

**DÜŞÜK LÜLE PLAKA MESAFELERİNDE ÇARPAN HAVA JETİNİN  
OLUŞTURDUĞU ISI TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK  
İNCELENMESİ**

**Hakan ERGEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2007**

**ANKARA**

Hakan ERGEN tarafından hazırlanan DÜŞÜK LÜLE PLAKA MESAFELERİNDE ÇARPAN HAVA JETİNİN OLUŞTURDUĞU ISI TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Şenol BAŞKAYA

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Cemil YAMALI

.....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, ODTÜ

Prof. Dr. Şenol BAŞKAYA

.....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniv.

Yrd. Doç. Dr. Atilla BIYIKOĞLU

.....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniv.

Tarih: 17/10/2007

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hakan ERGEN

**DÜŞÜK LÜLE PLAKA MESAFELERİNDE ÇARPAN HAVA JETİNİN  
OLUŞTURDUĞU ISI TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK  
İNCELENMESİ  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hakan ERGEN**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
Ekim 2007**

**ÖZET**

Düşük lüle plaka aralıklarında çarpan hava jetinin ısı transferi özellikleri, PHOENICS paket programı kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Nusselt sayısının düşük lüle plaka mesafeleri ve Reynolds sayısı ile nasıl değiştiği bu sayısal çalışmada araştırılmıştır. Lüle plaka açıklığı arasındaki ivmelenen akışkanın etkileri ile birlikte yerel hava akımındaki önemli artış, düşük lüle plaka mesafelerinde yüksek ısı transferine sebep olur. Yerel ısı transferinde iç ve dış tepe noktası tarafından çevrelenmiş bir durgunluk noktası minimumu,  $z/d=0,25$  den daha küçük lüle plaka aralıkları için gözlemlenmiştir. Bu birincil ve ikincil maksimumlar sırasıyla, jetin çıkışındaki ivmelenmiş radyal akışla ve hava akımında gözlemlenmiş bir yerel maksimumla açıklanmaktadır.

**Bilim Kodu** : 914.1.065  
**Anahtar Kelimeler** : Çarpan hava jeti, PHOENICS, düşük lüle-plaka mesafesi sayısal akışkanlar dinamiği (SAD)  
**Sayfa Adedi** : 120  
**Tez Yöneticisi** : Prof. Dr. Şenol BAŞKAYA

**NUMERICAL INVESTIGATION OF IMPINGING AIR JET  
HEAT TRANSFER AT LOW NOZZLE PLATE SPACINGS**

**(M.Sc. Thesis)**

**Hakan ERGEN**

**GAZİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**October 2007**

**ABSTRACT**

The local heat transfer characteristics of air jet impingement at low nozzle plate spacings have been examined CFD using PHOENICS package programme. Nusselt number was correlated for low nozzle plate spacings and Reynolds number. The effects of accelerating fluid between the nozzle plate gap as well as a significant increase in local turbulence leads to substantially increased local heat transfer with decreased nozzle plate spacings. A stagnation point minimum surrounded by an inner and outer peak in the local heat transfer was observed for nozzle-plate spacings less than  $z/d=0,25$ . These primary and secondary maxima are explained by accelerated radial flow at the exit of the jet tube and an observed local maximum in the turbulence, respectively. These conclusions are drawn from observations made relative to the turbulent flow structure and wall pressure measurements.

|                     |                                                                      |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Science Code</b> | <b>: 914.1.065</b>                                                   |
| <b>Key Words</b>    | <b>: Impinging air jet, PHOENICS, low nozzle-plate spacings, CFD</b> |
| <b>Page Number</b>  | <b>: 120</b>                                                         |
| <b>Adviser</b>      | <b>: Prof. Dr. Şenol BAŞKAYA</b>                                     |

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca çok değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Şenol BAŞKAYA'ya teşekkürü bir borç bilirim. Literatür taramamda ve PHOENICS'de bana yardımcı olan araştırma görevlisi Sayın Fevzi KÖSEOĞLU'na teşekkür ederim. Ayrıca manevi desteğini hiç esirgemeyen eşim Yasemin ERGEN'e ve 01.10.2007 tarihinde doğan oğlum Kayra ERGEN'e sonsuz teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                       |     |
|-------------------------------------------------------|-----|
| ÖZET .....                                            | iv  |
| ABSTRACT .....                                        | v   |
| TEŞEKKÜR .....                                        | vi  |
| İÇİNDEKİLER.....                                      | vii |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....                            | ix  |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....                              | x   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....                         | xiv |
| 1. GİRİŞ.....                                         | 1   |
| 1.1. Çarpan Hava Jetleri.....                         | 1   |
| 1.1.1. Serbest jet bölgesi .....                      | 2   |
| 1.1.2. Durgunluk noktası .....                        | 2   |
| 1.1.3. Duvar jeti bölgesi .....                       | 3   |
| 1.2. Bu Konuda Yapılan Çalışmalar .....               | 3   |
| 2. PROBLEMİN TANIMI VE MATEMATİKSEL FORMÜLASYON ..... | 8   |
| 2.1. Problemin Tanımı .....                           | 8   |
| 2.2. Fiziksel Model .....                             | 8   |
| 2.2.1. Varsayımlar .....                              | 8   |
| 2.2.2. Kullanılan koordinat sistemi .....             | 9   |
| 2.3. Matematiksel Modelin Tanımlanması .....          | 9   |
| 2.3.1. Korunum denklemleri.....                       | 9   |
| 2.3.2. k-ε türbülans modeli .....                     | 11  |
| 2.3.3. Düşük Reynolds sayısı türbülans modeli .....   | 11  |

**Sayfa**

|                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.3.4. Türbülanslı akış giriş ve duvar sınır şartları .....                   | 12  |
| 3. SAYISAL YÖNTEM .....                                                       | 14  |
| 3.1. PHOENICS' in Genel Tanımı .....                                          | 14  |
| 3.2. Hücre Yapısı .....                                                       | 18  |
| 3.3. Sonlu Hacimler Diskritizasyon Metodu .....                               | 20  |
| 3.4. Akışkanlar Mekaniğine ve Isı Transferine Uygulanması .....               | 22  |
| 4. ÖN ÇALIŞMA VE DENEME ÇÖZÜMLERİ .....                                       | 25  |
| 4.1. Q1 Kütüğünün Oluşturulması .....                                         | 27  |
| 4.2. Yakınsama Kriterlerinin Kontrol Edilmesi .....                           | 27  |
| 5. PARAMETRİK ÇALIŞMALAR .....                                                | 37  |
| 5.1. Re Sayısının Isı Transferine Etkisinin İncelenmesi.....                  | 37  |
| 5.2. Lüle-Plaka Arası Mesafesinin Isı Transferine Etkisinin İncelenmesi ..... | 73  |
| 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....                                                 | 91  |
| KAYNAKLAR.....                                                                | 94  |
| EKLER .....                                                                   | 97  |
| EK-1 Q1 kütüğü .....                                                          | 98  |
| EK-2 Örnek sonuç kütüğü .....                                                 | 102 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                                 | 120 |

**ÇİZELGELERİN LİSTESİ**

| <b>Çizelge</b>                                                | <b>Sayfa</b> |
|---------------------------------------------------------------|--------------|
| Çizelge 3.1. Q1 kütüğünü oluşturan gruplar.....               | 17           |
| Çizelge 5.1. Parametrik çalışmada kullanılan değişkenler..... | 37           |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                                                                                  | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 1.1. Çarpan hava jetinde akış.....                                                                               | 2     |
| Şekil 2.1. Problemden kullanılan koordinat sistemi ve geometrisi .....                                                 | 9     |
| Şekil 3.1. PHOENICS elemanları ve aralarındaki ilişki.....                                                             | 14    |
| Şekil 3.2. Üç boyutlu koordinat sistemi ve hücre yapısı.....                                                           | 18    |
| Şekil 3.3. Üç boyutlu bir hücre için kontrol hacmi.....                                                                | 19    |
| Şekil 4.1. Lytle ve Webb'in kullanmış oldukları deney düzeneği.....                                                    | 25    |
| Şekil 4.2. Farklı süpürme sayılarında elde edilen ortalama Nu sayıları.....                                            | 30    |
| Şekil 4.3. 4000 süpürme sayısı için farklı hücre sayılarında elde edilen ortalama Nu sayıları .....                    | 30    |
| Şekil 4.4. x-z eksenindeki uygun görülen hücre dağılımı (100x90).....                                                  | 32    |
| Şekil 4.5. x-z eksen hız dağılımı.....                                                                                 | 34    |
| Şekil 4.6. x-z eksen sıcaklık konturları.....                                                                          | 35    |
| Şekil 4.7. Farklı x/d oranlarına karşılık gelen Nu sayılarının deneysel ve sayısal sonuçlarının karşılaştırılması..... | 36    |
| Şekil 5.1. Plaka boyunca farklı Re sayılarına karşılık gelen yerel Nu sayıları ( $z/d=0,1$ ).....                      | 38    |
| Şekil 5.2. Plaka üzerinde $x/d=2,0$ ' a kadar farklı Re sayılarına karşılık gelen yerel Nu sayıları ( $z/d=0,1$ )..... | 38    |
| Şekil 5.3. $Re=5000$ ve $z/d=0,1$ için hız vektörleri.....                                                             | 40    |
| Şekil 5.4. $Re=5000$ ve $z/d=0,1$ için sıcaklık konturları.....                                                        | 41    |
| Şekil 5.5. $Re=10000$ ve $z/d=0,1$ için hız vektörleri.....                                                            | 42    |
| Şekil 5.6. $Re=10000$ ve $z/d=0,1$ için sıcaklık konturları.....                                                       | 43    |
| Şekil 5.7. $Re=15000$ ve $z/d=0,1$ için hız vektörleri.....                                                            | 44    |
| Şekil 5.8. $Re=15000$ ve $z/d=0,1$ için sıcaklık konturları.....                                                       | 45    |

| Şekil                                                                                                                         | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 5.9. $Re=20000$ ve $z/d=0,1$ için hız vektörleri.....                                                                   | 47    |
| Şekil 5.10. $Re=20000$ ve $z/d=0,1$ için sıcaklık konturları.....                                                             | 48    |
| Şekil 5.11. $Re=23000$ ve $z/d=0,1$ için hız vektörleri.....                                                                  | 49    |
| Şekil 5.12. $Re=23000$ ve $z/d=0,1$ için sıcaklık konturları.....                                                             | 50    |
| Şekil 5.13. $Re=30000$ ve $z/d=0,1$ için hız vektörleri.....                                                                  | 51    |
| Şekil 5.14. $Re=30000$ ve $z/d=0,1$ için sıcaklık konturları.....                                                             | 52    |
| Şekil 5.15. $Re=5000$ ve $z/d=0,1$ için çarpma bölgesinde oluşan hız vektörleri.....                                          | 53    |
| Şekil 5.16. $Re=30000$ ve $z/d=0,1$ için çarpma bölgesinde oluşan hız vektörleri.....                                         | 53    |
| Şekil 5.17. $Re=5000$ ve $z/d=0,1$ için çarpma bölgesinde oluşan basınç konturları....                                        | 54    |
| Şekil 5.18. $Re=30000$ ve $z/d=0,1$ için çarpma bölgesinde oluşan basınç konturları...                                        | 54    |
| Şekil 5.19. Plaka boyunca farklı $Re$ sayılarına karşılık gelen yerel $Nu$ sayıları<br>( $z/d=1,0$ ).....                     | 55    |
| Şekil 5.20. Plaka üzerinde $x/d=2,0'$ a kadar farklı $Re$ sayılarına karşılık gelen<br>yerel $Nu$ sayıları ( $z/d=1,0$ )..... | 56    |
| Şekil 5.21. $Re=5000$ ve $z/d=1,0$ için hız vektörleri.....                                                                   | 58    |
| Şekil 5.22. $Re=5000$ ve $z/d=1,0$ için sıcaklık konturları.....                                                              | 59    |
| Şekil 5.23. $Re=10000$ ve $z/d=1,0$ için hız vektörleri.....                                                                  | 60    |
| Şekil 5.24. $Re=10000$ ve $z/d=1,0$ için sıcaklık konturları.....                                                             | 61    |
| Şekil 5.25. $Re=15000$ ve $z/d=1,0$ için hız vektörleri.....                                                                  | 62    |
| Şekil 5.26. $Re=15000$ ve $z/d=1,0$ için sıcaklık konturları.....                                                             | 63    |
| Şekil 5.27. $Re=20000$ ve $z/d=1,0$ için hız vektörleri.....                                                                  | 65    |
| Şekil 5.28. $Re=20000$ ve $z/d=1,0$ için sıcaklık konturları.....                                                             | 66    |
| Şekil 5.29. $Re=23000$ ve $z/d=1,0$ için hız vektörleri.....                                                                  | 67    |
| Şekil 5.30. $Re=23000$ ve $z/d=1,0$ için sıcaklık konturları.....                                                             | 68    |

| <b>Şekil</b>                                                                                                                | <b>Sayfa</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 5.31. $Re=30000$ ve $z/d=1,0$ için hız vektörleri.....                                                                | 69           |
| Şekil 5.32. $Re=30000$ ve $z/d=1,0$ için sıcaklık konturları.....                                                           | 70           |
| Şekil 5.33. $Re=5000$ ve $z/d=1,0$ için çarpma bölgesinde oluşan hız vektörleri.....                                        | 71           |
| Şekil 5.34. $Re=30000$ ve $z/d=1,0$ için çarpma bölgesinde oluşan hız vektörleri.....                                       | 71           |
| Şekil 5.35. $Re=5000$ ve $z/d=1,0$ için çarpma bölgesinde oluşan basınç konturları.....                                     | 72           |
| Şekil 5.36. $Re=30000$ ve $z/d=1,0$ için çarpma bölgesinde oluşan basınç konturları...                                      | 72           |
| Şekil 5.37. $Re=23000$ için plaka boyunca farklı $z/d$ oranlarına karşılık gelen yerel Nu sayıları.....                     | 73           |
| Şekil 5.38. $Re=23000$ için plaka üzerinde $x/d=2,0'$ a kadar farklı $z/d$ oranlarına karşılık gelen yerel Nu sayıları..... | 74           |
| Şekil 5.39. $Re=23000$ ve $z/d=0,1$ için hız vektörleri.....                                                                | 76           |
| Şekil 5.40. $Re=23000$ ve $z/d=0,1$ için sıcaklık konturları.....                                                           | 77           |
| Şekil 5.41. $Re=23000$ ve $z/d=0,15$ için hız vektörleri.....                                                               | 78           |
| Şekil 5.42. $Re=23000$ ve $z/d=0,15$ için sıcaklık konturları.....                                                          | 79           |
| Şekil 5.43. $Re=23000$ ve $z/d=0,2$ için hız vektörleri.....                                                                | 80           |
| Şekil 5.44. $Re=23000$ ve $z/d=0,2$ için sıcaklık konturları.....                                                           | 81           |
| Şekil 5.45. $Re=23000$ ve $z/d=0,25$ için hız vektörleri.....                                                               | 82           |
| Şekil 5.46. $Re=23000$ ve $z/d=0,25$ için sıcaklık konturları.....                                                          | 83           |
| Şekil 5.47. $Re=23000$ ve $z/d=0,5$ için hız vektörleri.....                                                                | 85           |
| Şekil 5.48. $Re=23000$ ve $z/d=0,5$ için sıcaklık konturları.....                                                           | 86           |
| Şekil 5.49. $Re=23000$ ve $z/d=1,0$ için hız vektörleri.....                                                                | 87           |
| Şekil 5.50. $Re=23000$ ve $z/d=1,0$ için sıcaklık konturları.....                                                           | 88           |
| Şekil 5.51. $Re=23000$ ve $z/d=2,0$ için hız vektörleri.....                                                                | 89           |

| <b>Şekil</b>                                                      | <b>Sayfa</b> |
|-------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 5.52. $Re=23000$ ve $z/d=2,0$ için sıcaklık konturları..... | 90           |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| Simgeler                    | Açıklama                           |
|-----------------------------|------------------------------------|
| <b>a</b>                    | Katsayı                            |
| <b>b</b>                    | Kaynak terimi                      |
| $C_d$                       | Sabit                              |
| $C_{1\varepsilon}$          | Sabit                              |
| $C_{2\varepsilon}$          | Sabit                              |
| $C_\mu$                     | Sabit                              |
| $C_p$                       | Basınç katsayısı                   |
| <b>CO</b>                   | Katsayı                            |
| <b>d</b>                    | Lüle çapı, mm                      |
| <b>f</b>                    | Çarpım faktörü                     |
| <b>h</b>                    | Entalpi                            |
| <b>H</b>                    | Lüle-plaka arası mesafe, mm        |
| <b>k</b>                    | Isıl iletkenlik katsayısı          |
| <b>L</b>                    | Plaka uzunluğu, cm                 |
| <b>Nu</b>                   | Nusselt sayısı                     |
| <b>NT</b>                   | Zaman dilimi sayısı                |
| <b>NX</b>                   | x yönündeki hücre dağılımı         |
| <b>NY</b>                   | y yönündeki hücre dağılımı         |
| <b>NZ</b>                   | z yönündeki hücre dağılımı         |
| <b>N<math>\theta</math></b> | Değişken sayısı                    |
| $P_p$                       | P düğüm noktasındaki basınç değeri |
| <b>Re</b>                   | Reynolds sayısı                    |
| $Re_t$                      | Türbülans Re sayısı                |

**Simgeler****Açıklama**

|            |                                         |
|------------|-----------------------------------------|
| $Re_y$     | Duvar yakınındaki türbülans Re sayısı   |
| <b>S</b>   | Kaynak terimi                           |
| <b>Sc</b>  | Kaynak katsayısı                        |
| <b>Sh</b>  | Hacimsel ısı üretim oranı               |
| <b>Tj</b>  | Jet sıcaklığı, °C                       |
| <b>Tm</b>  | Hücre merkezindeki sıcaklık, °C         |
| <b>Tp</b>  | P düğüm noktasındaki sıcaklık, °C       |
| <b>Tv</b>  | Sabit bir sıcaklık değeri, °C           |
| <b>Ty</b>  | Plaka yüzeyi üzerindeki sıcaklık, °C    |
| <b>u</b>   | x eksenli hız bileşeni, m/s             |
| <b>VAL</b> | Değişkenin hesaplanan noktadaki değeri  |
| <b>w</b>   | z eksenli hız bileşeni, m/s             |
| <b>W</b>   | Plaka genişliği, cm                     |
| $q''$      | Plaka sabit ısı akısı, W/m <sup>2</sup> |
| <b>Ø</b>   | Fonksiyonun o noktadaki değeri          |
| $\phi_p$   | P düğüm noktasındaki ø değeri           |

**Kısaltmalar****Açıklama**

|            |                             |
|------------|-----------------------------|
| <b>SAD</b> | Sayısal akışkanlar dinamiği |
|------------|-----------------------------|

## 1. GİRİŞ

Çarpan hava jetleri, çarpma bölgesinde oluşan yüksek ısı ve kütle transferi nedeniyle; elektronik elemanların soğutulması, cam levha temperlenmesi, tekstil, kağıt ve kereste kurutulması, metallerin ısı işlemleri, gaz türbini kanatlarının soğutulması gibi pek çok endüstriyel uygulamada sıklıkla kullanılmaktadır.

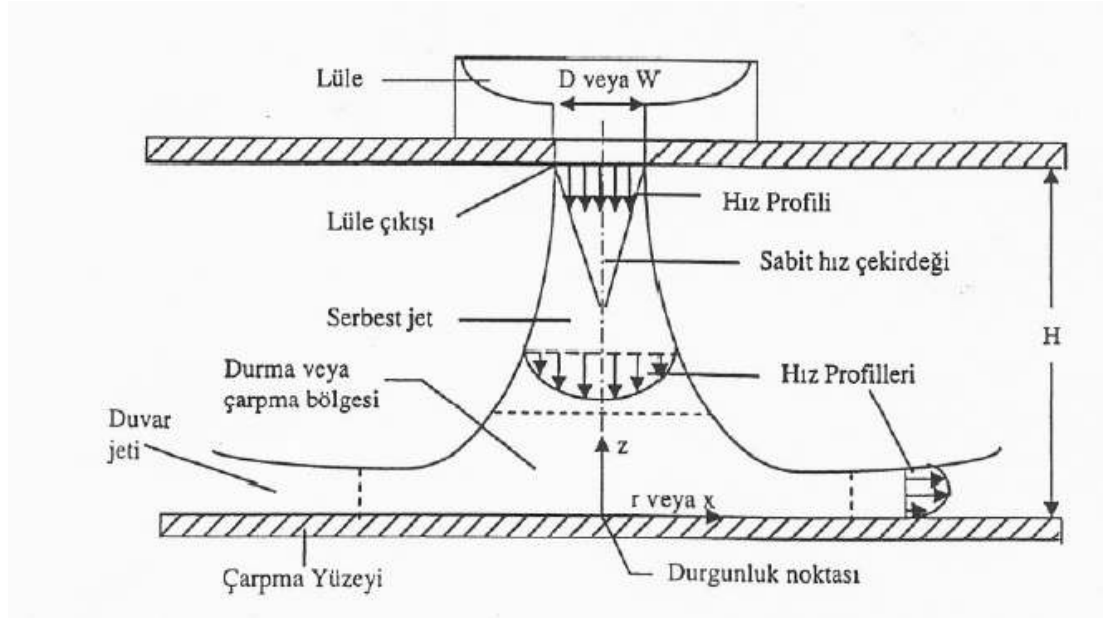
Çarpan hava jeti, bir lüle veya yarıktan bir akışkan püskürtülerek hedef bir yüzeye çarptırılması ile elde edilir. Çarpan hava jetlerinin çalışma prensibi sınır tabakayı kaldırmak ve ısı transferini artırmak esasına dayanır. Dolayısıyla akışkan ile yüzey arasında büyük değerde yerel ısı transfer katsayısı elde edilerek çarptığı yüzeyde ısı ve kütle aktarımını sağlar. Ayrıca daha az akışkan kullanılarak, yüksek oranda ısı transferi elde ederek, enerji tüketiminde büyük tasarruf sağlanır.

### 1.1. Çarpan Hava Jetleri

Çarpan hava jetlerinde çıkış ağzı dairesel veya dikdörtgen kesitli olabilir. Ayrıca jetler tek veya çok sayıda dizilmiş şekilde de olabilir. Genelde noktasal soğutma işlemlerinde tek bir jet kullanılırken, endüstriyel kurutma gibi bölgesel soğutma gerektiren uygulamalarda, çok sayıda dizili jetler kullanılır. Dizili jetlerin birbirlerine yakın olmaları ve lüle-plaka arası mesafenin geniş olması durumunda birbirlerini etkileme olasılığı artmaktadır. Dolayısıyla ele alınması gereken çok sayıdaki değişken nedeniyle dizi jetlerin incelenmesi daha zordur.

Çarpan hava jetleri genel olarak D çapında dairesel veya W genişliğinde dikdörtgen kesitli bir lüleden püskürtülürler. Lüle çıkışında, akışkan üniformdur. Jetler, çarptıkları yüzeydeki sınır tabakayı kaldırmak veya inceltmek suretiyle taşınım ısı transferini artırır. Jet, dik veya değişik açılarla plakaya çarptırılabilir. Dik açı ile çarpan jetlerde, jetin eksen çizgisi ile plakanın kesiştiği noktaya geometrik çarpma noktası denir ve durgunluk (durma) noktası ile çakışmaktadır. Bu noktada maksimum ısı transferi meydana gelir. Eğik açılı jetlerde ise geometrik çarpma noktası ile durgunluk noktası çakışmamaktadır. Düz bir plakaya çarpan jet, serbest jet bölgesi,

durma veya çarpma bölgesi ve duvar jeti bölgesi olmak üzere bölümlere ayrılabilir. Bu bölümler Şekil 1.1’de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Çarpan hava jetinde akış

### 1.1.1. Serbest jet bölgesi

Lüle çıkışından başlayarak uzaklık arttıkça, jet ile çevre arasındaki momentum aktarımı, jetin serbest sınırının genişlemesine ve sabit hız çekirdeğinin daralmasına yol açar. Çekirdeğin aşağısında, hız profili tüm jet kesiti boyunca sabit değildir ve en yüksek (orta nokta) hız, lüle çıkışından uzaklık arttıkça azalır. Bu akış bölgesi serbest jet olarak tanımlanır ve bu bölge boyunca koşullar çarpma yüzeyinden etkilenmez.

### 1.1.2. Durgunluk noktası

Bu bölgede akış hedef yüzeyden etkilenmekte olup, hız dikey yönde yavaşlar ve yatay ( $r$  veya  $x$ ) yönde hızlanır. Bununla beraber, akış, momentumu sıfır olan akışkanı çevreden çekmeye devam ettiği için, yatay hızlanma süresiz olarak devam edemez ve durma bölgesinde ivmelenen akış, duvar jeti bölgesinde yavaşlar. Bundan ötürü,  $r$  veya  $x$  arttıkça yüzeye paralel hız bileşenleri, sıfırdan maksimum değerine

ulaşır ve yeniden yavaşlar. Çarpma yüzeyi boyunca oluşan ısı transferi lüle-plaka arasındaki mesafeye bağımlıdır. Jet eksen çizgisinin yüzeyle keşiştiği noktaya geometrik çarpma noktası denir ve burada hız sıfırdır. Dik arpan jetlerde bu nokta durgunluk noktasıyla akıştır ve maksimum ısı transferi bu noktada meydana gelir ve çapraz yönlerde giderek azalır.

### **1.1.3. Duvar jeti bölgesi**

Çarpma bölgesini terk eden akışkanın, evre akışkanın momentumunun sıfır olmasından dolayı yatay ivmelenmesi sürekli olmaz ve yavaşlayarak yüzeyle paralel akar, buna duvar jeti denir. Akışkanın yatay hızı çarpma noktasından uzaklaştığa, sıfırdan itibaren maksimum değerine ulaşır ve yeniden azalır. Düz bir levha üzerindeki akımın karakteristiklerini yansıtır. Durgunluk noktasından itibaren yüzeyden uzaklaştığa, hız sınır tabaka kalınlığı artar [1].

### **1.2. Bu Konuda Yapılan alışmalar**

Lytle ve Webb (1994) yaptıkları çalışmada, bir lüle çapından daha küçük lüle-plaka arası mesafede çarpan hava jeti ile yerel ısı transferi özelliklerini kızılötesi ısııl görüntüleme tekniği kullanarak deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada tam gelişmiş hız dağılımına sahip lleler kullanılmışlar, akış yapısını Lazer-Doppler hız ölçümü ve duvar basıncı ölçümleri kullanılarak incelenmişlerdir [2].

Gpert ve ark. (2003) alışmalarında, karasız jet akışının transferi üzerine etkilerini incelemişler ve kararlı akış sağlayan çarpmalı jetlerle karşılaştırma yapmışlardır. Burada dışarıdan enerji girişi olmaksızın değişken akış elde etmişlerdir (Coanda-Effect ve Axisymmetric Precession). Düzensiz akış hareketi için taşınımla ısı transferinin ne kadar arttırılabileceğini göstermişlerdir [3].

Baydar (1999) alışmasında, iki paralel yatay yüzey arasında bir akış alanı oluşturmuştur. Altındaki yüzeyden, st yüzeyle tek ve çift jet kullanarak bir çarpma sağlamıştır. Çarpma bölgesindeki basınç ve hız dağılımlarını incelemiştir.

Çalışmasında lüle ile plaka arası mesafe ile subatmosferik alan arasındaki ilişkiyi araştırmıştır [4].

Gao ve ark. (2003) deneysel çalışmalarında, uzun bir borudan türbülanslı olarak çıkan dairesel jetlerdeki ısı transferi farklı üçgen şeklindeki kanatçık dizileri takılan lüleler için incelenmiştir [5].

San ve ark. (1996) çalışmalarında, hapsedilmiş (confined) dairesel bir hava jetinden çıkan havanın dik bir plakaya çarparak onu soğutması sırasında Nusselt sayısının hesaplanmasını sağlamışlardır. Bu hesaplamaları yaparken Nu sayısının çeşitli değişimlerden nasıl etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Reynolds sayısının, ısı akısının ve jet çıkış çapının değişiminin Nu sayısına etkilerini incelemişlerdir. Çeşitli çalışma şartlarında lüle çıkış çapının ısı transferine olan etkileri incelenmiştir [6].

Wen ve Jang (2003) bu çalışmada, 500 ile 27000 arasında değişen Re sayılarında ve 3 ile 16 arasındaki  $h/d$  oranlarında düz lülelerle, içine kıvrımlı ve düz akış yönlendirici şerit yerleştirilmiş lülelerdeki ısı transferi oranlarını incelemişlerdir. Ayrıca smoke flow tekniği ile akışı görselleştirmişler ve lülelere yerleştirilen kanalların akışı nasıl etkilediğini araştırmışlardır [7].

Zhou ve Lee (2004) yaptıkları deneysel çalışmada, sivri köşeli lüle çıkış geometrisinde ısı transferi karakteristiklerini lüle çıkışına tel kafes takarak ( $\sigma$ ) araştırmışlardır [8].

Li ve Garimella (2001) araştırmalarında, bir su jeti kullanarak, ısı kaynağındaki ısı transferi katsayılarını incelemişlerdir. Bu çalışmayı Reynolds sayısı, lüle plaka arası mesafe ve lüle geometrisinin bir fonksiyonu olarak yapmışlardır. Bunların değişiminin ısı transferi katsayısına etkilerini incelemişler ve daha önce akışkan olarak hava ve FC77 kullanılarak yapılmış bir araştırmayla karşılaştırmalar yapmışlardır [9].

Rahimi ve ark. (2003) çalışmalarında, dairesel bir hava jeti kullanarak ısıtılmış bir plakanın ısı transferini sağlamışlardır. Lüle - plaka mesafesinin, lüle çapının ve jet basınç oranlarının bu gerçekleştirilen ısı transferine etkilerini incelemişlerdir. 2002 yılında yaptıkları çalışmada yüksek hızlı jetlerde, hemen lüle çıkışında potansiyel özü bölgesinde normal ve oblik şok dalgaları meydana geldiğini görmüşler ve çarpma yüzeyinin bu mesafe içerisinde kaldığı durumlarda ısı transferinin kompleks bir yapıya sahip olduğunu görmüşlerdir [10].

Jambunathan ve ark. (1992) yaptıkları çalışmalarında, literatürdeki araştırmalardan Re sayısının 5000 ile 124000 arasında ve  $h/d$  oranının 1,2 ile 16 arasındaki değerleri için, durma noktasından 6 lüle çapı kadar bir alanda akış karakteristiklerini araştırmışlardır [11].

Hollworth ve Durbin (1992) elektronik sistemlerin soğutulmasına yönelik yaptıkları çalışmada, elektronik devre plakaları ve bu plakaların üstündeki ısı yayan devre elemanlarını simüle etmek için pleksiglas plaka üzerine ısıveren bloklar yerleştirmişlerdir. Yapılan deneylerin amacı sistemdeki basınç azalmasını ve ısı transferini ölçmektir. Yapılan deneyler sonucunda toplam basınç düşümünün %90'a varan oranlarda orifis boyunca olduğu belirlenmiştir. Mevcut konfigürasyonun benzer koşullar altında kanal akışıyla, soğutmaya oranla %50 daha yüksek taşınım ısı transferi katsayıları verdiği belirlenmiştir [12].

Gardon ve Akfırat (1965) deneysel çalışmalarını iki boyutlu çarpan hava jetlerinde; ikili ve sıralı jetlerle izotermal düz plakalar arasında yerel ve ortalama ısı transferi katsayılarının ölçülmesi amacıyla yapmışlardır. Deneysel laminar ve türbülanslı rejimi kapsayan ( $450 \leq Re \leq 22000$ ) Re sayıları için, çarpmalı jetlerin performansını etkileyen oldukça önemli bir faktör olan lüle çapı - plaka mesafesi oranları çok geniş bir yelpazede incelenmiştir ( $1/3 \leq h/d \leq 80$ ). Jet çapı plaka mesafesi oranlarının altıdan küçük değerleri için durma noktasına ek olarak, çarpma noktasının her iki tarafında taşınım katsayılarının ikincil maksimum değerleri gözlenmiştir. Bu durum sınır tabakasının laminar akım rejiminden türbülanslı akışa geçişi ile açıklanmıştır [13].

Lou ve ark. (2003) lüle genişliği (H) 0,6 – 2 mm, lüle plaka arası mesafe (W) 0,5 - 10 mm ve Reynolds sayısını 26,8 - 1000 arasında değiştirerek ortalama yüzey sıcaklığı, yerel ve ortalama Nusselt sayısı ve basınç düşüşünü elde etmişlerdir [14].

Viskanta (1993) tek ve çoklu türbülanslı çarpan hava jeti kullanarak, plaka yüzeyinde oluşan ısı transferi özelliklerini incelemiştir [15].

Rundström ve Moshfegh (2004) lüle çapını 25 mm, lüle plaka arası mesafeyi 50 mm, jet sıcaklığını 20 °C, plaka sabit ısı akısını 3500 W/m<sup>2</sup> ve Reynolds sayısını 7000 – 15000 arasında değiştirmişler ve türbülans modeli olarak Reynolds-Stress-Model (RSM) seçmişlerdir [16].

Huber ve Viskanta (1994) lüle plaka mesafesini 0,25, 1,0 ve 6,0, Re sayısını 3500 – 20400 aralığında seçerek, ısı transferini, yerel ve ortalama Nu sayılarını incelemişlerdir [17].

Amano (2000) türbülanslı çarpan hava jetlerini kullanarak elektronik soğutma teknolojisini incelemiştir. Sabit ısı akısına sahip plakada, çarpan hava jeti ile oluşan akışı ve yerel ısı transferini incelemiştir. Türbülans modeli olarak k- $\epsilon$  türbülans modelini kullanmıştır [18].

Huber ve Viskanta (1994) çarpan hava jetinde ısı transferini tek rozet lülesi kullanarak incelemişlerdir. Düşük lüle plaka mesafeleri (H=3,81, 0,635 ve 0,159 cm) kullanmışlardır [19].

Knowles (1996) dairesel kesitli bir lüle, türbülans modeli olarak k- $\epsilon$  türbülans modelini ve PHOENICS paket programını kullanarak oluşan ısı transferini incelemiştir [20].

Liu ve Sullivan (1996) deneysel çalışmalarında düşük lüle plaka mesafelerinde ( $H/D \leq 2$ ), dairesel çarpan hava jeti kullanarak oluşan ısı transferini ve akış karakteristiklerini incelemişlerdir [21].

Chiriac ve Ortega (2002) yarıklı çarpan hava jetlerinin akış ve ısı transferi özelliklerini, Re sayısı 250 – 750 aralığında incelemişlerdir [22].

Yavuz (1992) lüle çapını 5 mm, Re sayısını 10000, plaka sıcaklığını 100 °C, jet sıcaklığını 20 °C seçmiş ve bu problemi PHOENICS paket programında nümerik olarak çözmüştür. Türbülans modeli olarak  $k-\varepsilon$  ve  $k-L$  modellerini kullanarak karşılaştırma yapmıştır [23].

Baydar ve Özmen (2005) lüle çapını 25 mm, lüle plaka mesafesini 0,2 – 6 aralığında, Re sayısını 30000, 40000 ve 50000 seçerek problemi deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir [24].

Aldabbagh ve Mohamad (2007) dizili jet kullanarak oluşan ısı transferi özelliklerini incelemişlerdir [25].

## 2. PROBLEMİN TANIMI VE MATEMATİKSEL FORMÜLASYON

### 2.1. Problemin Tanımı

Lytle ve Webb (1994) çalışmalarında ısıtılmış, sabit bir ısı akısına sahip 20,32 cm uzunluğunda, 5 cm genişliğindeki bir plakaya 7,8 mm çapında bir lüleden püskürtülen soğuk havanın çarptırılması ile oluşan ısı transferini, farklı Re sayıları ve farklı lüle plaka arası mesafelerde, genel olarak düşük lüle plaka arası mesafelerde deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada da bu geometri, başlangıç ve sınır şartları kullanılarak sayısal olarak çözümlenmiştir. Kütlenin korunumu, momentum ve enerji denklemleri uygun sınır şartları kullanılarak PHOENICS paket programı ile çözülmüştür. Jetten çıkan havanın hızı ve sıcaklığı sabit tutulmuştur. Sonuçlar, farklı lüle plaka arası mesafelerde, farklı Re sayıları için yapılarak, zorlanmış taşınım ile olan ısı transferini, ortalama plaka sıcaklığı, ortalama Nusselt sayısı üzerine olan etkileri araştırılmıştır.

### 2.2. Fiziksel Model

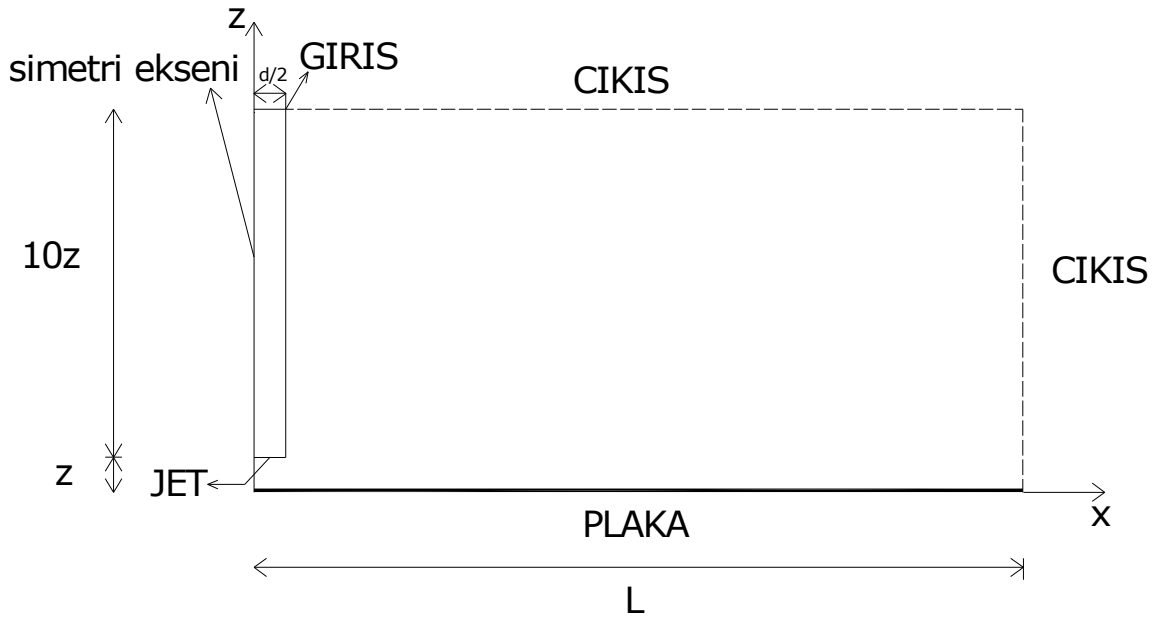
Sayısal olarak incelenecek plaka ve jetten oluşan geometri Şekil 2.1’de şematik olarak gösterilmiştir.

#### 2.2.1. Varsayımlar

Yatay düzlem üzerine yerleştirilmiş üstü açık geometriden çevreye radyasyon ile olan ısı transferi hesaba katılmayıp, sadece türbülanslı, zorlanmış taşınım ile olan ısı transferi incelenmiştir. x düzlemi üzerine yerleştirilmiş plakanın sabit ısı akısına sahip olacak şekilde ısıtıldığı ve jetin geçtiği silindirik lülenin yalıtılmış olduğu kabul edilmiştir. Plaka sıcaklığı ile jet sıcaklığı arasındaki fark  $T_p - T_j = 11$  °C olarak alınmış, bu nedenle plaka sıcaklığı  $T_p = 21$  °C, jet sıcaklığı  $T_j = 10$  °C olarak kabul edilmiştir.

### 2.2.2. Kullanılan koordinat sistemi

Şekil 2.1’de iki boyutlu problem için kartezyen koordinat sistemi görülmektedir. Sabit ısı akısı ( $q''$ ) uygulanan plaka x düzlemine oturtulmuş, jetin geçtiği lüle ise z eksenini boyunca yükselmektedir. Jet,  $-z$  eksenini boyunca sabit hızla akmaktadır. Plakanın x eksenini boyunca uzunluğu  $L$ , lüle plaka arası mesafe  $z$  olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2.1. Problemden kullanılan koordinat sistemi ve geometrisi

### 2.3. Matematiksel Modelin Tanımlanması

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi ısıtılmış plaka x eksenini üzerindedir. Bu plakanın tamamı sabit ısı akısı ile ısıtılmaktadır. Bu çalışmada akışın türbülanslı ve sürekli (zamandan bağımsız) olduğu varsayılmıştır.

#### 2.3.1. Korunum denklemleri

Sürekli rejim şartlarında, iki boyutlu akış için kartezyen koordinatlarda süreklilik, momentum ve enerji denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0 ; \quad \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.1)$$

Momentum denklemi

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left( u_j u_i \right) = -\frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (2.2)$$

*x-yönündeki momentum denklemi*

$$\frac{\partial(\rho u u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u w)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (2.3)$$

*z-yönündeki momentum denklemi*

$$\frac{\partial(\rho w u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho w w)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad (2.4)$$

Enerji denklemi

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left( u_j T \right) = \alpha \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial x_j^2} \right] \quad (2.5)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (2.6)$$

### 2.3.2. k-ε türbülans modeli

k-ε türbülans modeli; 1968 yılında Harlow ve Nakayama tarafından geliştirilmiş ve çok yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

Bu modelde kullanılan k ve ε için transport denklemleri sırasıyla

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2.7)$$

$$\text{div}(\rho k \vec{U}) = \text{div} \left( -\overline{\rho \vec{u}'} + 2\mu \overline{\vec{u}'} \cdot \vec{e}'_{ij} - \rho \frac{1}{2} \overline{u'_i u'_i u'_j} \right) - 2\mu \overline{e'_{ij} \cdot e'_{ij}} - \rho \overline{u'_i u'_j} \cdot E_{ij} \quad (2.8)$$

veya

$$\text{div}(\rho k \vec{U}) = \text{div} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} \text{grad} k \right) + 2\mu_t E_{ij} \cdot E_{ij} - \rho \varepsilon \quad (2.9)$$

$$\text{div}(\rho \varepsilon \vec{U}) = \text{div} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \text{grad} \varepsilon \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} \cdot E_{ij} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2.10)$$

Denklemlerdeki sabitler aşağıdaki gibidir.

$$\sigma_k = 1,00; \sigma_\varepsilon = 1,314; C_{1\varepsilon} = 1,44; C_{2\varepsilon} = 1,92; C_\mu = 0,09 \quad (2.11)$$

### 2.3.3. Düşük Reynolds sayısı türbülans modeli

Bu modelde duvar fonksiyonları kullanılmadığı ve hesaplamalar viskoz alt tabakayı kapsayacak şekilde duvara doğru uzatıldığı için duvar fonksiyonu kullanan çözümlere daha büyük bilgisayar depolama kapasiteleri ve çözüm zamanlarına ihtiyaç duymaktadırlar. Hücre yapısı duvar yakınında yüksek yoğunlukta düzenlenmelidir. Bu model, standart k-ε modelinden deneysel sabitler  $C_{1\varepsilon}$ ,  $C_{2\varepsilon}$ ,

$C_\mu$  nün sırasıyla aşağıdaki duvar sönümleme fonksiyonlarıyla çarpılmasıyla elde edilir.

$$f_\mu = \left[1 - \exp(-0.0165 \text{Re}_y)\right]^2 \left(1 + \frac{20.5}{\text{Re}_t}\right) \quad (2.12)$$

$$f_1 = \left(1 + \frac{0.05}{f_\mu}\right)^3 \quad (2.13)$$

$$f_2 = 1 - \exp(-\text{Re}_t^2) \quad (2.14)$$

Bu formüllerdeki  $\text{Re}_t$  türbülans Reynolds sayısı ve  $\text{Re}_y$  duvar yakınındaki türbülans Reynolds sayısını göstermektedir ve aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir;

$$\text{Re}_t = \frac{k^2}{\varepsilon \nu} \quad \text{ve} \quad \text{Re}_y = \frac{k^{1/2} y}{\nu} \quad (2.15)$$

#### 2.3.4. Türbülanslı akış giriş ve duvar sınır şartları

##### Giriş sınır şartları

$q'' = 2040,946 \text{ W/m}^2$  plaka sabit ısı akısı

$T = T_j = 10^\circ \text{C}$  jet sıcaklığı

$U = 0$ ; x yönündeki hız

$W = w = -9,409 \text{ m/s}$  -z yönünde sabit hız

Türbülansla ilgili sınır şartları;  $k$  ve  $\varepsilon$  için giriş sınır şartları doğrudan verilmemiş, aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$k = (T_{iw})^2 \quad (2.16)$$

$$\varepsilon = (C_\mu C_d)^{3/4} \frac{k^{3/2}}{L} \quad (2.17)$$

Duvar sınır şartları

Seçtiğimiz düşük Reynolds modelinde duvar fonksiyonları yoktur, bunun yerine kinetik enerji ve disipasyon oranı için

$$k = 0 \text{ ve } \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} = 0 \quad (2.18)$$

Jet girişinde;

$$U=0; W=w; T=T_j; k=T_i; \varepsilon = T_i \quad (2.19)$$

Alt plakada;

$$U=0; W=0; q''=\text{sabit}; k=0; \partial \varepsilon / \partial z = 0 \quad (2.20)$$

Çıkışta;

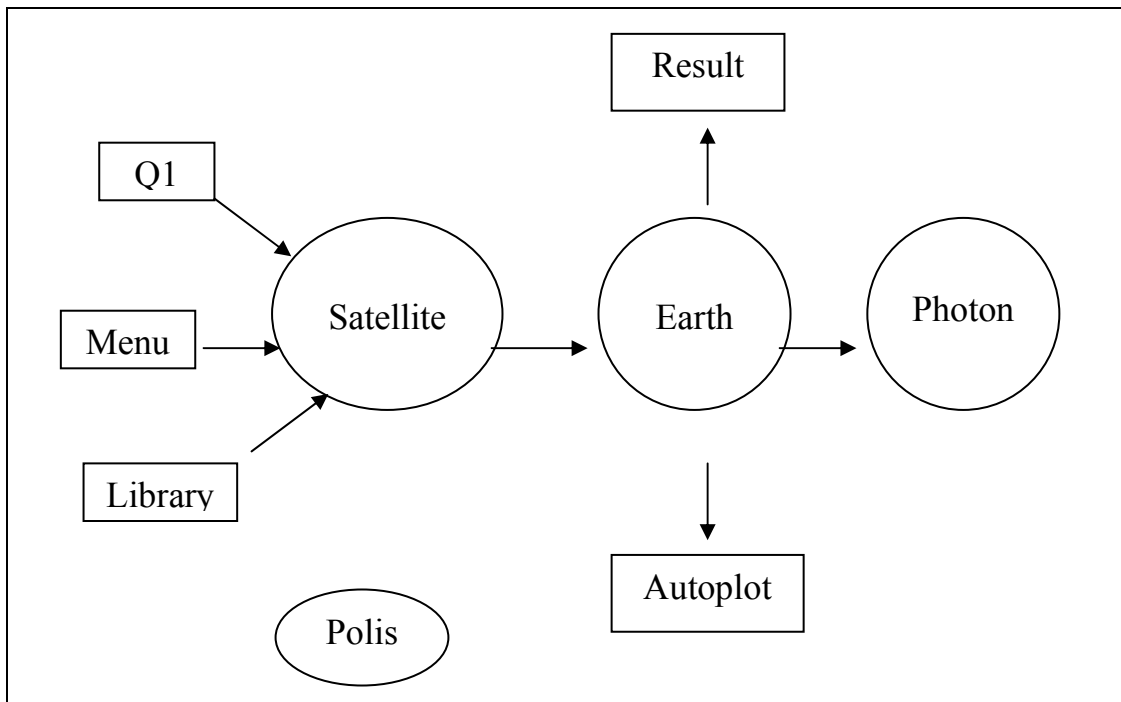
$$\partial U / \partial x = 0; \partial W / \partial x = 0; \partial T / \partial x = 0; \partial k / \partial x = 0; \partial \varepsilon / \partial x = 0 \quad (2.21)$$

### 3. SAYISAL YÖNTEM

Sayısal akışkanlar dinamiği, akışkanlar mekaniği ile ısı ve kütle transferi uygulamalarında, kimyasal reaksiyon işlemlerinde, mühendislikte ve doğal çevrede önemli yer tutan problemlere uygulanmaktadır. Bu çalışmada, bir SAD paket programı olan PHOENICS kullanılmıştır. PHOENICS, verilen sınır şartlarını kullanıp gerekli korunum denklemlerini çözmektedir.

#### 3.1. PHOENICS' in Genel Tanıtımı

PHOENICS, akışkanlar mekaniği, ısı ve kütle transferi, kimyasal reaksiyon gibi uygulamalarla ilgili çalışmaların benzeşimini yapan bir programdır. PHOENICS, lineer olmayan kısmi diferansiyel denklem setlerinin çözümüne iteratif nümerik yaklaşımlar sağlar. Bu paket program, üç ana eleman ve yardımcı elemanlardan oluşur. Bunlar Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. PHOENICS elemanları ve aralarındaki ilişki

SATELLITE, EARTH VE PHOTON, PHOENICS'in ana elemanlarıdır. SATELLITE, ön işlemci olarak aşağıdaki görevleri yapmaktadır:

- Q1 dosyasında verilmiş olan işlemleri okur,
- PHOENICS kütüphanesinden örnek problem seçer,
- Menü sistemini çalıştırarak problem tanımını yapabilir,
- Klavye üzerinden verilen komutları işler,
- Yardım ve komut tarama işlemleri yapar.

EARTH, ana işlemci yazılımını kapsar. Yazılım, fiziksel kanunlarla, kullanılan nümerik metotla ilgili tüm FORTRAN kodlamasını içerir. Genel olarak malzeme katı veya sıvı, tek fazlı ya da çok fazlı, sıcaklıktan bağımsız veya ısı transferini içeriyor olabilir. Akışkan, sıkıştırılabilir veya sıkıştırılamaz, viskoz ya da viskoz olmayan akışkan; akış ise laminar, türbülanslı veya geçiş bölgesi akışı olabilir. EARTH, SATELLITE tarafından hazırlanan veri kütüğünü okur ve istenen hesaplamaları yapar. Hesaplama sonunda, RESULT ve PHI adında iki dosya oluşturur. PHI dosyası, PHOTON tarafından okunabilecek formattadır.

PHOTON, son işlemci olarak görev yapar. EARTH tarafından oluşturulan PHI veri kütüğünü okur ve kullanıcı ile interaktif olarak sonuçları grafik formunda sunar. Kullanıcının vereceği komutlara bağlı olarak, bağımlı değişkenin vektörel ya da sıcaklık dağılım grafiklerini ve problemde kullanılan hücre yapısını gösterir.

SATELLITE, kullanıcı tarafından girilen komutları EARTH'in anlayabileceği şekle çevirir. Giriş komutları ise Q1 adı verilen kütük ile oluşturulur. EARTH, bu giriş komutlarına göre gerekli hesaplamaları yapıp, RESULT ve PHI dosyalarına gönderir. Q1, RESULT ve PHI dosyaları programın her çalışmasında değişir.

AUTOPLOT, PHOTON'a benzer olarak PHI kütüğünü okur. Çizgi grafikler oluşturmak için kullanılır. Q1 dosyası, yardımcı elemanlardan biridir ve 24 ayrı grup başlığı altında toplanmıştır. Her grubun özel bir amacı vardır. PHOENICS'in en

büyük özelliklerinden birisi, geniş kapsamlı bir kütüphaneye sahip olmasıdır. Burada tipik mühendislik problemleriyle ilgili çok sayıda örnek mevcuttur. Bu örneklerin hepsi, aslında birer Q1 kütüğüdür. Q1 dosyasının yazıldığı dil, İngilizceye benzer ve birçok hazır komuttan oluşmaktadır. Bu komutlar hakkında geniş bilgi, SATELLITE içinde mevcuttur. Q1 dosyasındaki gruplar genel olarak şu bilgileri içermektedir:

- Problemi tanımlayan başlık,
- Problemin geometrisi ve hücre yapısı ( Computation Grid ),
- Çözümü istenen bağımlı değişkenler,
- Her değişken için çözülmesi istenen denklemin biçimi,
- Uygulanması istenen sayısal çözüm metodu,
- Ortamın fiziksel ve termodinamik özellikleri,
- İlk iterasyon için bağımlı değişkenlerin kabul edilen değerlerin dağılımı,
- Problemin sınır şartları,
- Çözüm kontrolünde kullanılan parametreler,
- Nasıl bir çıktı istenildiği.

Q1 dosyasını oluşturan 24 grup, Çizelge 3.1’de verilmiştir. Grup 1’de, çalışmanın adı; Grup 2’de, çalışmanın sürekli olup olmadığı; Grup 3, 4 ve 5’de, x, y ve z yönlerindeki hücre sayısı, hücre sayısının ne kadarlık bir uzunlukta bulunduğu ve hücre dağılım sisteminin üniform olup olmadığı; Grup 6’da, kullanılan koordinat sistemi kartezyen veya silindirik olmayıp özel bir hücre sistemi ise ona ait özellikler; Grup 7’de, çözülecek değişkenlerin isimleri, nasıl çözülecekleri ve kaydedilecek olanları belirtilir. Grup 8’de, diferansiyel denklemdeki terimler ve bazı özelliklerin kullanılıp kullanılmayacağı; Grup 9’da benzeşimi yapılacak ortamın fiziksel özellikleri; Grup 10’da, çok fazlı akışlarda, varsa fazlar arasındaki etkileşim kütüğe girilir. Grup 11’de, çalışma zamana bağlı olsa da olmasa da başlangıç şartları girilir ve ortam gözenekli ise bu durum belirtilir. Grup 12’de, konveksiyon ve difüzyon ile ilgili düzenlemeler; Grup 13’de, sınır şartları ve özel kaynaklar; Grup 15’de, kaç defa hesaplama yapılacağı girilir. İç ve dış olmak üzere iki tip iterasyon şekli vardır. Grup 15’e dış süpürme sayısı, Grup 16’ya iç iterasyon sayısı verilir. Grup 17’de,

yakınsamayı sağlamak için, lineer olmayan denklem setlerinin iteratif çözümünde “under-relaxation”, lineer denklem setlerinin iteratif çözümünde “over-relaxation” belirlenir. Grup 18’de, bazı değişkenlerin belli sınırlar içinde kalması veya biraz artması düzenlenir. Grup 19 ile SATELLITE ve GROUND arasındaki iletişim sağlanır. Grup 20’den 24’e kadar olan kısımda, istenen sonuçların program çalışırken ekranda ve çözüm bittikten sonra RESULT kütüğünde çıktılarının formatı belirtilir.

Çizelge 3.1. Q1 kütüğünü oluşturan gruplar

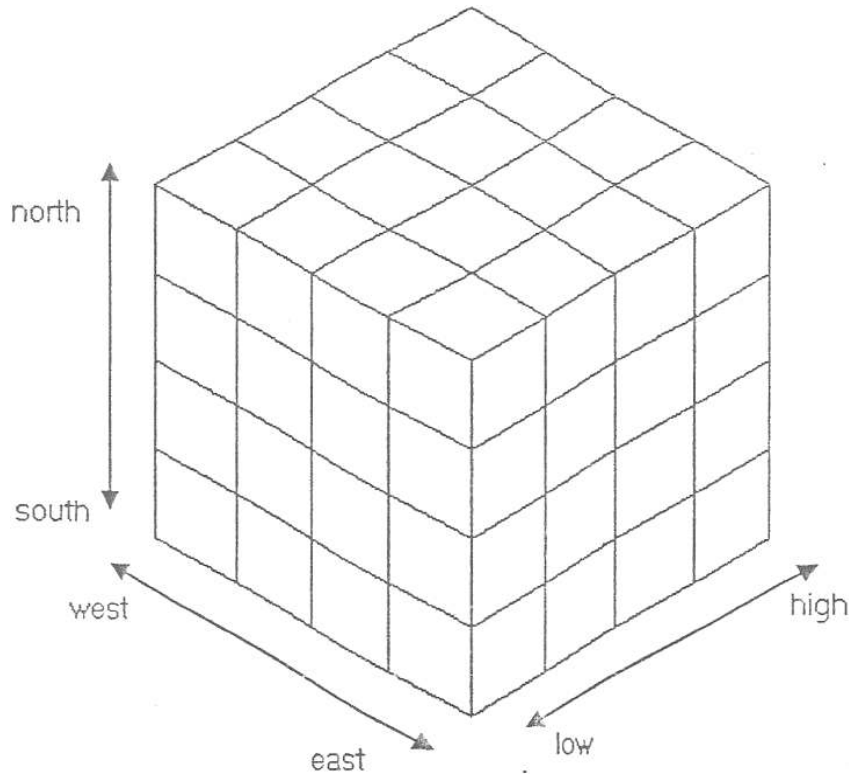
|         |                                               |
|---------|-----------------------------------------------|
| Grup 1  | Run title and other preliminaries             |
| Grup 2  | Transience; time-step specification           |
| Grup 3  | x-direction grid specification                |
| Grup 4  | y-direction grid specification                |
| Grup 5  | z-direction grid specification                |
| Grup 6  | Body-fitted coordinates or grid distortion    |
| Grup 7  | Variables stored, solved & named              |
| Grup 8  | Terms ( in differential equations ) & devices |
| Grup 9  | Properties of the medium ( or medium )        |
| Grup 10 | Inter-phase-transfer process and properties   |
| Grup 11 | Initialization of variable or porosity fields |
| Grup 12 | Convection and diffusion adjustments          |
| Grup 13 | Boundary conditions and special sources       |
| Grup 14 | Downstream pressure for PARAB=.TRUE.          |
| Grup 15 | Termination of sweeps                         |
| Grup 16 | Termination of iterations                     |
| Grup 17 | Under-relaxation devices                      |
| Grup 18 | Limits on variables or increments to them     |
| Grup 19 | Data communicated by satellite to GROUND      |
| Grup 20 | Preliminary print-out                         |
| Grup 21 | Print-out of variables                        |
| Grup 22 | Spot-value print-out                          |

Çizelge 3.1 (Devam). Q1 kütüğünü oluşturan gruplar

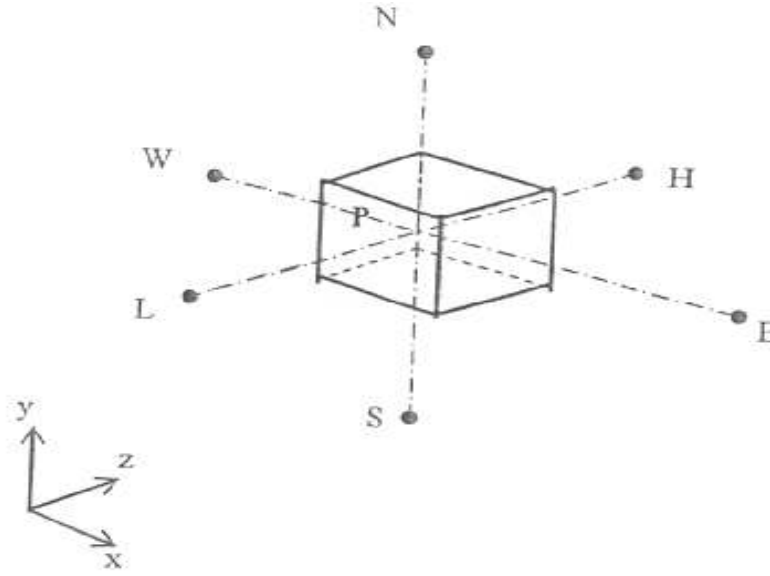
|         |                                  |
|---------|----------------------------------|
| Grup 23 | Field print-out and plot control |
| Grup 24 | Dumps for restarts               |

### 3.2. Hücre Yapısı

Nümerik çözümler için kullanılan bilgisayarlar, kısmi diferansiyel denklemleri doğrudan çözmezler. Sayısal akışkanlar dinamiğın metodunda, kısmi diferansiyel denklemler ayrıklaştırılarak lineer cebirsel denklemlere dönüştürülürler. Lineer cebirsel denklemleri oluşturmak için, sonlu hacimler ve sonlu elemanlar gibi çeşitli çözüm metotları vardır. PHOENICS’ de ise sonlu hacimler metodu kullanılır. Şekil 3.2’de üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminde hücre yapısı, Şekil 3.3’de üç boyutlu bir hücre için kontrol hacmi gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Üç boyutlu koordinat sistemi ve hücre yapısı



Şekil 3.3. Üç boyutlu bir hücre için kontrol hacmi

P noktasında  $\phi$  değeri, komşu  $\phi$  değerleriyle ilişkilidir. Ayrıca, eğer problem zamana bağımlı ise bir önceki zaman dilimindeki  $\phi$  ile de ilişkilidir. Bunun neticesi olarak aşağıdaki lineer cebirsel denklem yazılabilir:

$$a_P \phi_P = a_N \phi_N + a_S \phi_S + a_W \phi_W + a_E \phi_E + a_H \phi_H + a_L \phi_L + a_T \phi_T + b \quad (3.1)$$

Denklemde ‘a’ katsayıları, ‘b’ kaynak terimini,  $\phi$  ise fonksiyonun o noktadaki değerini gösterir. Dikkat edilirse, her komşu hücrenin ayrı bir katsayısı vardır. Bu katsayıların sayısal değeri birçok faktöre bağlıdır. Bunlardan bazıları, hücre geometrisi, akışkanın bir hücreden diğerine akış hızı ve akışkanın yerel özellikleridir. Bütün katsayıların bilinmesi; her bir bağımlı değişken, hücre ve zaman dilimi için katsayıların bilinmesi anlamına gelmektedir. Her bir nokta için cebirsel denklem yazmak mümkündür. Bu ise  $N_X \times N_Y \times N_Z \times N_\phi \times N_T$  çarpımı kadar katsayının hesaplanması demektir. Burada  $N_X$ ,  $N_Y$ ,  $N_Z$  sırasıyla x, y ve z yönündeki hücre sayısı,  $N_\phi$  değişken sayısı,  $N_T$  ise çözümün kararsız olması durumunda zaman dilimi sayısıdır.

PHOENICS, hidrodinamik denklem çözümünde kaydırılmış hücreleri kullanır. Skaler büyüklükler olan basınç, sıcaklık, entalpi ve konsantrasyonun çözümünde hücre merkezleri; vektörel büyüklük olan hızların çözümünde ise hücre yüzeyleri kullanılır.

### 3.3. Sonlu Hacimler Diskritizasyon Metodu

Sonlu hacimler metodu ile cebirsel denklemleri iki yaklaşımla elde etmek mümkündür. Söz konusu cebirsel denklemler, ısı ve kütle transferini temsil eden denklemlerdir. Hangi yaklaşım olursa olsun sonlu hacimler metodunun en büyük avantajı, diskritizasyon prosesi boyunca asıl temel fizik kanunlarını sürekli göz önünde bulundurmasıdır. Birinci yaklaşımda değişik matematiksel teoremler kullanılır ve diferansiyel denklemlerin diskritizasyonu gerçekleştirilir. İkinci yaklaşımda ise temel fizik kanunları yazılarak diskritizasyon işlemi yapılır.

Sonlu hacimler denklemlerine, lineer cebirsel denklemlerin çözümünde kullanılan teknikleri uygulamak istiyorsak, Eş. 3.1'deki kaynak terim olan 'b' yi de, lineer bir formda ifade etmek gerekir. Kontrol hacmin iç noktalarındaki hücrelerle ilgili sonlu hacim denklemleri elde edildiği gibi, kontrol hacmin sınır şartları içinde sonlu hacim denklemleri uygun formda çıkarılmalıdır. Bir akışın hesabı için sınır şartları belirlenmelidir. PHOENICS, bu belirlemede esnek bir yapıya sahiptir ve programın çalışma şartları şunlardır:

- PHOENICS, daima problemdeki kaynağın çeşidine göre bir sınır şartı değerlendirir (kütle, momentum, enerji, kimyasal özellik, türbülans, enerji gibi). Bu nedenle sınır değerlerini doğrudan kullanmaz.
- Kaynaklar, duvarlara değil hücre merkezine yerleştirildiğinden sınır şartları tam olarak sınırlarla temasta değildir. Sınır hücrelerinin, bölgesel değişimlerde önemsiz olması için bu hücreler oldukça küçük alınır.

- PHOENICS, kaynakların özelliklerini bir ‘C’ katsayısı ve ‘V’ değeri cinsinden kabul eder. Kaynak,  $\phi$  değişkeni için  $C_\phi$  ve  $V_\phi$  ile belirlenir.

$$S = C_\phi (V_\phi - \phi_p) \quad (3.2)$$

$\phi_p$ , P düğüm noktasındaki  $\phi$  değeridir.

- SATELLITE ön işlemcisi, kullanıcının COVAL komutu ile belirlediği ‘C’ ve ‘V’ değerlerini kabul eder.
- PHOENICS, kullanıcının PATCH komutu ile belirlediği sınır şartını kullanır.

Kütle akış sınır şartları, hesaplama aralığındaki kütle akışı, PATCH ve COVAL komutları ile girilir. Dış basınç, hücre içindeki basınçtan büyük olabilir. Eğer ‘C’ katsayısı çok küçükse, dış basınç çok büyük olmalıdır. Hücre içindeki basınç değişimi, hücre içindeki hız alanını biraz etkilemektedir. Bir aralıktaki akış, düşük katsayılı basınç sınır şartı ile temsil edilir. Dış akış, yüksek bir katsayı ile temsil edilir ve değişken sayısı çoktur. Süreklilik denkleminde eklenen kütle akış kaynağı şu şekildedir:

$$C_p (V_p - P_p) \quad (3.3)$$

$C_p$ , basınç katsayısı,  $P_p$ , P noktasındaki basınç değeridir. Sonlu hacimler analizi ile denklemlerin diskritizasyonu için uygulanması gereken genel kurallar şunlardır:

- İki komşu kontrol hacminin yüzeylerinden olan akıların matematiksel ifadeleri, her iki kontrol hacmi için aynı olmalıdır. Bununla, örneğin bir kontrol hacminin doğu yüzeyini terk eden bütün ısının, komşu kontrol hacminin batı yüzeyinden girdiği kabul edilir. Bu korunum prensibinin çok açık olduğu düşünülebilir. Fakat denklemlerin türetilmesinde kolayca unutulabilir ve böylece hatalı akılar oluşturulmuş olur.

- Denklemlerdeki katsayıların ( $a'$  lar) değerleri ya sıfır ya da pozitif olmalıdır. Negatif değer alamazlar. Bununla bir hücredeki bağımlı değişkenin (sıcaklık, hız vb.) artması durumunda komşu hücredeki bu değişkenin değerinin de artması sağlanmış olur.
- Denklemlerdeki kaynak terimlerinin, negatif bir eğimle lineerize edilmesi gerekir. Bunun anlamı bir ısı transferi probleminde bir kaynak terimini

$$S_p = S_c (T_v - T_p) \quad (3.4)$$

gibi bir lineer ifadeyle modellenmek istenirse,  $S_c$  pozitif bir değer olmalıdır.  $T_v$  sabit bir sıcaklık değeri,  $S_c$  kaynak katsayısı,  $T_p$  ise P düğüm noktasındaki sıcaklıktır. Eğer bu kural sağlanmaz ise, yanlışlıkla ikinci kural çiğnenebilir. Çünkü  $a_p$  katsayısı, bu kaynak katsayısının bir kısmını içermektedir.

- Zamandan bağımsız problemler için kaynak terimlerinin olmadığı durumlarda, katsayılar;

$$a_p = \sum a_{nb} \quad (3.5)$$

ifadesini sağlamalıdır. Bununla, kontrol hacmi içerisinde herhangi bir ısı kaynağının olmadığı durumlarda ve komşu sıcaklıkların da aynı olduğu bir durumda,  $T_p$  sıcaklığının bunlara eşit olması sağlanır.

### 3.4. Akışkanlar Mekaniğine ve Isı Transferine Uygulanması

PHOENICS yazılımı, korunum denklemlerinin uygulandığı problemlerin analizinde kullanılır.

- Kütle, momentum, enerji, kimyasal reaksiyonlar vb. ile ilgili,
- Bir, iki ve üç boyutlu geometriye sahip,
- Zamana bağlı (süreksiz) veya zamandan bağımsız (sürekli),

Problemlerin çözümünde uygulanması mümkündür. Klasik analitik mekanikte bu problemler, kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edilir. Korunum yasalarının genel bir ifadesi tek fazlı olarak aşağıdaki gibi verilir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \text{div}(\rho\bar{u}\phi) - \text{div}(\Gamma\text{grad}\phi) = S \quad (3.6)$$

Burada, yoğunluk, hız vektörü, değişim katsayısı ve S kaynak terimidir. İfadenin sol tarafındaki ilk terim geçiş terimi, ikinci terim konveksiyon terimi ve üçüncü terim difüzyon terimidir. Kaynak teriminin en genel formu,

$$S = f * CO * (VAL - \phi_p) \quad (3.7)$$

şeklindedir. Burada, f çarpım faktörüdür ve TYPE komutuna bağlı olarak değişir,  $\phi_p$  tanımlanan değişkendir (variable index) ve Q1 kütüğünde Grup 7’de tanımlanır, CO bir katsayıdır ve VAL değişkenin hesaplanan noktadaki değeridir. Kaynak terim, Grup 13’de COVAL komutu ile belirtilir.

Çözülmesi istenen denklem setleri, PHOENICS’de Eş. 3.6 şeklinde tanımlanır. Bu ana korunum denklemine ilave olarak başka denklemleri de kullanmak gerekebilir. Bunlar termodinamik özellikler, taşınım özellikleri, sınır şartları vb. olabilir. Zamandan bağımsız, düşük hızlı bir akışın viskoz ısınma etkilerinin ihmalıyla enerji denklemi,

$$\text{div}(\rho\bar{u}h) - \text{div}(k.\text{grad}T) = S_h \quad (3.8)$$

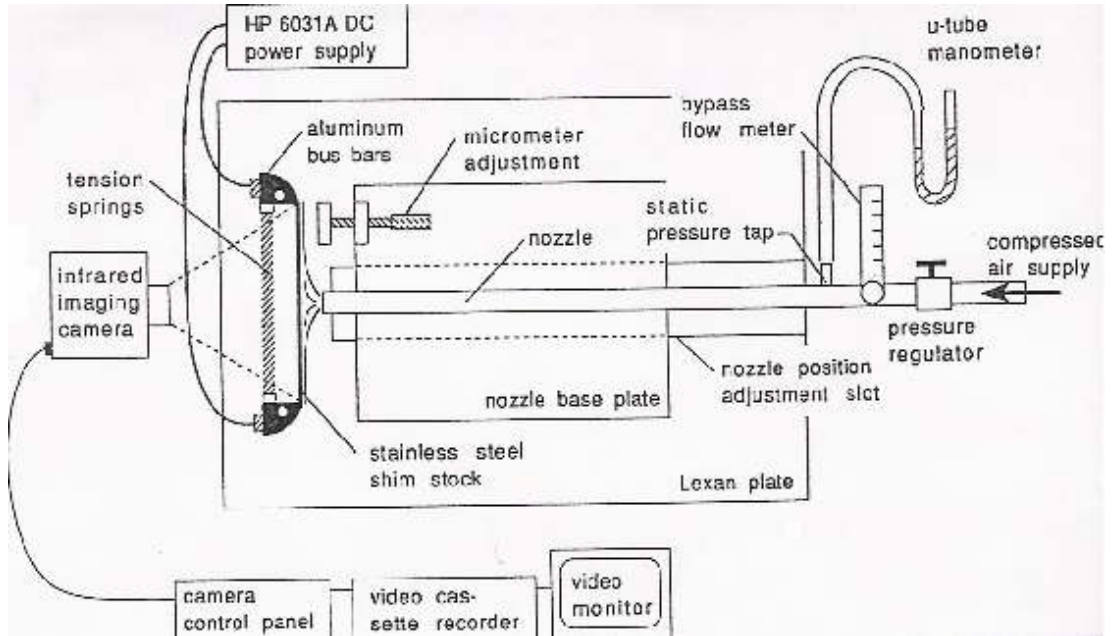
halini alır veya,

$$\text{div}(\rho\bar{u}h) - \text{div}\left(\frac{k}{c}.\text{grad}h\right) = S_h \quad (3.9)$$

şeklinde yazılır. Burada  $h$  entalpi,  $k$  ısı iletkenlik katsayısı,  $T$  sıcaklık,  $S_h$  hacimsel ısı üretim oranıdır.

#### 4. ÖN ÇALIŞMA VE DENEME ÇÖZÜMLERİ

Lytle ve Webb'in yaptığı çalışmada, sabit ısı akısına sahip 20,32 cm uzunluğunda 5 cm genişliğinde paslanmaz çelik, plaka olarak kullanılmıştır. 7,8 mm çapında bir lüleden çıkan  $10^{\circ}\text{C}$  sıcaklığındaki hava plakaya dik olarak püskürtülmüştür. Böylece çarpmalı bir akış sağlanmıştır. Plakanın ısı akısı sabit ve  $2040,946\text{ W/m}^2$ , lüleden çıkan hava hızı  $9,409\text{ m/s}$ 'dir. Farklı lüle plaka arası mesafe ( $z/d=0,10 - 2,00$ ) ve farklı Reynolds sayıları ( $Re=3600 - 27600$ ) kullanılmıştır. Şekil 4.1'de Lytle ve Webb'in kullanmış oldukları deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 4.1. Lytle ve Webb'in kullanmış oldukları deney düzeneği

Lytle ve Webb'in yapmış oldukları çalışmada  $r/d=1,5$  ve  $z/d=0,5$  için  $Nu=58$  olduğu görülmüştür.

Lüle çapı  $d=7,8\text{ mm}$  olarak seçilmiş,  $T_y - T_j=11^{\circ}\text{C}$  olarak bu deneysel çalışmadan alınmıştır.

Jet sıcaklığı  $T_j=10\text{ }^{\circ}\text{C}$  için ısı iletim katsayısı  $k=24,952 \times 10^{-3}\text{ W/mK}$  olarak tablodan alınmıştır [26]. Eş. 4.1'den ve yukarıdaki verilerden, ısı akısı  $q''=2040,946\text{ W/m}^2$  olarak hesaplanmıştır.

$$Nu = \frac{q'' \cdot d}{k(T_y - T_j)} \quad (4.1)$$

Jet sıcaklığı  $T_j=10\text{ }^{\circ}\text{C}$  için kinematik viskozite  $\nu=14,39 \times 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$  olarak tablodan alınmıştır.

Eş. 4.2'den ve yukarıdaki verilerden, z eksenindeki hız bileşeni  $w=-9,409\text{ m/s}$  olarak hesaplanmıştır.

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} \quad (4.2)$$

Problemde kullanmış olduğumuz geometri simetrik olduğu için, sadece +x eksenini boyunca çözümlenmiştir. z eksenini simetri eksenidir.

Ayrıca PHOENICS çözümlerinde sıcaklık, yüzey üzerinde bulunan hücrelerin merkezindeki sıcaklıklardır ( $T_m$ ). Bu nedenle Eş. 4.3'den plaka yüzeyi üzerindeki sıcaklıklar hesaplanmaktadır ( $T_y$ ).

$$q = -k \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad ; \quad \Delta t = T_m - T_y \quad (4.3)$$

Sayısal akışkanlar dinamiği yöntemleri kullanılarak birçok sayısal çözüm elde etmek ve analitik ve deneysel çözümlere nazaran çok kısa sürede belirli geometrideki problemlerin çözümüne ulaşmak mümkündür. Fakat elde edilen çözümlerin ve sonuçların gerçek fiziksel olaylara ve kanunlara uygun olması gerekmektedir.

Çözümlerin doğruluğunun ve geçerliliğinin sağlanması için yerine getirilmesi gerekli olan koşullar bu bölümde incelenmiştir.

#### 4.1. Q1 Kütüğünün Oluşturulması

Problemde kullanılan plakanın uzunluğu, simetri ekseninden itibaren +x eksenini boyunca  $L=10,16$  cm, lüle çapı  $d=7,8$  mm, lüle plaka arası mesafe  $z=d/2=3,9$  mm olarak alınmış ve örnek bir Q1 kütüğü oluşturulmuş ve yakınsama kriterlerini hangi durumda sağladıkları incelenmiştir. Örnek Q1 kütüğü EK-1’de verilmiştir.

Yakınsama kriterleri, Bölüm 4.2’de ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Yapılan çözümlerden, hız vektörlerinin ve sıcaklık konturlarının çizimleri elde edilmiştir.

#### 4.2. Yakınsama Kriterlerinin Kontrol Edilmesi

PHOENICS’te elde edilen çözümlerin ve sonuçların, doğruluğunun ve geçerliliğinin kontrolü için beş ana kriterin cevaplanması gerekmektedir. Aşağıda bu beş ana kriter detaylı olarak açıklanmıştır.

##### Birinci kriter; çözüm yakınsadı mı?

Sonuç kütüğünün son kısmında süpürme sayısına bağlı olarak kalıntılar grafik halinde verilir. Çözümün yakınsaması için bütün değişkenlerin kalıntıları monoton veya değişken bir azalma göstermesi gerekir. Yakınsamanın grafiksel olarak kontrolü yapıldıktan sonra, her değişken için toplam kalıntı değerlerine bakmak gerekir. Bu değerlerin de mümkün olduğu kadar sıfıra yakın çok küçük değerler olması istenir.

##### İkinci kriter; çözüm iterasyon sayısından bağımsız mı?

Çözüm süpürme sayısı ile yakından ilgilidir. Problemin basit ve karmaşık olmasına göre süpürme sayısı değişir. Bundan dolayı iterasyon sayısı değiştirilerek ilk sorunun cevabı aranır. Yani süpürme sayısı ile yakınsamanın nasıl değiştiği sürekli olarak

gözlenir. Burada amaç süpürme sayısının artmasıyla yakınsamış bir problemin yakınsamasının devam ettiğini gözlemektir. Bununla birlikte sadece kalıntılara bakmak yeterli değildir. Elde edilen çözüm değerlerinin değişimine de bakmak gerekir. Buna ilave olarak, sonuç kütüğünün son kısmında kalıntılar için verilen grafiklerle birlikte, değişkenlerin fiziksel değerlerinin değişimini veren grafiklerde mevcuttur. Yakınsamış ve süpürme sayısından bağımsız bir çözümde bütün değişkenler için kalıntılar sürekli olarak küçülmeli, anlık değerler ise belirli bir zamanda sabit kalmalıdır.

Üçüncü kriter; korunum denklemleri sağlandı mı?

İlk iki sorunun olumlu cevaplandırılmasından sonra, çözümünü elde etmeye çalıştığımız fiziksel problemi tanımlayan kütle, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmelidir. Bu değerleri kontrol etmek için yine sonuç kütüğünün sonunda korunum denklemlerinin ne ölçüde sağlandığını göstere değerler vardır. Bu değerlerin kontrol edilmesi gerekmektedir.

Dördüncü kriter; çözüm hücre yapısından bağımsız mı?

İlk üç sorunun olumlu cevaplandırılmasına rağmen, elde edilen sonuçlar gerçek değerlerden uzak olabilir. Buna sebep olan nedenlerden biri de çözüm alanı içerisindeki hücre sayısı ve dağılımıdır. Uygun hücre sayısının belirlenememesi, farklı sonuçlar doğurabilir. Ayrıca, problemin fiziğine bağlı olarak, hücre dağılımı da çok önemlidir. Akışın yapısına göre giriş veya çıkış bölgesinde ya da herhangi bir bölgede akışın değişimi farklı olabilir ve hücre dağılımı homojen olmayabilir. Hücre yapısından bağımsız bir çözüm elde etmek sonuçların doğruluğu açısından şarttır. Hücre yapısında ve dağılımında yapılan değişikliklerle, elde edilen sonuçlardaki değişim minimuma indirgenmeli ve optimum hücre sayısı belirlenmelidir. Böylece hesaplama zamanından da önemli ölçüde tasarruf sağlanmış olur.

*Beşinci kriter; sonuçlar deneysel sonuçlarla uyumlu mu?*

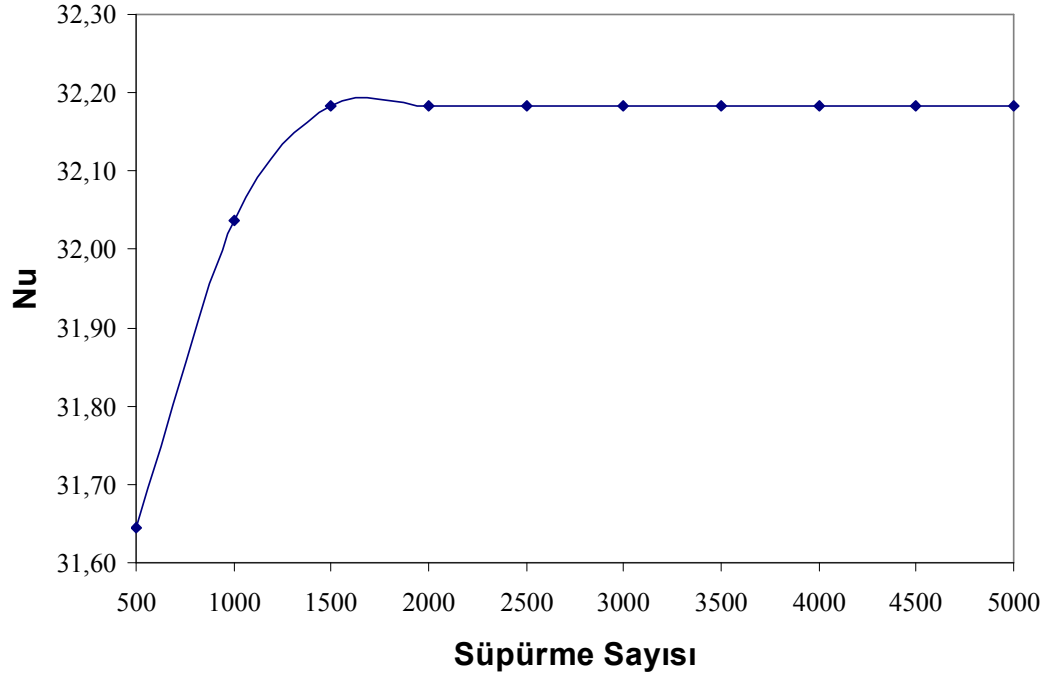
Sayısal akışkanlar dinamiği çözüm ve sonuçlarının gerçek fiziksel değerlerle doğruluğu ve uyumluluğu ilk dört sorunun olumlu olarak cevaplandırılmasından sonra, literatürde mevcut veya kendi deneysel değerleri ile karşılaştırılması sonucu ispat edilmiş olur. Eğer hiçbir şekilde deneysel veri mevcut değil ise bu kesin karşılaştırma literatürde kabul görmüş teorik, analitik veya diğer sayısal çözümlerle karşılaştırılabilir [27].

Yukarıda da ayrıntılı şekilde açıklandığı gibi, çözümlerin ve sonuçların yakınsama kriterlerini kontrol edersek;

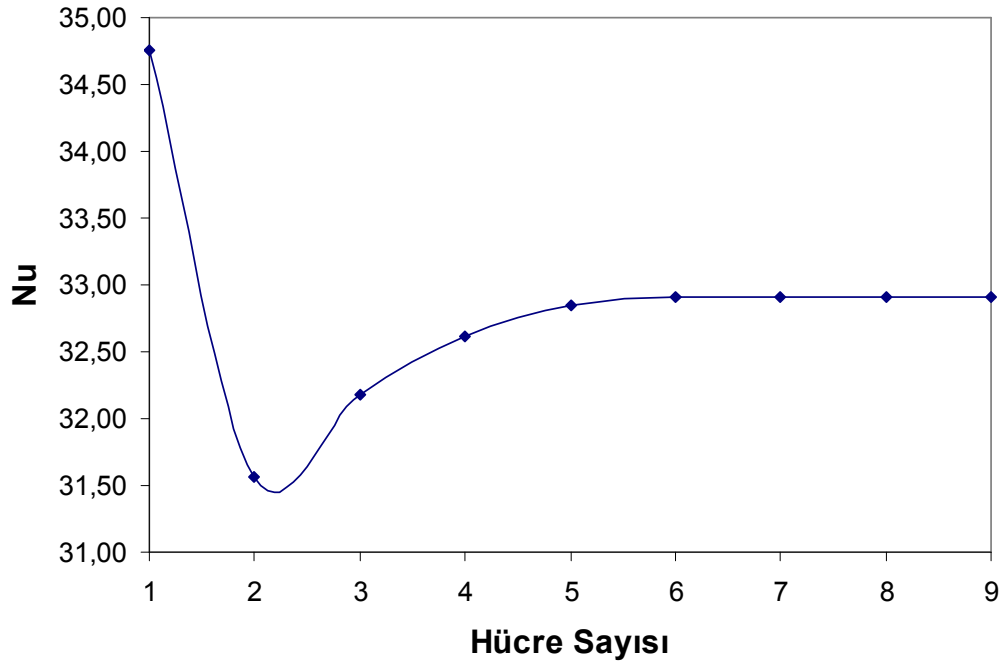
Sonuç kütüğünün son kısmında “Net source of R1” mutlak değerlerinin birbirine eşit olması, yani süreklilik denklemlerinin sağlanması yakınsama kriterlerinden birisidir. Diğer kriterler, yine sonuç kütüğünün son kısmında bulunan iki grafiklerdir. Bu grafiklerden ilki, anlık değer grafiğidir ve bağımlı değişkenlerin, belirli bir iterasyondan sonra salınımları bitmiş ve sabit değere ulaşmışlardır. İkinci grafik ise, kalıntı grafiğidir ve bu değerler sıfıra yaklaşmıştır. Bu üç kriterin sağlanıp, süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin eşitlenmesi ile doğru çözüme ulaşılır. Sonuç kütüğü EK-2’de verilmiştir.

Şekil 4.2’de değişik süpürme sayılarına bağlı olarak elde edilen ortalama Nu sayısı değerlerinin değişimi görülmektedir. Grafikten de görüldüğü üzere ortalama Nu sayısı 2500 süpürme sayısından sonra sabit bir değerde devam etmektedir. Bu durumda süpürme sayısı 4000 olarak seçilmiştir.

Şekil 4.3’de değişik hücre sayılarına bağlı olarak elde edilen ortalama Nu sayısı değerlerinin değişimi görülmektedir. Grafikten de görüldüğü üzere ortalama Nu sayısı x eksen boyunca 90, z eksen boyunca 80 (90x80) hücre sayısından sonra sabit bir değerde devam etmektedir. Bu durumda hücre sayısı minimum 100x90 olarak seçilmiştir.

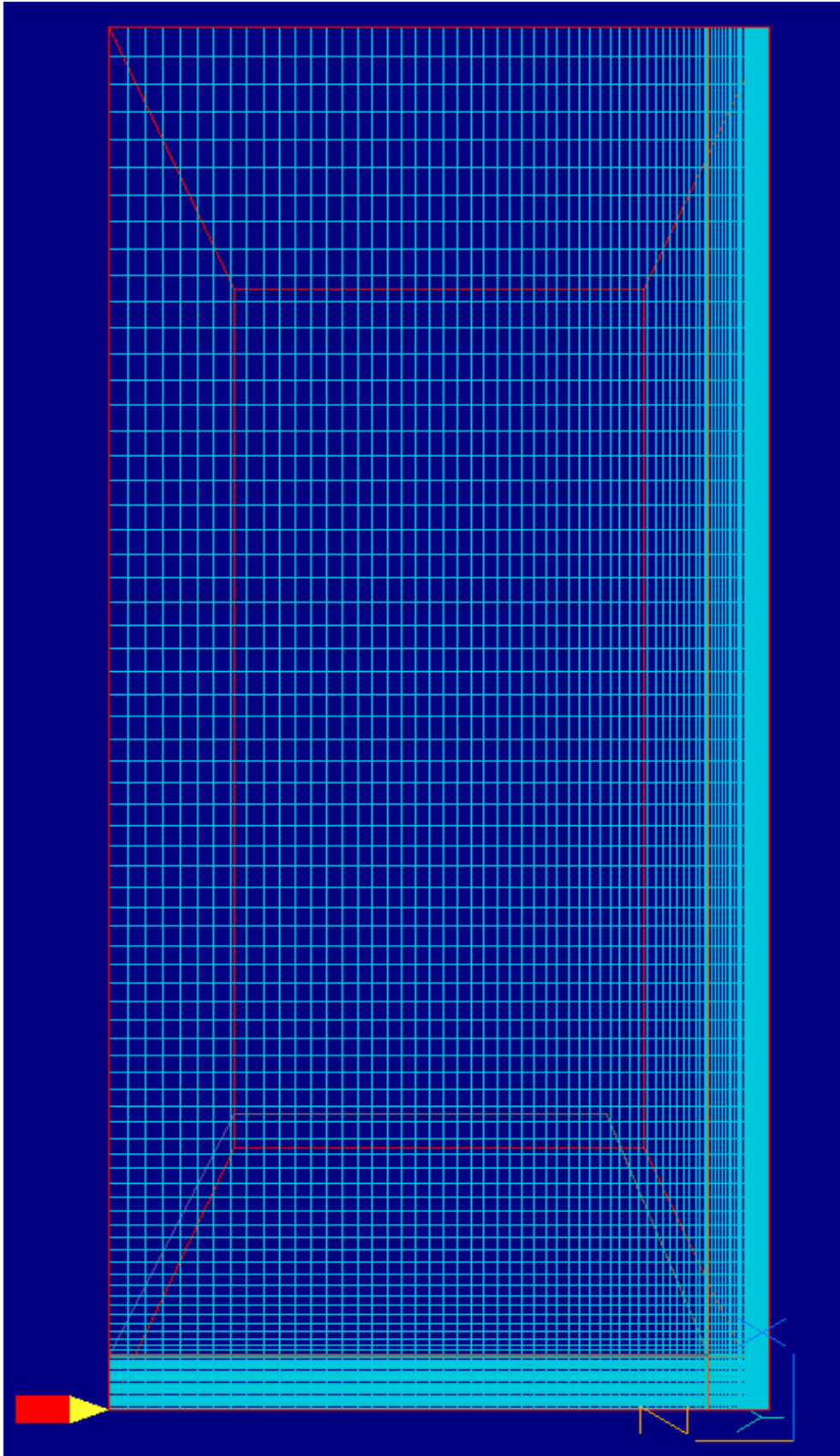


Şekil 4.2. Farklı süpürme sayılarında elde edilen ortalama Nu sayıları



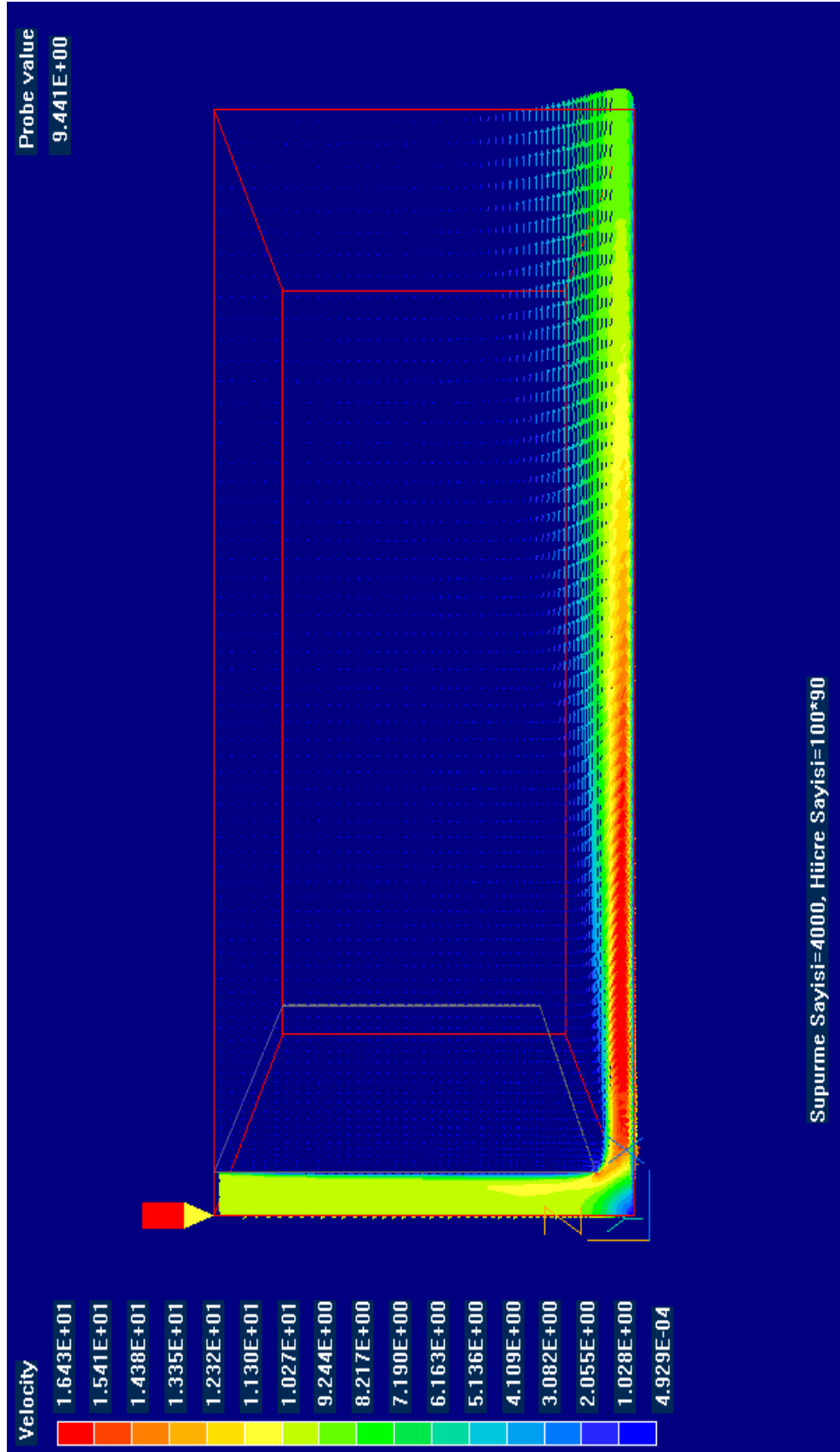
Şekil 4.3. 4000 süpürme sayısı için farklı hücre sayılarında elde edilen ortalama Nu sayıları (1-40x30, 2-50x40, 3-60x50, 4-70x60, 5-80x70, 6-90x80, 7-100x90, 8-110x100, 9-120x110)

Çözüm alanı içerisinde, akışın önemli olduğu bölgelerde ve ısıtılmış plaka yakınlarında daha sık olmak üzere üniform olmayan hücre tipi kullanılmıştır. Şekil 4.4’de x-z eksenlerindeki uygun görülen hücre dağılımı görülmektedir (100x90).

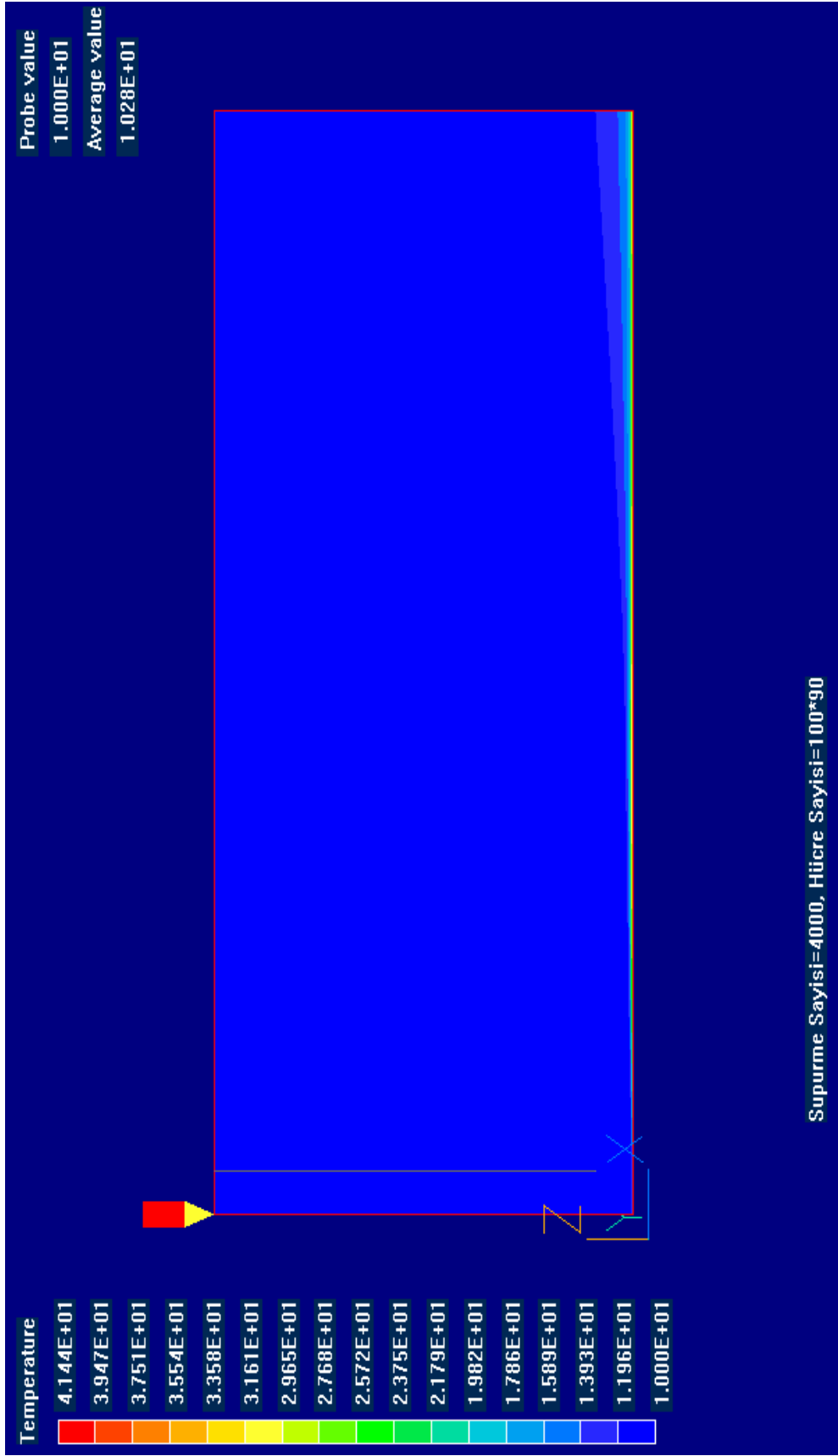


Şekil 4.4. x-z eksenindeki uygun görülen hücre dağılımı (100x90)

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da PHOENICS paket programında sayısal olarak çözümlenen problemin silindir jet merkezli, x-z eksenindeki hız vektörleri ve sıcaklık dağılımı konturları görülmektedir.

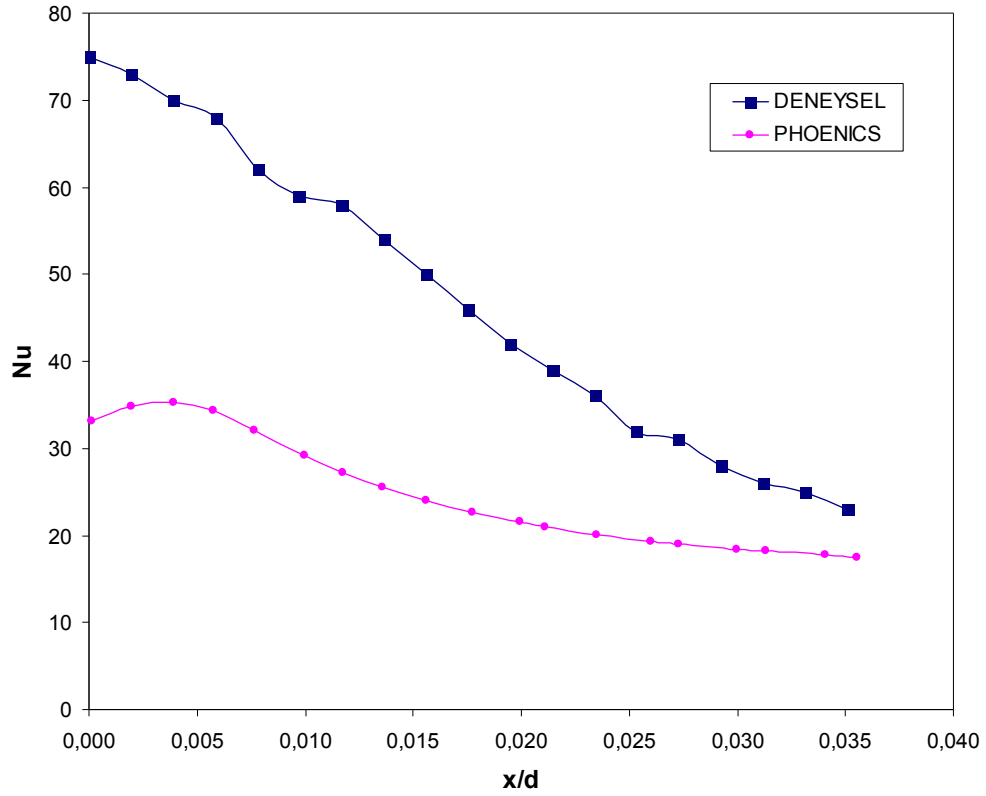


Şekil 4.5. x-z eksenli hız dağılımı



Şekil 4.6. x-z eksenli sıcaklık konturları

İlk dört kriter sağlandıktan sonra, problemi son kriter olan Lytle ve Webb'in yapmış olduğu deneysel sonuçlarla karşılaştıracak olursak; farklı  $x/d$  oranlarına karşılık gelen yerel Nu sayılarına yakın değerler elde edildiği Şekil 4.7'de görülmektedir.



Şekil 4.7. Farklı  $x/d$  oranlarına karşılık gelen Nu sayılarının deneysel ve sayısal sonuçlarının karşılaştırılması

## 5. PARAMETRİK ÇALIŞMALAR

Literatürde yapılan deneysel çalışmayla karşılaştırmadan sonra kullanılan sabit değerler aşağıdaki gibidir. Parametrik çalışmada kullanılan değişkenler olan Reynolds sayısı (Re) ve lüle plaka arası mesafe (z/d) Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

$$L=10,16 \text{ cm}$$

$$d=7,8 \text{ mm}$$

$$q''=1000 \text{ W/m}^2$$

$$T_j=20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

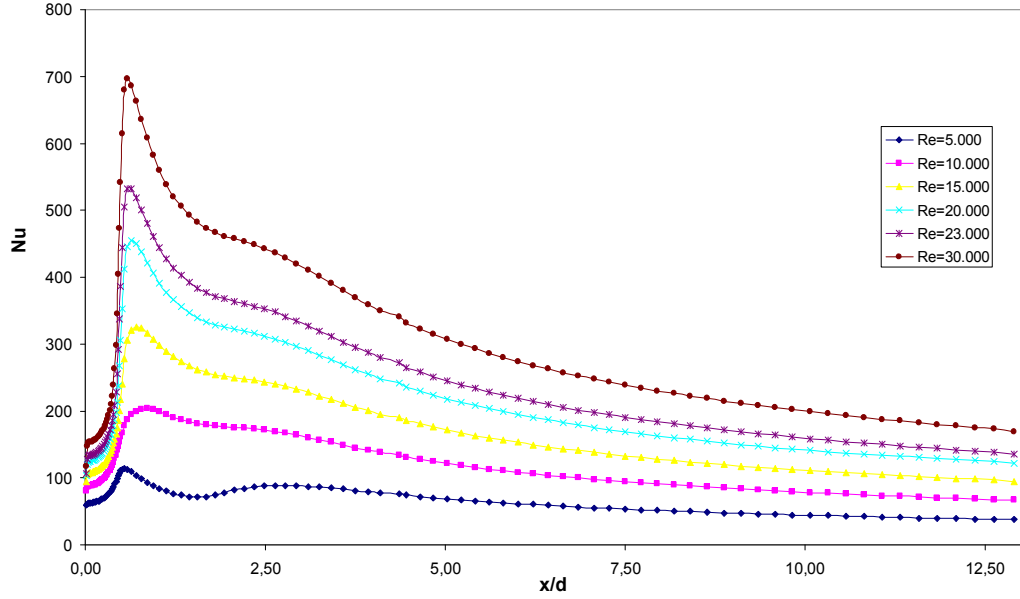
Bu çalışmada kullanmış olduğumuz PHOENICS paket programında türbülans modellemesi olarak düşük Re sayısı türbülans modeli seçilmiştir. Bunun nedeni plaka yüzeyi üzerinde sınır tabakanın kaldırılarak daha hassas sonuçlar elde etmektir.

Çizelge 5.1. Parametrik çalışmada kullanılan değişkenler

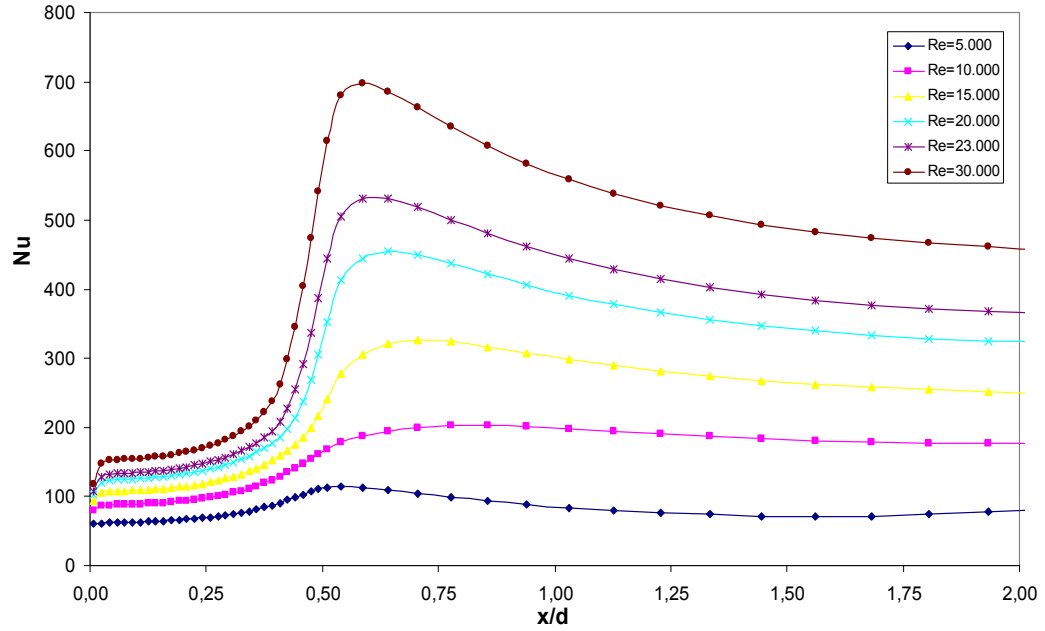
| Re    | z/d |      |     |      |     |     |     |  |
|-------|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|--|
| 5000  | 0,1 |      |     |      | 1,0 |     |     |  |
| 10000 | 0,1 |      |     |      | 1,0 |     |     |  |
| 15000 | 0,1 |      |     |      | 1,0 |     |     |  |
| 20000 | 0,1 |      |     |      | 1,0 |     |     |  |
| 23000 | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,25 | 0,5 | 1,0 | 2,0 |  |
| 30000 | 0,1 |      |     |      | 1,0 |     |     |  |

### 5.1. Re Sayısının Isı Transferine Etkisinin İncelenmesi

Şekil 5.1’de  $z/d=0,1$  için x eksenı boyunca tüm plaka yüzeyinde Re sayısı 5000, 10000, 15000, 20000, 23000 ve 30000 için elde edilen yerel Nu sayıları grafiğı mevcuttur. Şekil 5.2’de  $z/d=0,1$  için x eksenı boyunca plaka yüzeyinde  $x=2d$  mesafesine kadar Re sayısı 5000, 10000, 15000, 20000, 23000 ve 30000 için elde edilen yerel Nu sayıları grafiğı bulunmaktadır.



Şekil 5.1. Plaka boyunca farklı  $Re$  sayılarına karşılık gelen yerel  $Nu$  sayıları ( $z/d=0,1$ )



Şekil 5.2. Plaka üzerinde  $x/d=2,0$ ' a kadar farklı  $Re$  sayılarına karşılık gelen yerel  $Nu$  sayıları ( $z/d=0,1$ )

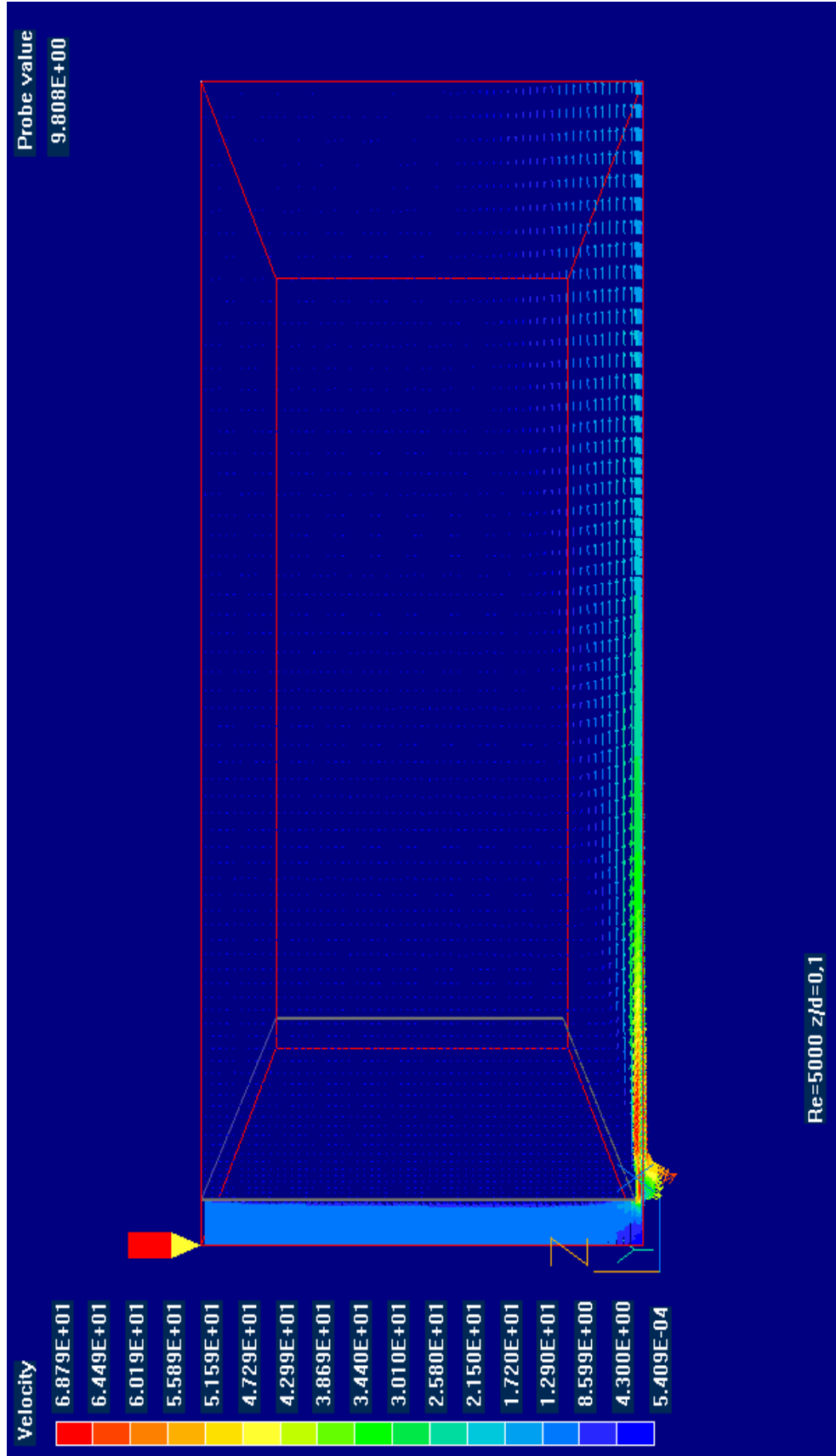
Bu bölümde  $Re$  sayısının ısı transferine etkisi incelenmiştir. İlk olarak lüle plaka mesafesi  $z/d=0,1$  seçilmiştir. Plaka sabit ısı akısı  $q''=1000 \text{ W/m}^2$ , jet sıcaklığı  $T_j=20$

°C, lüle çapı  $d=7,8$  mm ve plaka uzunluğu simetri ekseninden itibaren  $x$  ekseninde  $L=10,16$  cm sabit tutularak,  $Re$  sayıları 5000, 10000, 15000, 20000, 23000 ve 30000 için çözümler gerçekleştirilmiştir.

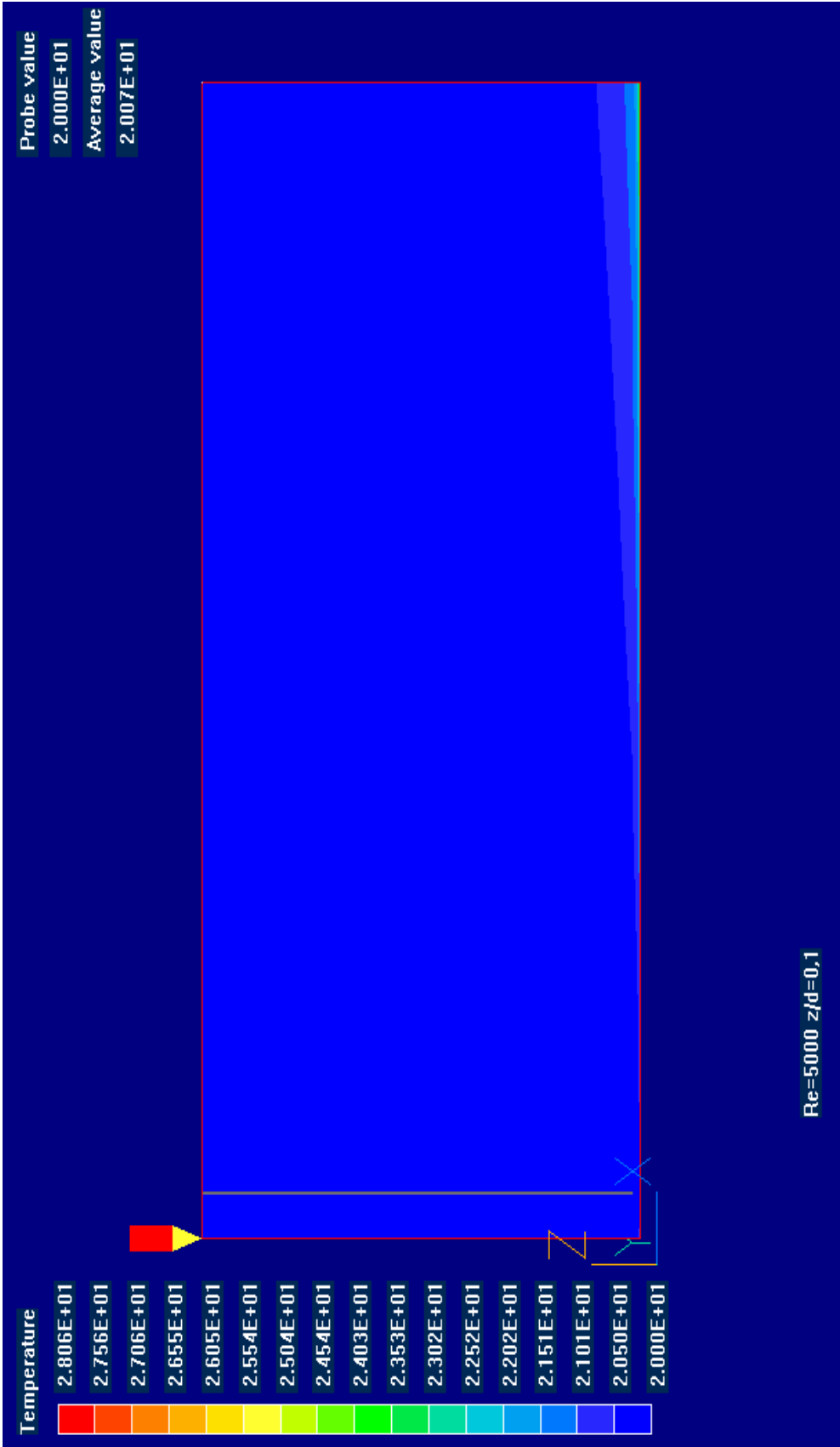
Düşük lüle plaka mesafesinin ( $z/d=0,1$ ) seçildiği bu çözümlerde Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'den de görüldüğü gibi, özellikle yüksek jet hızlarında yani yüksek  $Re$  sayılarında ( $Re=30000$ ,  $Re=23000$  ve  $Re=20000$ ) hemen lüle ağzı çıkışındaki ısı transferi değerlerinin ani bir artışla maksimum değere ulaştığı dolayısıyla hesaplanan yerel  $Nu$  sayısının değerinin de maksimum olduğu tespit edilmiştir.  $Re$  sayısının daha düşük seçildiği durumlarda ise ( $Re=15000$ ,  $Re=10000$  ve  $Re=5000$ ) lüle ağzı çıkışındaki plaka yüzeyindeki ısı transferi değerlerinin artışının çok yüksek olmadığı görülmektedir. Düşük  $Re$  sayılarında ortalama  $Nu$  sayılarının da, yüksek  $Re$  sayılarına göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Özellikle  $Re$  sayısının 30000 seçildiği sayısal çözümlemede hava jeti hızının çok yüksek olmasından kaynaklanan ani bir yerel  $Nu$  sayısı artımının yani ısı transferi artımının gerçekleştiği görülmektedir. Lüle çıkışından sonra  $x$  eksenini boyunca plaka yüzeyindeki yerel  $Nu$  sayıları neredeyse sabit bir değerde ilerlemektedir. Grafiklerde  $Re$  sayıları düştükçe yerel  $Nu$  sayılarının değerlerinin azaldığı tespit edilmektedir.

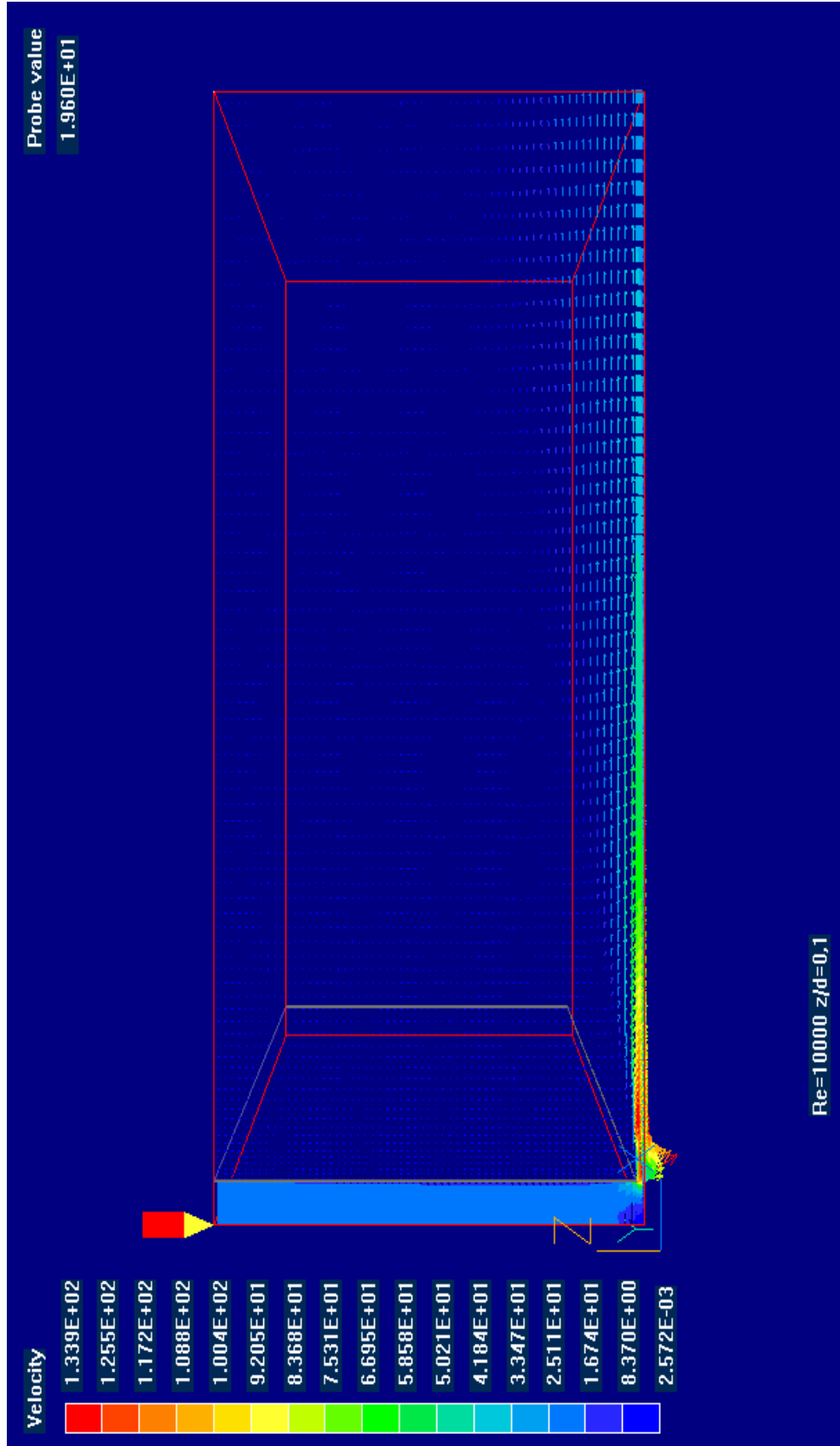
Şekil 5.3'ten Şekil 5.8'e kadar  $Re$  sayısı 5000, 10000 ve 15000, ayrıca lüle plaka mesafesi  $z/d=0,1$  için PHOENICS paket programından elde edilen hız vektörleri ve sıcaklık konturları görülmektedir.



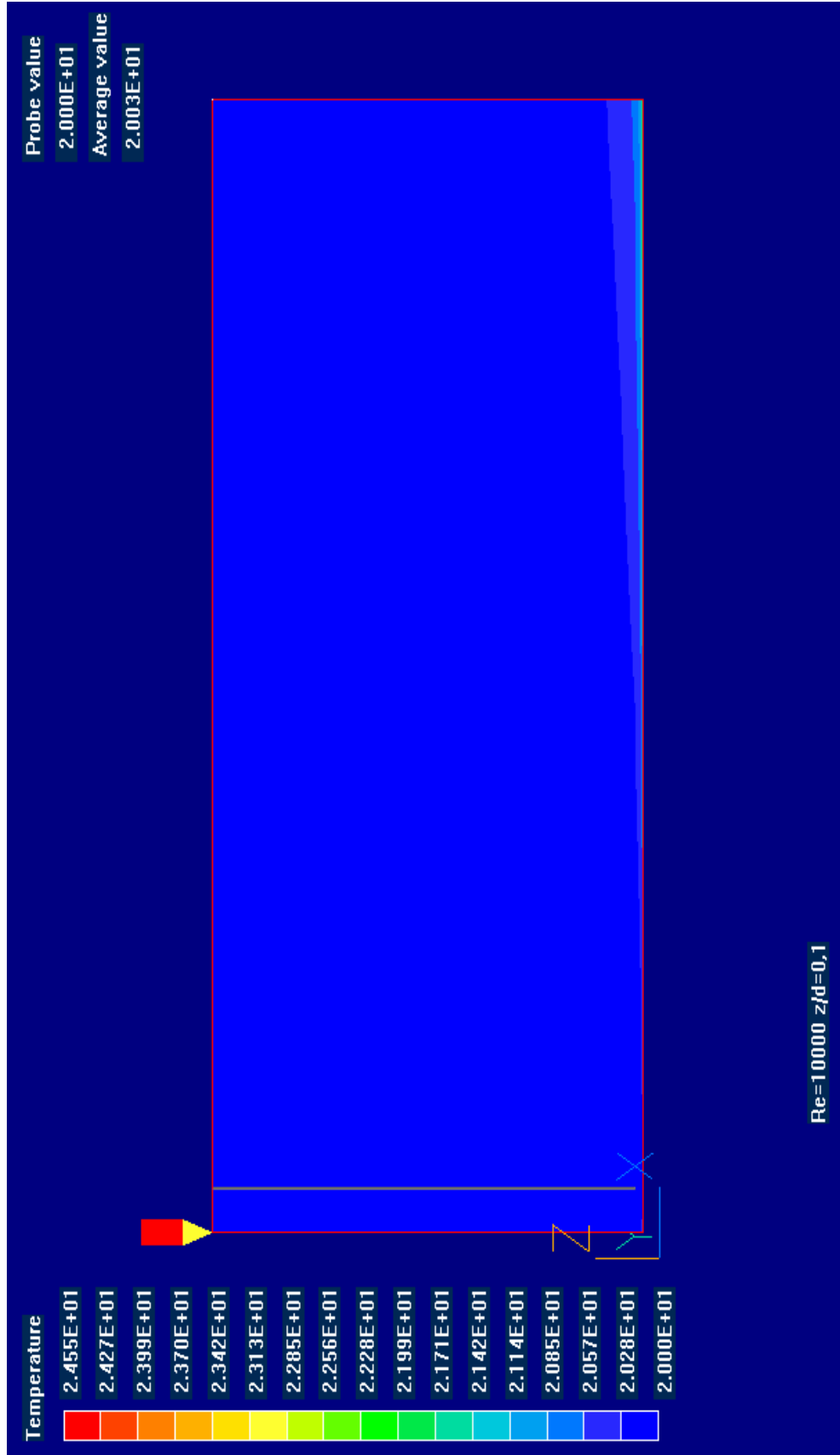
Şekil 5.3. Re=5000 ve  $z/d=0.1$  için hız vektörleri



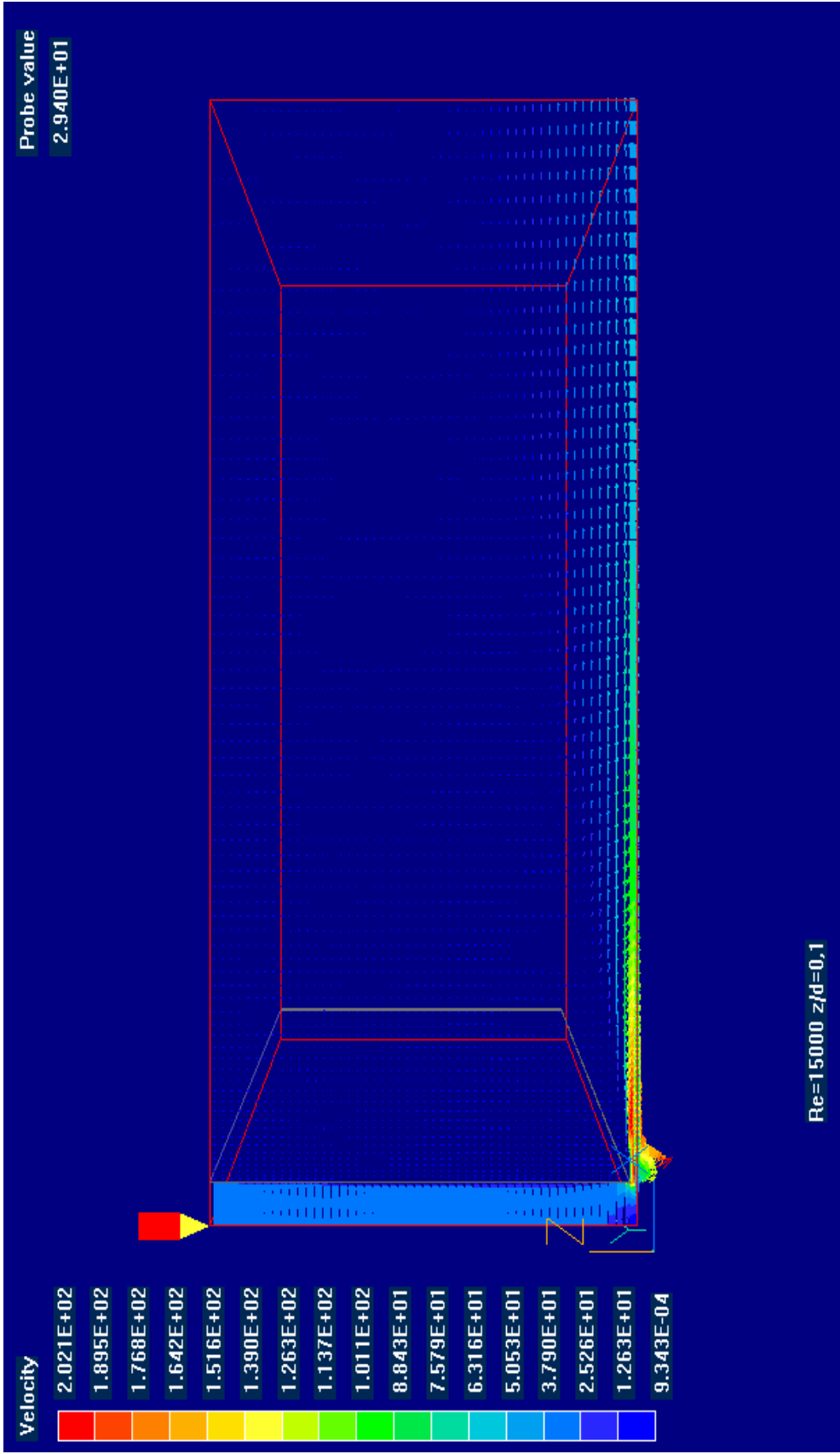
Şekil 5.4. Re=5000 ve  $z/d=0,1$  için sıcaklık konturları



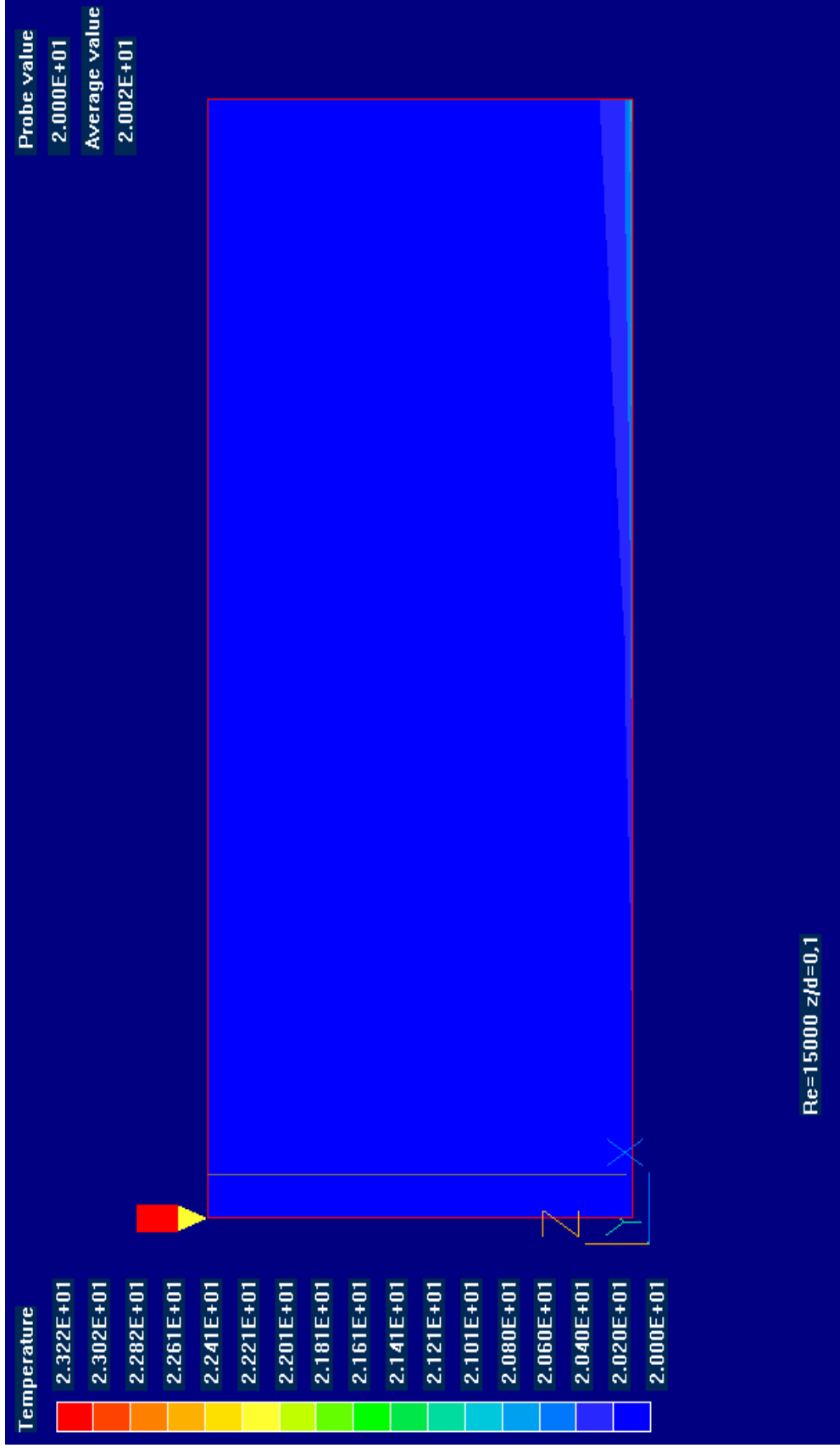
Şekil 5.5. Re=10000 ve  $z/d=0,1$  için hız vektörleri



Şekil 5.6. Re=10000 ve  $z/d=0,1$  için sıcaklık konturları



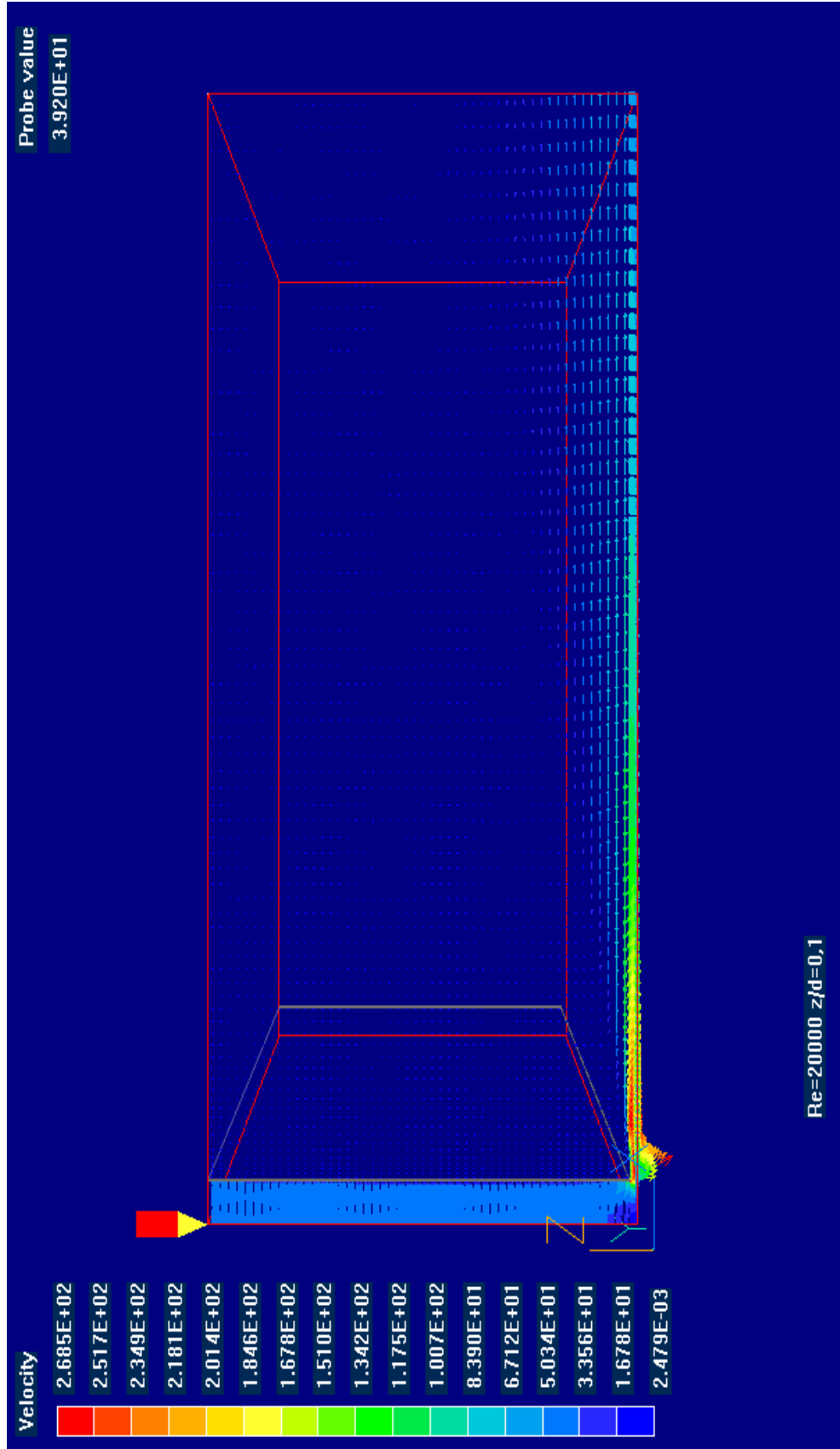
Şekil 5.7. Re=15000 ve  $z/d=0,1$  için hız vektörleri



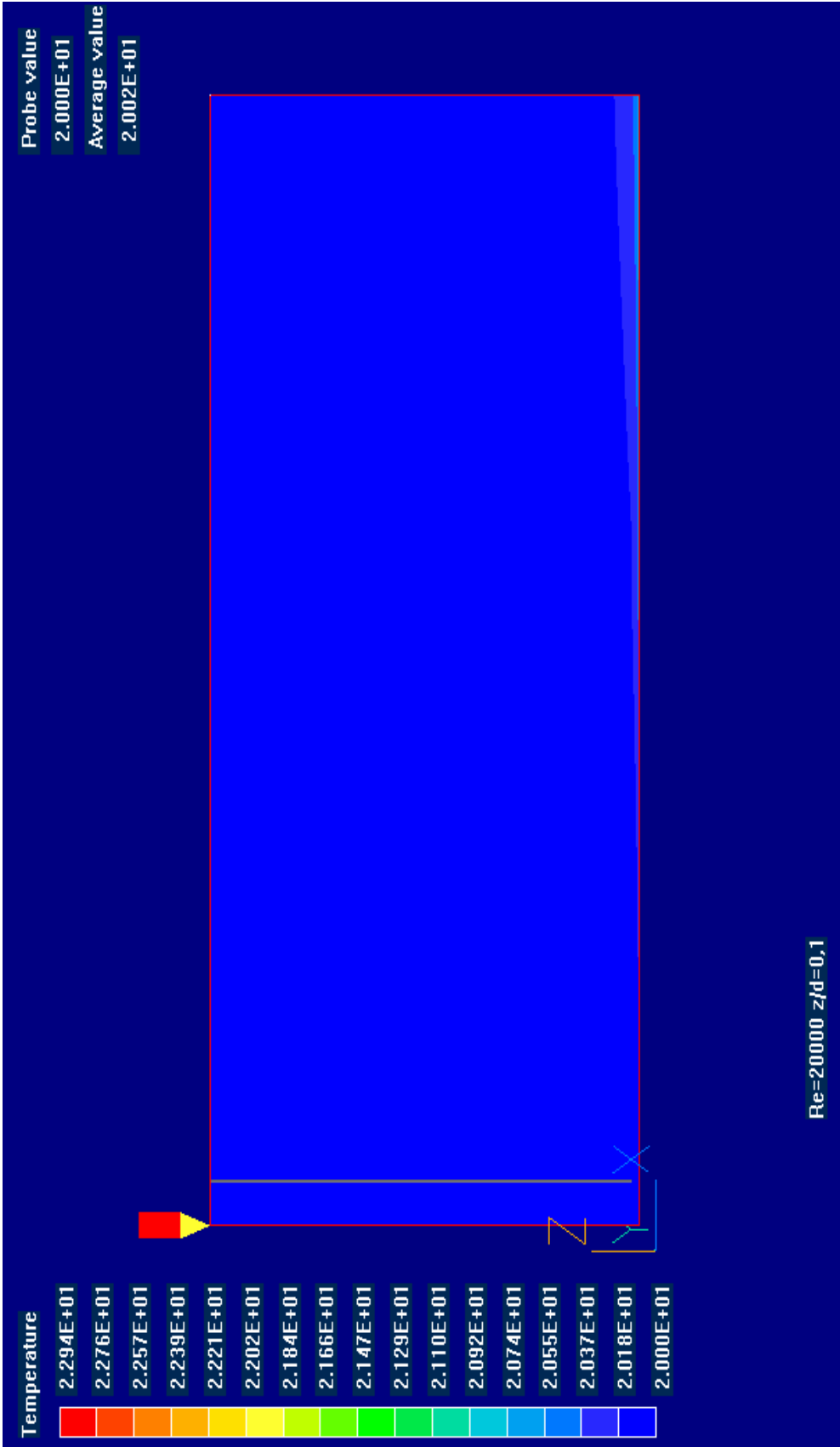
Şekil 5.8. Re=15000 ve  $z/d=0,1$  için sıcaklık konturları

Düşük Re sayılarının seçildiği bu çözümlemelerde, PHOENICS paket programından elde edilen şekillerden de görüldüğü üzere hız vektörlerinin değerleri, lüle çıkış ağzında artmıştır. Sıcaklık konturlarından da çözüm aralığının ortam sıcaklığı değerlerinde olduğu saptanmıştır. Plaka sonlarında havanın bir miktar ısınarak belirlenen çıkış bölgesinden çıktığı görülmektedir. Hız vektörü şekillerinden de görüldüğü gibi, çarpan hava jetinin düzlemin sağında tanımlanan çıkışın yarısından daha az bir bölümünden tanımlanan ortamı terk ettiği, üst bölgede tanımlanan çıkıştan bir çıkış gerçekleşmediği tespit edilmiştir.

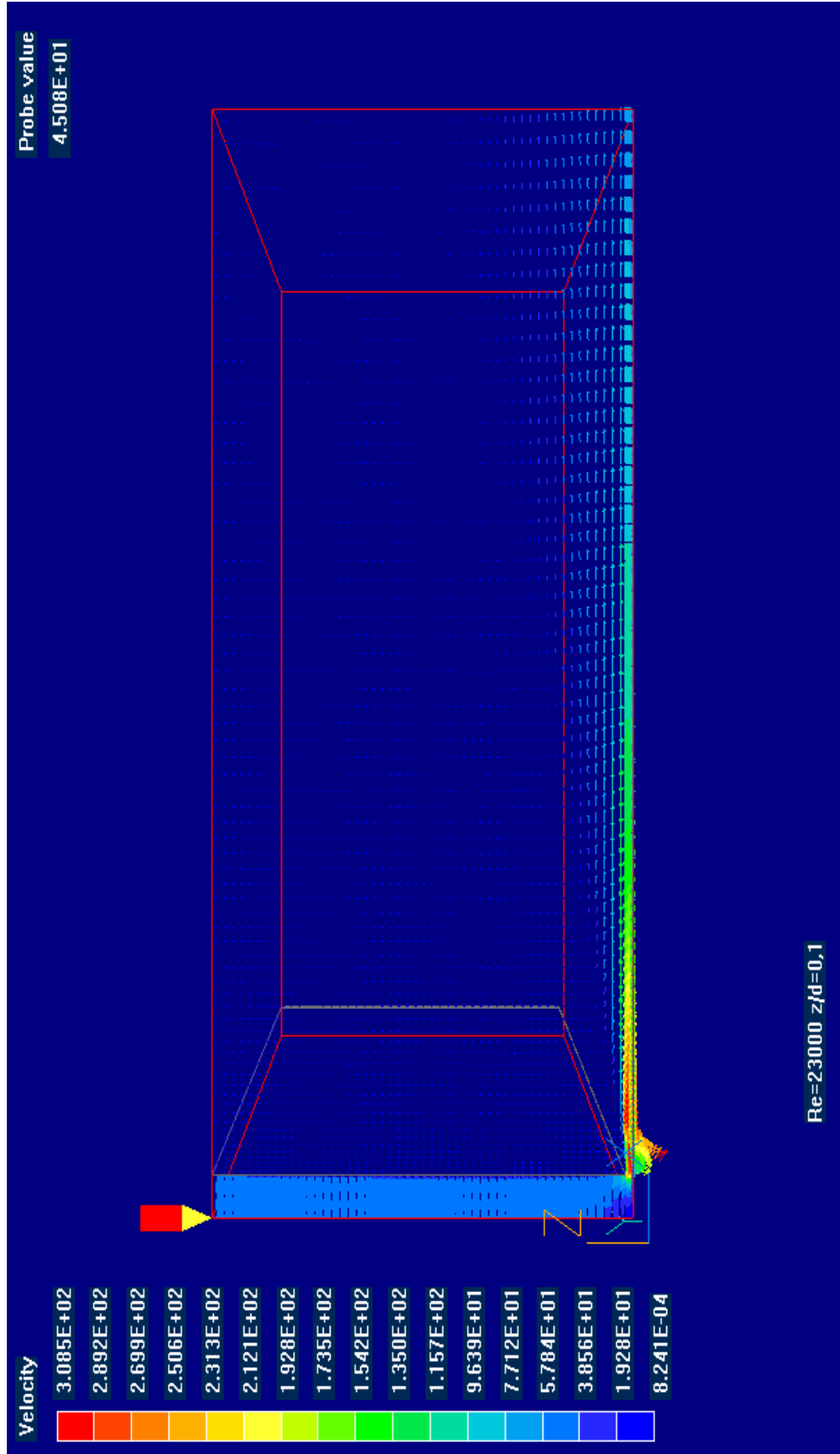
Şekil 5.9'dan Şekil 5.14'e kadar Re sayısı 20000, 23000 ve 30000, ayrıca lüle plaka mesafesi  $z/d=0,1$  için PHOENICS paket programından elde edilen hız vektörleri ve sıcaklık konturları görülmektedir.



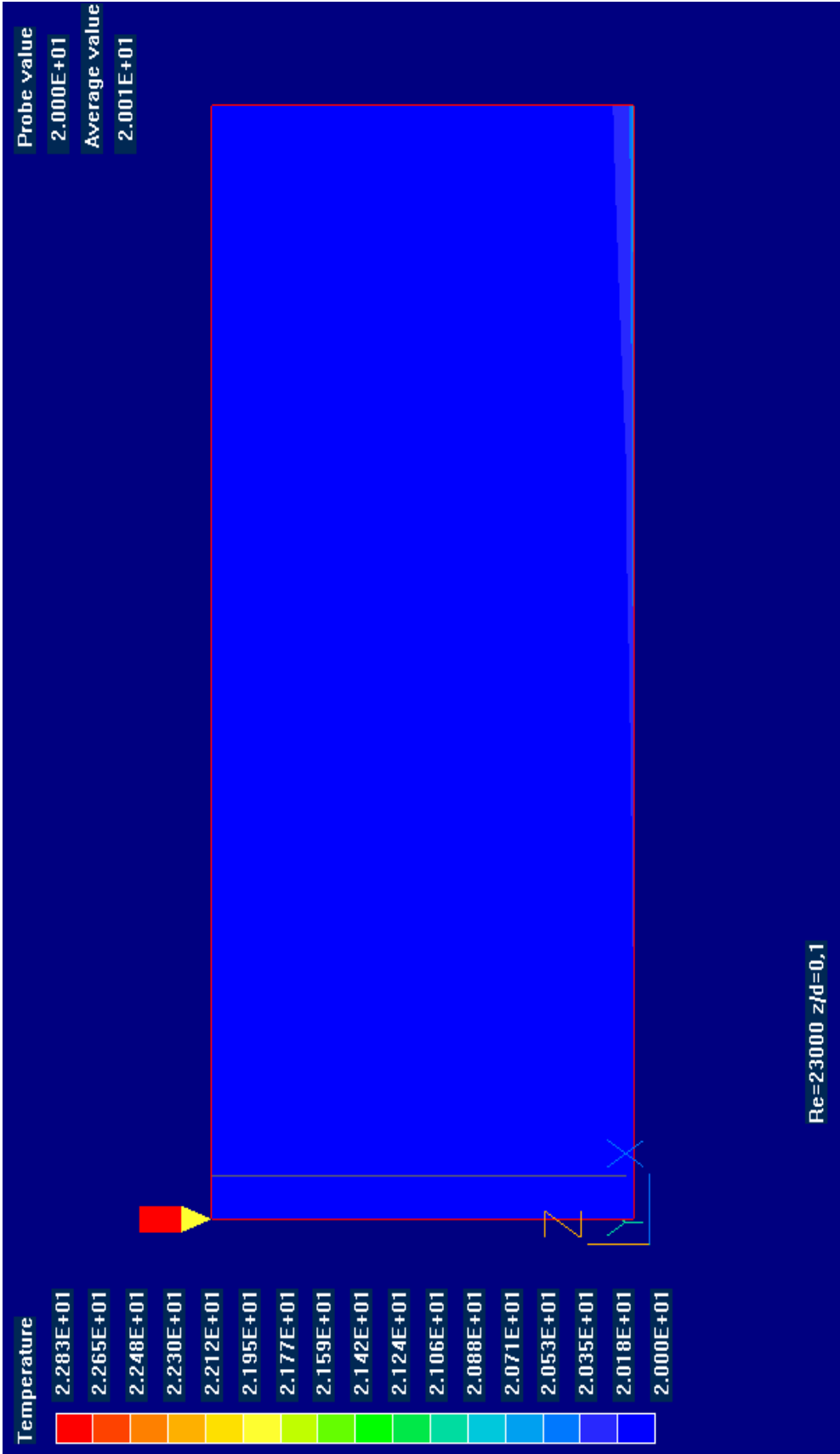
Şekil 5.9. Re=20000 ve  $z/d=0,1$  için hız vektörleri



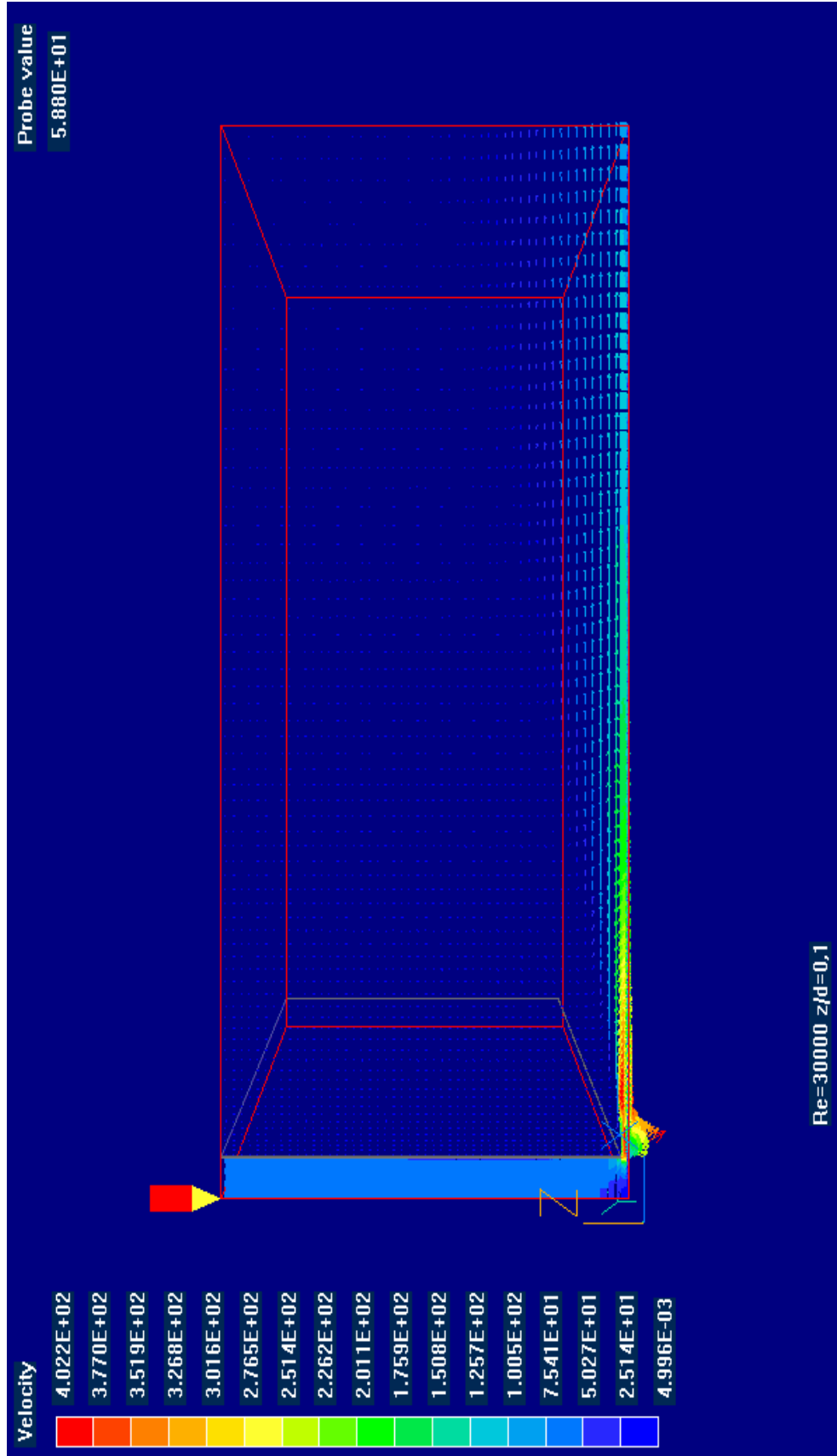
Şekil 5.10. Re=20000 ve z/d=0,1 için sıcaklık konturları



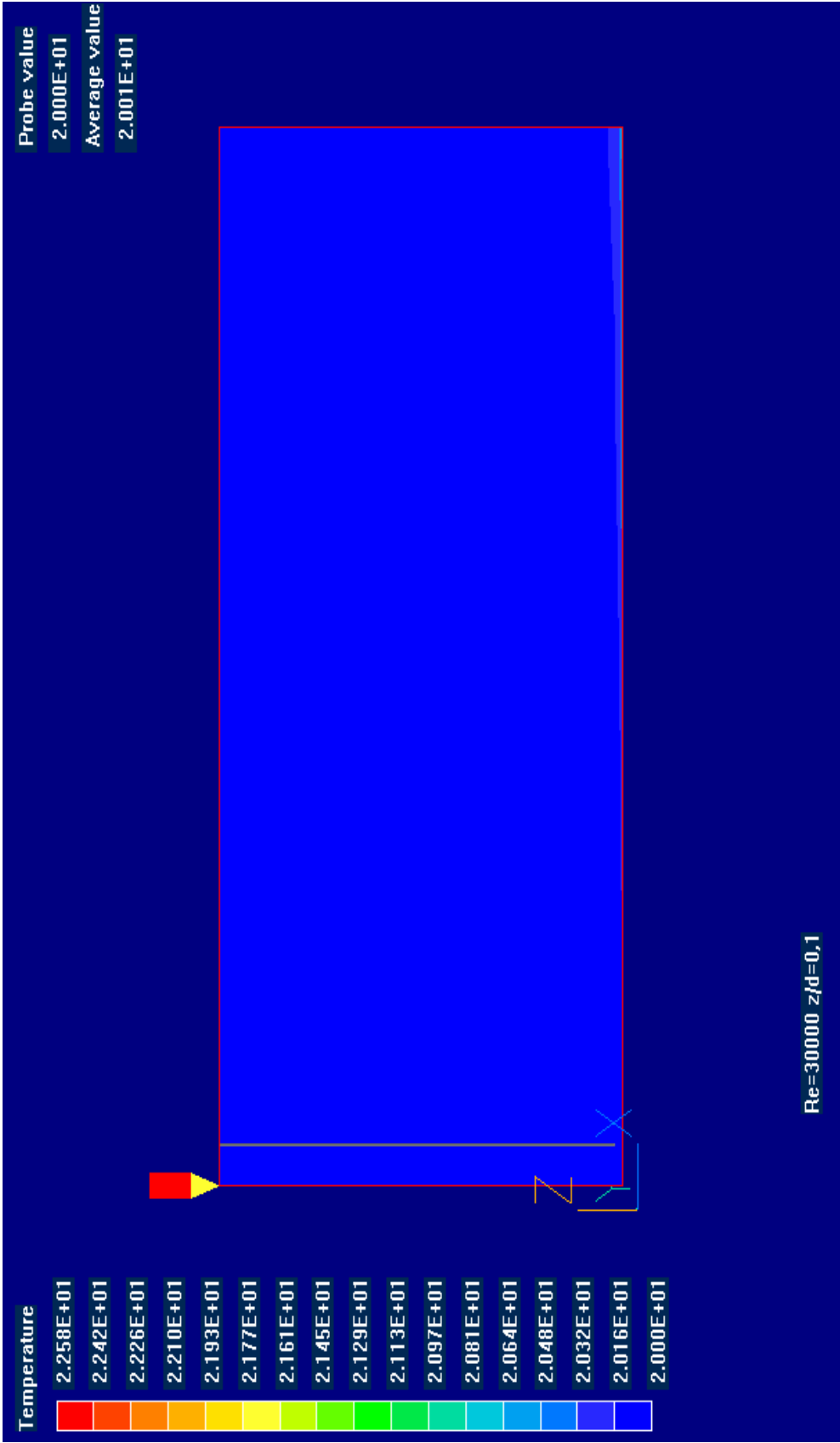
Şekil 5.11. Re=23000 ve  $z/d=0,1$  için hız vektörleri



Şekil 5.12.  $Re=23000$  ve  $z/d=0,1$  için sıcaklık konturları

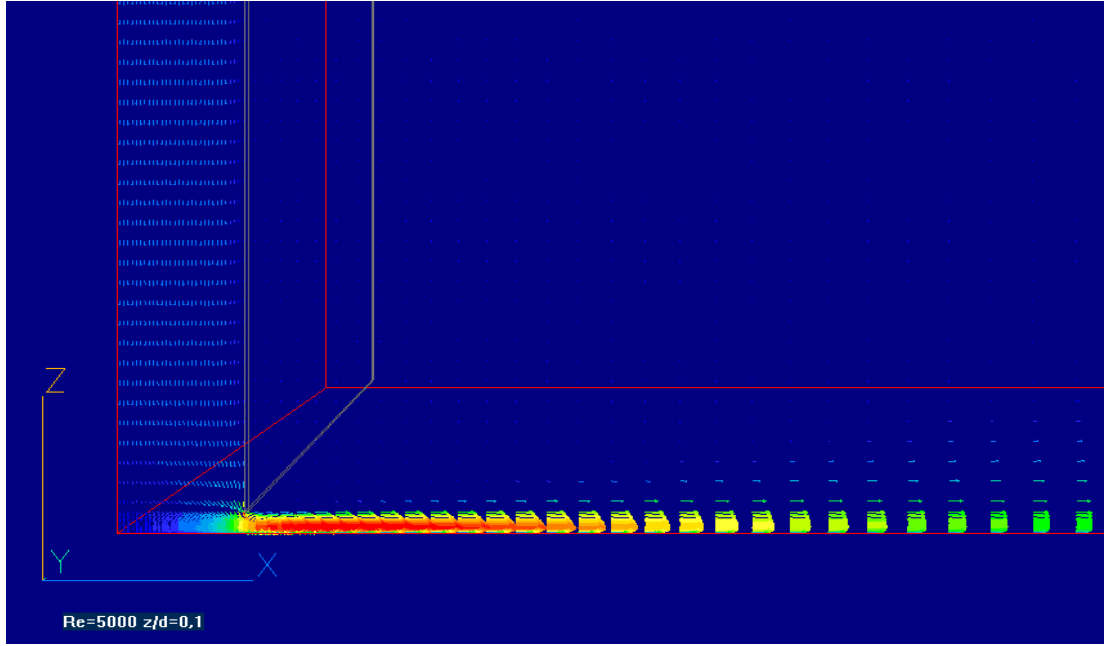


Şekil 5.13.  $Re=30000$  ve  $z/d=0,1$  için hız vektörleri

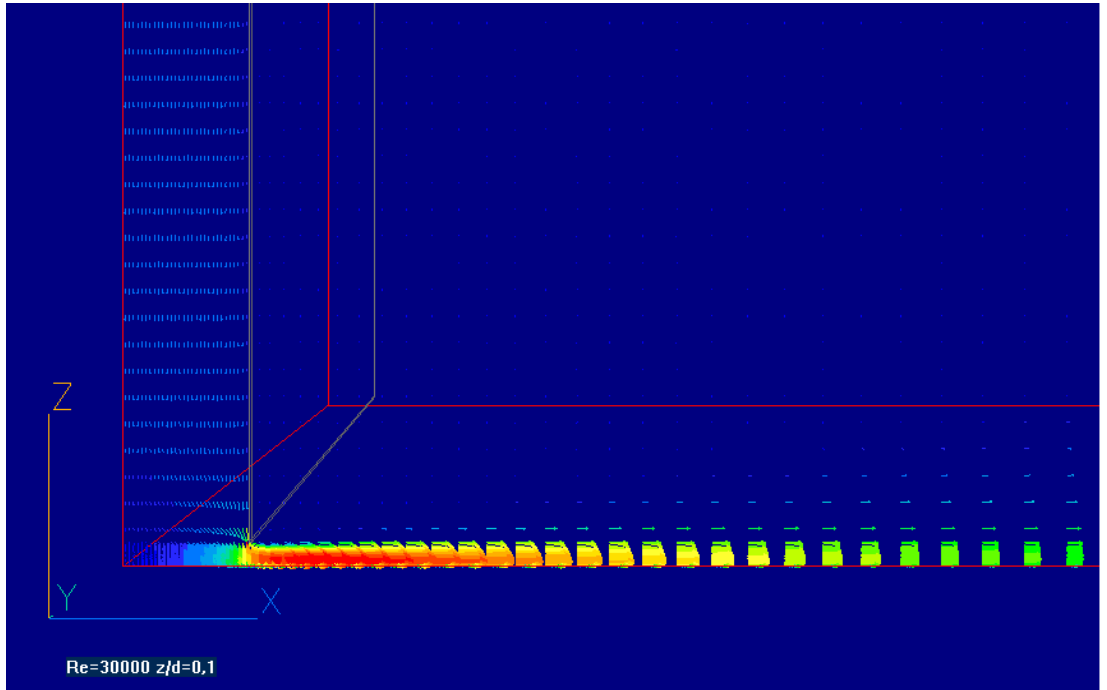


Şekil 5.14. Re=30000 ve z/d=0,1 için sıcaklık konturları

Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da  $z/d=0,1$  için  $Re=5000$  ve  $Re=30000$  için PHOENICS paket programından elde edilen çarpma bölgesinde oluşan hız vektörleri görülmektedir.

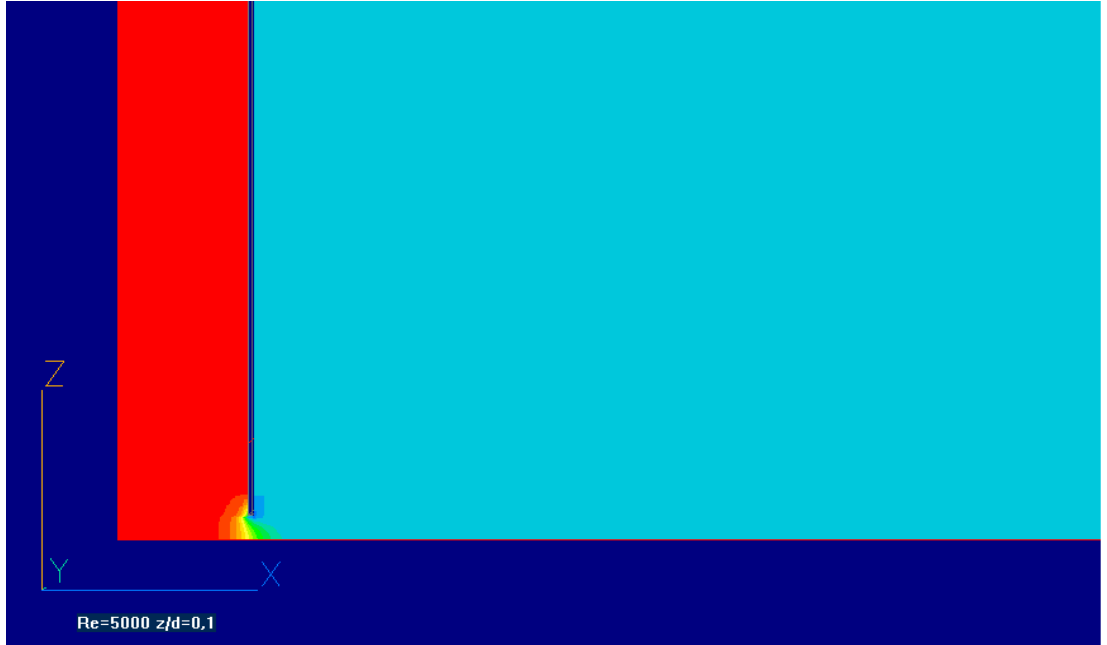


Şekil 5.15.  $Re=5000$  ve  $z/d=0,1$  için çarpma bölgesinde oluşan hız vektörleri

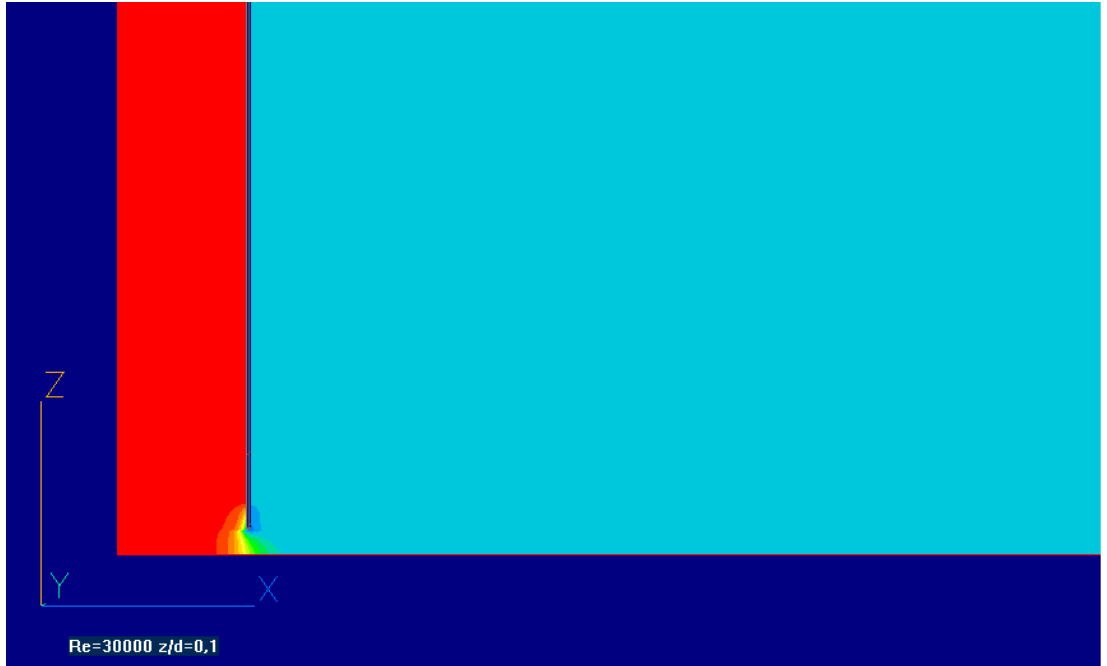


Şekil 5.16.  $Re=30000$  ve  $z/d=0,1$  için çarpma bölgesinde oluşan hız vektörleri

Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’de  $z/d=0,1$  için  $Re=5000$  ve  $Re=30000$  için PHOENICS paket programından elde edilen çarpma bölgesinde oluşan basınç konturları görülmektedir.



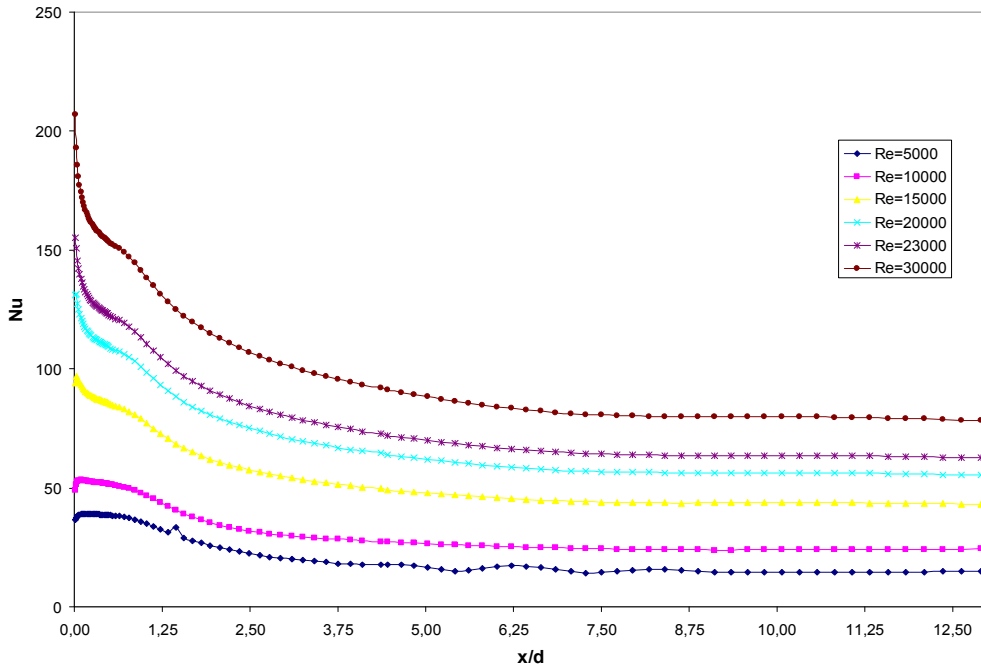
Şekil 5.17.  $Re=5000$  ve  $z/d=0,1$  için çarpma bölgesinde oluşan basınç konturları



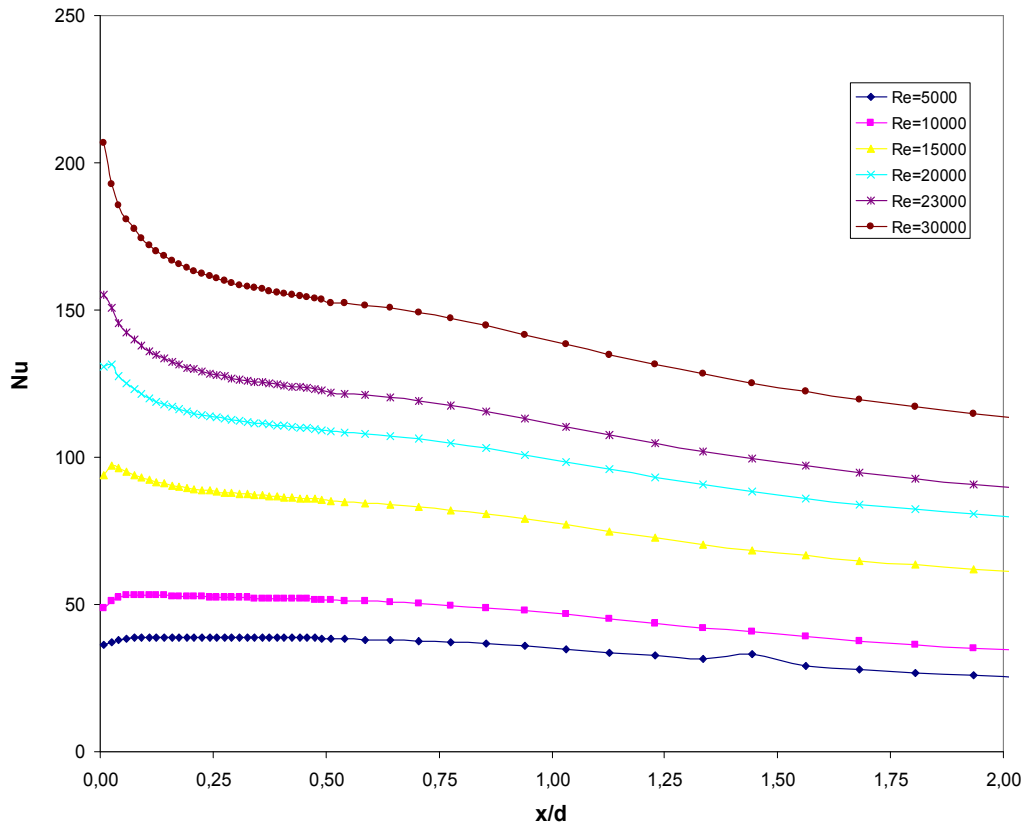
Şekil 5.18.  $Re=30000$  ve  $z/d=0,1$  için çarpma bölgesinde oluşan basınç konturları

Yüksek Re sayılarının seçildiği bu çözümlemelerde, PHOENICS paket programından elde edilen şekillerden de görüldüğü üzere hız vektörlerinin değerleri, düşük Re sayılarına göre daha yüksektir. Sıcaklık konturlarından da görüldüğü gibi, çözüm aralığı ortam sıcaklıklarındadır. Yine plaka sonunda hava sıcaklığı bir miktar artmıştır.

Şekil 5.19'da  $z/d=1,0$  için x eksenı boyunca tüm plaka yüzeyinde Re sayısı 5000, 10000, 15000, 20000, 23000 ve 30000 için elde edilen yerel Nu sayıları grafiğı mevcuttur. Şekil 5.20'de  $z/d=1,0$  için x eksenı boyunca plaka yüzeyinde  $x=2d$  mesafesine kadar Re sayısı 5000, 10000, 15000, 20000, 23000 ve 30000 için elde edilen yerel Nu sayıları grafiğı bulunmaktadır.



Şekil 5.19. Plaka boyunca farklı Re sayılarına karşılık gelen yerel Nu sayıları ( $z/d=1,0$ )



Şekil 5.20. Plaka üzerinde  $x/d=2,0$ 'a kadar farklı Re sayılarına karşılık gelen yerel Nu sayıları ( $z/d=1,0$ )

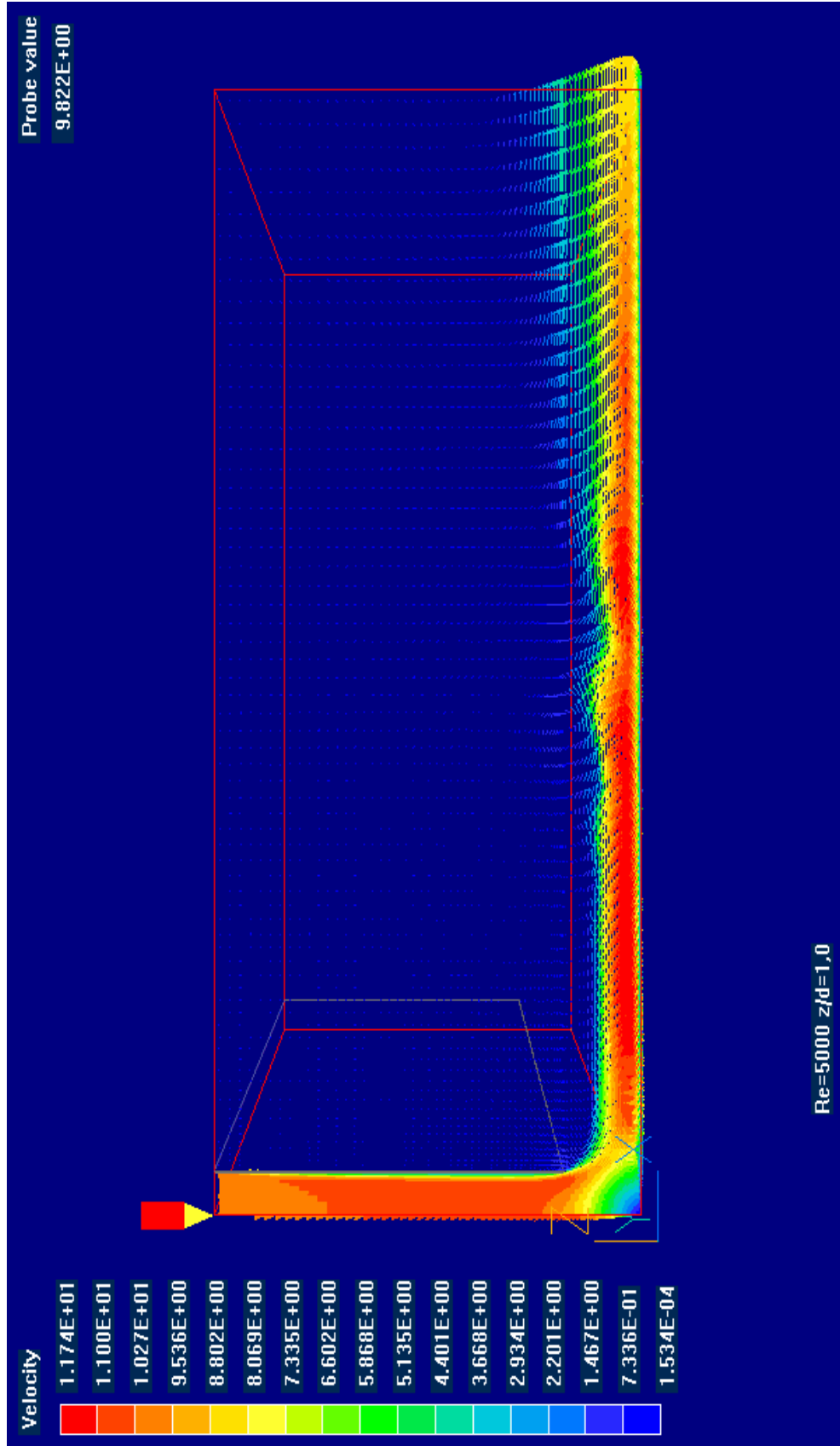
İkinci olarak lüle plaka mesafesi  $z/d=1,0$  seçilmiştir. Plaka sabit ısı akısı  $q''=1000$  W/m<sup>2</sup>, jet sıcaklığı  $T_j=20$  °C, lüle çapı  $d=7,8$  mm ve plaka uzunluğu simetri ekseninden itibaren x ekseninde  $L=10,16$  cm sabit tutularak, Re sayıları 5000, 10000, 15000, 20000, 23000 ve 30000 için çözümler gerçekleştirilmiştir.

Daha yüksek lüle plaka mesafesinin ( $z/d=1,0$ ) seçildiği bu çözümlerde Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'den de görüldüğü gibi, özellikle yüksek jet hızlarında yani yüksek Re sayılarında ( $Re=30000$ ,  $Re=23000$  ve  $Re=20000$ ) lüle merkezinde yani çarpma bölgesinde ısı transferi değerlerinin maksimum değere ulaştığı dolayısıyla hesaplanan yerel Nu sayısının değerlerinin de maksimum olduğu tespit edilmiştir. Re sayısının daha düşük seçildiği durumlarda ise ( $Re=15000$ ,  $Re=10000$  ve  $Re=5000$ ) plaka yüzeyindeki ısı transferi değerlerinin artışının çok yüksek olmadığı

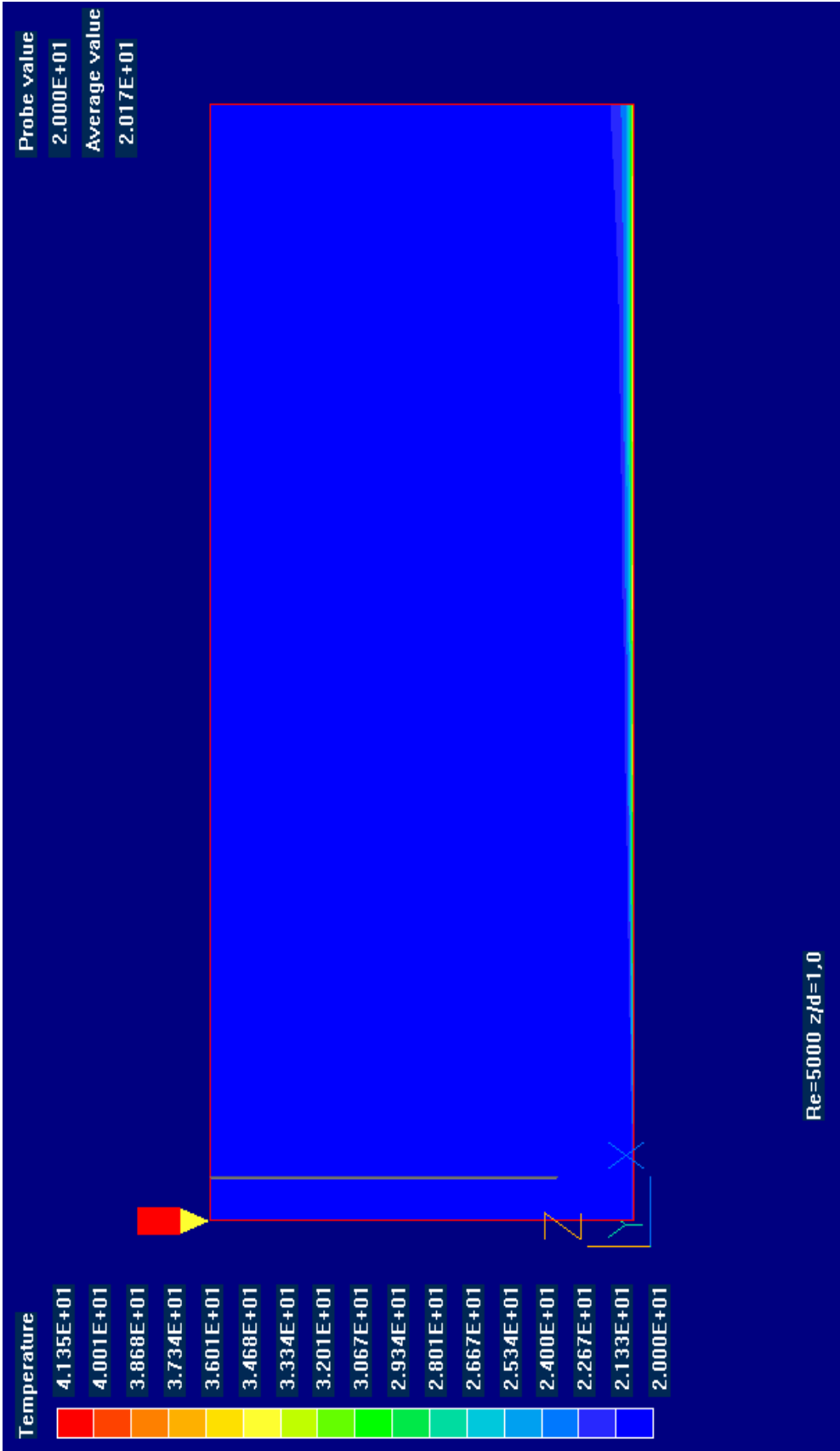
görülmektedir. Neredeyse sabit bir değerde ilerlemektedir. Düşük Re sayılarında ortalama Nu sayılarının da, yüksek Re sayılarına göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Grafiklerden görüldüğü üzere lüle plaka mesafesinin yüksek olduğu bu çözümlemede ( $z/d=1,0$ ); bir önceki çalışmada kullanılan düşük lüle plaka mesafelerinde olduğu gibi lüle çıkışında yerel Nu sayılarında bir maksimum meydana gelmemiştir. Özellikle Re sayısının 30000 seçildiği çalışmada yalnızca lüle çıkışında yani çarpma bölgesinde yerel Nu sayısında dolayısıyla ısı transferinde bir maksimum meydana gelmiştir.

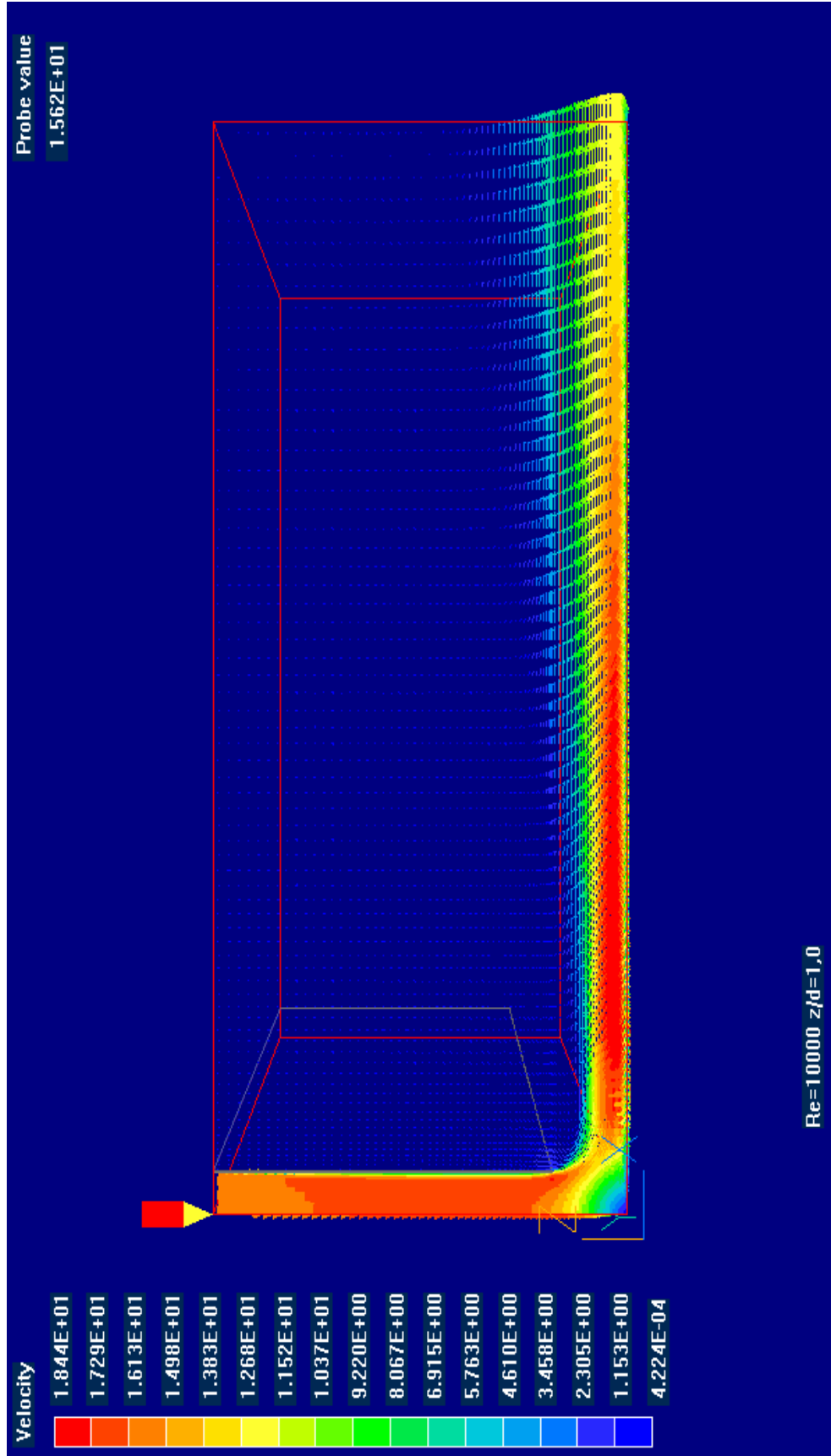
Şekil 5.21'den Şekil 5.26'ya kadar Re sayısı 5000, 10000 ve 15000, ayrıca lüle plaka mesafesi  $z/d=1,0$  için PHOENICS paket programından elde edilen hız vektörleri ve sıcaklık konturları görülmektedir.



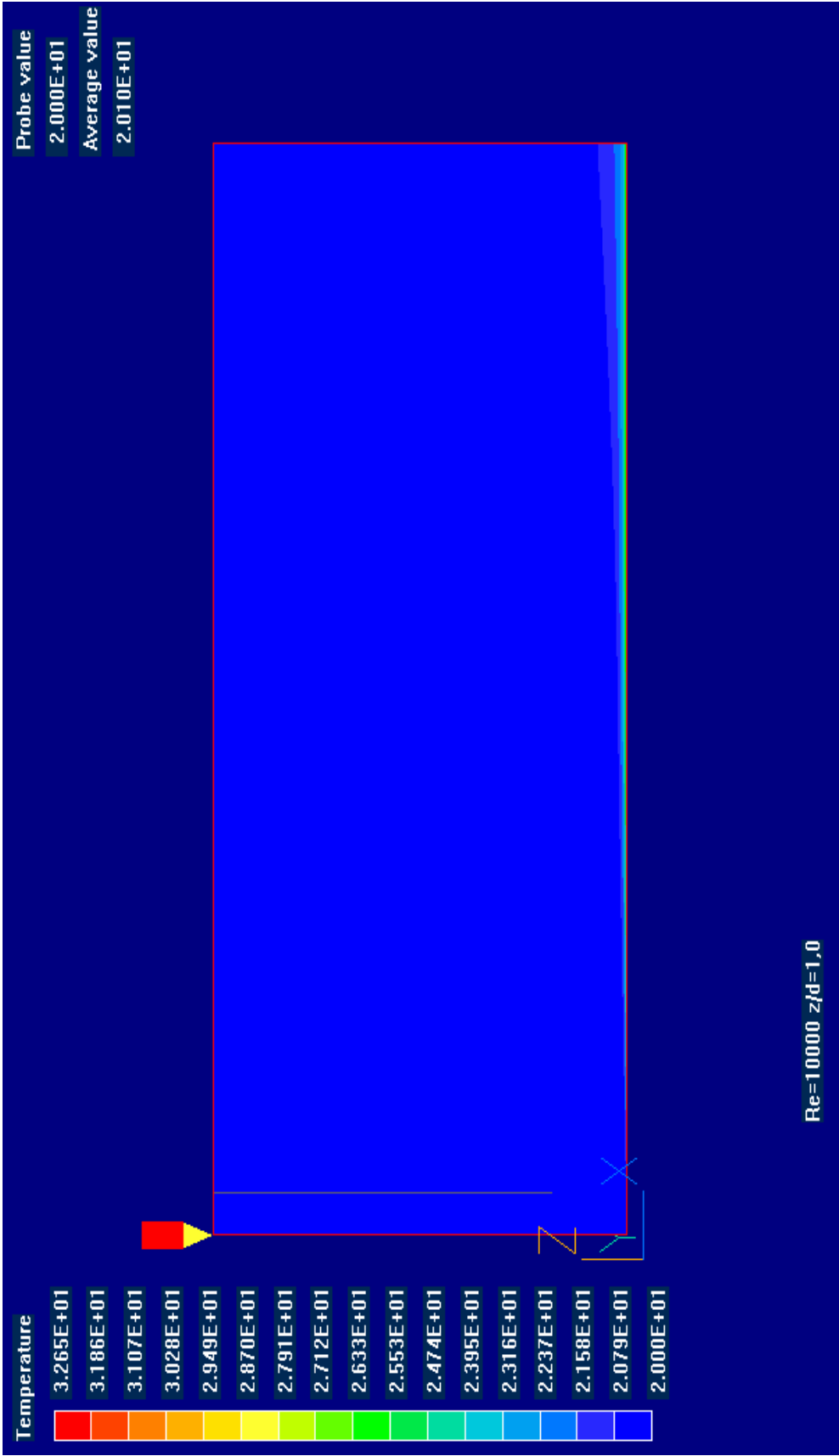
Şekil 5.21. Re=5000 ve  $z/d=1,0$  için hız vektörleri



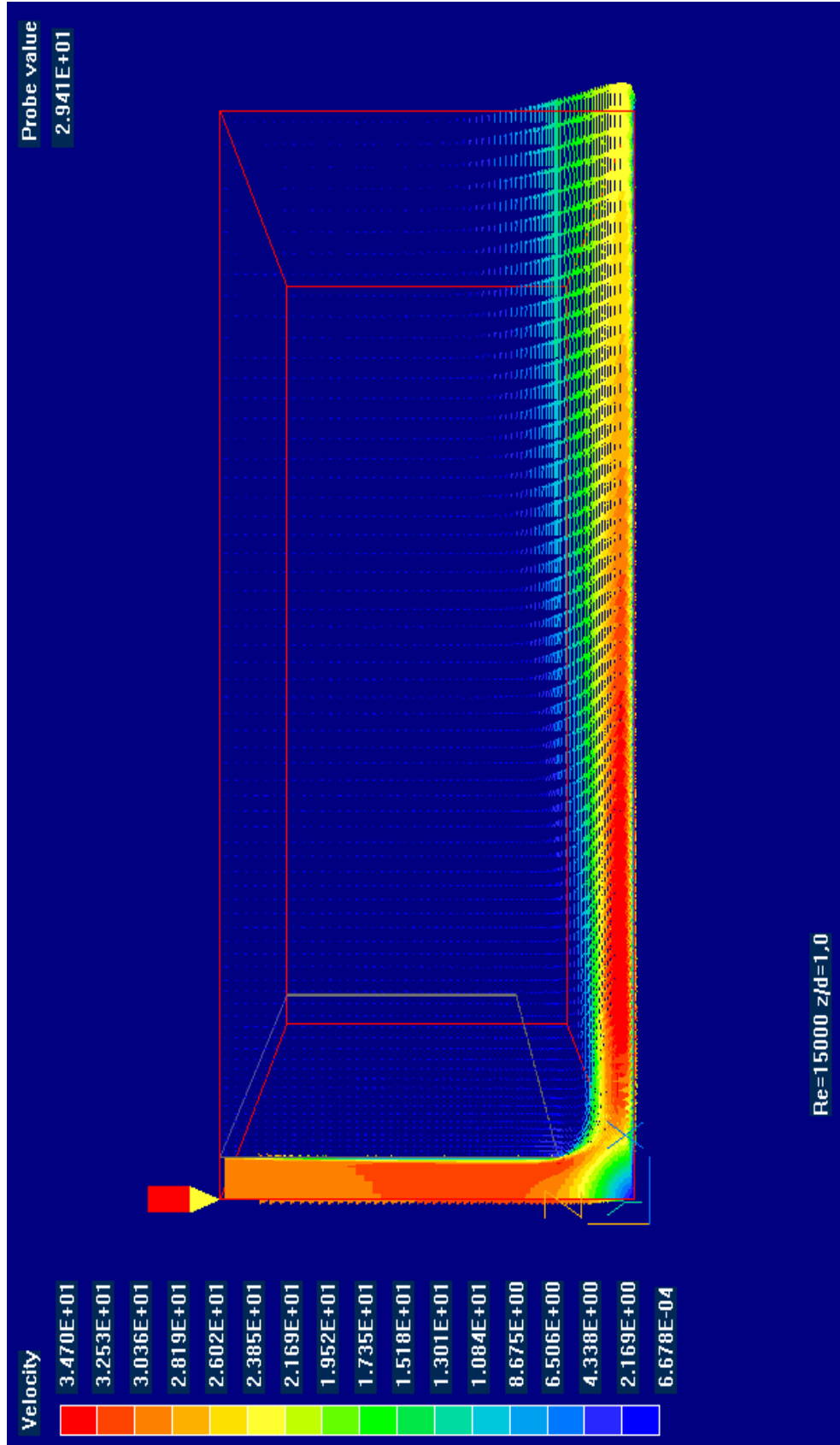
Şekil 5.22. Re=5000 ve z/d=1,0 için sıcaklık konturları



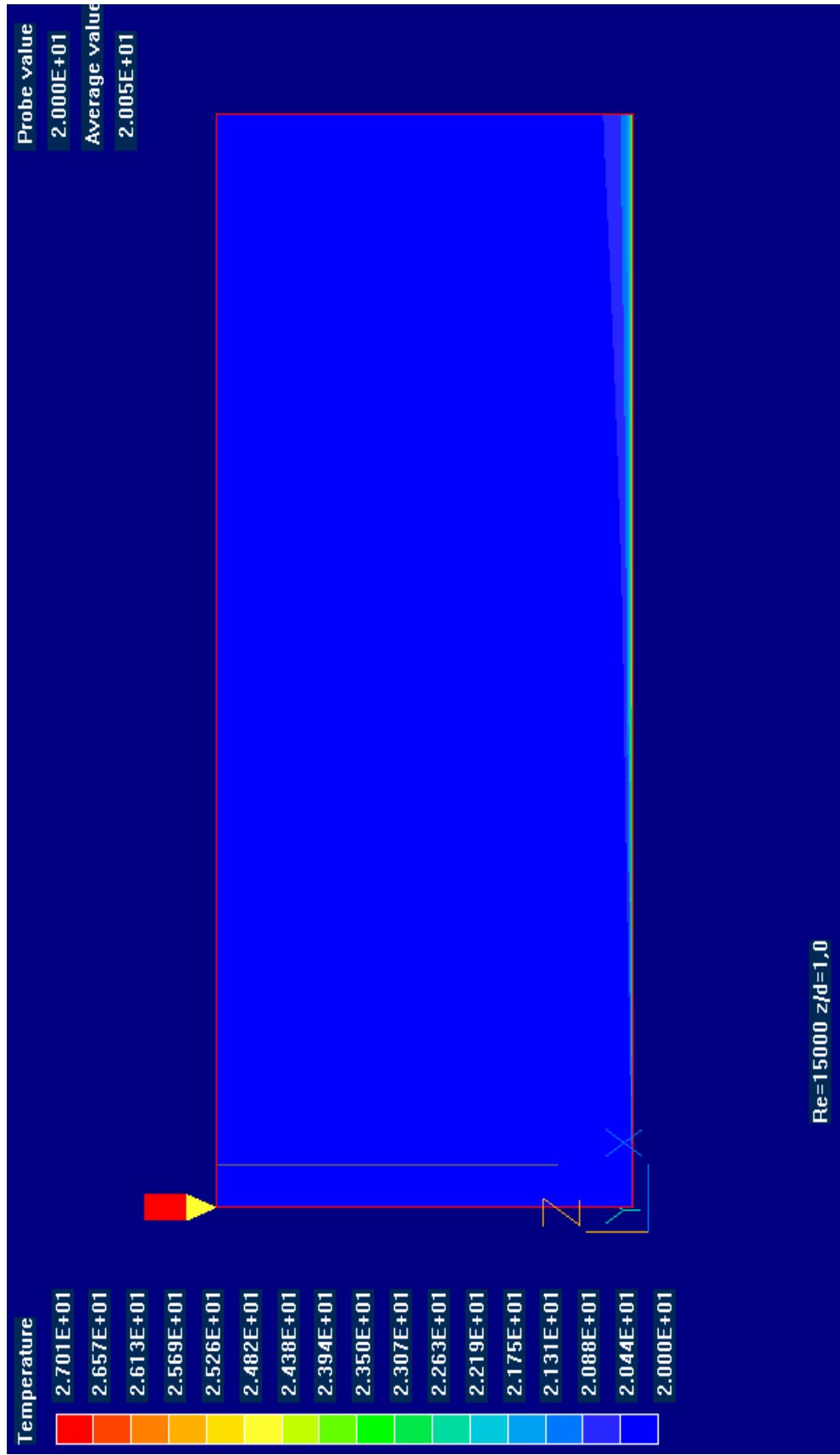
Şekil 5.23. Re=10000 ve  $z/d=1,0$  için hız vektörleri



Şekil 5.24. Re=10000 ve z/d=1,0 için sıcaklık konturları



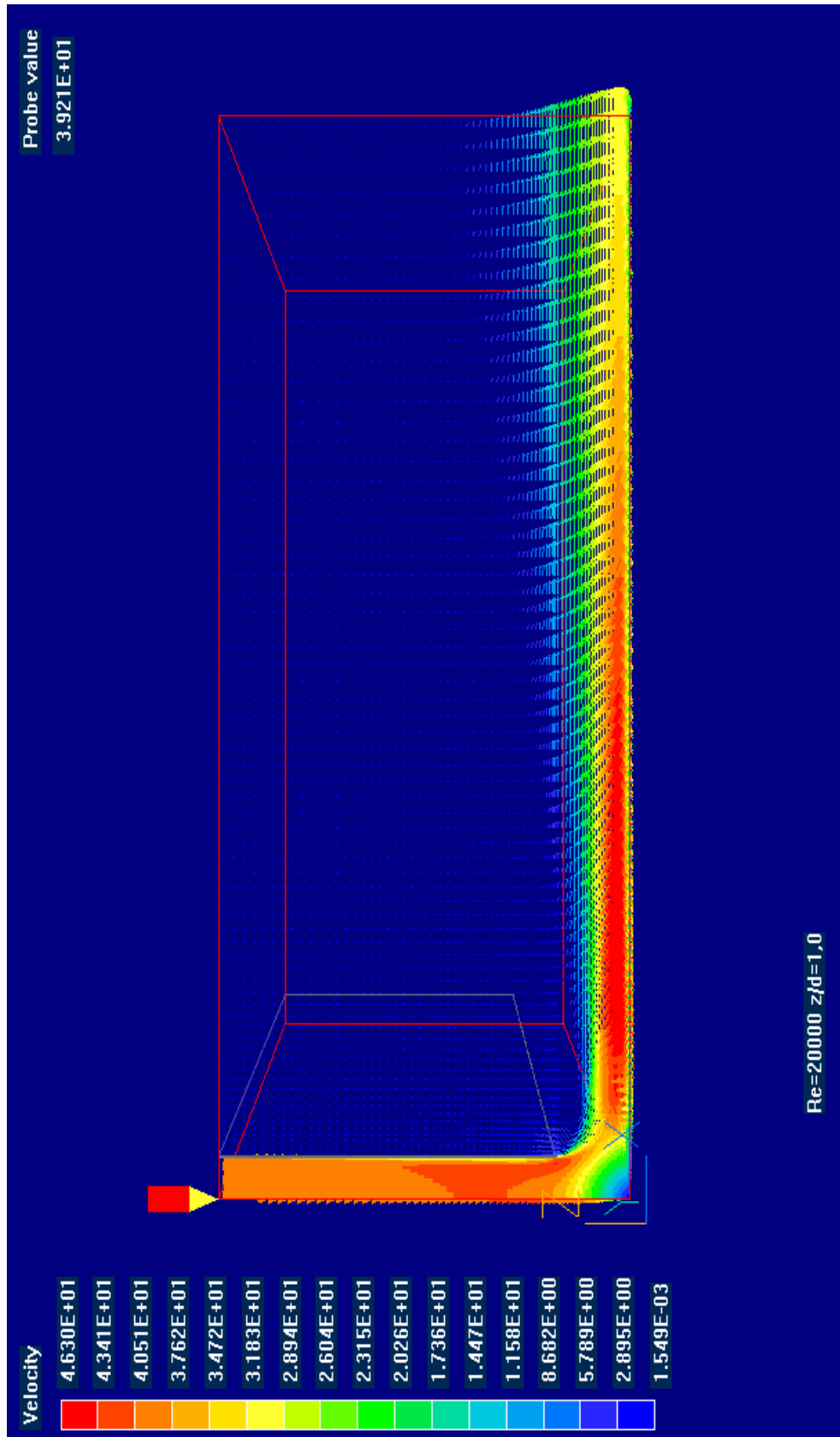
Şekil 5.25. Re=15000 ve  $z/d=1.0$  için hız vektörleri



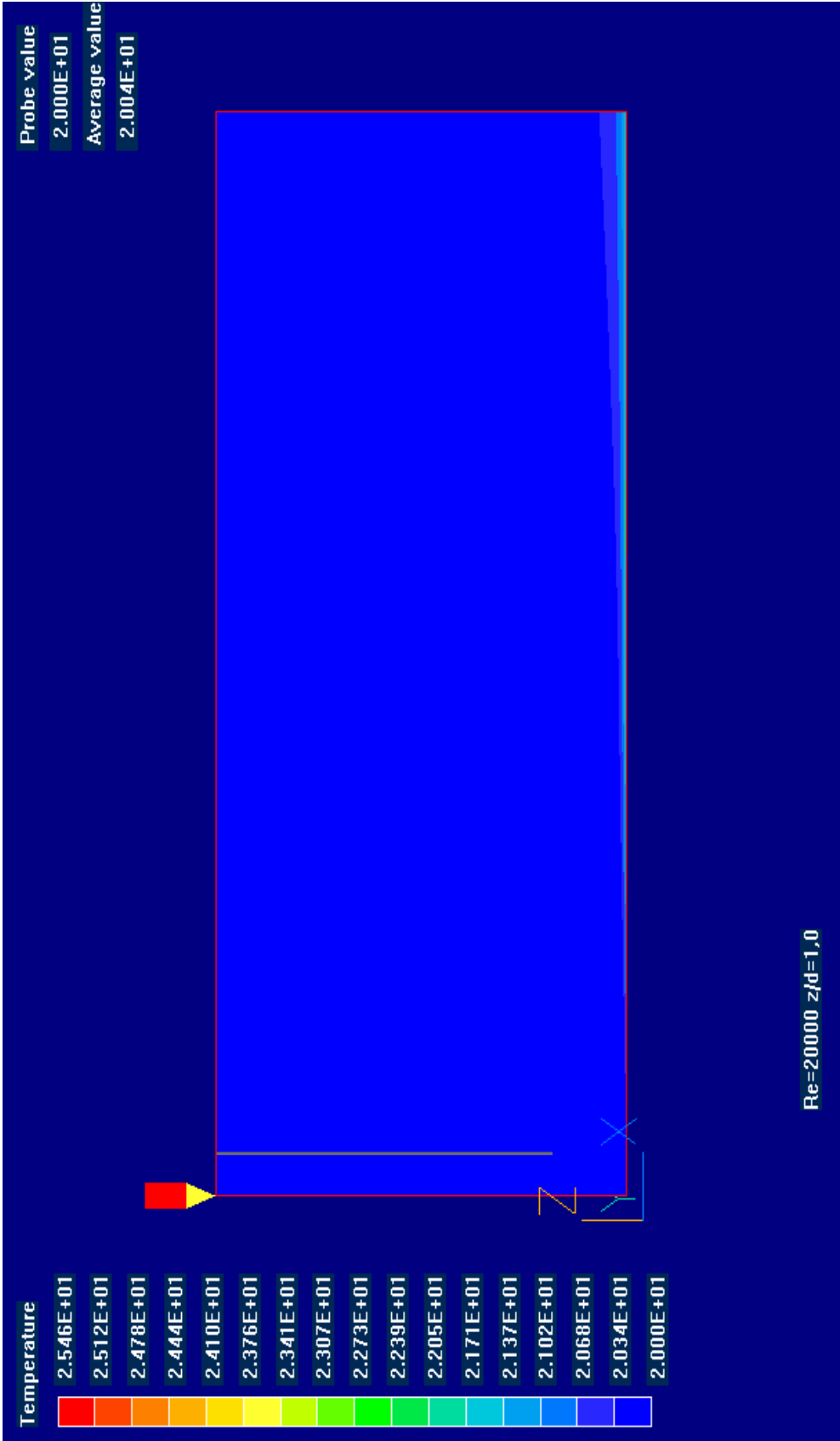
Şekil 5.26. Re=15000 ve  $z/d=1,0$  için sıcaklık konturları

Lüle plaka mesafesinin  $z/d=1,0$  alındığı ve düşük Re sayılarının seçildiği bu çözümlemelerde, PHOENICS paket programından elde edilen şekillerden de görüldüğü üzere hız vektörlerinin değerleri, lüle plaka mesafesi  $z/d=0,1$ 'e göre çok daha yüksektir. Düzlemin sağında tanımlanan çıkışta bile çıkan havanın hız vektörleri yüksek değerlerdedir. Sıcaklık konturlarından da çözüm aralığının ortam sıcaklığı değerlerinde olduğu saptanmıştır. Plaka sonlarında havanın bir miktar ısınarak belirlenen çıkış bölgesinden çıktığı görülmektedir. Sıcaklık değerleri de lüle plaka mesafesi  $z/d=0,1$ 'e göre daha da arttığı görülmektedir. Hız vektörü şekillerinden de görüldüğü gibi, çarpan hava jetinin düzlemin sağında tanımlanan çıkışın yarısından daha az bir bölümünden tanımlanan ortamı terk ettiği, üst bölgede tanımlanan çıkıştan bir çıkış gerçekleşmediği tespit edilmiştir

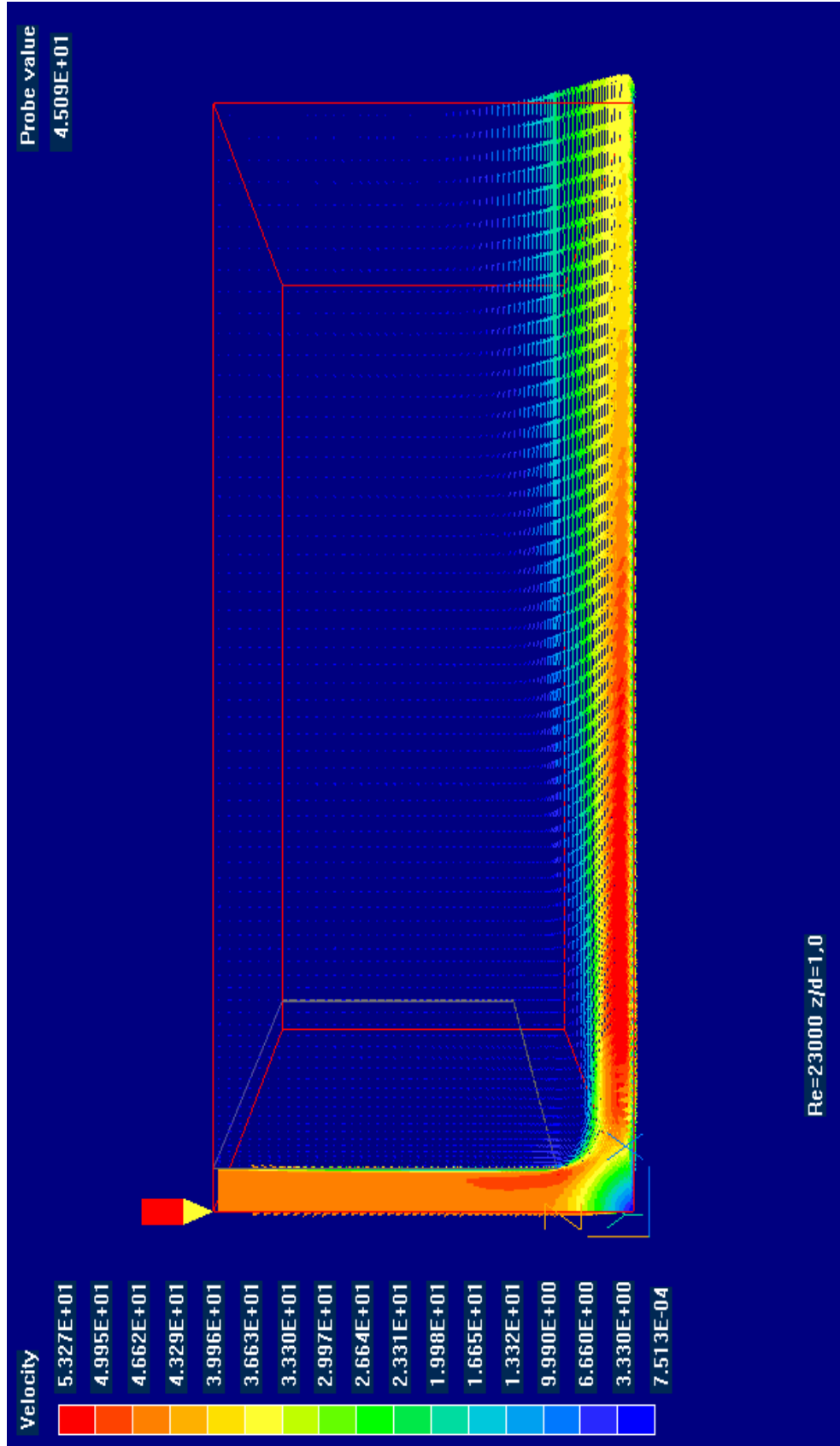
Şekil 5.27'den Şekil 5.32'ye kadar Re sayısı 20000, 23000 ve 30000, ayrıca lüle plaka mesafesi  $z/d=1,0$  için PHOENICS paket programından elde edilen hız vektörleri ve sıcaklık konturları görülmektedir.



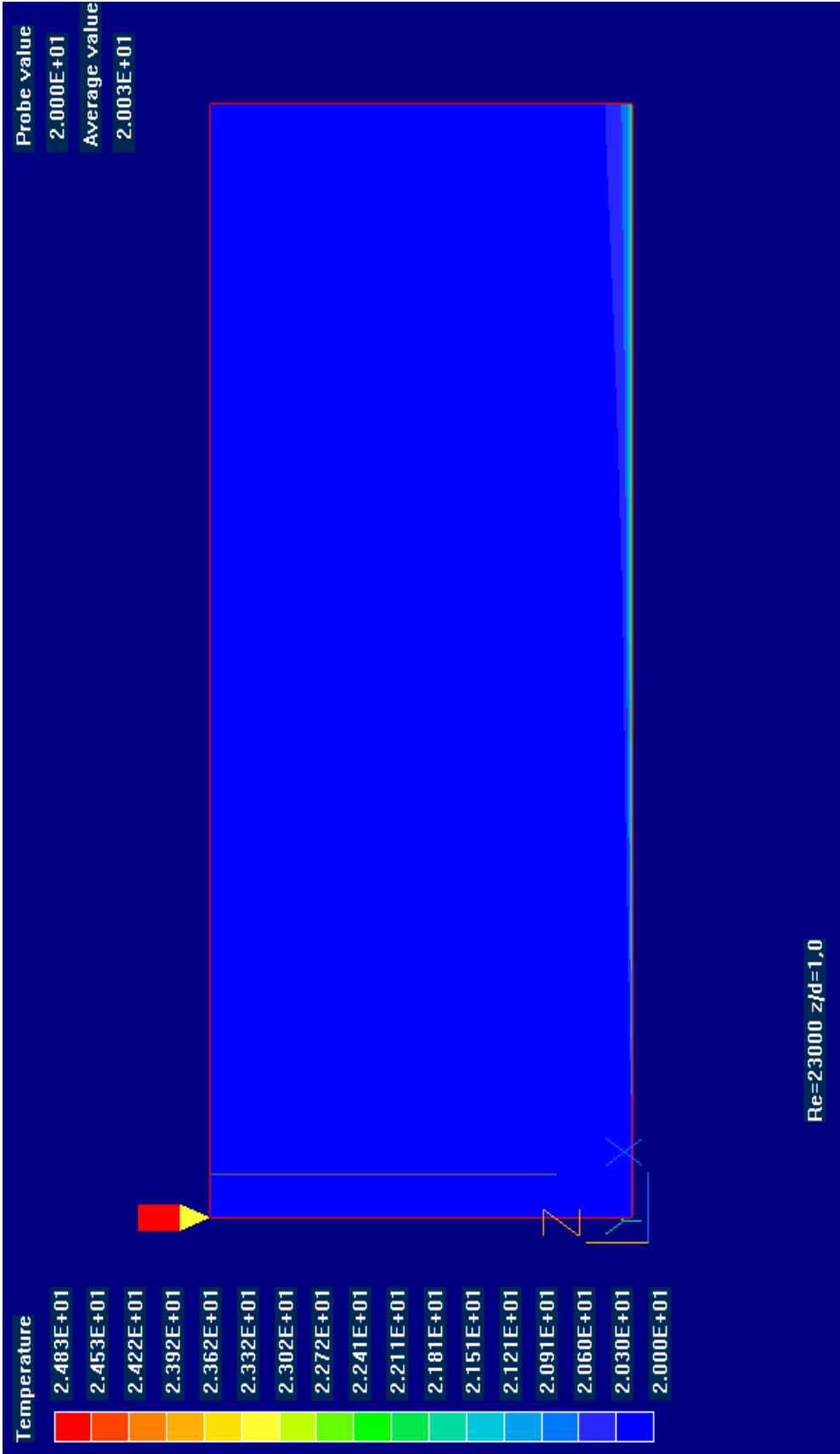
Şekil 5.27. Re=20000 ve  $z/d=1,0$  için hız vektörleri



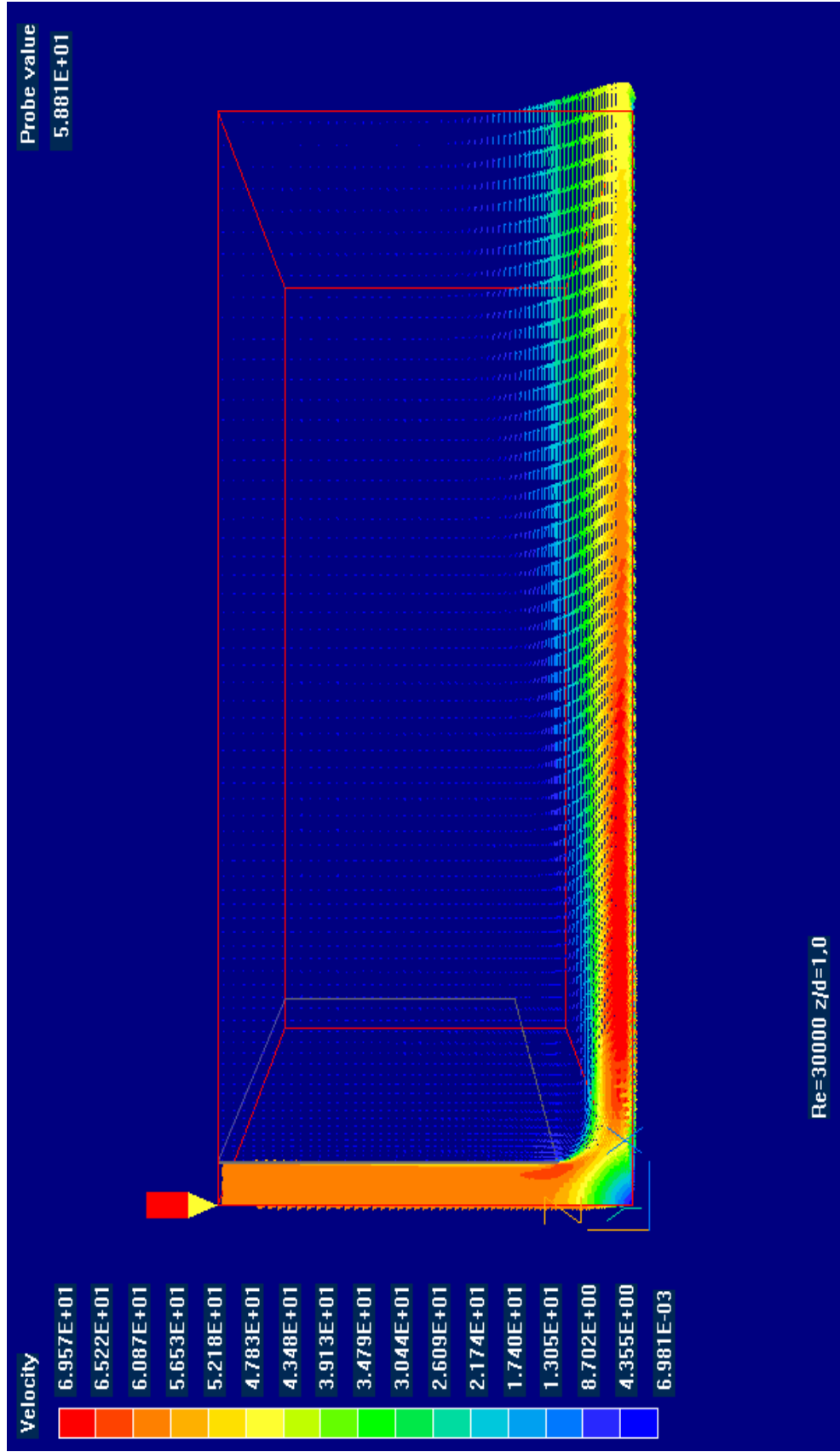
Şekil 5.28. Re=20000 ve  $z/d=1,0$  için sıcaklık konturları



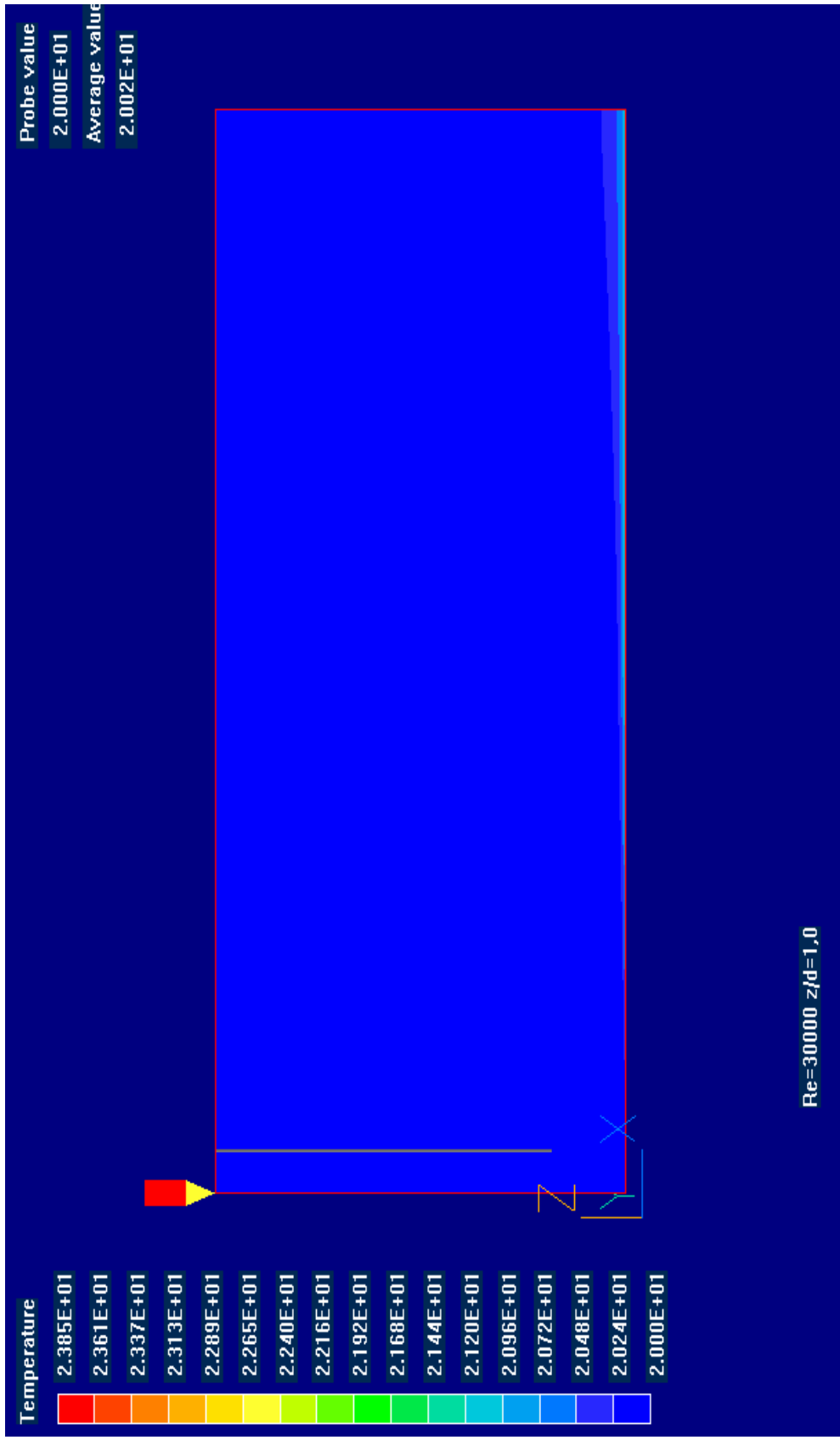
Şekil 5.29. Re=23000 ve  $z/d=1.0$  için hız vektörleri



Şekil 5.30. Re=23000 ve z/d=1,0 için sıcaklık konturları

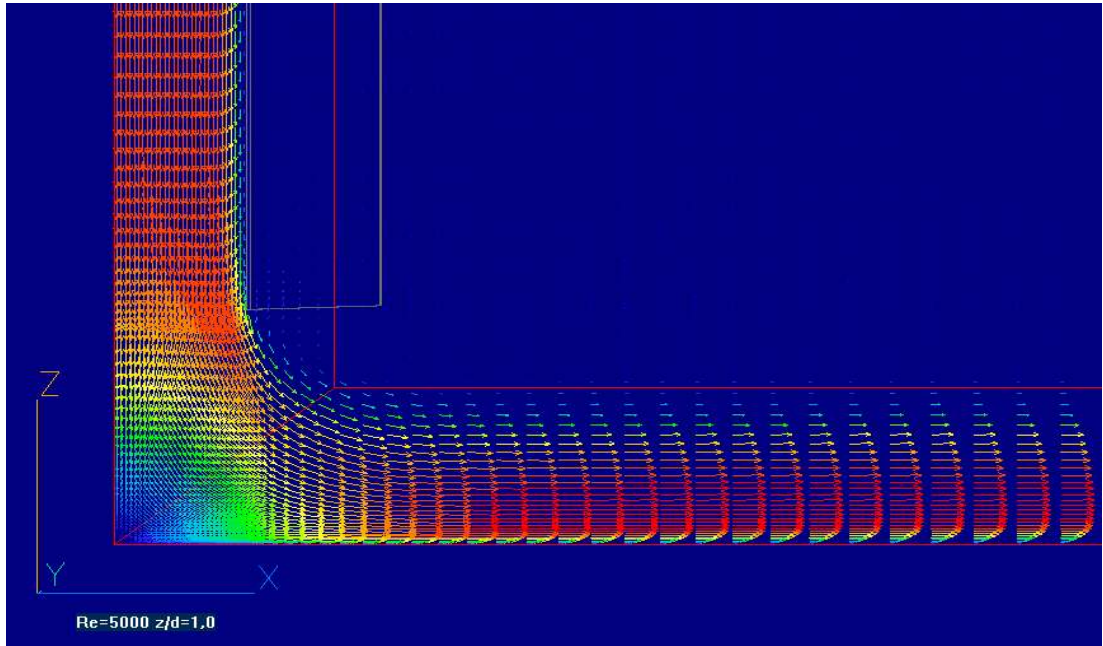


Şekil 5.31. Re=30000 ve  $z/d=1,0$  için hız vektörleri

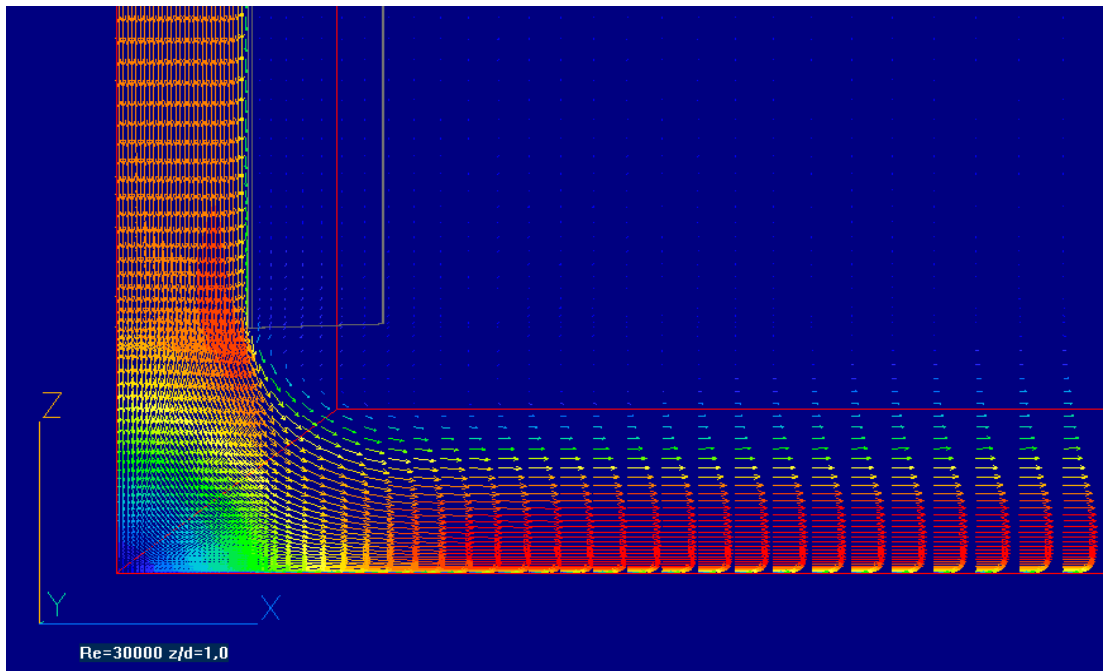


Şekil 5.32.  $Re=30000$  ve  $z/d=1,0$  için sıcaklık konturları

Şekil 5.33 ve Şekil 5.34’de  $z/d=1,0$  için  $Re=5000$  ve  $Re=30000$  için PHOENICS paket programından elde edilen çarpma bölgesinde oluşan hız vektörleri görülmektedir.

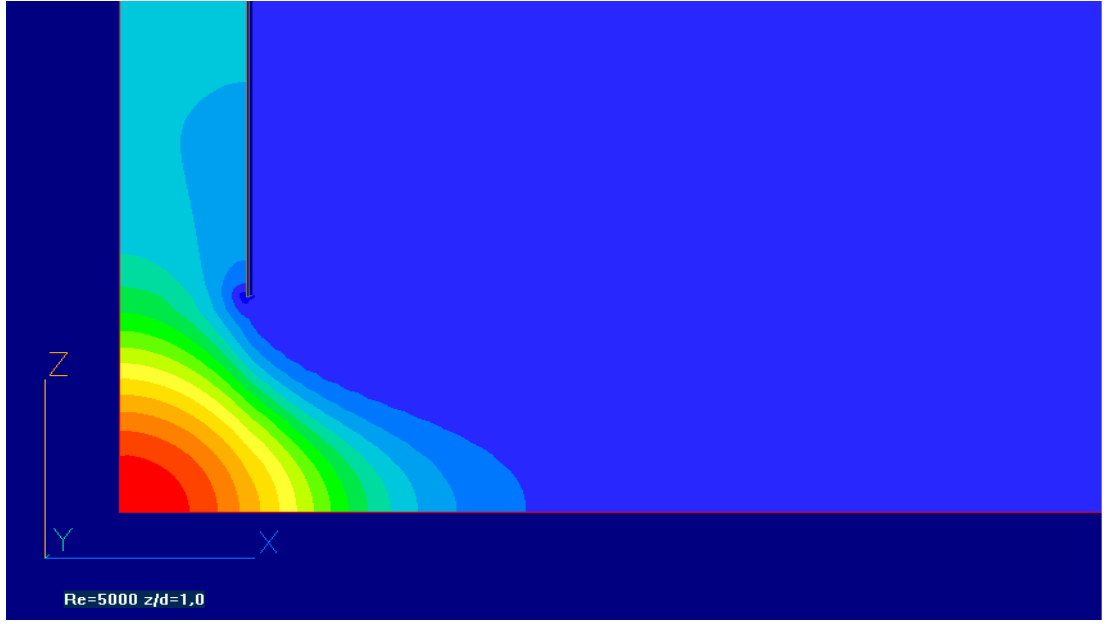


Şekil 5.33.  $Re=5000$  ve  $z/d=1,0$  için çarpma bölgesinde oluşan hız vektörleri

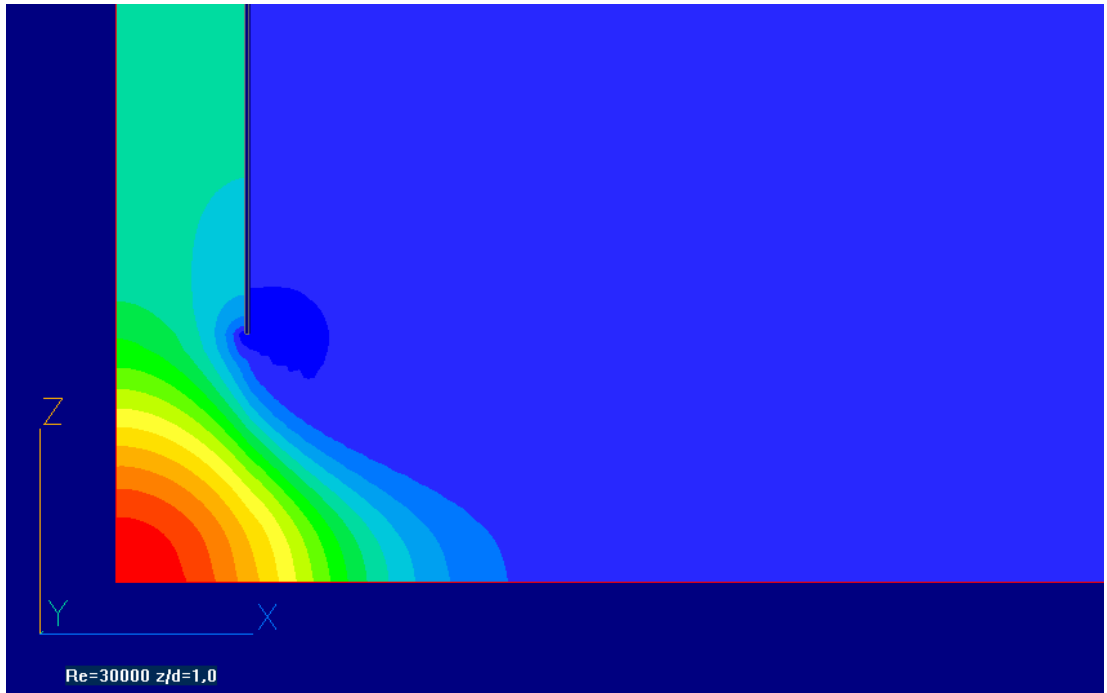


Şekil 5.34.  $Re=30000$  ve  $z/d=1,0$  için çarpma bölgesinde oluşan hız vektörleri

Şekil 5.35 ve Şekil 5.36'da  $z/d=1,0$  için  $Re=5000$  ve  $Re=30000$  için PHOENICS paket programından elde edilen çarpma bölgesinde oluşan basınç konturları görülmektedir.



Şekil 5.35.  $Re=5000$  ve  $z/d=1,0$  için çarpma bölgesinde oluşan basınç konturları

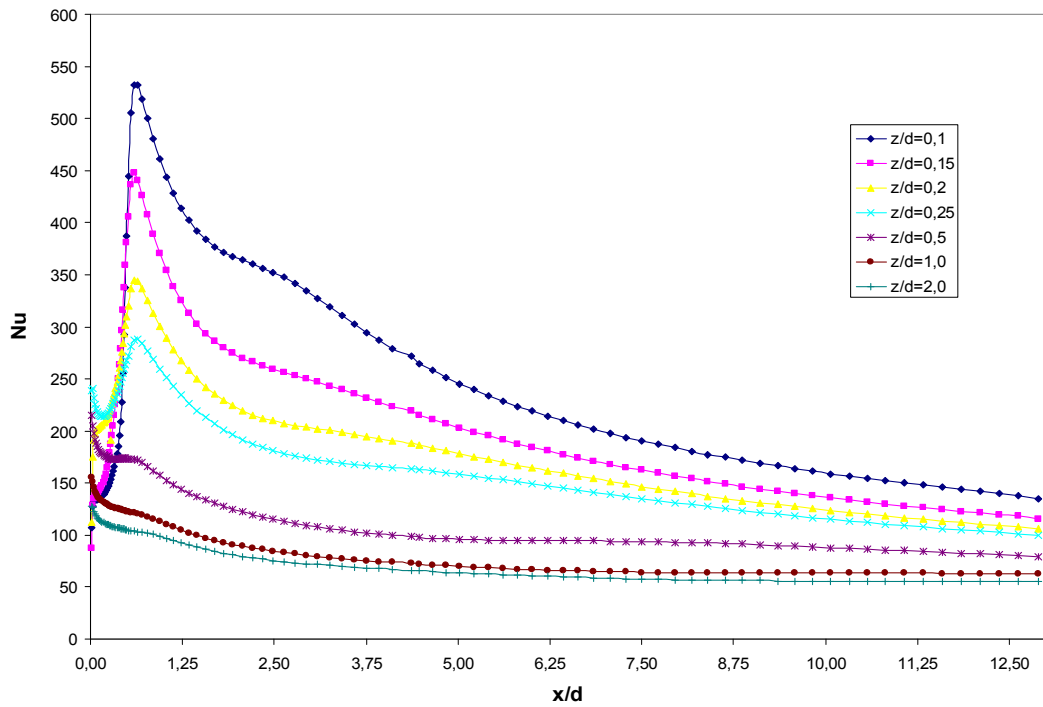


Şekil 5.36.  $Re=30000$  ve  $z/d=1,0$  için çarpma bölgesinde oluşan basınç konturları

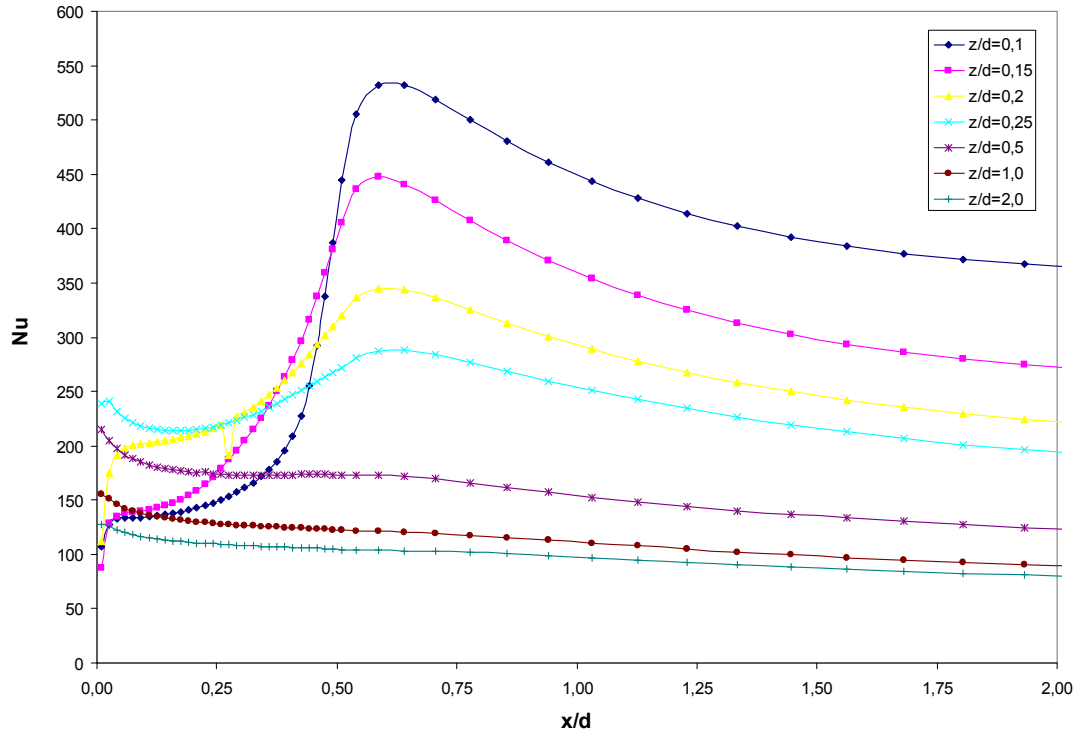
Yüksek  $Re$  sayılarının seçildiği bu çözümlemelerde, PHOENICS paket programından elde edilen şekillerden de görüldüğü üzere hız vektörlerinin değerleri, düşük  $Re$  sayılarındakine göre daha yüksektir. Sıcaklık konturlarından da görüldüğü gibi, ortamı terk eden havanın sıcaklığı düşük  $Re$  sayılarındakine oranla daha düşüktür. Yine plaka sonunda hava sıcaklığı bir miktar artmıştır.

## 5.2. Lüle – Plaka Arası Mesafenin Isı Transferine Etkisinin İncelenmesi

Şekil 5.37’de  $Re=23000$  için  $x$  eksenı boyunca tüm plaka yüzeyinde  $z/d$  oranı 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,5; 1,0 ve 2,0 için elde edilen yerel  $Nu$  sayıları grafiğı mevcuttur. Şekil 5.38’de  $Re=23000$  için  $x$  eksenı boyunca plaka yüzeyinde  $x=2d$  mesafesine kadar  $z/d$  oranı 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,5; 1,0 ve 2,0 için elde edilen yerel  $Nu$  sayıları grafiğı bulunmaktadır.



Şekil 5.37.  $Re=23000$  için plaka boyunca farklı  $z/d$  oranlarına karşılık gelen yerel  $Nu$  sayıları



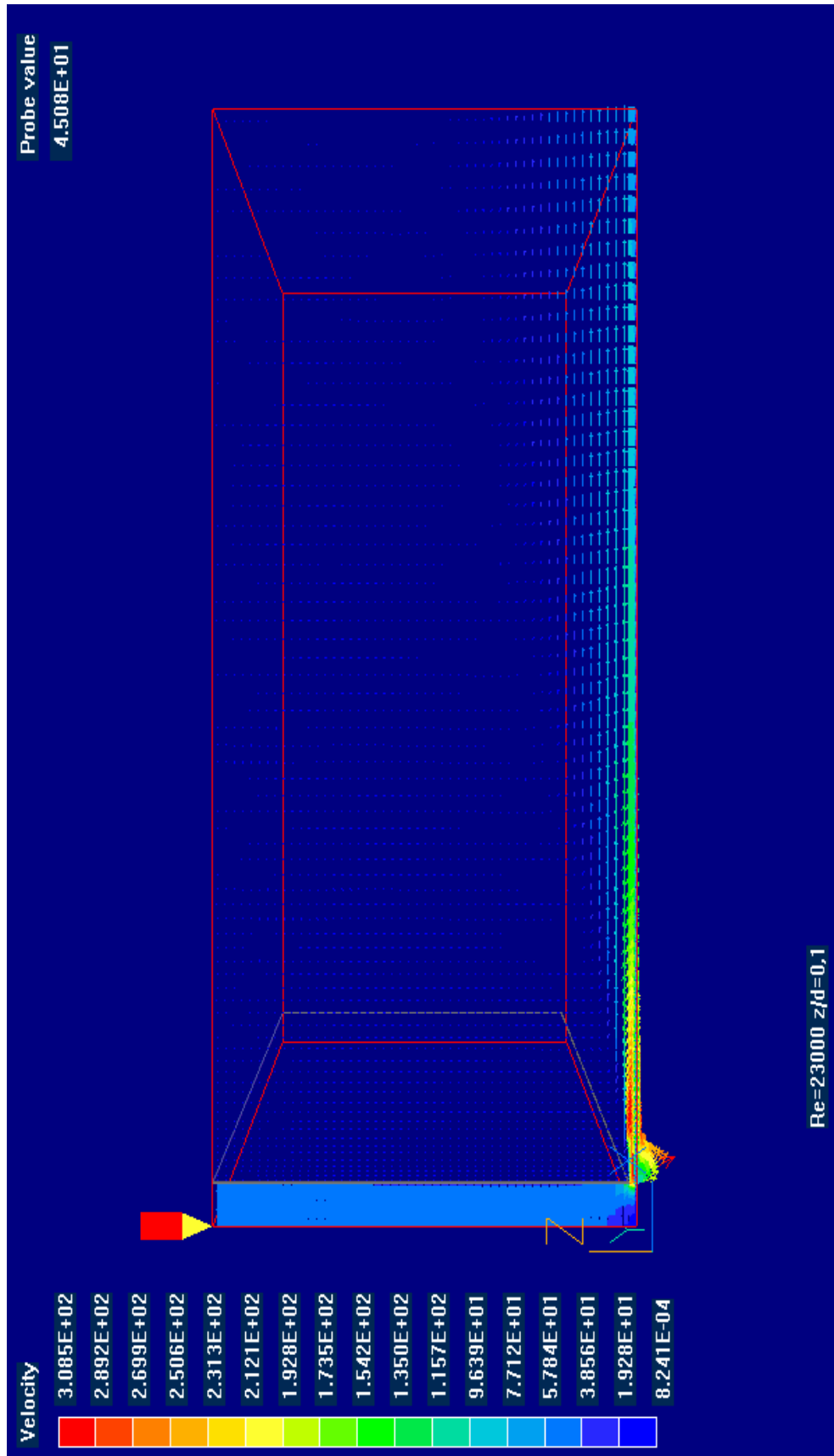
Şekil 5.38.  $Re=23000$  için plaka üzerinde  $x/d=2,0$ ' a kadar farklı  $z/d$  oranlarına karşılık gelen yerel Nu sayıları

Bu bölümde lüle plaka mesafesinin ( $z/d$ ) ısı transferine etkisi incelenmiştir. Plaka sabit ısı akısı  $q''=1000 \text{ W/m}^2$ , jet sıcaklığı  $T_j=20 \text{ }^\circ\text{C}$ , lüle çapı  $d=7,8 \text{ mm}$  ve plaka uzunluğu simetri ekseninden itibaren  $x$  ekseninde  $L=10,16 \text{ cm}$  sabit tutularak,  $Re$  sayısı 23000 seçilmiştir ve lüle plaka mesafesi  $z/d=0,1, 0,15, 0,2, 0,25, 0,5, 1,0$  ve  $2,0$  için yedi ayrı çözüm gerçekleştirilmiştir.

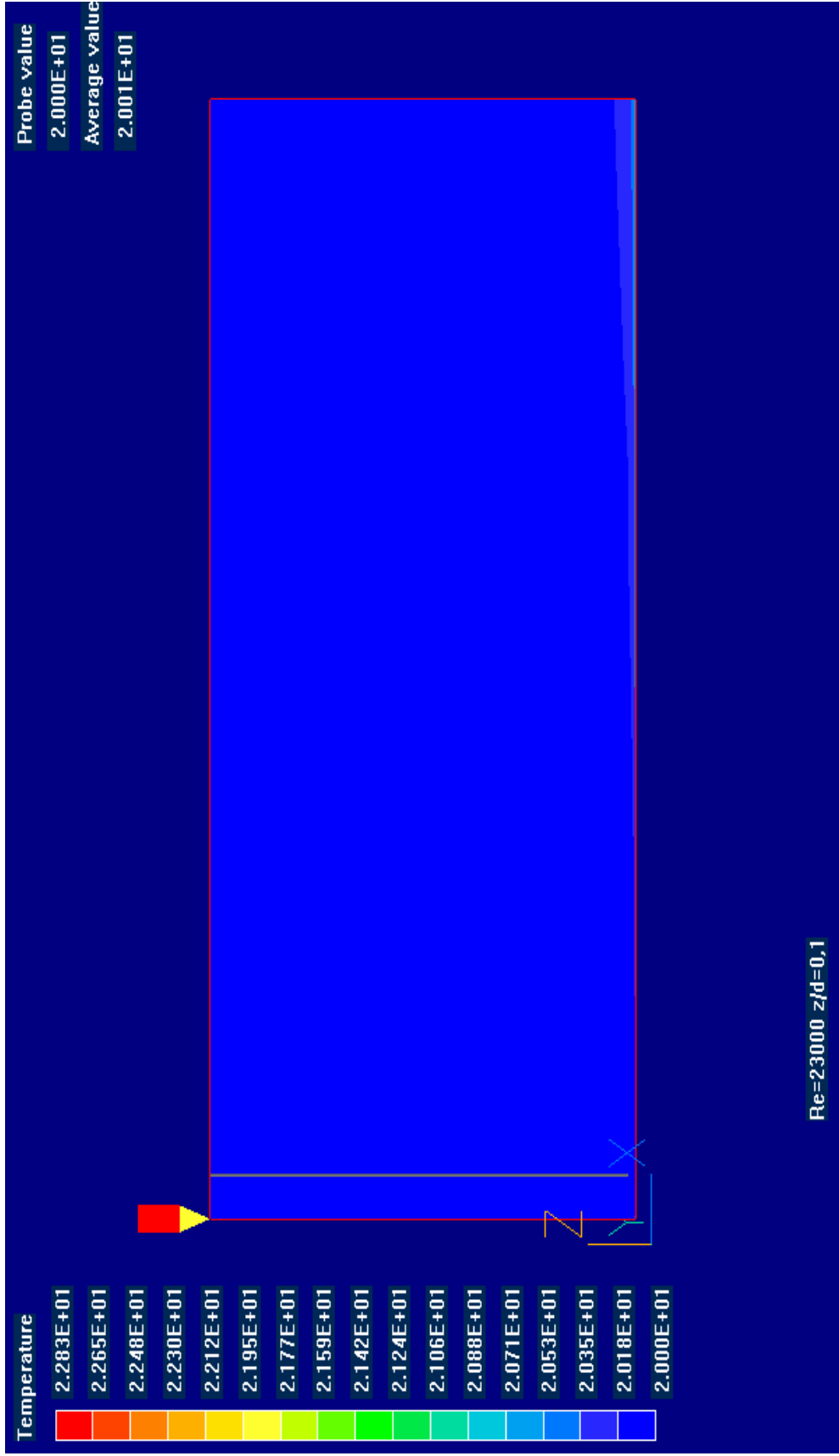
Grafiklerden görüldüğü gibi,  $Re$  sayısı 23000 için yapılan bu parametrik çalışmada farklı lüle plaka mesafeleri denenerek yerel Nu sayısı değişimleri incelenmiştir. Bu sayısal çözümlemede lüle plaka mesafesi  $z/d=0,1, 0,15, 0,2$  ve  $0,25$  için lüle çıkışında yerel Nu sayılarında bir maksimum tespit edilmiştir. Ancak lüle plaka mesafesi arttıkça lüle çıkışındaki bu maksimum kaybolmaktadır. Lüle plaka mesafesi  $z/d=0,5, 1,0$  ve  $2,0$  için sadece çarpma noktasında bir maksimum oluşmuş; plaka

boyunca nerdeyse sabit yerel Nu sayısı dolayısıyla sabit bir ısı transferi gerçekleşmiştir.

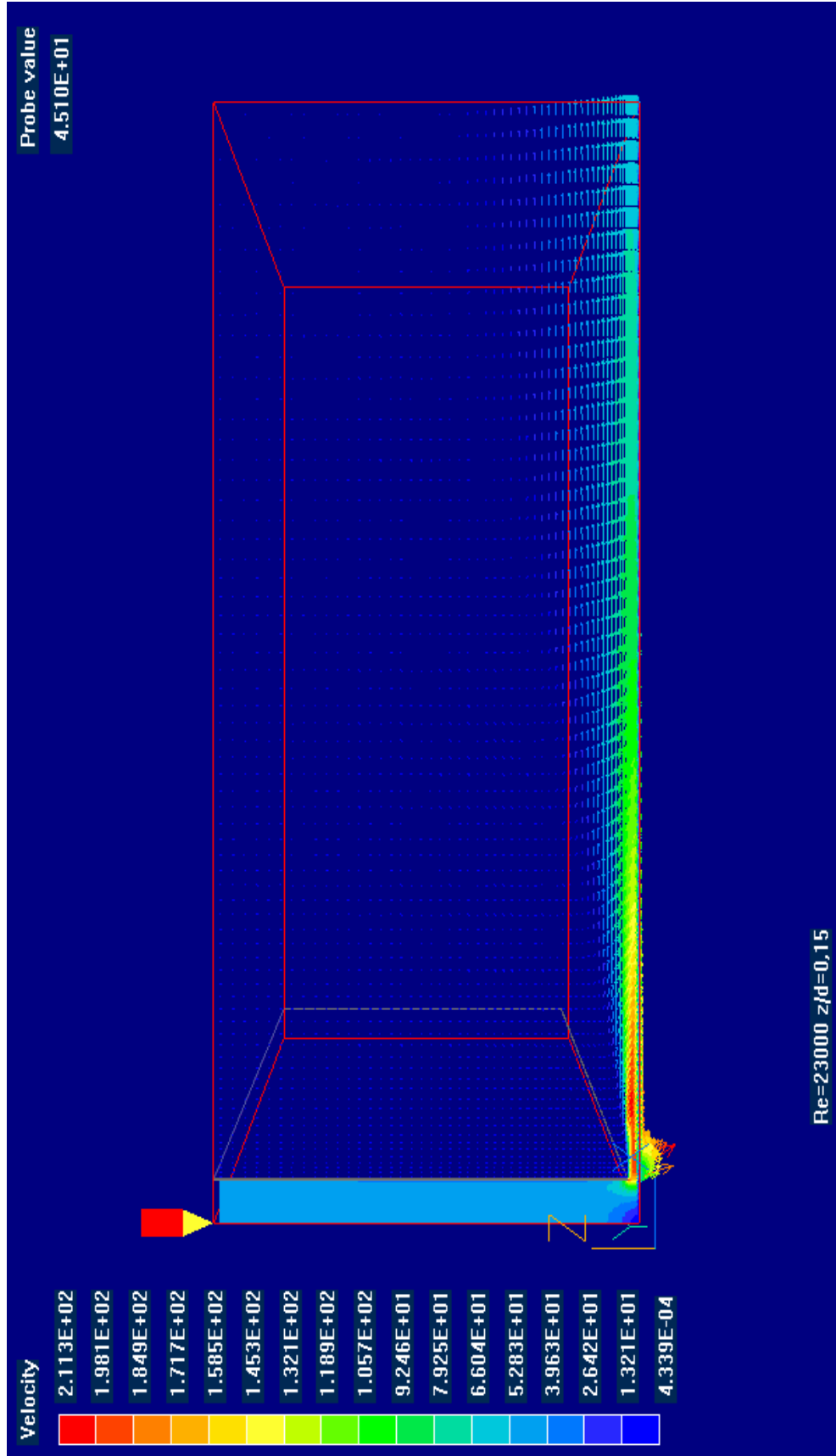
Şekil 5.39'dan Şekil 5.46'ya kadar Re sayısı 23000 ve lüle plaka mesafesi  $z/d=0,1, 0,15, 0,2$  ve  $0,25$  değerleri için PHOENICS paket programından elde edilen hız vektörleri ve sıcaklık konturları görülmektedir.



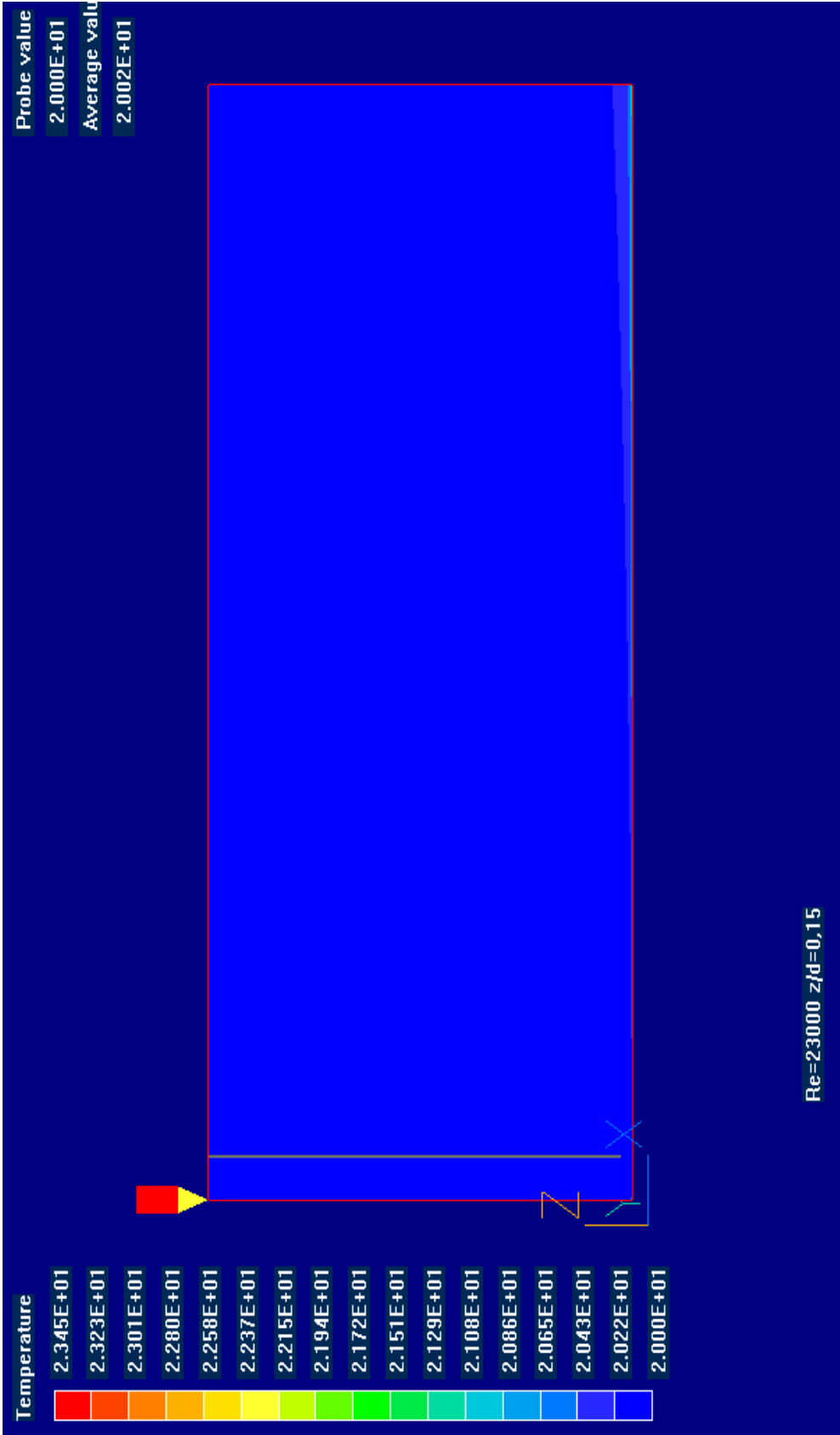
Şekil 5.39.  $Re=23000$  ve  $z/d=0,1$  için hız vektörleri



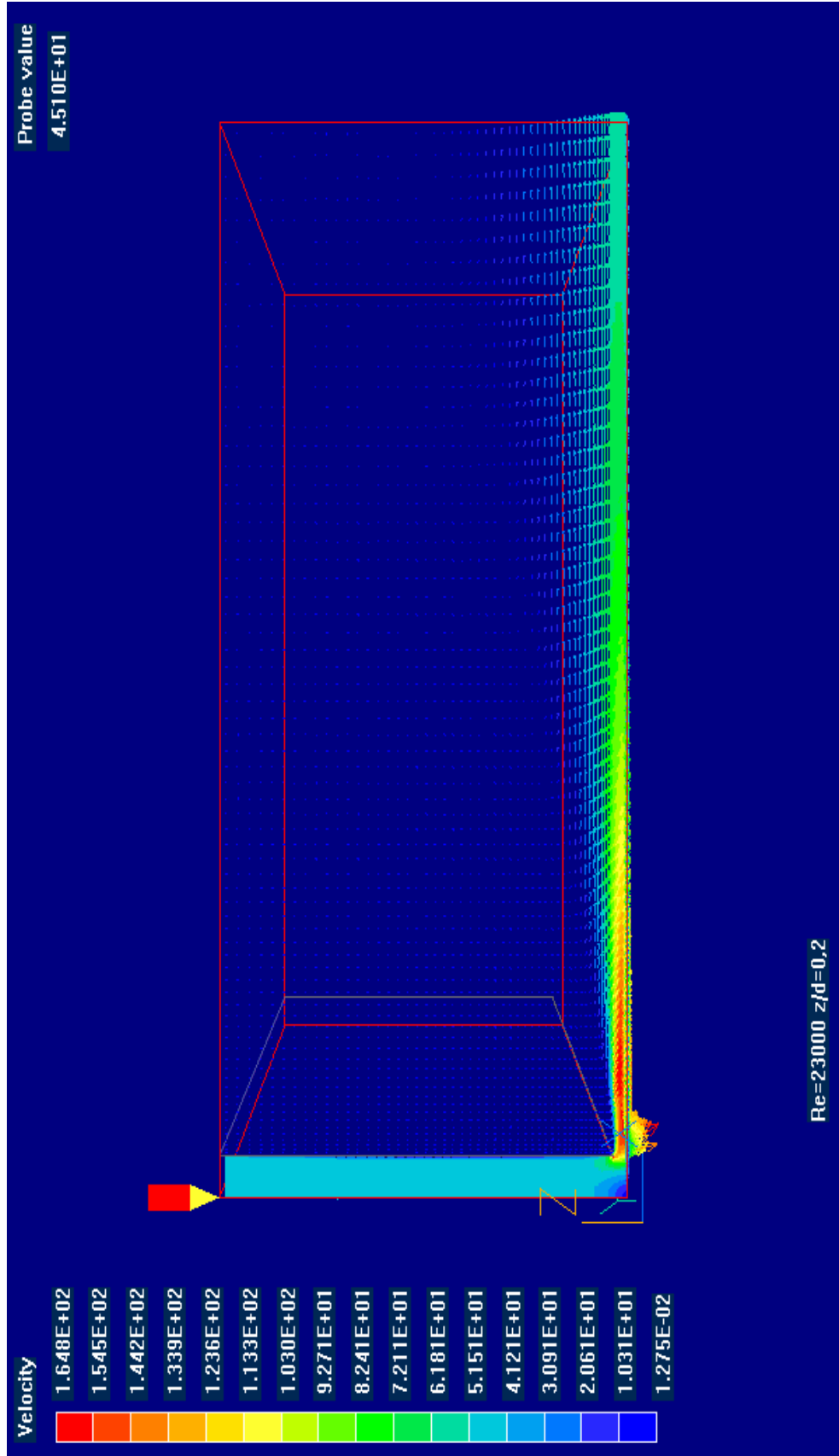
Şekil 5.40.  $Re=23000$  ve  $z/d=0,1$  için sıcaklık konturları



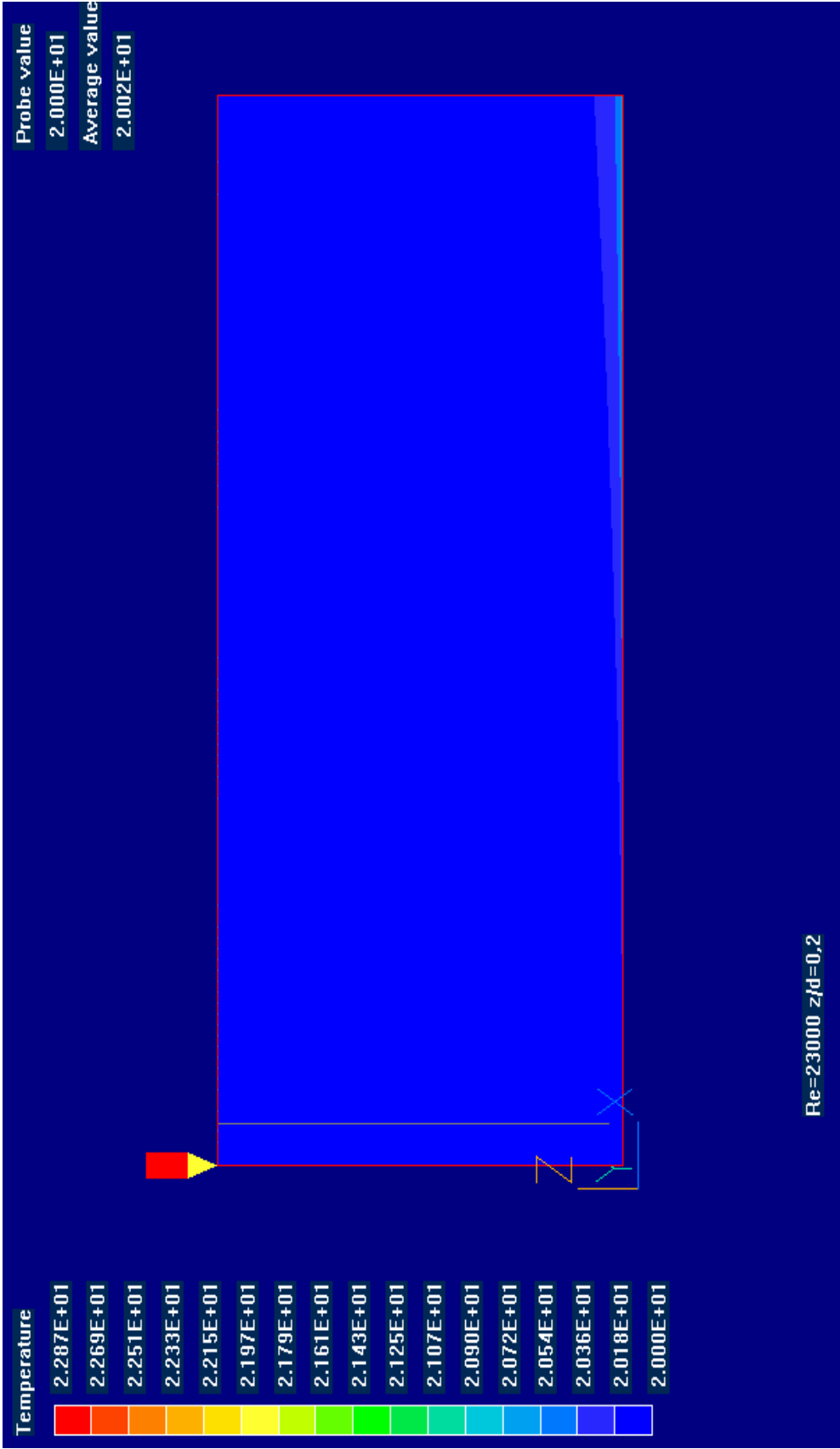
Şekil 5.41. Re=23000 ve  $z/d=0,15$  için hız vektörleri



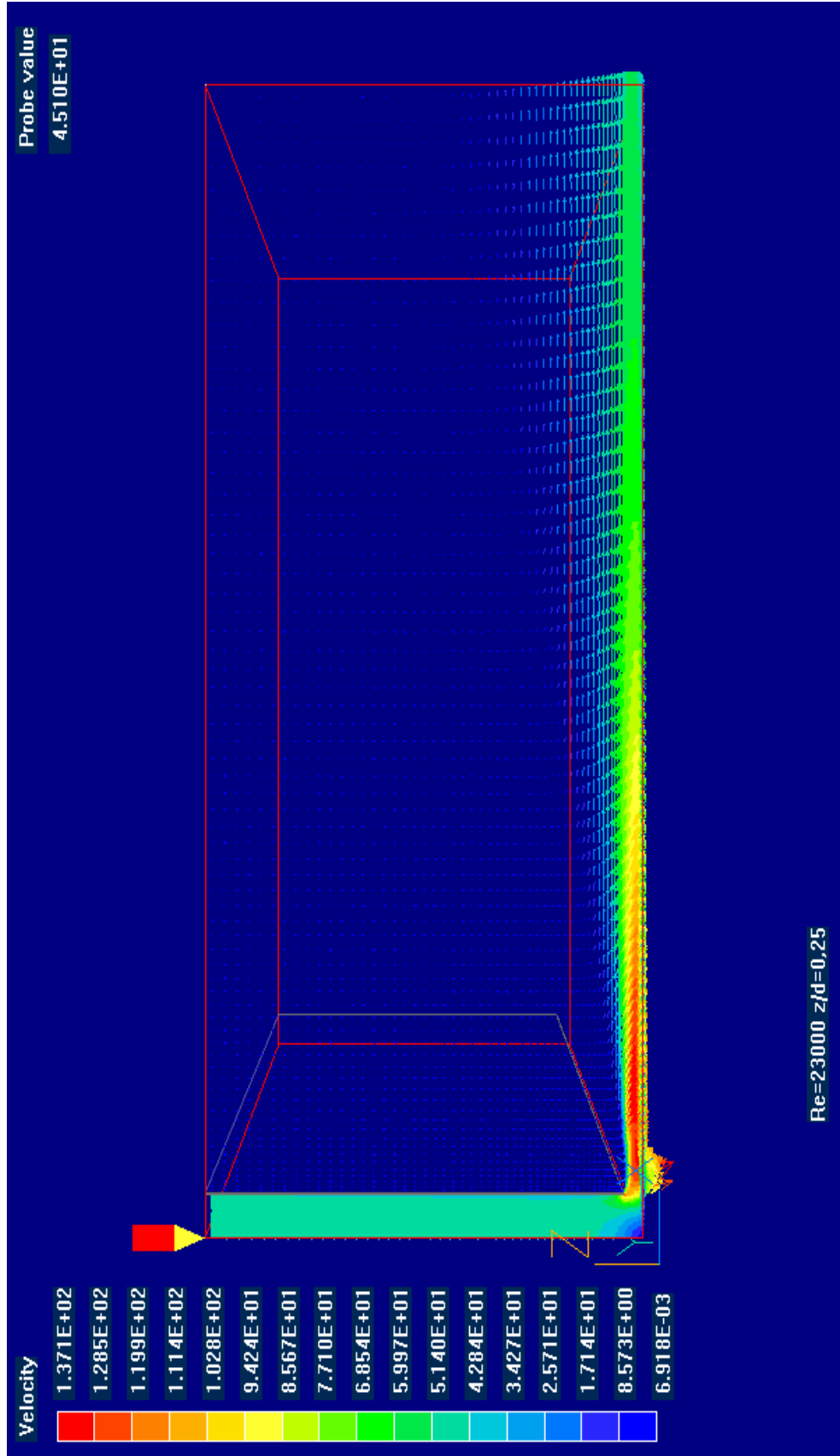
Şekil 5.42. Re=23000 ve z/d=0,15 için sıcaklık konturları



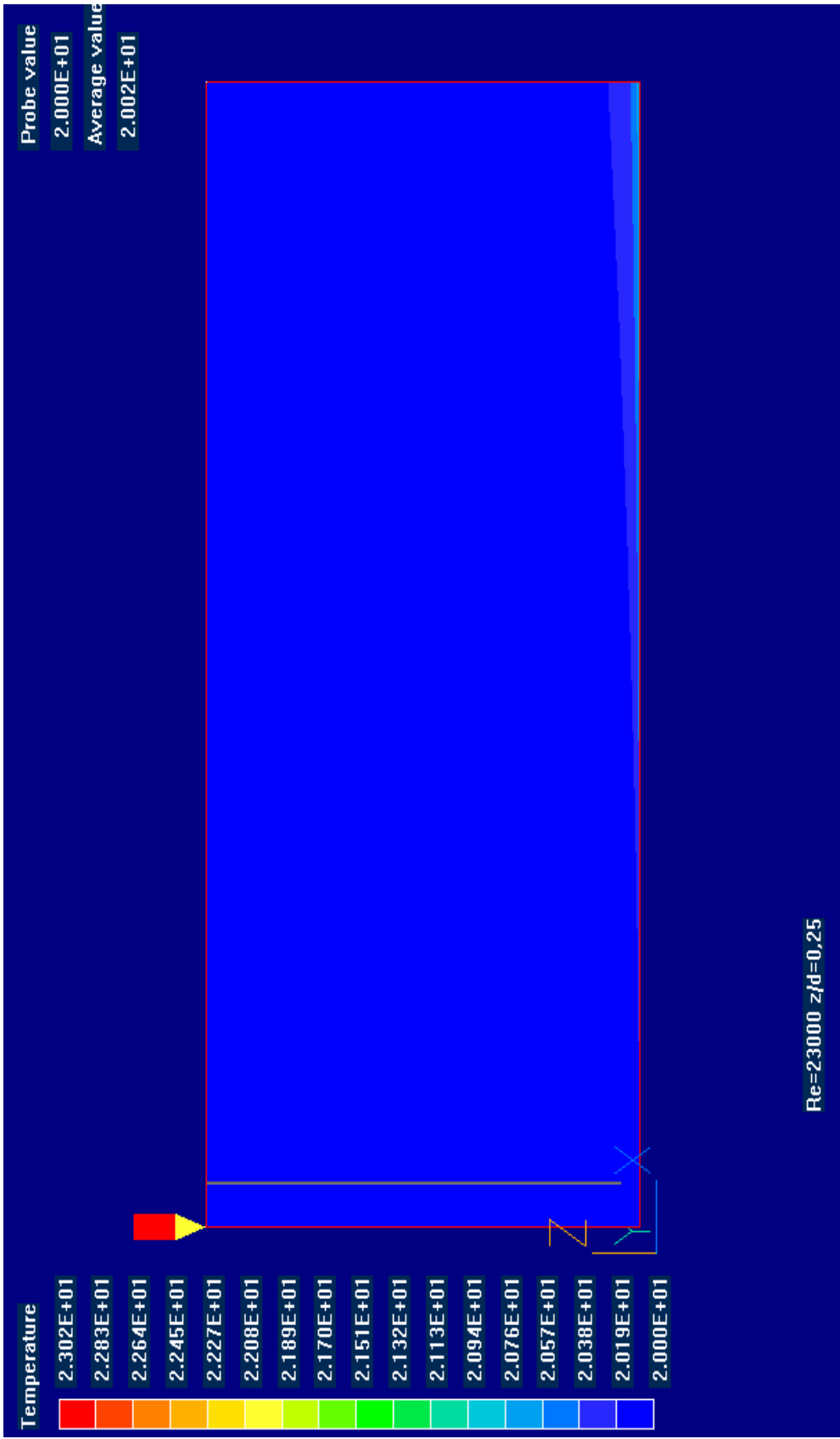
Şekil 5.43.  $Re=23000$  ve  $z/d=0,2$  için hız vektörleri



Şekil 5.44. Re=23000 ve z/d=0,2 için sıcaklık konturları



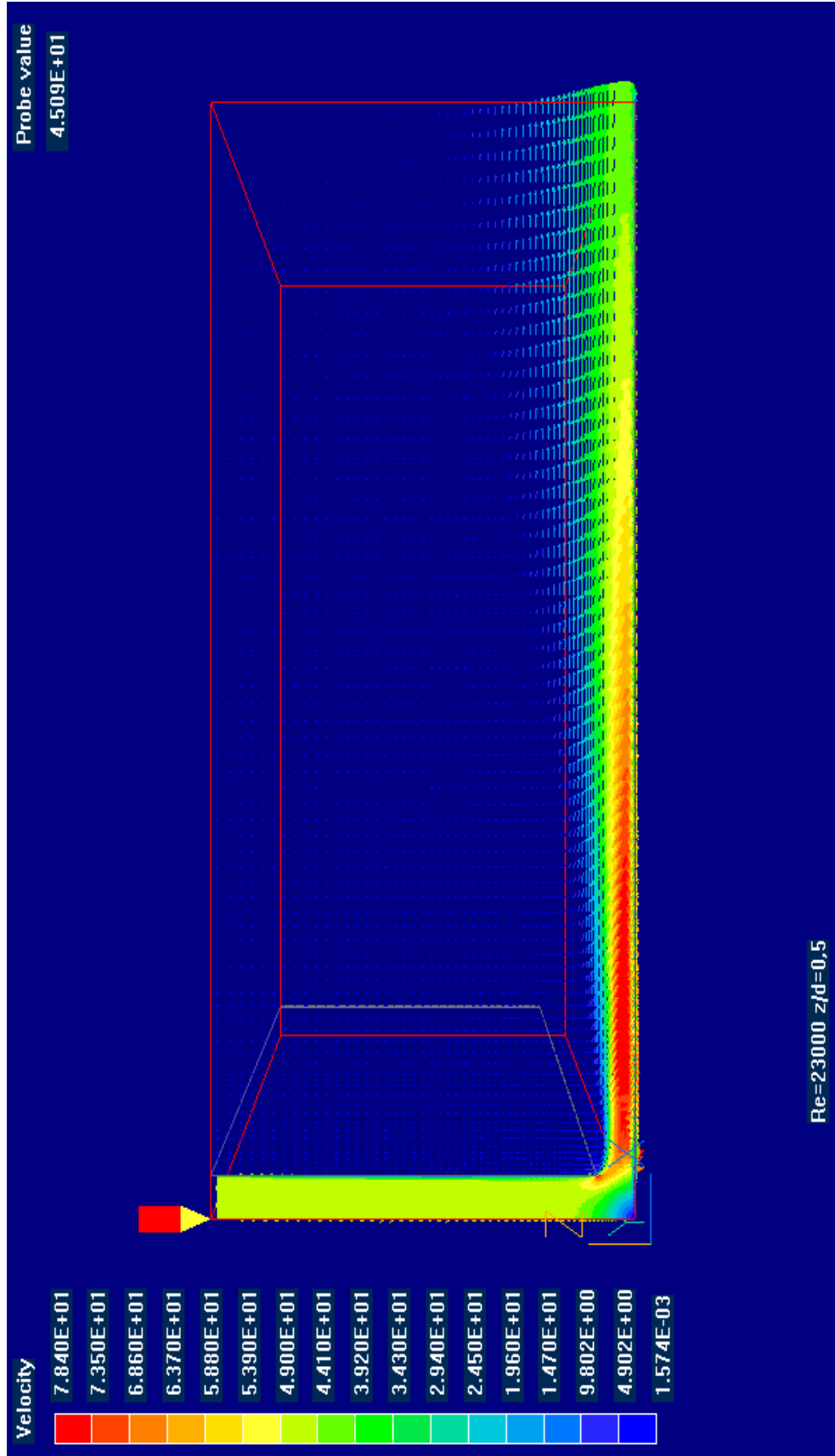
Şekil 5.45. Re=23000 ve  $z/d=0,25$  için hız vektörleri



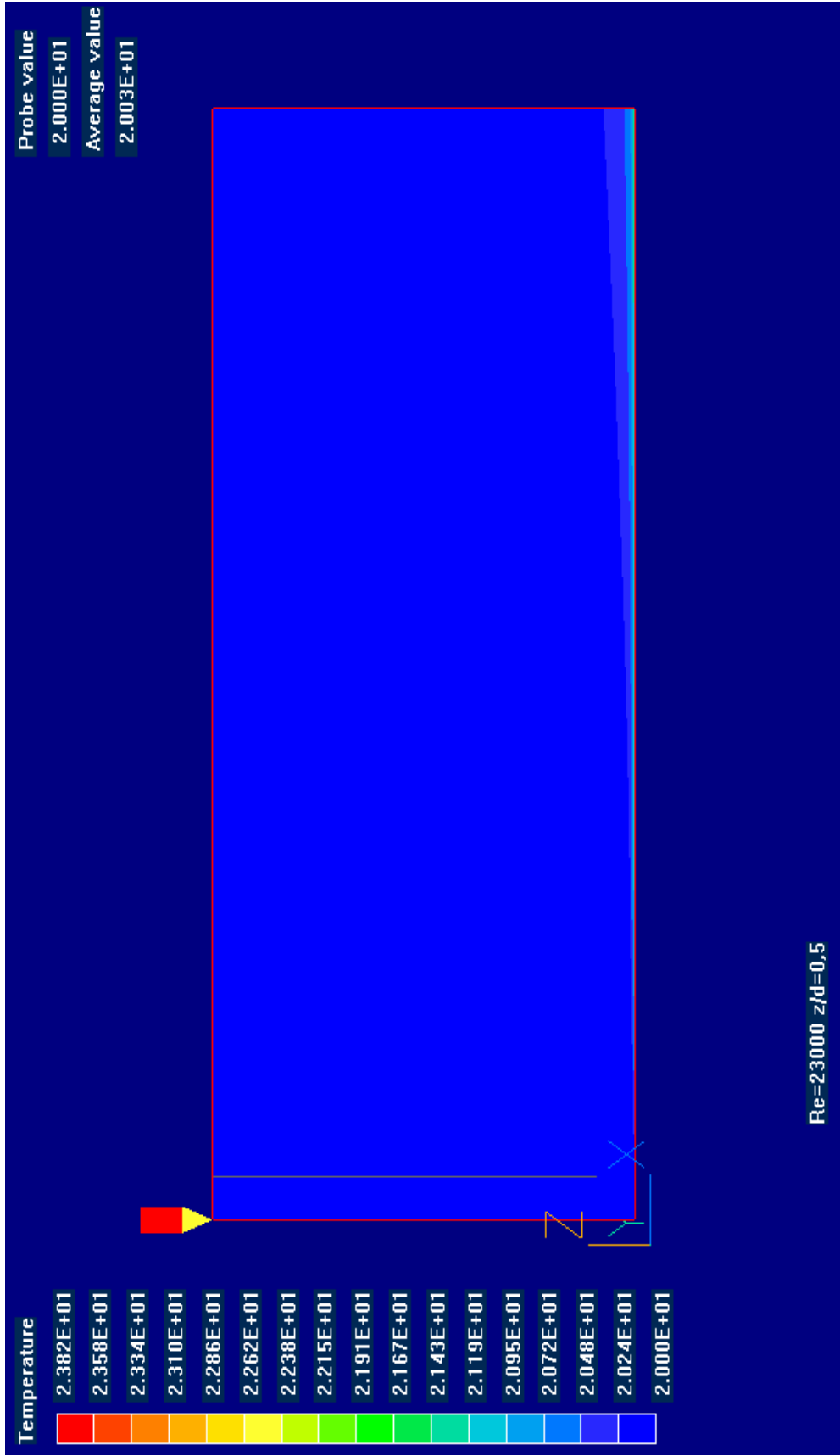
Şekil 5.46.  $Re=23000$  ve  $z/d=0,25$  için sıcaklık konturları

Düşük lüle plaka mesafelerinin seçildiği bu çözümlemelerde, PHOENICS paket programından elde edilen şekillerden de görüldüğü üzere hız vektörlerinin değerleri, lüle çıkış ağzında ani bir şekilde artmıştır. Sıcaklık konturlarından da çözüm aralığının ortam sıcaklığı değerlerinde olduğu görülmektedir. Plaka sonlarında havanın bir miktar ısınarak belirlenen çıkış bölgesinden çıktığı görülmektedir. Hız vektörü şekillerinden de görüldüğü gibi, çarpan hava jetinin düzlemin sağında tanımlanan çıkışın yarısından daha az bir bölümünden tanımlanan ortamı terk ettiği, üst bölgede tanımlanan çıkıştan bir çıkış gerçekleşmediği tespit edilmiştir.

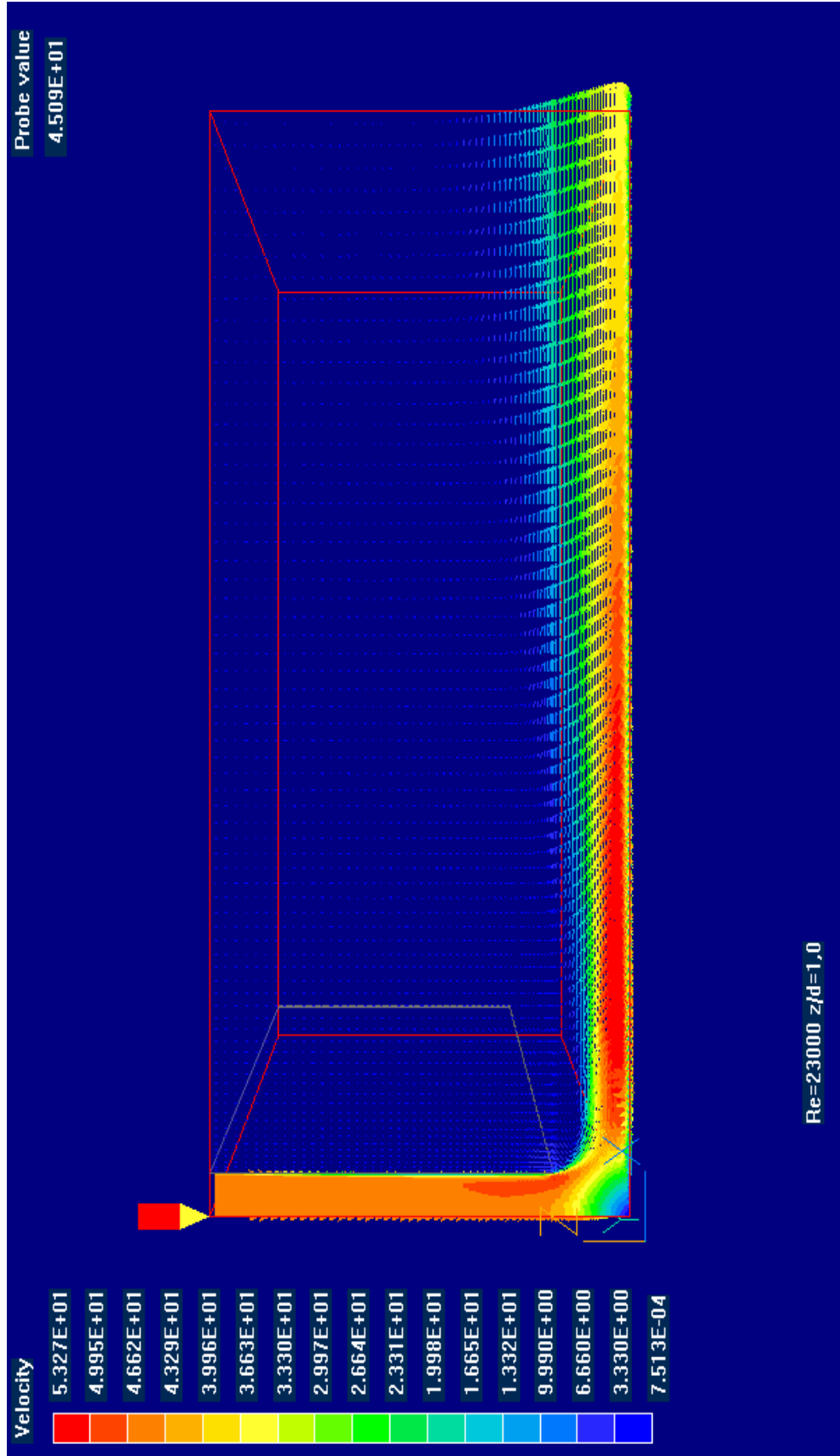
Şekil 5.47'dan Şekil 5.52'ye kadar Re sayısı 23000 ve lüle plaka mesafesi  $z/d=0,5, 1,0$  ve  $2,0$  değerleri için PHOENICS paket programından elde edilen hız vektörleri ve sıcaklık konturları görülmektedir.



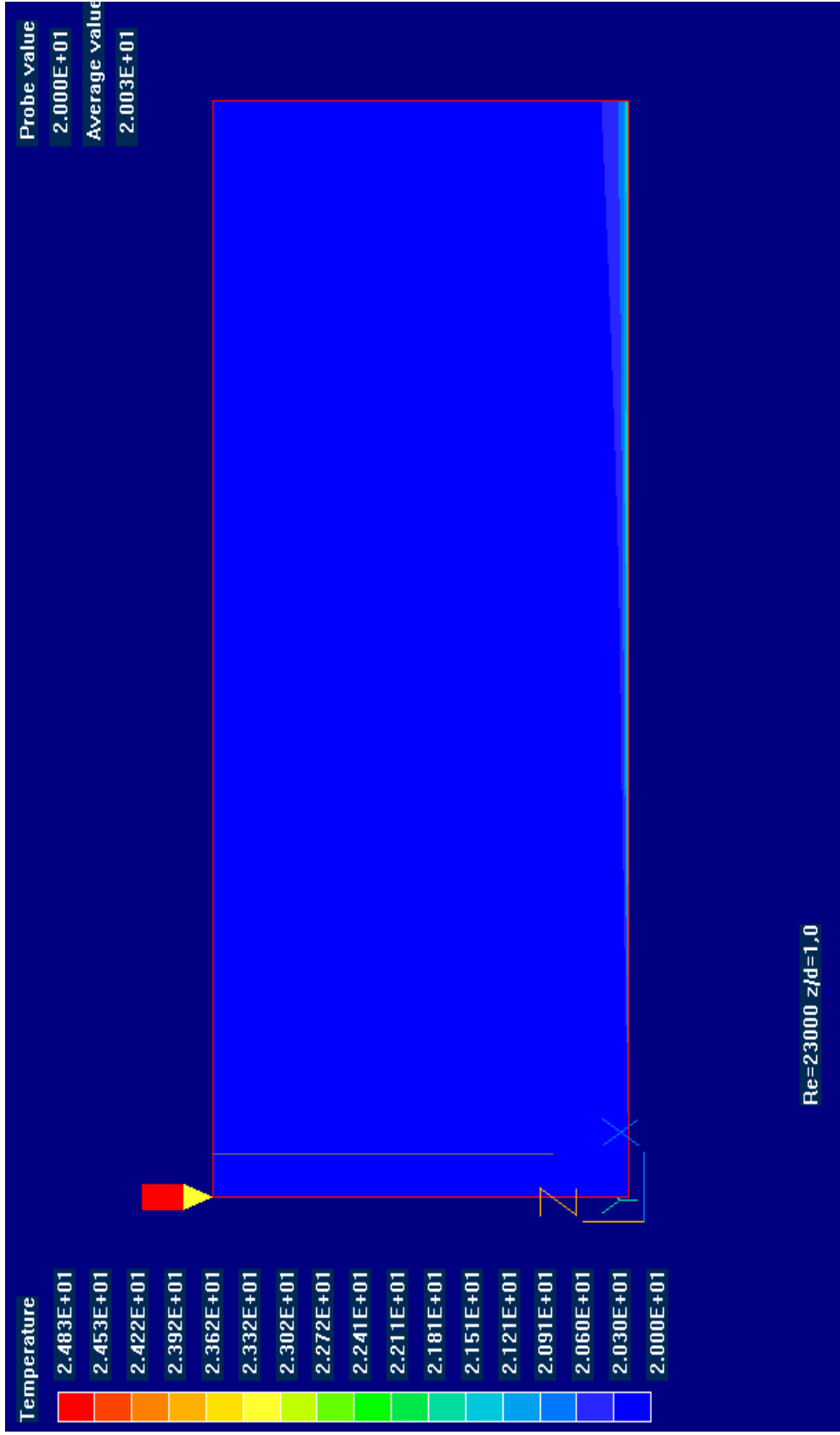
Şekil 5.47. Re=23000 ve  $z/d=0.5$  için hız vektörleri



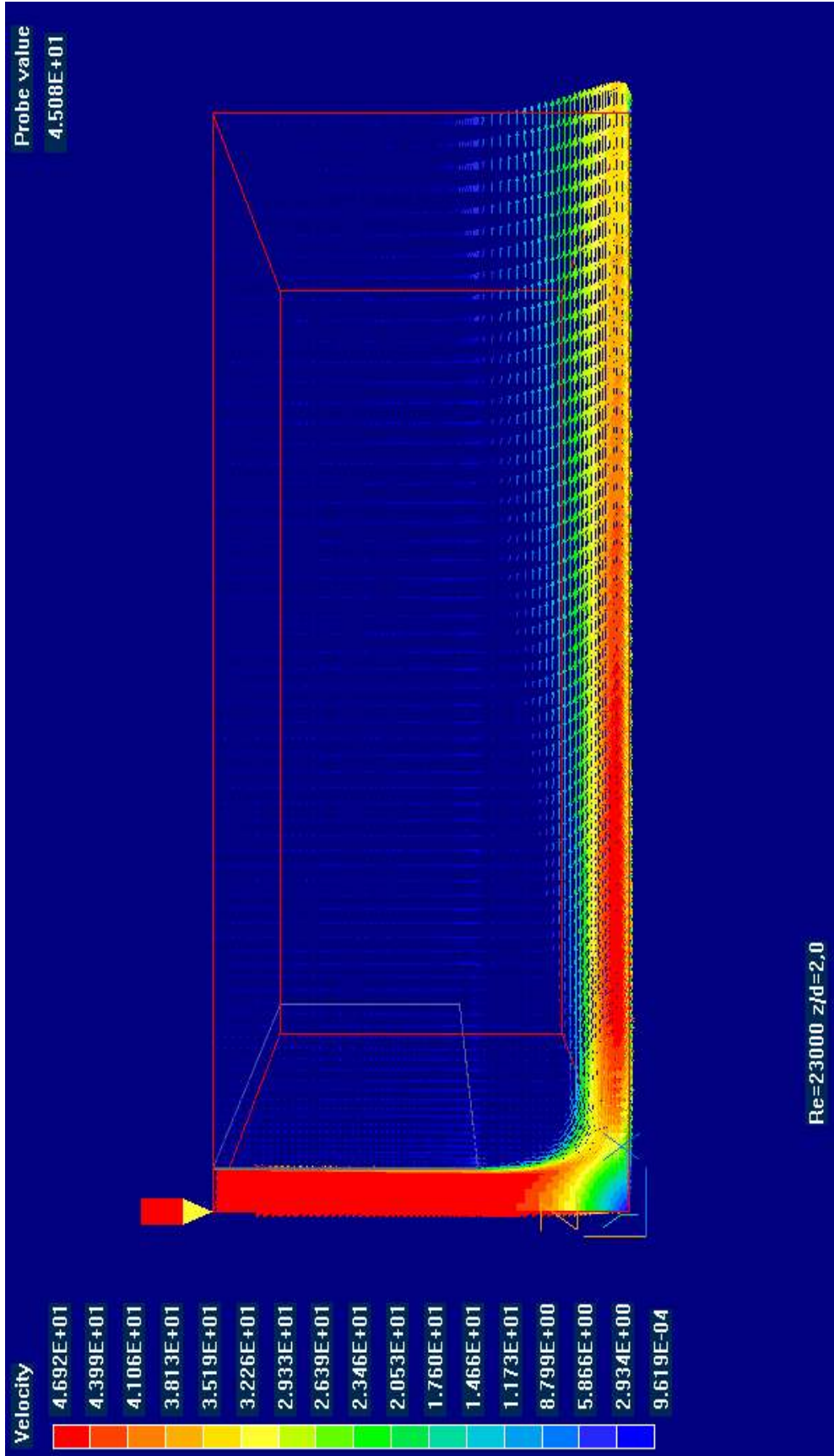
Şekil 5.48.  $Re=23000$  ve  $z/d=0,5$  için sıcaklık konturları



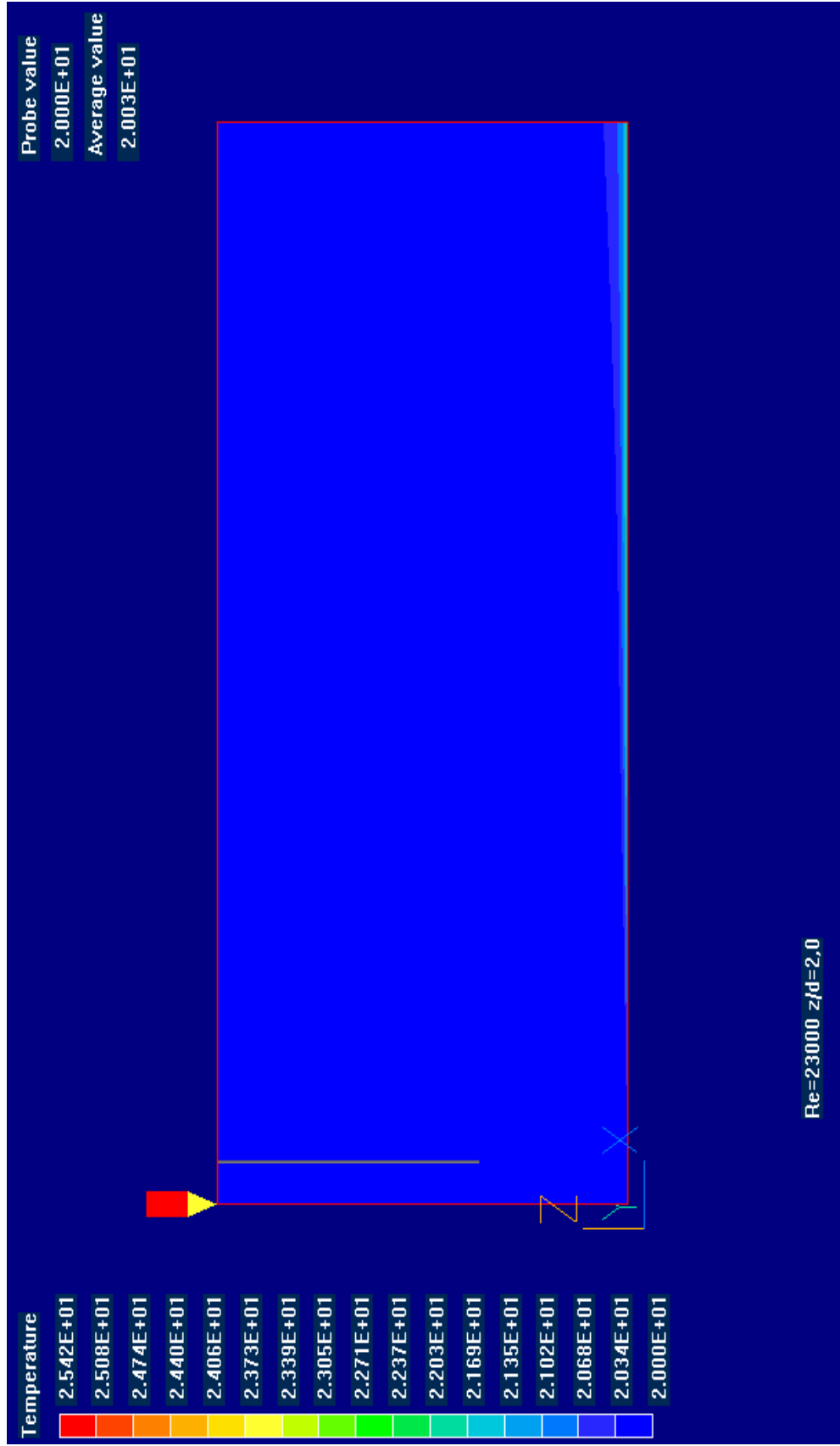
Şekil 5.49. Re=23000 ve  $z/d=1,0$  için hız vektörleri



Şekil 5.50.  $Re=23000$  ve  $z/d=1,0$  için sıcaklık konturları



Şekil 5.51. Re=23000 ve  $z/d=2.0$  için hız vektörleri



Şekil 5.52. Re=23000 ve z/d=2,0 için sıcaklık konturları

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Düşük lüle plaka mesafesine sahip çarpan hava jetinin ısı transferine etkileri lüle plaka arası mesafe;  $0,1 \leq z/d \leq 2,0$  ve Re sayısı;  $5000 \leq Re \leq 30000$  aralığında incelenmiştir. x eksenini boyunca uzanan sabit ısı akısına sahip plaka z eksenini boyunca dik bir şekilde çarptırılan hava jeti ile soğutulmuş oluşan ısı transferi bir sayısal akışkanlar dinamiği (SAD) paket programı olan PHOENICS kullanılarak incelenmiştir. Parametrik çalışmalarda plaka sabit ısı akısı ( $q''$ ), jet sıcaklığı ( $T_j$ ), lüle çapı ( $d$ ) ve plaka uzunluğu ( $L$ ) sabit tutularak; farklı lüle plaka mesafeleri ve farklı Re sayıları tanımlanarak PHOENICS’de sayısal olarak çözdürülmüştür.

İlk olarak Re sayısının ısı transferine etkisi incelenmiştir. Bu çalışma için iki farklı lüle plaka mesafesi seçilmiştir. Bunlar  $z/d=0,1$  ve  $z/d=1,0$ ’dır.  $z/d=0,1$  için plaka sabit akısı, jet sıcaklığı, lüle çapı ve plaka uzunluğu sabit tutularak, Re sayıları 5000, 10000, 15000, 20000, 23000 ve 30000 için altı ayrı çözüm gerçekleştirilmiştir. Düşük lüle plaka mesafesinin seçildiği bu çözümlemede Şekil 5.2’den de ayrıntılı bir şekilde görüldüğü gibi, özellikle Re sayısı 30000, 23000 ve 20000 için hemen lüle çıkışında maksimum ısı transferinin gerçekleştiği bu nedenle burada maksimum yerel Nu sayılarının oluştuğu tespit edilmiştir.  $z/d=1,0$  için de aynı şekilde plaka sabit akısı, jet sıcaklığı, lüle çapı ve plaka uzunluğu sabit tutularak Re sayıları 5000, 10000, 15000, 20000, 23000 ve 30000 için 6 ayrı çözüm gerçekleştirilmiştir. Daha yüksek lüle plaka mesafesinin seçildiği bu çözümlemede Şekil 5.16’da görüldüğü gibi, düşük lüle plaka mesafesinin seçildiği bir önceki çalışmaya göre, lüle çıkışında maksimum ısı transferine dolayısıyla maksimum yerel Nu sayısına ulaşılmamıştır. Bu çözümlemede lüle merkezinde yani çarpma bölgesinde maksimum ısı transferi sağlanmış, yerel Nu sayısı maksimum değerine ulaşmıştır. Daha yüksek lüle plaka mesafesinin seçildiği bu çalışmada da Re sayılarının yüksek seçildiği durumlarda, düşük seçildiği durumlara nazaran, daha fazla ısı transferi gerçekleşmiş, yerel Nu sayıları daha yüksek hesaplanmıştır.

İkinci olarak lüle plaka arası mesafenin ısı transferine etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada da aynı şekilde plaka sabit ısı akısı, jet sıcaklığı, lüle çapı ve plaka uzunluğu sabit tutulmuş, Re sayısı da 23000 seçilmiştir. Bu çözümleme için yedi farklı lüle plaka mesafesi tanımlanmıştır. Tanımlanan lüle plaka mesafeleri  $z/d=0,1$ ,  $z/d=0,15$ ,  $z/d=0,2$ ,  $z/d=0,25$ ,  $z/d=0,5$ ,  $z/d=1,0$  ve  $z/d=2,0$ 'dır. Farklı lüle plaka mesafesinin seçildiği bu çözümlemelerde, Şekil 5.30'dan da görüldüğü üzere düşük lüle plaka mesafelerinde ( $z/d=0,1$ ,  $0,15$ ,  $0,2$  ve  $0,25$ ) lüle çıkışında plaka yüzeyinde ani bir artışla maksimum ısı transferinin gerçekleştiği görülmüş, hesaplanan yerel Nu sayılarının değerlerinin de maksimum olduğu tespit edilmiştir. Lüle plaka mesafelerinin daha yüksek seçildiği ( $z/d=0,5$ ,  $1,0$  ve  $2,0$ ) durumlarda lüle çıkışında plaka yüzeyinde maksimum ısı transferi saptanmamıştır. Bu çözümlemelerdeki maksimum ısı transferleri dolayısıyla hesaplanan yerel Nu sayıları, lüle merkezinde yani çarpma bölgesinde saptanmış ancak düşük lüle plaka mesafelerindeki gibi yüksek değerlere ulaşmadığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak lüle plaka mesafesinin çok düşük olduğu durumlarda lüle çıkışında maksimum bir ısı transferi sağlandığı tespit edilmiştir. Lüle plaka mesafeleri arttıkça bu maksimum ısı transferinin yaşandığı noktanın çarpma noktasına doğru yaklaştığı görülmüştür. Re sayısının yüksek seçildiği parametrik çalışmalarda da yerel Nu sayılarının dolayısıyla ısı transferinin çok yükseldiği tespit edilmiştir. Bunun nedeni çarpan hava jetinin giriş sınır şartı olan  $-z$  yönündeki hızının yüksek olması ve plaka yüzeyinde daha iyi bir ısı transferi sağlamasından kaynaklanmaktadır. Kısaca Re sayısı arttıkça ısı transferi artmakta; bu da yerel Nu sayılarının artmasına neden olmaktadır. Lüle plaka mesafesi azaldığında ısı transferi artışı dikkate değer ölçüde artmıştır. Nu sayısının lüle plaka arası mesafe ( $z/d$ ) azaldıkça önemli derecede arttığı sayısal olarak saptanmıştır.

### Öneriler

PHOENICS paket programı kullanarak yapmış olduğumuz bu sayısal çözümlemelerde plaka sabit ısı akısı ( $q''$ ), lüle çapı ( $d$ ), jet sıcaklığı ( $T_j$ ) ve plaka

uzunluğu (L) sabit tutularak, lüle plaka arası mesafe;  $0,1 \leq z/d \leq 2,0$  ve Re sayısı;  $5000 \leq Re \leq 30000$  aralığında seçilmiştir.

- Literatürde deneysel çalışma mevcut ancak sayısal çözümleme azdır. Sayısal analizlerde maliyet düşük olduğu için, daha fazla sayısal çözümleme yapılarak sanayi uygulamalarında ısı transferleri iyileştirilebilir.
- Daha fazla Re sayısı aralıklarında çözümleme gerçekleştirilerek, ısı transferine etkileri incelenebilir.
- Daha fazla lüle plaka mesafeleri kullanılabilir.
- Daha uzun ve daha kısa plaka uzunlukları kullanarak ısı transferi çözüm alanı iyileştirmeleri yapılabilir.
- Farklı jet sıcaklıklarında çözümleme yapılabilir.
- Farklı plaka ısı akıları kullanılarak, yüksek ısı akılarında çözümlemelerin sağlıklı sonuçlar verip vermeyeceği ve oluşan ısı transferi araştırılabilir.
- Farklı dairesel lüle çapları kullanılarak ısı transferine etkileri incelenebilir.
- Farklı geometriye sahip lüleler kullanılarak hangi geometride oluşan ısı transferinin daha iyi sonuçlar verdiği araştırılabilir.
- Farklı türbülans modelleri denenerek deneysel çalışmayla daha uyumlu sonuçlar elde edilebilir.

## KAYNAKLAR

1. Demircan, T., “Bir yüzeye çarpan osilasyonlu iki boyutlu dikdörtgen jetin sayısal olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-4 (2005).
2. Lytle, D., Webb, B. W., “Air jet impingement heat transferat low nozzle-plate spacings”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 37 (12): 1687-1697 (1994).
3. Göppert, S., Gürtler, T., Mocikat, H., Herwig, H., “Heat transfer under a processing jet: effects of unsteady jet impingement”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 47: 2795-2806 (2004).
4. Baydar, E., “Confined impinging air jet at low Reynolds numbers”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 19: 27-33 (1999).
5. Gao, N., Sun, H., Ewing, D., “Heat transfer to impinging round jets with triangular tabs”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 46:2557-2569 (2003).
6. San, J. Y., Huang, C., Shu, M. H., “Impingement cooling of a confined circular air jet”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 40: 1355-1364 (1997).
7. Wen, Y. M., Jang, K. J., “An impingement cooling on a flat surface by using circular jet with longitudinal swirling strips”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 46: 4657-4667 (2003).
8. Zhou, D. W., Lee, S. J., “Heat transfer enhancement of impinging jets using mesh screens”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 47: 2097-2108 (2004).
9. Li, C. Y., Garimella, V., “Prandtl number effects and generalized correlations for confined and submerged jet impingement”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 44: 3471-3480 (2001).
10. Rahimi, M., Owen, I., Mistry, J., “ Impigement heat transfer in an under expanded axisymetric air jet”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 46: 263-272 (2003).
11. Jambunathan, K., Lai, E., Moss, M. A., Button, B. L., “A review of heat transfer data for single circular jet impingement”, *Int. J. Heat and Fluid Flow*, 13 (2): 106-115 (1992).
12. Hollworth, B. R., Durbin, M., “Impingement cooling of electronics”, *Journal of Heat Transfer*, 114: 607-613 (1992).
13. Gordon, R., Akfirat, J. C., “The role of turbulence in determining the heat transfer characteristics of impinging jets”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 8: 1261-1272 (1965).

14. Lou, Z. Q., Mujumdar, A. S., Yap, C., “ Effects of geometric parameters on confined impinging jet heat transfer”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 46: 263-272 (2003).
15. Viskanta, R., “Heat transfer to impinging isothermal gas and flame jets”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 6: 111-134 (1993).
16. Rundström, D., Moshfegh, B., “Investigation of flow and heat transfer of an impinging jet in a cross-flow for cooling of a heated cube”, *Inter Society Conference on Thermal Phenomena*, 455-462 (2004).
17. Huber, A. M., Viskanta, R., “Effect of jet-jet spacing on convective heat transfer to confined, impinging arrays of axisymmetric air jets”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 37: 2859-2869 (1994).
18. Amano, R. S., “Electronic cooling technology with use of turbulent impinging jets”, *Inter Society Conference on Thermal Phenomena*, 339-346 (2000).
19. Huber, A. M., Viskanta, R., “Impingement heat transfer with a single rosette nozzle”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 9: 320-329 (1994).
20. Knowles, K., “Computational studies of impinging jets using  $k - \varepsilon$  turbulence models”, *International Journal For Numerical Methods In Fluids*, 22: 799-810 (1996).
21. Liu, T., Sullivan, J. P., “Heat transfer and flow structures in an excited circular impinging jet”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 39: 3695-3706 (1996).
22. Chiriac, V. A., Ortega, A., “A numerical study of unsteady flow and heat transfer in a transitional confined slot jet impinging on an isothermal surface”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 45: 1237-1248 (2002).
23. Yavuz, T., “Effects of turbulence modellings on prediction of flow and heat transfer characteristics for confined jet impingement”, *Doğa-Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences*, 16: 177-192 (1992).
24. Baydar, E., Ozmen, Y., “An experimental and numerical investigation on a confined impinging air jet at high Reynolds numbers”, *Applied Thermal Engineering*, 25: 409-421 (2005).
25. Aldabbagh, L. B. Y., Mohamad, A. A., “Effect of jet-to-plate spacing in laminar array jets impinging”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 43: 265-273 (2007).
26. Incropera, F.P., DeWitt, D.P., “Introduction to Heat Transfer, 4<sup>th</sup> ed.”, *John Wiley & Sons Inc.*, New York, 907 (1996).

27. Baysal, S., “Bir yüzeyi ısıtılmış kısmi açık hacimlerden doğal konveksiyonla olan ısı transferinin sayısal incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 25-27 (2006).

**EKLER**

EK-1 Q1 kütüğü

TALK=T;RUN( 1, 1)

\*\*\*\*\*

Q1 created by VDI menu, Version 3.5, Date 20/10/03

CPVNAM=VDI;SPPNAM=Core

\*\*\*\*\*

IRUNN = 1 ;LIBREF = 0

\*\*\*\*\*

Group 1. Run Title

TEXT(Supurme Sayisi=4000, Hücre Sayisi=100\*90)

\*\*\*\*\*

Group 2. Transience

STEADY = T

\*\*\*\*\*

Groups 3, 4, 5 Grid Information

\* Overall number of cells, RSET(M,NX,NY,NZ,tolerance)

RSET(M,100,1,90)

\*\*\*\*\*

Group 6. Body-Fitted coordinates

\*\*\*\*\*

Group 7. Variables: STOREd,SOLVEd,NAMED

ONEPHS = T

\* Non-default variable names

NAME(144) =EPKE ; NAME(146) =TEM1

NAME(147) =WDIS ; NAME(148) =DEN1

NAME(149) =EL1 ; NAME(150) =ENUT

\* Solved variables list

SOLVE(P1 ,U1 ,W1 ,TEM1)

\* Stored variables list

STORE(ENUT,EL1 ,DEN1,WDIS,EPKE)

\* Additional solver options

SOLUTN(P1 ,Y,Y,Y,N,N,Y)

SOLUTN(TEM1,Y,Y,Y,N,N,Y)

TURMOD(KEMODL-LOWRE)

\*\*\*\*\*

Group 8. Terms & Devices

\*\*\*\*\*

Group 9. Properties

PRESS0 = 1.000000E+05 ;TEMP0 = 2.730000E+02

SETPRPS(1, 0)

DVO1DT = 3.410000E-03

PRNDTL(TEM1) = -2.580000E-02

PRT (EP ) = 1.314000E+00

\*\*\*\*\*

## EK-1 (Devam) Q1 kütüğü

## Group 10. Inter-Phase Transfer Processes

\*\*\*\*\*

## Group 11. Initialise Var/Porosity Fields

FIINIT(WDIS) = 4.290000E-03

No PATCHes used for this Group

INIADD = F

\*\*\*\*\*

## Group 12. Convection and diffusion adjustments

No PATCHes used for this Group

\*\*\*\*\*

## Group 13. Boundary &amp; Special Sources

No PATCHes used for this Group

EGWF = T

\*\*\*\*\*

## Group 14. Downstream Pressure For PARAB

\*\*\*\*\*

## Group 15. Terminate Sweeps

LSWEEP = 4000

RESFAC = 1.000000E-03

\*\*\*\*\*

## Group 16. Terminate Iterations

LITER (P1 ) = 200

\*\*\*\*\*

## Group 17. Relaxation

RELAX(P1 ,LINRLX, 5.000000E-01)

RELAX(U1 ,FALSDT, 1.000000E-02)

RELAX(W1 ,FALSDT, 1.000000E-02)

RELAX(KE ,LINRLX, 5.000000E-01)

RELAX(EP ,LINRLX, 5.000000E-01)

RELAX(TEM1,FALSDT, 1.000000E+01)

KELIN = 3

\*\*\*\*\*

## Group 18. Limits

VARMAX(U1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(U1 ) = -1.000000E+06

VARMAX(W1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(W1 ) = -1.000000E+06

\*\*\*\*\*

## Group 19. EARTH Calls To GROUND Station

USEGRD = T ;USEGRX = T

GENK = T

ASAP = T

PARSOL = T

IENUTA = 3

\*\*\*\*\*

## EK-1 (Devam) Q1 kütüğü

## Group 20. Preliminary Printout

ECHO = T

\*\*\*\*\*

## Group 21. Print-out of Variables

OUTPUT(WDIS,Y,N,N,N,N,N)

\*\*\*\*\*

## Group 22. Monitor Print-Out

IXMON = 15 ;IYMON = 1 ;IZMON = 80

NPRMON = 100000

NPRMNT = 1

TSTSWP = -1

\*\*\*\*\*

## Group 23. Field Print-Out &amp; Plot Control

NPRINT = 100000

ISWPRF = 1 ;ISWPRL = 100000

No PATCHes used for this Group

\*\*\*\*\*

## Group 24. Dumps For Restarts

GVIEW(P,0.000000E+00,-1.000000E+00,0.000000E+00)

GVIEW(UP,0.000000E+00,0.000000E+00,1.000000E+00)

```

> DOM, SIZE, 1.016000E-01, 1.000000E+00, 4.290000E-02
> DOM, MONIT, 1.885000E-03, 5.000000E-01, 3.128620E-02
> DOM, SCALE, 1.000000E+00, 1.000000E+00, 1.000000E+00
> DOM, SNAPSIZ, 1.000000E-02
> GRID, RSET_X_1, 30, 1.000000E+00
> GRID, RSET_X_2, 70, 1.500000E+00
> GRID, RSET_Z_1, 40, 2.500000E+00
> GRID, RSET_Z_2, 50, 1.500000E+00

> OBJ, NAME, PLAKA
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, SIZE, 1.016000E-01, 1.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, CLIPART, cube13
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, PLATE
> OBJ, SURF_HEVT, 0.000000E+00, 2.040946E+03

> OBJ, NAME, JET
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 0.000000E+00, 4.290000E-02
> OBJ, SIZE, 3.900000E-03, 1.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, CLIPART, cube3t
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, INLET

```

EK-1 (Devam) Q1 kütüğü

```

> OBJ, PRESSURE, 1.189000E+00

> OBJ, VELOCITY, 0.000000E+00, 0.000000E+00, -9.409000E+00
> OBJ, TEMPERATURE, 1.000000E+01
> OBJ, TURB-INTENS, 5.000000E+00

> OBJ, NAME, OUTLET1
> OBJ, POSITION, 4.000000E-03, 0.000000E+00, 4.290000E-02
> OBJ, SIZE, 9.760000E-02, 1.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, CLIPART, cube12t
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, OUTLET
> OBJ, PRESSURE, 0.000000E+00
> OBJ, TEMPERATURE, 1.000000E+01
> OBJ, COEFFICIENT, 1.000000E+03
> OBJ, TURBULENCE, SAME, SAME

> OBJ, NAME, OUTLET2
> OBJ, POSITION, 1.016000E-01, 0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, SIZE, 0.000000E+00, 1.000000E+00, 4.290000E-02
> OBJ, CLIPART, cube12t
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, OUTLET
> OBJ, PRESSURE, 0.000000E+00
> OBJ, TEMPERATURE, 1.000000E+01
> OBJ, COEFFICIENT, 1.000000E+03
> OBJ, TURBULENCE, SAME, SAME

> OBJ, NAME, BORU
> OBJ, POSITION, 3.900000E-03, 0.000000E+00, 3.900000E-03
> OBJ, SIZE, 1.000000E-04, 1.000000E+00, 3.900000E-02
> OBJ, CLIPART, cube14
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 198
STOP
</strong></pre></body></html>

```

## EK-2 Örnek sonuç kütüğü

\*\*\*\*\*

```

-----
      CCCC HHH      PHOENICS Version 3.5.1 - EARTH
      CCCCCCCC   H   (C) Copyright 2003
      CCCCCCCC   See H   Concentration Heat and Momentum Ltd
      CCCCCCCC   our new H   All rights reserved.
      CCCCCCCC   Web-site H   Address: Bakery House, 40 High St
      CCCCCCCC   www.cham. H   Wimbledon, London, SW19 5AU
      CCCCCCCC   co.uk H   Tel:    0208-947-7651
      CCCCCCCC   H   Fax    : 0208-879-3497
      CCCC HHH      E-mail: phoenixes@cham.co.uk
-----

```

This program forms part of the PHOENICS installation for:

CHAM

The code expiry date is the end of : may 2014

\*\*\*\*\*

Property-related data from gxprutil:

PRPS is stored with initial value =

=-1.000000E+00

material properties used are...

denst1

vistrb

visclm

tempr1

mixln1

thrmel

speht1

also, other related settings are ...

usegrx = T

usegrd = T

usewds = T

end of property-related data

Number of F-array locations available is 33600000

Number used before BFC allowance is 395048

Number used after BFC allowance is 395048

Turbulence model constants

CMU = 5.478000E-01 CD = 1.643000E-01

## EK-2 (Devam) Örnek sonuç kütüğü

CMUCD = 9.000354E-02

C1E = 1.440000E+00 C2E = 1.920000E+00

AK = 4.100000E-01 EWAL = 8.600000E+00

\*\*\*\*\*

## Group 1. Run Title and Number

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

TEXT(Supurme Sayisi=4000, Hücre Sayisi=100\*90)

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

IRUNN = 1 ;LIBREF = 0

\*\*\*\*\*

## Group 2. Time dependence

STEADY = T

\*\*\*\*\*

## Group 3. X-Direction Grid Spacing

CARTES = T

NX = 100

XULAST = 1.016000E-01

XFRAC ( 1) = 1.279528E-03 ;XFRAC ( 2) = 2.559055E-03

XFRAC ( 3) = 3.838583E-03 ;XFRAC ( 4) = 5.118110E-03

XFRAC ( 5) = 6.397638E-03 ;XFRAC ( 6) = 7.677165E-03

XFRAC ( 7) = 8.956693E-03 ;XFRAC ( 8) = 1.023622E-02

XFRAC ( 9) = 1.151575E-02 ;XFRAC ( 10) = 1.279528E-02

XFRAC ( 11) = 1.407480E-02 ;XFRAC ( 12) = 1.535433E-02

XFRAC ( 13) = 1.663386E-02 ;XFRAC ( 14) = 1.791339E-02

XFRAC ( 15) = 1.919291E-02 ;XFRAC ( 16) = 2.047244E-02

XFRAC ( 17) = 2.175197E-02 ;XFRAC ( 18) = 2.303150E-02

XFRAC ( 19) = 2.431102E-02 ;XFRAC ( 20) = 2.559055E-02

XFRAC ( 21) = 2.687008E-02 ;XFRAC ( 22) = 2.814961E-02

XFRAC ( 23) = 2.942913E-02 ;XFRAC ( 24) = 3.070866E-02

XFRAC ( 25) = 3.198819E-02 ;XFRAC ( 26) = 3.326771E-02

XFRAC ( 27) = 3.454724E-02 ;XFRAC ( 28) = 3.582677E-02

XFRAC ( 29) = 3.710630E-02 ;XFRAC ( 30) = 3.838583E-02

XFRAC ( 31) = 4.002775E-02 ;XFRAC ( 32) = 4.302990E-02

XFRAC ( 33) = 4.691753E-02 ;XFRAC ( 34) = 5.152124E-02

XFRAC ( 35) = 5.674313E-02 ;XFRAC ( 36) = 6.251712E-02

XFRAC ( 37) = 6.879473E-02 ;XFRAC ( 38) = 7.553839E-02

XFRAC ( 39) = 8.271785E-02 ;XFRAC ( 40) = 9.030811E-02

XFRAC ( 41) = 9.828804E-02 ;XFRAC ( 42) = 1.066394E-01

## EK-2 (Devam) Örnek sonuç kütüğü

```

XFRAC ( 43) = 1.153465E-01 ;XFRAC ( 44) = 1.243952E-01
XFRAC ( 45) = 1.337731E-01 ;XFRAC ( 46) = 1.434691E-01
XFRAC ( 47) = 1.534731E-01 ;XFRAC ( 48) = 1.637757E-01
XFRAC ( 49) = 1.743687E-01 ;XFRAC ( 50) = 1.852442E-01
XFRAC ( 51) = 1.963952E-01 ;XFRAC ( 52) = 2.078149E-01
XFRAC ( 53) = 2.194971E-01 ;XFRAC ( 54) = 2.314362E-01
XFRAC ( 55) = 2.436267E-01 ;XFRAC ( 56) = 2.560635E-01
XFRAC ( 57) = 2.687418E-01 ;XFRAC ( 58) = 2.816571E-01
XFRAC ( 59) = 2.948052E-01 ;XFRAC ( 60) = 3.081819E-01
XFRAC ( 61) = 3.217835E-01 ;XFRAC ( 62) = 3.356063E-01
XFRAC ( 63) = 3.496468E-01 ;XFRAC ( 64) = 3.639017E-01
XFRAC ( 65) = 3.783678E-01 ;XFRAC ( 66) = 3.930420E-01
XFRAC ( 67) = 4.079215E-01 ;XFRAC ( 68) = 4.230035E-01
XFRAC ( 69) = 4.382852E-01 ;XFRAC ( 70) = 4.537641E-01
XFRAC ( 71) = 4.694377E-01 ;XFRAC ( 72) = 4.853037E-01
XFRAC ( 73) = 5.013597E-01 ;XFRAC ( 74) = 5.176035E-01
XFRAC ( 75) = 5.340329E-01 ;XFRAC ( 76) = 5.506459E-01
XFRAC ( 77) = 5.674405E-01 ;XFRAC ( 78) = 5.844148E-01
XFRAC ( 79) = 6.015667E-01 ;XFRAC ( 80) = 6.188946E-01
XFRAC ( 81) = 6.363966E-01 ;XFRAC ( 82) = 6.540712E-01
XFRAC ( 83) = 6.719164E-01 ;XFRAC ( 84) = 6.899309E-01
XFRAC ( 85) = 7.081128E-01 ;XFRAC ( 86) = 7.264609E-01
XFRAC ( 87) = 7.449735E-01 ;XFRAC ( 88) = 7.636493E-01
XFRAC ( 89) = 7.824867E-01 ;XFRAC ( 90) = 8.014845E-01
XFRAC ( 91) = 8.206412E-01 ;XFRAC ( 92) = 8.399556E-01
XFRAC ( 93) = 8.594264E-01 ;XFRAC ( 94) = 8.790523E-01
XFRAC ( 95) = 8.988323E-01 ;XFRAC ( 96) = 9.187649E-01
XFRAC ( 97) = 9.388491E-01 ;XFRAC ( 98) = 9.590837E-01
XFRAC ( 99) = 9.794677E-01 ;XFRAC (100) = 1.000000E+00
*****
Group 4. Y-Direction Grid Spacing
NY      =      1
YVLAST = 1.000000E+00
*****
Group 5. Z-Direction Grid Spacing
PARAB   =   F
NZ      =     90
ZWLAST  = 4.290000E-02
ZFRAC ( 1) = 8.983743E-06 ;ZFRAC ( 2) = 5.081973E-05
ZFRAC ( 3) = 1.400427E-04 ;ZFRAC ( 4) = 2.874798E-04
ZFRAC ( 5) = 5.022065E-04 ;ZFRAC ( 6) = 7.922011E-04
ZFRAC ( 7) = 1.164669E-03 ;ZFRAC ( 8) = 1.626231E-03
ZFRAC ( 9) = 2.183050E-03 ;ZFRAC (10) = 2.840909E-03
ZFRAC (11) = 3.605281E-03 ;ZFRAC (12) = 4.481366E-03
ZFRAC (13) = 5.474138E-03 ;ZFRAC (14) = 6.588362E-03

```

## EK-2 (Devam) Örnek sonuç kütüğü

ZFRAC (15) = 7.828625E-03 ;ZFRAC (16) = 9.199353E-03  
 ZFRAC (17) = 1.070483E-02 ;ZFRAC (18) = 1.234919E-02  
 ZFRAC (19) = 1.413648E-02 ;ZFRAC (20) = 1.607061E-02  
 ZFRAC (21) = 1.815539E-02 ;ZFRAC (22) = 2.039455E-02  
 ZFRAC (23) = 2.279171E-02 ;ZFRAC (24) = 2.535044E-02  
 ZFRAC (25) = 2.807420E-02 ;ZFRAC (26) = 3.096640E-02  
 ZFRAC (27) = 3.403038E-02 ;ZFRAC (28) = 3.726940E-02  
 ZFRAC (29) = 4.068669E-02 ;ZFRAC (30) = 4.428539E-02  
 ZFRAC (31) = 4.806861E-02 ;ZFRAC (32) = 5.203940E-02  
 ZFRAC (33) = 5.620076E-02 ;ZFRAC (34) = 6.055564E-02  
 ZFRAC (35) = 6.510697E-02 ;ZFRAC (36) = 6.985759E-02  
 ZFRAC (37) = 7.481034E-02 ;ZFRAC (38) = 7.996802E-02  
 ZFRAC (39) = 8.533336E-02 ;ZFRAC (40) = 9.090909E-02  
 ZFRAC (41) = 9.348039E-02 ;ZFRAC (42) = 9.818182E-02  
 ZFRAC (43) = 1.042699E-01 ;ZFRAC (44) = 1.114795E-01  
 ZFRAC (45) = 1.196571E-01 ;ZFRAC (46) = 1.286993E-01  
 ZFRAC (47) = 1.385302E-01 ;ZFRAC (48) = 1.490909E-01  
 ZFRAC (49) = 1.603341E-01 ;ZFRAC (50) = 1.722207E-01  
 ZFRAC (51) = 1.847174E-01 ;ZFRAC (52) = 1.977959E-01  
 ZFRAC (53) = 2.114314E-01 ;ZFRAC (54) = 2.256019E-01  
 ZFRAC (55) = 2.402880E-01 ;ZFRAC (56) = 2.554721E-01  
 ZFRAC (57) = 2.711385E-01 ;ZFRAC (58) = 2.872728E-01  
 ZFRAC (59) = 3.038616E-01 ;ZFRAC (60) = 3.208929E-01  
 ZFRAC (61) = 3.383556E-01 ;ZFRAC (62) = 3.562391E-01  
 ZFRAC (63) = 3.745338E-01 ;ZFRAC (64) = 3.932307E-01  
 ZFRAC (65) = 4.123213E-01 ;ZFRAC (66) = 4.317976E-01  
 ZFRAC (67) = 4.516521E-01 ;ZFRAC (68) = 4.718779E-01  
 ZFRAC (69) = 4.924681E-01 ;ZFRAC (70) = 5.134164E-01  
 ZFRAC (71) = 5.347168E-01 ;ZFRAC (72) = 5.563636E-01  
 ZFRAC (73) = 5.783514E-01 ;ZFRAC (74) = 6.006749E-01  
 ZFRAC (75) = 6.233292E-01 ;ZFRAC (76) = 6.463094E-01  
 ZFRAC (77) = 6.696110E-01 ;ZFRAC (78) = 6.932297E-01  
 ZFRAC (79) = 7.171612E-01 ;ZFRAC (80) = 7.414016E-01  
 ZFRAC (81) = 7.659469E-01 ;ZFRAC (82) = 7.907934E-01  
 ZFRAC (83) = 8.159375E-01 ;ZFRAC (84) = 8.413756E-01  
 ZFRAC (85) = 8.671046E-01 ;ZFRAC (86) = 8.931209E-01  
 ZFRAC (87) = 9.194217E-01 ;ZFRAC (88) = 9.460037E-01  
 ZFRAC (89) = 9.728642E-01 ;ZFRAC (90) = 1.000000E+00

\*\*\*\*\*

## Group 6. Body-Fitted Coordinates

\*\*\*\*\*

## Group 7. Variables: STOREd,SOLVEd,NAMED

ONEPHS = T

NAME( 1)=P1 ;NAME( 3)=U1

NAME( 7)=W1 ;NAME( 12)=KE

## EK-2 (Devam) Örnek sonuç kütüğü

NAME( 13) =EP ;NAME(143) =PRPS  
 NAME(144) =EPKE ;NAME(145) =LTLS  
 NAME(146) =TEM1 ;NAME(147) =WDIS  
 NAME(148) =DEN1 ;NAME(149) =EL1  
 NAME(150) =ENUT

- \* Y in SOLUTN argument list denotes:
- \* 1-stored 2-solved 3-whole-field
- \* 4-point-by-point 5-explicit 6-harmonic averaging

SOLUTN(P1 ,Y,Y,Y,N,N,Y)  
 SOLUTN(U1 ,Y,Y,N,N,N,Y)  
 SOLUTN(W1 ,Y,Y,N,N,N,Y)  
 SOLUTN(KE ,Y,Y,N,N,N,N)  
 SOLUTN(EP ,Y,Y,N,N,N,N)  
 SOLUTN(PRPS,Y,N,N,N,N,N)  
 SOLUTN(EPKE,Y,N,N,N,N,Y)  
 SOLUTN(LTLS,Y,Y,Y,N,N,Y)  
 SOLUTN(TEM1,Y,Y,Y,N,N,Y)  
 SOLUTN(WDIS,Y,N,N,N,N,Y)  
 SOLUTN(DEN1,Y,N,N,N,N,Y)  
 SOLUTN(EL1 ,Y,N,N,N,N,Y)  
 SOLUTN(ENUT,Y,N,N,N,N,Y)  
 DEN1 = 148  
 VIST = 150  
 LEN1 = 149  
 PRPS = 143

\*\*\*\*\*

## Group 8. Terms &amp; Devices

- \* Y in TERMS argument list denotes:
- \* 1-built-in source 2-convection 3-diffusion 4-transient
- \* 5-first phase variable 6-interphase transport

TERMS (P1 ,Y,Y,Y,N,Y,N)  
 TERMS (U1 ,Y,Y,Y,N,Y,N)  
 TERMS (W1 ,Y,Y,Y,N,Y,N)  
 TERMS (KE ,N,Y,Y,N,Y,N)  
 TERMS (EP ,N,Y,Y,N,Y,N)  
 TERMS (LTLS,N,N,Y,N,Y,N)  
 TERMS (TEM1,N,Y,Y,N,Y,N)  
 DIFCUT = 5.000000E-01 ;ZDIFAC = 1.000000E+00  
 GALA = F ;ADDIF = F  
 NEWENT = T  
 ISOLX = -1 ;ISOLY = 0 ;ISOLZ = -1

\*\*\*\*\*

Group 9. Properties used if PRPS is not  
 stored, and where PRPS = -1.0 if it is!

## EK-2 (Devam) Örnek sonuç kütüğü

RHO1 = 1.189000E+00 ;TMP1 = 0.000000E+00  
 EL1 = GRND4  
 TSURR = 0.000000E+00 ;TEMP0 = 2.730000E+02  
 PRESS0 = 1.000000E+05  
 DVO1DT = 3.410000E-03 ;DRH1DP = 0.000000E+00  
 EMISS = 0.000000E+00 ;SCATT = 0.000000E+00  
 RADIA = 0.000000E+00 ;RADIB = 0.000000E+00  
 EL1A = 0.000000E+00 ;EL1B = 0.000000E+00  
 EL1C = 0.000000E+00  
 ENUL = 1.544000E-05 ;ENUT = GRND3  
 ENUTA = 0.000000E+00 ;ENUTB = 0.000000E+00

ENUTC = 0.000000E+00

IENUTA = 3

PRNDTL(U1) = 1.000000E+00 ;PRNDTL(W1) = 1.000000E+00  
 PRNDTL(KE) = 1.000000E+00 ;PRNDTL(EP) = 1.000000E+00  
 PRNDTL(LTLS) = 1.000000E+00 ;PRNDTL(TEM1) = -2.580000E-02  
 PRT (U1) = 1.000000E+00 ;PRT (W1) = 1.000000E+00  
 PRT (KE) = 1.000000E+00 ;PRT (EP) = 1.314000E+00  
 PRT (LTLS) = 1.000000E+10 ;PRT (TEM1) = 1.000000E+00  
 CP1 = 1.005000E+03 ;CP2 = 1.000000E+00

\*\*\*\*\*

#### Group 10.Inter-Phase Transfer Processes

\*\*\*\*\*

#### Group 11.Initial field variables (PHIs)

FIINIT(P1) = 1.000000E-10 ;FIINIT(U1) = 1.000000E-10  
 FIINIT(W1) = 1.000000E-10 ;FIINIT(KE) = 2.213232E-01  
 FIINIT(EP) = 8.756887E+01 ;FIINIT(PRPS) = -1.000000E+00  
 FIINIT(EPKE) = 1.000000E-10 ;FIINIT(LTLS) = 1.000000E-10  
 FIINIT(TEM1) = 1.000000E+01 ;FIINIT(WDIS) = 4.290000E-03  
 FIINIT(DEN1) = 1.189000E+00 ;FIINIT(EL1) = 1.000000E-10  
 FIINIT(ENUT) = 1.000000E-10

Parent VR object for this patch is: BORU

PATCH(OB5 ,INIVAL, 31, 31, 1, 1, 41, 90, 1, 1)

INIT(OB5 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

INIADD = F

FSWEEP = 1

NAMFI =CHAM

\*\*\*\*\*

#### Group 12. Patchwise adjustment of terms

Patches for this group are printed with those

for Group 13.

Their names begin either with GP12 or &

\*\*\*\*\*

## EK-2 (Devam) Örnek sonuç kütüğü

## Group 13. Boundary &amp; Special Sources

Parent VR object for this patch is: JET

```
PATCH(OB2 ,HIGH , 1, 30, 1, 1, 90, 90, 1, 1)
COVAL(OB2 ,P1 , FIXFLU , 1.118730E+01)
COVAL(OB2 ,U1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB2 ,W1 , 0.000000E+00, -9.409000E+00)
COVAL(OB2 ,KE , 0.000000E+00, 2.213232E-01)
COVAL(OB2 ,EP , 0.000000E+00, 8.756887E+01)
COVAL(OB2 ,TEM1, 0.000000E+00, 1.000000E+01)
```

Parent VR object for this patch is: OUTLET1

```
PATCH(OB3 ,HIGH , 31, 100, 1, 1, 90, 90, 1, 1)

COVAL(OB3 ,P1 , 1.000000E+03, 0.000000E+00)
COVAL(OB3 ,U1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB3 ,W1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB3 ,KE , 0.000000E+00, SAME )
COVAL(OB3 ,EP , 0.000000E+00, SAME )
COVAL(OB3 ,TEM1, 0.000000E+00, 1.000000E+01)
```

Parent VR object for this patch is: OUTLET2

```
PATCH(OB4 ,EAST , 100, 100, 1, 1, 2, 90, 1, 1)
COVAL(OB4 ,P1 , 1.000000E+03, 0.000000E+00)
COVAL(OB4 ,U1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB4 ,W1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB4 ,KE , 0.000000E+00, SAME )
COVAL(OB4 ,EP , 0.000000E+00, SAME )
COVAL(OB4 ,TEM1, 0.000000E+00, 1.000000E+01)
```

Parent VR object for this patch is: PLAKA

```
PATCH(OB1 ,LWALL , 1, 100, 1, 1, 1, 1, 1, 1)
COVAL(OB1 ,U1 , GRND2 , 0.000000E+00)
COVAL(OB1 ,KE , 1.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB1 ,TEM1, FIXFLU , 2.040946E+03)
```

```
PATCH(KESOURCE,PHASEM, 1, 100, 1, 1, 1, 90, 1, 1)
COVAL(KESOURCE,KE , GRND4 , GRND4 )
COVAL(KESOURCE,EP , GRND4 , GRND4 )
XCycle = F
EGWF = T
WALLCO = GRND2
```

\*\*\*\*\*

## Group 14. Downstream Pressure For PARAB

## EK-2 (Devam) Örnek sonuç kütüğü

```

*****
Group 15. Terminate Sweeps
LSWEEP = 4000 ;ISWC1 = 1
LITHYD = 1 ;LITFLX = 1 ;LITC = 1 ;ITHC1 = 1
SELREF = T
RESFAC = 1.000000E-03
*****

Group 16. Terminate Iterations
LITER (P1 ) = 200 ;LITER (U1 ) = 10
LITER (W1 ) = 10 ;LITER (KE ) = 20
LITER (EP ) = 20 ;LITER (LTLS) = 1000
LITER (TEM1) = 20
ENDIT (P1 ) = 1.000000E-03 ;ENDIT (U1 ) = 1.000000E-03
ENDIT (W1 ) = 1.000000E-03 ;ENDIT (KE ) = 1.000000E-03
ENDIT (EP ) = 1.000000E-03 ;ENDIT (LTLS) = 1.000000E-03
ENDIT (TEM1) = 1.000000E-03
*****

Group 17. Relaxation
RELAX(P1 ,LINRLX, 5.000000E-01)
RELAX(U1 ,FALSDT, 1.000000E-02)
RELAX(W1 ,FALSDT, 1.000000E-02)
RELAX(KE ,LINRLX, 5.000000E-01)
RELAX(EP ,LINRLX, 5.000000E-01)
RELAX(PRPS,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(EPKE,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(LTLS,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(TEM1,FALSDT, 1.000000E+01)
RELAX(WDIS,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(DEN1,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(EL1 ,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(ENUT,LINRLX, 1.000000E+00)
KELIN = 3
OVRRLX = 0.000000E+00
EXPERT = F ;NNORSL = F
*****

Group 18. Limits
VARMAX(P1 ) = 1.000000E+10 ;VARMIN(P1 ) = -1.000000E+10
VARMAX(U1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(U1 ) = -1.000000E+06
VARMAX(W1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(W1 ) = -1.000000E+06
VARMAX(KE ) = 1.000000E+10 ;VARMIN(KE ) = 1.000000E-10
VARMAX(EP ) = 1.000000E+10 ;VARMIN(EP ) = 1.000000E-10
VARMAX(PRPS) = 1.000000E+10 ;VARMIN(PRPS) = -1.000000E+10
VARMAX(EPKE) = 1.000000E+10 ;VARMIN(EPKE) = -1.000000E+10
VARMAX(LTLS) = 1.000000E+10 ;VARMIN(LTLS) = -1.000000E+10
VARMAX(TEM1) = 1.000000E+10 ;VARMIN(TEM1) = -1.000000E+10

```

## EK-2 (Devam) Örnek sonuç kütüğü

```

VARMAX(WDIS) = 1.000000E+10 ;VARMIN(WDIS) =-1.000000E+10
VARMAX(DEN1) = 1.000000E+10 ;VARMIN(DEN1) =-1.000000E+10
VARMAX(EL1 ) = 1.000000E+10 ;VARMIN(EL1 ) =-1.000000E+10
VARMAX(ENUT) = 1.000000E+10 ;VARMIN(ENUT) =-1.000000E+10
*****

```

## Group 19. Data transmitted to GROUND

```

USEGRD = T ;USEGRX = T
GENK = T
PARSOL = F
IENUTA = 3
GEN1 = 681
SPEDAT(SET,DOMAIN,PHASE_1_MAT,I,0)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB1,C,PLAKA)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB1,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB2,C,JET)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB2,C,INLET)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB3,C,OUTLET1)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB3,C,OUTLET)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB4,C,OUTLET2)

```

```

SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB4,C,OUTLET)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB5,C,BORU)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB5,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,BORU,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,MATERIAL,198,L,T)
*****

```

## Group 20. Preliminary Printout

```

ECHO = T
*****

```

## Group 21. Print-out of Variables

```

INIFLD = F ;SUBWGR = F
* Y in OUTPUT argument list denotes:
* 1-field 2-correction-eq. monitor 3-selective dumping
* 4-whole-field residual 5-spot-value table 6-residual table
OUTPUT(P1 ,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(U1 ,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(W1 ,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(KE ,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(EP ,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(PRPS,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(EPKE,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(LTLS,Y,N,Y,Y,N,Y)
OUTPUT(TEM1,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(WDIS,Y,N,N,N,N,N)
OUTPUT(DEN1,Y,N,Y,N,N,N)

```

## EK-2 (Devam) Örnek sonuç kütüğü

OUTPUT(EL1 ,Y,N,Y,N,N,N)  
 OUTPUT(ENUT,Y,N,Y,N,N,N)

\*\*\*\*\*

## Group 22. Monitor Print-Out

IXMON = 15 ;IYMON = 1 ;IZMON = 80  
 NPRMON = 100000 ;NPRMNT = 1 ;TSTSWP = 10001  
 UWATCH = F ;USTEER = F

HIGHLO = F

\*\*\*\*\*

## Group 23. Field Print-Out &amp; Plot Control

NPRINT = 4000 ;NUMCLS = 5  
 NXPRIN = 20 ;IXPRF = 1 ;IXPRL = 100  
 NZPRIN = 18 ;IZPRF = 1 ;IZPRL = 10000  
 XZPR = T ;YZPR = F  
 IPLTF = 1 ;IPLTL = 4000 ;NPLT = 200  
 ISWPRF = 1 ;ISWPRL = 100000  
 ITABL = 1 ;IPROF = 1  
 ABSIZ = 5.000000E-01 ;ORSIZ = 4.000000E-01  
 NTZPRF = 1 ;NCOLPF = 50  
 ICHR = 2 ;NCOLCO = 45 ;NROWCO = 20

No PATCHes yet used for this Group

\*\*\*\*\*

## Group 24. Dumps For Restarts

SAVE = T ;AUTOPS = F ;NOWIPE = F  
 NSAVE = CHAM

\*\*\* grid-geometry information \*\*\*

X-coordinates of the cell centres

|           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 6.500E-05 | 1.950E-04 | 3.250E-04 | 4.550E-04 | 5.850E-04 |
| 7.150E-04 | 8.450E-04 | 9.750E-04 | 1.105E-03 | 1.235E-03 |
| 1.365E-03 | 1.495E-03 | 1.625E-03 | 1.755E-03 | 1.885E-03 |
| 2.015E-03 | 2.145E-03 | 2.275E-03 | 2.405E-03 | 2.535E-03 |
| 2.665E-03 | 2.795E-03 | 2.925E-03 | 3.055E-03 | 3.185E-03 |
| 3.315E-03 | 3.445E-03 | 3.575E-03 | 3.705E-03 | 3.835E-03 |
| 3.983E-03 | 4.219E-03 | 4.569E-03 | 5.001E-03 | 5.500E-03 |
| 6.058E-03 | 6.671E-03 | 7.332E-03 | 8.039E-03 | 8.790E-03 |
| 9.581E-03 | 1.041E-02 | 1.128E-02 | 1.218E-02 | 1.311E-02 |
| 1.408E-02 | 1.508E-02 | 1.612E-02 | 1.718E-02 | 1.827E-02 |
| 1.939E-02 | 2.053E-02 | 2.171E-02 | 2.291E-02 | 2.413E-02 |
| 2.538E-02 | 2.666E-02 | 2.796E-02 | 2.928E-02 | 3.063E-02 |
| 3.200E-02 | 3.340E-02 | 3.481E-02 | 3.625E-02 | 3.771E-02 |
| 3.919E-02 | 4.069E-02 | 4.221E-02 | 4.375E-02 | 4.532E-02 |
| 4.690E-02 | 4.850E-02 | 5.012E-02 | 5.176E-02 | 5.342E-02 |

## EK-2 (Devam) Örnek sonuç kütüğü

|           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 5.510E-02 | 5.680E-02 | 5.851E-02 | 6.025E-02 | 6.200E-02 |
| 6.377E-02 | 6.556E-02 | 6.736E-02 | 6.918E-02 | 7.102E-02 |
| 7.288E-02 | 7.475E-02 | 7.664E-02 | 7.854E-02 | 8.047E-02 |
| 8.240E-02 | 8.436E-02 | 8.633E-02 | 8.831E-02 | 9.032E-02 |
| 9.233E-02 | 9.437E-02 | 9.641E-02 | 9.848E-02 | 1.006E-01 |

Y-coordinates of the cell centres

5.000E-01

Z-coordinates of the cell centres

|           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1.927E-07 | 1.283E-06 | 4.094E-06 | 9.170E-06 | 1.694E-05 |
| 2.777E-05 | 4.197E-05 | 5.986E-05 | 8.171E-05 | 1.078E-04 |
| 1.383E-04 | 1.735E-04 | 2.135E-04 | 2.587E-04 | 3.092E-04 |
| 3.653E-04 | 4.269E-04 | 4.945E-04 | 5.681E-04 | 6.479E-04 |
| 7.341E-04 | 8.269E-04 | 9.263E-04 | 1.033E-03 | 1.146E-03 |
| 1.266E-03 | 1.394E-03 | 1.529E-03 | 1.672E-03 | 1.823E-03 |
| 1.981E-03 | 2.147E-03 | 2.322E-03 | 2.504E-03 | 2.695E-03 |
| 2.895E-03 | 3.103E-03 | 3.320E-03 | 3.546E-03 | 3.780E-03 |
| 3.955E-03 | 4.111E-03 | 4.343E-03 | 4.628E-03 | 4.958E-03 |
| 5.327E-03 | 5.732E-03 | 6.169E-03 | 6.637E-03 | 7.133E-03 |
| 7.656E-03 | 8.205E-03 | 8.778E-03 | 9.374E-03 | 9.993E-03 |
| 1.063E-02 | 1.130E-02 | 1.198E-02 | 1.268E-02 | 1.340E-02 |
| 1.414E-02 | 1.490E-02 | 1.568E-02 | 1.647E-02 | 1.728E-02 |
| 1.811E-02 | 1.895E-02 | 1.981E-02 | 2.069E-02 | 2.158E-02 |
| 2.248E-02 | 2.340E-02 | 2.434E-02 | 2.529E-02 | 2.625E-02 |
| 2.723E-02 | 2.823E-02 | 2.923E-02 | 3.025E-02 | 3.129E-02 |
| 3.233E-02 | 3.339E-02 | 3.446E-02 | 3.555E-02 | 3.665E-02 |
| 3.776E-02 | 3.888E-02 | 4.001E-02 | 4.116E-02 | 4.232E-02 |

X-coordinates of the (higher) cell faces

|           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1.300E-04 | 2.600E-04 | 3.900E-04 | 5.200E-04 | 6.500E-04 |
| 7.800E-04 | 9.100E-04 | 1.040E-03 | 1.170E-03 | 1.300E-03 |
| 1.430E-03 | 1.560E-03 | 1.690E-03 | 1.820E-03 | 1.950E-03 |
| 2.080E-03 | 2.210E-03 | 2.340E-03 | 2.470E-03 | 2.600E-03 |
| 2.730E-03 | 2.860E-03 | 2.990E-03 | 3.120E-03 | 3.250E-03 |
| 3.380E-03 | 3.510E-03 | 3.640E-03 | 3.770E-03 | 3.900E-03 |
| 4.067E-03 | 4.372E-03 | 4.767E-03 | 5.235E-03 | 5.765E-03 |
| 6.352E-03 | 6.990E-03 | 7.675E-03 | 8.404E-03 | 9.175E-03 |
| 9.986E-03 | 1.083E-02 | 1.172E-02 | 1.264E-02 | 1.359E-02 |
| 1.458E-02 | 1.559E-02 | 1.664E-02 | 1.772E-02 | 1.882E-02 |
| 1.995E-02 | 2.111E-02 | 2.230E-02 | 2.351E-02 | 2.475E-02 |
| 2.602E-02 | 2.730E-02 | 2.862E-02 | 2.995E-02 | 3.131E-02 |
| 3.269E-02 | 3.410E-02 | 3.552E-02 | 3.697E-02 | 3.844E-02 |
| 3.993E-02 | 4.144E-02 | 4.298E-02 | 4.453E-02 | 4.610E-02 |
| 4.769E-02 | 4.931E-02 | 5.094E-02 | 5.259E-02 | 5.426E-02 |
| 5.595E-02 | 5.765E-02 | 5.938E-02 | 6.112E-02 | 6.288E-02 |
| 6.466E-02 | 6.645E-02 | 6.827E-02 | 7.010E-02 | 7.194E-02 |

## EK-2 (Devam) Örnek sonuç kütüğü

7.381E-02 7.569E-02 7.759E-02 7.950E-02 8.143E-02  
 8.338E-02 8.534E-02 8.732E-02 8.931E-02 9.132E-02  
 9.335E-02 9.539E-02 9.744E-02 9.951E-02 1.016E-01

Y-coordinates of the (higher) cell faces

1.000E+00

Z-coordinates of the (higher) cell faces

3.854E-07 2.180E-06 6.008E-06 1.233E-05 2.154E-05  
 3.399E-05 4.996E-05 6.977E-05 9.365E-05 1.219E-04  
 1.547E-04 1.923E-04 2.348E-04 2.826E-04 3.358E-04  
 3.947E-04 4.592E-04 5.298E-04 6.065E-04 6.894E-04  
 7.789E-04 8.749E-04 9.778E-04 1.088E-03 1.204E-03  
 1.328E-03 1.460E-03 1.599E-03 1.745E-03 1.900E-03  
 2.062E-03 2.232E-03 2.411E-03 2.598E-03 2.793E-03  
 2.997E-03 3.209E-03 3.431E-03 3.661E-03 3.900E-03  
 4.010E-03 4.212E-03 4.473E-03 4.782E-03 5.133E-03  
 5.521E-03 5.943E-03 6.396E-03 6.878E-03 7.388E-03  
 7.924E-03 8.485E-03 9.070E-03 9.678E-03 1.031E-02  
 1.096E-02 1.163E-02 1.232E-02 1.304E-02 1.377E-02  
 1.452E-02 1.528E-02 1.607E-02 1.687E-02 1.769E-02  
 1.852E-02 1.938E-02 2.024E-02 2.113E-02 2.203E-02  
 2.294E-02 2.387E-02 2.481E-02 2.577E-02 2.674E-02  
 2.773E-02 2.873E-02 2.974E-02 3.077E-02 3.181E-02  
 3.286E-02 3.393E-02 3.500E-02 3.610E-02 3.720E-02  
 3.831E-02 3.944E-02 4.058E-02 4.174E-02 4.290E-02

--- INTEGRATION OF EQUATIONS BEGINS ---

\*\*\*\*\*

TIME STP= 1 SWEEP NO= 4000 ZSLAB NO= 80 ITERN NO= 1

\*\*\*\*\*

TIME STP= 1 SWEEP NO= 4000 ZSLAB NO= 1 ITERN NO= 1

Flow field at ITHYD= 1, ISWEEP= 4000, ISTEP= 1

XZPR IY= 1 isweep = 4000 istep = 1

Field Values of P1

IX= 100 6.013E-04 9.749E-03 9.528E-03 4.438E-03 -3.554E-04  
 IX= 80 1.690E-01 1.903E-01 1.541E-01 -2.605E-01 -2.428E-01  
 IX= 60 -7.462E-03 1.275E-02 -9.929E-02 -2.571E-01 -2.506E-01  
 IX= 40 8.746E+00 8.211E+00 -1.528E-01 -2.701E-01 -2.557E-01  
 IX= 20 1.405E+02 1.393E+02 1.086E+02 9.954E+01 1.022E+02  
 IZ= 1 19 37 55 73

## EK-2 (Devam) Örnek sonuç kütüğü

## Field Values of U1

|        |           |           |           |            |            |
|--------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| IX= 99 | 6.310E-03 | 8.339E+00 | 8.074E+00 | 3.661E+00  | -2.920E-01 |
| IX= 79 | 9.191E-03 | 1.169E+01 | 9.030E+00 | 1.094E+00  | -7.769E-02 |
| IX= 59 | 8.384E-03 | 1.526E+01 | 7.448E+00 | 1.945E-02  | -2.750E-03 |
| IX= 39 | 2.482E-02 | 1.607E+01 | 2.378E+00 | -7.500E-02 | 6.121E-03  |
| IX= 19 | 1.819E-02 | 5.998E+00 | 4.543E+00 | 5.605E-02  | -4.690E-02 |
| IZ=    | 1         | 19        | 37        | 55         | 73         |

## Field Values of W1

|         |            |            |            |            |            |
|---------|------------|------------|------------|------------|------------|
| IX= 100 | 1.169E-06  | 4.033E-02  | 1.528E-01  | 7.195E-02  | -1.029E-01 |
| IX= 80  | 2.120E-08  | 4.372E-02  | 2.175E-01  | -3.229E-01 | -4.828E-01 |
| IX= 60  | 3.102E-08  | 4.720E-02  | 1.148E-01  | -4.770E-01 | -4.652E-01 |
| IX= 40  | 1.389E-06  | 6.592E-02  | -1.187E-01 | -4.990E-01 | -4.819E-01 |
| IX= 20  | -3.869E-06 | -1.470E+00 | -8.350E+00 | -1.033E+01 | -1.012E+01 |
| IZ=     | 1          | 19         | 37         | 55         | 73         |

## Field Values of KE

|         |           |           |           |           |           |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IX= 100 | 1.000E-10 | 2.412E+00 | 3.696E+00 | 4.079E+00 | 3.987E-01 |
| IX= 80  | 1.000E-10 | 3.010E+00 | 6.559E+00 | 1.887E+00 | 1.010E-01 |
| IX= 60  | 1.000E-10 | 1.028E+00 | 6.716E+00 | 3.892E-02 | 3.694E-02 |
| IX= 40  | 1.000E-10 | 1.267E+00 | 1.293E+00 | 1.000E-10 | 1.000E-10 |
| IX= 20  | 1.000E-10 | 9.592E-01 | 2.152E-01 | 8.853E-02 | 1.230E-01 |
| IZ=     | 1         | 19        | 37        | 55        | 73        |

## Field Values of EP

|         |           |           |           |           |           |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IX= 100 | 1.857E+03 | 1.054E+03 | 7.943E+02 | 6.401E+02 | 1.229E+01 |
| IX= 80  | 3.117E+03 | 2.037E+03 | 2.966E+03 | 3.176E+02 | 5.049E-01 |
| IX= 60  | 3.778E+03 | 8.821E+02 | 6.372E+03 | 1.367E-01 | 8.923E-02 |
| IX= 40  | 2.306E+03 | 6.363E+02 | 2.574E+03 | 1.356E+00 | 1.859E+00 |
| IX= 20  | 1.524E+03 | 4.264E+02 | 5.563E+01 | 1.713E+01 | 2.997E+01 |
| IZ=     | 1         | 19        | 37        | 55        | 73        |

## Field Values of PRPS

|         |          |          |          |          |          |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| IX= 100 | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop |
| IX= 80  | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop |
| IX= 60  | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop |
| IX= 40  | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop |
| IX= 20  | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop |
| IZ=     | 1        | 19       | 37       | 55       | 73       |

## Field Values of EPKE

|         |           |           |           |           |           |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IX= 100 | 1.000E+10 | 4.368E+02 | 2.149E+02 | 1.569E+02 | 3.081E+01 |
| IX= 80  | 1.000E+10 | 6.767E+02 | 4.523E+02 | 1.683E+02 | 4.998E+00 |

## EK-2 (Devam) Örnek sonuç kütüğü

|        |           |           |           |           |           |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IX= 60 | 1.000E+10 | 8.577E+02 | 9.488E+02 | 3.513E+00 | 2.415E+00 |
| IX= 40 | 1.000E+10 | 5.024E+02 | 1.991E+03 | 1.000E+10 | 1.000E+10 |
| IX= 20 | 1.000E+10 | 4.446E+02 | 2.585E+02 | 1.935E+02 | 2.436E+02 |
| IZ=    | 1         | 19        | 37        | 55        | 73        |

## Field Values of LTLS

|         |           |           |           |           |           |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IX= 100 | 7.866E-09 | 2.303E-05 | 1.219E-04 | 3.585E-04 | 7.039E-04 |
| IX= 80  | 7.394E-09 | 2.164E-05 | 1.143E-04 | 3.346E-04 | 6.521E-04 |
| IX= 60  | 5.661E-09 | 1.653E-05 | 8.646E-05 | 2.471E-04 | 4.648E-04 |
| IX= 40  | 2.050E-09 | 5.885E-06 | 2.853E-05 | 7.086E-05 | 1.195E-04 |
| IX= 20  | 7.331E-10 | 1.993E-06 | 5.871E-06 | 4.413E-06 | 4.394E-06 |
| IZ=     | 1         | 19        | 37        | 55        | 73        |

## Field Values of TEM1

|         |           |           |           |           |           |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IX= 100 | 3.928E+01 | 1.695E+01 | 1.242E+01 | 1.043E+01 | 1.001E+01 |
| IX= 80  | 3.878E+01 | 1.545E+01 | 1.056E+01 | 1.002E+01 | 1.000E+01 |
| IX= 60  | 3.927E+01 | 1.247E+01 | 1.000E+01 | 1.000E+01 | 1.000E+01 |
| IX= 40  | 2.533E+01 | 1.004E+01 | 1.000E+01 | 1.000E+01 | 1.000E+01 |
| IX= 20  | 2.244E+01 | 1.000E+01 | 1.000E+01 | 1.000E+01 | 1.000E+01 |
| IZ=     | 1         | 19        | 37        | 55        | 73        |

## Field Values of WDIS

|         |           |           |           |           |           |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IX= 100 | 1.927E-07 | 5.681E-04 | 3.103E-03 | 9.972E-03 | 2.404E-02 |
| IX= 80  | 1.927E-07 | 5.681E-04 | 3.101E-03 | 9.933E-03 | 2.348E-02 |
| IX= 60  | 1.927E-07 | 5.681E-04 | 3.091E-03 | 9.591E-03 | 1.922E-02 |
| IX= 40  | 1.927E-07 | 5.661E-04 | 2.736E-03 | 4.387E-03 | 4.670E-03 |
| IX= 20  | 1.927E-07 | 5.721E-04 | 2.856E-03 | 1.366E-03 | 1.366E-03 |
| IZ=     | 1         | 19        | 37        | 55        | 73        |

## Field Values of DEN1

|         |           |           |           |           |           |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IX= 100 | 1.189E+00 | 1.189E+00 | 1.189E+00 | 1.189E+00 | 1.189E+00 |
| IX= 80  | 1.189E+00 | 1.189E+00 | 1.189E+00 | 1.189E+00 | 1.189E+00 |
| IX= 60  | 1.189E+00 | 1.189E+00 | 1.189E+00 | 1.189E+00 | 1.189E+00 |
| IX= 40  | 1.189E+00 | 1.189E+00 | 1.189E+00 | 1.189E+00 | 1.189E+00 |
| IX= 20  | 1.189E+00 | 1.189E+00 | 1.189E+00 | 1.189E+00 | 1.189E+00 |
| IZ=     | 1         | 19        | 37        | 55        | 73        |

## Field Values of EL1

|         |     |           |           |           |           |
|---------|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IX= 100 | 0.0 | 5.843E-04 | 1.470E-03 | 2.114E-03 | 3.367E-03 |
| IX= 80  | 0.0 | 4.212E-04 | 9.303E-04 | 1.341E-03 | 1.045E-02 |
| IX= 60  | 0.0 | 1.943E-04 | 4.487E-04 | 9.227E-03 | 1.307E-02 |
| IX= 40  | 0.0 | 3.681E-04 | 9.386E-05 | 0.0       | 0.0       |
| IX= 20  | 0.0 | 3.619E-04 | 2.949E-04 | 2.527E-04 | 2.366E-04 |
| IZ=     | 1   | 19        | 37        | 55        | 73        |

## EK-2 (Devam) Örnek sonuç kütüğü

## Field Values of ENUT

|         |     |           |           |           |           |
|---------|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IX= 100 | 0.0 | 1.959E-04 | 1.548E-03 | 2.339E-03 | 1.165E-03 |
| IX= 80  | 0.0 | 1.819E-04 | 1.305E-03 | 1.009E-03 | 1.819E-03 |
| IX= 60  | 0.0 | 2.882E-05 | 6.371E-04 | 7.721E-04 | 1.351E-03 |
| IX= 40  | 0.0 | 6.229E-05 | 5.847E-05 | 0.0       | 0.0       |
| IX= 20  | 0.0 | 4.519E-05 | 5.932E-05 | 8.650E-06 | 1.187E-05 |
| IZ=     | 1   | 19        | 37        | 55        | 73        |

Whole-field residuals before solution  
with resref values determined by EARTH

& resfac= 1.000000E-03

| variable | resref    | (res sum)/resref | (res sum) |
|----------|-----------|------------------|-----------|
| P1       | 1.198E-06 | 1.825E+01        | 2.186E-05 |
| U1       | 6.940E-06 | 2.884E+02        | 2.002E-03 |
| W1       | 3.657E-06 | 6.827E+01        | 2.497E-04 |
| KE       | 2.633E-06 | 1.906E+03        | 5.020E-03 |
| EP       | 1.798E-03 | 7.244E+03        | 1.303E+01 |
| LTLS     | 4.843E-10 | 6.725E+05        | 3.257E-04 |
| TEM1     | 1.769E-01 | 1.010E+00        | 1.787E-01 |

Nett source of U1 at patch named: OB4 (OUTLET2 )=-5.796397E-01  
 Nett source of U1 at patch named: OB1 (PLAKA )=-9.731863E-02  
 pos. sum= 0.000000E+00 neg. sum=-6.769583E-01  
 nett sum=-6.769583E-01

Nett source of W1 at patch named: OB2 (JET )=-4.105191E-01  
 Nett source of W1 at patch named: OB4 (OUTLET2 )=-9.944269E-03  
 pos. sum= 0.000000E+00 neg. sum=-4.204634E-01  
 nett sum=-4.204634E-01

Nett source of R1 at patch named: OB2 (JET )= 4.363047E-02  
 Nett source of R1 at patch named: OB3 (OUTLET1 )= 4.593074E-02  
 Nett source of R1 at patch named: OB4 (OUTLET2 )=-8.956090E-02  
 pos. sum= 8.956121E-02 neg. sum=-8.956090E-02  
 nett sum= 3.054738E-07

Nett source of KE at patch named: OB2 (JET )= 9.656436E-03  
 Nett source of KE at patch named: OB3 (OUTLET1 )= 3.664670E-03  
 Nett source of KE at patch named: OB4 (OUTLET2 )=-3.495658E-01  
 Nett source of KE at patch named: OB1 (PLAKA )=-2.113772E-05  
 Nett source of KE at patch named: KESOURCE=-1.999102E+00  
 pos. sum= 1.332111E-02 neg. sum=-2.348689E+00  
 nett sum=-2.335368E+00

## EK-2 (Devam) Örnek sonuç kütüğü

Nett source of EP at patch named: OB2 (JET ) = 3.820671E+00  
 Nett source of EP at patch named: OB3 (OUTLET1 ) = 3.837934E-02  
 Nett source of EP at patch named: OB4 (OUTLET2 ) = -7.413433E+01  
 Nett source of EP at patch named: KESOURCE = -5.650687E+03  
 pos. sum= 3.859050E+00 neg. sum= -5.724821E+03  
 nett sum= -5.720962E+03

Nett source of TEM1 at patch named: OB2 (JET ) = 1.240916E+04  
 Nett source of TEM1 at patch named: OB3 (OUTLET1 ) = 1.306339E+04  
 Nett source of TEM1 at patch named: OB4 (OUTLET2 ) = -2.567981E+04

Nett source of TEM1 at patch named: OB1 (PLAKA ) = 2.073601E+02  
 pos. sum= 2.567991E+04 neg. sum= -2.567981E+04  
 nett sum= 1.054688E-01

\*\*\*\*\*

spot values vs sweep or iteration number

IXMON= 15 IYMON= 1 IZMON= 80 TIMESTEP= 1

Variable 1 = P1 2 = U1 3 = W1 4 = KE 5 = EP

Minval= 1.000E-10 -4.995E-02 -9.924E+00 1.488E-01 4.135E+01

Maxval= 1.040E+02 -1.468E-02 -5.754E+00 1.600E-01 5.766E+01

Cellav= 9.883E+01 -4.819E-02 -9.716E+00 1.494E-01 4.217E+01

Variable 6 = TEM1

Minval= 1.000E+01

Maxval= 1.000E+01

Cellav= 1.000E+01

## EK-2 (Devam) Örnek sonuç kütüğü

```

1.00 5..1.1..1.+1.1.+1.1.+1..1+1..1+.1.1+.1.1+.1..6.1..1
      .
0.90 +
      .
0.80 + 6 6
      .
      6
0.70 +
      6
      6
0.60 +
      6
      6
0.50 +
      6
      6
0.40 +
      6
      6
0.30 +
      6
      6
0.20 +
      6
      6
0.10 +
      6
      6
0.00 1..5.5..5.+6.5.+5.5.+5..5+5..5+.5.5+.5.5+.5..5.5..5
      0 .1 .2 .3 .4 .5 .6 .7 .8 .9 1.0
the abscissa is ISWP. min= 1.00E+00 max= 3.80E+03

```

\*\*\*\*\*

residuals vs sweep or iteration number

Variable 1 = P1 2 = U1 3 = W1 4 = KE 5 = EP

Minval= 2.932E+00 6.490E+00 4.630E+00 7.220E+00 9.142E+00

Maxval= 1.584E+01 1.273E+01 1.601E+01 1.938E+01 2.424E+01

Variable 6 = LTLS 7 = TEM1

Minval= 1.342E+01 2.579E-02

Maxval= 1.342E+01 2.376E+01

## EK-2 (Devam) Örnek sonuç kütüğü

```

1.00 7..2.+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....+
.
0.90 +      2                                     +
.
0.80 +                                             +
.
0.70 +                                             +
2
0.60 + 3                                           +
.      3      2
0.50 + 1                                           +
.      4
0.40 +      4                                     +
.              3      2
0.30 +              4                             +
.      5      1      4
0.20 + 7 5              3 4      2               +
.      7      5              2      2      2      2
0.10 +              7      5 5      5              2      3      2
.              7 7      1 5      5      5 5      7      5 5      4 4      4      4 7      4
0.00 6..6.6..6.+6.6.+7.7.+7..7+7..6+.7.7+.7.7+.7..7.6..7
      0      .1      .2      .3      .4      .5      .6      .7      .8      .9      1.0

```

the abscissa is            ISWP.   min= 1.00E+00 max= 3.80E+03

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

SATLIT RUN NUMBER = 1 ; LIBRARY REF.= 0

Run completed at 05:27:37 on Tuesday, 09 October 2007

MACHINE-CLOCK TIME OF RUN = 687 SECONDS.

TIME/(VARIABLES\*CELLS\*TSTEPS\*SWEEPS\*ITS) = 2.726E-06

\*\*\*\*\*

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ERGEN, Hakan  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 03.01.1981 İskenderun  
Medeni hali : Evli  
Telefon : 0 (312) 232 35 73  
Faks : 0 (312) 230 60 43  
e-mail : hakanergen2003@yahoo.com

### Eğitim

| Derece | Eğitim Birimi                                    | Mezuniyet tarihi |
|--------|--------------------------------------------------|------------------|
| Lisans | Karadeniz Teknik Üniversitesi / Mak. Müh. Bölümü | 2003             |
| Lise   | İskenderun Lisesi (Y. Dil. Ağırlıklı)            | 1999             |

### İş Deneyimi

| Yıl       | Yer                        | Görev                     |
|-----------|----------------------------|---------------------------|
| 2006-     | Asega Klima Soğ. Ltd. Şti. | Süpervizyon Dept. Şefi    |
| 2005-2006 | Klisom A.Ş.                | Teklif ve Satış Mühendisi |

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Tenis, Yüzme, Kitap okumak, Sinemaya gitmek