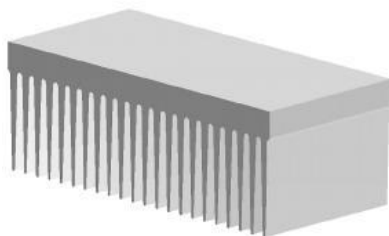


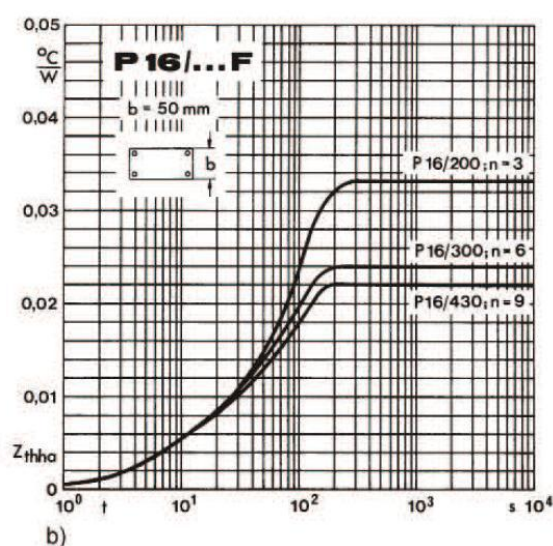
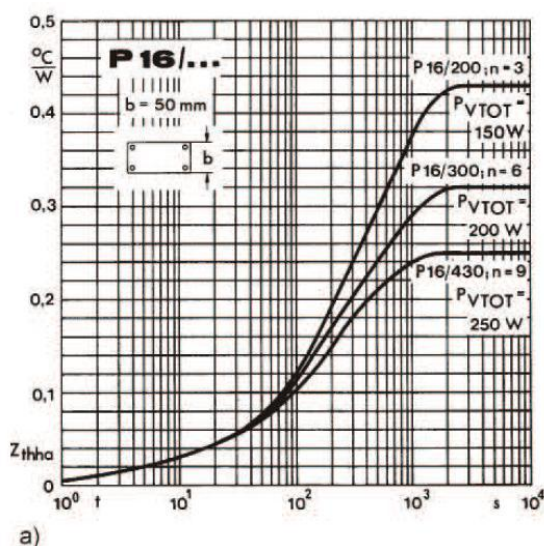
Forsirano hlađenje energetskih pretvaračkih modula



U poređenju sa prirodnim vazdušnim hlađenjem, forsirano vazdušno hlađenje redukuje značajno termičku otpornost hladnjaka (5 do 15 puta). Na Slici 1 je prikazan uporedni pregled karakteristika dinamičkih termičkih impedansi $Z_{th(s-a)}$, za slučaj prirodnog i forsiranog vazdušnog hlađenja do konačne vrednosti u ustaljenom stanju $R_{th(s-a)}$, za slučaj energetskog hladnjaka SEMIKRON P16 i za različite dužine.



Izgled hladnjaka P16 SEMIKRON



Slika 1. $Z_{th(s-a)}(t)$ karakteristike za različite dužine hladnjaka P16, date $u[mm]$ i za broj termičkih izvora n ; a) slučaj slobodne konvekcije za različite disipacije snage, b) za slučaj forsiranog vazdušnog hlađenja.

Koeficijent α (koeficijent prenosa toplote) je mnogo veći za slučaj forsiranog hlađenja u odnosu na slučaj hlađenja putem slobodne konvekcije. Radna površinska temperatura na hladnjaku koji je forsirano hlađen ne sme prelaziti vrednosti 80°C-90°C, pri temperaturi ambijenta od 35°C (uslovi koji su dati u katalogu proizvođača).

Pošto je konvekcija uglavnom odgovorna za disipaciju toplote, premazivanje hladnjaka crnim premazom praktično neće imati efekat u slučaju prinudnog hlađenja vazduhom.

Profili hlađenja

Materijal hladnjaka mora obezbediti optimalnu toplotnu provodljivost i prostiranje toplote (visok koeficijent toplotne provodljivosti λ) uz razumne troškove materijala i obrade. Iz ovih razloga se obično upotrebljava aluminijum-Al ($\lambda = 247 \text{ W/K}\cdot\text{m}$ za čist Al), ali se vrlo često koristi i bakar kada treba ispuniti visoke zahteve ($\lambda = 398 \text{ W/K}\cdot\text{m}$).

Zavisnost prostiranja i širenja toplote u zavisnosti od proizvodnog procesa i korišćene legure je značajna. U praktičnom slučaju vrednosti λ su između 150 W/K·m (Al- legure) i 220 W/K·m (AlMgSi ekstrudirani material). Širenje toplote u materijalima ima značajan uticaj na termičku efikasnost hladnjaka. Stoga su za optimalno dimenzionisanje značajne debljina rebara, broj rebara i njihova visina:

- Koren hladnjaka je završni deo montažne površine na koju se montiraju moduli snage koji disipiraju toplotu.
- Rebra na jednom vazдушnom hladnjaku se koriste za dsipaciju većeg dela toplote u okolinu, putem konvekcije

Da bi se odredili optimalni uslovi za forsirano vazdušno hlađenje profila hladnjaka, toplotna provodljivost i konvekcija mogu se dobiti integracijom po visini hladnjaka, što uz izvesna pojednostavljenja, rezultovati sledećim formulama:

$$R_{th(s-a)} = \frac{1}{n\sqrt{\alpha \cdot U \cdot \lambda \cdot A} \cdot \left[\frac{1}{1+e^{-2k}} - \frac{1}{1+e^{2k}} \right]} \quad (1)$$

$$k = h \cdot \sqrt{\frac{\alpha \cdot U}{\lambda \cdot A}} \quad (2)$$

U datim formulama su :

α -koeficijent prenosa toplote,
 U -obim rebra,
 λ - koeficijent termičke provodnosti za material od koga je načinjen hladnjak,
 A -površina poprečnog preseka rebra,
 h -visina rebra.

Tabela 1 pruža grubi pregled karakteristika dizajna različitih vrsta hladnjaka.

	
<i>Tanji koren hladnjaka</i>	<i>Deblji koren hladnjaka</i>
<i>Više rebara</i>	<i>Manje rebara</i>
<i>Niži termički otpor $R_{th(s-a)}$</i>	<i>Viši termički otpor $R_{th(s-a)}$</i>
<i>Niski kapacitet preopterećenja (na primer za pumpe)</i>	<i>Visoki kapacitet preopterećenja (na primer za liftove)</i>
<i>Kratku vremensku konstantu</i>	<i>Duga vremenska konstanta</i>
<i>Malo širenje toplote</i>	<i>Dobro širenje otoplote</i>
<i>Visok pad pritiska – manje vazduha</i>	<i>Nizak pad pritiska- više vazduha</i>
<i>Osetljiv na prljavštinu</i>	<i>Manje osetljiv na prljavštinu</i>

Tabela 1. Osobine i kriterijumi izbora za različite profile hladnjaka

Pad pritiska i zapreminski protok

Termička otpornost $R_{th(s-a)}$ u slučaju forsiranog hlađenja je određena vrednostima zapreminskog protoka u vremenu V_{air}/t , koja je određena srednjom vrednošću brzine rashladnog vazduha v_{air} i površine poprečnog preseka A :

$$V_{air}/t = v_{air} \cdot A \quad (3)$$

Umesto pretpostavljenog laminarnog vazdušnog toka, vazdušni vrtlog na površini hladnjaka će izazvati turbulentne uslove protoka koji će poboljšati disipaciju toplote u vazduh, pod uslovom da su površine hladnjaka postavljene na adekvatan način. Treba napomenuti da se ovo prethodno rečeno odnosi ne samo na statičku termičku otpornost, već i na tranzijentnu (dinamičku) termičku impedansu Z_{th} koja se smanjuje primenom forsiranog hlađenja vazduhom.

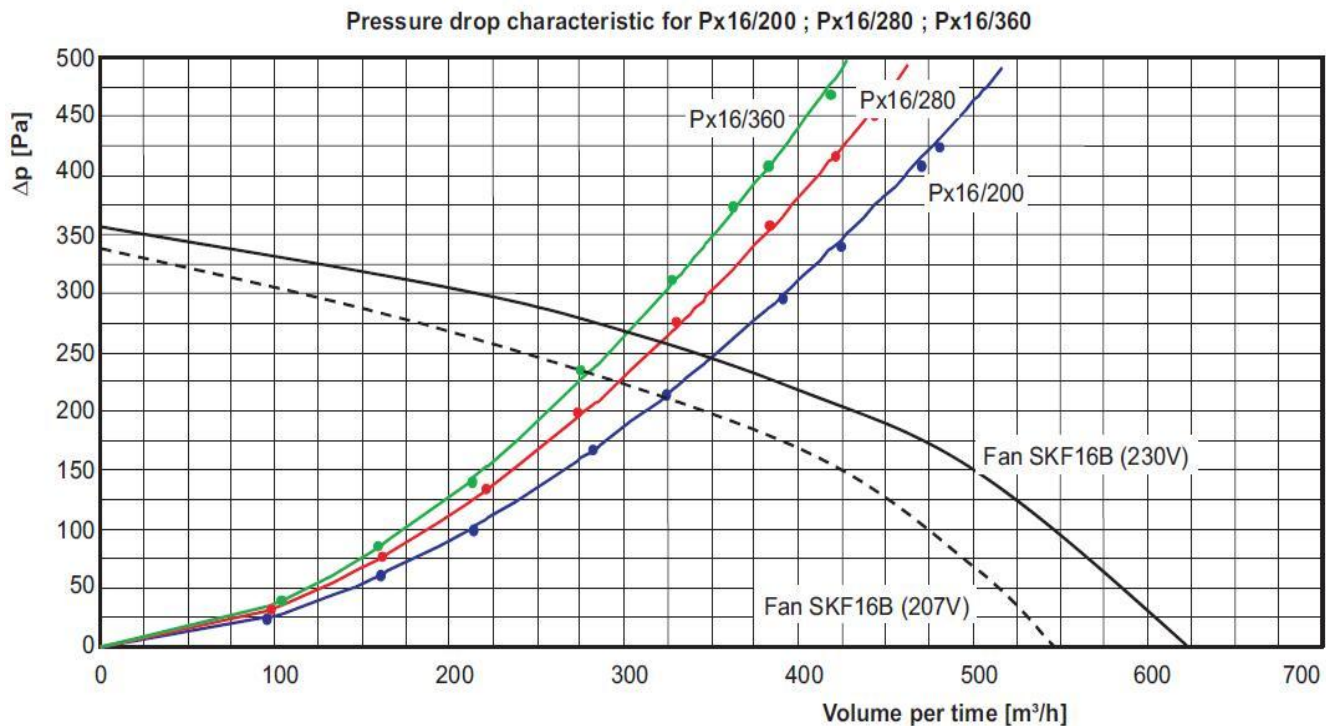
Slika 1 prikazuje karakteristiku impedanse $Z_{th(s-a)}$ do krajnje ustaljene vrednosti $R_{th(s-a)}$ za prirodno i forsirano hlađenje za hladnjak SEMIKRON, tip P16. Vremensko ponašanje u ova dva slučaja se razlikuje i do deset puta. Dok se kod prirodnog hlađenja statička krajnja vrednost dobija nakon 2000...3000 s, u slučaju forsiranih hlađenja ovaj proces se završava znatno brže, i to nakon 200...300 s.

Povećanje broja rebara hladnjaka i njihove širine će u značajnoj meri redukovati efektivnu vrednost prenosnog poprečnog preseka hladnjaka. Sa porastom dužine hladnjaka, pad pritiska rashladnog vazduha Δp raste i vrednost zapreminskog protoka opada. Ovo je kontra efekat od proširenja rashladne površine. Iz ovih razloga, ventilator ima optimalnu širinu u skladu sa protokom po poprečnom preseku, dužinom hladnjaka i zapreminskim protokom.

Odvođenje disipacije toplote je zavisno od osobina ventilatora, koje su opisane njegovom karakteristikom $\Delta p = f(V_{air}/t)$, kao što je prikazano na Slici 2. Presek karakteristične krive ventilatora i krive pada pritiska hladnjaka $\Delta p = f(V_{air}/t, L)$ daje vrednost protoka u radnoj tački, koja će biti određena kao što je pokazano na Slici 2.

Kada se integriše karakteristika ventilatora, dopuštenu fluktuaciju radnog napona (na primer $230\text{ V} \pm 10\%$) treba uzeti u obzir. Adekvatno hlađenje mora biti osigurano čak i kada je primenjeni napon minimalan, odnosno kada se ima manji protok rashladnog vazduha.

Prenosna termička otpornost $R_{th(s-a)}$ hladnjaka (Slika 3) je funkcija određene vrednosti zapreminskog protoka.

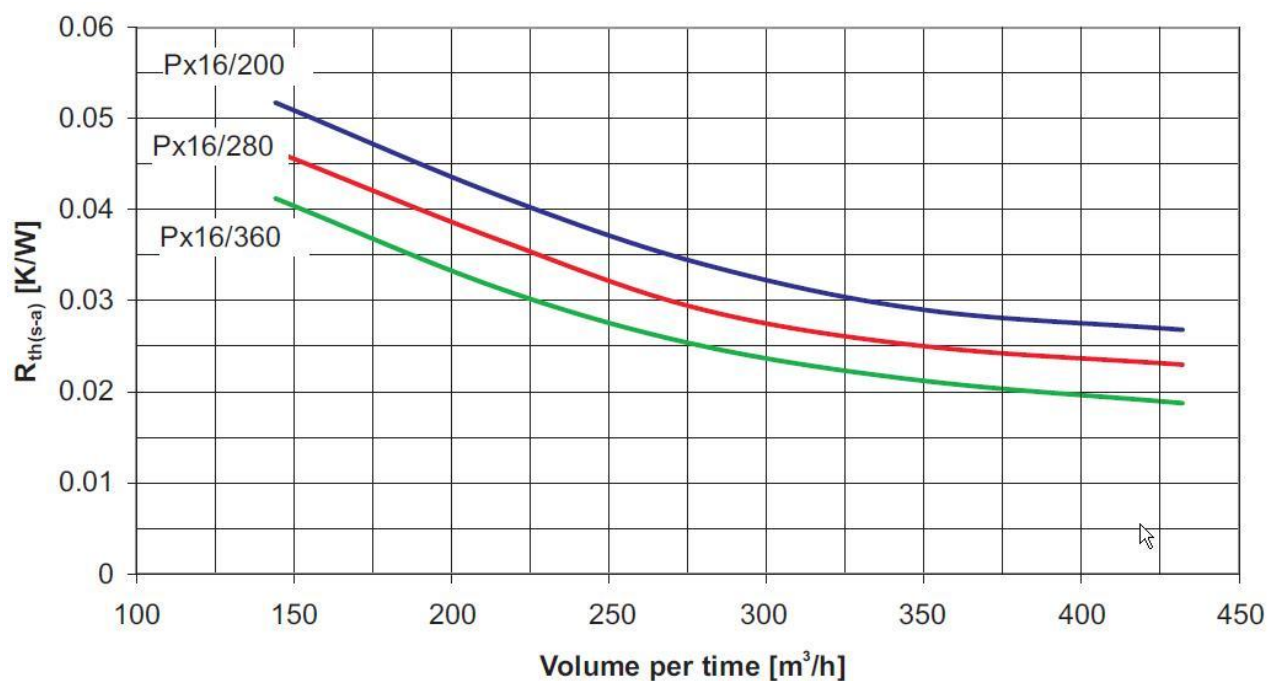


Slika 2. Protok rashladnog vazduha profila hladnjaka Px16 za njegove različite dužine i za karakteristiku ventilatora SKF 16B.

U blizini poznate radne tačke, $R_{th(s-a)}$ će biti određena kao funkcija zapreminskog protoka u skladu sa sledećom jednačinom:

$$R_{th(s-a)2} = R_{th(s-a)1} \cdot \left(\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} \right)^k \quad (4)$$

gde je vrednost koeficijenta k obično data na osnovu iskustva i ima vrednosti $k = 0.7 \dots 0.9$.



Slika 3. Karakteristične krive za hladnjak Px16 u funkciji zapreminskog protoka

Ventilatori (duvaljke)

Ventilatori proizvode protok vazduha u skladu sa zahtevima forsiranog vazdušnog hlađenja. U zavisnosti od vrste hladnjaka i aplikacije, koriste se različiti tipovi ventilatora (Slika 4).



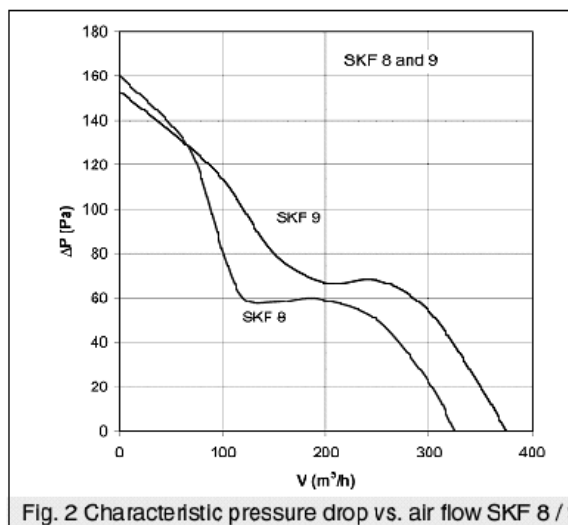
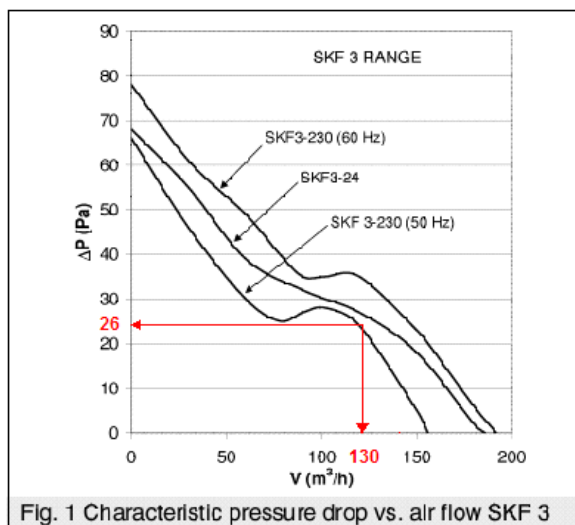
Slika 4. Neki tipovi standardnih ventilator koji se koriste u sistemima za hlađenje energetske modula; a) aksijalni ventilator, b)radijalni ventilator, c) ventilatora sa unakrsnim poprečnim "cross flow" tokom vazduha

Aksijalni ventilatori

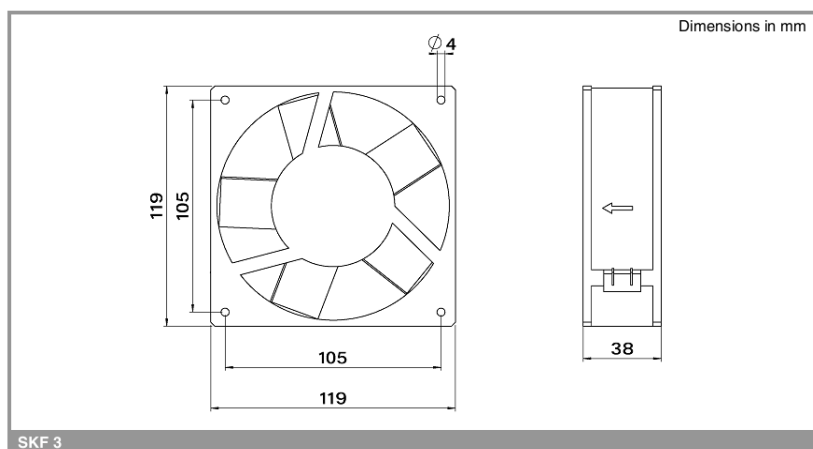
Osovina spina aksijalnog rotora odvija se paralelno sa protokom vazduha. Vazduh se pomera kroz aksijalni rotor koji deluje slično vakuumu. Prednosti ventilatora aksijalnog protoka su relativno male dimenzije u odnosu na visoku brzinu protoka vazduha. Njihov nedostatak je povećanje pritiska u poređenju sa radijalnim ventilatorima. Na Slici 5 su date tehničke karakteristike aksijalnih ventilatora proizvodnje SEMIKRON, dok je na Slici 6 dat izgled aksijalnog ventilatora SKF 3.

Axial Fans

Types	Ident No.		f Hz	V ₁ V	Max volume m ³ /h	P W	T _{amb} max °C	Weight kg	Noise dB
SKF 3-230-01	30031061		50 / 60	230	159 / 190	15 / 14	70	0,55	37 / 41
SKF 3-115-01	30031110		50 / 60	115	160 / 190	15,5 / 14,5	70	0,55	37 / 41
SKF 3-24c-01	VE001030		DC	24	185	7,5	70	0,26	43
SKF 8-230-01	30145431		50	230	325	45	50	1,1	48
SKF 9-230-01	30142395		50	230	375	24	70	1	54



Slika 5. Tehnički podaci i karakteristike pada pritiska u funkciji zapeminskog protoka rashladnog vazduha nekoliko aksijalnih ventiliatora proizvodnje SEMIKRON

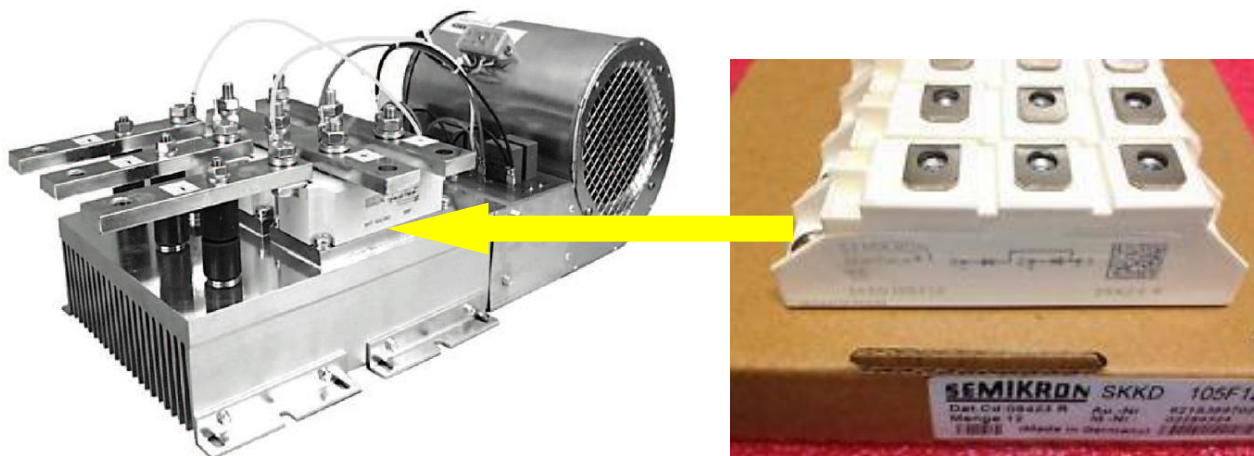


Slika 6. Izgled i dimenzije ventilatora SKF 3, proizvodnje SEMIKRON

Radijalni ventilatori (centrifugalni ventilatori)

Radijalni ventilatori (Slika 7), za razliku od aksijalnih, se koriste kad god je potrebno za istu količinu vazduha potrebno dobiti, za razliku od ventilatora aksijalnog toka, veći porast pritiska. Vazduh se usisava paralelno ili aksijalno u odnosu na osu pogona ventilatora radijalnog toka, a odbija se za 90° kao rezultat rotacije radijalnog rotora i oduvavanja u radijalnom pravcu.

Kako bi se smanjili gubici pritiska zbog visoke izlazne brzine vazduha iz radijalnog ventilator, mora se voditi računa da se nastavi kanalisanje vazduha, naprimer korišćenjem ogovarajućeg difuzora.



Slika 7. Set od tri diodna energetska modula (3x half bridge) u trofaznom ispravljaču na profilu sa radijalnim ventilatorom

Tangencijalni ("cross flow") ventilatori

Ventilatori sa tzv. "unakrsnim tokom" (tzv. "cross flow") imaju ulazni i izduvni prolaz preko cele dužine. Vazduh se usisava u unutrašnjost rotora kroz vijugavi i zakrenuti ulazni priključak, gde se uduvavanje odvaja i odvaja izuzetno homogeno (Slika 8). Ventilatori unakrsnog protoka obezbeđuju visoki protok vazduha čak i pri malim brzinama i stoga mogu biti konstruisani da emituju relativno nizak nivo buke. Dužina rotora i izlazni otvor su usklađeni sa širinom hladnjaka.



Slika 8. Princip rada i izgled jednog komercijalnog ventilatora sa unakrsnim tokom vazduha

Uticaj nadmorske visine

Količina toplote koja se disipira na energetskom modulu, zavisi od atmosferskog pritiska i gustine rashladnog vazduha. Gustina vazduha, a time i efikasnost hlađenja, smanjuje se kada se povećava nadmorska visina. Smanjenjem gustine vazduha pogoršava se disipaciju toplote. Efikasnost hladnjaka se takođe pogoršava.

Da bi ovo uzelo u obzir pri termičkom proračunu, neophodno je smanjiti snagu pretvarača ili pomnožiti termičku otpornost R_{th} sa korekcionim faktorom u skladu sa vrednostima koje su date u Tabeli 2.

Nadmorska visina [m]	Redukcija performansi	Korekциони factor za $R_{th(s-a)}$
0 / nivo mora	1	1
1000	0.95	1.05
1500	0.90	1.11
2000	0.86	1.16
3000	0.8	1.25
3500	0.75	1.33

Tabela2. *Uticaj nadmorske visine na termičku otpornost hladnjaka*

Ova ograničenja performansi se takođe primjenjuju u sistemima vodenog prinudnog hlađenja, ako je temperatura rashladne vode regulisana pomoću vazdušnog izmjenjivača toplote.