

Güç Tüplerinde Buhar Soğutması

Y a z a n :
Yalçın ERTEM

TRT-

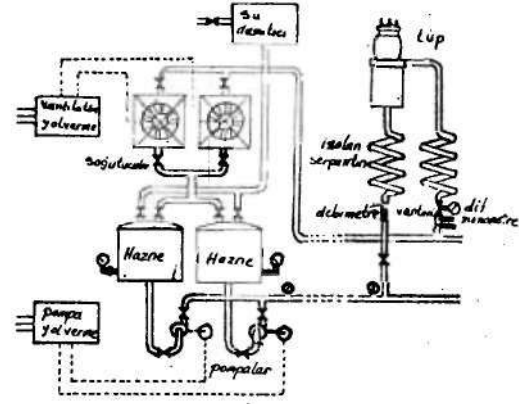
• Güç amplifikatörlerinde ve endüstriyel Y. F. osilatörlerinde •• artık yüzlerce kW. lık güçler mevzubahistir. Buralarda kullanılan elektron tüplerinin randımanı % 60 - 70 arasında bulunduğundan yerilen enerjinin hemen hemen 1/3 ü anodda tüketilir. Bu yüzden anodun tesirli bir soğutmaya tabi tutulması gerekir. Yüksek güçlü tüplerin anodları dışarıda bulunur. Yani cam tüp kısmı anodu kapatmaz.

- Anod 1) Damıtık su sirkülasyonu ile;
- 2) Cebri hava püskürtülmesiyle;
- 3) Buharla soğutulur.

Bu üç metoddan en eskisi su soğutmalı sistemdir., Cebri hava püskürtmeli sistem (kısaca hava soğutmalı) son senelerde tatbik edilmeye başlamıştır. Fakat tatbikati henüz orta güçlerdeki tüplerden öteye gitmemiştir.

Buhar soğutması sistemi ilk iki sistemin bazı mahzurlarının doğurduğu zaruret dolayısıyla ortaya çıktığından önce hava ve su soğutmalı sistemlerin etüdü buhar soğutmalı sistemi anlamak için faydalıdır.

Su soğutmalı tüplerde anod damıtık su sirkülasyonu ile soğutulur. Su gömleği denilen silindire anod cidarı arasından geçen su anod'un ısısını alarak soğutulur. Bu soğutma sisteminde cm^2 anod cidarından damıtık suyu alabildiği ısı miktarını bir misal ile görelim. ...Amerikan 893 tüpünü ele alalım. Bu orta güçlü, su soğutmalı bit triyottur. 50 kW kadar güç verebilir. Anod sathı $500 cm^2$ kadar olan bu tüp çalışma rejiminde maksimum 20 kW. lık bir anod tüketimine müsaittir. Yani $1 cm^2$ anod sathından 40 W tüketebilir. Bu tüpte su gömleğinden 2 m/sn hızla dakikada 30 litre damıtık su geçer. Maksimum çalışma şartlarında suyun ısınma farkı 10" kadardır. Bu miktar suyu bu hızla dölaştirmek ve soğutmak için oldukça teferruatlı bir su sistemi gerekir. Bilhassa birkaç m» lük damıtık su haznesi, pompalar, soğutma için cebri soğutmalı aerokondansör veya soğutma kulesi veya damıtık olmayan suyla soğutulan hldrokondansör ve karışık bir boru tesisatı İcap eder. Modern vericilerde hidrolik sistem basitleştirilmiştir. Şekilden (1) görülüyor ki hidrolik sistemin elemanları emniyet mülahazasıyla çift yapılmıştır. Bu da komütasyon için çok sayıda vanayı gerektirmiştir.



Şekil : 1 — Su soğutmalı bir vericinin hidrolik sistemi.

Pompa ve vantilatörler ve bunların yolverme ve koruma teçhizatı gerekmektedir. Birçok pompa ve vantilatör oluşu da vericilerin global randımanlarını düşürmektedir. Ayrıca her lamba için su debisi, sıcaklığı ve basıncı kontrol edilmelidir. Bunun için de ölçü ve otomatik emniyet tertibatı gerekir. Görülüyor ki su soğutmalı sistem oldukça karışık ve pahalı olduğundan son senelerde yavaş yavaş terkedilerek önce cebri hava soğutmalı sisteme geçilmiştir. Hava soğutmalıya misal olarak TH 211 tüpünü alalım. Bu tüp 893 ün eşdeğeridir, yalnız cebri hava soğutmalıdır. Ve anodunda radyatörü vardır. Anodu 15 kW tüketir. , Buna rağmen ağırlığı 40 kg. dır. Amerikan 893 R tüpü ile bu tüketim kapasitesi 20 kW'a çıkarılmıştır ama bu tüp 103 kg. ağırlığındadır, (Etimesguttaki yeni BD219 vericisinin güç tüplerinin BR189 max tüketimi 27,5 kW dır) Modern hava soğutmalı tüplerde hava soğutması daha tesirli hale getirilmiş 50 kg. kadar ağırlığı olan tüplerde maksimum tüketim 30 - 40 kW a çıkarılmıştır. Hava soğutmalı sistemde tüplerin böyle ağır oluşu gerektiğinde yerine takılıp çıkarılmasında zorluk yaratır. Ayrıca basınçlı soğuk hava gönderen ve ısınmış havayı atan kanallar büyük hacimler kaplar. Büyük hacimde ve miktardaki bu hava sirkülasyonu ve havanın radyatör kanatçıklarına çarpması önüne geçilemeyen bir gürültü meydana getirir.

Anodda tüketilen ısının bilhassa bina ısıtması için rekuperasyonu da bu iki sistemde mümkün olmamaktadır. Hava soğutmalılarda meselâ 100 kW gücünde bir vericide dakikada

150 ilâ 400 m* ısınmış hava çıkar. Bu kadar büyük hacimde havayı bina içine vermek kolay olmamaktadır. Su soğutmalı sistemde ise normal işletme şartlarında ısınmış su 50° civarındadır. Su sühnetinin düşük olması ısısından faydalanmayı zorlaştırmaktadır.

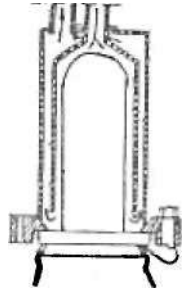
Bütün bunlardan başka su soğutmalı sistemlerin en büyük dezavantajını teşkil eden hadisenin etüdüne geçelim.

Su soğutmalı bir tüpte ısı geçişi, sıcak anodan hareket halindeki suya olmaktadır. Anod cidarını yalayarak geçen suyun akış rejimi belli bir hızdan sonra türbülans hale gelmektedir. Laminer veya türbülans akış rejimi sıvının viskozitesine ve hızına tabidir. Ve Reynolds formülüyle belirtilmiştir.

V.D.

v : Ortalama hız
 D : Çap
 ν : Kınouımlık $vHİcozto$
 $R_e > 2400$ türbülanslı
 $R_e < 2000$ Laminer t
 $2000 < R_e < 2400$ geçiş rejimi

Türbülans rejim içinde suyu anod cidarından alacağı ısının arttığı bilinmektedir. Bu sebeple su gömleklerinin şekil ve damıtık suyun hızı su gömleği içinden geçen suyun türbülans rejimde olmasını temin edecek şekildedir.



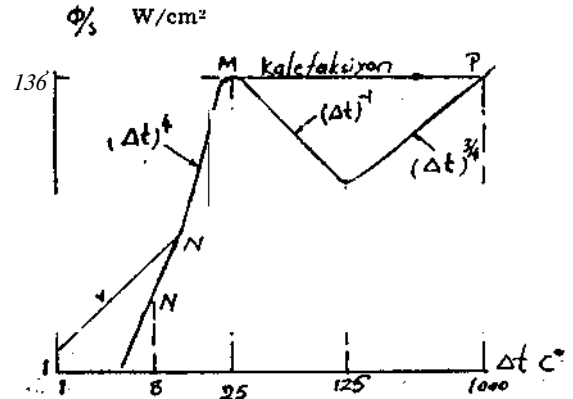
Şekil : 2 — Bir Su Gömleği kesiti.

Tüpün anodu ile su gömleği arasında 2-3 mm. mesafe vardır. Tüpün anodu ve su gömleği konsantriktir. Su aşağıdan gelir ve bu dar aralıktan anodu yalayarak geçer; • Ve türbülans rejimde daha fazla ısı alır. Bu hadise şu şekilde izah ediliyor. Anod cidarına temas eden su buharlaşır ve bir izole edici tabaka teşkil eder fakat türbülans dolaylı hemen tekrar yoğunlaşır. Böylece daha fazla ısı alabilirse de limitler belirlidir. Kalefaksiyon hadisesi karşımıza çıkar. Nitekim anoda bir aşırı yük tatbik edildiğinde, anodun en yüklü noktalarında bir rejim değişikliği görülür. Teşekkül eden buhar tabakaları türbülans akış içinde hemen eriyeceğine buhar habbecikleri teşkil etmeye başlar. O zaman tüpte ıslık sesleri gelmeye başlar, ıslık sesi güç arttıkça veya su debisi azaltılınca fazlaşır.

Islık sesi halefaksiyon hadisesinin belirtisidir. Ve bu hadiseden çekiniür çünkü neticede tüp bozulur ve hatta anod delilir. ıslık sesi buhar habbeciklerinin teşekkülü ve hemen sonra soğuk su içinde aniden tekrar yoğunlaşmasından dolayı ortaya çıkar. Bu hadise su türbinlerinde raslanan kavitasyon hadisesine benzetilebilir.

Cidarda teşekkül eden buhar, suya nazaran 1000 misli hacim işgal ettiği için, basıncı soğuk su içinde ani olarak yoğunlaşmaktadır.

İzoterm sıcak bir satıhla temas halindeki suyu bu sıcak satıhtan aldığı ısı miktarı satıh sıcaklığı arttıkça önce sür'atle artar.



Şekil: 3

Bu artış sıcak satıh sıcaklığı, suyun kaynama sıcaklığından 25°C fazla olduğundan (yani atmosfer basıncında sıcak satıh 125° iken) maksimum değerine ulaşır. Fakat satıh daha fazla ısınrsa alınan ısı miktarı sür'atle azalır. Fark 50°C olduğunda alınan ısı miktarı 4 kere azdır.

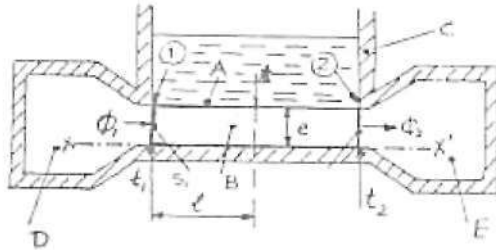
Silindirik anod dış cidarı üzerinde aşırı yükü bir noktayı gözönüne alalım. Satıh sıcaklığı 125 °C a ulaşınca kadar su cidarı iyi soğutacaktır. 125 °C aşıldığında suyun cidardan aldığı ısı azalır. Bu, cidarın biraz daha ısınmasına sebep olur. Biraz daha ısınınca suyun aldığı ısı daha azalır ve satıh danada fazla ısınır. Böylece zincirleme olarak anod satıh sür'atle ısınır ve birkaç saniyede tüp bozulur. Kullanmakta devam edilirse neticede anod delinir. Bu hadise sırasında buhar habbecikleri satıh izole etmiş, sür'atle yoğunlaşırken de ıslık sesi çıkmıştır. Satıhta sıcaklık bir kere 125°Ci geçince tekrar stabilizasyon imkânı pek azdır. Çakırlar istasyonunda CAM 3 lambalarında kalefaksiyon görülmüştür.

Su soğutmalı tüplerde raslanan ve su soğutmalı sistemin en büyük mahzurunun teşkil eden bu hadiseye karşı tedbir mümkündür. Aşırı ısınmış bir satıhın ısısı iki şekilde dağılır. 1) Anod satıhı yalayan damıtık su, 2) Anod bakırının

yatay ısı iletkenliği ddayîsiyla daha aoguk noktalara dogru ısı dagılımı.

Bakırın im iletkenliği 1 nun de 3* Uft sıcaklılc farkı İcin 100 OT/ÖÜ* ısı İletecek şekildedir. O halde anoü bakır kesiti kalın yapılırsa, açın ii m arı İdamın ısıı bakır yoluyla daim soğuk kısımlara geçer ve kalefakslyoty görölmez. Bunu temin için inci; yapılmış an odlara. İkinci bir bükil' kılıf lclümlenir. Lehimleme orta sıcaklık kalay veya kadmiyum lehimidir, Bu dn. guç tüplerinin soğutulmasında memnuniyet verici bir çbzünc olmarmşLır. Nıkuyama eğrisinin kalef aksiyon hFidl^esne yol açan 25 'Ü dan sonraki alçalmasının tnmrmmn e;tdirilmesi arattırıl nus-tır. Bu araştırmalar Vıpodin sslum! İİÜ adtofr-IcamSşİlr, ltnlefeasyon hadisesinin izahına bnJ^ iarknn düzgün bir cidar nasan İtibara alıamısbu Asaptırmalar yosLöi'mişUr ki anod cidarına Hzel şekElcr yermekle. Nıkuyama eğriyi defltşmekte-dır. Yarıl osel bir yapı izoterm almayan anod satlı leşKUL Ue bu kanundan (Nıkuyama.) ka-kıymak mümKUndür,

Vapotroü siteminin esas yapısını s3yle bir dEljuylö tahrik mümKündür.



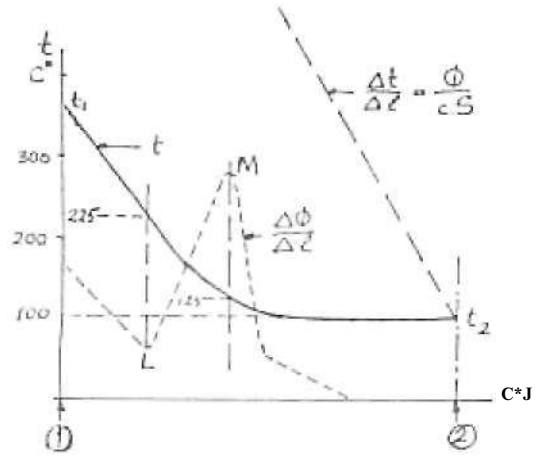
Şekil 4: Bir deneyin şeması.

Şekil : 4 dek! deney şu ciltlidir. E bir metal çulluktur. Bunun ISI JI.İtconL&L C olsun kesiti 5 cm- dır. Yan cidarlarından biri A. • kabindeki sıı İle temastadır. riğev cidarlar imledir. Çubuğun uçları D tarafından bir sıcak knynahla (bu kaynak S_L sathına ř, ısı ftUkau verebi İnciktir.) diğer un iae E soğuk kısmıyla (uu kısmı B_± antlımda t, sıcaklığı İÜÜ^C ı geğerse ^₂ u, flüSisunu alacak şekildedir.) sıkı temastadır. Dcneyde, şekilde görölmemekte beraber, multelif noktaların sıcaklıkları lermokııplarla ölçülmektedir. Bunlar blılıassa 1 - 2 noktalan arasına eslt inesafekrle yerleştirilmiştir,

Eğer kapta su olmasaydı yaklışık olarak <h₁ = if₃ olacakbr. Çubuk boyunca, sıcaklık dagılımı da,

$$\frac{At}{it} = \frac{atn}{cs}$$

[Oıpla ÜÜ utlunluğ" dırınıdıL İse aıcaklık dagılımı tamamen derişiktir. Termokupllar yardımıyla t = f(0) eğrisini ellemek mümKündür.



Şekil 5: Bir deneyin sıcaklık dağılımı grafiği.

Efer çubuğun boyu ksıfl derecede uzunsa t, = 100*G ^ = O tide edilebilir. ^ flüftlinum l^nien bsmnn tamamı A satlından snya g.^nişUr. I den ı c doğru ocaklık bir müddet 100³ olsrak devam ettikten snıtra ıe dogru yavayı yavajı yiJkisllr. J noktaama doğru sıcaklık ge-ktl 3 teki M noktaamı gecebiłr. İsnm anı-a gemliği A sathında Sden İe doğru çe^tU rejlmtev aynı anda mevcuttur (pek az bubar zerreleri, bulıar İmbbecikler-J, bulıar damarİnn). A anlı izoterm delildir. Vİ nöktaiını SKellikler A sathinin. bir nolitaHinda bir buhar filminin tevek-külü ile kendini gösterir. Fakat hadise tahrip edici fiseltİğİnl kaybetmiştir. İc yaklařtıķça sıcaklık M noktamın çok üstüne çıksa bile teı ^eelşbni hadisesinin stablİitesi de^İşmeı. 0, flüftsun değeri artırılıp astaltıldıında hadısa tamamen atabil olarak İ boyunca yer değiştirir, reveraıbl dır. řekU S to nokLı nükta ejzlien eğri İ boyunca elem art ter r ısı nilk-ıu tieçerİnlđ değişi-mini e;^{dr}Lermektcnii^ Bu cřrl Nıkuyama eğrisi-ne İnlİbak etmeittedir. Elemansel Oüks değerinin

uatgraM otan yani $\frac{a}{al}$ eğrisinin tegkll ettiği alma eşit olan ^ flüksü Nıkuyama egrlalndeki M fiuksunun 2-3 katı olabilir,

t=dvUlüyorkl ^ flükan sabit tutulduğunda ı boyunca mcaklık 5 e&rialnd« görüldüğü gibi de-rişir. Fakat hadıso atabiidir. Fazla sfcak nokta İainı çubuk yoluyla daba soğuk billgeye gönderdiğinden sıcak]tığı derişmez. 125 "C i geçer noktalarda zlüelrlleme olarak daha fazla ısınma temayülü yoktur. Kıkuyama eğrisİndeki M kritik flults demelinin drıkl i • 3 kah İsl geçicini temin eden bu olaya Vapotmı hadisesi diyoruz.

şimdi aynı deneyi kısa bir çuhukla yapalım, řc, riuksuntln bir dozerinden anonra t, EseaİttİJİ JUÜ^Ü İ grsseisİllli', lüfifer E kısmı t^ sıcaklığının İÜ0°C İ geçmealnden dolayı vereceği ^ flüİtaunu alacak kapalıte de İae duney sonucu evvelki İle

aynı olacaktır. Fakat eğer E buna mukavim olmazsa t_1 'nin 110 - 115' civarındaki değerlerinde, buhar habbeciklerle 2ye kadar uzanır, hadise stabil olmaktan çıkar. Bütün çubuk daha fazla ısınma temayülü gösterir. Yani kalefaksiyon hadisesi başlar ve çubuk eriyerek tahrip olur.

0 halde çubuk boyu, kesiti ve ısı iletkenliğinin fonksiyonu olarak o şekilde seçilmelidir ki çubuğun soğuk ucu fazla fluks almasın ve çubuk boyunca hadise stabil kalsın.

Tecrübe neticeleri ve elektrik! hadiselere benzelme (anoloji) metodlarıyla yapılan teorik araştırmalar, t_x sıcaklığı; 100°C a eşit t_2 sıcaklığı, çubuğun kalınlığı ve c ısı iletkenliğinin fonksiyonu olarak, hadisenin stabil olması için gerekli minimum l boyunu şu şekilde vermektedir.

$$l = k-y/e.c$$

k : homojenlik faktörüdür. Değeri $\frac{t_1}{100}$ mer-

tebesindedir. t_1 : $^\circ\text{C}$, c : $^*W/C^\circ$ - cm ve e : cm olarak konursa l cm olarak çıkar. K 'nın kesin değerini bulmak zordur. Çünkü sathın durumu v.s, gibi diğer faktörlere de tabidir. Tüplerde buhar soğutması bu deneydeki hadisenin tüp anodunda tatbikatından ibarettir. Anod üzerinde her iki yüzü suyla temasta olan çıkıntılar yapılır.

$a = 2e$ şeklinde düşünülürse deneydeki çubukların ikişer ikişer yanyana bulunuşundan ibaret bir şekil ortaya çıkar. Çıkıntılarının b boyu $b = m a.c$ olacaktır.

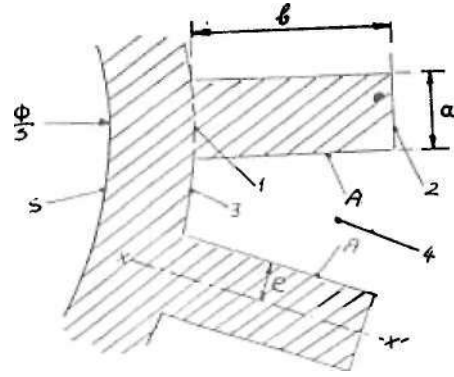
$m =$ olması gerekirse bu tat-

bikatta bir çok faktörler dolayısıyla formüldeki değerinden daha küçük değerdedir. Çıkıntının 2 ucu ile 3 aralığa da ışık transferine yardımcı olurlar. Çıkıntılar etrafında termosifon hadisesi ile su harekettedir. Bütün bunlar ısı transferine yardımcı olduklarından m, dolayısıyla minimum b boyu daha küçüktür. Neticede tecrübi neticelere de dayanılarak

$b = 1,25 a.c$ ifadesi bulunmuştur.

$l = 2,5$ cm ve $a = 1$ cm için yapılan deneyler muvaffakiyetli neticeler vermiştir. Çıkıntılar kısa ve kalın veya ince ve uzun olabilirse de baştanberi kısa ve kalın tercih edilmiştir. Çıkıntı şeklinin tesirli olduğu görülerek çıkıntılar kesik pramit v.s. şekli verilmiştir. 2 ucunun uzatılıp suyla iyi teması temin edilip soğutucu bir kaynak rolü oynaması temin edilerek tüketim kapasitesi artırılmıştır. $500 W/cm^2$ tüketim kapasitesi elde edilmiştir ve t_x sıcaklığı 200°C yi geçmemektedir, izmir ve Erzurum radyolarının modülatör lambalarında kullanılan TH477 lambalarının max tüketimi 40 kW,

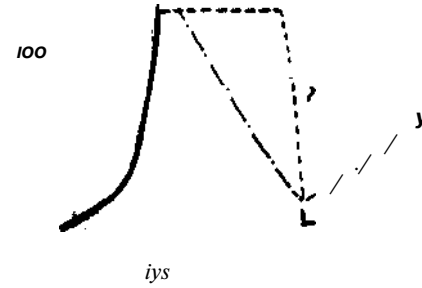
YF güç lambalarının TH485 ise 65 kW dır. RS 867 de ise 180 KW dır.



Şekil : 6

Netice olarak anoduna bu şekilde çıkıntılar yapılmış ve fazla ısınan noktaların ısılarını bakır yoluyla da yaymasını temin için anod cidarı kaim yapılmış, Vapotron tüplerinde Nikuyama eğrisi şu şekli almaktadır.

"KA



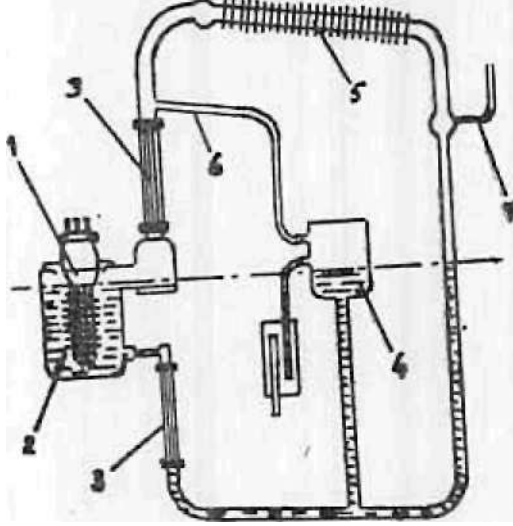
Şekil : 7

Bu eğri çıkıntı yüzeyleri için değil fakat toplam olarak anod cidarı içindedir.

Vapotron tüplerinin kullanılış tarzları :

Buhar soğutması halen 3 şekilde tatbik edilmektedir.

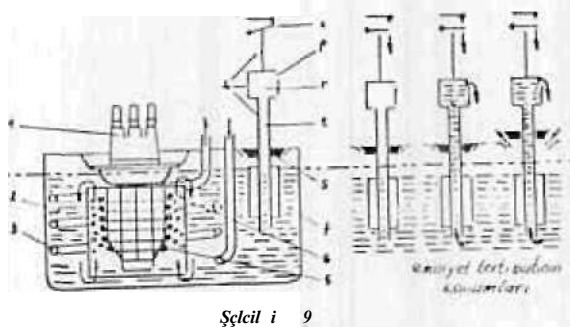
Vapodun tüpü bouilleur denilen silindirik kazan içinde asılı durmaktadır. Anod dissilpasyonu ile bu buharlaşır ve kalın buhar borusundan buhar çıkarak aerokondansöre veya hidrokondansöre girer. Yoğuşan su bouilleur'e döner. Bu tabii bir sirkülasyondur. Pompa Vs. yoktur. Çalışma son derecede sessizdir. Buhar hidrokondansörde yoğuşuyorsa, hidrokondansörün brüt soğutma suyu bina kalorifer tesisatında dolaştırılır. Hem soğutma suyunu soğutmak için ayrıca bir tesisat gerekmez hem de bina ısıtılmış olur. Dissipas-



- ŞeRU : S
- 1 — Yoğutiron ilip.
 - 2 — BOULUCUT
 - 3 — Jeoleur Doru
 - 4 — Seviye güstergesi
 - 5 — JTçpddTEÖr
 - 6 — Üasıf ucu
 - 7 — Hma UOu\.

yonla kaybolma enerjisi rekupere edilebilir olur. Vercilerde genellikle bu tür tatbik edilmektedir. Çuluma atmosfer başmandadır.

2) Basitleştirilmiş, vflpodin



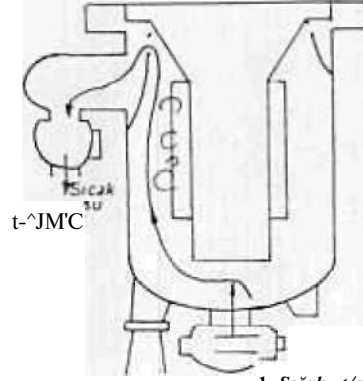
- Şçleil i 9
- 1 — Vapotron tüp
 - 2 — Dnmtdfc Ha itaşfiesi
 - 3 — Soiunnu arrr».nt'i'iii
 - 4 — svaasvt Sırf (arttı
- B — YağıLjtmu btipesi

Bunda buullflur I kaynama kasam} den buhar çıkmaz. Bouilleur içinde, brüt soğulma su-

yu geçen, serpantinler vardır. Tüp damıtık an İçindedir, Tüp etrafından çıkan buhar, sevpantınle soğutulmuş su içinde erir.

Endüstriyel YF DSİLütür-ülhdu tatbik edilmektedir,

3) Bnulleiit İçinden basınçlı damıtık su Rİİ-mlle gogüm?. Testim t su BO&utmnlj tesisatın ayıdır. Btntilleur'tlu nL Lamfion geçen MI va-



ff-;J': 10.

podin tübDnÜn cidstnm yuliyarak geçer. Butmr Imhbuckluri suyla* birlikte sürüklenir ve bu arada erirler. Su üst kısımdan çıkar, Çıktımı yürüt bir hazne ynpüniüjt:-. Henüz ırlu:eıntş buhar lubbecikleri bu hasnude knylicılır. Dolayısıyla. çıkou su İçinde buhar kalmaz. Su angutıualı sis-Lemdo .MMD>] gibi damıtık su pompalar yurdu-mıyl; eoth-i oliirnk .itrkfilnsyon yapar.

Bu İMTE dillin çnlt cftdftstriyH YF OİHIL.İ": lerlnde tatbik edilmektedir. Su soğutmalı tü[-İtrlu İnçlıl* nılımln bir vurlultn mı BağlıTipli tüpler yerine vapodin tüpleri koJulablllr. Su sistemi hiç değıştirilmeye ihtiyaç göstermez. Sadece tüpleri değıştirmek ve su frütü yerine bou-İTeur Jcoymak kafidir,

Buhar soğutma tekniğini kısaca anlatırken bun]ann diğer sistemlere avantajı da anlatılmış oldu. Bu avantajlar hemen bütün dünyada büyük güçlü verici imal eden İlımaların, san sene-lurde vapodin sistemini tatbik tınlamalarına sebep olmuştur, Venl yapılan bilyük güçlü İstai-yoniar vapodin tUplartyle teçhiz edilmektedir,