7. GYAKORLAT (14. oktatási hét)

Lehetséges témakörök a 14. heti 7. gyakorlatra:

SÚRLÓDÁSOS KÖZEG ÁRAMLÁSA (folyt)

- hidraulika (nem kör keresztmetszetű vezeték nyomásvesztesége
- áramlások hasonlósága

AERODINAMIKA

-testre ható erő, erőtényezők

X.PÉLDA (HIDRAULIKA)
X. FELADAT „A" csoport „B" csoport

Egy a×b téglalap keresztmetszetű, hidraulikailag simának tekinthető, L=100m hosszú légcsatornában meleg levegő (ρ=1kg/m^3, ν=2·10^{-5}m^2/s) áramlik alábbi sebességgel:

„A" csoport:
v=10m/s

„B" csoport:
v=20m/s

FELTÉTELEK: stacioner áramlás, ρ=áll., μ=áll.

ADATOK:

„A" csoport:
a=200mm; b=400mm

„B" csoport:
a=400mm; b=600mm

KÉRDÉS:

A)Határozza meg a csősúrlódási tényező értékét!

B)Számítsa ki a csősúrlódás nyomásveszteségének értékét! ($\Delta p'_{cső}$)!

MEGOLDÁS

A)Határozza meg a csősúrlódási tényező értékét!

A d_e egyenértékű csőátmérő a $d_e = \frac{4 \cdot A_{■}}{K_{■}}$ kifejezés alapján számítható, ahol $A_{■}$ a folyadék áramlási keresztmetszetét, illetve $K_{■}$ a folyadék által nedvesített kerületét jelöli a nem kör keresztmetszetű vezetékben. Így meghatározható a nyomásveszteség szempontjából egyenértékű kör keresztmetszetű csővezeték egyenértékű átmérője.

„A" csoport:
$d_e = \frac{4 \cdot A_{■}}{K_{■}} = \frac{4 \cdot (0,2 \cdot 0,4)}{2 \cdot (0,2+0,4)}$=0,267m

„B" csoport:
$d_e = \frac{4 \cdot A_{■}}{K_{■}} = \frac{4 \cdot (0,4 \cdot 0,6)}{2 \cdot (0,4+0,6)}$=0,480m

A Reynolds-szám így kiszámítható az egyenértékű átmérővel:

$$Re = \frac{v_0 \cdot l_0 \cdot \rho}{\mu} = \frac{v_{cső} \cdot d_e \cdot \rho}{\mu} = \frac{v_{cső} \cdot d_e}{\nu}$$

„A" csoport:
Re=133500 (turbulens)

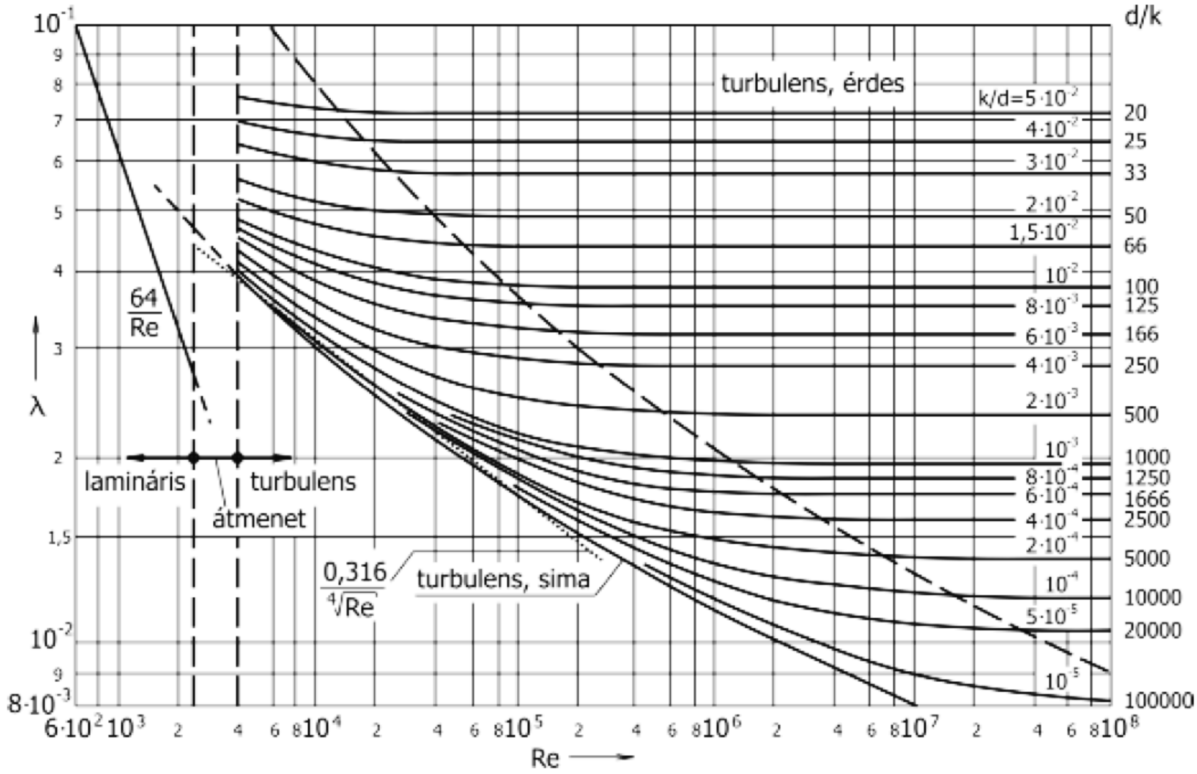
„B" csoport:
Re=480000 (turbulens)

Az A) esetben használhatjuk a Blasius képletet, amely a lamináris/turbulens határ-Reynolds-szám $Re_{határ}$=2300 és kb. 200000 értékű Reynolds-szám között érvényes.

„A" csoport:
$\boldsymbol{\lambda_{turb}} = \frac{\mathbf{0,316}}{\sqrt[4]{\boldsymbol{Re}}}$**=0,016531671 (≈0,0165)**

„B" csoport:
$\boldsymbol{\lambda_{turb}} = \frac{\mathbf{0,316}}{\sqrt[4]{\boldsymbol{Re}}}$**=0,012005403 (≈0,012)**

Látható, hogy B) csoport esetben Re>$2 \cdot 10^5$, ezért a Blasius-képlet csak durva közelítő értéket ad. Helyesen a Moody-diagramból kell leolvasni ilyen nagy Re-szám esetén a csősúrlódási tényező értékét. Tegyük ezt meg és nézzük meg a különbséget!



10.4. ábra

A nem homogén érdességű csövekre vonatkozó Moody diagram

A B) csoport esetén a leolvasással kapott csősúrlódási tényezője: λ_{turb}≈0,015, tehát a Blasius-formulával kapottnál nagyobb érték.

B)Számítsa ki a csősúrlódás nyomásveszteségének értékét! ($\Delta p'_{cső}$)!

A Blasius képlet alapján kapott nyomásveszteség értékek:

„A" csoport:

$\Delta p'_{cső} = \frac{\rho}{2} v^2 \frac{l}{d} \lambda = 310\text{Pa}$

„B" csoport:

$\Delta p'_{cső} = \frac{\rho}{2} v^2 \frac{l}{d} \lambda = 500\text{Pa}$

Számoljuk ki a nyomásveszteséget a B) csoport esetén a Moody-diagramból leolvasott csősúrlódási tényezőkkel is!

A leolvasás alapján kapott nyomásveszteség érték a B) csoportra:

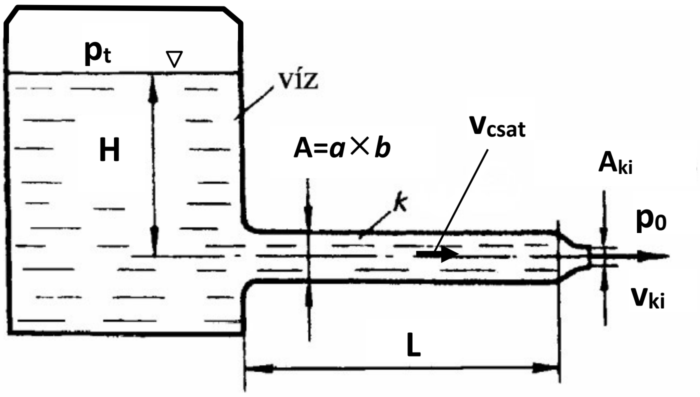
„B" csoport:

$\Delta p'_{cső} = \frac{\rho}{2} v^2 \frac{l}{d} \lambda = 625\text{Pa}$

X.PÉLDA (HIDRAULIKA)

X. FELADAT

Egy $A=a\times b$ téglalap keresztmetszetű, hidraulikailag simának tekinthető, L=30m hosszú vízcsatorna csatlakozik egy tartályhoz, melyben a teljes keresztmetszetet kitöltve v_{csat}=1,5m/s átlagsebességgel áramlik a víz (ρ=1000kg/m^3; ν=10^{-6}m^2/s). A vízcsatorna tengelye vízszintes. A szabadba a csővégi, veszteségmentes konfúzoron (A_{ki}=A/2) keresztül áramlik ki a víz.



FELTÉTELEK: stacioner áramlás, ρ=áll., μ=áll. A_t>>A; A_t>>A_{ki}; k→0; a tartályból csatornába belépés veszteségmentes.

ADATOK: p_0=10^{5}Pa, H=1m; a=60mm; b=40mm; k→0 (hidr. sima belső fal)

KÉRDÉSEK:A) Számítsa ki a vízcsatorna egyenértékű átmérőjét, a Reynolds-számot, a csősúrlódási tényező és a nyomásveszteség értékét!

B) Mekkora p_t tartálynyomást kell ehhez az áramlási állapothoz biztosítani?

MEGOLDÁS

A) Számítsa ki a vízcsatorna egyenértékű átmérőjét, a Reynolds-számot, a csősúrlódási tényező és a nyomásveszteség értékét!

Ismert v_{csat}=1,5 m/s alapján a folytonosság tétele ($v_{csat}\cdot A= v_{ki}\cdot A_{ki}$) és A_{ki}=A/2 ismeretében v_{ki}=3m/s kiszámolható.

A d_e egyenértékű átmérő számítható a $d_e=\frac{4\cdot A_{■}}{K_{■}}$ kifejezés alapján.

d_e=4·(0,06·0,04)/(2· (0,06+0,04))=0,048m=48mm

A Reynolds-szám a csatornában:

$$Re=\frac{v_0\cdot l_0\cdot\rho}{\mu}=\frac{v_{csat}\cdot d_e\cdot\rho}{\mu}=\frac{v_{csat}\cdot d_e}{\nu}=72000$$

Re=72000 (turbulens áramlás, mivel Re>Re_h=2300)

A csősúrlódási tényező: $\lambda_{turb}=\frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}}$=0,019290965 (≈0,0193)

A nyomásveszteség: $\Delta p'_{csat}=\frac{\rho}{2}v^2\frac{l}{d}\lambda$ =13564Pa

B) Mekkora p_t tartálynyomást kell ehhez az áramlási állapothoz biztosítani?

A veszteséges taggal kibővített Bernoulli-egyenlet a vízfelszín (p_t) és kiáramlási keresztmetszet (p_0) pontjai között (vízfelszínen v_1≅0, csővégen v_{ki}=3 m/s):

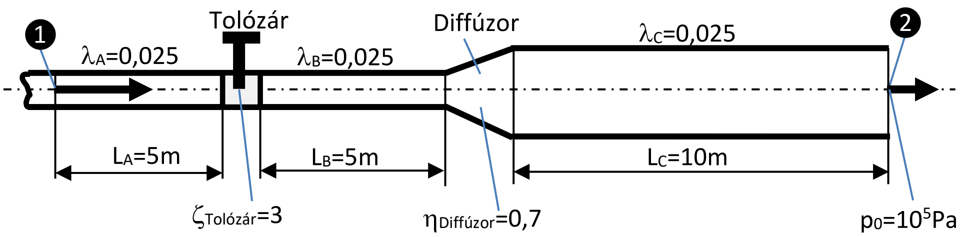
$$p_1+\frac{\rho}{2}v_1^2+\rho\cdot g\cdot z_1=p_2+\frac{\rho}{2}v_2^2+\rho\cdot g\cdot z_2+\frac{\rho}{2}v_2^2\frac{l}{d}\lambda$$

$$p_t-p_0=\frac{\rho}{2}v_2^2+\rho\cdot g\cdot(z_2-z_1)+\frac{\rho}{2}v_2^2\frac{l}{d}\lambda$$

A keresett nyomáskülönbség:

$$p_1-p_2=\frac{1000}{2}3^2+1000\cdot 10\cdot(0-1)+13564=8064Pa$$

X.PÉLDA (HIDRAULIKA)



A víz áramlik a vizsgált csővezeték „1” és „2” pontjai között: az „1” keresztmetszetben az víz sebessége **v_1=10m/s**. A „2” csővégi pontban a víz a szabadba ($p_0=10^5$Pa) áramlik ki. Az „A” és „B” jelű csőszakaszok között egy **$\zeta_{Tolózár}$=3** veszteségtényezőjű tolózár, a „B” és „C” jelű szakaszok között egy **$\eta_{Diffúzor}$=70%** hatásfokú diffúzor van. A csőszakaszok hosszúsága (L_A, L_B, L_C) és a szakaszokra jellemző csősúrlódási tényező (λ_A, λ_B, λ_C) értékek az ábrán láthatók. A csőátmérők adottak: $d_A=d_B$=50mm és d_C=100mm.

FELTÉTELEK: μ=állandó ($\mu \neq 0$), vízszintes csőtengely, stacioner áramlás, összenyomhatatlan közeg

ADATOK: $\rho_{víz}$ = 1000 kg/m^3; $\mu_{víz}$ = 0,001 kg/(m·s)

KÉRDÉSEK:

A) Számítsa ki az csőszakasz „1” és „2” pontjai közötti minden hidraulikai elem („A”, „B”, „C” egyenes csőszakaszok, tolózár, diffúzor) nyomásveszteségét! $\Delta p'_{\text{cső,A}}$=?; $\Delta p'_{\text{cső,B}}$=?; $\Delta p'_{\text{cső,C}}$=?; $\Delta p'_{\text{Tolózár}}$=?; $\Delta p'_{\text{Diffúzor}}$=?

B) Határozza meg, mekkora az „1” pontban a túlnyomás! (p_1-p_0)=?

MEGOLDÁS *(a lap túloldalán is folytathatja)*

A veszteséges taggal kibővített Bernoulli-egyenlet az „1” és „2” keresztmetszetek között:

$$p_1 + \frac{\rho}{2}v_1^2 + \rho \cdot g \cdot z_1 = p_2 + \frac{\rho}{2}v_2^2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + \sum \Delta p'$$

$$\sum \Delta p' = \Delta p'_{cső,A} + \Delta p'_{tolózár} + \Delta p'_{cső,B} + \Delta p'_{diffúzor} + \Delta p'_{cső,C}$$

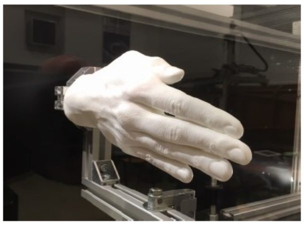
$$\sum \Delta p' = \frac{\rho}{2}v_A^2\frac{L_A}{d_A}\lambda_A + \frac{\rho}{2}v_A^2\zeta_{Tolózár} + \frac{\rho}{2}v_B^2\frac{L_B}{d_B}\lambda_B + \frac{\rho}{2}(v_B^2 - v_C^2)(1-\eta_{Diff}) + \frac{\rho}{2}v_C^2\frac{L_C}{d_C}\lambda_C$$

A folytonosság tétele ($v_A \cdot A_A = v_B \cdot A_B = v_C \cdot A_C$) is érvényes az áramvonalon, így minden hidraulikai elem nyomásvesztesége külön kiszámítható, majd rendezhető a keresett „1” pontbeli túlnyomásra.

v1=	10	m/s	DpcsőA=	125 000,0	Pa
p0=	100 000	Pa	DpcsőB=	125 000,0	Pa
dA=	0,050	m	DpcsőC=	7 812,5	Pa
dB=	0,050	m	DpT=	150 000,0	Pa
dC=	0,100	m	DpDIFF=	14 062,5	Pa
LA=	5	m	SZUM Dp=	**421 875,0**	Pa
LB=	5	m			
LC=	10	m	(p1-p0)=	**375 000,0**	Pa
zetaT=	3				
étaDiff=	0,7				
lambdaA=	0,025				
lambdaB=	0,025				
lambdaC=	0,025				
rho víz=	1 000	kg/m3			
mű víz=	0,001	kg/m3			
v2=	2,500	m/s			

X.PÉLDA (ÁRAMLÁSOK HASONLÓSÁGA)

X. FELADAT **„A” csoport** **„B” csoport**



Egy úszó kéz 1:1 méretarányú modelljén aerodinamikai paramétereket (pl. ellenálláserő) kell meghatároznunk, viszont nincs vízcsatorna a laborunkban csak szélcsatorna. Olyan, a kéz körüli áramláshoz hasonló körülményeket kell biztosítanunk, amikor az úszó keze az úszómedencében nyugalomban lévő vízben éppen **v=2m/s** (**v=1,5m/s**) sebességgel mozog a vizsgált időpillanatban. Ez a v megfúvási sebesség vehető a v_0 jellemző sebességnek, míg a kéz körüli áramlásra jellemző hosszlépték l_0=0,1m.

KÉRDÉSEK: A) Melyik hasonlósági szám azonosságát kell biztosítani? Indokolja válaszát!

B)Mekkora megfúvási sebességet kell beállítani a szélcsatornában, hogy a valósághoz hasonló áramlást hozzunk létre a modell kéz körül? Válaszát számítással indokolja!

ADATOK		valós	modell
Megnevezés	**mértékegység**	víz	levegő
sűrűség	kg/m^3	1000	1,184
hőmérséklet	°C	18	21
viszkozitás	kg/(m·s)	10^{-3}	$18{,}4\cdot10^{-6}$
megfúvási sebesség	m/s	2	?
erőtér térerősségvektora	N/kg	9,81	9,81
légköri nyomás	Pa	100 453	99 870

MEGOLDÁS

A)A kéz körüli áramlásban a tehetetlenségi és a súrlódó erők dominálnak, így a Reynolds-szám azonosság a hasonlósági feltétel a vízbeli valós („V”) és a levegőbeli modell („M”) áramlás között.

B) Hasonló áramlás feltétele: $\mathrm{Re}_{Valós} = \mathrm{Re}_{Modell}$

$$\frac{v_{0,valós}\cdot l_{0,valós}}{\nu_{valós}} = \frac{v_{0,modell}\cdot l_{0,modell}}{\nu_{modell}}$$

Az M=1:1 méretarány esetén a jellemző hosszlépték azonos, így :

$$v_{0,modell} = v_{0,valós}\frac{\nu_{modell}}{\nu_{valós}} = v_{0,valós}\frac{\frac{\mu_{modell}}{\rho_{modell}}}{\frac{\mu_{valós}}{\rho_{valós}}} = 2\cdot\frac{\frac{18{,}4\cdot10^{-6}}{1{,}184}}{\frac{10^{-3}}{1000}} = 31{,}08\,\frac{m}{s}$$

A „B” csoport adatokkal az eredmény:

$$v_{0,modell} = v_{0,valós}\frac{\nu_{modell}}{\nu_{valós}} = v_{0,valós}\frac{\frac{\mu_{modell}}{\rho_{modell}}}{\frac{\mu_{valós}}{\rho_{valós}}} = 1{,}5\cdot\frac{\frac{18{,}4\cdot10^{-6}}{1{,}184}}{\frac{10^{-3}}{1000}} = 23{,}31\,\frac{m}{s}$$

X.PÉLDA (ÁRAMLÁSOK HASONLÓSÁGA)

X. FELADAT

Személyautó körüli áramlást tanulmányozunk, de szélcsatornánk nincs, csak olyan vízcsatornánk, amely mérőterében legfeljebb 10m/s vízsebesség állítható be. Kapunk egy, a valós személyautóhoz geometriailag hasonló, M=1:5 méretarányban lekicsinyített modellt. A Reynolds-szám azonosság, mint hasonlósági feltétel betartása során a jellemző sebességnek a megfúvási sebességet, a jellemző hosszléptéknek pedig az $l_0=\sqrt{A_{ref}}$ összefüggéssel számítható értéket vehetjük. Itt A_{ref} az autó haladási irányra merőleges vetület keresztmetszete. A valós autóra A_{ref}=2m^2.

ADATOK:

Jel	mértékegység	VALÓS	MODELL (M=1:5)
A_{ref}	m^2	2	$2\cdot M^2=0{,}08$
$l_0=\sqrt{A_{ref}}$	m	$\sqrt{2}$	$\sqrt{0{,}08}=\sqrt{2}/5$
	közeg	**LEVEGŐ**	**VÍZ**
ρ	kg·m^3	1,15	1000
ν	m^2·s^{-1}	$16{,}8\cdot10^{-6}$	$8{,}01\cdot10^{-7}$
μ	kg·m^{-1}·s^{-1}	$1{,}932\cdot10^{-5}$	$8{,}01\cdot10^{-4}$
t_0	°C	32	30
R	J·kg^{-1}·K^{-1}	287	-

KÉRDÉS: Legfeljebb mekkora valós haladási sebességű autó körüli áramlás vizsgálható ebben a vízcsatornában ezzel a modellel? (Válaszát számítással indokolja!)

MEGOLDÁS

Az autómodell körüli áramlásban a tehetetlenségi és a súrlódó erők dominálnak, így a Reynolds-szám azonosság a hasonlósági feltétel a levegőbeli valós („V": valós) és a vízbeli modell („M" modell) áramlás között.

$$\mathrm{Re}_{Valós}=\mathrm{Re}_{Modell}$$

$$\frac{\mathrm{v}_{0,valós}\cdot l_{0,valós}}{\nu_{valós}}=\frac{\mathrm{v}_{0,modell}\cdot l_{0,modell}}{\nu_{modell}}$$

Az 1:5 méretarány esetén a jellemző hosszlépték eltérő, így ha $\mathrm{v}_{0,modell}=10m/s$ lehet, akkor a vizsgálható max. való sebesség rendezve fentit adódik:

$$\mathrm{v}_{0,valós}=\mathrm{v}_{0,modell}\cdot\frac{\nu_{valós}}{\nu_{modell}}\cdot\frac{l_{0,modell}}{l_{0,valós}}=10\cdot\frac{16{,}8\cdot10^{-6}}{8{,}01\cdot10^{-7}}\cdot\frac{1}{5}=41{,}95\frac{m}{s}\,(kb.\,151km/h)$$

X.PÉLDA (hasonlóság + aerodinamika)

Egy D=42,7mm átmérőjű valós golflabda felnagyított, 10:1 méretarányú modelljére vonatkozó aerodinamikai méréseket végzünk szélcsatornában. A nyugvó levegőben az éppen 180km/h sebességgel mozgó valós golflabda körüli valós áramláshoz hasonló áramlási körülményeket kell biztosítanunk a szélcsatorna modellmérésen. A golflabda-modell mért ellenállástényezője c_e=0,2. A golflabda körüli áramlásra a jellemző hosszlépték (l_0) a labda átmérője (valós és modell esetben is). **ADATOK**:

ADATOK		VALÓS	MODELL
Megnevezés	mértékegység		
közeg		Levegő	levegő
sűrűség (ρ)	kg/m^3	1,2	1,2
hőmérséklet (t)	°C	25	25
viszkozitás (ν)	m/s^2	$15{,}5\cdot10^{-6}$	$15{,}5\cdot10^{-6}$
megfúvási jell. sebesség (v_0)	km/h	180	?
térerősségvektor (g)	N/kg	9,81	9,81
ellenállástényező (c_e)	1	0,2	0,2

KÉRDÉSEK:

A)Indokolja, hogy a mérés során mely hasonlósági szám azonosságát kell biztosítani!

B)Mekkora megfúvási sebességet kell beállítani a szélcsatornában? Válaszát számítással indokolja!

C)Számítsa ki a szélcsatorna mérés esetére a golflabdára ható F_e ellenálláserőt (F_e=?[N]) és az aerodinamikai veszteségteljesítmény értékét (P_{ae}=?[W])!

MEGOLDÁS *(előzőek alapján)*

A)Mivel a golflabda körüli áramlásban a tehetetlenségi és viszkózus erők dominálnak, így az ezek arányát kifejező Reynolds-szám azonosságot kell biztosítani.

B)A hasonló áramlás feltétele:

$$Re_{valós} = Re_{modell}$$

$$\frac{\mathrm{v}_{0,valós}\, l_{0,valós}}{\nu_{valós}} = \frac{\mathrm{v}_{0,modell}\, l_{0,modell}}{\nu_{modell}}$$

Egy M=10:1 méretarányú felnagyított, azaz D_{modell}=427mm átmérőjű golflabdamodellt használunk. Ezért

$$\frac{l_{0,modell}}{l_{0,valós}} = \frac{D_{modell}}{d_{valós}} = \frac{10}{1}$$

A közeg azonos, így a levegő ν kinematikai viszkozitása azonos a valós és modell esetében:

$$\nu_{valós} = \nu_{modell}$$

Tehát az azonos Reynolds-szám feltételből az következik, hogy a megfúvási sebesség:

$$\mathrm{v}_{0,modell} = \mathrm{v}_{0,valós}\frac{l_{0,valós}}{l_{0,modell}} = \mathrm{v}_{0,valós}\frac{1}{10} = 18\frac{km}{h} = 5\frac{m}{s}$$

C)A szélcsatorna mérések: az ellenálláserő számítható (gömb vetületkeresztmetszete kör):

$$F_e = c_e \cdot \frac{\rho}{2} v_{0,modell}^2 \cdot A_{vet,modell} = 0{,}2 \cdot \frac{1{,}2}{2} 5^2 \cdot \frac{0{,}427^2 \pi}{4} = 0{,}4296\ N$$

$$P_{ae} = F_e \cdot \mathrm{v}_{0,modell} = 0{,}4296\ \cdot 5 = 2{,}148\ W$$

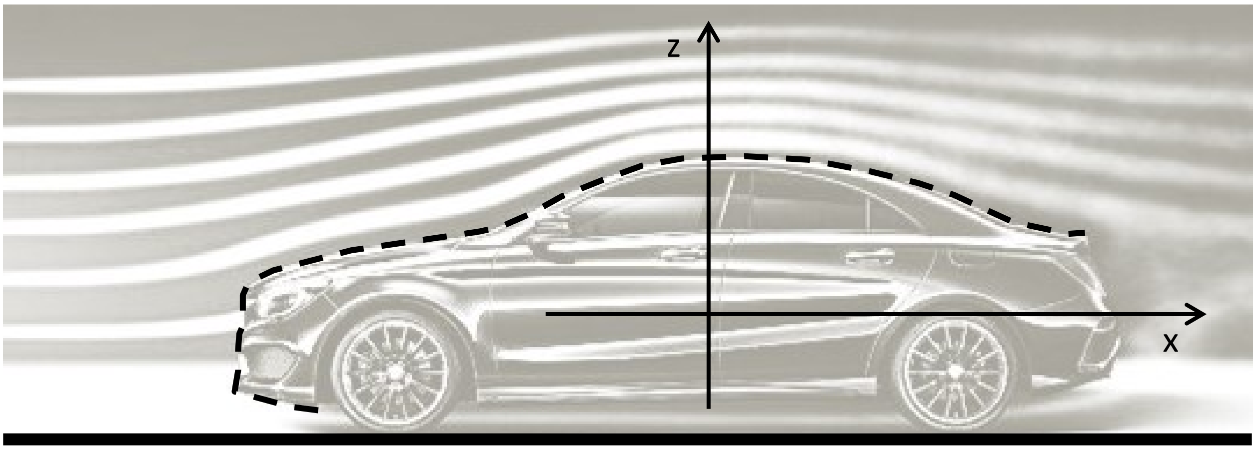
X.PÉLDA (aerodinamika)

Szélcsendben (ρ_{lev}=1,2kg/m^3), vízszintes egyenes úton előrefelé állandó v sebességgel halad az autó. Tudjuk az ellenálláserő (1425,6N), ellenállástényező (0,30) és felhajtóerő-tényező (0,25) értékeket. Az autó referencia keresztmetszete A_{ref}=2,2m^2.

ADATOK: p_0=10^{5}Pa

KÉRDÉSEK:

A) Az áramvonalak ismeretében jelölje „+" ill. „—„ jelekkel a karosszéria szaggatott vonallal jelölt részét végig a lokális túlnyomásos ill. depressziós helyeket! Jelölje „T"-vel a torlópontot is, és számítsa ki itt a torlóponti túlnyomás értékét!



B) Számítsa ki az autó v sebességét és az autóra ható felhajtóerő értékét!

C) Jelölje az ellenállás- és felhajtóerőt az ábrában az adott erő irányába mutató egy-egy nyíllal!

D) Tetőcsomagtartó felszerelésével az ellenállástényező 0,38 értékűre nő, a referencia keresztmetszete 2,5m^2-re nő, az ellenálláserő pedig 35%-kal nő. Mekkora lesz ekkor az autó megváltozott v haladási sebessége?

MEGOLDÁS

A) Túlnyomás, depresszió, torlópont: lásd előadásjegyzet, tankönyv)

Torlópontban a nyomás az össznyomással egyezik meg, a v_{ref} az autó haladási sebessége.

$$p_T = p_ö = p_{st} + p_{din} = p_0 + \frac{\rho}{2} v_{ref}^2$$

A v_{ref} haladási sebességet az alábbi összefüggésből számolhatjuk:

$$c_e = \frac{F_e}{\frac{\rho}{2} v_{ref}^2 \cdot A_{ref}}$$

$$v_{ref} = \sqrt{\frac{F_e}{c_e \frac{\rho}{2} A_{ref}}} = \sqrt{\frac{1425,6}{0,3 \frac{1,2}{2} 2,2}} = 60 m/s$$

Ezzel $p_T = 104320$Pa, tehát a torlóponti túlnyomás: p_T-p_0=p_{din}=4320Pa.

B) A sebességet már előző példához ki kellett számolnunk. Ezzel a felhajtóerő:

$$F_f = \frac{\rho}{2} v_{ref}^2 \cdot A_{ref} \cdot c_f = 1188\text{N}$$

C) Lásd előadásjegyzet. (F_e= x irányú, F_f= z irányú)

D) Az összefüggésben csak az új megváltozott haladási sebesség (v_{ref}') az ismeretlen:

$$v_{ref}' = \sqrt{\frac{F_e'}{c_e' \frac{\rho}{2} A_{ref}'}} = \sqrt{\frac{1924,56}{0,38 \frac{1,2}{2} 2,5}} = 58,1 m/s$$

X.PÉLDA (aerodinamika)

Az alábbi ábrán egy Mercedes-Benz E-Class Cabriolet személyautó látható. Az autó szélcsendben (ρ_{lev}=1,2kg/m^3), állandó v_{max}=180km/h sebességgel, egyenes úton előrefelé halad. Ellenállástényezője tető nélküli kivitelben c_e=0,35 értékű, felhajtóerő-tényezője pedig c_f=0,25 értékű. Az autó áramlásra merőleges vetületi (ún. referencia) keresztmetszete A_{ref}=2,11m^2 **KÉRDÉSEK**:

A)Jelölje „+” ill. „-„ jellel végig az autó felületén a lokális túlnyomás ill. depresszió helyeket

B)Számítsa ki az aerodinamikai ellenálláserőt és a felhajtóerőt tető nélküli alapesetre!

C)Ha a sofőr becsukja a vászontetőt, akkor az ellenállástényező 0,28 értékűre csökken, ugyanakkor a referencia keresztmetszet 2,2m^2-re nő, az autóra ható ellenálláserő pedig 5%-kal csökken! Mekkora lesz ekkor az autó sebessége?

MEGOLDÁS Lásd előző példa.

A) Túlnyomás, depresszió, torlópont: lásd előadásjegyzet, tankönyv)

B)

Az ellenálláserő:

$$F_e = c_e \cdot \frac{\rho}{2} v_{ref}^2 \cdot A_{ref} = 0{,}35 \cdot \frac{1{,}2}{2} \cdot \left(\frac{180}{3{,}6}\right)^2 \cdot 2{,}11 = 1107{,}75\ N$$

A felhajtóerő:

$$F_f = c_f \cdot \frac{\rho}{2} v_{ref}^2 \cdot A_{ref} = 0{,}25 \cdot \frac{1{,}2}{2} \cdot \left(\frac{180}{3{,}6}\right)^2 \cdot 2{,}11 = 791{,}25\ N$$

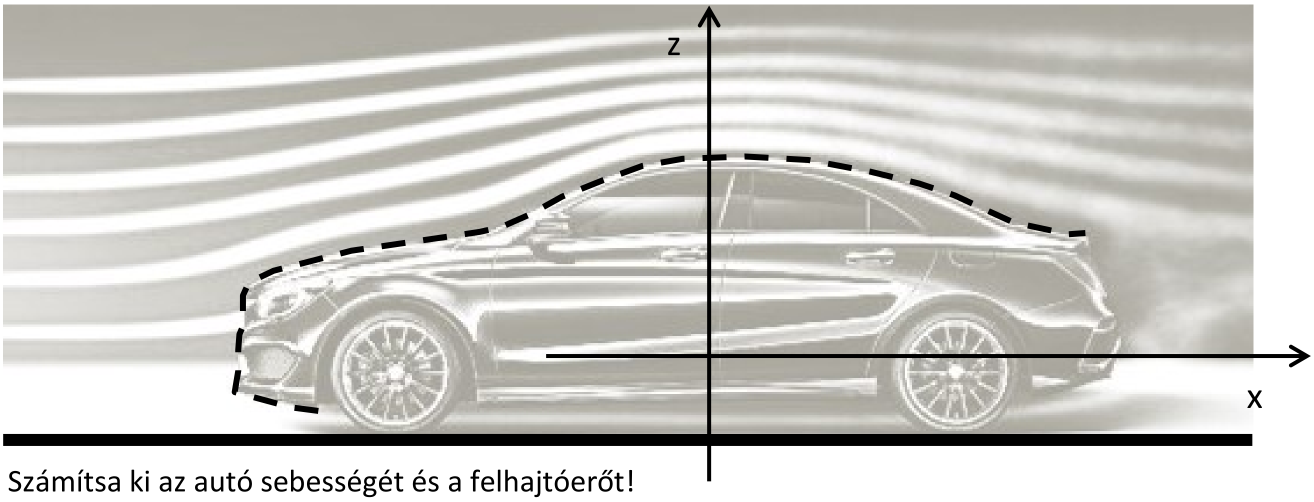
C)Az összefüggésben csak az új megváltozott haladási sebesség (v_{ref}') az ismeretlen, hiszen minden adat rendelkezésre áll, c_e'=0,28; F_e'=0,95·F_e; A_{ref}'=2,2m^2:

$$v_{ref}' = \sqrt{\frac{F_e'}{c_e' \frac{\rho}{2} A_{ref}'}} = \sqrt{\frac{1052{,}4}{0{,}28 \frac{1{,}2}{2} 2{,}2}} = 53{,}36 m/s = 192\ km/h$$

X.PÉLDA (aerodinamika)

Egy személyautó szélcsendben (ρ_{lev}=1,2kg/m^3), vízszintes egyenes úton előrefelé állandó v sebességgel halad. Az autóra ható ellenálláserő ekkor F_e=1425,6N, az ellenállástényezője ekkor 0,30 értékű, a felhajtóerő-tényezője pedig 0,25 értékű. Az autó áramlásra merőleges vetületi (ún. referencia) keresztmetszete A_{ref}=2,2m^2. **KÉRDÉSEK**:

A) Az ábrán látható áramvonalak ismeretében jelölje „+" ill. „—„ jelekkel az autó felületén a szaggatott vonal mentén végig a lokális túlnyomásos ill. depressziós helyeket! Jelölje „T"-vel a torlópontot is!



B) Számítsa ki az autó sebességét és a felhajtóerőt!

C) Jelölje az ellenállás- és a felhajtóerőket az ábrában is az adott erő irányába mutató nyilakkal!

D) Ha erre az autóra egy síboxot szerelünk fel, akkor az ellenállástényezője 0,55 értékűre nő, a referencia keresztmetszete 2,8m^2-re nő, az autóra ható ellenálláserő pedig 40%-kal nő. Mekkora lesz ekkor (tetőcsomagtartóval) az autó haladási sebessége?

MEGOLDÁS Lásd előző példa.

A), C) Túlnyomás, depresszió, torlópont: lásd előadásjegyzet, tankönyv)

B)

A v_{ref} haladási sebességet az alábbi összefüggésből számolhatjuk:

$$c_e = \frac{F_e}{\frac{\rho}{2} v_{ref}^2 \cdot A_{ref}}$$

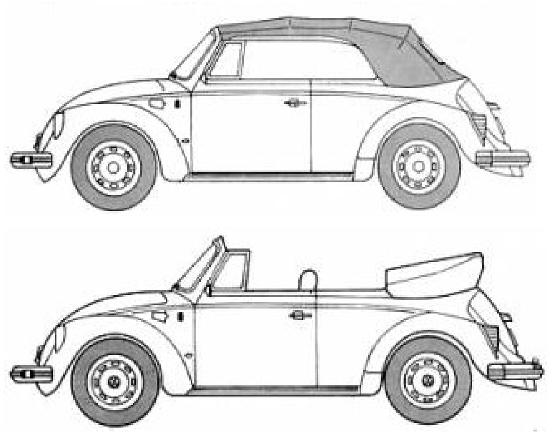
$$v_{ref} = \sqrt{\frac{F_e}{c_e \frac{\rho}{2} A_{ref}}} = \sqrt{\frac{1425{,}6}{0{,}3 \frac{1{,}2}{2} 2{,}2}} = 60\ m/s = 216 km/h$$

D)

Az összefüggésben csak az új megváltozott haladási sebesség (v_{ref}') az ismeretlen, hiszen minden adat rendelkezésre áll, c_e'=0,55; F_e'=1,4·F_e; A_{ref}'=2,8m^2:

$$v_{ref}' = \sqrt{\frac{F_e'}{c_e' \frac{\rho}{2} A_{ref}'}} = \sqrt{\frac{1995{,}84}{0{,}55 \frac{1{,}2}{2} 2{,}8}} = 46{,}48 m/s = 167{,}3\ km/h$$

X.PÉLDA (aerodinamika)



Az alábbi ábrán egy VW személyautó látható. Az autó v=90km/h állandó sebességgel egyenes, vízszintes úton szélcsendben menetiránnyal megegyező irányban halad. A teljesen becsukott „zárt" tetős kivitelében az ellenállástényezője 0,41 értékű, a felhajtóerő-tényezője pedig 0,6 értékű. Az autó ún. referencia keresztmetszete „zárt" tetős kivitelben 1,7m^2.

ADATOK: g=10N/kg; p_0=99625Pa; ρ_{lev}=1.2kg/m^3

KÉRDÉSEK:

A) Számítsa ki az autóra ható ellenállás- és felhajtóerőt!

B) Ha a kinyitjuk a vászontetőt („nyitott" kivitel), akkor az autó referencia keresztmetszete 1,6m^2-re csökken, és egyben az autó ellenállástényezője 0,55 értékre, a felhajtóerő-tényezője pedig 0,65 értékre változik. Milyen mértékben (hány newtonnal ill. hány %-kal változik) az ellenálláserő? (Az autó sebessége mindkét esetben azonos: v=90km/h)

C) Határozza meg a légellenállásból adódó aerodinamikai veszteségteljesítményt „zárt" ill. „nyitott" tetős kivitelre is!

MEGOLDÁS Lásd előző példa.

A)"Zárt" kivitel

Az ellenálláserő:

$$F_{e,zárt} = c_e \cdot \frac{\rho}{2} v_{ref}^2 \cdot A_{ref} = 0{,}41 \cdot \frac{1{,}2}{2} \cdot \left(\frac{90}{3{,}6}\right)^2 \cdot 1{,}7 = 261{,}4\ N$$

A felhajtóerő:

$$F_f = c_f \cdot \frac{\rho}{2} v_{ref}^2 \cdot A_{ref} = 0{,}6 \cdot \frac{1{,}2}{2} \cdot \left(\frac{90}{3{,}6}\right)^2 \cdot 1{,}7 = 382{,}5\ N$$

B) A „nyitott" kivitelben az ellenálláserő összefüggésben minden megváltozott adat rendelkezésre áll, c_e'=0,55; A_{ref}'=1,6m^2: és a sebesség azonos

Az ellenálláserő:

$$F_{e,nyitott} = c_e \cdot \frac{\rho}{2} v_{ref}^2 \cdot A_{ref} = 0{,}55 \cdot \frac{1{,}2}{2} \cdot \left(\frac{90}{3{,}6}\right)^2 \cdot 1{,}6 = 330\ N$$

Tehát ΔF_e=330 - 261,4 = 68,6 N értékkel (kb. 26%-kal) nőtt az ellenálláserő.

C)

Az aerodinamikai veszteségteljesítmény

$$P_{ae,zárt} = F_{e,zárt} \cdot v_{ref} = c_e \cdot \frac{\rho}{2} v_{ref}^3 \cdot A_{ref} = 0{,}41 \cdot \frac{1{,}2}{2} \cdot \left(\frac{90}{3{,}6}\right)^3 \cdot 1{,}7 = 6{,}534\ \mathrm{kW}$$

$$P_{ae,nyitott} = F_{e,nyitott} \cdot v_{ref} = c_e \cdot \frac{\rho}{2} v_{ref}^3 \cdot A_{ref} = 0{,}55 \cdot \frac{1{,}2}{2} \cdot \left(\frac{90}{3{,}6}\right)^3 \cdot 1{,}6 = 8{,}25\ \mathrm{kW}$$

X.PÉLDA (aerodinamika)

Az **An-225 Mrija** repülőgép ma a világ legnagyobb teherszállító gépe.

Főbb adatai:

-szárny referencia felülete: 900m^2,

-max.tolóerő: 229,5kN/db (6db hajtómű)

-utazósebesség: 850km/h

-utazómagasság: 9km

ADATOK:

Ebben a példában g=9,81N/kg értékkel számoljon! 9km utazómagasságon: ρ_{lev}=0,47kg/m^3

KÉRDÉS:

A)Határozza meg a repülőgépre ható ellenállás- ill. felhajtóerőt és az ellenállás- ill. felhajtóerő-tényezőt és a siklószámot abban az esetben, ha a repülőgép szállított teherrel együttes tömege 600tonna, és a repülő szélcsendben 9km magasan repül vízszintesen, állandó 810km/h sebességgel, 200kN/db hajtóművenkénti tolóerőt kifejtve!

B)Számítsa ki a repülőgép S siklószámát! (Az S=c_f/c_e siklószám az erők ill. az erőtényezők hányadosa.)

MEGOLDÁS Lásd előző példa.

A)

A 6db hajtómű tolóereje összesen az ellenálláserőt fedezi: T=1200kN =F_e

Az ellenállástényező:

$$c_e = \frac{F_e}{\frac{\rho}{2} v_{ref}^2 \cdot A_{ref}} = \frac{1200000}{\frac{0,47}{2} \cdot \left(\frac{850}{3,6}\right)^2 900} = 0,1018$$

A gép együttes tömege (600t) alapján a súlyerőt a efelhajtóerő fedezi: G=m·g=F_f=5886kN

A felhajtóerő-tényező:

$$c_f = \frac{F_f}{\frac{\rho}{2} v_{ref}^2 \cdot A_{ref}} = \frac{5886000}{\frac{0,47}{2} \cdot \left(\frac{850}{3,6}\right)^2 900} = 0,4992$$

B) A siklószám:

$$S = \frac{c_f}{c_e} = \frac{F_f}{F_e} = 4,9$$

X.PÉLDA (aerodinamika)

Az ábrán egy Mercedes-Benz E-Class Cabriolet személyautó látható, mely nyitott és zárt tetővel is használható.

TETŐ	NYITOTT	ZÁRT
ellenállástényező [-]	0,28	0,252 (-10%)
felhajtóerő-tényező [-]	0,30	0,330 (+10%)
ref. keresztmetszet [m^2]	2,1100	2,2155 (+5%)

A zárójelben lévő értékek a nyitott tetőhöz képesti változást jelzik.

ADATOK: g=10N/kg; $p_0=10^5$Pa; $\rho_{lev}=1,2kg/m^3$

KÉRDÉSEK:

a) Jelöljön az ábrán „T” betűvel egy torlópontot és számítsa ki a torlóponti nyomást!

b) Az autó nyitott tetővel v=144km/h állandó sebességgel egyenes, vízszintes úton szélcsendben halad. Számítsa ki az autóra ható aerodinamikai ellenálláserőt és felhajtóerőt!

c) Mekkorára változik az autó sebessége zárt tetővel, ha az autóra ható ellenálláserő +10%-kal nő a nyitott tetős kivitelhez képest?

MEGOLDÁS *(előzőek alapján megoldható)*

X.PÉLDA (aerodinamika)

Szélcsendben, vízszintes, egyenes úton állandó v=50km/h sebességgel halad Mr. Bean a képen látható módon: tetőre rögzített fotelben ülve vezet. A teljes konfiguráció 0,72 értékű ellenállástényezője és a 0,4 értékű felhajtóerő-tényezője ismert.

ADATOK:

$A_{ref}=2,5m^2$; $\rho_{lev}=1,2kg/m^3$; $\nu_{lev}=15\cdot10^{-6}m^2/s$; $p_0=10^5$Pa;

KÉRDÉSEK:

A) Számítsa ki a torlóponti nyomás, az ellenálláserő, a felhajtóerő, az aerodinamikai veszteségteljesítmény, és a Reynolds-szám értékét a fent megadott adatokra!

B) Mr. Bean igen merész, ki szeretné próbálni, hogy mekkora az autó végsebessége így fotellal a tetőn. A motorteljesítményt ismerve azt becsli, hogy legfeljebb 55kW áll rendelkezésére az aerodinamikai veszteségteljesítmény legyőzésére. Feltételezi, hogy az ellenállástényezője nagyobb sebességen nem változik: 0,72 értékű marad. Számítsa ki az autó végsebességét!

C) Mr. Bean rádöbben, hogy sajnos túl lassú ezzel a konfigurációval. Ha komoly versenyen akar indulni, akkor legalább 180km/h-val kell haladnia. Leszerelve a fotelt a referencia keresztmetszet $1,65m^2$ értékűre, az ellenállástényező pedig a felére csökken. Mekkorára nő ekkor az autó végsebessége?

MEGOLDÁS (előzőek alapján megoldható

X.PÉLDA (aerodinamika)

Karl Schlör 1939-es áramvonalas autójának („Schlörwagen”) az ellenállástényezője 0,15 értékű volt szélcsendben, vízszintes, egyenes úton állandó v=135,2km/h sebességgel haladva.

ADATOK: $A_{vet}=2,65m^2$; $\rho_{lev}=1,2kg/m^3$
$\nu_{lev}=15\cdot10^{-6}m^2/s$; $p_0=10^5$Pa;
$R=287J/(kg\cdot K)$; g=10N/kg

KÉRDÉSEK:

B) Számítsa ki a torlóponti nyomás, az ellenálláserő, és a Reynolds-szám értékét! (A Reynolds-szám kiszámítása során a jellemző hosszméretnek az $l_0=\sqrt{A_{ref}}$ értékét vegye!)

B) Mekkora volt az autó maximális motorteljesítménye, ha az aerodinamikai veszteségteljesítmény a megadott sebességen annak 85%-a volt?

C) Mekkora az autó felhajtóerő-tényezője, ha tudjuk, hogy a felhajtóerő F_z=673N értékű?