



**A IV –a Sesiune Științifică**

**CIB 2008**

**21 - 22 Noiembrie 2008, Brașov**

## **TURNURILE DE RĂCIRE-VENTILARE SOLUȚIE PENTRU CASE UNIFAMILIALE**

**Dumitru CHISALITA , Ioan BOIAN**

**Universitatea Transilvania Brasov**

### **RĂCIREA PRIN EVAPORARE**

Răcirea prin evaporare este procesul prin care căldura este absorbită de mediul natural. Aerul este răcit, deoarece o parte a căldurii lui este absorbită ca o căldură latentă necesară pentru a evapora apa. Răcirea prin evaporare poate să fie directă sau indirectă. În răcirea prin evaporare directă conținutul de apă din aerul de răcit sporește atunci când aerul este în contact direct cu apa evaporată. În răcirea prin evaporare indirectă, evaporare se întâmplă în interiorul unui schimbător de căldură, astfel conținutul de apă și aerul răcit rămân neschimbate.

Sistemele evaporative de răcire pot să fie clasificate pe două căi. Prima clasificare este în legătură cu contactul (direct sau indirect) aerul răcit cu apa evaporată. Clasificarea a doua este conformă cu energia necesară să creeze evaporarea. Dacă evaporarea se întâmplă natural aceste sisteme se numesc sisteme pasive de evaporare, dar dacă evaporarea se produce ca urmare a unui curent produs prin sisteme mecanice de ventilare cu ventilatoarele electrice, sistemele se numesc hibrid evaporative. Ventilarea cauzată de forțele arhimedice sau răcirea umedă au fost folosite mulți ani în deșert la sud-vestul SUA și necesita energie doar pentru o pompă mică pentru re-circularea apei pentru umezirea tampoanelor. Ulterior sa eliminat pompa de re-circulație și se utilizează presiunea apei din rețea, pentru alimentarea unui rezervor, de unde se descarcă apă periodic peste tampoanele, eliminând cerinta pentru oricare formă de energie electrică.

Răcirea prin evaporare este o formă eficientă de utilizare a energiei naturii la un cost redus pentru îmbunătățirea confortului interior în anotimpul cald. Răcirea prin evaporare în turnul de răcire s-a dezvoltat la Sede-boqer, într-o zonă aridă Negev Highlands în Israelul sudic, unde există o aplicație specială de răcirea prin evaporare care a fost dezvoltată să răcească o suprafață mare de spații de locuit semi-închise. La acest sistem, aerul înconjurător se introduce în partea de sus a turnului, este răcit prin evaporarea de apă, și părăsește turnul prin partea de jos. Aerul de ieșire din turn (intrarea în clădire), are o temperatură coborâtă și o umiditate ridicată (superioară celei din mediul înconjurător), care este furnizată în zona cu cel mai coborât nivel al complexului de clădiri. Acesta ridicându-se ulterior prin clădirea complexă și furnizează aer rece pentru ocupanți spațiului. Turnul de răcire folosește forța gravitațională pentru a mișca aerul răcoros fără aport de energie, sau cu aport de energie mecanică dacă se dorește reducerea dimensiunii turnurilor. Turnurile de răcire au montate în vârf tampoane umede sau duze de pulverizare a apei în curentul de aer. Deoarece aerul cald care intră în contact cu vaporii de apă se răcește, devine mai greu decât aerul cald, și va coborâ spre partea de jos a turnului creând un curent descendent. Nu este necesar a sufla vântul pentru a facilita apariția acestui curent, dar dacă acesta există va îmbunătăți curentul de aer care circulă într-un turn de răcire.

Principiul de răcire prin evaporare se sprijină pe relativ largă cantitate de energie necesară să

transforme apa din stare lichidă în stare gazoasă (abur). În timp ce energia termică necesară să ridice temperatura apei cu 1 °C este de 4,18 KJ/kg, căldura latentă specifică de vaporizare este 2257 KJ/kg. În cazul unui sistem de răcire prin evaporare, această energie este furnizată în primul rând de aerul proaspăt care intră în turnul de răcire, a cărui entalpie și capacitate pentru a reține umiditate este determinată de diferența între temperatura termometrului umed și a celui uscat. Combinația dintre temperatura înaltă și umiditatea scăzută tipică pentru aerul din zilele de vară (media zilnică în iulie de 32 °C și umiditatea relativă 30%) furnizează condițiile promițătoare pentru eficiența ridicată, cu o scală largă de utilizare a procesului de evaporare pentru răcirea spațiilor de locuit.

Sistemul se folosește de mulți ani în diverse locuri din lume, Orientul Mijlociu fiind zona în care se întâlnesc cel mai adesea. În anii recentți, cererea răcirii clădirilor a determinat extinderea acestui sistem atât în zone deschise cât și în cele semi-închise, astfel amintim: Expo Europa 1992 la Sevilla – Spania, în Phoenix - USA. De remarcat că în România întâlnim anumite case în special în zona Olteniei în care turnulețul cu care făcea parte din arhitectura case avea și un important rol de ventilare naturală. Mișcare relativă între picătura de apă și aerul înconjurător, intensifică transferul termic aer-apă. Astfel acțiunea fizică a stropilor de apă care datorită greutatei cad spre interiorul turnului, accelerând procesul de răcire.

Transferul de căldură tinde să evapore picătura de apă și cauzează o scădere a temperaturii mediului vecin. Echilibrul este atins când picătura întâlnește o temperatură inferioară desfășurării efectului de vaporizare. Energia de vaporizare necesară unei evaporări mai intense, va reduce dimensiunea picăturii, conducând la o răcire mai pronunțată, dar și la o pierdere mai mare de apă prin evaporare în mediul înconjurător. Astfel, evaporarea unei picături de apă parcurge două etape: mai întâi, el este răcit până la temperatura de echilibru, și a doua etapă datorată radiației în descreștere.

Parametrii care determină probabilitatea care o are picătură de apă să se evapore în întregime sub impactul condițiilor ambientale sunt diametrul și lungimea jetului de apă, care permit calcularea cantității de apă din jetul de aer de condiționat în mare măsură funcție de înălțimea turnului. În turnul de răcire al expoziției Rotunda Expo'92 în Sevilla, diferența de temperatură a aerului era de 12 °C în primul metru al turnului dacă diametrul picăturilor de apă au fost 14 μm, iar dar dacă stropii de apă au fost de 62 μm, temperatura aerului s-a redus semnificativ, necesitând o înălțime de 15 m pentru o micșorare de 11 °C. Dacă diametrul stropilor de apă injectați sunt mari, cea mai mare parte a energiei este preluată de vaporii de apă, cauzând o scădere a temperaturii apei. Dacă este necesară o răcire directă a aerului reducerea diametrului este obligatorie dar și înălțarea turnul, ca să permită evaporarea totală a apei. Dacă suprafața de sub turn este accesibilă pentru locatari (ex. o piață), toată apa trebuie evaporată chiar și condiții meteorologice nefavorabile. În caz contrar este mai indicat să se proiecteze un bazin (fântână arteziană, piscină) puțin adâncă unde apa în exces este colectată și refolosită.

Răcirea maximă se produce când aerul este saturat: aerul nu poate să fie răcit prin evaporare sub temperatura de condensare a vaporilor de apă. Odată atinsă această temperatură, doar măsurile de înălțare a turnului sau creșterea debitului de aer vor determina atingerea temperaturii necesare în punctul de ieșire din turn.

Unii cercetători au propus construirea de centralele electrice pe acest principiu 'centrale aeroelectrice', încorporând în partea de jos a unor turnuri cu o înălțime de sute de metri a unor generatoare. Convecția termică în astfel de turnuri ar fi enormă. Oricum, pentru scopuri de răcire a locațiilor turnurile de răcire sunt limitate din considerații practice ca de exemplu rezistența construcției, cheltuiala de întreținere sau forma arhitecturală. Potențialul pentru convecția termică produsă cu ajutorul turnului este limitată. Un turn experimental de 21 m construit în Eilat, Israel care a funcționat în condiții climatice favorabile, viteza vântului de 1,3 m/s la gura de aspirație în clădire, a permis o reducere a temperaturii interioare cu 24 °C față de temperatura ambientală. O altă experiență s-a realizat în Arizona, USA unde s-a reușit construirea unui turn care asigură un curent de aer la o temperatură inferioară temperaturii exterioare pentru o valoare a vitezei aerului

sub 0,7 m/s. Creșterea efectului de răcire a unui turn de răcire evaporativ cu o înălțime moderată va necesita un debit mai mare decât poate să fie realizat prin cu curgerea naturală a curentului de aer. Aceasta implică utilizarea unui ventilator antrenat mecanic pentru a forța aerul să intre în turn, sau, unde este posibil folosirea lingurițelor de vânt pentru a capta și direcționa brizele locale.

Dacă aspirația aerului și răcirea acestuia este simetrică și nu există un sistem de linguriță rotativă de separare a curentului de aer, vântul care suflă perpendicular pe axa turnului poate conduce la micșorarea debitului de aer prin turn. Experiențele efectuate în tunele aerodinamice arată că:

- configurațiile diferitelor elemente de intrare a aerului în interiorul turnului poate să reducă turbulențele cu 40% printr-o simplă schimbare a geometriei sistemului de aspirație.

- aspirația simetrică este mai eficientă în condițiile în care viteza vântului în rafale este mai mică decât 40% din viteza curentului de aer datorat stratificării termice. Oricum, odată ce vitezele vântului devin mai mari decât această valoare, lingurițele de vânt asimetrice sunt mai eficiente.

## CUM FUNCȚIONEAZĂ TURNURILE DE RĂCIRE-VENTILAȚIE

În general turnurile de răcire fără ventilație mecanică au înălțimi cuprinse între 6 – 9 m și cu suprafețe cuprinse între 0,5 și 10 metri pătrați. Turnurile de răcire de această dimensiune vor necesita de la 10 la 150 wati pentru a pompa apa necesară răcirii și va răci 90 mp – 230 mp. Debitul de aer pentru aceste turnuri de răcire va fi de la 4,25 mc/h – 13,50 mc/h.

Sistemele de ventilație pasivă se bazează pe mișcarea aerului prin clădiri ca urmare a diferențelor de presiuni ce se stabilesc între diferitele puncte ale acestora. Diferența de presiune așa cum am arătat poate să fie cauzată de vânt sau de efectul dat de forțele arhimedice create de diferențele de temperatură. În oricare caz, cantitatea de aer de ventilație va depinde de dimensiunea critică și plasarea deschiderilor în clădiri.

Ventilația datorată forței arhimedice este cea mai des întâlnită și se datorează diferenței de temperatură între diferitele puncte ale clădirii. Forța arhimedică rezultă din diferențele în densitatea aerului. Densitatea de aer depinde de temperatură și umiditate. Aerul răcit este mai greu decât aerul cald la aceeași umiditate. Astfel, curentul de aer este generat de căderea de aer comprimat mai greu, forțând aerul cald să fie evacuat.

Înălțimea turnului de răcire sau distanța de la priza de aer (partea de sus a turnului) la gura de aspirație (partea de jos a turnului), va determina viteza și presiunea aerului. Mărind distanța dintre aceste două puncte (înălțimea) va conduce la o diferență mai mare de presiune și astfel poate să crească debitul de aer, puterea de răcire și să scadă temperatura aerului de răcire. Turnul folosește o coloană de aer umed răcoros (comparativ cu aerul fierbinte uscat din afară) pentru a crea această presiune.

Tampoanele din vârful turnului sunt umidificate continuu printr-un sistem de pompare cu apă, apa pulverizată de duze se va recupera într-o anumită proporție în partea de jos a turnului aer. Pe măsură ce aerul trece prin tampoanele îmbibate cu apă el este răcit datorită efectului de evaporare a apei. Când apa se evaporă ea absoarbe o cantitate mare de căldură de la aerul înconjurător (cca. 670 kcal/kg de apă evaporată). Aerul umed rece este mai greu decât aerul cald și uscat și coboară prin turn intrând în clădire. Pentru ca aerul răcoros să pătrundă în interiorul clădirii, aerul cald trebuie să fie evacuat.

Turnurile de răcire furnizează o cantitate mică de aer rece în interiorul spațiului chiar și când ușile sunt deschise. O proiectare corespunzătoare a casei care să permită captarea unei brize și dirijarea sa prin casă. Duzele de pulverizare răcind aerul prin vaporizare, sporind umiditatea aerului și mărind densitatea determină aducerea unui aer răcoros în interiorul clădirii.

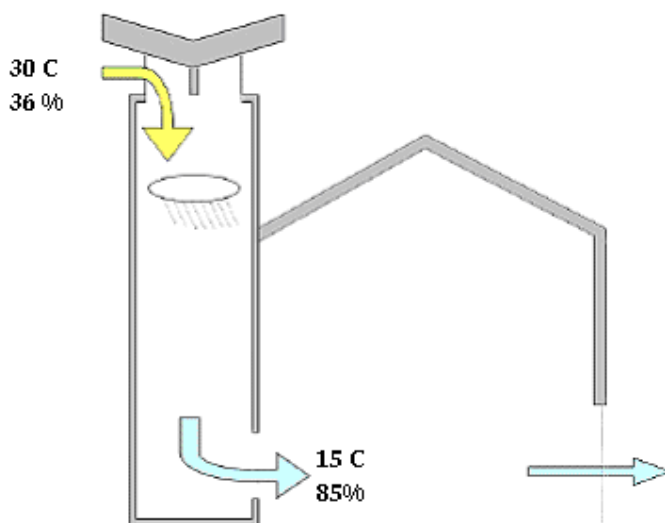


Fig.1. Principiul de funcționare al turnului de răcire

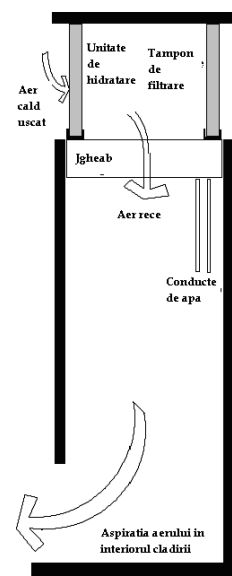


Fig.2. Secțiune prin turnul de răcire

La o temperatură relativă de 30 °C și umiditate relativă de 36% turnul de răcire este capabil să răcească aerul până la temperatura de 15 °C și umiditatea relativă de 85%. În timpul zilei deschiderea unor uși sau ferestre pe direcția opusă turnului pot conduce la o bună ventilație a clădirii.

### CONSIDERAȚII DE PROIECTARE A TURNULUI DE RĂCIRE

Turnul de răcire poate să se realizeze astfel încât să sporească curentul de aer și diferența de temperatură. Pulverizatoarele de ceață, tamponurile de răcire, coșul (șemineul) solar, sistemul difuzorului de aer și forma constructivă a vârfului turnului de răcire pot să fie proiectate în diverse forme pentru a optimiza eficiența turnului de răcire funcție de locația imobilului, necesitățile de răcire-ventilație și mediul înconjurător. Frecvența vântului și orientarea sa ar trebui să fie luată în considerare când se proiectează un turn de răcire. Unde predomină brizele nu este suficient a se baza exclusiv sistemul de ventilație numai pe acest principiu fiind necesară proiectarea cel puțin a unui coș solar, care ar putea să fie o soluție eficientă. Șemineul (coșul) solar este conectat la un spațiu izolat față de clădire și poate să fie încălzit cu ajutorul razelor soarelui sau prin alte mijloace. Aerul cald este pur și simplu evacuat prin partea de sus a șemineului creând o admisie în partea de jos care determină extragerea aerului din interior.

Un mare șemineu solar poate să fie folosit pentru evacuarea aerului cald din interiorul clădirii. Se recomandă dotarea șemineului solar cu un sistem de ghidare a evacuării aerului funcție de direcția vântului. Mai multe zone de evacuare a aerului conduc la un sistem mai bun de ventilație. Aceste dezvoltări vor spori curentul de aer; folosirea curenților ascendenți și a linguriștelor de vânt pentru a direcționa vântul cresc eficiența turnurilor de răcire.

Dacă ne folosim de acțiunea vântului, tamponurile de răcire se vor amplasa în vârful turnului sau la partea de interior în cadrul turnului. În partea de sus a turnului este necesar să existe un rezervor conținând 75 - 150 l de apă cu o supapă de alimentare cu plutitor pentru a păstra rezervorul complet. Apa de ploaie este sursa perfectă care se poate folosi în turnurile de răcire deoarece nu are dizolvate sări sau minerale. În figurile 22,23, și 24 se prezintă trei configurații diferite de turnuri care folosesc principiile descrise anterior.

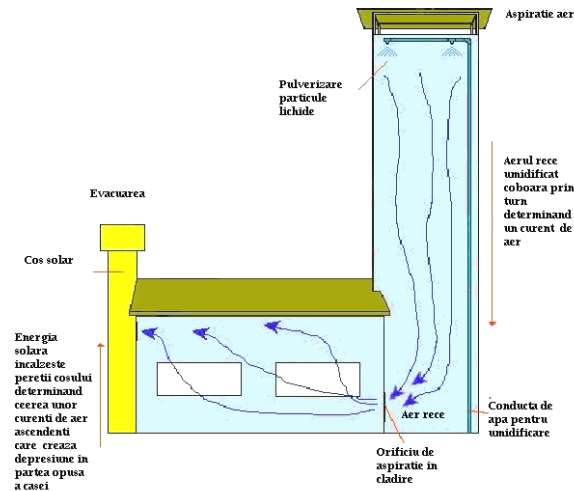


Fig 3. Sistemul turn de răcire –coș de evacuare, cu sistem de pulverizare

Limitele turnului de răcire care trebuie să fie luate în considerare în proiectare și funcționare:

- posibilitatea apariției unor variații mari de temperatură care trebuie acceptate de ocupanții;
- debitul de aer variază cu condițiile atmosferice: temperatură, viteza vântului și umiditate;
- nu prezintă eficacitate în zilele foarte călduroase și în perioadele umede;
- normele de montare și funcționare a aparatelor cu flacără deschisă pot să limiteze opțiunile de proiectare.

- folosirea unor sisteme complete de automatizare cu senzori de comandă și dispozitive pentru închiderea și deschiderea ventilelor de aspirație/evacuare și a ferestrelor și ușilor sunt necesare pentru asigurarea unui confort termic ridicat.

Debitul de aer printr-un turn de răcire se determină cu ecuația

$$\left( \frac{\rho_t V_t^2}{2g_c} \right) \sum K = \left( \frac{g}{g_c} \right) Z \Delta \rho + \Delta C_{wp} \left( \frac{\rho_a V_w^2}{2g_c} \right)$$

Care este, debitul de aer determinat ca suma densității aerului și forța vântului; unde  $\rho$  este densitatea aerului (kg/mc),  $\rho_t$  fiind densitatea medie în turn,  $\rho_a$  densitatea aerului din exterior și  $\Delta \rho$  diferența între densitatea aerului din turn și densitățile aerului înconjurătoare.  $V_t$  și  $V_w$  sunt viteze aerului în turn și respectiv a vântului (m/s),  $\sum K$  este suma de coeficienții pierderii de presiune pentru turn;  $g_c$  este coeficientul de transformare dat de legea lui Newton (104,9 SI) (32 lbf-ft/lbfs<sup>2</sup>);  $g$  este accelerația gravitațională (m/s<sup>2</sup>);  $Z$  este înălțimea turnului eficace (m), sau distanța din adâncul tamponului la punctul de sus al gurii de aspirație în clădire a aerului din turn (m);  $\Delta C_{wp}$  este diferența între coeficienții presiunii vântului la intrarea în turn și gura de evacuare.  $C_{wp}$  pozitiv pe direcția de acțiune a vântului și negativ pe direcția opusă; în anumite condiții  $C_{wp}$  poate deveni negativ și să cauzeze schimbarea sensului de curgere a aerului, dinspre interior spre exterior.

În absența vântului, ecuația poate să fie simplificată la:

$$V_t = \sqrt{\left( \frac{2gZ}{\sum K} \right) \left( 1 - \frac{\rho_a}{\rho_t} \right)}$$

Densitatea de aer din interiorul turnului este determinată în mare măsură de proprietățile aerului din exterior, temperatură, umiditate și presiunea barometrică; și de performanța tamponului

de răcire prin evaporare care se găsesc la partea de sus a turnului. Eficiența tamponelor  $\varepsilon$  este definită ca raport între diferența de temperatură între temperatura aerului determinat cu termometru uscat înainte și după tampon și diferența de temperatură între temperatura aerului determinat cu termometru umed înainte și după tampon, sau diferența între temperatura aerului  $t_a$  și temperatura termometrului uscat după tampon  $t_t$  și diferența între temperatura aerului  $t_a$  și temperatura termometrului umed după tampon  $t_{wb}$ :

$$\varepsilon = \frac{t_a - t_t}{t_a - t_{wb}} = \frac{\Delta t}{\Delta t_w}$$

Capacitatea pentru răcirea aerului se determină astfel:

$$P = Av\Delta t C_p \rho, \text{ unde:}$$

P – puterea de răcire (kW)

A – secțiunea de intrare (admisie) (mp)

V – viteza debitului de aer (m/s)

$\Delta t$  – diferența maximă de temperatură între intrarea și ieșirea aerului (C)

$\rho$  - densitatea aerului (kg/mc)

Informații adiționale ca de exemplu latitudinea, longitudine și altitudinea față de nivelul mării, istoricul privind condițiile atmosferice sunt importante în proiectarea turnurilor de răcire. Turnul trebuie să fie proiectat prin determinarea următoarelor elemente:

- lățimea tamponelor, adâncime, înălțime și grosimea,
- suprafața de ax (dacă turnul este dotat cu linguriță de vânt), înălțime, și suprafața gurii de aspirație;
- modul de descărcare la partea inferioară;
- modul de utilizare (pentru spații interioare sau spații exterioare).

Plecând de la următoarele elemente de proiectare (se poate folosi softul *CoolT*<sup>®</sup>):

- condițiile atmosferice: umiditatea relativă și densitatea aerului;
- informații din interiorul turnul ca de exemplu: temperatura aerului, umiditate, densitatea aerului și viteza de curgere.
- informații de la gura de evacuare turnului ca de exemplu: viteza admisă și debitul necesar
- eficacitatea de tamponelor.
- diferența de temperatură între aerul din exterior și temperatura aerului livrat
- consumul de apă /oră.

## Bibliografie

1. **Chisăliță, D.**, “*Pompele de căldură. Energie verde pentru clădiri*“, Editura Universității Transilvania Brașov, ISBN 978-973-635-908-8, 2007 pag 260
2. **Chisăliță, D.**, “*Economia energiei*“, Editura Universității Transilvania Brașov, ISBN 978-973-635-907-1, 2007 pag 180
3. **Chisăliță, D., Ivan, G.**, „*Auditul energetic pentru incalzirea cladirilor. Studiul de caz: casa unifamiliala*“, Univ Tehnica Bucuresti, Fac de Instalatii, a XIV-a a Conferinței cu participare internaționala „Confort, eficiența, conservarea energiei și protecția mediului” Bucuresti, 29-30 noiembrie 2007