.8*vm;
    fprintf('\nMaximální velikost rychlosti (Sedminový zákon) [m.s^-
1]:\nu_max = %f',u_max)

    % Treci rychlost
    u_tau = ((lambda/8)^0.5)*vm;
    fprintf('\nTřecí rychlost (Blasiova rovnice) [m.s^-1]:\nu_tau =
%f',u_tau)

    % Smykove napeti na stene potrubi
    tau = rho*u_tau^2;
    fprintf('\nSmykové napětí na stěně potrubí (Blasiova rovnice)
[Pa]:\ntau = %f',tau)

    % Stanoveni bodove rychlosti (rovnice 1/7 zakona rozdeleni rychlosti)
    y = 0:1E-04:D/2;
    B = 6.99/0.8;
    yp = (u_tau .* y)./nu;
    up = B.*yp.^(1/7);
    u = up .* u_tau;

    figure (2)
    hold on
    grid on
    plot(u,y,'b','linewidth',2)
    xlabel('u [m.s^-^1]','FontSize',10,'FontWeight','bold');
    ylabel('y [m]','FontSize',10,'FontWeight','bold');
    title(['RYCHLOSTNÍ PROFIL (Sedminový zákon) Re = ',num2str(Re),'
[1]'],...
        'FontSize',10,'FontWeight','bold')

else
    error('Mimo platnost Blasiovy rovnice pro lambda')

end

end
```

TURBULENTNÍ PAPRSEK (Zone of Flow Establishment)

Popis funkce

Funkce *Turbulentní paprsek (Zone of Flow Establishment)* poskytuje výpočet velikosti průtoku a kinetické energie proudu v profilech x/d = 1, 2, 3, 4 a 5. Dále jednotlivé profily, v nichž je velikost průtoku a kinetické energie vykreslí ve formě grafu (uvedena pouze polovina rychlostního profilu, druhá polovina symetrická – jedná se o osově symetrické proudění).



Obr. 3 Ukázka funkce *Turbulentní paprsek ZFE*

Struktura funkce

Funkce vychází z výsledků bakalářské práce, kde byly pro modelování použity různé dvourovnicové modely turbulence, ze kterých po vyhodnocení vyšel jako nejlepší model (podle Tollmienova a Görtlerova rozdělení rychlosti) právě model k-ε Standard. Na základě výsledků modelu k-ε Standard byly vyhodnoceny jednotlivé rychlostní profily, pro které bylo zjištěno, že od vzdálenosti $x/d > 1$ lze použít pro rozdělení rychlosti Gaussovo rozdělení. Jednotlivé rychlostní profily přebírají koeficienty Gaussova rozdělení z matice koeficientů, která byla odvozena pro jednotlivé rychlostní profily v oblasti vývinu proudění, a udávají tvar rychlostního profilu. Po doplnění údaje o velikosti průměru trysky a velikosti vstupní rychlosti je možné sestavit rychlostní profil. Hodnota průtoku, resp. kinetické energie v konkrétním profilu oblasti vývinu proudění vychází rovnice, která je uvedena v textu diplomové práce rov. 8.7 resp. rov (8.8). Pro vyčíslení velikosti průtoku, resp. kinetické energie je potřeba zadat velikost vstupní rychlosti, průměru trysky a hustoty (pro kinetickou energii). Pro rozdělení vstupní rychlosti je předpokládán konstantní rychlostní profil.

Vstupní hodnoty

Rychlost – představuje střední průřezovou rychlost v ústí trysky v [m.s^{-1}]. Záporné hodnoty budou převedeny na kladné číslo.

Průměr trysky – představuje velikost otvoru trysky v [m]. Hodnota velikosti průměru trysky musí být zadána ve formě kladného čísla většího než nula. Záporné číslo bude převedeno na kladné číslo.

Viskozita – vlastnost tekutiny nezbytná pro určení Görtlerova čísla. Defaultně nastavená hodnota 1,005E-06 [m^2.s^{-1}] lze použít při proudění vody tryskou.

Hustota tekutiny – charakteristická vlastnost tekutiny zadaná v [kg.m^{-3}]. V konkrétní funkci je defaultně nastavená velikost hustoty tekutiny hodnotou 998,2 [kg.m^{-3}].

Výstupní hodnoty

Průtok – veličina v [m^3.s^{-1}], která popisuje objem tekutiny proteklý zkoumaným profilem (kolmo na směr proudění) v čase.

Kinetická energie – jedná se o druh mechanické energie v, kterou vykazuje proud tekutiny. Jednotkou kinetické energie je 1 Joule [J]. Pro vyčíslení velikosti kinetické energie je potřeba doplnit údaj o hustotě proudící tekutiny.

```
function [OUT] = Paprsek_ZFE
%-------------------------------------------------------------------------
% Zpracoval:                                                  Petr Splichal
% Datum:                                                         18/12/2017
%-------------------------------------------------------------------------
clc; clear all; clear variables;
disp('--------------------------------------------------------------------')
disp('---------PONORENY TURBULENTNI PAPRSEK (k-epsilon STANDARD)----------')
disp('--------------------------------------------------------------------')

%% Vstupni hodnoty
% Vstupni rychlost                    U0   [m.s^-1]
U0 = input('Vstupní rychlost U0 [m.s^-1] = ');
% Prumer trysky                       d    [m]
d = input('Průměr trysky d [m] = ');
% Hustota tekutiny                    rho  [kg.m^-3]
rho = input('Hustota tekutiny rho [kg.m^-3] = ');
% Kinameticka vazkost tekutiny        nu   [m^2.s^-1]
nu = input('Kinematická vazkost tekutiny nu [m^2.s^-1] = ');

% Delka oblasti vyvinu proudeni
L_ZFE = 5.3*d;
fprintf('Výsledná délka oblasti vývinu proudění [1] %f\n',L_ZFE)

% Reynoldsovo cislo
Re = U0*d/nu;
fprintf('Výsledná velikost Reynoldsova cisla [1] %f\n\n',Re)

% Hybnost proudu (pro Boussinesquovo cislo rovno 1)
M0 = rho*(0.25*pi*d^2)*U0^2;
fprintf('Velikost hybnosti proudu [kg.m.s^-1] %f\n',M0)

% Pocatecni hodnota objemoveho prutoku
Q0 = pi/4*d^2*U0;
A_q = 0.2169;
B_q = 0.9936;
fprintf('Počáteční hodnota průtoku [m^3.s^-1] %f\n',Q0)

% Pocatecni hodnota kineticke energie proudu (pro Coriolisovo cislo rovno
1)
E0 = 0.5*pi/4*d^2*U0^3;
A_e = -0.0683;
B_e =0.9856;
fprintf('Počáteční hodnota kinetické energie proudu [J] %f\n\n',E0)

% Polomer paprsku koeficienty (model k-epsilon Standard)
A_r = 0.36687;
B_r = 1.15448;

%% RYCHLOSTNI PROFILY Zone of Flow Establishment
% Matice koeficientu
A = [0.994915 -0.01503 0.251861; 1.084612 -0.176624 0.432344; ...
    1.067392 -0.110968 0.399556; 1.074786 -0.108148 0.396652; ...
    1.080179 -0.115038 0.397921];

%% Profil 1 (x/d = 1)
x = 1;
X = x*d;
```

```
fprintf('Poloha profilu (x/d = 1) [m] %f\n',X)
r = (A_r*x + B_r)*d/2;
R = -(X*d)/(2*L_ZFE) + d/2;
b = r - R;

for r_p = 0:r/100:2*r;
    if r_p < R
        alpha = 1;
        figure(1)
        U = alpha.*U0;
     else
        eta = (r_p-R)./b;
        alpha = A(1,1).*exp(-(eta - A(1,2)).^2/(2*A(1,3)^2));
        U = alpha.*U0;
    end
    figure(1)
    plot(r_p,U,'g.')
    hold on
end
% Velikost objemoveho prutoku
Q_1 = (A_q*x + B_q)*Q0;
fprintf('Velikost objemového průtoku (x/d = 1) [m^3.s^-1] %f\n',Q_1)
% Velikost kineticke energie proudu
E_1 = (A_e*x + B_e)*E0;
fprintf('Velikost kinetické energie proudu (x/d = 1) [J] %f\n\n',E_1)

%% Profil 2 (x/d = 2)
x = 2;
X = x*d;
fprintf('Poloha profilu (x/d = 2) [m] %f\n',X)
r = (A_r*x + B_r)*d/2;
R = -(X*d)/(2*L_ZFE) + d/2;
b = r - R;

for r_p = 0:r/100:2*r;
    if r_p < R
        alpha = 1;
        figure(1)
        U = alpha.*U0;
     else
        eta = (r_p-R)./b;
        alpha = A(2,1).*exp(-(eta - A(2,2)).^2/(2*A(2,3)^2));
        U = alpha.*U0;
    end
    figure(1)
    plot(r_p,U,'b.')
    hold on
end
% Velikost objemoveho prutoku
Q_2 = (A_q*x + B_q)*Q0;
fprintf('Velikost objemového průtoku (x/d = 2) [m^3.s^-1] %f\n',Q_2)
% Velikost kineticke energie proudu
E_2 = (A_e*x + B_e)*E0;
fprintf('Velikost kinetické energie proudu (x/d = 2) [J] %f\n\n',E_2)

%% Profil 3 (x/d = 3)
x = 3;
X = x*d;
fprintf('Poloha profilu (x/d = 3) [m] %f\n',X)
```

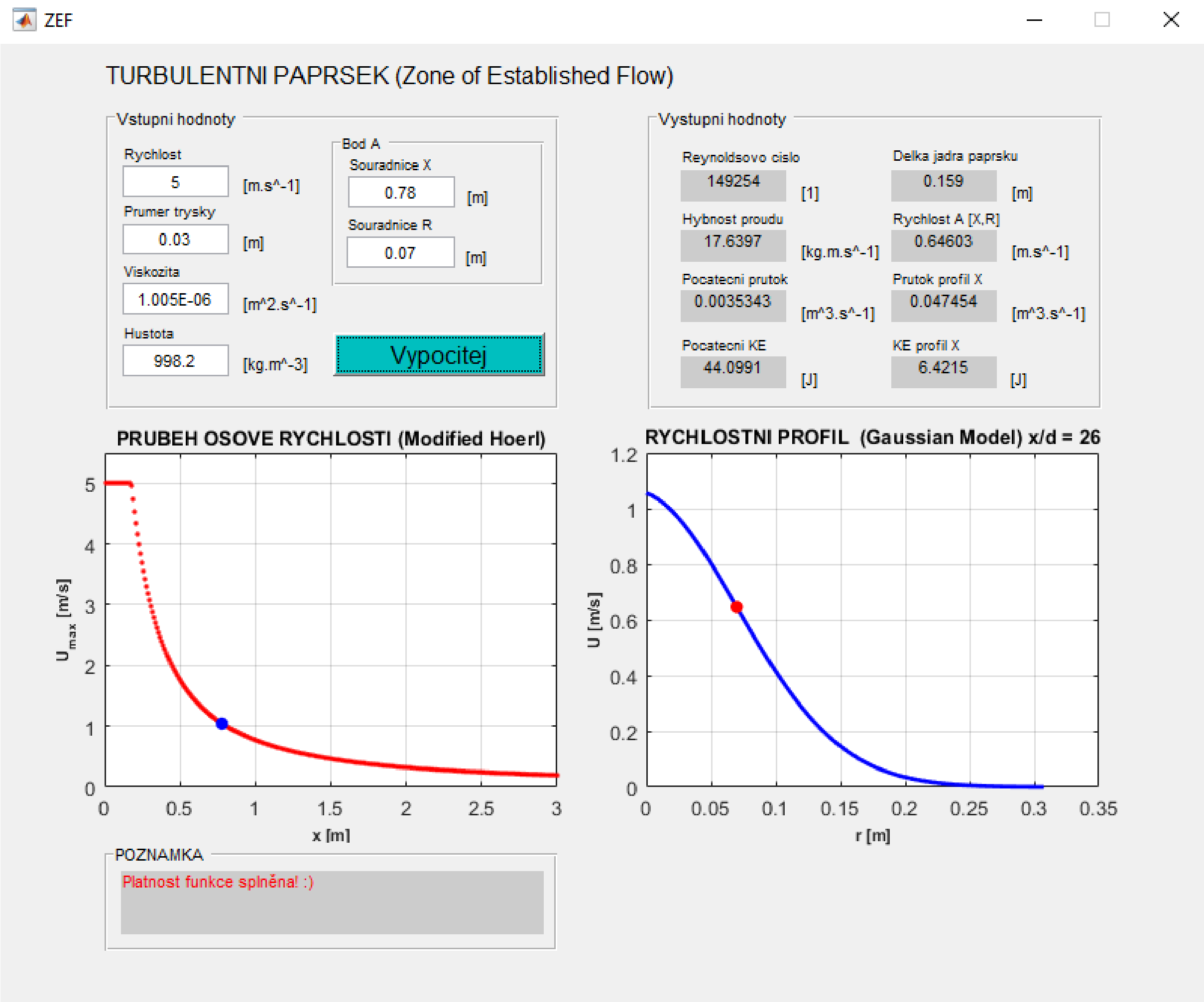
```
r = (A_r*x + B_r)*d/2;
R = -(X*d)/(2*L_ZFE) + d/2;
b = r - R;

for r_p = 0:r/100:2*r;
    if r_p < R
        alpha = 1;
        figure(1)
        U = alpha.*U0;
     else
        eta = (r_p-R)./b;
        alpha = A(3,1).*exp(-(eta - A(3,2)).^2/(2*A(3,3)^2));
        U = alpha.*U0;
        if U > U0
            U = U0;
        end
    end
    figure(1)
    plot(r_p,U,'r.')
    hold on
end
% Velikost objemoveho prutoku
Q_3 = (A_q*x + B_q)*Q0;
fprintf('Velikost objemového průtoku (x/d = 3) [m^3.s^-1] %f\n',Q_3)
% Velikost kineticke energie proudu
E_3 = (A_e*x + B_e)*E0;
fprintf('Velikost kinetické energie proudu (x/d = 3) [J] %f\n\n',E_3)

%% Profil 4 (x/d = 4)
x = 4;
X = x*d;
fprintf('Poloha profilu (x/d = 4) [m] %f\n',X)
r = (A_r*x + B_r)*d/2;
R = -(X*d)/(2*L_ZFE) + d/2;
b = r - R;

for r_p = 0:r/100:2*r;
    if r_p < R
        alpha = 1;
        figure(1)
        U = alpha.*U0;
     else
        eta = (r_p-R)./b;
        alpha = A(4,1).*exp(-(eta - A(4,2)).^2/(2*A(4,3)^2));
        U = alpha.*U0;
        if U > U0
            U = U0;
        end
    end
    figure(1)
    plot(r_p,U,'m.')
    hold on
end
% Velikost objemoveho prutoku
Q_4 = (A_q*x + B_q)*Q0;
fprintf('Velikost objemového průtoku (x/d = 4) [m^3.s^-1] %f\n',Q_4)
% Velikost kineticke energie proudu
E_4 = (A_e*x + B_e)*E0;
fprintf('Velikost kinetické energie proudu (x/d = 4) [J] %f\n\n',E_4)
```

```
%% Profil 5 (x/d = 5)
x = 5;
X = x*d;
fprintf('Poloha profilu (x/d = 5) [m] %f\n',X)
r = (A_r*x + B_r)*d/2;
R = -(X*d)/(2*L_ZFE) + d/2;
b = r - R;

for r_p = 0:r/100:2*r;
    if r_p < R
        alpha = 1;
        figure(1)
        U = alpha.*U0;
     else
        eta = (r_p-R)./b;
        alpha = A(5,1).*exp(-(eta - A(5,2)).^2/(2*A(5,3)^2));
        U = alpha.*U0;
        if U > U0
            U = U0;
        end
    end
    figure(1)
    plot(r_p,U,'k.')
    hold on
end
% Velikost objemoveho prutoku
Q_5 = (A_q*x + B_q)*Q0;
fprintf('Velikost objemového průtoku (x/d = 5) [m^3.s^-1] %f\n',Q_5)
E_5 = (A_e*x + B_e)*E0;
fprintf('Velikost kinetické energie proudu (x/d = 5) [J] %f\n',E_5)

%% GRAF UPRAVA
figure(1)
hold on
grid on
title(['RYCHLOSTNI PROFIL ZFE  Re = ',num2str(Re),'
[1]'],'FontSize',10,'FontWeight','bold')
xlabel('r [m]','FontSize',10,'FontWeight','bold')
ylabel('U [m.s^-^1]','FontSize',10,'FontWeight','bold')
xlim([0 r]);ylim([0 1.1*U0])

end
```

TURBULENTNÍ PAPRSEK (Zone of Established Flow)

Popis funkce

Funkce *Turbulentní paprsek (Zone of Established Flow)* poskytuje vyčíslení velikosti základních charakteristik proudění včetně vykreslení průběhu osové rychlosti s vykreslením rychlostního profilu ve zvolené vzdálenosti v oblasti vyvinutého proudění.



Obr. 4 Ukázka funkce *Turbulentní paprsek Zone of Established Flow*

Struktura funkce

Funkce Turbulentní paprsek *(Zone of Established Flow)* vychází z výsledků turbulentního modelu k-ε Standard v oblasti vyvinutého proudění $x > L_{ZFE}$ $(5{,}3d)$, který byl sestaven v rámci bakalářské práce a prokazoval největší shodu v rámci použitých $RANS$ modelů s rozdělením rychlosti podle Tollmiena a Görtlera (hodnotící kritéria přesnosti modelů). Ze zadaných velikostí vstupních veličin (rychlost v ústí trysky, průměr trysky, charakteristik proudící tekutiny a souřadnic bodu *A*) spočítá velikost Reynoldsova čísla, délku jádra paprsku (z experimentálního pozorování *Crow & Champagne, 1971),* velikosti hybnosti proudu (předpoklad konstantní velikosti hybnosti ve směru proudění), počáteční hodnoty průtoky a kinetické, hodnoty průtoku a kinetické energie v profilu stanoveným polohou bodu *A [X; R]* (na základě numerické integrace rychlostního profilu). Dále vykreslí průběh osové rychlosti turbulentního paprsku ve směru proudění včetně vyznačení osové rychlosti v profilu jednoznačně určeným bodem *A [X; R]*, tvar rychlostního profilu a vyznačí polohu bodu *A [X; R].* Rychlostní profily jsou určeny na základě velikosti osové (maximální) rychlosti v paprsku a poloměru paprsku pomocí Gaussova rozdělení. V transientní oblasti vyvinutého proudění ($L_{ZFE} < x < 30d$) se rychlostní profily stávají na konci oblasti postupně vzájemně podobné (plně vyvinuté turbulentní proudění) a koeficienty Gaussova modelu jsou nezávislé na poloze ve směru proudění. Aby bylo možné určit tvar rychlostních profilů v transientní oblasti vývinu prodění, byl odvozen předpis koeficientů Gaussova modelu, který je zakomponován v dané funkci.

Vstupní hodnoty

Rychlost – reprezentuje střední průřezovou rychlost v ústí trysky zadanou v [m.s^{-1}]. Rozdělení rychlosti na počátku paprsku je uvažováno za konstantní po celém průřezu trysky. Hodnota vstupní rychlosti musí být zadána jako nezáporné číslo – podmínka vyplývající z podstaty vzniku turbulentního paprsku. Záporná velikost bude převedena na kladnou hodnotu velikosti rychlosti.

Průměr trysky – tryska uvažována kruhového průřezu zadaná v [m]. Hodnota velikosti průměru trysky musí být zadána ve formě kladného čísla většího než nula. Záporné číslo bude převedeno na kladné číslo.

Viskozita – charakteristická vlastnost tekutiny zadaná v [m^2.s^{-1}], která je potřebná pro stanovení Reynoldsova čísla. Ve funkci turbulentní paprsek je defaultně nastavená velikost kinematické vazkosti tekutiny hodnotou 1,005E-06 [m^2.s^{-1}].

Hustota tekutiny – charakteristická vlastnost tekutiny zadaná v [kg.m^{-3}] potřebná pro stanovení velikosti hybnosti proudu tekutiny. V konkrétní funkci je defaultně nastavená velikost hustoty tekutiny hodnotou 998,2 [kg.m^{-3}].

Posuzovaný bod A [X; R] – vstupní údaje potřebné ke stanovení velikosti rychlosti paprsku v bodě *A [X; R]* jednoznačně určeným pomocí souřadnic *X* [m] a *R* [m]. Jelikož je proudění tekutiny v kruhovém paprsku rotačně symetrické, budou záporné hodnoty souřadnic bodu *A* převedeny na kladné hodnoty.

Výstupní hodnoty

Reynoldsovo číslo – výstupní bezrozměrné číslo popisující podíl setrvačných a vazkých sil uvnitř paprsku, jehož hodnota je nezávislá na poloze paprsku a setrvává konstantní. Velikost Reynoldsova čísla je stanovena ze zadané velikosti vstupní rychlosti, průměru trysky a hodnotě kinematické vazkosti tekutiny.

Délka jádra paprsku – výstupní vzdálenost v [m] určená pomocí *Husseinova (LDA)* výrazu pro výpočet průběhu maximální rychlosti tekutiny v paprsku. Tato veličina vymezuje základní oblasti turbulentního paprsku. Délka jádra paprsku vychází z experimentálního pozorování délky jádra paprsku (*Crow & Champagne, 1971*) a odpovídá velkosti $L_{ZFE} = 5{,}3d$.

Hybnost proudu tekutiny – výstupní hydrodynamická veličina v [J] = [kg.m.s^{-1}], jejíž hodnota zůstává pro turbulentní paprsek neměnná a lze ji určit jako součin hustoty tekutiny, objemového průtoku v ústí trysky a střední průřezové rychlosti v ústí trysky.

Rychlost v bodě A – výstupní hodnota velikosti rychlosti v [m.s^{-1}] v zadaném bodě *A [X; R].* Pro polohu bodu jsou vypočteny profilu *X* hodnoty osové rychlosti, poloměru paprsku a koeficienty Gaussova modelu, ze kterých je sestaven rychlostní profil, ve kterém je vypočtena hodnoty rychlosti odpovídající souřadnici *R* [m].

Počáteční průtok – výstupní hodnota průtoku v [m^3.s^{-1}] na počátku paprsku (v ústí trysky) vypočtená z rovnice kontinuity, která vychází ze zadané velikosti průměru trysky a střední průřezové rychlosti v ústí trysky.

Průtok profil X – výstupní hodnota reprezentující velikost objemového průtoku v [m^3.s^{-1}] průřezu kolmo na směr proudění určeným bodem A. Velikost je určena na základě numerické integrace rychlostního profilu při znalosti velikosti osové rychlosti, poloměru paprsku a koeficientů Gaussova modelu.

Počáteční KE – výstupní hodnota kinetické energie proudu v [J] na počátku paprsku (v ústí trysky) vypočtená jako součin hustoty, počáteční hodnoty objemového průtoku a rychlosti.

KE profil X – výstupní hodnota reprezentující velikost kinetické energie proudu v [J] průřezu kolmo na směr proudění určeným bodem A. Velikost je určena ze znalosti střední průřezové rychlosti (pro Gaussův model lze uvažovat rovnu polovině maximální rychlosti), velikosti objemového průtoku a hustoty tekutiny.

```
function [OUT] = Paprsek_ZEF
%-----------------------------------------------------------------------------
% Zpracoval:                                                      Petr Splichal
% Datum:                                                             18/12/2017
%-----------------------------------------------------------------------------
clc; clear all; clear variables;
disp('--------------------------------------------------------------------')
disp('---------PONORENY TURBULENTNI PAPRSEK (k-epsilon STANDARD)---------')
disp('--------------------------------------------------------------------')

%% Vstupni hodnoty
% Vstupni rychlost                    U0  [m.s^-1]
U0 = input('Vstupní rychlost U0 [m.s^-1] = ');
% Prumer trysky                       d   [m]
d = input('Průměr trysky d [m] = ');
% Hustota tekutiny                    rho [kg.m^-3]
rho = input('Hustota tekutiny rho [kg.m^-3] = ');
% Kinameticka vazkost tekutiny        nu  [m^2.s^-1]
nu = input('Kinematická vazkost tekutiny nu [m^2.s^-1] = ');
% Posuzovany bod A
% Vodorovna souradnice
X = input('Souřadnice bodu X [m] = ');
R = input('Souřadnice bodu R [m] = ');
X = abs(X);
R = abs(R);

% Bezrozmerna vodorovna souradnice
x = X/d;

% Delka jadra paprsku
L_ZFE = 5.3*d;

% Kontrola
if X > L_ZFE
    disp('Platnost funkce splněna! :)')
    fprintf('Délka oblasti jádra paprsku [m] %f\n',L_ZFE)
else
    error('Poloha X mimo oblast platnosti použité funkce! :/')
end

% Poloha virtualniho pocatku
x0 = 1.94*d;
fprintf('Poloha virtuálního počátku na ose symetrie [m] %f\n\n',x0)

% Reynoldsovo cislo
Re = U0*d/nu;
fprintf('Výsledná velikost Reynoldsova cisla [1] %f\n',Re)

% Pocatecni hodnota prutoku
Q0 =(0.25*pi*d^2)*U0;

% Hybnost proudu
M0 = rho*(0.25*pi*d^2)*U0^2;
fprintf('Počáteční hodnota hybnosti [kg.m.s^-1] %f\n\n',M0)

% Pocatecni hodnota kineticke energie
E0 = rho/2*(0.25*pi*d^2)*U0^3;
```

```
%% Maximalni (osova) rychlost
% Vypocet osove rychlosti v profilu urcenym bodem X
a_1 = 17.73155;
b_1 = 0.04859;
c_1 = -1.32835;
U_max = (a_1*b_1^(1/x)*x^c_1)*U0;
fprintf('Velikost osove rychlosti [m.s^-1] %f\n',U_max)

% Prubeh osove rychlosti
if X < 100*d
    L_H = 100*d;
else
    L_H = ceil(X);
end

for x_p = 0:0.01:L_H
    if (0 < x_p) && (x_p < L_ZFE)
        u_max = U0;
    else
        u_max = (a_1*b_1.^(d./x_p).*(x_p/d).^c_1).*U0;
        if u_max > U0
            u_max = U0;
        end
    end
    figure(1)
    plot(x_p,u_max,'r.')
    hold on
end

%% ZONE OF ESTABLISHED FLOW
% Koeficient_a
alpha_a = 1.30736;
theta_a = -0.28611;
eta_a = 4.60750;
kappa_a = 7.63711;
% Vypocet koeficientu (a)
a_2 = alpha_a + (theta_a*x^eta_a)/(kappa_a^eta_a + x^eta_a);

% Koeficient_b
alpha_b = -1.05043;
theta_b = 0.93291;
eta_b = 4.29450;
kappa_b = 7.85593;
% Vypocet koeficientu (b)
b_2 = alpha_b + (theta_b*x^eta_b)/(kappa_b^eta_b + x^eta_b);

% Koeficient (c)
alpha_c = 1.47840;
theta_c = -0.53879;
eta_c = 4.19514;
kappa_c = 8.23982;
% Vypocet koeficientu (c)
c_2 = alpha_c + (theta_c*x^eta_c)/(kappa_c^eta_c + x^eta_c);

% Sirka paprsku
A_r = 0.23677;
B_r = -0.46838;
r = (A_r*x + B_r)*d;
r_2 = r/2;
```

```
% Rychlostni profil
r_p = 0:r/100:1.8*r;
eta = r_p./r_2;
u = a_2.*exp(-(eta - b_2).^2/(2*c_2^2))*U_max;

% Rychlost v bode A [X;R]
Eta = R/r_2;
U = a_2*exp(-(Eta - b_2)^2/(2*c_2^2))*U_max;
if U > U_max
    U = U_max
end
fprintf('Rychlost v bode A [X;R] [m.s^-1] %f\n\n',U)

% Numericka integrace
fun = @(eta) a_2.*exp(-(eta - b_2).^2/(2*c_2^2))*U_max*r_2;
q = integral(fun,0,r);
% Hledana velikost prutoku
Q = pi*q;
fprintf('Počáteční hodnota průtoku [m^3.s^-1] %f\n',Q0)
fprintf('Velikost průtoku v posuzovaném profilu [m^3.s^-1] %f\n\n',Q)
% Velikost stredni prurezove rychlosti (Gaussovo rozdeleni rychlosti)
U_m = U_max/2;
% Hledana velikost kineticke energie proudu
E = rho/2*Q*U_m^2;
fprintf('Počáteční hodnota kinetické energie [J] %f\n',E0)
fprintf('Velikost kinetické energie proudu v posuzovaném profilu [J]
%f\n',E)

%% Grafy
figure (1)
hold on
scatter(X,U_max,40,'b','filled')
grid on
title('PRUBEH OSOVE RYCHLOSTI (Modified Hoerl)','Fontsize',12)
xlabel('x [m]','FontSize',10,'FontWeight','bold')
ylabel('U_m_a_x [m.s^-^1]','FontSize',10,'FontWeight','bold')
ylim([0 1.1*U0])

figure(2)
plot(r_p,u,'b','LineWidth',2)
hold on
grid on
scatter(R,U,40,'r','filled')
title(['RYCHLOSTNI PROFIL  (Gaussian Model) x/d = ',num2str(X/d),'
[1]'],...
    'FontSize',12,'FontWeight','bold')
xlabel('r [m]','FontSize',10,'FontWeight','bold')
ylabel('U [m.s^-^1]','FontSize',10,'FontWeight','bold')

end
```