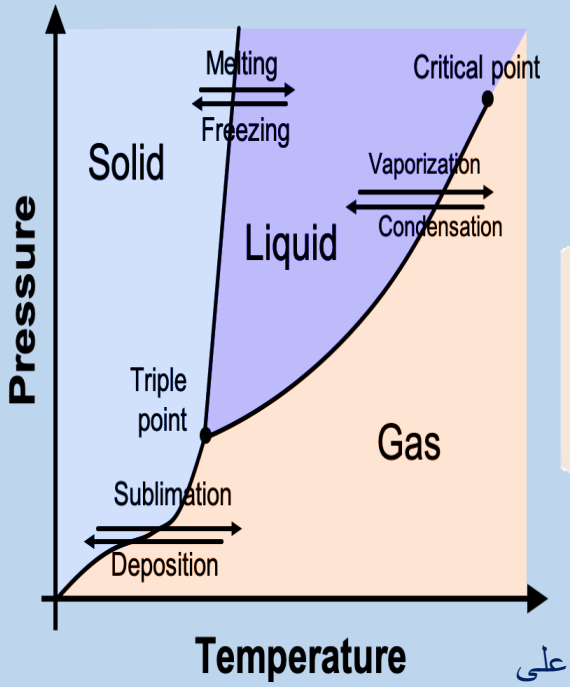
Vapor pressure, Net Positive Suction Head and Pump Cavitation

✓ في هذا الملف سوف نتحدث عن أحد أكبر المشكلات التي تواجه المضخات وهي مشكله التكهف Cavitation بالتفصيل، ولكن قبل شرح تلك الظاهرة يجب ان نتعرف على بعض المصطلحات الهامة جدا والتي لها تأثير مباشر على امكانيه حدوث تكهف مثل ضغط التبخير او ال Vapor pressure وأيضا مفهوم ال Net positive suction head وانواعه وتأثير كل منهم على حدوث Cavitation وكيفية التحكم فيهم لضمان عدم حدوث تكهف.

❑ ما المقصود بال Phase Diagram؟



- هو عبارة عن منحني خاص بكل مادة وهو يعبر عن حالة المادة سواء صلبة او سائلة او غازيه كدالة في الضغط ودرجه الحرارة
- لكي نفهمه أكثر نأخذ المياه كمثال توضيحي
  - ◄ تحول المياه من الحالة الصلبة للحالة السائلة يسمي انصهار والعكس هو التجمد
  - ◄ تحول المياه من الحالة السائلة للحالة الغازية هو التبخر والعكس هو التكثف
- نلاحظ من ال Phase diagram ان هناك منطقه تتحول فيها المادة من الصورة الصلبة للصورة الغازية مباشرة دون المرور على الحالة السائلة فيما يسمي بظاهرة التسامي او ال Sublimation وتحدث هذه الظاهرة عند ضغوط منخفضه ودرجات حرارة منخفضه
- نلاحظ أيضا وجود نقطه يمكن ان تتواجد عندها المادة في صورها الثلاث (صلبة وسائلة وغازية) وتسمي هذه النقطة بال Triple point
- نلاحظ أيضا من الشكل وجود نقطه تسمي بال Critical point والتي يصبح عندها من الصعب التمييز بين الحالة السائلة والحالة الغازية وتتساوي كثافة السائل مع كثافة الغاز أيضا .. ويحدث ذلك عند ضغط عالي جدا ودرجه حرارة مرتفعة وبعدها يدخل كلا من السائل والغاز داخل حيز ال Supercritical

❑ **ما المقصود بضغط التبخير Vapor pressure؟**

ضغط التبخير هو الضغط الذي يبدا عنده السائل في التبخر عند درجه حرارة التشغيل، وهو ليس قيمه ثابته مطلقا ولكن يتغير بتغير درجه الحرارة، فلكل درجه حرارة يوجد ضغط تبخير مناظر تتحول فيه المادة من الحالة السائلة الى الحالة الغازية عند ثبوت درجه الحرارة

❑ **طرق الوصول لضغط التبخير للمادة vapor pressure؟**

- **عن طريق رفع درجه الحرارة بثبوت الضغط** وذلك عن طريق التسخين حيث انه برفع درجه حرارة المادة بثبوت الضغط نصل لدرجه الحرارة المناظرة لضغط التبخير وبالتالي يتبخر السائل (مثال على ذلك المياه عند الضغط الجوي تتبخر عند 100 درجه وبالتالي برفع درجه الحرارة عن طريق التسخين تتبخر المياه عند الضغط الجوي)
- **عن طريق تخفيض الضغط بثبوت درجه الحرارة،** حيث انه بتخفيض الضغط المستمر نصل الى الضغط المناظر لضغط التبخير عند درجه حرارة التشغيل (حرارة الجو مثلا) , مثال على ذلك عند درجه حرارة الجو 25 درجه مثلا نجد ان ضغط التبخير يساوي 23.8 مم زئبق (يساوي تقريبا 0.31 بار) وللوصول لهذا الضغط يتم عمل Vacuum مثلا, ومثال على ذلك عند الارتفاعات العالية يقل الضغط بشكل كبير عن الضغط الجوي وتبدا المياه في التبخر عند درجات حرارة منخفضه

Water Vapor Pressure Table

Temperature (°C)	Pressure (mmHg)	Temperature (°C)	Pressure (mmHg)	Temperature (°C)	Pressure (mmHg)
0.0	4.6	19.5	17.0	27.0	26.7
5.0	6.5	20.0	17.5	28.0	28.3
10.0	9.2	20.5	18.1	29.0	30.0
12.5	10.9	21.0	18.6	30.0	31.8
15.0	12.8	21.5	19.2	35.0	42.2
15.5	13.2	22.0	19.8	40.0	55.3
16.0	13.6	22.5	20.4	50.0	92.5
16.5	14.1	23.0	21.1	60.0	149.4
17.0	14.5	23.5	21.7	70.0	233.7
17.5	15.0	24.0	22.4	80.0	355.1
18.0	15.5	24.5	23.1	90.0	525.8
18.5	16.0	25.0	23.8	95.0	633.9
19.0	16.5	26.0	25.2	100.0	760.0

❑ **ماهي علاقة ضغط التبخير بحدوث تكهف في المضخات؟**

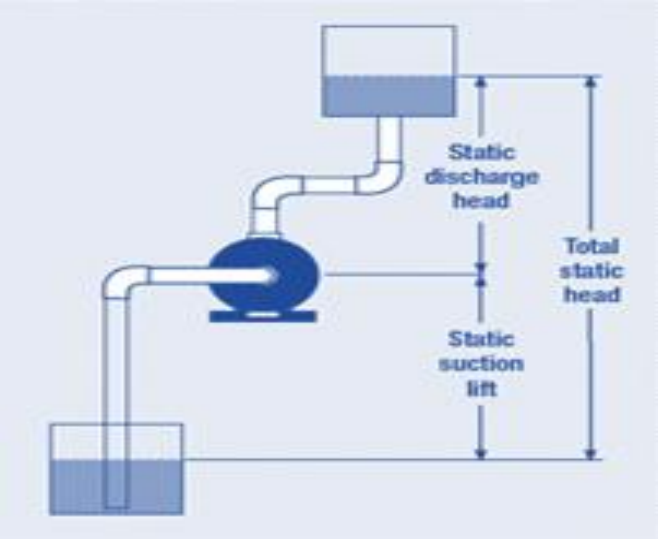
- تستخدم المضخات لضخ السوائل فقط وفي حالة تبخر جزء من السائل تقل كفاءة المضخة ويحدث عده مشاكل للمضخة أهمها التكهف ولذلك لا يجب ان نصل لهذا الضغط حتى لا تتبخر المياه وبالتالي نحتاج لضغط موجب عند خط السحب حتى نتجنب الوصول لضغط التبخير، وهذا الضغط هو المسمى بال **Net Positive Suction Head او NPSH**

- حتى لا يحدث تكهف يجب ان يكون **ضغط السحب أكبر من ضغط التبخير** بقيمه معينه الا و هي قيمه ال NPSH بالمتر

❑ **ما المقصود بال Suction static head او ضغط السحب الاستاتيكي؟**

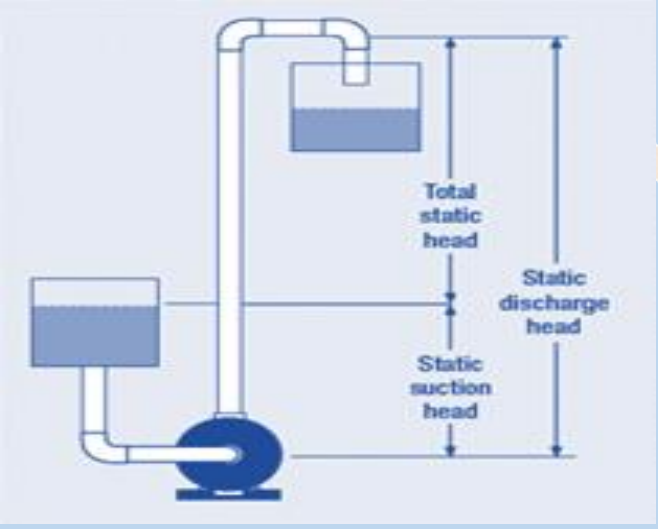
- هو عبارة عن فرق الارتفاعات الراسية بين خزان السحب ومدخل سحب المضخة وله حالتين في الخطوط

1) في حالة المضخة تكون اعلي خط السحب



◄ في هذه الحالة المضخة اعلي من مستوي تانك السحب وبالتالي تحتاج طاقة إضافية لسحب المائع من التانك قبل ضخه (تانك السحب يمثل عبئ على المضخة) وبالتالي يكون الضغط الاستاتيكي في خط السحب في هذه الحالة بالسالب Negative static head

2) المضخة تكون أسفل خزان الطرد وأسفل خزان السحب



◄ في هذه الحالة المضخة أسفل تانك السحب وبالتالي خزان السحب بفعل ارتفاعه يقلل من الطاقة المستخدمة لرفع السائل للخزان العلوي (الخزان يساعد المضخة وليس عائق امامها)

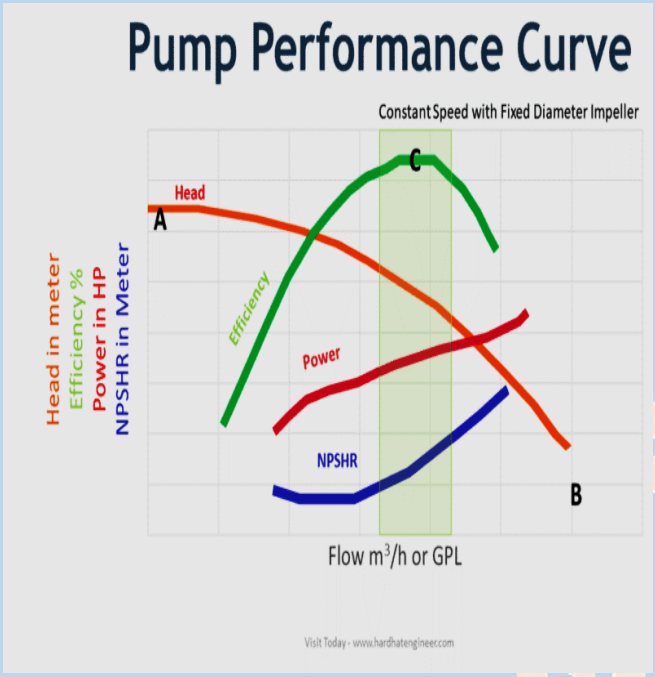
◄ الضغط الاستاتيكي لخط السحب في هذه الحالة يكون بالموجب Positive static head

❑ ماهي أنواع ال Net Positive Suction Head؟

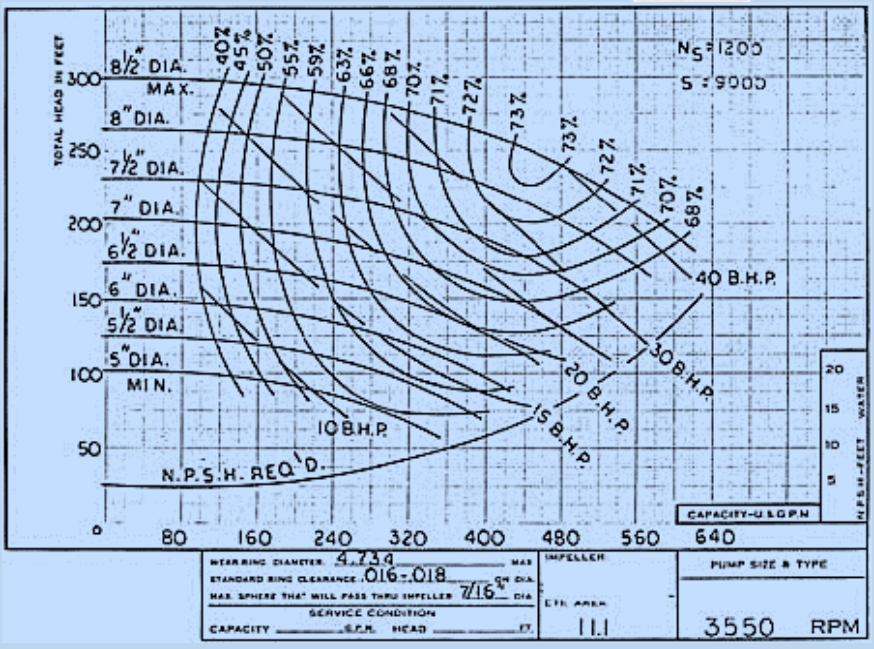
يوجد نوعين لل NPSH والعلاقة بينهم هي المعادلة الأساسية للتحكم في المضخة لتجنب حدوث تكهف

1) ال Net positive suction head required او NPSHr

- هذه عبارة عن مجموعه قيم او منحني يتم عمله بواسطة المصنع نفسه Manufacturer في الكتالوج عن طريق تجارب يتم عملها على المضخة وبعدها يقوم برسم منحني خاص بال NPSHr في ال H-Q Curve وعن طريق معرفتك بال Head او ال Q للمضخة يتم تحديد ال NPSHr المطلوب تصميم الخط على أساسه لتفادي حدوث Cavitation

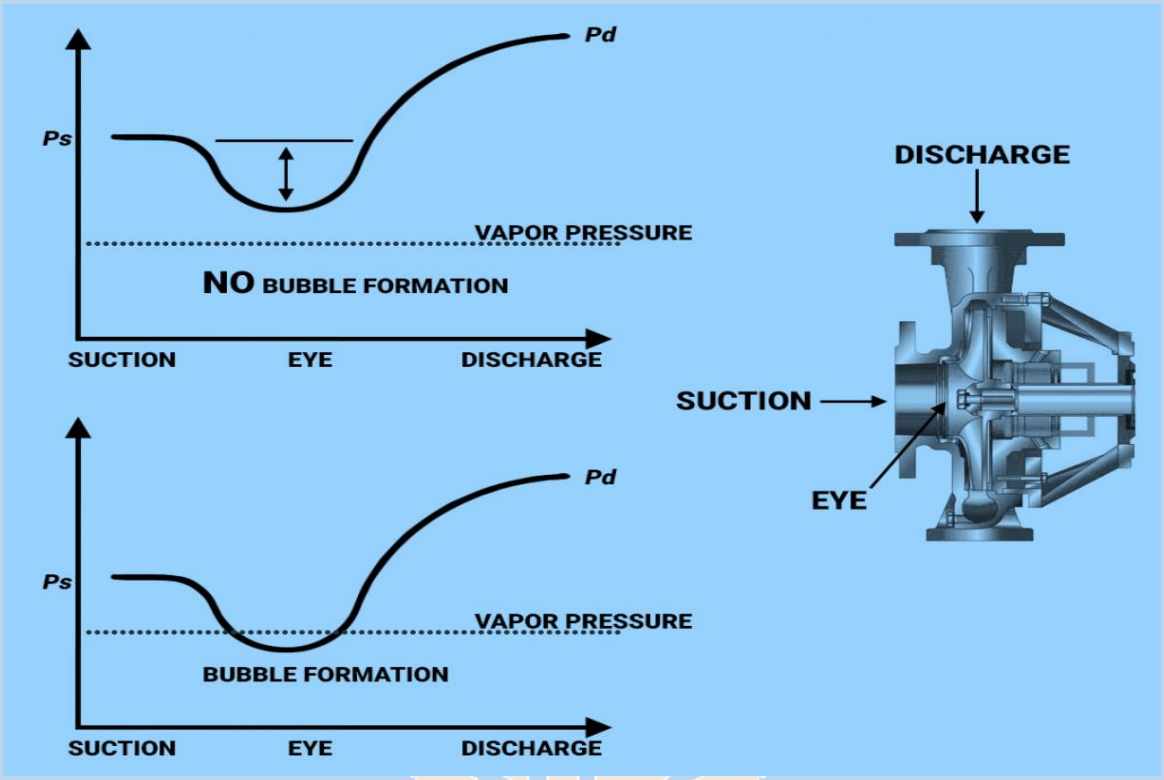


- المصمم او المصنع في تجاربه يقوم بمراعاة المفاقيد الموجودة داخل المضخة بسبب ال Shock وال Turbulence واحتكاك السائل مع جسم ال Impeller اثناء سريانه ويبدأ في رسم منحني بقيم هذه المفاقيد علي هيئه ضغط بالمتر



- ال NPSH required يتغير بتغير السرعة وتغير ال Q أيضا وليس قيمه ثابته للمضخة عند كل ظروف التشغيل
- عن طريق معرفة ال Head او ال Q ومعرفة يمكن عمل اختيار للمضخة عن طريق معرفة ال Power المطلوبة والكفاءة وأيضا ال NPSH المناسبة للنظام وسرعة الدوران

- نلاحظ من الصورة التالية ان ضغط السحب يحدث له هبوط فجاه عند خط السحب بسبب المفاقيد والاحتكاك داخل المضخة نفسها (NPSH التي يعطيها المصنع) واذا وصل ضغط السائل اثناء هبوطه الى ضغط التبخير او vapor pressure فان السائل سوف يتبخر وتصبح امكانيه حدوث Cavitation كبيرة



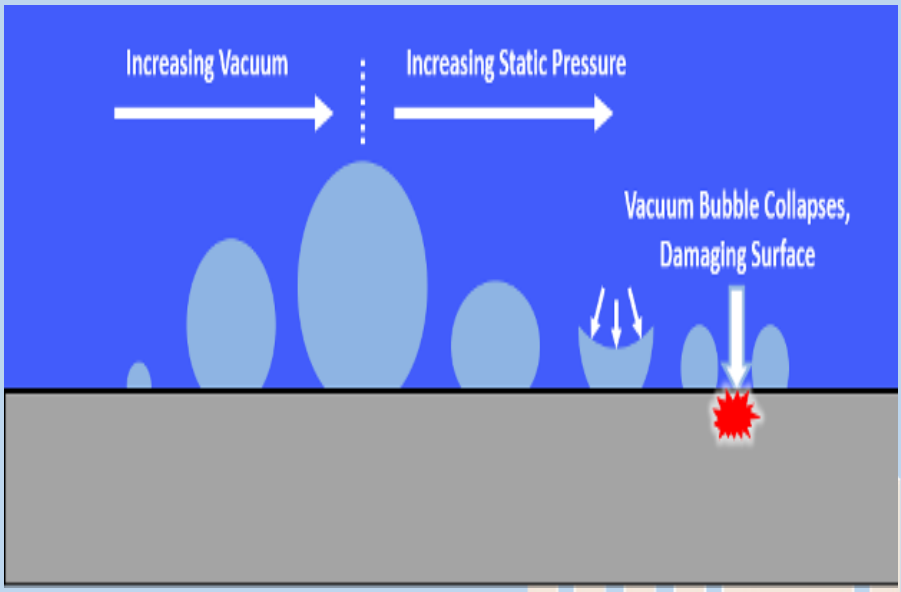
2) Net Positive Suction Head Available (NPSHa)

- هي قيمه ليس لها علاقة بالمضخة تماما ولكنها متعلقة بالخط نفسه او ال System ويتم حسابها عن طريق الاحمال والمفاقيد الموجودة في خط السحب ويتم وضع كل الضغوط الموجبة بإشارتها مثل الضغط الاستاتيكي الموجب ووضع كل المفاقيد بإشارة سالبه
- تمثل قيمه NPSHa الفرق بين قيمه ضغط السحب مطروحا منها ضغط التبخير عند درجه حرارة تشغيل المضخة Vapor Pressure

NPSH available = Pressure at pump inlet – vapor pressure

❑ التكهف Cavitation

- عند دخول السائل الى المضخة عند فتحه السحب يحدث زيادة في السرعة وينتج عن ذلك انخفاض كبير ومفاجئ في الضغط وفي حالة وصول الضغط لمستوي منخفض جدا قد يصل الضغط الى ضغط التبخير Vapor pressure ونتيجة لذلك يتبخر جزء من السائل عند دخل ال Impeller



- تبخر السائل في حد ذاته ليس هو المشكلة, ولكن هذا البخار يكون فقاعات كبيرة الحجم عند بداية ال Impeller وتسير مع السائل على مدار ال Impeller ويزيد ضغطها مع الوقت (ويقل حجمها) وعند خروج السائل من ال Impeller يزيد ضغط السائل بشكل كبير وعندها يحدث انفجار للفقاعات على سطح ال Impeller وهذا الانفجار يسبب نقر او حفر او ما يسمي بال **Pitting** لل Impeller وعلي المدي الطويل يتسبب ال pitting (نوع من أنواع التآكل مرتبط دائما بحدوث cavitation) وتحتاج ال Impeller للتغيير بالإضافة الى الاضرار الجسيمة التي تلحق بالمضخة نتيجة حدوث تكهف

❑ الاضرار التي تلحق بالمضخة نتيجة حدوث تكهف Cavitation؟

◄ حدوث تآكل Pitting لل Impeller وقد تحتاج للتغيير لاحقا

◄ التكهف يؤثر بشكل كبير على أداء المضخة وعمرها الافتراضي وكفاءتها نتيجة تآكل ال Impeller وبالتالي يقل ال H و ال Q الناتج عن المضخة وبالتالي تقل الكفاءة الحجمية والكفاءة الكلية

◄ ارتفاع صوت المضخة نتيجة التكهف حيث ان له صوت مميز يشبه تماما صوت طرق المطرقة على المعادن بسرعه عالية (ابحث على اليوتيوب عن ال Cavitation واسمع صوت التكهف المميز جدا)

◄ حدوث اهتزازات Vibration وبالتالي يحدث حمل كبير على ال Impeller shaft وأيضا كراسي التحميل او ال Bearing وتأكل الحشو او الميكانيكال سيل

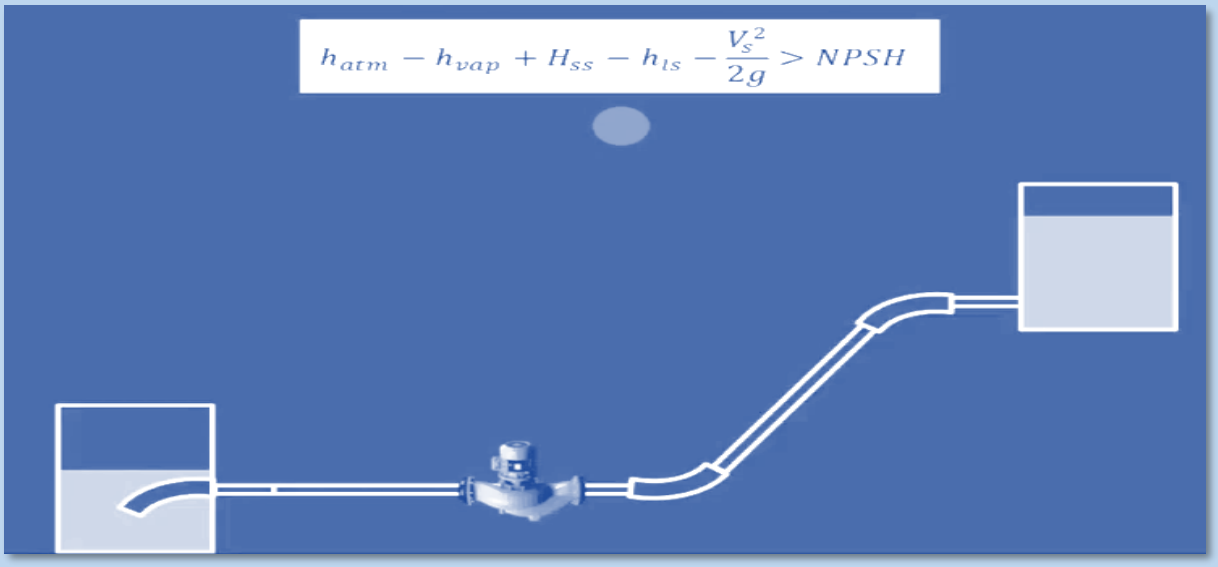
◄ انخفاض في قيمه ال Q حيث تغلق الفقاعات مسار السائل الداخل وتسبب Water block

◄ انخفاض قيمه ال H التي يمكن للمضخة التغلب عليه بسبب تآكل ال Impeller لان طاقة الحركة المنتقلة من ال Impeller للسائل سوف تقل وبالتالي الضغط يقل

◄ استهلاك في الطاقة أكبر بسبب حدوث Flow recirculation كبير يتسبب في رجوع كمية من السائل من خط الطرد لخط السحب مره اخري وارتفاع درجه الحرارة نتيجة لذلك

❑ **كيف نمنع حدوث تكهف في المضخة؟**

- هناك حلول عمليه للتغلب على التكهف ومنع حدوثه وذلك عن طريق التحكم في NPSH والمتغيرات التي تتحكم فيه مثل الضغط الاستاتيكي وضغط التبخير والمفاقيد الموجودة داخل خط السحب
- حتى لا يحدث تكهف لابد ان يكون قيمه ال Net positive suction head available المتاحة في السيستم اكبر من Net positive suction head required الموصي به من قبل المصنع وتكون الزيادة في حدود 1.2 الي 2.5 متر حسب ما ذكر كود ال ANSI **NPSHa > NPSHr + 1.2 : 2.5 m**



- الحلول المتاحة للحد من حدوث تكهف تجتمع كلها في المعادلة الموجودة في الصورة السابقة عن طريق التحكم في المتغيرات الموجودة في المعادلة وذلك لرفع قيمه NPSH وتقليل المفاقيد قدر الامكان وهي كالتالي

◄ **خفض درجه حرارة السائل :** حيث ان ارتفاع درجه الحرارة يقرب السائل من ضغط التبخير vapor pressure وبالتالي نحتاج أحيانا لخفض درجه الحرارة ومنه ضخ السوائل في الحالة الساخنة وتجنب أي مصادر ارتفاع حرارة السائل عند الدخل

◄ رفع مستوي السائل في خط السحب او بمعني اخر زيادة الضغط الاستاتيكي في الاتجاه الموجب Positive static pressure ويتم ذلك برفع خزان السحب فوق المضخة بنسبه مقبولة

◄ تغيير نوع المضخة اذا كانت غير مناسبة للسيستم او بمعني اخر اذا كان قيمه NPSH required اعلي من قيمه NPSH available

◄ خفض سرعة دوران الموتور قدر الإمكان وذلك لتقليل سرعه سريان السائل وبالتالي تقل المفاقيد بشكل كبير حيث ان معادلات المفاقيد سواء كانت Major losses او Minor losses تتناسب طرديا مع مربع السرعة فكلما زادت السرعة زادت المفاقيد وبالتالي يقل NPSHa لان اشارتهم بالسالب في المعادلة

◄ التقليل من استخدام ال Fittings كالاكواع والمشتركات والنقاصات والمحابس على خط السحب وذلك لتقليل ال Minor losses قدر الإمكان (لان اشارتها سالبه) وبالتالي رفع قيمه NPSHa

◄ استخدام خامات موصفه في مواسير خط السحب والطرد لها معامل احتكاك قليل نسبيا وذلك لتقليل ال Minor losses الناتجة عن الاحتكاك بين السائل والمواسير (اشارتها سالبه أيضا)

◄ زيادة قطر ماسورة السحب وبالتالي زيادة الضغط في خط السحب (اشارته موجبه) وتقل السرعات في خط السحب (اشارته سالبه) وبالتالي يزيد ال NPSHa الكلي

◄ في بعض التطبيقات نحتاج لتركيب مضخة رفع صغيره Booster Pump قبل المضخة الأصلية لرفع قيمه الضغط في خط السحب وبالتالي تجنب حدوث تكهف

Follow me on LinkedIn

Mohamed Zedan