

KONČNI PONOR TOPLOTE

Mentor: Prof. dr. Iztok Tiselj
Luka Klobučar
Ljubljana, 16. december 2013

Načini odvajanja odpadne toplote

- Neposredno-pretočno hlajenje
- Posredno-obtočno hlajenje
- Suho hlajenje

	Termoelektrarne v ZDA	Vse jedrske elektrarne
Neposredno-pretočno hlajenje		
-morje	43 %	45 %
-reka		14 %
-jezera		15 %
-ohlajevalna jezera	14 %	
Posredno-obtočno hlajenje	42%	26 %
Suho hlajenje	1%	

Neposredno-pretočno hlajenje

- Najpreprostejši in najcenejši način.
- Pogoji: elektrarna ob morju, veliki reki ali velikem jezeru
- S pomočjo črpalk se velike količine vode prečrpajo skozi kondenzator in nazaj brez velikih izgub.
- Velika večina jedrskih elektrarn stacionirana ob večjih zalogah vode.
- Lokacije termoelektrarn so po navadi vezane na nahajališča goriva.
 - Ohlajevalna jezera (cooling pond).
- Slabost: toplotna onesnaženost vod
- Omejitve:
 - Temperatura vrnjene vode.
 - Temperaturna razlika vstopne in izstopne vode.
- Pomožni ohlajevalni sistemi (po navadi hladilni stolpi).



- Termoelektrarna Mount Storm (1600MW) in jezero Mount Storm (4.9 km²) (Zahodna Virginija)

Suho hlajenje

- Zelo omejen dostop do vode ali kjer so okoljskih in estetskih vidiki v prednosti.
- Hlajenje z zrakom brez izhlapevanja z minimalno izgubo vode.
- Dva načina:
 - Hladilni stolpi z zaprtim obtokom.
 - Zračno hlajeni kondenzator.
- Slab prenos toplote → manjša učinkovitost in večji bolj zapleten hladilni obrat.
- V Južni Afriki Eskom gradi termoelektrarno.
- Drugot ta način opuščajo
 - Neustrezen zaradi nezmožnosti dovoljšnega odvajanja zaostale toplote pri zaustavitvi v sili.
- Obstajajo obtočni hladilni stolpi, ki uporabljajo suho hlajenje z namenom zmanjšanje izgube vode.

Posredno-obtočno hlajenje

- Ni velikih zalog vode → hlajenje s hladilnimi stolpi
- Glede na vlek:
 - Naravni vlek
 - sesanje
 - potiski
 - Kombinirani vlek
- Glede na pretok zraka skozi vodo:
 - prečni
 - protitočni

Naravni vlek

- Topla zračna masa v dimniku ima nižji tlak kot okoliški zrak, kar povzroči dvigovanje in ohlajanje pare.

$$Q = C A \sqrt{2 g H \frac{T_i - T_e}{T_e}}$$

Q-vlek [m³/s]

C-koeficient izpusta

A-presek dimnika

g-gravitacijski pospešek

H-višina dimnika

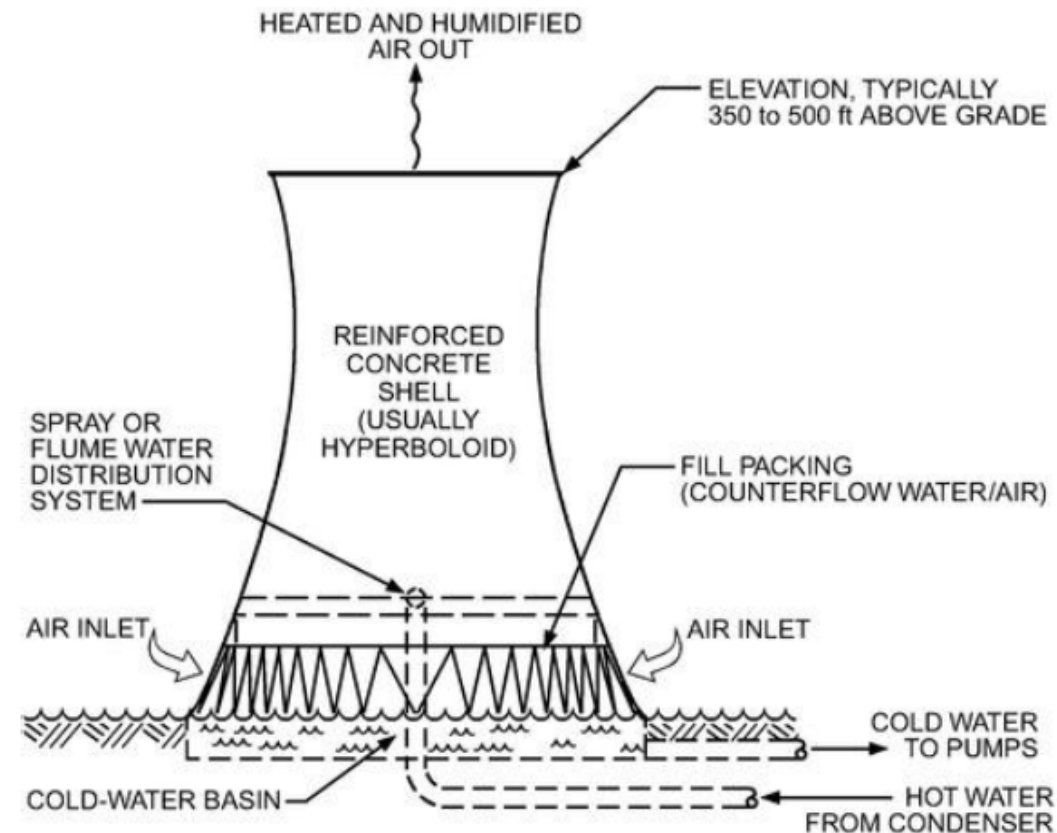
T_i-povprečna temperatura dimnika

T_e-zunanja temperatura

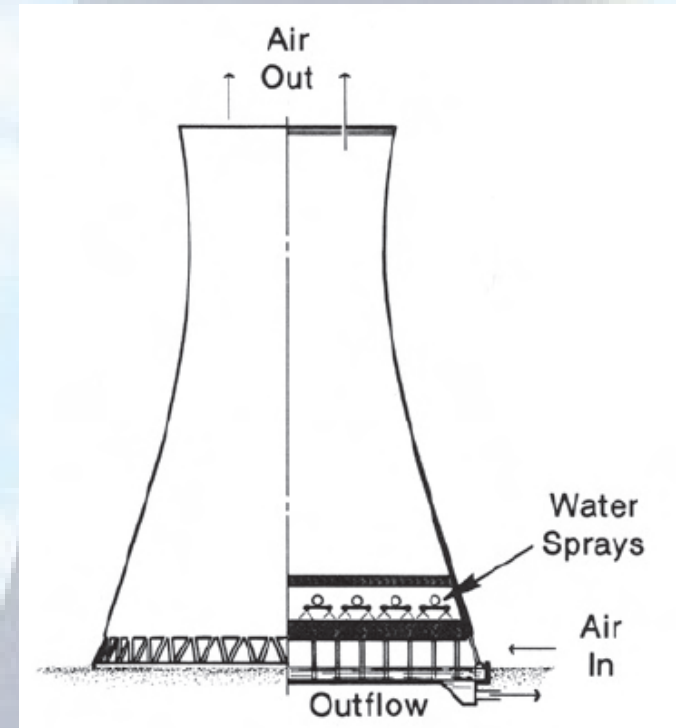
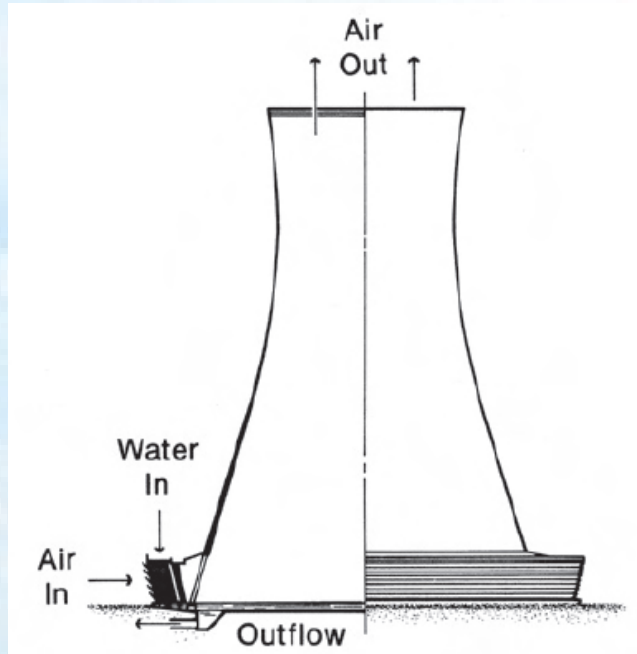


- Hiperbolična oblika stolpa

- Velike strukturne trdnosti pri minimalni masi.
- Lažja izgradnja (iz samih ravnih tramov).
- Široko podnožje, kjer so postavljeni vsi aktivni deli.
- Zožitev, ki pospeši laminarni tok .
- Razširitev na vrhu, ki podpira turbulentno mešanje segretega zraka s atmosferskim zrakom.



- Hladilni stolpi na naravni vlek so lahko prečni in protitočni.



- Prednosti: Nizki obratovalni stroški
- Slabosti: Visoka začetna investicija, vremenski dejavniki vplivajo na delovanje, izgled

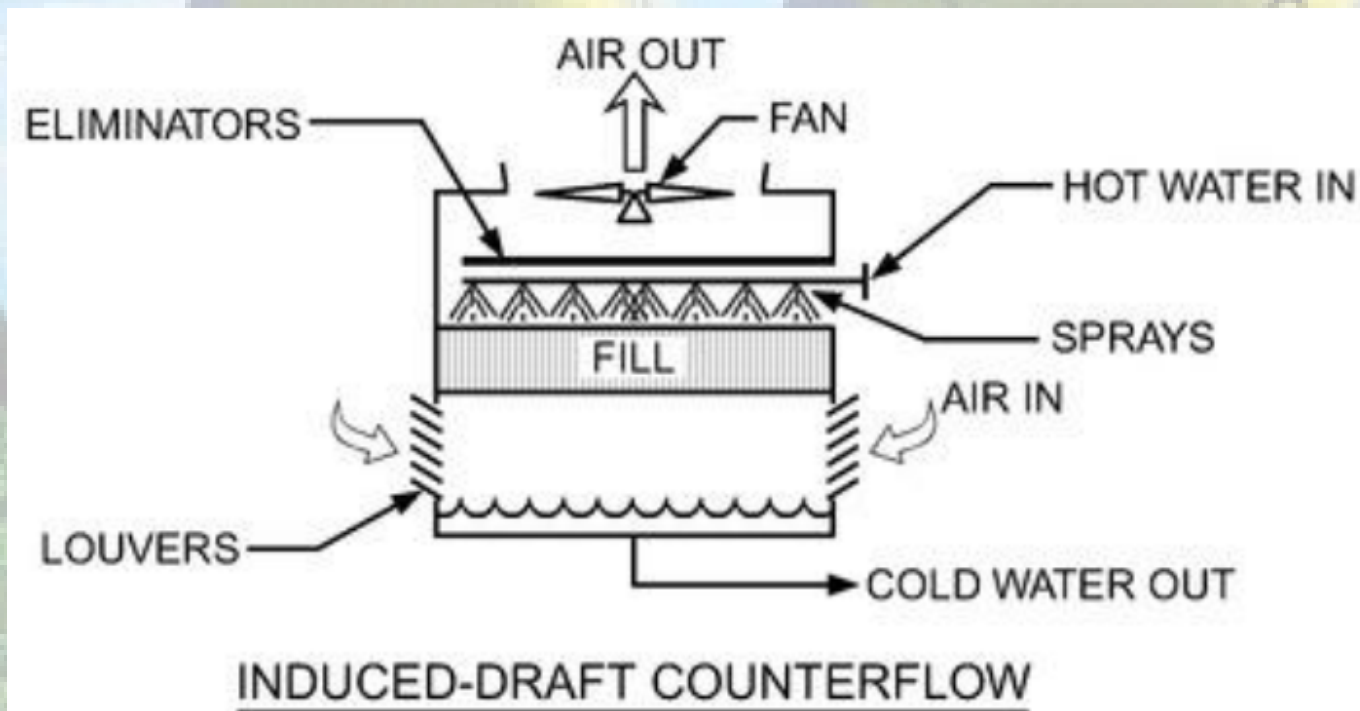
Prisilni (mehanični) vlek

- Uporaba ventilatorjev za vlek.
- Poznamo dva načina:



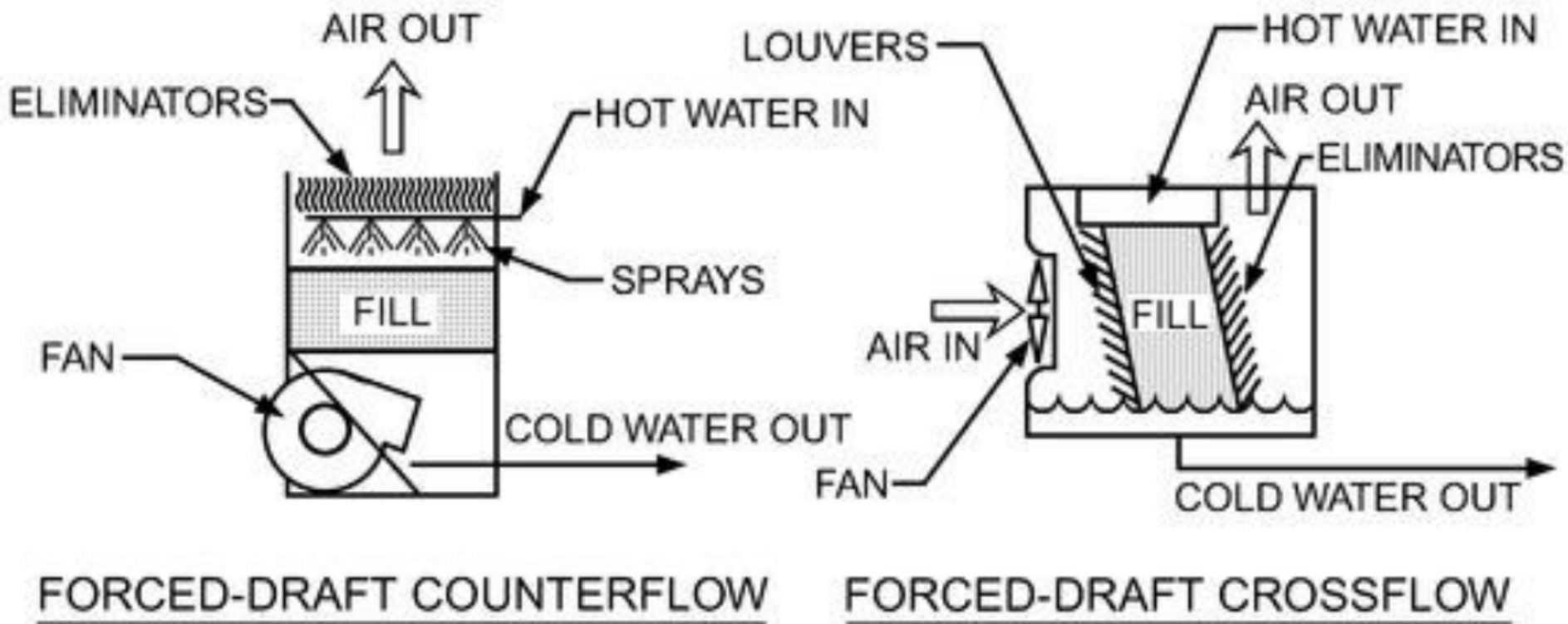
Sesanje

- Ventilator je postavljen na izpustu (vrh stolpa) in vleče zrak skozi stolp.
- Zrak na vstopu ima nizko hitrost. zrak na izstopu pa veliko, kar zmanjša možnost recirkulacije.
- Zaradi pretoka toplega zraka je manjša možnost zmrzali.



Potisk

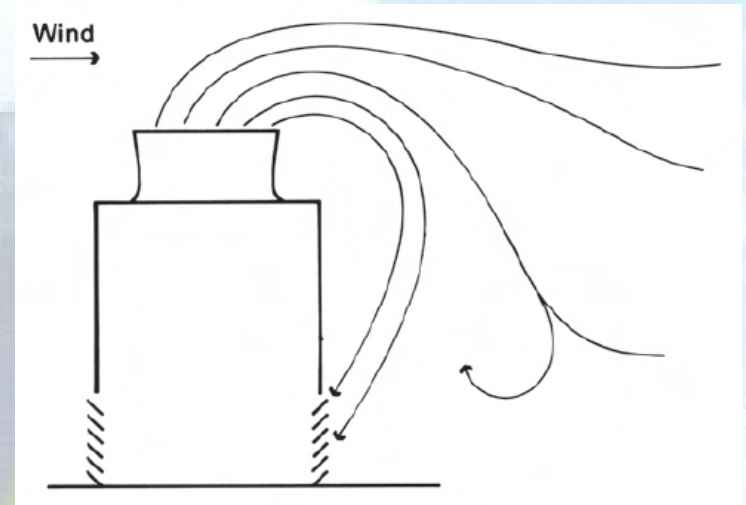
- Ventilator je postavljen na vstopu zraka v stolp.
- Nizka hitrost zraka na izhodu in veliko dovzetnost za recirkulacijo.
- Sistem na potisk je bolj podvržen zmrzali in potrebuje močnejše ventilatorje kot sistem na sesanje.



- Recirkulacija

- Kroženje zraka

- Problem nastane, ko zrak ki izstopi iz hladilnega stolpa poseesamo v hladilni stolp preden okoliškemu zraku odda toploto.



- Prednosti:

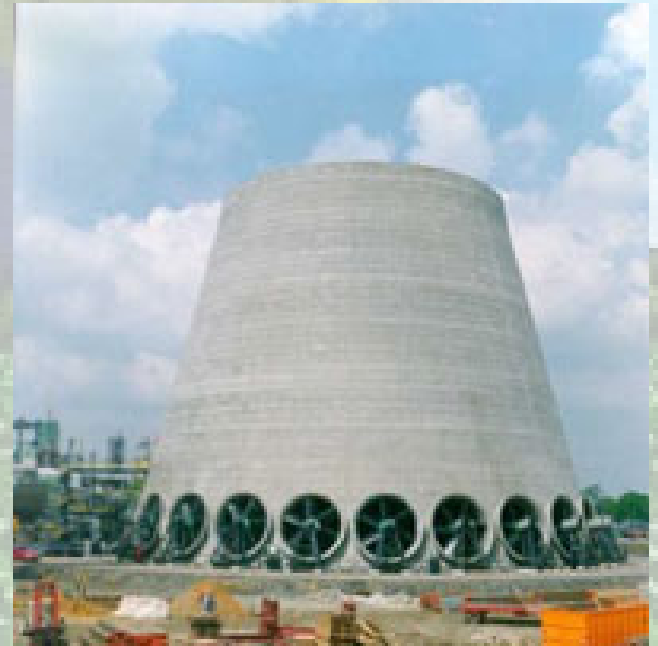
- Vremenski dejavniki ne vplivajo na delovanje.
 - Izgled

- Slabosti:

- Visoki obratovalni stroški
 - Poraba energije

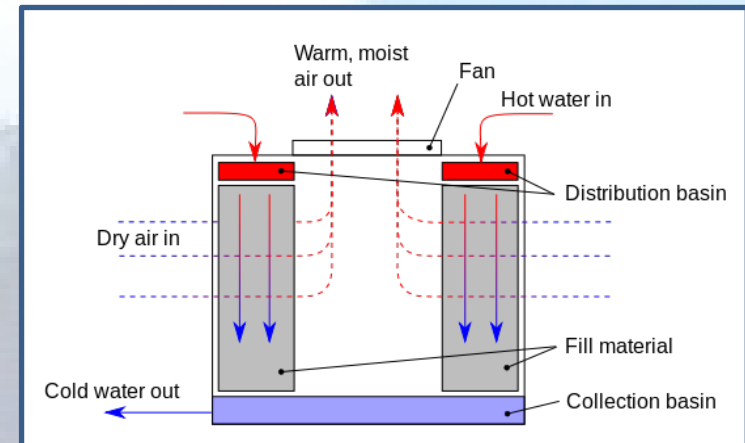
Kombinirani vlek

- Hladilnim stolpom na naravni vlek dodamo ventilatorje
 - Zmanjšamo odvisnost od vremenskih dejavnikov.



Prečni

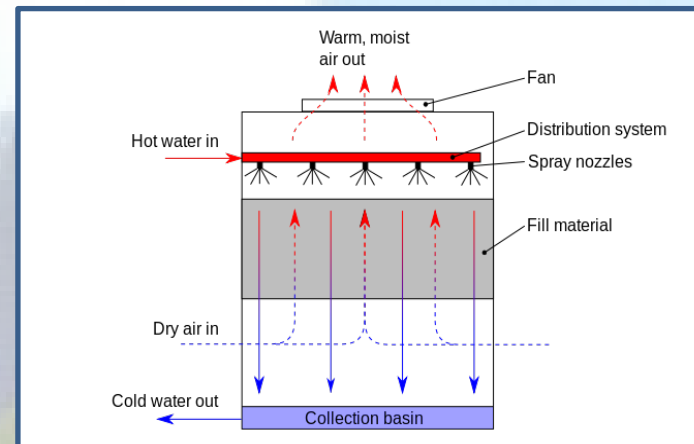
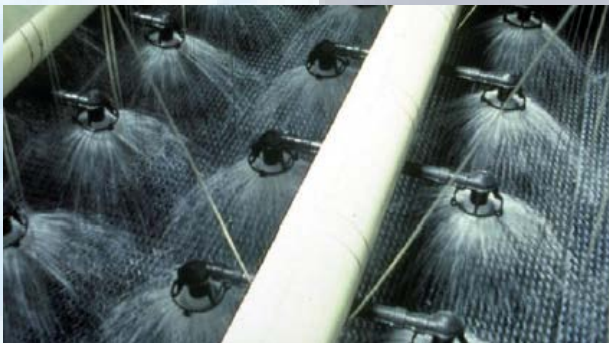
Zračni tok je usmerjen pravokotno na tok vode. Zrak v stolp vstopi od strani. Voda na polnila teče s pomočjo gravitacije.



- Prednosti:
 - Manjše črpalke za vodo.
 - Manjši začetni in dolgoročni stroški.
- Slabosti:
 - Bolj nagnjen k zmrzovanju.

Protitočni

Zrak v stolp vstopi pod polnilom in se nato dviguje proti vrhu. Voda se z vrha s pomočjo šob razprši in steče čez polnilo.



- **Prednosti:**

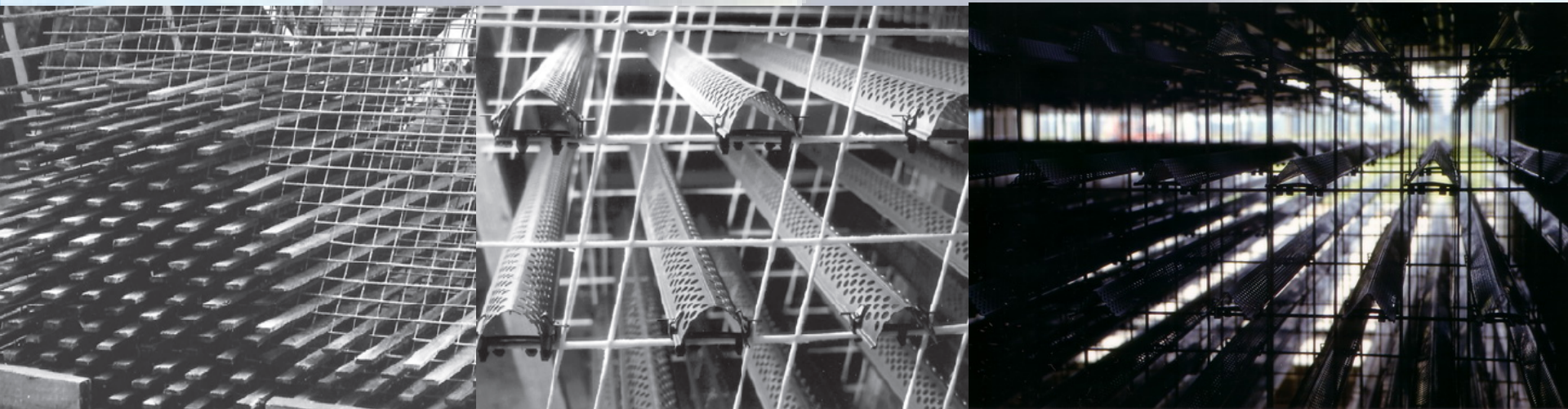
- Bolj odporna proti zmrzovanju zaradi razpršenega curka.
- Boljši prenos toplote.

- **Slabosti:**

- Večji začetni in dolgoročni stroški zaradi črpalke.
- Glasnost med delovanjem.

- Značilnosti obeh:

- Zrak nasičen z vodno paro se odvaja iz vrha stolpa.
- Ohlajena voda se zbira na dnu.
- Polnilo je konstrukcija, ki poveča površino in čas stika voda-zrak za izboljššan prenos toplote.



Teorija hladilnih stolpov: Merkelove enačbe

- Kapljica obdana z tankim slojem nasičenega zraka.
- Energija, prenesena iz vode na nasičen zrak.

$$dq_w = Lc_p dt = K_L a(t - t''')dV$$

- Energija prenesena iz nasičenega zraka na okoliški zrak.

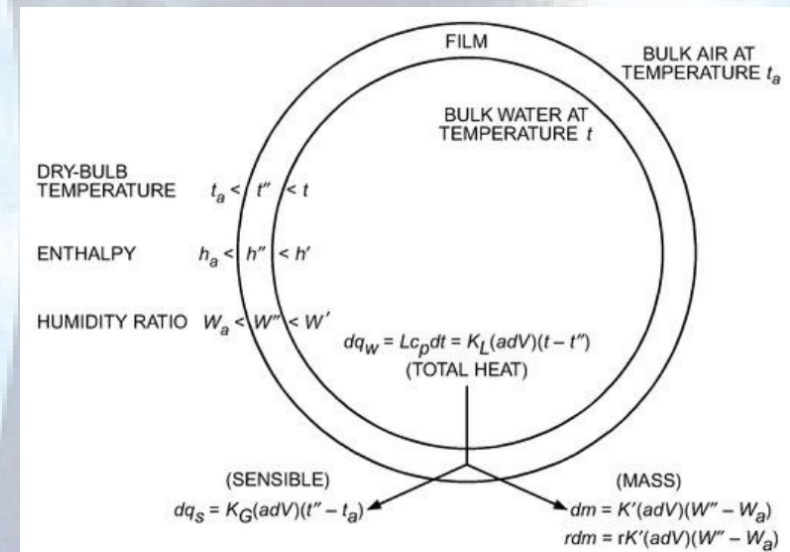
$$dq_s = K_G a(t'' - t_a)dV$$

- Izparevanje

$$dm = K' a(W''' - W_a)dV$$

- Prenesena toplota zaradi izparevanja. (nasičen zrak –zrak)

$$dq_L = r dm = rK' a(W''' - W_a)dV$$



- L-masni tok
- q_w -hitrost prenosa toplote voda-film
- q_s -hitrost prenosa toplote film-zrak
- q_l -hitrost prenosa latentne toplote
- K_L -toplotna prevodnost voda-film
- K_G -toplotna prevodnost film-zrak
- K' -masna prestopnost film-zrak
- a-aktivna površina
- r-latentna toplota

- Sistem doseže ravnovesje ko se temperaturi izenačita in zrak postane nasičen. To je najnižja možna temperatur vode, ki jo lahko dosežemo v hladilnem stolpu.

- Toplota, ki jo izgubi voda ogreje zrak:

$$Lc_p dt = G dh = K'a(h'' - h_a)dV$$

- G-masni tok zraka
- Vmesno stanje je zanemarljivo:

$$Lc_p dt = G dh = K'a(h' - h_a)dV$$

- In tako dobimo Merkelovi enačbi:

$$K'aV/L = \int_{t_1}^{t_2} \frac{c_p}{h' - h_a} dt$$

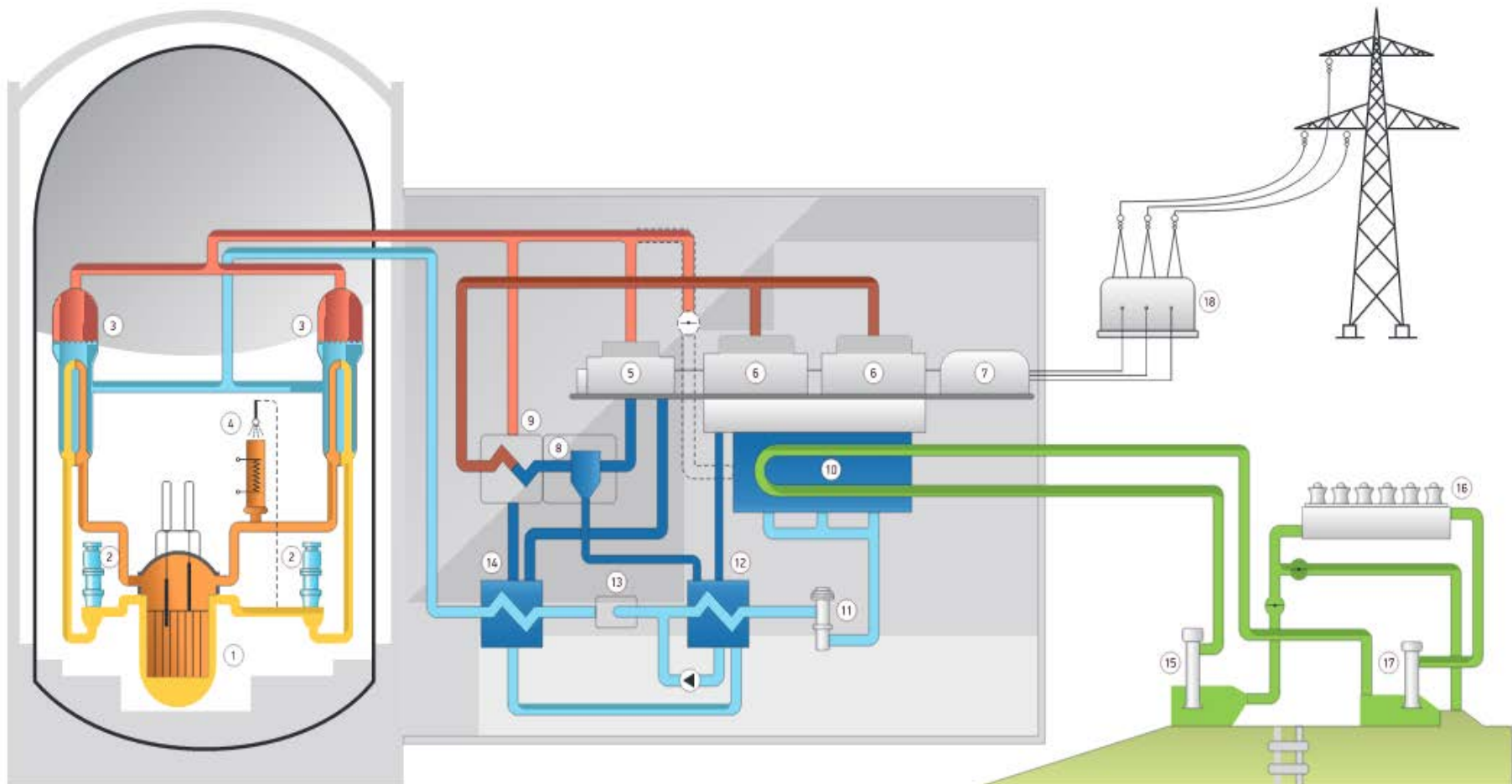
$$K'aV/G = \int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{h' - h_a}$$

Dobljeno število je prenosna enota, ki nam pove razmerje med povprečno entalpijo in spremembo temperature in se uporablja pri načrtovanju stolpov.

Priprava vode za hladilne stolpe

- Filtriranje vode
 - Za preprečitev mehanskih poškodb.
- Dodajanje biocidov in algicidov
 - Preprečevanje nastajanja tvorb, ki bi lahko zmanjšali učinkovitost prenosa toplote.
 - Preprečitev rasti Legionele.
 - Na ljudi se prenaša prek izpostavljenosti aerosolu z vdihavanjem meglenih kaplji, ki vsebujejo bakterije.
 - Znan je primer v Franciji ko je umrlo 21 ljudi od 86 okuženih v radiu 6 km od okuženega hladilnega stolpa.

Nuklearna elektrarna Krško (NEK)



- ① REAKTOR
REACTOR
- ② REAKTORSKI ČRPALKI
REACTOR COOLANT PUMPS
- ③ UPARJALNIKA
STEAM GENERATORS
- ④ TLAČNIK
PRESSURISER

- ⑤ VISOKOTLAČNA TURBINA
HIGH PRESSURE TURBINE
- ⑥ NIZKOTLAČNI TURBINI
LOW PRESSURE TURBINES
- ⑦ GENERATOR ELEKTRIČNEGA TOKA
GENERATOR
- ⑧ LOČEVALNIK VLAGE
MOISTURE SEPARATOR

- ⑨ PREDGRELNIK PARE
REHEATER
- ⑩ KONDENZATOR
CONDENSERS
- ⑪ ČRPALKA KONDENZATA
CONDENSATE PUMPS
- ⑫ NIZKOTLAČNI PREDGRELNIK
LOW PRESSURE HEATER

- ⑬ NAPAJALNA ČRPALKA
FEEDWATER PUMP
- ⑭ VISOKOTLAČNI PREDGRELNIK
HIGH PRESSURE FEEDWATER HEATER
- ⑮ ČRPALKA HLADILNE SAVSKE VODE
CIRCULATING WATER PUMPS

- ⑯ HLADILNI STOLP S CELICAMI
MECH. DRAFT MULTI-CELL COOLING TOWERS
- ⑰ ČRPALKA HLADILNIH STOLPOV
COOLING TOWER CIRCULATING PUMPS
- ⑱ TRANSFORMATOR
TRANSFORMER

- Primarno hlajenje je pretočno 25 m³/s

– Zakonske omejitve:

- 25% odvzem pretoka Save
- Maksimalna temperatura Save

$$T_{MAX} = 28 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- Maksimalni porast temperature

$$\Delta T_{MAX} = 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



- Pomožno hlajenje s hladilnimi stolpi.
 - 2x 6 celični prečni sesalni hladilni stolp*
 - 1X 4celični prečni sesalni hladilni stolp*

*moja ocena

- Hladilni stolpi na naravni vlek

Blok 3 *	Blok 4	Blok 5
1 črpalka	2 črpalke	2 črpalke
Pretok: 13 000 m ³ /h	Pretok: 37 450 m ³ /h	Pretok: 32 000m ³ /h
T = 27°C	T = 22°C	T = 22°C
H =60 m	H =94 m	H =94 m



*Na uradni strani TeŠ omenjen, ampak hladilnik ne stoji več.

- Hladilni stolp na naravni vlek z odvodom očiščenih dimnih plinov.

Blok 6
2 črpalke
Pretok: 61 000 m ³ /h
H =164 m 2R(na dnu) = 100 m



- Dimovodni kanal premera 8 m v skupni dolžini 115 m vstopa v hladilni stolp na višini 50 m.

Viri:

- <http://spxcooling.com/>
- <http://www.world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/Cooling-Power-Plants/>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Cooling_tower
- <http://www.te-sostanj.si/si/>
- www.nek.si/
- <http://www.rudis.si/reference/hladilni-sistem-novega-600-mw-bloka-6-v-termoelektrarni-sostanj/>
- <http://www.djs.si/proc/bled2009/htm/pdf/0706.pdf>