

RIDEG JÓZSEF
SZAKDOLGOZAT

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
ÁRAMLÁSTAN TANSZÉK



SZAKDOLGOZAT

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
ÁRAMLÁSTAN TANSZÉK

RIDEG JÓZSEF
SZAKDOLGOZAT
Szárny körüli turbulens áramlás szimulációja,
kilépőéeli örvények vizsgálata

Konzulens:

Nagy László
egyetemi tanársegéd

Budapest, 2009.

Szerzői jog ©

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,

Gépészmérnöki Kar,

Áramlástan Tanszék

2009.

NYILATKOZATOK

Elfogadási nyilatkozat

Ezen tervezési feladat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Áramlástan Tanszék által a Szakdolgozat feladatokra előírt valamennyi tartalmi és formai követelménynek maradéktalanul eleget tesz. E tervezési feladatot bírálatra és nyilvános előadásra alkalmasnak tartom.

A beadás időpontja:

témavezető

Nyilatkozat az önálló munkáról

Alulírott, *Rideg József* (RY8ILC), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezü aláírással igazolom, hogy ezt a szakdolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és a szakdolgozat feladatomban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2009. december 11.

szigorló hallgató

TARTALOMJEGYZÉK

Előszó	xiii
Jelölések jegyzéke	xv
1. Bevezetés.....	1
1.1. Célkitűzések.....	1
1.1.1. Számítógépes modellezés jelentősége	1
1.1.2. Kitűzött feladatok	1
1.2. Áttekintés	2
1.2.1. Felhasznált szoftverek.....	2
1.2.2. Elvek és módszerek	2
1.2.2.1. Áramlások matematikai modellezése	2
1.2.2.2. Véges térfogatok módszere	4
1.2.3. A RAF6 E jelű szárnyprofil.....	5
2. Szakirodalmi áttekintés	7
2.1. Szárny körüli áramlás vizsgálata.....	7
2.1.1. A vizsgált jelenség összefoglalása	7
2.1.1.1. Kutta-Zsukovszkij-tétel.....	7
2.1.1.2. Korábbi numerikus szimulációk szakirodalmi áttekintése	8
2.1.2. Numerikus hálóval szemben támasztott követelmények.....	9
2.1.2.1. Cella alakjára vonatkozó kritériumok	9
2.1.2.2. Faltörvény	9
2.1.2.3. Courant-Friedrichs-Lewy szám	11
2.2. Kilépőéli örvények vizsgálata	11
3. Szárny körüli áramlás szimulációja	13
3.1. Numerikus háló.....	13
3.1.1.1. Blokk-struktúra	13
3.1.1.2. „O”-háló	13
3.1.1.3. Az egyes hálók összehasonlítása	14
3.1.1.4. Kritikus területek a numerikus hálón.....	15
3.1.1.5. A generált numerikus hálók jellemző adatai.....	16
3.1.1.6. Az egyes numerikus hálókhoz tartozó falfüggvények összehasonlítása (Y^+)	18
3.1.1.7. Az egyes numerikus hálókhoz tartozó Courant-Friedrichs-Lewy számok.....	19
3.2. Peremfeltételek.....	20

3.3. Futtatási paraméterek	22
3.4. Időbeli átmenet (tranzíció)	23
3.4.1. Az időbeli tranzíció jelentősége a szimulációnál	23
3.4.2. Az időbeli tranzíció meghatározása	24
3.4.2.1. Vizsgált fizikai jellemzők	24
3.4.2.2. Átfolyási szám (FTN=flow through number) definiálása	24
3.4.2.3. Ellenállástényező és felhajtóerő-tényező	25
3.4.2.4. Nyomások a szárny mentén egyes pontokban	26
3.4.2.5. Sebesség a tartomány kilépő határán	28
3.4.2.6. Statikus nyomás a tartomány kilépő határán.....	30
3.4.2.7. Örvényesség a tartomány kilépő határán.....	31
3.4.2.8. Értékelés: időbeli tranzíció meghatározása	31
3.5. Pillanatnyi értékek.....	32
3.6. Időben átlagolt értékek és négyzetes középértékek	34
3.6.1. Összefoglalás az átlag és a négyzetes középérték (RMS) szükségességéről	34
3.6.2. Átlagos értékek az állandósult állapotban, 7,5 átfolyás után számítva....	35
3.6.3. Négyzetes középérték (RMS)	37
3.7. Hálófűgges azonos szerkezetű hálónál, eltérő cellaszám esetén	39
3.7.1. Átlagos fali nyíró feszültség	39
3.7.2. Ellenállástényező és felhajtóerőtényező.....	41
3.7.3. Átlagsebesség abszolút értékének dimenziótlan alakja a szárny mentén	42
3.7.4. Átlagsebesség abszolút értékének dimenziótlan alakja a nyomban.....	45
3.7.5. Áramlásra merőleges irányú sebesség négyzetes középértéke a szárny mentén	47
3.7.6. Áramlási irányú és merőleges sebesség négyzetes középértéke a nyomban.....	49
4. Kilépőéi örvények vizsgálata	51
4.1. Numerikus háló	51
4.2. Számítási paraméterek nagy örvény (LES) szimulációnál	53
4.3. Numerikus peremfeltételek	54
4.4. Időbeli tranzíció a nagy örvény szimulációnál	57
4.4.1. Erőtényezők.....	57
4.4.2. Z irányú sebesség négyzete és kinetikus energia a periodikus peremen	57
4.5. Hálófűgges eltérő szerkezetű hálók, eltérő modellek esetén.....	58
4.5.1. Fali fluxus jellemzők	58
4.5.2. Átlagsebesség.....	59
4.5.3. Négyzetes középérték (fluktuáció)	60
5. Összefoglalás	63
5.1. Eredmények	63

5.2. Előrettekintés a szárny körüli áramlási vizsgálatokkal kapcsolatban.....	65
6. Felhasznált irodalom.....	66
7. Summary.....	67
8. Függelék.....	68
8.1.1. Áramlási irányú sebesség négyzetes középértéke, és dimenziótlan értéke a szárny mentén.....	68
8.1.2. Áramlásra merőleges irányú sebesség négyzetes középértéke, és dimenziótlan értéke a szárny mentén.....	70

ELŐSZÓ

"A természet nagy könyvében csak az tud olvasni, aki ismeri azt a nyelvet, amelyen e könyv írva van, és az a nyelv: a matematika."

Galileo Galilei

* * *

Ezúton mondok köszönetet a félév során a szakdolgozat elkészítéséhez nyújtott segítségéért konzulensemnek, Nagy Lászlónak.

Budapest, 2009. december 11.

Rideg József

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

A táblázatban a többször előforduló jelölések magyar és *angol* nyelvű elnevezése, valamint a fizikai mennyiségek esetén annak mértékegysége található. Az egyes mennyiségek jelölése – ahol lehetséges – megegyezik hazai és a nemzetközi szakirodalomban elfogadott jelölésekkel. A ritkán alkalmazott jelölések magyarázata első előfordulási helyüknél található.

Latin betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
c	Húrhossz (chord length)	m
C_D	Ellenállástényező (drag coefficient)	1
C_L	Felhajtóerő-tényező (lift coefficient)	1
FTN	Átfolyási szám (flow through number)	1
N_x	Áramlási irányú cellaszám (cells in streamwise direction)	1
N_y	Áramlásra merőleges irányú cellaszám (cells in wall-normal direction)	1
N_z	Normális irányú cellaszám (cells in spanwise direction)	1
p_{tot}	Össznyomás (total pressure)	Pa
p_{stat}	Statikus nyomás (static pressure)	Pa
p_{dyn}	Dinamikus nyomás (dynamic pressure)	Pa
u	Áramlás irányú pillanatnyi sebesség (instantaneous velocity in tangential direction)	m/s
u_{mean}	Áramlás irányú átlagsebesség (mean velocity in tangential direction)	m/s
u_{RMS}	Áramlás irányú sebesség négyzetes középértéke (root mean square of velocity in tangential direction)	m/s
U_{ref}	Megfúvási sebesség (reference velocity)	m/s
v	Áramlásra merőleges irányú pillanatnyi sebesség (instantaneous velocity in wall-normal direction)	m/s
v_{mean}	Áramlásra merőleges irányú átlagsebesség (mean velocity in wall-normal direction)	m/s
v_{RMS}	Áramlásra merőleges irányú sebesség négyzetes középértéke (root mean square of velocity in wall-normal direction)	m/s
w	Normális irányú pillanatnyi sebesség (instantaneous velocity spanwise direction)	m/s

Görög betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
α	Állásszög (angle of attack)	°
Δt	Idő (time)	s
Δx	Cella méret x irányban (step size of the grid in x direction)	m
Δy	Cella méret y irányban (step size of the grid in y direction)	m
Δz	Cella méret z irányban (step size of the grid in z direction)	m