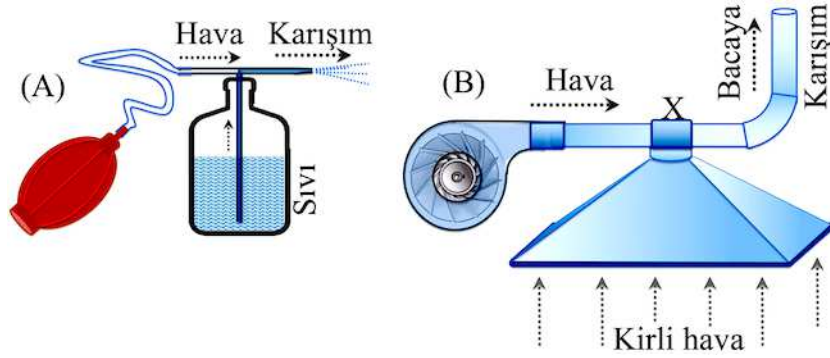


Örnek 0.1 Mutfak havalandırma aygıtı: Verimli ve kullanışlı bir mutfak aspiratörü tasarlayarak çalışma ilkesini inceleyiniz.

ÇÖZÜM: Mutfak, laboratuvar, havası kirlenen işyerleri ve benzeri mekânlarda istenmeyen koku ile havaya karışan parçacıkların aspiratör ya da çeker ocak olarak bilinen aygıtlarla dışarı atılması gereklidir. Bunun için kullanılan aygıt Örnek 0.3’de verilen ve (C) resminde verilen silindirik fanı içeren santrifüj pompa benzeri bir sistemdir, ancak yaptığı iş hava üfleme değil ortamdaki havayı çekerek dışarı atmaktır. Bu aygıtlardaki temel sorun, ortamdaki çekilen kirlenmiş hava içindeki kimyasalların ve yağ damlacıklarının parçacıklarının aygıtın fan ve diğer hareketli parçalarına temas ederek onu paslandırması ya da yapışarak balansını bozması, yatakları aşındırması gibi olumsuzluklardır. Bunun engellemek için kirli havanın hareketli ve hassas parçalara temasının önlenmesi gerekir.

Şekilde (A) resmi bir Bernoulli denkleminin açıkladığı kanunu uygulayan spreji göstermektedir. Lastik pompa sıkıştırıldığında hortumdan hızla geçen hava şişeye daldırılan borunun üst ucundaki basıncı düşürür, sonuçta şişedeki sıvı (parfüm) yükselerek havaya karışır ve hortumun ucundan püskürtülür. Benzer olgu mutfak, laboratuvar ya da işyeri gibi havası kirlenen mekânlardaki kirli havayı dışarı atmak için de kullanılabilir; bu teknik ile kirli hava hareketli ve hassas parçalara temas etmeden dışarı atılır.



Şekil 1: Örnek ?? şekli.

Şekilde gösterilen ve yukarıda kısaca açıklanan sprej, (A), ile mutfak aspiratörü gibi ortam havasını temizleme düzeneği, (B), esasta aynıdır. (Günümüzde bu teknik yerine basınçlı tüpler kullanılmaktadır ve tüpteki sıkıştırılmış gazlar çevre için tehlike oluşturacak özellikte olabilir.) Mutfak aspiratörü benzeri çeşitli boyutlardaki ortam temizleme sistemleri, santrifüj pompasının boru içinde oldukça hızla gönderdiği havanın X noktasında basıncı oldukça düşürür. Dolayısıyla ortamdaki kirli hava davlumbaz ile toplanarak yukarı çekilir ve borudaki havaya karışarak bacadan dışarı atılır. Gerekirse baca çıkışından önce kirli hava çeşitli süzgeçlerden geçirilir ve dışarıya temiz hava gönderilebilir.

Bu teknik, kirli havanın sistemdeki hareketli parçalara temasını engeller ve sadece boruya temas eder. Gerekirse kirlenen borunun temizlenmesi veya değiştirilmesi hem kolay, hem de daha az maliyetlidir.

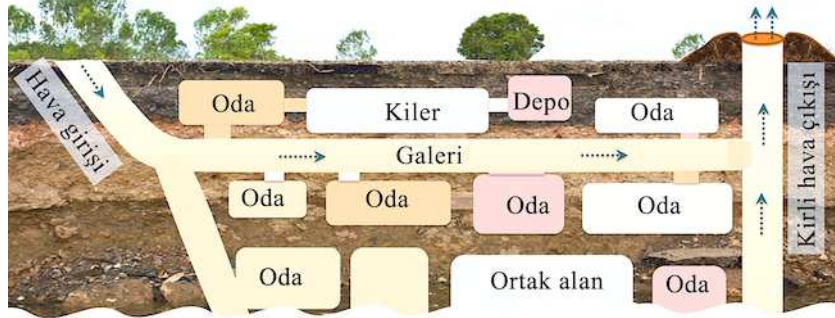
Örnek 0.2 Yeraltı şehrinin havalandırılması: Antik çağlarda insanların barınma ve güvenlik amacıyla yaptığı yeraltı şehirlerinin havalandırmasını Bernoulli denklemini çerçevesinde inceleyiniz.

ÇÖZÜM: Eski çağlarda toplumlar öncelikle güvenlik, sonra barınma amacıyla inşaa ettikleri kaleler ve surlar yanında yeraltına kazdıkları mağaraları ve yaptıkları dehlizleri kullanmışlardır. Kapadokya bölgesinde Derinkuyu ilçesindeki Yeraltı Şehri, İstanbul'da ve Roma'da yapılan dehlizler bunlardan bilinenlerin başında gelmektedir. Benzer yeraltı barınakları ülkemizde başka yerlerde ve daha başka ülkelerde de vardır. Bunlara son iki yüzyılda büyük şehirlerde ulaşım için yapılan metro tünelleri ile savaşlardan korunmak amacıyla yerleşim yerlerinin altına yapılan sığınaklar da eklenebilir.

Bu örnekte ele alınan doğal havalandırma tekniği gerçekte dışarıdan bir enerji kullanılmamasını gerektirmediği için *yenilenebilir enerjinin* doğal unsurudur. Çok sayıda binanın iç havalandırmasında uygun mimari ve mühendislikle bu teknik kullanılabilir ve hiç bir enerji kaynağını harcamadan hava temizlenebilir.

Bu yeraltı şehirlerinde kalabalık insanlar gerektiğinde aylarca kalabilmekte, kış mevsimini bu buralarda geçirebilmektedirler. Dehlizlerde ve sığınaklarda da kalabalık insanlar gerektiğinde uzun süreler hayatta kalmışlardır. Eğer gerekli havalandırma yapılmamış olsaydı buralarda insanlar kısa sürede havasızlıktan boğulurlardı.

Gerçekte bu sistem doğal olarak yeraltında barınan hayvanlar tarafından uygulanmaktadır. Örneğin karınca kolonileri, tarla fareleri ve benzeri hayvanlar benzer yuvalarda yaşarlar ve uzun süreler, hatta kış boyunca bu yuvalarda hayatta kalırlar. Bu yuvaların da havalandırılmaları gerekir, aksi halde hayvanlar havasızlıktan boğulurlar.



Şekil 2: Örnek ?? şekli.

Şekil ??'da bir yeraltı şehrinin havalandırma modeli verilmiştir. Şehrin galerilerinin bir ucu yer yüzünde düz bir yere açılmaktadır ve burası genellikle giriş-çıkış için kullanılır, diğer ucu bir tümseğin tepesine açılır. (Kapadokya'da bulunan Derinkuyu ilçesi ismini yeraltı şehrinin çıkış kuyusundan almaktadır, uzun süre bu kuyunun su kuyusu olarak açıldığına inanılmıştır.)

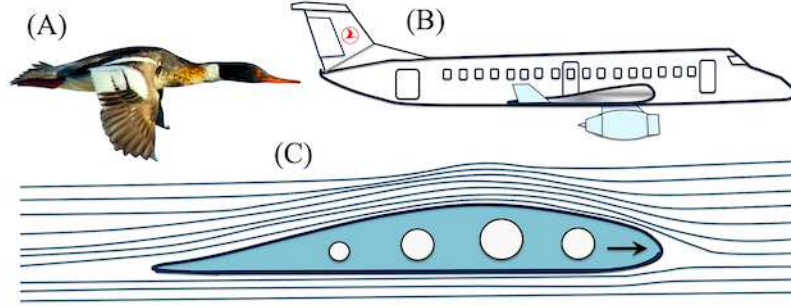
Havalandırma, hayvanların doğal olarak yaptığı gibi, yeryüzüne açılan en az iki çıkıştan birisinin düz, diğerinin yükseltilmiş olması yoluyla sağlanır. Rüzgar hafif de esmiş olsa yeryüzüne düz açılan çıkışta atmosfer basıncına yakın basıncı korurken yükseltilmiş çıkışta sıkışması nedeniyle biraz daha hızlı olacaktır. Bernoulli denklemine göre rüzgar hızının yavaş olduğu çıkışta basınç yüksek, yükseltilmiş çıkışta hız daha yüksek olduğundan basınç düşüktür. Bu basınç farkı nedeniyle düz çıkıştan giren temiz hava galerilerden geçerek yükseltilmiş çıkıştan atılır.

Yukarıda söz edilen dehlizler, sığınaklar, buna ek olarak özellikle Süleymaniye Caminin altından hava akışı aynı yolla sağlanmaktadır. Karıncaların ve tarla fareleri ile benzer hayvanların yuva girişlerinden birisini etrafına toprak yığarak yükseltmelerin-

deki amaç da aynıdır. Bu yuvaların diğer çıkışları genellikle yeryüzünde görünemeyebilir, muhtemelen giriş çıkış için kullanılmazlar ve düzdürler.

Örnek 0.3 Uçağı kaldıran kuvvet: 100 ton kütleli bir yolcu uçağının havadaki hızının $v = 720$ km/saat, uçağın uçtuğı irtifadaki hava yoğunluğu $\rho = 1.05$ kg/m³ ve uçağın hava ile temas eden etkin yüzey alanının $A = 84$ m² olarak veriliyor. Uçağı havaya kaldıran altındaki basınç farkını ve buradan hava hızı farkını bulunuz.

ÇÖZÜM: Archimedes kanunu ile formüleştiren akışkanların kaldırma kuvveti statik halde geçerlidir. Akışkanlar içinde, özellikle de hava içinde hareket eden cisimler, eğer uygun bir yapıya sahipse Bernoulli denkleminde göre akışkanın *dinamik* kaldırma kuvveti oluşur. Uçucu bütün hayvanlar, böcekler, kuşlar vb. havanın dinamik kaldırma kuvvetini değerlendirir. Özellikle doğan ve şahin gibi hızlı uçabilen avcı kuşlar ile uzun mesafelere uçabilen göçmen kuşların uçuş sırasında vücut yapıları aerodinamik bir şekil alır. Şekil ?? (A)'da verilen göçmen kuşun uçarken vücudunun yapısı ile (B)'de gösterilen yolcu uçağının dış yapısı, alt kısımlarının daha düz, üst kısımlarının kavisli olması nedeniyle birbirlerine çok benzemektedir. Aynı durum uçucu böceklerde ve su içinde hızlı hareket eden balıklarda da vardır. Bunların da çoğunun sırtları kavisli, alt kısımları daha düzdür.



Şekil 3: Örnek ?? şekli.

Kuşların kanatları ile uçakların kanatları da benzer yapıdadır, Şekilde (C)'de verilen kanat kesiti bunun göstermektedir. Kanadın üst kısmı kavisli, alt kısma daha düzdür. Hem gövde yapısının ve hem de kanatların belirtilen yapılarının nedeni bütünüyle Bernoulli denklemi ile tanımlanan akışkanların dinamik davranışı nedeniyledir. Şekli (C)'de ok yönünde hareket eden kanadın altında ve üstünde hava akış çizgileri gösterilmiştir. Altındaki havanın kanada göre hızı değişmezken kanadın üstündeki kavis nedeniyle hava sıkışır ve dolayısıyla hızı artar. Bernoulli denklemi, p_a ve p_u kanadın alt ve üstündeki basınç, v_a ve v_u kanadın alt ve üstündeki bağıl hava hızı olmak üzere

$$p_a + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v_a^2 = p_u + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v_u^2$$

yazılır. Uçağın referans noktasından yüksekliği h aynı olduğundan denklemde eşitliğin her iki tarafındaki ikinci terimler düşürülür ve düzenlenirse

$$\Delta p = p_a - p_u = \frac{1}{2} (\rho v_u^2 - \rho v_a^2)$$

ifadesi bulunur. Verilen değerlerle uçağı havaya kaldıran kanatların altı ve üstü arasındaki basınç farkı

$$\Delta p = \frac{mg}{A} = \frac{100000 \times 9.81}{84} \approx 11679 \text{ Pa} = 0.1152 \text{ atm}$$

olacaktır. Bu değer uçağın altı ve üstü arasındaki basınç farkıdır.

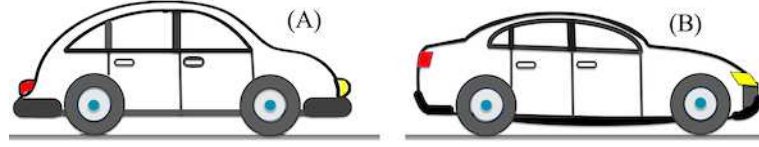
Uçağın altındaki bağıl hava hızı, Şekil ??(C)' de görüldüğü üzere uçağın hızı ile yaklaşık aynı olacaktır. Bu hız $v_a = 720$ km/saat ya da $v_a = 200$ m/s alınarak kanadın üstündeki hava hızı, denklem düzenlenerek

$$v_u = \sqrt{v_a^2 + \frac{2\Delta p}{\rho}} = \sqrt{200^2 + \frac{2 \times 11769}{1.05}} \approx 250 \text{ m/s}$$

bulunur. Uçağın üstündeki ve altındaki bağıl hava hızı arasındaki 50 m/s ve üstü fark uçağı havaya kaldırmaya yeterlidir.

Örnek 0.4 Otomobil aerodinamiği: Bir binek otomobilinin hızla yol alırken tekerlekler ile yol arası temasın azalmaması için nasıl bir aerodinamik yapıya sahip olması gereklidir?

ÇÖZÜM: Otomobiller yüksek seyir hızında yol alırken tekerleklerin yol ile temasının azalmaması gerekir. Eğer otomobilin dış yapısı uygun bir aerodinamiğe sahip değilse yüksek hızlarda tekerleklerin yol ile teması zayıflayabilir ve bu ciddi sorun oluşturmaktadır. Bu sorunun çözümü esas olarak Bernoulli denkleminde yatmaktadır.



Şekil 4: (A): Hızlı gitmemesi gereken bir otomobil altı. Hava otomobilin üstünde hızlı ve basınç düşük, altında daha yavaş ve basınç yukarı doğru fazladır. Bu aerodinamik yapı yüksek hızda seyreden otomobili yukarı iterek tekerleklerin yol ile temasını zayıflatır. (B): Yüksek hızda gidebilecek otomobil. Alttaki hava, kavis nedeniyle sıkışacak ve hızı artacak, basınç düşecektir. Altta azalan basınç nedeniyle üst basınç dengelenecek, hatta daha fazla olacak, sonuçta otomobili aşağı bastıracak ve sonuçta tekerleklerin yol ile temasını arttıracaktır. Hava akış çizgileri için bkz. Şekil ??.

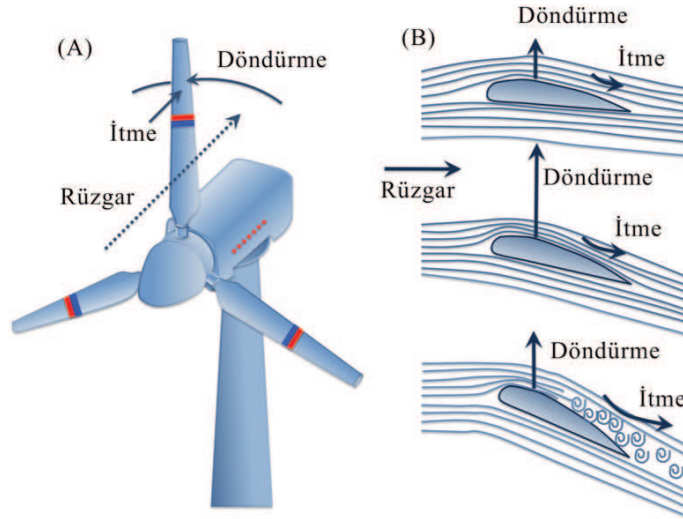
Otomobilin motor bölümünden sonraki kabin yüksekliği otomobil hızla yol alırken havayı sıkıştırarak ve dolayısıyla havanın hızını arttıracaktır; bunun sonucu otomobilin üstündeki basınç azalacaktır. Eğer otomobilin yapısında buna karşı önlem alınmışsa, yani otomobilin altı uçaklarda olduğu gibi düzgün ise alttaki havanın hızı üste göre daha yavaş olacak, sonunda alttaki basınç artacak ve otomobili yukarı kaldıracak, sonuçta tekerleklerin yol ile teması azalacaktır. Eğer otomobilin altının yapısı da üstüne benzer şekilde kavisli ise, Şekil ??, alttaki hava sıkışacak ve hızı artacak, sonuçta alttaki basınç azalacak ve üst basıncı dengeleyecek ve otomobili aşağı doğru hafifçe bastıracak, tekerlekleri yol ile daha sıkı temas ettirecektir.

Örnek 0.5 Rüzgar türbini: Bir rüzgar türbin kanatlarının yüksek verim için nasıl bir yapıda olması gerektiğini tartışınız.

ÇÖZÜM: Uçağı kaldıran dinamik kuvvetin benzeri rüzgar türbinlerinin dönmesini sağlar. Yalnız, rüzgar türbinlerinin konumu ve yapısı uçak kanadına göre bazı farklılıklar gösterecektir, zira maksimum verim alabilmek için türbin kanadı rüzgar yönüne göre

eğimlidir. Örnek ??'da türbin kanadının yapılarından birisi ve kesiti gösterilmiştir ve Şekil ??'de de üç kanatlı bir rüzgar türbini ve kanadının rüzgar yönüne göre yönelimlerinin etkisi temsili olarak gösterilmiştir. Her ne kadar türbin kanadının kesiti ile uçak kanadının kesitinin benzerliği dikkat çekiyorsa da uçak kanadı yüksek hızda havaya maruz iken rüzgar türbini çok daha yavaş hızda rüzgara maruzdur. Denemelerle türbin kanadından maksimum verim alabilmek için kanat sayısı, rüzgar hızına göre dönme hızı ve kanadı eğimi belirlenir.

Kanat sayısı için yapılan çok sayıda çalışma ve ölçümler, en makul kanat sayısının üç kanatlı türbinlerden alındığı sonucunu vermiştir. Her bir ilave kanadın maliyeti onun kazandıracığı ilave enerjiyle karşılaştırıldığında yeterli katkıyı getirmediği belirlenmiştir.



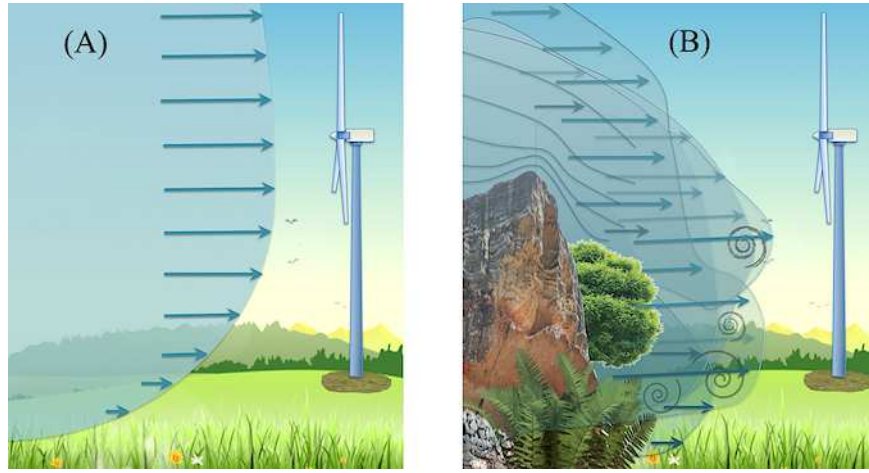
Şekil 5: Türbin kanat eğiminin etkileri. (A) Türbine gelen rüzgar ile döndürme ve itme kuvvetlerinin gösterimi. (B) üst şekil: Eğimin az olması sonunda yeteri kadar döndürme kuvveti oluşmaz. (B) orta şekil: Uygun eğim döndürme kuvvetini artırırken türbini itme kuvvetini düşük tutar. (B) alt şekilde gösterilen fazla eğim kanadın arkasında türbülans olmasına yol açar. Türbülans kararsızlık oluştururken itme kuvveti türbini geriye doğru iter. Bu etkilerin her ikisi de istenmeyen durumlardır.

Rüzgar hızı sabit olmadığı için türbinin dönme hızı da sabit olmayacaktır, ancak jeneratörün hızının sabit olması gerekir. Yavaş döndüğünde yeterli elektriği üretmez, aşırı hızlı döndüğünde de aşırı elektrik üretmeye başlayacaktır ki bu aşırılık öncelikle jeneratöre hasar verecek ölçüde olabilir. Bunu önlemek için türbinin belirli bir rüzgar hızı aralığında sabit hızla dönmesi için fren mekanizması ile ya da kanatların eğimi değiştirilerek, ya da her iki mekanizma birlikte kullanılır. Rüzgar hızının yeterli olmadığı veya aşırı olduğu durumlarda da türbin frenlenerek tamamen durdurulabilir.

Rüzgar türbinleri hakkında ayrıntılı ve derleme bilgi için bkz. [?].

Türbinin konulacağı yerin seçimi, hem verimlilik, hem işletmecilik ve hem de teknik uygulanabilirlik bakımlarından birinci önceliklidir. Yer seçimi, öncelikle olabildiğince sürekli ve uygun hızda rüzgar alan bir yer olmalıdır. Bunun için ilgili bölgelerde önceden uzun süre ölçümler yapılır ve sonuca göre karar verilir. Bu konu işletmecilik açısından önemlidir. Konum kararlaştırıldıktan sonra arazide konumlandırılacak yer

seçimidir. Öncelikli kriter, akışkanlar mekaniğini ilgilendirmesi bakımından rüzgar cephesinin hızının olabildiğince türbin yüzeyi ile paralel olması, türbülans oluşturmaması, sarsıntıya neden olmamasıdır. Rüzgar cephesinin hızının paralel olmaması ve türbülans türbinde dengesizlik oluşturacaktır. Onun için türbinin ön tarafında türbülans oluşturacak tepe, kaya, yüksek ağaç gibi kitlelerin bulunmaması gereklidir. Şekil ?? örnek olarak bu iki durumu göstermektedir. Esen rüzgarın yer ile sürtünmesi cephenin alt kısımlarında hızın yavaşlamasına, üst kısımlarında daha hızlı olmasına yol açar. Bunun için türbinin önündeki arazinin düz veya yumuşak dalgalı olmasına, rüzgar cephesinin türbin yüzeyine olabildiğince paralel gelmesi için türbin kulelerinin yeteri kadar yüksek olmasına dikkat edilmektedir.



Şekil 6: Türbin konumunun seçimi. (A) Rüzgar cephesi ve türbinin bulunması gereken kule yüksekliği. (B) Türbine gelen türbülanslı rüzgar türbinin verimini düşürme yanında sarsıntılara hatta hasarlara neden olabilir. Görsellik için (A)'da verilen rüzgar cephesi düzgün, (B)'de verilen türbülans abartılı çizilmiştir.

Benzer durum yüksek basınçlı buhar türbinlerinde ve HES'lerde yüksek hızlı ve büyük miktarlardaki su türbinlerinde, uçak pervanelerinde ve jet motorlarında bazı hususlar dışında yaklaşık aynıdır. Akışkan cephesi olabildiğinde düzgün ve türbülanssız olmalıdır. Rüzgar türbininden farklı husus, her ne kadar istenirse de akışkanın yüksek hızlı olması nedeniyle özellikle türbin kanatlarının arka taraflarında oluşan kavitasyondur. Kaviteasyon, akışkanın yüksek hızlı olmasından kaynaklanan ve Şekil ??(C) resminde verilene benzer türbülanslar sonunda akışkan içinde oluşan milimetrik ve mikrometrik boyutlardaki vakum kabarcıklarıdır. Kısa süre içinde oluşan bu vakum oyukcuklarının, (kavitelerin), türbinin yüzeyinde oluşması küçük ölçekte görünmesine rağmen yoğun ve oldukça şiddetli darbeler neden olur. Bu yoğun darbeler türbin yüzeyinde mikrometrik ölçeklerde parçalar koparabilir ve hasarla oluşturabilir. Bu tür aygıtlarda kaviteasyon üzerinde özellikle durulması gereken olaydır ve yüksek hızda çalışan türbinlerin belirli aralıklarla gözden geçirilmesini gerektirir.

Uygulamalarda karşılaşılabilecek diğer hususlar mühendislik alanına girmektedir ve uygulama sırasında uygun çözüm bulunacaktır.