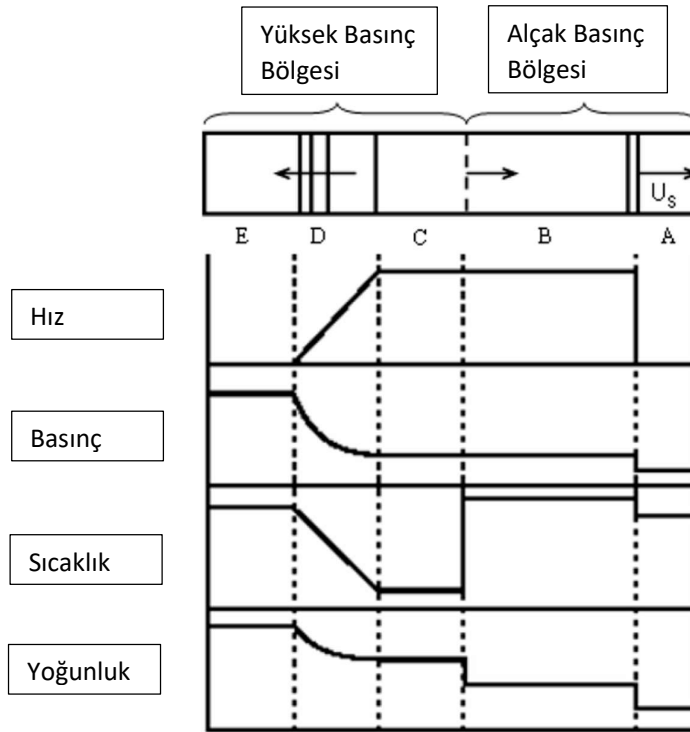


ŞOK TÜP DOĞRULAMA ÇALIŞMASI

| |
|---|
| Hazırlayan |
| M. Ahmet Kozanoğlu Kıdemli CFD Mühendisi |

Tarih: 28/06/2024

Şok dalgasıyla ilgili teorik olarak çözülebilecek sorunlardan biri de şok tüpüdür. Şok tüpü her iki ucu kapalı ve içinde diyafram olacak şekilde modellenmektedir. Başlangıçta diyaframın bir tarafı yüksek basınçlı gazla, diğer tarafı ise düşük basınçlı gazla doldurulur. Diyafram çıkarıldığı anda, bir şok dalgası yüksek basınç tarafından alçak basınç tarafına doğru yayılırken, bir genişleme dalgası ters yönde yayılır. Belirli bir anda tüp içindeki gazın özellikleri aşağıdaki gibi dağılır:



ŞEKİL 1 ŞOK TÜP ÖZELLİKLERİ

Yukarıdaki şekilde A ve B bölgeleri arasındaki sınır şok dalgasıdır. B bölgesine ısıtılmış gaz, C bölgesine soğutulmuş gaz ve B ile C bölgesi arasındaki sınıra temas yüzeyi denir. B, düşük basınçlı gazın şok dalgası tarafından ısıtıldığı ve hızlandırıldığı bir bölgedir. C, yüksek basınçlı gazın genleşme dalgası tarafından soğutulduğu ve hızlandırıldığı bir bölgedir. Bu olayın şok dalgası hariç her yerde izantropik olduğu varsayılırsa şok dalgasının Mach sayısı ile basınç arasındaki ilişki aşağıdaki denklemle verilir:

$$\frac{P_5}{P_1} = \frac{2\gamma M_s^2 - \gamma - 1}{\gamma + 1} \left\{ 1 - \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} * \frac{a_1}{a_5} \left(M_s - \frac{1}{M_s} \right) \right\}^{-\left(\frac{2\gamma}{\gamma - 1}\right)} \quad (1)$$

U_s : Şok Dalgası Hız

M_s : Şok Dalgası MACH (U_s/a_1)

P_5 : Yüksek Basınç Bölgesi Başlangıç Basınç Koşulu

P_1 : Alçak Basınç Bölgesi Başlangıç Basınç Koşulu

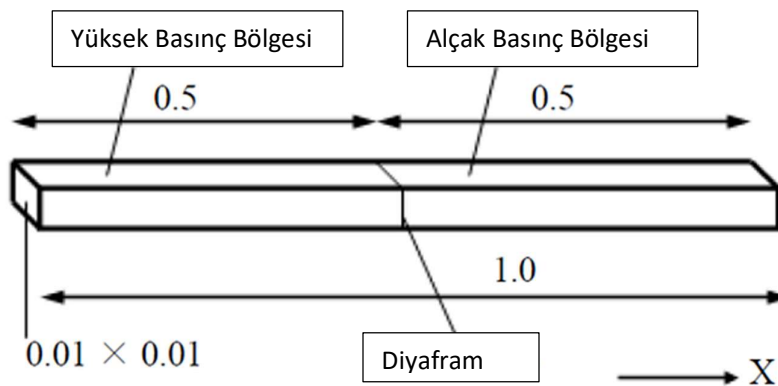
γ : Isı Kapasite Oranı

a_5 : E Bölgesi Ses Hızı

a_1 : A Bölgesi Ses Hızı

Hem yüksek basınç hem de alçak basınç bölgesindeki gaz ideal gaz ise bu denklemin yakınsama hesaplaması şok dalgasında oluşan MACH sayısını (M_s) verir. Burada oluşan MACH sayısından hareketle, B ve C bölgesindeki özellikler çözülebilir. Bu örnekte Cradle CFD, bu şok tüpü problemini aşağıdaki koşullarla çözmek için kullanılır.

1. Analiz Modeli



ŞEKİL 2 ŞOK TÜPÜ ÖZELLİKLERİ

Çözücü Ayarları

- Analiz tipi : Sıkıştırılabilir Akış (Laminer), Termal
- Çözücü denklemleri : X yönünde momentum denklemi, Kütle dönüşümü (Basınç düzeltmesi) denklemi, Enerji denklemi

Malzeme Özellikleri

- Hava [gaz(sıkıştırılabilir)] – [hava(sıkıştırılabilir/20C)]

Sınır Koşulları

- Akış Hacmi Sınır Koşulları (Bütün yüzeyler) : Serbest yüzey (Free-slip)
- Termal Sınır Koşulları (Bütün Yüzeyler) : Adyabatik (Adiabatic)

Başlangıç Koşulları

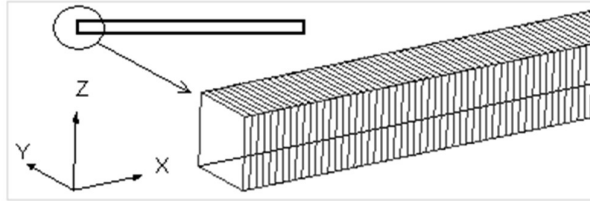
- Sıcaklık (Bütün Hacim) : 400 [K]
- Basınç (Yüksek Basınç Bölgesi) : 10^7 [Pa]
- Basınç (Alçak Basınç Bölgesi) : $5 \cdot 10^6$

Çözüm Metodu

- Zamana bağlı analiz 0.005 saniye toplam zaman (10^{-6} zaman adımı)

Çözüm Ağı

- Toplam eleman : $1000 \cdot 1 \cdot 1 = 1000$ (Boyut : 0.0001 m)



ŞEKİL 3 ÇÖZÜM AĞI

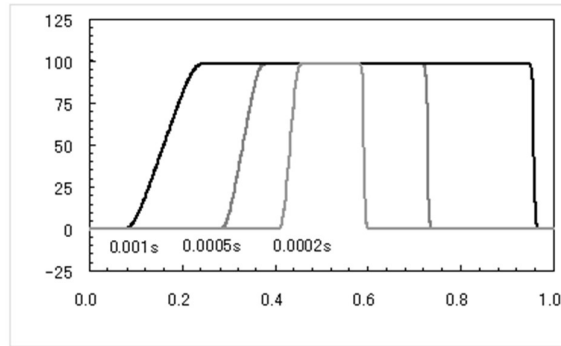
Analiz Sonucu

- Toplam adım sayısı : 5000 adım
- Doğrulama :

| Değişkenler | Teorik Sonuç | Cradle CFD | Birim | Hata (%) |
|-------------|--------------|------------|-------------------|----------|
| U_2 | 99.22 | 98.76 | m/s | 0.46 |
| P_2 | 7.009 | 7.020 | Mpa | 0.16 |
| T_2 | 441.1 | 440.2 | K | 0.20 |
| ρ_2 | 55.36 | 55.55 | Kg/m ³ | 0.34 |
| T_3 | 361.4 | 361.6 | K | 0.06 |

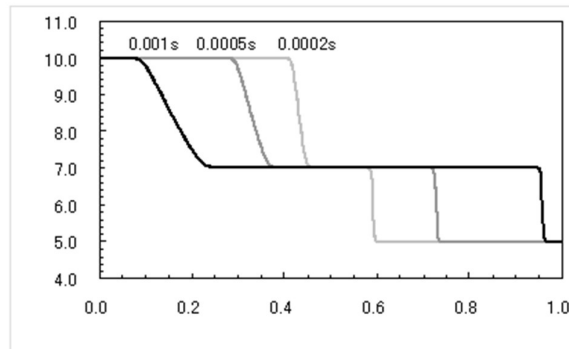
$$M_s = 1.16, U_s = 465 \text{ [m/s]}, U_2 = U_3, P_2 = P_3$$

- Hız Dağılımı



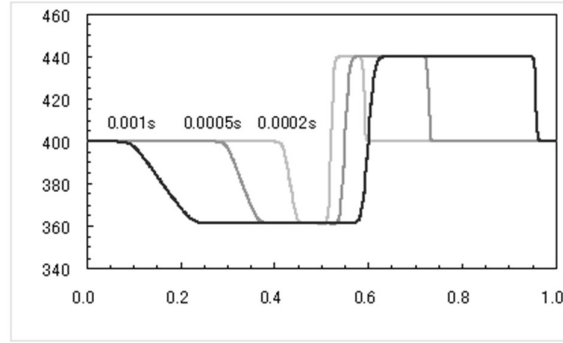
ŞEKIL 4 HIZ-MESAFE GRAFIĞI

- Basınç Dağılımı



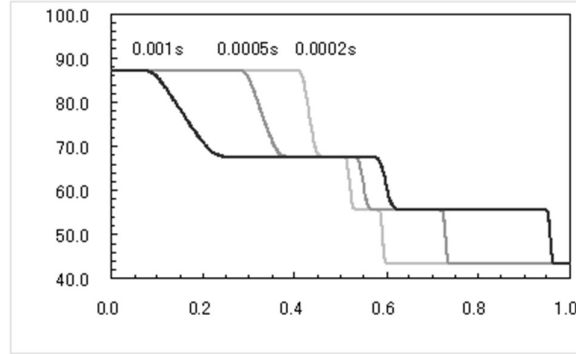
ŞEKIL 5 BASINÇ-MESAFE GRAFIĞI

- Sıcaklık Dağılımı



ŞEKIL 6 SICAKLIK-MESAFE GRAFIĞI

- Yoğunluk Dağılımı



ŞEKIL 7 YOĞUNLUK-MESAFE GRAFIĞI

REFERANSLAR

- Ikui and Matsuo, "Dynamics of Compressible Fluid", Rikogakusha Publishing
- Cradle CFD Manuel