

# Napájení a chlazení pro vysoce kompaktní stojany a blade servery

Autor: Neil Rasmussen

**Bílá kniha č. 46**

**APC**<sup>®</sup>  
Legendary Reliability<sup>®</sup>

## Resumé

Použití některých informačních technologií, jako jsou například blade servery, může vést k nárokům na napájení více než 10 kW na jeden stojan. To způsobuje obtížné situace, kdy je nutné vyřešit chlazení a napájení v rámci datového střediska, kde je průměrná spotřeba energie na stojan v této oblasti nižší než 2 kW. V tomto dokumentu jsou popsány strategie plánování pro návrh stojanů s vysokými nároky na napájení spolu s praktickými řešeními pro nová i stávající datová střediska.

# Úvod

Spotřeba energie zařízení umístěného v jednoduchém stojanu v uzavřené skříni může značně kolísat. Průměrná spotřeba energie stojanu v uzavřené skříni v datovém středisku je přibližně 1,4 kW, maximální hodnota, která může nastat při umístění vysoce kompaktních serverů, jako jsou například blade servery, je však přibližně 18 kW. Taková zátěž vysoce převyšuje možnosti architektury napájení a chlazení obvyklých datových středisek.

Provozovatelé datových středisek mají jen malé zkušenosti se stojany v uzavřené skříni s odběrem nad 10 kW. Současné trendy však ukazují, že poroste nutnost instalace a zajištění napájení a chlazení pro vysoce kompaktní stojany, ať již jednotlivě, nebo ve skupinách.

Zdalo by se, že jednoduchým řešením tohoto problému je organizace datového střediska tak, aby pro každý stojan v uzavřené skříni bylo navíc k dispozici 18 kW redundantního výkonu a kapacity chlazení. *To bohužel není téměř v žádném prostředí technicky možné ani ekonomicky praktické.* Nesprávná volba při návrhu datového střediska pro provoz s vysokým výkonem může zbytečně mnohokrát zvýšit celkové provozní náklady na fyzickou infrastrukturu. Cílem tohoto dokumentu je poukázat na praktické a efektivní strategie umístění vysoce kompaktních stojanů a blade serverů.

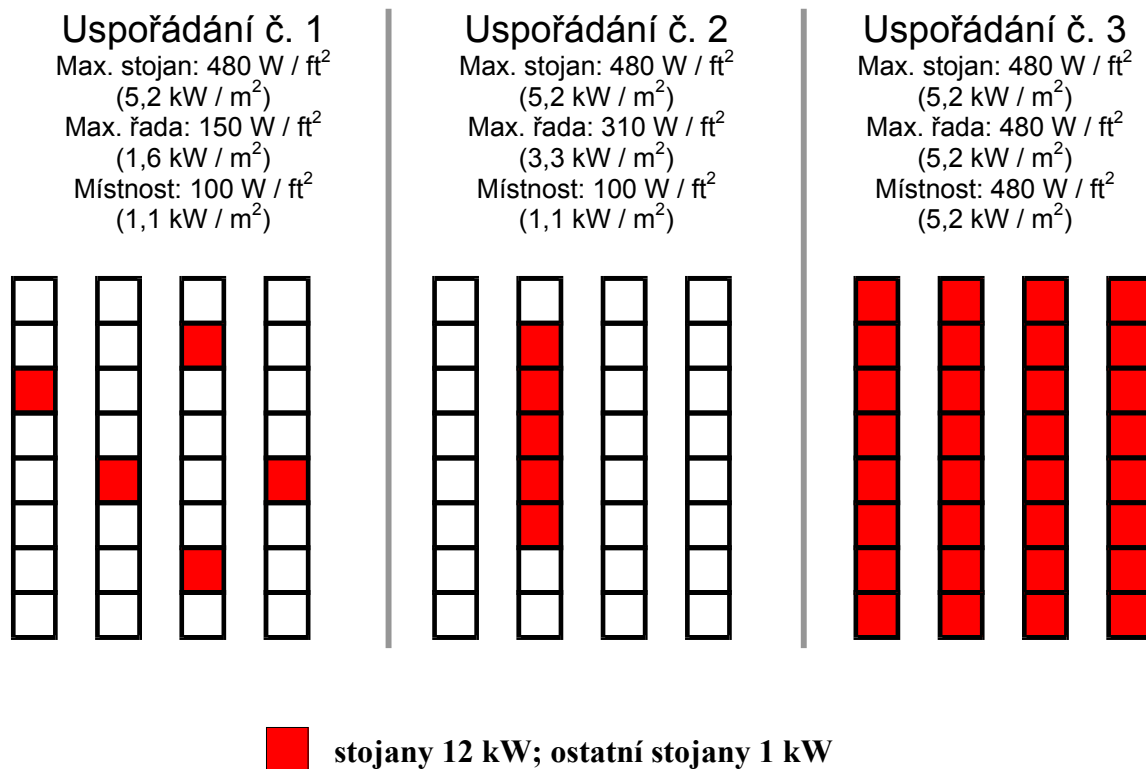
Nejprve je přiblížen koncept hustoty výkonu. Poté jsou zkoumány hustoty výkonu aktuálního a nového datového střediska. Jsou prezentovány praktické přístupy k dosažení vysoké kompaktnosti spolu s jejich výhodami a omezeními. Nakonec jsou uvedeny logické a praktické strategie zavádění vysoce kompaktních výpočetních kapacit.

## Jasná definice hustoty výkonu v datovém středisku

Při popisu hustoty výkonu může docházet k velmi závažným nedorozuměním vyplývajícím z víceznačného významu pojmu „hustota výkonu“. Hustota výkonu je často udávána ve wattech na čtvereční stopu nebo wattech na stojan v uzavřené skříni. Tento stručný popis stačí pro situace, kdy mají všechny stojanové skříně stejné nároky na výkon napájení. V reálném datovém středisku se však výkon připadající na jednotlivé stojanové skříně významně liší. V praxi se tedy hustoty výkonu měřené na úrovni stojanu, řady a místnosti mohou zásadně lišit. Tyto rozdíly hustoty výkonu měřené v rámci stojanové skříně, řady a místnosti mají významný dopad na infrastrukturu podpůrného napájecího systému a ještě větší dopad na systém chlazení.

Rozdíl hustoty výkonu měřené v rámci stojanové skříně, řady a místnosti je znázorněn na obrázku 1. Tento obrázek obsahuje stojanové skříně s odběrem 12 kW instalované v typické místnosti. V jednom případě 15 % stojanových skříní v místnosti odebírá 12 kW a zbývající skříně odebírají 1 kW. V druhém případě stejný podíl stojanových skříní odebírá 12 kW, avšak tyto skříně jsou seskupeny do jedné řady. Ve třetím případě všechny stojanové skříně odebírají 12 kW. Ve všech těchto případech je shodná špičková hustota výkonu 12 kW na stojan, což dává výsledných 5,2 kW / m<sup>2</sup>. Hustoty výkonu na řadu a na místnost se však mohou v jednotlivých případech významně lišit.

**Obrázek 1 – Hustota výkonu ve wattech na jednotku, stojanovou skříň, řadu a místnost pro tři různá uspořádání místnosti**



Rozdíly mezi hustotami výkonu na stojan, řadu a místnost zobrazené v obrázku č. 1 představují realistické možné instalace. Tyto rozdíly mají významný vliv na infrastrukturu napájení a chlazení. Celkový výkon systému napájení a systému chlazení je prostý souhrn výkonu na jednotlivé zátěže. To umožňuje snadno určit celkovou kapacitu jednotek UPS a klimatizace místnosti. Hlavní problém související s proměnlivými stavy a špičkovými hodnotami hustoty napájení souvisí s *distribucí* napájecího a chladičového výkonu v rámci datového střediska.

Poznámka: ve výše uvedených popisech je hustota vyjadřována pomocí celkové plochy podlahy, což zahrnuje i další prostory, jako jsou například chodby, které jsou nutné, avšak jsou přičítány navíc k ploše zastavěné stojanovými skříněmi. Toto je nejrozšířenější metoda popisu hustoty výkonu a tato terminologie bude používána v celé této příručce. Některé jiné dokumenty, zvláště dokumentace výrobců počítačů, rozumí pod pojmem hustota hodnotu ve wattech na jednotku plochy, kde plocha je omezena na půdorys stojanové skříně. Takové hodnoty hustoty založené pouze na půdorysu stojanové skříně musí být sníženy přibližně o 75 %.

# Skutečná kapacita hustoty výkonu současných datových středisek

Společnost APC a další organizace uspořádaly průzkumy mezi návrháři a provozovateli datových středisek s cílem zjistit současné hustoty provozního výkonu a omezení architektury nových a stávajících datových středisek a velkých síťových sálů. Údaje v tabulce 1 představují souhrn údajů za rok 2002 pocházejících z různých zdrojů, včetně velkých zákazníků z řad podniků, servisních pracovníků a technických poradců. Zjištěná celková hodnota hustoty výkonu na jednu stojanovou skříň se těsně shoduje s hodnotami zjištěnými současnými průzkumy, které provedla Kalifornská Univerzita Berkeley<sup>1</sup>.

**Tabulka 1 – Výsledky průzkumu týkající se projektované a skutečné hustoty výkonu datových středisek**

Charakteristika	Průměr na datové středisko	90% datových středisek je menší než	Maximální nalezený příklad
Hustota výkonu v projektu	35 W / ft <sup>2</sup>	60 W / ft <sup>2</sup>	200 W / ft <sup>2</sup>
Skutečná provozní hustota výkonu	25 W / ft <sup>2</sup>	40 W / ft <sup>2</sup>	150 W / ft <sup>2</sup>
Hustota výkonu na stojan v projektu	1,1 kW / stojan	1,8 kW / stojan	6 kW / stojan
Skutečná celková hustota výkonu na stojan	1,3 kW / stojan	2 kW / stojan	4 kW / stojan
Skutečný průměr výkonu na stojan v řadě s největší hustotou ze všech stojanů v datovém středisku	2 kW / stojan	3 kW / stojan	5 kW / stojan
Skutečný největší výkon na některém stojanu v datovém středisku	3 kW	6 kW	7 kW

Poznámka: stojan zahrnuje stojanovou skříň a skříňové zařízení, jako jsou například zařízení DASD nebo počítače mainframe. Zařízení větší než stojanová skříň jsou počítána jako několik stojanů se stejnou plochou půdorysu.

Tyto údaje ukazují, že projektovaná hustota výkonu datových středisek je průměrně 35 W / ft<sup>2</sup>, což odpovídá hodnotě 1,1 kW na stojanovou skříň, uvažujeme-li plochu 30 ft<sup>2</sup> na stojanovou skříň. Zjištění, že průměrný skutečný výkon napájení na stojan je vyšší než projektovaná hodnota, je možné, protože v průměru není dosahována hodnota hustoty 30 ft<sup>2</sup> na stojan. K tomu dochází hlavně proto, že datová střediska nejsou plně zaplněna stojanovými skříněmi.

Příklad: datové středisko s projektovanou hustotou výkonu na stojanovou skříň o hodnotě 1,1 kW / stojan při ploše 30 ft<sup>2</sup> na stojan může umožňovat napájení s hustotou výkonu 2,2 kW / stojan, pokud stojany zabírají pouze polovinu dostupné podlahové plochy.

<sup>1</sup> Mitchell-Jackson, J.D., Koomey, J.G., Nordman, B., Blazek, M., "Data Center Power Requirements: Measurements From Silicon Valley" („Požadavky na napájení datových středisek: měření ze Silicon Valley“), 16. května 2001. Disertační práce - skupina pro energii a zdroje, Kalifornská univerzita, Berkeley, Kalifornie.

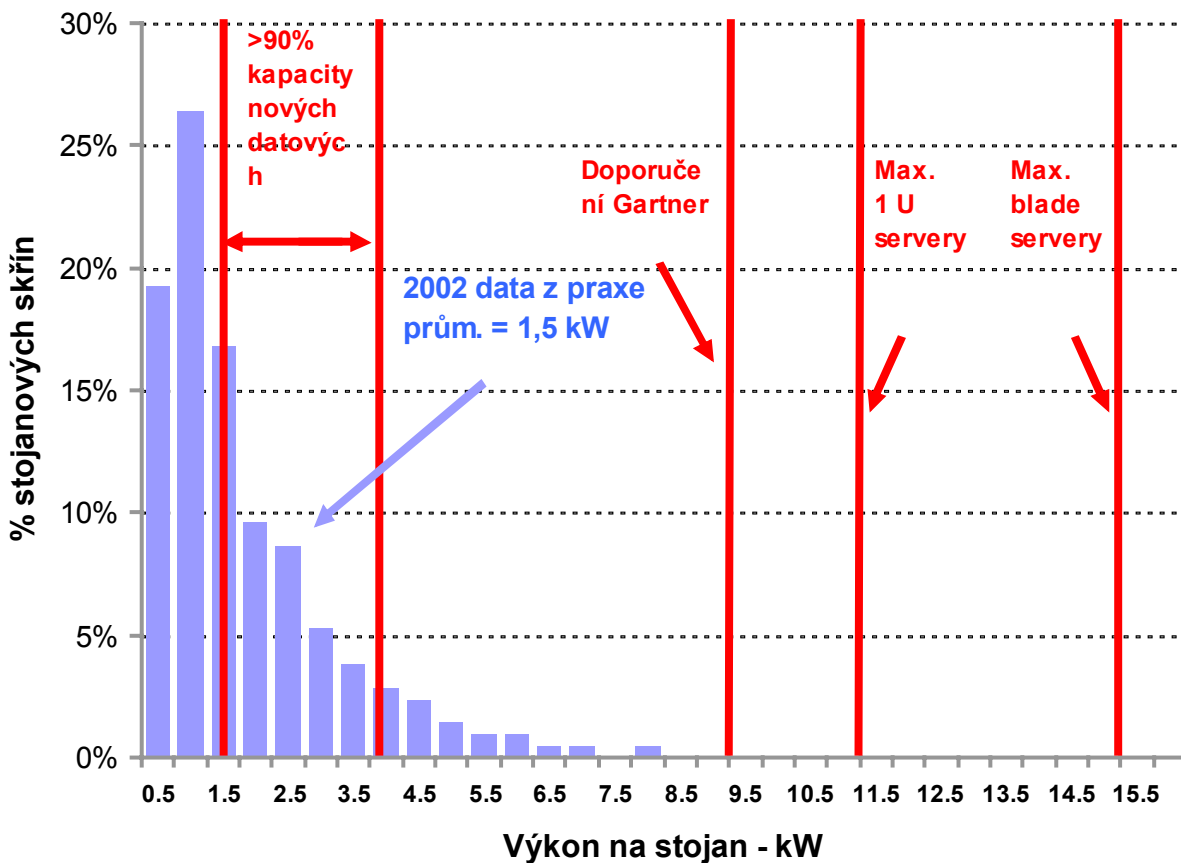
Tyto údaje platí pouze pro prostředí výroby. V prostředí vývoje a testování byly zjištěny o něco vyšší průměrné a maximální hodnoty maximální hustoty výkonu.

V obrázku 2 je zobrazeno rozložení četnosti spotřeby napájení na stojan podle výsledků průzkumu<sup>2</sup>. To poskytuje další vhled do problematiky řízení hustoty výkonu. Každá úroveň reprezentuje procentuální podíl stojanů vykazujících odběr v rozsahu 500 W až po hodnotu indikovanou touto úrovní. Úroveň 1,5 kW například zahrnuje stojany s odběrem energie 1 kW až 1,5 kW.

Poznámka k obrázku 2: v typickém datovém středisku je značný počet stojanů odebírajících méně než 500 W. Tyto stojany zahrnují propojovací pole a stojany s řídicí osazenými přepínači a nízkokapacitními servery. Mnohé z těchto stojanů také obsahují značný podíl nevyužitého svislého prostoru.

Poznámka k obrázku 2: počet stojanů s odběrem energie nad 2 kW významně klesá a stojany s odběrem nad 8 kW nebyly nalezeny.

**Obrázek 2 – Rozložení četnosti skutečné spotřeby napájení na stojan ukazující vztah k maximální možné konfiguraci stojanů.**



<sup>2</sup> Tyto údaje lze získat obtížněji než údaje v tabulce 1, protože ve většině datových středisek není k dispozici měření výkonu pro každý stojan. V mnoha případech bylo nutné údaje odhadnout na základě hodnoty výkonu pro skupinu stojanů a následným rozdělením tohoto výkonu mezi stojany pomocí rozsáhlých údajů o spotřebě shromažďovaných společností APC při práci s nástroji pro dimenzování jednotek UPS.

Mezi skutečnými hodnotami spotřeby napájení na stojan v obrázku 2 je zvýrazněno několik referenčních čar. První pár referenčních čar udává rozsah průměrných hustot výkonu, na které jsou projektována nová datová střediska, určený na základě průzkumů technických poradců.

Čára s označením „Doporučení Gartner“ reprezentuje hodnotu  $300 \text{ W} / \text{ft}^2$  navrhovanou pro projektování nových datových středisek podle průzkumu Gartner Research v dokumentu Research Note z února 2003 s nadpisem „Power and Heat in the Modern Data Center“. Tato hodnota vysoce překračuje hodnoty v současných i projektovaných nových datových střediscích. Takto vysoké hodnoty hustoty jsou však pravidelně probírány v nejrozšířenějších časopisech a jsou prezentovány jako správné hodnoty při návrhu architektury.

Následující dvě čáry představují hustoty výkonu, kterých lze dosáhnout obsazením stojanových skříní nejkompaktnějšími serverovými produkty, které jsou v současnosti k dispozici, což jsou jednopoziční servery a Blade servery. Tyto hodnoty značně převyšují projektované hodnoty pro nová datová střediska i skutečné hodnoty stávajících datových středisek. Přestože blade servery mohou odebírat vyšší napájecí výkon na stojan než servery 1U, je třeba uvážit, že při těchto hustotách výkonu blade servery poskytují výkon dvakrát takového počtu serverů než servery 1U, takže v přepočtu na výkon blade servery odebírají o 40 % méně energie na server než servery 1U.

Na základě těchto údajů lze odvodit následující:

- Většina stojanových skříní pracuje při nižším odběru napájení, než jaká je projektovaná hodnota pro datové středisko.
- Vysoce kompaktní výpočetní zařízení nejsou instalována v maximální dosažitelné hustotě.
- Hodnoty hustoty výkonu, které jsou pravidelně probírány v nejrozšířenějších časopisech, nejsou dosahovány v nijak významném počtu stávajících nebo projektovaných datových středisek.

Pro účely tohoto dokumentu označujeme pojmem „vysoce kompaktní“ stojanové skříně s odběrem nad 3 kW, přičemž hodnota 3 kW odpovídá horní hranici rozsahu průměrné chladicí kapacity současných datových středisek.

## Požadavky na napájení a chlazení pro vysoce kompaktní stojanovou skříň

Příkladem vysoce kompaktní stojanové skříně je instalace šesti sedmipozičních blade serverů v stojanu s 42 pozicemi, kde každý blade server odebírá energii 3 kW s celkovými nároky na napájení 18 kW. To znamená, že stojanová skříň vyžaduje výkon napájení 18 kW a výkon chlazení 18 kW. Systém takového typu je obvykle považován za kritický systém a je vyžadována rezerva napájení i chlazení.

## Požadavky na napájení

Co se napájení týče, tento systém by pravděpodobně vyžadoval **dvanáct** napájecích okruhů 30 A s napětím 208 V nebo 230 V (dva pro každou jednotku s dvojitým přívodem). Sdílení okruhu mezi dvěma servery by znamenalo zatížení jednoho okruhu nepřipustně blízko limitu jističe). Tyto okruhy zahrnují objemnou kabeláž, která obvykle musí být vedena v horní části, aby se zabránilo blokování proudění vzduchu pod zvýšenou podlahou (pokud je použita zvýšená podlaha). To platí zvláště v případě, pokud je umístěno více takových stojanových skříní blízko sebe. Alternativně lze v případě použití zvýšené podlahy zvětšit výšku podlahy, aby bylo možné umístit kabeláž bez vzniku problémů. V každém případě však musí být instalován značný počet dodatečných kabelů, což může být složité a může to zvýšit náklady, pokud je datové středisko v provozu. Při použití těchto metod lze zajistit redundantní výkon napájení pro ultra kompaktní stojanové skříně.

## Požadavky na chlazení

Chlazení ultra kompaktní stojanové skříně je mnohem závažnějším problémem než zajištění napájení. Výše popsaný systém blade serverů by vyžadoval průtok chladicího vzduchu přibližně 1 180 L/s na vstupu (při obvyklé hodnotě nárůstu teploty chladicího vzduchu o 11 °C) se stejným objemem ohřátého vzduchu na výstupu. Zařízení odebere tento objem chladicího vzduchu bez ohledu na to, zda jej dokáže chladicí systém poskytnout. Pokud místnost nedokáže pro stojanovou skřín zajišťovat toto množství chladicího vzduchu, pak stojanová skřín bude odebírat vzduch ze svého výstupu ohřátého vzduchu (nebo ohřátý výstupní vzduch z okolních zařízení) a může dojít k přehřátí. Zde jsou uvedeny čtyři klíčové faktory dosažení požadovaného výkonu chlazení:

- Zajištění vstupu chladicího vzduchu 1 180 L/s na stojanovou skřín.
- Odběr ohřátého vzduchu 1 180 L/s ze stojanové skříně.
- Oddělení ohřátého výstupního vzduchu od vstupu vzduchu do zařízení.
- Zajištění všech těchto funkcí bez přerušení a v redundantním objemu.

Každá z těchto funkcí je velmi náročná. V následujících částech jsou popsány problémy související s jejich zajištěním.

## Zajištění vstupu chladicího vzduchu 1 180 L/s na stojanovou skřín

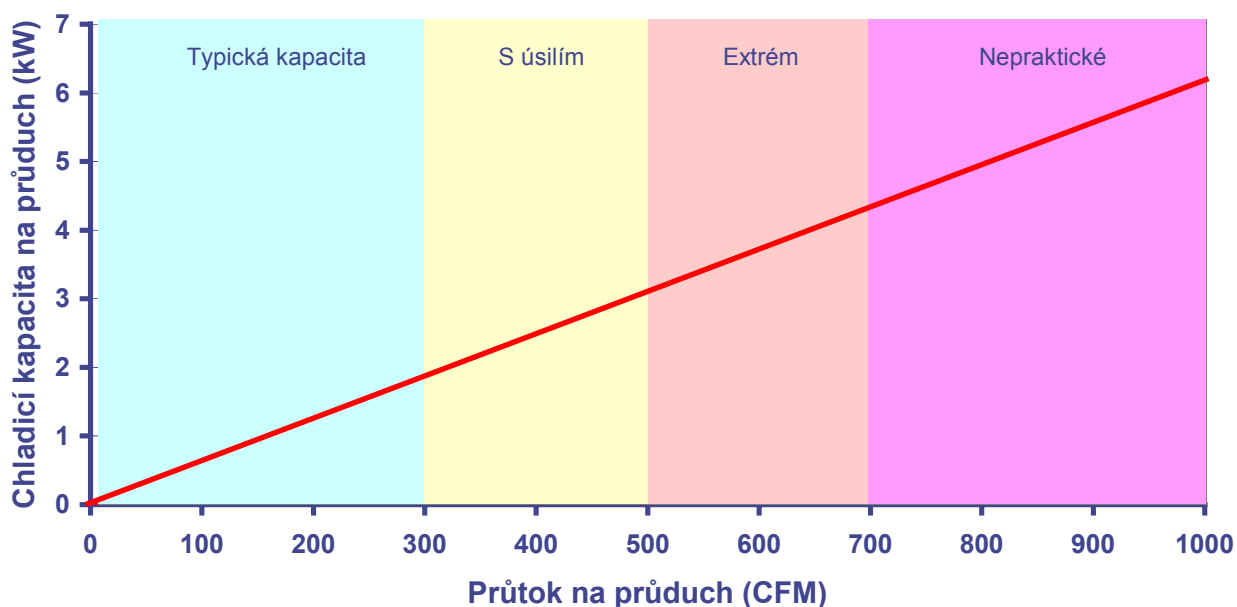
V obvyklém datovém středisku je pro každou stojanovou skřín k dispozici jeden podlahový průduch. Typický větrací podlahový průduch v obvyklém datovém středisku má kapacitu přibližně 142 L/s chladicího vzduchu na stojan. To znamená, že stojanová skřín s výkonem 18 kW vyžaduje 8 větracích podlahových průduchů, což je osmkrát více, než kolik je možné v běžných podmínkách vyhradit. Aby bylo možné zajistit 8 větracích podlahových průduchů na jeden stojan, bylo by nutné značně zvětšit šířku chodbiček a odstupy mezi stojany. To není v běžném datovém středisku možné.

Obrázek 3 ukazuje kapacitu chladicího výkonu podlahového průduchu jako funkci proudění vzduchu na jeden průduch. Pokud chladicí výkon roste spolu s průtokem průduchu, je na obrázku vidět, že vyšší kapacita proudění se stává nepraktickou. Obrázek ukazuje, že dosažení průtoku vzduchu 142 L/s na jeden průduch vyžaduje pečlivé projektování zvýšené podlahy, rozmístění klimatizačních jednotek CRAC a sledování možných překážek proudění vzduchu pod podlahou, jako jsou například trubky a kabely. Dosažení průtoku vzduchu 236 L/s na jeden průduch



vyžaduje použití speciálních podlahových průduchů v podobě kovových mříží. To může v obvyklém datovém středisku zajistit průtok vzduchu až 330 L/s na jeden průduch. Použití těchto mříží však může významně ovlivnit gradienty tlaku pod podlahou a může to mít vliv na průtok vzduchu v okolních oblastech. Pokud je použit větší počet těchto mříží, tlak vzduchu pod zvýšenou podlahou v daném místě klesne a nebude zajištěn průtok vzduchu. Kvůli dalšímu zvýšení průtoku vzduchu a vyvážení tlaku by bylo nutné značně zvýšit zvýšenou podlahu, takže ve výsledku by bylo takové zvýšení průtoku na průdtech velmi nepraktické.

**Obrázek 3** - Kapacita dostupného chladičho výkonu podlahového průduchu jako funkce proudění vzduchu na jeden průduch.



Obrázek 3 ukazuje, že i v případě použití extrémních projektových opatření bude k chlazení hypotetického stojanu s odběrem výkonu 18 kW potřeba 4 až 5 podlahových průduchů. V typickém datovém středisku je však k dispozici pouze jeden průduch na stojanovou skříň. Konvenční architektura datového střediska s jedním průduchem na stojan nemůže zajistit chlazení stojanů s vyšším výkonem než přibližně 3 kW na stojan v dané oblasti.

### Odběr ohřátého vzduchu 1 180 L/s ze stojanové skříně

Existují tři způsoby, jak vracet vzduch zpět do chladičho systému: přes místnost, pomocí potrubí nebo pomocí stropního prostoru. V ideálním případě je ohřátý vzduch ze zařízení ihned odebírán zpět do chladičho systému bez možnosti smísení s okolním vzduchem nebo nasátí do vstupu vzduchu do zařízení. To vyžaduje přímou zpětnou cestu bez překážek. Dosažení proudění 1,180 L/s v potrubí o průměru 30 cm vyžaduje rychlost vzduchu 56 km/h. Jedno z řešení je využití vysokého stropu s jímáním vzduchu umístěným ve středu na vysokém místě. Mnohá datová střediska však závisí na odsávání vzduchu potrubím nebo na závěsném stropním prostoru, jiná střediska závisí na

odvodu vzduchu z prostoru stropu, který je však těsně nad stojanovými skříněmi. Tyto případy vyžadují technicky náročné řešení projektu.

Dostupnost odvodu vzduchu pro konkrétní stojanovou skříň je omezena do stejné míry, jak je omezen přívod. Podobně jako u dodávky vzduchu vyžadují pokusy o zajištění odvodu 189 L/s na stojan v omezeném prostoru speciální zpracování, aby systém měl požadovaný výkon a redundanci.

## **Oddělení ohřátého výstupního vzduchu od vstupu vzduchu do zařízení**

Nejkratší trasa dodávky vzduchu do vstupu sání zařízení IT je recirkulace z výstupu vzduchu z téhož zařízení. Klíčovým úkolem při projektování datového střediska je oddělení vstupu chladicího vzduchu a výstupu ohřátého vzduchu a zamezení této zkrácené recirkulace. To je zvláště náročné v hustě obsazeném prostředí, protože vysoké rychlosti proudění vzduchu musí překonávat odpor rozvodného systému a systému odvodu. K řešení této úlohy lze použít různé metody, které jsou podrobněji popsány v dokumentu APC White Paper č. 49, „Avoidable Mistakes that Compromise Cooling Performance in Data Centers and Network Rooms“.

## **Zajištění všech těchto funkcí bez přerušení a v redundantním objemu**

V datovém středisku se zásadním důrazem na nepřetržitý provoz musí být zajištěn provoz i během plánované či neplánované odstávky jednotek CRAC. To znamená, že chlazení musí fungovat i během zastavení jedné jednotky CRAC. V konvenčním projektu datového střediska několik jednotek CRAC zajišťuje proudění do zvýšené podlahy nebo stropního prostoru, který je považován za souhrn výstupů všech jednotek CRAC a poskytuje rovnoměrný tlak v celém prostoru rozvodu vzduchu. Systém je projektován tak, aby zajišťoval požadavky na proudění vzduchu a chlazení i při vypnutí kterékoli z jednotek CRAC.

Pokud se zvýší provozní hustota výkonu konvenčních datových středisek, průtok vzduchu v systému se zvýší a základní předpoklady provozu sdíleného vzduchového zásobníku přestanou platit. Vypnutí některé z jednotek CRAC může radikálně změnit lokální rychlosti proudění vzduchu v systému. Proudění vzduchu v určitém průduchu se může dokonce obrátit a vlivem Venturiho efektu dojít k nasávání vzduchu zpátky do podlahy. Provozování chladicího systému za nesprávných podmínek se spolu se zvýšením hustoty výkonu stává méně předvídatelné. Z tohoto důvodu jsou instalace s vysokou hustotou obsazení často simulovány pomocí výpočetních simulačních metod, aby se zajistila redundance.

Dalším náročným úkolem je koncept nepřerušovaného chlazení. V konvenčních datových střediscích je záložní napájení chladicího systému zajištěno pomocí záložního generátoru, nikoli pomocí zařízení UPS. Prodleva před spuštěním generátoru je v průměrném datovém středisku přijatelná, protože ztráta chlazení a proudění vzduchu na dobu 5-20 sekund vede ke zvýšení teploty pouze v řádu 1 °C. V případě instalace vysoce kompaktních zařízení s odběrem v řádu 18 kW na stojan však může zvýšení teploty vzduchu během prodlevy před spuštěním generátoru činit až nepřijatelných 8-30 °C. Proto může být v instalaci s vysoce kompaktními zařízeními nutné zajistit za účelem trvalého chlazení nepřetržitý provoz čerpadel, větráků CRAC a v některých případech dokonce celých jednotek CRAC. To je hlavní příčina vysokých nákladů a hlavní překážka při obsazování vysoce kompaktních výpočetních zařízení.

# Alternativy k umístění vysoce kompaktních stojanových skříní a blade serverů

K dispozici je 5 základních alternativních metod instalace vysoce kompaktních stojanových skříní a blade serverů. Jde o následující:

1. Zajištění místnosti s kapacitou napájení a chlazení kteréhokoli a všech stojanů až na špičkovou hustotu stojanové skříně.
2. Zajištění místnosti s kapacitou napájení a chlazení na průměrné hodnotě nižší než špičková hodnota stojanu a použití přídavného chladicího vybavení pro chlazení stojanů s vyšší hustotou výkonu než průměrná hodnota v projektu.
3. Zajištění místnosti s kapacitou napájení a chlazení na průměrné hodnotě nižší než špičková hodnota stojanu a dodržování pravidel, která umožní, aby vysoce kompaktní stojany využívaly volnou chladicí kapacitu okolních zařízení.
4. Zajištění místnosti s kapacitou napájení a chlazení na průměrné hodnotě nižší než špičková hodnota stojanu a rozložení zátěže navrhovaných stojanových skříní, jejichž výkon přesahuje průměrnou hodnotu výkonu v projektu, rozdělením zařízení mezi ostatní stojanová zařízení.
5. Zajištění místnosti s kapacitou napájení a chlazení na průměrné hodnotě nižší než špičková hodnota stojanu a vytvoření speciální omezené oblasti s vyšší kapacitou chlazení a umístování vysoce kompaktních stojanů pouze do této oblasti.

Každá z těchto metod je zde prodiskutována z hlediska jejich výhod a nevýhod.

## Metoda 1: Zajištění místnosti s kapacitou napájení a chlazení kteréhokoli a všech stojanů až na špičkovou hustotu stojanové skříně.

Toto je koncepčně nejjednodušší řešení, které však není nikdy implementováno, protože datová střediska vždy vykazují značné odchylky ve výkonu jednotlivých stojanů a projektování podle nejhoršího možného případu by bylo zbytečným plýtváním a cenově náročným řešením. Projektování celkové hustoty výkonu nad 6 kW na stojan navíc vyžaduje extrémně složité zpracování a analýzu. Tento přístup je logický pouze v extrémních situacích.

## Metoda 2: Zajištění místnosti s kapacitou napájení a chlazení na průměrné hodnotě nižší než špičková hodnota stojanu, a použití přídavného chladicího vybavení pro chlazení stojanů s vyšší hustotou výkonu než průměrná hodnota v projektu.

Toto řešení obvykle vyžaduje plánování instalace dopředu, aby bylo možné použít přídavné chladicí zařízení tam, kde bude potřeba. Pokud byla místnost projektována pro toto využití, lze k přídavnému chlazení použít celou řadu technik. Jde především o následující:

- Instalace speciálních podlahových průduchů nebo ventilátorů za účelem posílení průtoku vzduchu od jednotek CRAC ke stojanové skříně.
- Instalace speciálního odvodního potrubí nebo ventilátorů pro odběr ohřátého vzduchu ze stojanové skříně do jednotek CRAC.

- Instalace speciálních stojanů nebo chladicích zařízení ve stojanu s chladicím účinkem přímo v rámci stojanu.

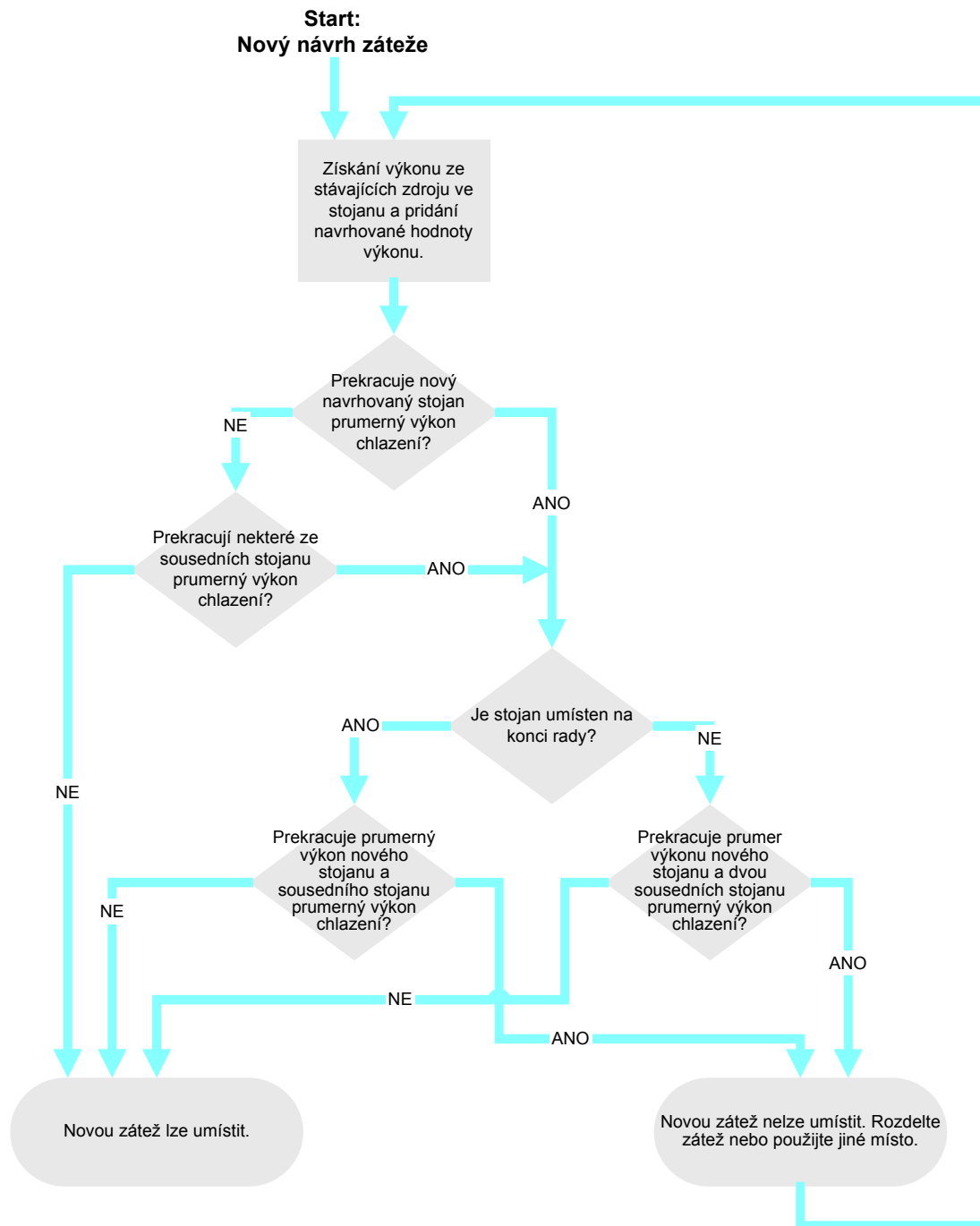
Tyto metody jsou probírány v dokumentu APC White Paper č. 41: „Rack Cooling Options for Data Centers and Network Rooms“. Tyto metody jsou k dispozici pouze v poslední době a ve značné části dnešních datových středisek nejsou použity. Nabízejí však značnou flexibilitu a při vhodném plánování není nutné je zakoupit a instalovat, dokud nejsou potřeba.

### **Metoda 3: Zajištění místnosti s kapacitou napájení a chlazení na průměrné hodnotě nižší než špičková hodnota stojanu a dodržování pravidel, která umožní, aby vysoce kompaktní stojany využívaly volnou chladicí kapacitu okolních zařízení.**

Toto řešení, které nevyžaduje žádné dodatečné náklady, je často využíváno, avšak jen zřídka dokumentováno. Tento přístup těží z faktu, že některé stojany mají nižší odběr energie než je průměrná hodnota v projektu. Chladicí výkon a odvod ohřátého vzduchu, které byly alokovány pro nízkokapacitní stojany, je k dispozici stojanům ve stejné oblasti. Jednoduché pravidlo typu „neumísťovat vysoce kompaktní stojany blízko sebe“ má podobně výhodný efekt, pomocí více sofistikovaných pravidel však lze dosáhnout spolehlivého a předvídatelného chlazení stojanů o přibližně dvojnásobném chladicím výkonu, než je průměrná hodnota. Toto řešení lze zavést pomocí dodržování daného pravidla a ověření situace sledováním odběru napájení na úrovni stojanu. Tuto funkci lze automatizovat pomocí systému správy, například produktu ISX Manager společnosti APC. Automatizace této funkce se stane klíčovým prvkem při umísťování nových zařízení IT s časově proměnlivou spotřebou energie.

Příklad efektivního pravidla, které lze implementovat v rámci této metody, je předveden na obrázku 4. Toto pravidlo bylo aplikováno při umísťování nového zařízení, aby se zajistilo, že zařízení je umístěno v souladu s kapacitou chladicího systému. Při použití tohoto pravidla je volná chladicí kapacita využita nejbližšími sousedícími stojanovými skříněmi pro chlazení zařízení. Proto může špičková hustota výkonu určitých stojanů překračovat průměrný chladicí výkon v místnosti až třikrát, pokud okolní stojany nevyužívají plně svou chladicí kapacitu. V typických datových střediscích se může jednat o velmi efektivní způsob obsazení vysoce kompaktních stojanových skříní, protože mezi sousedními stojanovými skříněmi je často k dispozici volný chladicí výkon.

**Obrázek 4** – Příklad použití pravidel, která umožní, aby vysoce kompaktní stojany využívaly volnou chladicí kapacitu okolních zařízení.



#### **Metoda 4: Zajištění místnosti s kapacitou napájení a chlazení na průměrné hodnotě nižší než špičková hodnota stojanu a rozložení zátěže navrhovaných stojanových skříní, jejichž výkon přesahuje průměrnou hodnotu výkonu v projektu, rozdělením zařízení mezi ostatní stojanová zařízení.**

Toto je nejvyhledávanější řešení při začleňování vysoce kompaktních zařízení do současných datových středisek. Všechny prodávané jednopoziční servery a blade servery naštěstí nemusí být instalovány v rámci jedné stojanové skříně a lze je rozdělit mezi více stojanových skříní. Rozdělením zařízení mezi více stojanů nemusí žádný stojan vyžadovat výkon přesahující projektovanou hustotu výkonu a výkon chlazení je tedy předvídatelný.

Vezměte na vědomí, že v případě rozdělení zařízení mezi více stojanových skříní je ve stojanech ponecháno značné množství volného prostoru. Tento prostor je nutné obsadit zasleповacími panely, aby se zabránilo snížení chladicího výkonu, jak je vysvětleno v dokumentu APC White Paper č. 44 „Improving Rack Cooling Performance Using Blanking Panels“.

Potřeba rozdělení vysoce kompaktních zařízení mezi více stojanů často vychází i z jiných příčin než je chlazení. Zajištění požadovaného počtu napájecích nebo datových kabelů do stojanu může být obtížné nebo nedosažitelné a v případě jednopoziční serverů může svazek kabelů na zadní straně stojanové skříně do značné míry bránit proudění vzduchu nebo dokonce bránit zavření zadních dvířek.

#### **Metoda 5: Zajištění místnosti s kapacitou napájení a chlazení na průměrné hodnotě nižší než špičková hodnota stojanu a vytvoření speciální omezené oblasti s vyšší kapacitou chlazení a umístování vysoce kompaktních stojanů pouze do této oblasti.**

Tento přístup vyžaduje, aby byl předem známý podíl vysoce kompaktních stojanů a aby bylo možné vyčlenit tyto stojany do speciální oblasti. Za těchto podmínek lze dosáhnout optimální využití prostoru. Bohužel obvykle není předem známý podíl vysoce kompaktních stojanových skříní.

## **Souhrn**

Výhody a nevýhody těchto pěti metod zajištění chlazení vysoce kompaktních zařízení jsou shrnuty v tabulce 2.

**Tabulka 2 – Aplikace pěti popsaných přístupů na chlazení vysoce kompaktních stojanových skříní**

Přístup	Výhody	Nevýhody	Použití
1) Zajištění vysokokapacitního chlazení pro každou stojanovou skříň	Pokrývá všechny budoucí situace.	Extrémní kapitálové a provozní náklady - až čtyřnásobné oproti konvenčním metodám.  Složitě provedení.  Obtížné zajištění redundance.  Předimenzovaná infrastruktura zabírá místo.	Extrémní případy velkých středisek vysoce kompaktních zařízení ve velmi omezeném fyzickém prostoru.
2) Zajištění průměrné kapacity chlazení a použití přídavného chladicího vybavení	Vysoce kompaktní - cíleně a v případě potřeby.  Rozdělené kapitálové náklady.  Vysoká efektivita.  Optimální využití podlahové plochy.	Omezeno na výkon přibližně 7 kW na stojan.  Stojany a místnost musí být pro takové využití předem projektovány.	Nové projekty.
3) Zajištění průměrné kapacity chlazení a dodržování pravidel pro využívání volné chladicí kapacity nízkokapacitních zařízení	Není nutné plánování.  Ve většině případů bez jakýchkoli nákladů.	Maximum omezeno na přibližně dvojnásobek průměrné hustoty výkonu.  Využívá větší podlahovou plochu.  Vyžaduje zajištění dodržování pravidel.	Pokud vysoce kompaktní zařízení tvoří jen malý zlomek celkové zátěže.
4) Rozložení zařízení mezi stojanové skříně a snížení špičkové zátěže	Funguje kdekoli, není nutné plánování.  Ve většině případů bez jakýchkoli nákladů.	Využívá větší podlahovou plochu.  Je možné pouze v případě, že lze zařízení rozdělit do více skříní.	Pokud vysoce kompaktní zařízení tvoří jen malý zlomek celkové zátěže a není výrazně omezen prostor.
5) Speciální oblast pro vysoce kompaktní zařízení	Optimální využití podlahové plochy.	Musí být předem známá velikost speciální oblasti.  Je nutné umístit vysoce kompaktní zařízení zvlášť.	Pokud je podíl vysoce kompaktních zařízení stálý a známý.

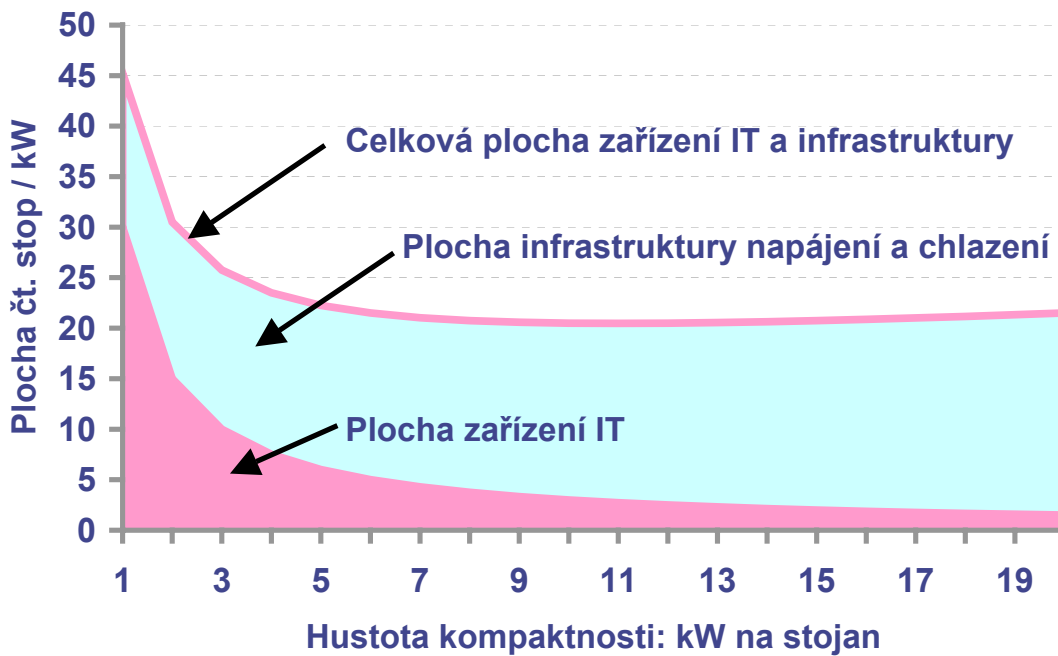
## Užitečná hodnota kompaktnosti

V předchozí části jsou uvedeny problémy při použití vysoce kompaktních stojanových skříní - vysoké náklady, složitě osazení a spolehlivost. Tyto problémy je nutné překonat při zavádění vysoce kompaktních zařízení v datovém středisku. V odborném tisku přesto převládá názor, že zavádění vysoce kompaktních zařízení v datových střediscích je nevyhnutelný a již probíhající proces z důvodu výhodných nákladů a úspory volného prostoru. Tyto názory tvrdí, že

zvyšování kompaktnosti prostřednictvím vyšší hustoty bez zásadního snížení spotřeby energie není výhodné z hlediska nákladů.

Obrázek 5 představuje plochu datového střediska na kW jako funkci hustoty výkonu zařízení IT. Pokud hustota zařízení IT roste, plocha vyhrazená pro zařízení se podle klesající křivky zmenšuje. Neexistuje však žádné odpovídající snížení plochy budovy vyhrazené infrastruktuře napájení a chlazení. Poté, co hustota výkonu překročí hranici přibližně 2,5 kW na stojan, plocha nutná pro napájecí a chladič systém ve skutečnosti převyší velikost plochy pro zařízení IT. Proto zvýšení kompaktnosti přibližně nad hranici 4-5 kW ve skutečnosti nevede k žádné úspoře celkových nároků na plochu.

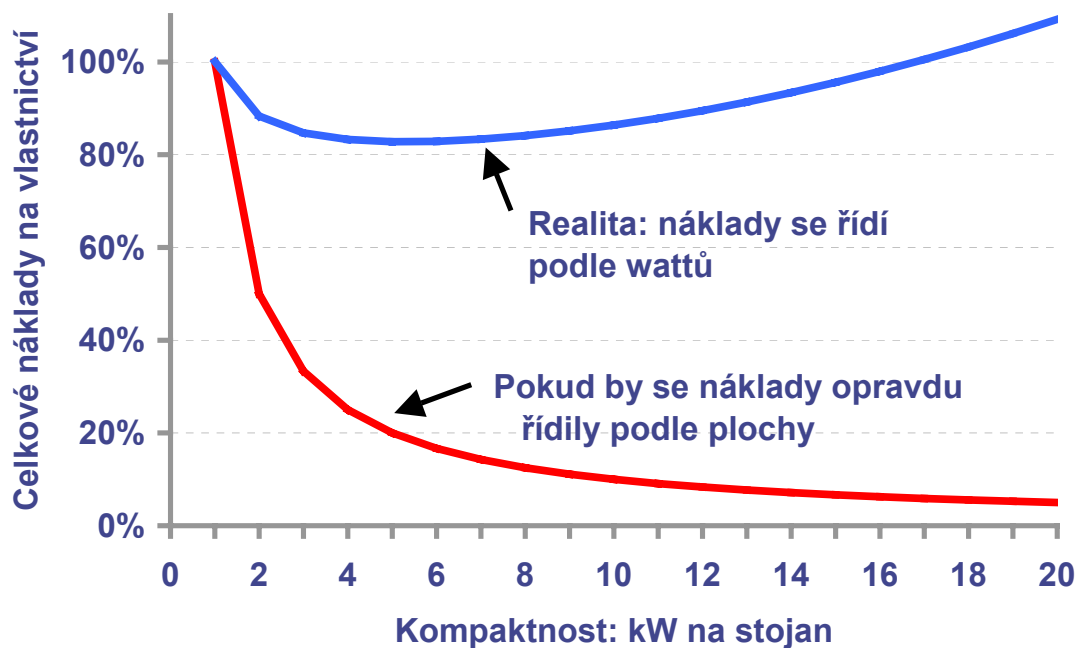
**Obrázek 5 - Plocha datového střediska na kW kapacity jako funkce hustoty výkonu stojanů**



Základní premisou zvyšování kompaktnosti je široce rozšířený neopodstatněný názor, že náklady na datové středisko závisí na ploše a zmenšení plochy díky zavádění kompaktnosti tedy sníží náklady. Obrázek 6 ukazuje celkové náklady na vlastnictví po dobu životnosti datového střediska jako funkci hustoty výkonu zařízení IT. Při zvýšení hustoty zařízení IT je obvykle očekáváno odpovídající snížení celkových nákladů, jak ukazuje dolní křivka na obrázku. Realita však je taková, že 75 % celkových nákladů na datové středisko souvisí s výkonem a pouze 25 % závisí na ploše. Navíc náklady na watt vlivem výše popsaných faktorů rostou se stoupající hustotou výkonu. Následkem toho celkové náklady na vlastnictví s rostoucí hustotou výkonu významně neklesnou, ale naopak se po překročení optimální hustoty výkonu zvýší. Optimální hustota výkonu je řádově 4 kW na stojanovou skříň.



**Obrázek 6** - Celkové náklady na vlastnictví datového střediska jako funkce hustoty výkonu stojanů



Výhody zvýšení hustoty výkonu zařízení IT jsou malé. Existují však podstatné výhody plynoucí ze snížení spotřeby energie zařízení IT, protože z výše vysvětlených důvodů jsou plocha datového střediska i celkové náklady na vlastnictví silně závislé na spotřebě energie. Tabulka 3 ukazuje, jak snižování spotřeby energie a velikosti zařízení IT a ovlivňují plochu datového střediska a celkové náklady na vlastnictví. V porovnání se základní typickou architekturou má snížení spotřeby energie mnohem větší výhody než odpovídající zmenšení velikosti.

**Tabulka 3 - Snižování spotřeby energie a velikosti zařízení IT s následným zmenšením plochy datového střediska a celkových nákladů na vlastnictví.**

Vylepšení zařízení IT	Úspora plochy	Úspora nákladů	Analýza
50% zmenšení velikosti, stejná spotřeba energie	<b>14 %</b>	<b>4 %</b>	Nedojde k očekávané úspoře plochy, protože převládá plocha chladicího a napájecího systému. Nedojde k očekávané úspoře celkových nákladů, protože tyto náklady závisí na prostředcích souvisejících s napájením.
50% snížení spotřeby energie, stejná velikost	<b>26 %</b>	<b>35 %</b>	Velké výsledné snížení potřebné plochy díky úspoře plochy na chladicí a napájecí systém. Velké úspory celkových nákladů, protože tyto náklady závisí na prostředcích souvisejících s napájením.

Poznámka: Základní křivka popisuje typickou spotřebu 3 kW na stojan a dvoupoziciční servery s duálními procesory.

## Optimální strategie chlazení

Na základě informací v tomto dokumentu lze určit koherentní strategii, která bude optimální pro většinu instalací. Tato strategie využívá kombinaci výše popsaných přístupů.

**Tabulka 4 – Praktická strategie pro optimalizaci chlazení při zavádění vysoce kompaktních výpočetních zařízení**

Prvek strategie	Účel
1) Ignorování fyzické velikosti zařízení IT a zaměření na funkčnost na spotřebovaný watt energie.	Efektivní metoda, jak minimalizovat plochu a celkové náklady.
2) Projektování systému tak, aby umožňoval budoucí zařazení přídatných chladicích zařízení.	Možnost zařazení přídatných chladicích zařízení v místech, kde to bude za provozu střediska nutné, vzhledem k nejistým požadavkům v budoucnosti.
3) Zajištění základní hustoty napájení pro nové projekty mezi 0,4 – 1,1 kW / m <sup>2</sup> , kdy pro většinu prostředí je praktickou hodnotou 0,6 kW / m <sup>2</sup> = 1800 W / průměrný stojan.	Základní hustota výkonu by měla být určena tak, aby nedocházelo k většímu plýtvání vlivem předimenzování. Pokud nebude překročena hranice 1,1 kW / m <sup>2</sup> , kapacity výkonu a redundance budou předvídatelné.
4) Pokud vysoce kompaktní zařízení představují vysoký a předvídatelný podíl datového střediska, lze vyhradit a vybavit speciální plochu pro vysoce kompaktní zařízení s výkonem 1,1 - 2,2 kW / m <sup>2</sup> = 6 kW na stojan.	Pokud je předem známo, že vznikne potřeba plochy pro vysoce kompaktní zařízení a pokud není možné rozložení zátěže. Tento přístup může do projektu datového střediska přinést značné zvýšení nákladů, časových nároků a složitosti.

Prvek strategie	Účel
<b>5) Ustavení pravidel, která určí volný výkon pro každý stojan na základě zatížení okolních stojanů.</b>	Monitorování výkonu spolu s určením možností projektované architektury může při zavedení pravidel pro nová zařízení snížit výskyt problémových míst, pomoci zajistit redundanci chlazení, zvýšit efektivnost chlazení systému a snížit spotřebu energie. Sofistikovanější pravidla a monitorování mohou umožnit vyšší hustotu výkonu.
<b>6) Použití přídavných chladicích zařízení při vzniku potřeby.</b>	Instalace přídavných chladicích zařízení v případě potřeby a na odpovídajícím místě může zvýšit kapacitu chladicího systému datového střediska až třikrát oproti základní hodnotě a umožnit tak rozmístění vysoce kompaktních zařízení.
<b>7) Rozdělení zařízení, která nelze instalovat v souladu s pravidly.</b>	Možnost s nejnižšími náklady a nejmenším rizikem, která však při větším podílu vysoce kompaktních zařízení může spotřebovat značné množství prostoru. Mnoho uživatelů, kteří nejsou omezeni prostorem, tento přístup používá jako primární strategii.

## Závěry

Maximální hustota výkonu stojanu vykazovaná poslední generací vysoce kompaktních zařízení IT je přibližně desetkrát vyšší než průměrná hustota výkonu stojanu ve stávajících datových střediscích. Ve stávajících datových střediscích je dokonce značný počet stojanových skříní, které pracují s poloviční hodnotou této maximální hustoty výkonu.

Současné metody a projekty datových středisek prakticky nemohou zajistit chlazení těchto vysoce kompaktních zařízení z důvodu omezení dodávky a odběru vzduchu a problémů se zajištěním redundance a nepřetržitého chlazení při přepnutí na generátor.

Pokud je cílem zmenšit plochu datového střediska a snížit celkové náklady na vlastnictví, měli by se zákazníci soustředit na koupi zařízení IT na základě funkčnosti na Watt a ignorovat fyzickou velikost zařízení IT. Tento neočekávaný závěr vyplývá z faktu, že hranice  $0,6 \text{ kW} / \text{m}^2$  má výkon větší dopad na plochu i na náklady než velikost.

Existuje celá řada řešení, která umožňují efektivní umístění vysoce kompaktních zařízení v konvenčním prostředí. Přestože projektování celého datového střediska pro vysoce kompaktní zařízení zůstává nepraktické, mohou datová střediska podporovat instalaci omezeného počtu vysoce kompaktních zařízení díky využití přídavných chladicích systémů, dodržování pravidel umožňujících využití volné chladicí kapacity okolních zařízení, a nakonec rozložení zátěže mezi více stojanových skříní.

Při plánování instalace s vysokým podílem vysoce kompaktních zařízení v situaci, kdy není možné zařízení rozdělit, je jedinou alternativou zajistit potřebnou kapacitu pro všechny stojanové skříně. Výška a zastavěná plocha takového datového střediska však v porovnání s konvenčním střediskem významně vzroste z důvodu zajištění většího proudění vzduchu.

Bez ohledu na články v tisku, které uvažují hustoty výkonu datových středisek o hodnotě 3,3-6,6 kW / m<sup>2</sup> zůstává dosažení takové hustoty nepraktické vlivem zvýšení nákladů a problémů s dosažením vysoké dostupnosti při těchto hustotách. Současné architektury datových středisek s vysokou dostupností a vysokým výkonem jsou předvídatelné a praktické v rozsahu  $0,4-1,1 \text{ kW} / \text{m}^2$  = průměrně 1,2 kW až 3 kW na stojan s možností obsazení výjimečných až trojnásobných zátěží díky diversitě zátěže využití přídavných chladicích zařízení.

### Informace o autorovi:

**Neil Rasmussen** je zakladatel a hlavní technický ředitel společnosti American Power Conversion. Ve společnosti APC má Neil na starost oddělení výzkumu a vývoje s největším rozpočtem na světě v oblasti napájení, chlazení a infrastruktury stojanů pro kritické sítě s hlavními vývojovými středisky ve státech Massachusetts, Missouri, Dánsko, Rhode Island, Taiwan a Irsko. Neil je v současné době vedoucím činitelem v úsilí společnosti APC vyvíjet modulární škálovatelná řešení datových středisek.

Před založením společnosti APC v roce 1981 Neil získal diplom na univerzitě MIT v oboru elektrotechnika, kde zpracoval diplomovou práci na téma analýzy napájení 200 MW pro termionukleární reaktor Tokamak. Od roku 1979 do 1981 pracoval v institutu MIT Lincoln Laboratories na setrvačnickových systémech uložení energie a solárních systémech.