

# Porovnání dostupnosti různých konfigurací redundance pro napájení stojanů

**White Paper č. 48**

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

## Resumé

K zvýšení dostupnosti výpočetních systémů jsou pro zařízení IT používány přepínače a duální rozvody napájení. Statistické metody analýzy dostupnosti ukazují, že mezi jednotlivými používanými způsoby implementace existují velké rozdíly v dostupnosti. V tomto dokumentu jsou popsány různé elektrické architektury redundance, které jsou implementovány v současných prostředích s kritickou důležitostí. Scénáře jsou následně podrobeny analýze dostupnosti, jejíž výsledky jsou uvedeny. Analýza určuje, při kterém přístupu je dosaženo nejlepšího celkového výkonu, a srovnává výkon a hodnotu alternativních řešení.

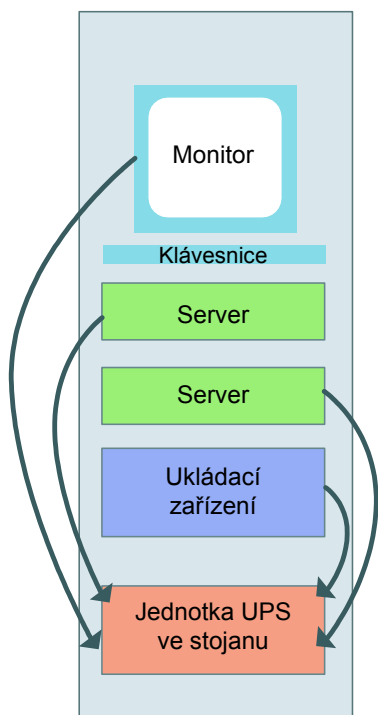
# Úvod

Zařízení s redundantními zdroji napájení jsou také označována jako zařízení se dvěma napájecími kabely. Mají dva redundantní zdroje napájení, každý s vlastním napájecím kabelem. Použití zařízení se dvěma napájecími kabely představuje „nejlepší strategii“, která pomáhá udržet optimální dostupnost napájení pro zařízení IT a poskytuje nezbytnou redundanci, která zabraňuje výpadkům způsobeným jedním selháním v rámci systému distribuce napájení. Tato redundance také usnadňuje údržbu systému napájení. Převážná část současných prostředí s kritickou důležitostí bohužel tuto nejlepší strategii nevyužívá. Tento dokument předkládá různé scénáře elektrické architektury, které lze implementovat v současných datových střediscích. Scénáře jsou následně podrobeny analýze dostupnosti, jejíž výsledky jsou uvedeny.

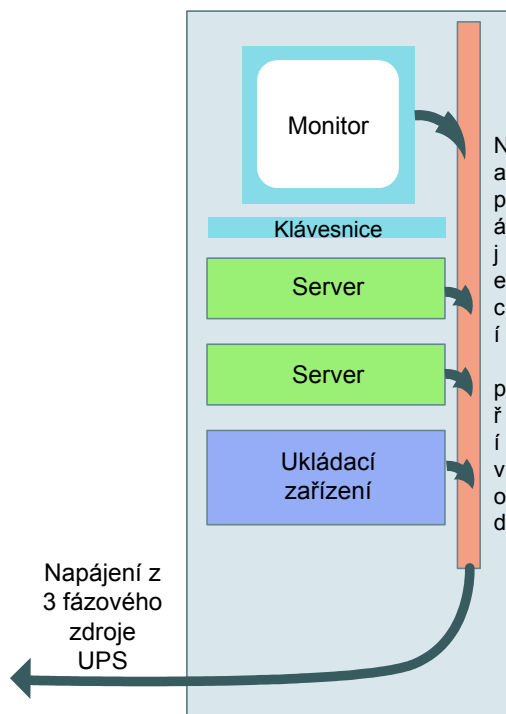
## Přístupy k distribuci napájení do stojanů

Následující obrázky znázorňují různé strategie pro zvýšení dostupnosti zařízení montovaných do stojanů. Popsané metody lze však uplatnit také pro samostatná zařízení. Různé přístupy jsou obvykle vybrány s ohledem na dosažení požadované úrovně dostupnosti. U nákladnějších řešení se očekává, že budou poskytovat vyšší úroveň dostupnosti. Na obrázcích 1 a 2 je znázorněno schéma napájení, které je v současnosti často používáno k distribuci napájení do stojanů v datových střediscích.

**Obrázek 1:** *Typické napájení ve stojanu*



**Obrázek 2:** *Typické centrální napájení*



Obrázek 1 znázorňuje typickou distribuci napájení ve stojanu používanou pro datová střediska menší nebo střední velikosti a pro kabelové rozvodny. Tato konfigurace umožňuje snadné přesunutí stojanů s interními záložními akumulátorovými jednotkami UPS a přepětovou ochranou. V datových střediscích s desítkami a stovkami stojanů se běžně používá konfigurace znázorněná na obrázku 2 s velkým centrálním systémem UPS. V obou případech není v distribuci napájení do stojanu počítáno s redundancí napájení.

V dalších elektrických architekturách se používají zařízení pro přepínání mezi primárním a sekundárním zdrojem napájení. Mezi taková zařízení patří přepínače STS (Static Transfer Switch) a ATS (Automatic Transfer Switch). Oba tyto typy přepínačů mohou být použity v rozsahu výkonu od 1 kW do 1 MW. Tato zařízení jsou podrobně popsána v dokumentu White Paper č. 62 společnosti APC: „Napájení zařízení s jedním napájecím kabelem v prostředí s dvojitým rozvodem“. Příklady obou typů přepínačů jsou uvedeny na následujících obrázcích.



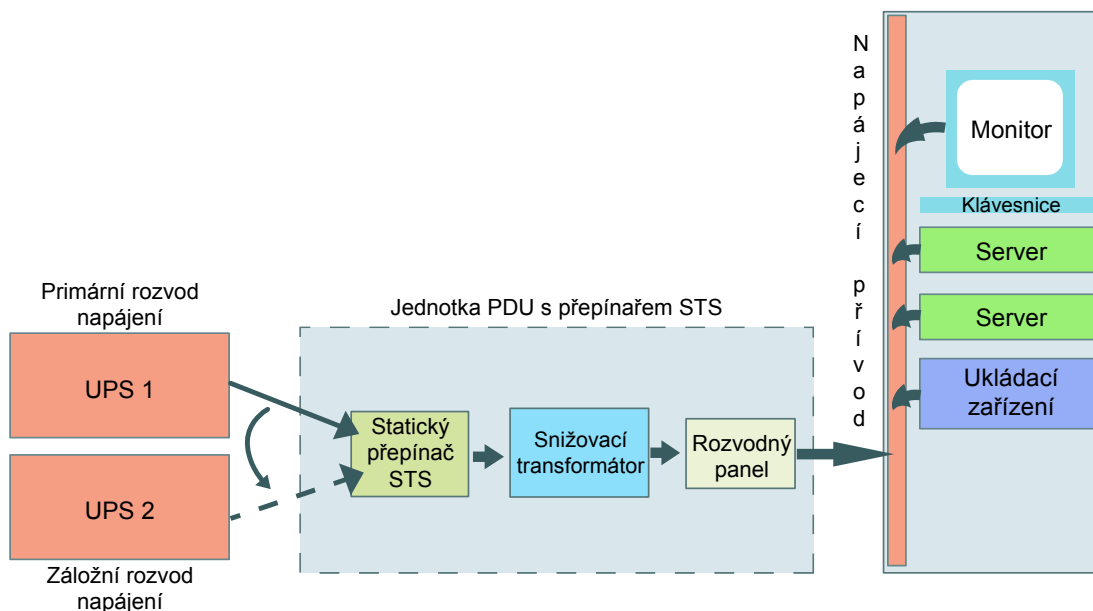
3fázový přepínač ATS 6 kVA pro montáž do stojanu



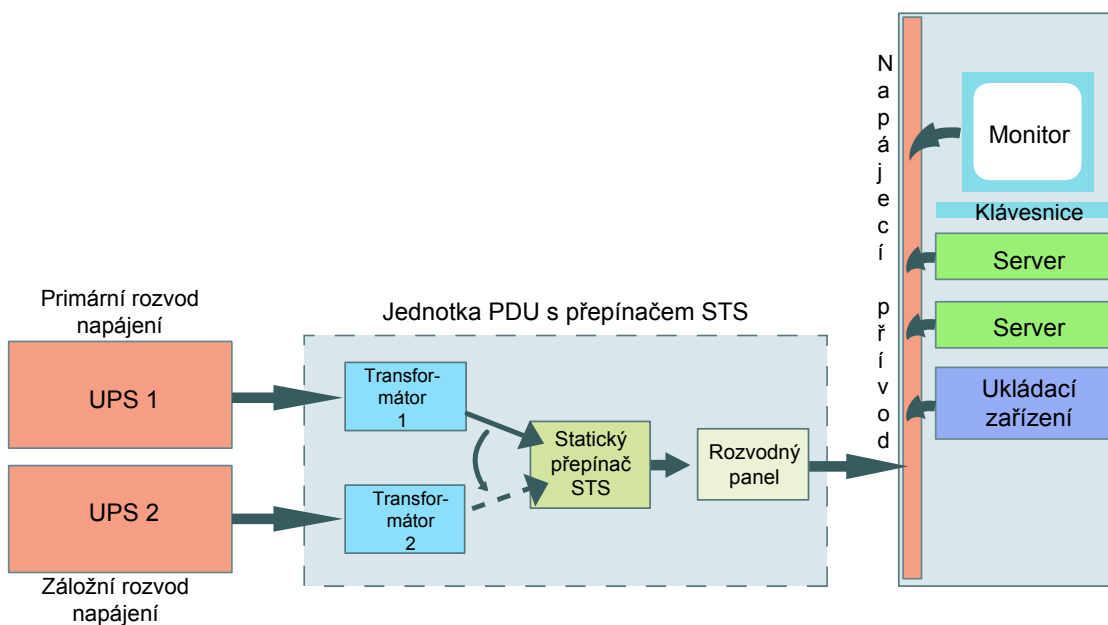
3fázový přepínač STS 300 kVA

Obrázky 3 a 4 znázorňují způsoby distribuce napájení ve velkých prostředích s kritickou důležitostí. V obou případech jsou k přepínači STS přivedeny dva redundantní rozvody. Rozvody pro napájení jednotek UPS však mohou a nemusí být redundantní. Záleží na faktorech typu cena a dostupnost u společnosti dodavatele. Jediný rozdíl mezi oběma scénáři spočívá v tom, že na obrázku 3 se používá jeden transformátor zapojený za statickým přepínačem, zatímco na obrázku 4 jsou zapojeny dva redundantní transformátory před statickým přepínačem. V obou případech však přepínač STS, rozvodný panel a příslušné rozvody představují potenciální místo selhání. Popsané metody zajišťují určitou úroveň redundance, zbývající komponenty bez redundance ale představují určité riziko selhání a jejich údržba může být navíc značně problematická.

**Obrázek 3:** Redundance napájení s přepínačem STS



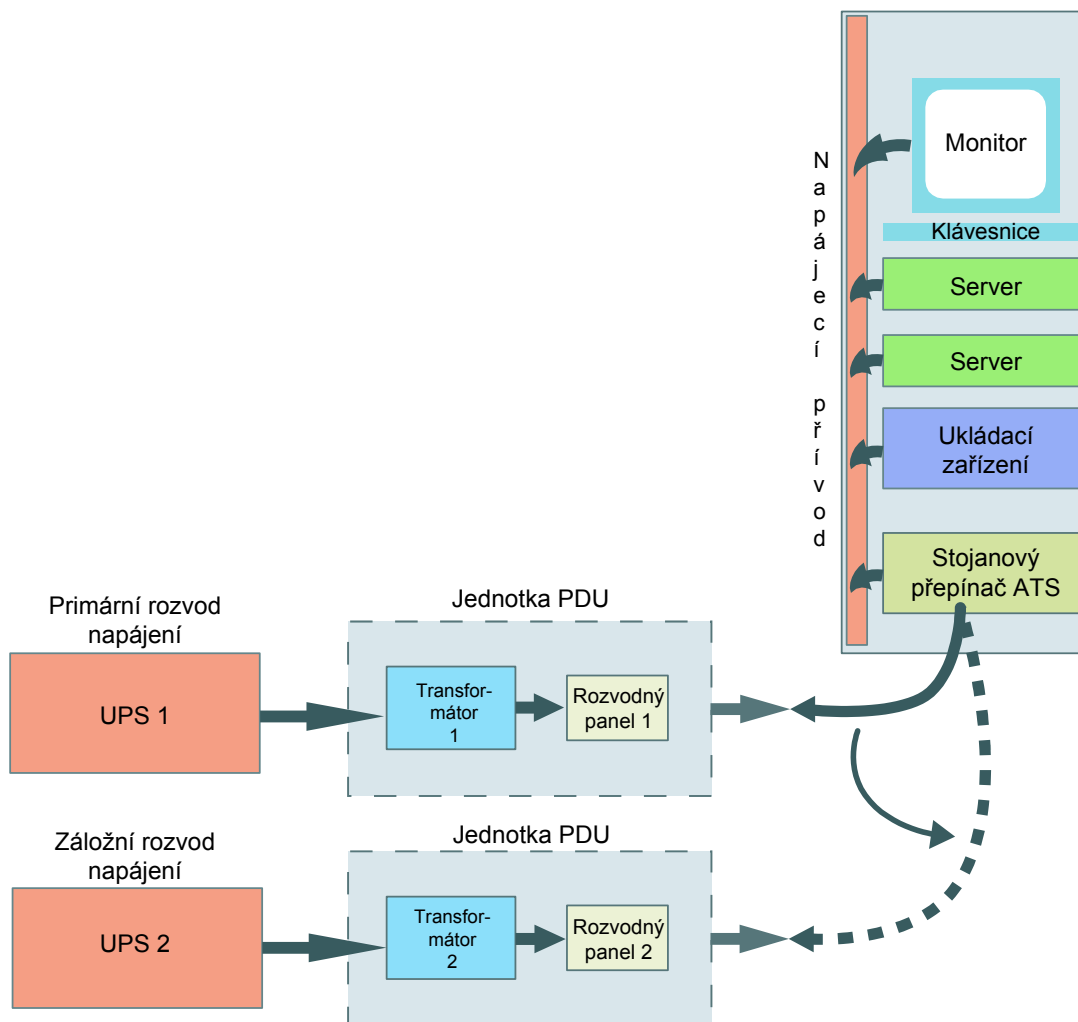
**Obrázek 4:** Redundance napájení s přepínačem STS (redundantní transformátory)



Obrázky 3 a 4 představují vylepšení konfigurací datového střediska z obrázků 1 a 2, které ale stále pro stojan neposkytují úplnou redundanci. Ačkoli byly přidány redundantní zdroje UPS a transformátor, statický přepínač, rozvodný panel a příslušné rozvody představují potenciální místo selhání.

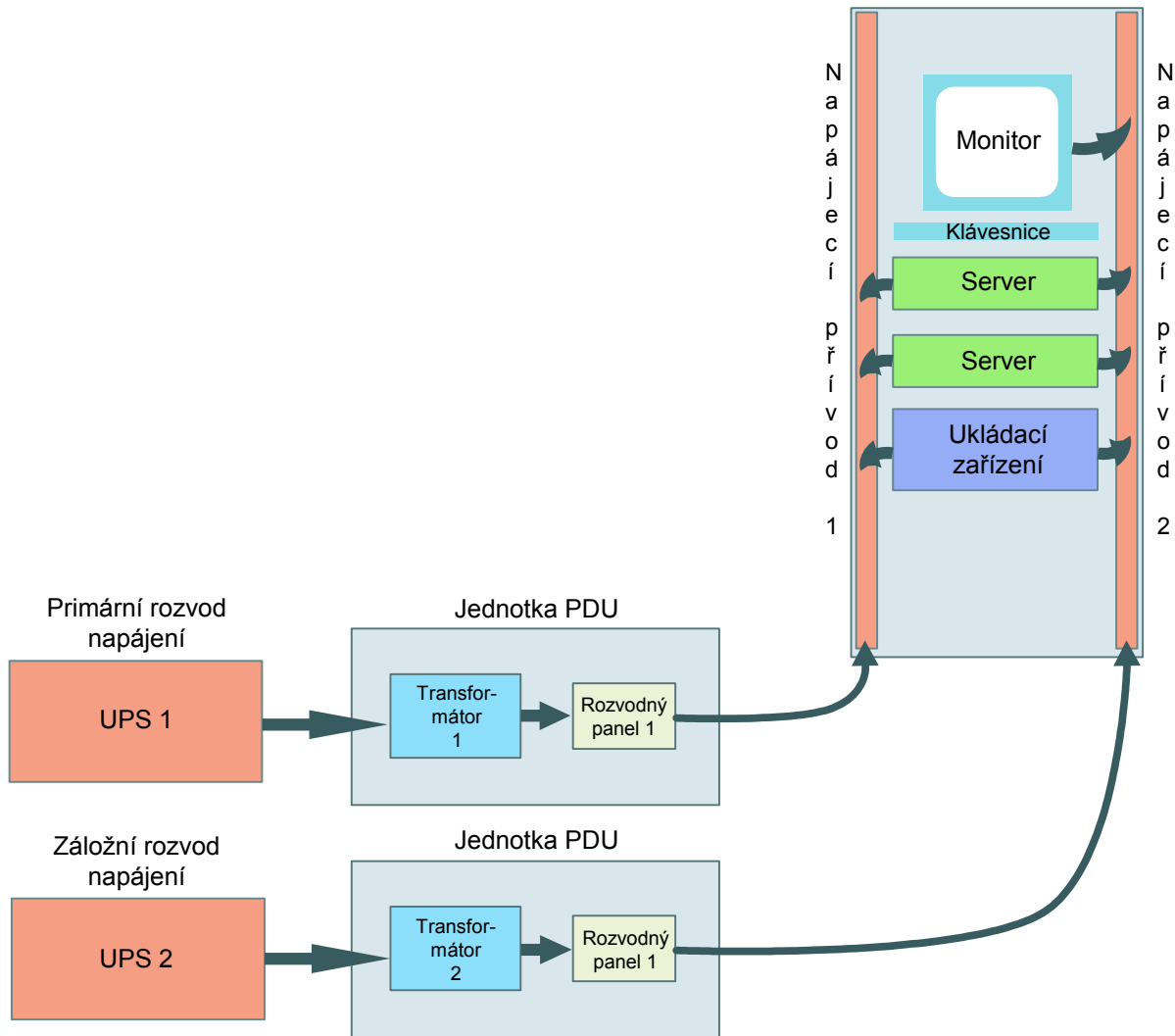
Na obrázku 5 jsou odstraněny nedostatky zjištěné na obrázcích 3 a 4 přidáním redundantního přívodu napájení. V tomto řešení odpadá přepínač STS a je přidán další rozvodný panel, který prostřednictvím stojanového přepínače ATS (Automatic Transfer Switch) posouvá redundanci blíže ke spotřebičům. Jakoukoli údržbu přívodů stojanového přepínače ATS lze provést bez výpadku koncových zařízení. Přestože má tento scénář menší počet komponent bez redundance než scénáře z obrázků 3 a 4, stojanový přepínač ATS zůstává nadále rizikovým bodem selhání, protože představuje jediné napájení celého zařízení.

**Obrázek 5: Redundance napájení se stojanovým přepínačem ATS**



Obrázek 6 znázorňuje řešení s úplnou redundancí napájení, které lze docílit použitím zařízení se dvěma napájecími kabely a plně redundantních zdrojů napájení. Oproti obrázku 5 jsou v tomto scénáři dvě důležité změny: stojanový přepínač ATS je zcela vynechán a jsou použita zařízení se dvěma napájecími kabely. Plná redundance je tedy implementována v celém rozvodu napájení až ke koncovým zařízením. Všimněte si také, že redundance je docílena použitím jednoho napájecího přívodu navíc. Toto řešení představuje rozvod s nejvyšší mírou dostupnosti ze všech uvedených schémat. Je však také nejdražším řešením a lze jej použít pouze pro zařízení speciálně navržená pro redundantní použití, která disponují dvěma napájecími kabely.

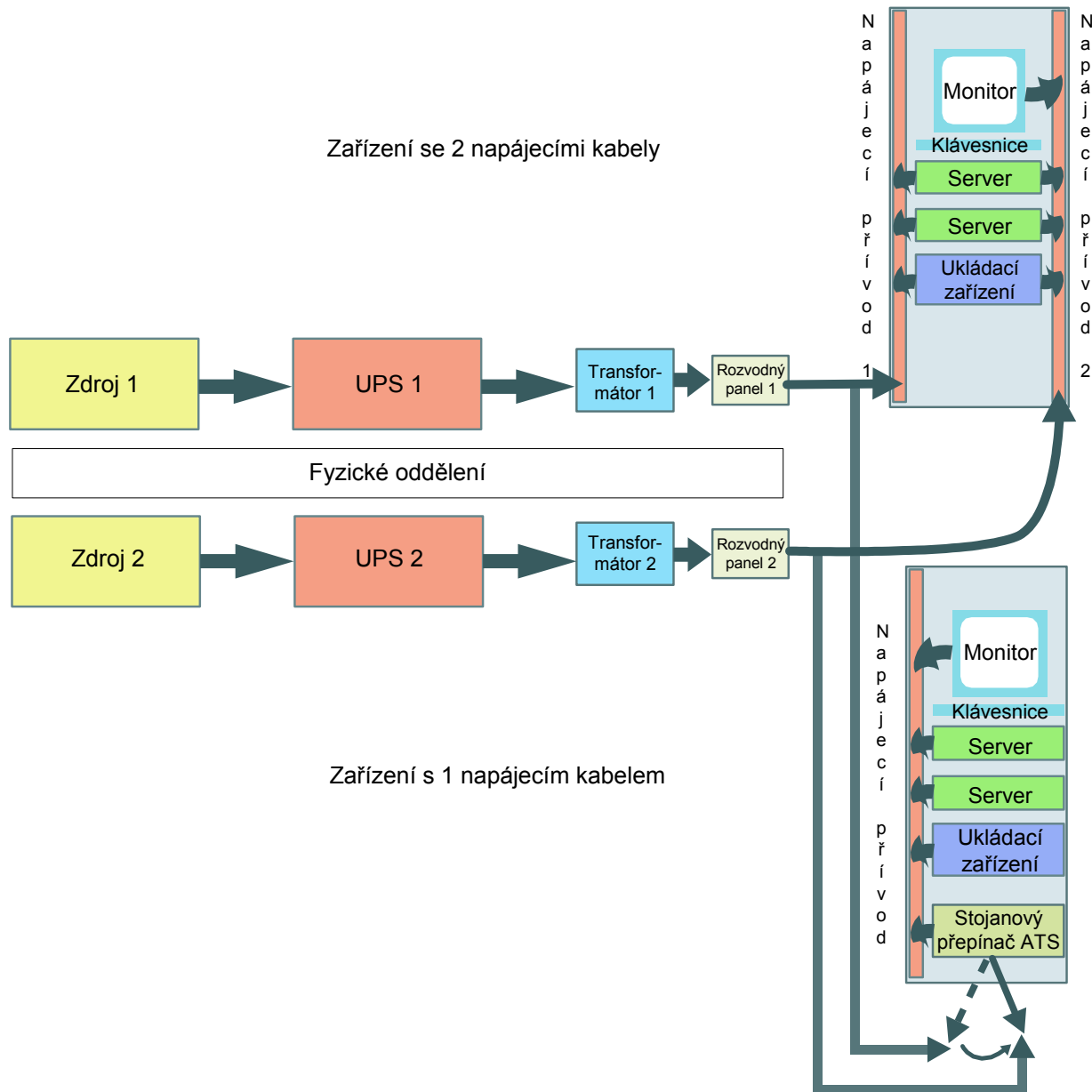
**Obrázek 6: Redundance napájení se dvěma napájecími kabely**



Architektura na obrázku 7 kombinuje schémata z obrázků 5 a 6 a představuje alternativní řešení, které lze současně použít pro zařízení s jedním i s dvěma napájecími kabely. Toto řešení implementuje hybridní kombinaci dříve uvedených schémat. Pro počítačová zařízení se dvěma napájecími kabely je dosaženo úplné redundance napájení. Pro zařízení s jedním napájecím kabelem je zachována redundance na úrovni řešení se stojanovým přepínačem ATS. Tento přepínač a rozvod napájení k jednotlivým zařízením zůstávají jedinými rizikovými body selhání.

Obrázek 7 také znázorňuje další fyzické oddělení. Fyzické oddělení bývá často označováno jako „fyzické rozčlenění“. Tento termín označuje stav, kdy jsou jednotlivé podsystémy distribuce napájení a záložního systému navzájem fyzicky odděleny. Při správné implementaci fyzického oddělení můžete zabránit, aby závažná porucha, například mechanické selhání, v jedné větvi ovlivnilo druhou větev (častá příčina poruchy).

**Obrázek 7:** Redundantní architektura pro zařízení s jedním a dvěma napájecími kabely



Architektury uvedené na obrázcích 3, 4, 5 a 7 obsahují přepínače. V případě velkých přepínačů může mít jedna porucha za následek výpadek velké části zařízení, zatímco selhání menšího přepínače odpojí pouze jeden stojan. V některých implementacích má porucha jednoho stojanu stejné obchodní důsledky jako selhání 50 stojanů. U jiných řešení je izolace výpadku pouze na jediný stojan nespornou výhodou. Pro druhý případ je výhodné použití stojanového přepínače ATS, neboť je možné poruchu izolovat a dosáhnout tak vyšší úrovně dostupnosti.



Dalším uvažovaným faktorem je čas potřebný k opravě přepínačů. Malý přepínač se neopravuje, ale mění za nový. Přepínač lze mít také v zásobě jako náhradní díl a využít jej při velmi rychlé výměně. Navíc lze přepínač rychle přemontovat (je-li to nutné). Větší přepínač je nutné opravit. Podle umístění provozních prostorů může trvat i několik hodin, než se na místo dostaví servisní technik. Další čas trvá diagnostika a oprava systému. Navíc technik nemusí mít s sebou potřebnou součástku a oprava se dále prodlouží. Při analýze některých pokročilých návrhů je třeba zvážit a navrhnout optimální řešení na základě řady různých parametrů. Čas potřebný na opravu je započítán ve statistickém modelu dostupnosti, který je popsán v další části.

Obecně platí, že při vývoji prostředí s kritickou důležitostí mohou zařízení s jedním napájecím kabelem vést k výraznému snížení úrovně dostupnosti. To platí nejen pro zařízení montovaná do stojanů, ale i pro všechna další zařízení s kritickou důležitostí. I nejlepší konstrukční řešení může mít poruchu a pokud není zálohováno, má za následek výpadek celého systému. Pro řešení, u nichž je vyžadována opravdu vysoká úroveň dostupnosti, je třeba maximálně snížit nebo zcela odstranit všechna potenciální místa selhání.

## Analýza dostupnosti

Pomocí analýzy dostupnosti bylo zjištěno, jaký dopad má použití zařízení s jedním nebo dvěma napájecími kabely. Bylo provedeno pět analýz dostupnosti:

- Příklad 1: Použití jednoho napájecího kabelu podle obrázku 2
- Příklad 2: Použití jednoho napájecího kabelu a přepínače STS podle obrázku 3 (jeden transformátor)
- Příklad 3: Použití jednoho napájecího kabelu a přepínače STS podle obrázku 4  
(redundantní transformátory)
- Příklad 4: Použití jednoho napájecího kabelu a stojanového přepínače ATS podle obrázku 5
- Příklad 5: Použití dvou napájecích kabelů podle obrázku 6

Úroveň dostupnosti napájení ve zdířkách uvedených pěti konfiguracích byla vyhodnocena pomocí modelu lineární kombinatorické analýzy, tzv. RBD (Reliability Block Diagrams). Jedná se o nejpřímější metodu modelování systémů, která dobře funguje pro systémy s omezeným počtem přechodů mezi stavy. Lineární kombinatorická analýza používá definovaná data spolehlivosti a následně rozvíjí model systému, který představuje analyzovanou konfiguraci. Vzhledem k tomu, že byla analýza zaměřena pouze na rozdíly mezi konfiguracemi, bylo předpokládáno, že veškeré příklady k jednotkám UPS jsou perfektní (včetně veřejné napájecí sítě). Hodnoty dostupnosti uvedené v tomto dokumentu jsou proto vyšší, než jsou skutečné dostupnosti reálných implementací.

Podrobné informace týkající se provedené analýzy jsou uvedeny v příloze.

## Data použitá v analýze

Většina dat použitých při modelování komponent pochází od jiných společností. Data pro stojanový přepínač ATS jsou založena na provozních údajích pro stojanový přepínač ATS společnosti APC, který je na trhu již přibližně pět let a je instalován ve velkém počtu prostředích. Do této analýzy jsou zahrnuty následující klíčové komponenty:

1. Koncové prvky
2. Elektrické jističe
3. Systémy UPS
4. Jednotka PDU
5. Přepínač STS (Static Transfer Switch)
6. Stojanový přepínač ATS

Jednotka PDU sestává ze tří základních dílčích komponent: elektrických jističů, snížovacích transformátorů a koncových prvků. Vyhodnocení pro rozvodný panel je provedeno na základě konfigurace s jedním hlavním jističem, jedním vedlejším jističem a koncovými prvky zapojenými sériově. Stojanový přepínač ATS je použit

pouze ve čtvrtém případě. V příloze jsou uvedeny hodnoty a zdroje dat pro míru poruchovosti  $\left(\frac{1}{MTTF}\right)$

a míru obnovy  $\left(\frac{1}{MTTR}\right)$  pro každou dílčí komponentu, přičemž hodnota MTTF označuje střední dobu

poruchy (Mean Time To Failure) a hodnota MTTR střední dobu obnovy (Mean Time To Recover).

Míry poruchovosti a oprav použité pro analýzu jsou uvedeny v příloze.

## Předpoklady použité pro analýzu

Podobně jako u každé analýzy dostupnosti je nutné uvést použité předpoklady. Pouze pak je vytvořený model opravdu platný. Základní předpoklady použité pro analýzu jsou uvedeny v tabulce 1.

**Tabulka 1: Předpoklady analýzy**

Předpoklad	Popis
Míra poruchovosti komponent	Všechny komponenty v analýze vykazují konstantní míru poruchovosti. Pokud je zařízení používáno pouze po konstrukční dobu životnosti, je tento předpoklad nejlepší. Pokud by produkty byly používány nad rámec doby životnosti, musela by být započítána míra poruchovosti s nelineárním průběhem.
Týmy zajišťující opravy	Předpokládáme, že pro n komponent zapojených sériově je k dispozici n servisních techniků.
Nepřerušovaná činnost zbývajících komponent systému	Předpokládáme, že všechny komponenty v systému zůstanou během doby opravy porouchaných komponent v provozu.
Nezávislost poruch	Tyto modely předpokládají, že popisované architektury jsou konstruovány v souladu s průmyslovými standardy. Tyto standardy jsou vytvořeny s cílem zajistit nízkou pravděpodobnost výskytu běžných příčin poruch a výskytu zavlčených poruch. Toho je dosaženo pomocí fyzické a elektrické izolace.
Poruchovost kabelového vedení	Kabelové vedení mezi komponentami v rámci architektur nebylo do výpočtu zahrnuto, protože míra jeho poruchovosti je velmi nízká a nelze ji předvídat se statistickou relevancí. Předchozí zkušenosti navíc ukázaly, že tak nízká míra poruchovosti má na celkovou dostupnost pouze minimální vliv. Hlavní koncové prvky však do výpočtu zahrnuté byly.
Lidská chyba	Do této analýzy nebyly zahrnuty výpadky způsobené lidskými chybami. Ačkoli se jedná o jednu z významných příčin výpadků datových středisek, tyto modely jsou zaměřeny na porovnání různých typů infrastruktury napájení a na identifikaci slabých míst v těchto strukturách. Kromě toho není k dispozici dostatek údajů týkajících se lidských chyb a jejich vlivu na míru dostupnosti.
Klíčovým měřítkem je dostupnost napájení	Výstupem této analýzy jsou údaje týkající se dostupnosti napájení. Míra dostupnosti obchodních aplikací je obvykle nižší, protože obnova dostupnosti napájení neznamená okamžitou obnovu činnosti obchodních aplikací. Systémy IT obvykle vyžadují určitou dobu na opětovné spuštění, která prodlužuje dobu nedostupnosti. Tato doba není v této analýze zahrnuta.
Není započítán přínos izolace selhání	Selhání kteréhokoli stojanu je považováno za poruchu a je ekvivalentní selhání všech stojanů najednou. Tento předpoklad eliminuje výhodu případů 4 a 5. V některých obchodních aplikacích má selhání jednoho stojanu menší obchodní dopad než selhání všech stojanů.

## Výsledky

Je důležité si uvědomit, že cílem této analýzy je porovnání teoretických dostupností pro jednotlivé případy. Vzhledem k tomu, že všechny komponenty ve všech pěti případech mají stejná data poruchovosti, jediným rozdílem mezi jednotlivými případy je počet komponent, hodnota MTTR a umístění těchto komponent. Tato metoda velmi efektivně demonstruje míru dostupnosti jedné architektury v porovnání s ostatními.

Dostupnost se měří s ohledem na dodávku proudu od elektrické zástrčky po kritické spotřebiče. Ve všech případech jsou použita stejná data spolehlivosti jednotlivých komponent. V 1. případě způsobí porucha libovolné komponenty v řetězci selhání celého řešení. Jedná se o mezní případ.

V obou schématech 2 a 3 by se porucha celého řešení vyskytla pouze v případě, že by došlo k současnému selhání libovolných dvou komponent z jednotlivých redundantních cest. Nicméně celkový výpadek řešení způsobí i porucha jediné komponenty za přepínačem STS (včetně samotného přepínače STS). Důležitým výsledkem v tomto případě je, jak málo přispívá instalace přepínače STS k celkové hodnotě dostupnosti systému. Důvodem je to, že přepínač STS není výrazně spolehlivější než rozvod UPS a přepínač STS nemá záložní řešení, takže jeho porucha vede k selhání celého systému. Dále si všimněte, že ve schématu 2 hodnota MTTR transformátoru minimalizuje výhody přepínače STS.

V případě 4 by se porucha celého řešení vyskytla pouze v případě, že by došlo k současnému selhání libovolných dvou komponent z jednotlivých redundantních cest. Stojanový přepínač ATS je sice pouze jeden a na jeho bezporuchovosti závisí celé řešení, má ale nízkou hodnotu MTTR, protože v případě selhání jej lze rychle vyměnit za náhradní součástku. Za klíčový poznatek lze označit, že přestože stojanový přepínač ATS není nezbytně spolehlivější než velký přepínač STS, podstatně nižší hodnota MTTR mu dává výhodu ve formě podstatně větší míry dostupnosti.

V případě 5 by se porucha celého řešení vyskytla pouze v případě, že by došlo k současnému selhání libovolných dvou komponent z jednotlivých redundantních cest. Výsledky pěti výpočtů dostupnosti jsou shrnuty v tabulce 2.

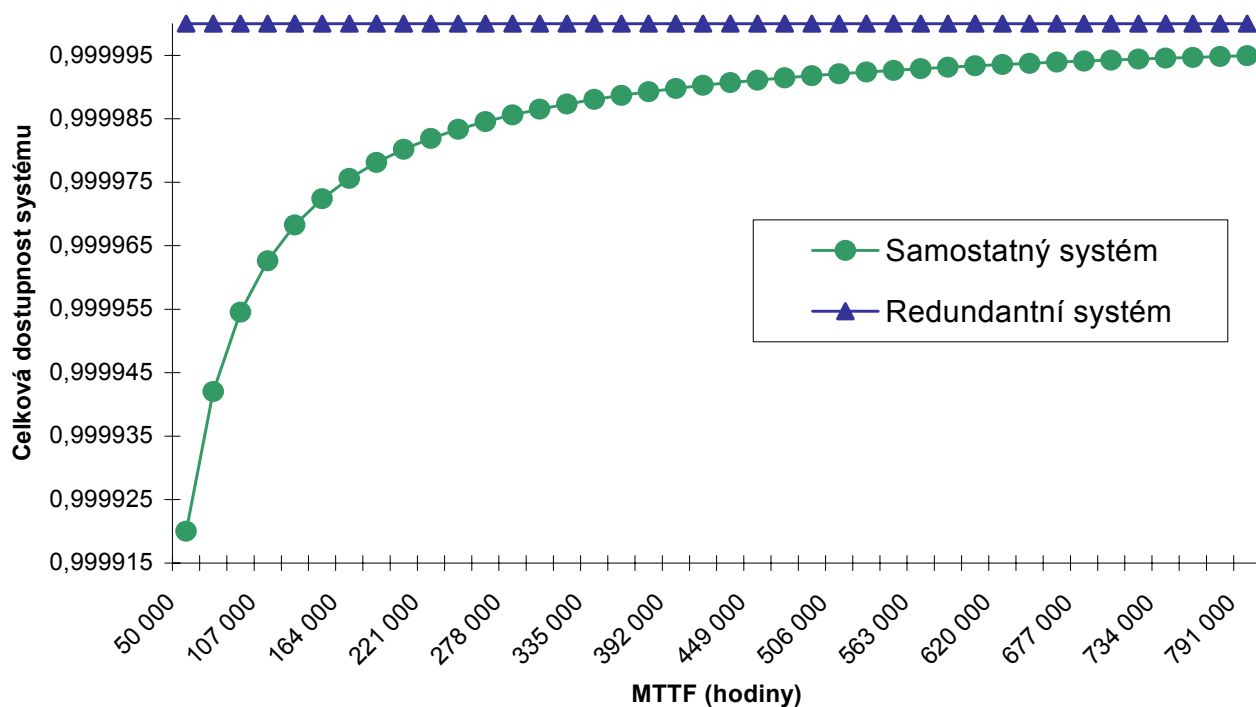
**Tabulka 2: Přehled výsledků dostupnosti**

Scénář	Konfigurace	Dostupnost	Počet „devítek“
Případ 1	Použití jednoho napájecího kabelu	99,985 %	3,8
Případ 2	Použití jednoho napájecího kabelu a přepínače STS (jeden transformátor)	99,98596 %	3,85
Případ 3	Použití jednoho napájecího kabelu a přepínače STS (redundantní transformátory)	99,99715 %	4,5
Případ 4	Použití jednoho napájecího kabelu a stojanového přepínače ATS	99,999931 %	6,2
Případ 5	Použití dvou napájecích kabelů	99,999977 %	7,6

Analýza ilustruje důležitost zařízení se dvěma napájecími kabely při dosahování vysoké dostupnosti v architektuře se dvěma rozvody. Výhody takto propracovaného návrhu nejsou zcela využity při použití zařízení s jediným napájecím kabelem, ale jsou téměř optimální při implementaci stojanového přepínače ATS.

Z výše uvedených výsledků je jasné, že implementace redundantního rozvodu zvyšuje dostupnost celého řešení. Obrázek 8 ukazuje, že i v případě, že dojde k desetinásobnému zvýšení spolehlivosti produktu (veličina MTTF), stále není dosaženo stejné dostupnosti, jako při použití redundantní sady s nižší úrovní spolehlivosti. Redundantní systém zajišťuje téměř 100 % dostupnost nebo velký počet „devítek“.

**Obrázek 8: Porovnání dostupnosti a MTTF**



## Závěry

Při implementaci architektury s vysokou dostupností je důležité důkladně zvážit rozvod napájení ke stojanům. Při použití obvyklých způsobů distribuce napájení popsaných v tomto dokumentu se míra výpadků liší až s faktorem 10 000.

Analýza velmi jasně demonstruje, jak důležité je v kritických datových střediscích používat zařízení se dvěma napájecími kabely. Podle uvedené analýzy nabízí architektura s úplným duálním rozvodem až 10 000 krát méně výpadků než architektura s jediným rozvodem.

Obvyklá praxe použití přepínačů pro zvýšení dostupnosti řešení s jediným napájecím rozvodem má velmi různé výsledky v závislosti na způsobu implementace řešení. V některých případech analýza ukazuje nulové výhody při použití velkého přepínače STS. Pokud je naopak přepínač umístěn do stojanu, výpadky systému způsobené napájením se sníží s faktorem 250.

Přepínač ve stojanu navíc poskytuje přesnou lokalizaci poruchy, protože selhání se vyskytne pouze u jednoho stojanu. Stojanový přepínač lze implementovat a umístit přesně podle potřeby také v prostředí s duálním rozvodem.

Prezentovaná data ukazují, že je třeba znovu zvážit obecnou praxi použití velkých přepínačů STS pro napájení jednotek s jedním napájecím kabelem a že stojanové přepínače přinášejí významné výhody za přibližně stejnou cenu.

Obecně analýza navrhuje zvýšit dostupnost celého řešení posunutím redundance co nejbližší k cílovým jednotkám.

Před investicí do systému s vysokou dostupností je vždy nutné provést podrobnou analýzu. Konečné řešení je určeno objemem prostředků, který je zákazník ochoten investovat do elektrické infrastruktury. Zákazník musí mít přesně vyhodnocené obchodní procesy, aby mohl spočítat hodnotu času při výpadku řešení. Tato hodnota je faktorem, který jednoznačně určuje investice do dostupnosti.

# Příloha

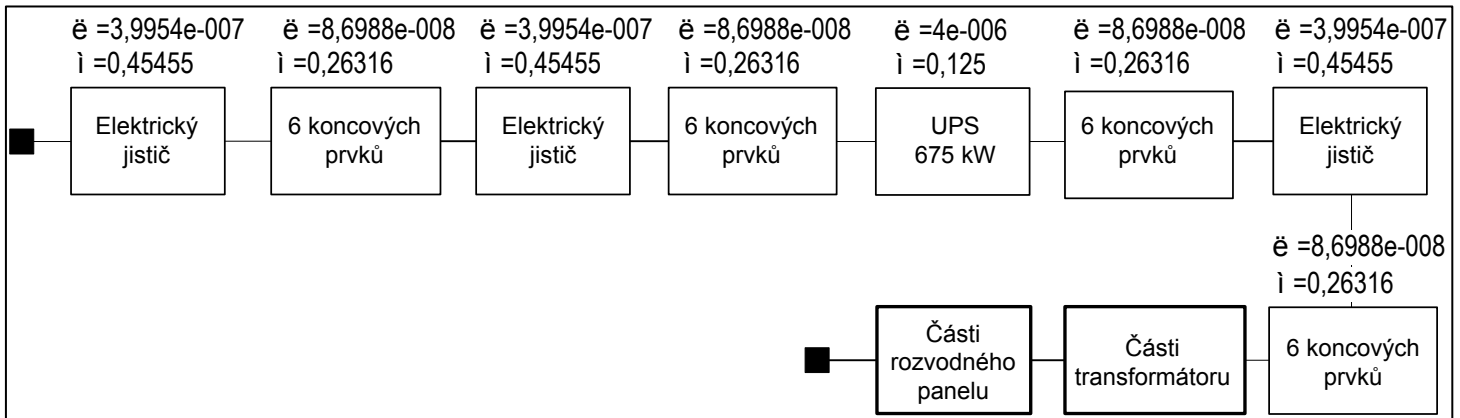
## Komponenty a hodnoty

Komponenta	Míra poruchovosti	Míra obnovy	Zdroj údajů	Poznámky
UPS 675 kW / 750 kVA	4,0000E-06	0,125	Míra poruchovosti podle časopisu Power Quality Magazine, míra obnovy předpokládá 4 hodiny na příjezd servisního technika a 4 hodiny na opravu systému.	• Používá se k dodávce nepřerušovaného napájení 480 VAC do jednotky PDU.
Přepínač STS (Static Transfer Switch)	4,1600E-06	0,1667	Gordon Associates, Raleigh, NC	• Zahnuje ovládací prvky
Snižovací transformátor	7,0776E-07	0,00641	MTBF (střední doba mezi poruchami): IEEE Gold Book – Standard 493-1997, str. 40; MTTR: průměrná hodnota (zdroj: Marcus Transformer Data).	• Slouží k transformaci vstupu 480 VAC na výstupy 208 VAC, což je vyžadováno pro napájení 120 VAC.
Elektrický jistič	3,9954E-07	0,45455	IEEE Gold Book – Standard 493-1997, str. 40	• Používá se pro izolaci komponent od elektrického napájení v případě údržby nebo poruchy.
6 koncových prvků	8,6988E-008	0,26316	Hodnota 6 x IEEE Vypočteno na základě hodnoty z dokumentace IEEE Gold Book – Standard 493-1997, str. 41	• Na straně přívodu transformátoru je na jeden vodič použit jeden koncový prvek. Vzhledem k tomu, že jsou mezi komponentami použity dvě sady koncových prvků, je celkem použito 6 koncových prvků.
8 koncových prvků	1,1598E-007	0,26316	Hodnota 8 x IEEE Vypočteno na základě hodnoty z dokumentace IEEE Gold Book – Standard 493-1997, str. 41	• Na straně přívodu transformátoru je na jeden vodič použit jeden koncový prvek plus jeden neutrální prvek. Vzhledem k tomu, že jsou mezi komponentami použity dvě sady koncových prvků, je celkem použito 8 koncových prvků.
Stojanový přepínač ATS	2,0E-06	3	Provozní data redundantního přepínače APC	• Vypočtená hodnota MTTF (střední doba mezi poruchami) pro stojanový přepínač ATS společnosti APC je 1 milión hodin. Byla použita konzervativnější hodnota 500 000 hodin.

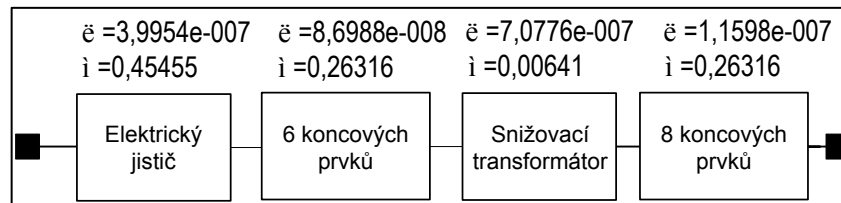
# Dostupnost zařízení s jedním napájecím kabelem [případ 1]

Dostupnost zařízení s jedním napájecím kabelem (schéma 2) byla vypočtena na základě následujícího modelu RBD. Obrázek 9 představuje nejvyšší vrstvu RBD, která počítá konstantní dostupnost na základě komponent zapojených sériově. Diagram RBD zahrnuje „rozbalitelné“ bloky pro „část transformátoru“ a „části rozvodného panelu“. Rozbalitelný blok označuje objekt, který obsahuje nižší úroveň RBD s definicí dílčích komponent. Použití takového schématu RBD usnadňuje výpočty dostupnosti. Rozvodný panel slouží k distribuci napájení přímo k zařízení kritického významu. Obsahy uvedených bloků jsou znázorněny na obrázcích 10 a 11.

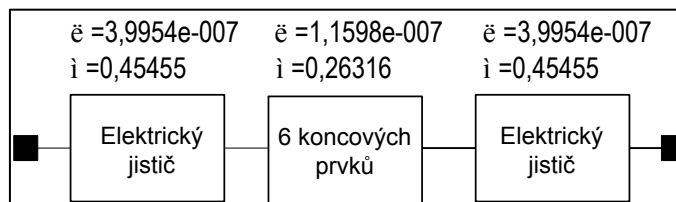
**Obrázek 9: Zařízení s jedním napájecím kabelem**



**Obrázek 10: Součásti transformátoru**



**Obrázek 11: Součásti rozvodného panelu**



Na základě diagramu RBD je v následující tabulce uvedena dostupnost systému s jedním napájecím kabelem.



### Dostupnost zařízení s jedním napájecím kabelem [případ 1]

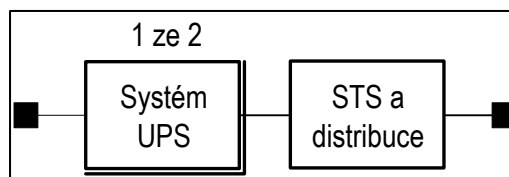
Název modelu	Dostupnost	Nedostupnost	MTTR (hod)	MTTF (hod)	Roční výpadek (hod)
Zařízení s jedním napájecím kabelem	99,98498 %	1,5021E-04	19,3	128 665	1,3158
Systém UPS	99,99640 %	3,5958E-05	6,5	180 291	0,31499
Součásti transformátoru	99,98879 %	1,1205E-04	85,5	763 201	0,98158
Součásti rozvodného panelu	99,99978 %	2,1987E-06	2,4	1 092 825	0,01926

Vzhledem k tomu, že analýza je vyhodnocena použitím dat s pěti platnými číslicemi, dalším způsobem vyjádření výsledků je výpočet doby, kdy systém není k dispozici. Nedostupnost je vypočtena jednoduše pomocí vzorce  $(1 - \text{Dostupnost})$ .

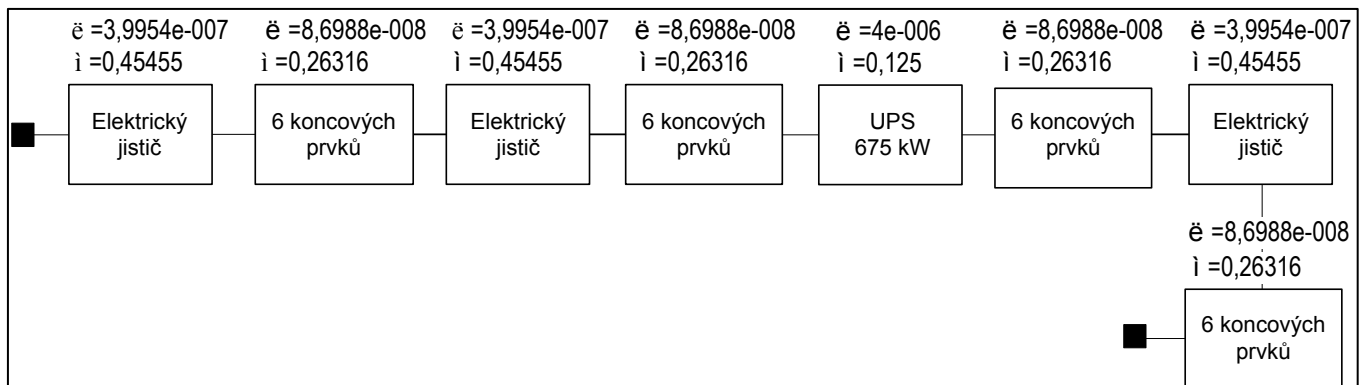
## Dostupnost zařízení s jedním napájecím kabelem a s přepínačem STS (jeden transformátor) [případ 2]

Distribuční metoda ze schématu 3 používá přepínač STS a přidává redundanci k celému rozvodu kromě transformátoru, odkud je vedení jednoduché. Dostupnost pro tento scénář je vypočtena na základě 7 řetězců RBD, které jsou pro srozumitelnost uvedeny zvlášť. Obrázek 12 představuje nejvyšší vrstvu RBD. Blok systému UPS je jedním ze 2 bloků, což znamená, že všechny komponenty v rámci bloku jsou redundantní. Obsah bloku systému UPS je znázorněn na obrázku 13.

**Obrázek 12:** Zařízení s jedním napájecím kabelem a s přepínačem STS



**Obrázek 13:** Systém UPS

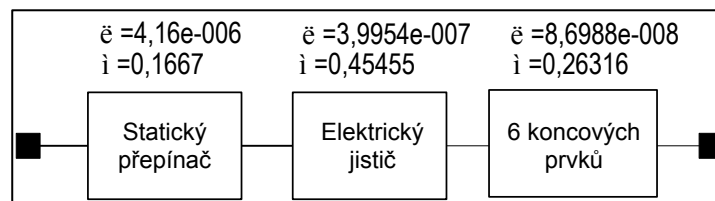


Veškeré rozvody a součásti před přepínačem STS jsou redundantní, nicméně veškeré vybavení v bloku „STS a distribuce“ (viz obrázek 12) je jednoduché a není zálohováno. Blok „STS a distribuce“ obsahuje systém STS, součásti transformátoru a součásti rozvodného panelu (viz schéma 14). Systém STS je nutná součást, která umožňuje použití redundantních komponent. Systém obsahuje elektrické jističe, koncové prvky a to nejdůležitější, přepínač STS. Výpočet RBD pro systém STS je znázorněn na obrázku 15.

**Obrázek 14: STS a distribuce**

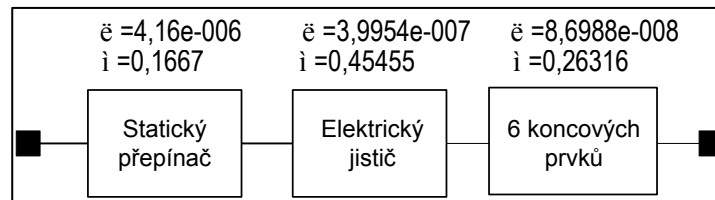


**Obrázek 15: Systém STS**

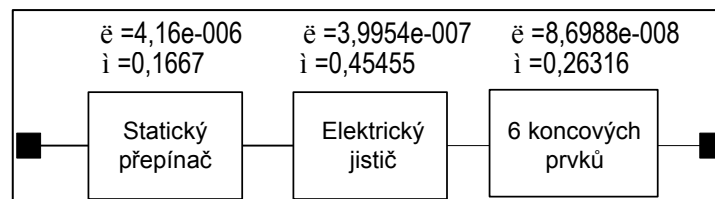


Obsahy bloků „Součásti transformátoru“ a „Součásti rozvodného panelu“ na schématu 14 jsou dále rozkresleny na obrázcích 16 a 17.

**Obrázek 16: Součásti transformátoru**



**Obrázek 17: Součásti rozvodného panelu**



Na základě uvedené architektury RBD je v následující tabulce uvedená dostupnost systému s jedním napájecím kabelem s přepínačem STS a s jedním transformátorem.

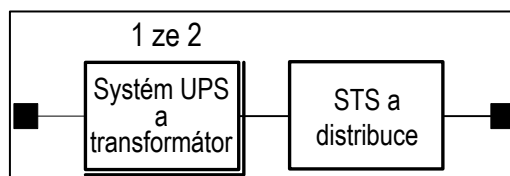
### Zařízení s jedním napájecím kabelem a přepínačem STS (jeden transformátor) [případ 2]

Název modelu	Dostupnost	Nedostupnost	MTTR (hod)	MTTF (hod)	Roční výpadek (hod)
Zařízení s jedním napájecím kabelem a přepínačem STS (1 transformátor)	99,98596 %	1,4041E-04	20,4	145 513	1,23002
Systém UPS	99,99999987 %	1,2930E-09	6,5	5 025 125 628	0,00001
Samostatný zdroj UPS	99,99640 %	3,5958E-05	6,5	180 291	0,31499
STS a distribuce	99,98596 %	1,4041E-04	20,4	145 518	1,23001
Systém STS	99,99738 %	2,6164E-05	5,6	215 214	0,22920
Součásti transformátoru	99,98879 %	1,1205E-04	85,53	763 201	0,98158
Součásti rozvodného panelu	99,99978 %	2,1987E-06	2,4	1 092 825	0,01926

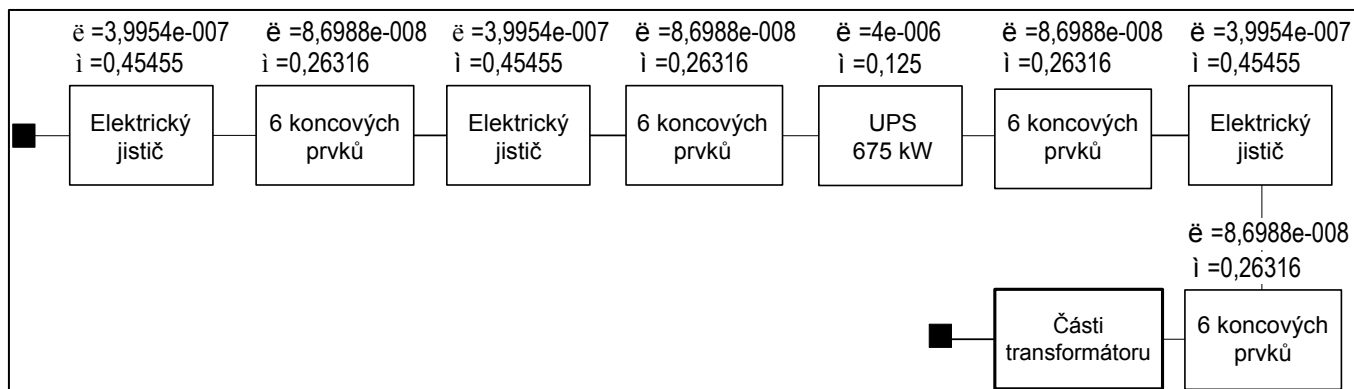
## Dostupnost zařízení s jedním napájecím kabelem a s přepínačem STS (redundantní transformátory) [případ 3]

Distribuční metoda ze schématu 4 používá přepínač STS a přidává redundanci k celému rozvodu včetně transformátoru. Dostupnost pro tento scénář je vypočtena na základě 7 řetězců RBD, které jsou obdobou předchozí analýzy. Obrázek 18 představuje nejvyšší vrstvu RBD. Blok „Systém UPS a transformátor“ je jedním ze 2 bloků, což znamená, že všechny komponenty v rámci bloku jsou redundantní. Obsah bloku „Systém UPS a transformátor“ je znázorněn na obrázku 19. Blok „Součásti transformátoru“ se skládá ze stejných součástí jako blok na obrázku 16. Až k tomuto bodu jsou všechny komponenty redundantní, nicméně veškeré součásti v rámci bloku „STS a distribuce“ na schématu 18 nejsou zálohovány.

**Obrázek 18:** Zařízení s jedním napájecím kabelem a s přepínačem STS

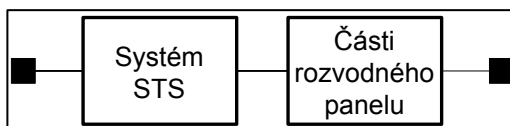


**Obrázek 19: Systém UPS a transformátor**

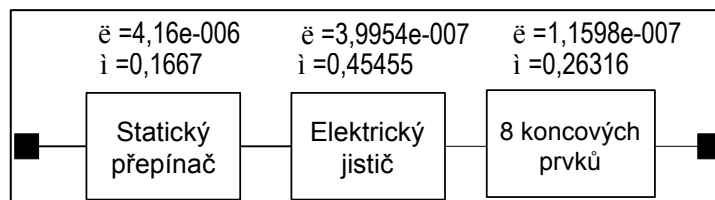


V tomto případě obsah bloku „STS a distribuce“ na obrázku 20 obsahuje pouze systém STS a součásti rozvodného panelu, protože transformátor je redundantní komponentou, která je součástí dvojitého rozvodu. Blok „Systém STS“ je v tomto scénáři identický s obrázkem 16 s tím rozdílem, že místo 6 koncových prvků je zapojeno 8 těchto prvků (viz obrázek 21). Komponenty v bloku „Součásti rozvodného panelu“ jsou identické se schématem 17.

**Obrázek 20: STS a distribuce**



**Obrázek 21: Systém STS**



Na základě uvedené architektury RBD je v následující tabulce uvedená dostupnost systému s jedním napájecím kabelem s přepínačem STS a s redundantními transformátory.

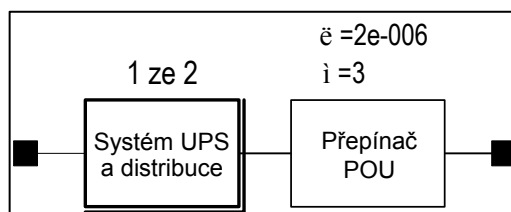
### Zařízení s jedním napájecím kabelem a přepínačem STS (redundantní transformátory) [Případ 3]

Název modelu	Dostupnost	Nedostupnost	MTTR (hod)	MTTF (hod)	Roční výpadek (hod)
Zařízení s jedním napájecím kabelem a přepínačem STS (2 transformátory)	99,99715 %	2,8495E-05	5,1	178 839	0,24961
Systém UPS a transformátor	99,9999978 %	2,1906E-08	21,6	985 221 675	0,00019
Systém UPS	99,99640 %	3,5958E-05	6,5	180 291	0,31499
Součásti rozvodného panelu	99,98879 %	1,1205E-04	85,5	763 201	0,98158
STS a distribuce	99,99715 %	2,8473E-05	5,1	178 872	0,24942
Systém STS	99,99737 %	2,6274E-05	5,6	213 880	0,23016
Součásti rozvodného panelu	99,99978 %	2,19867E-06	2,4	1 092 825	0,01926

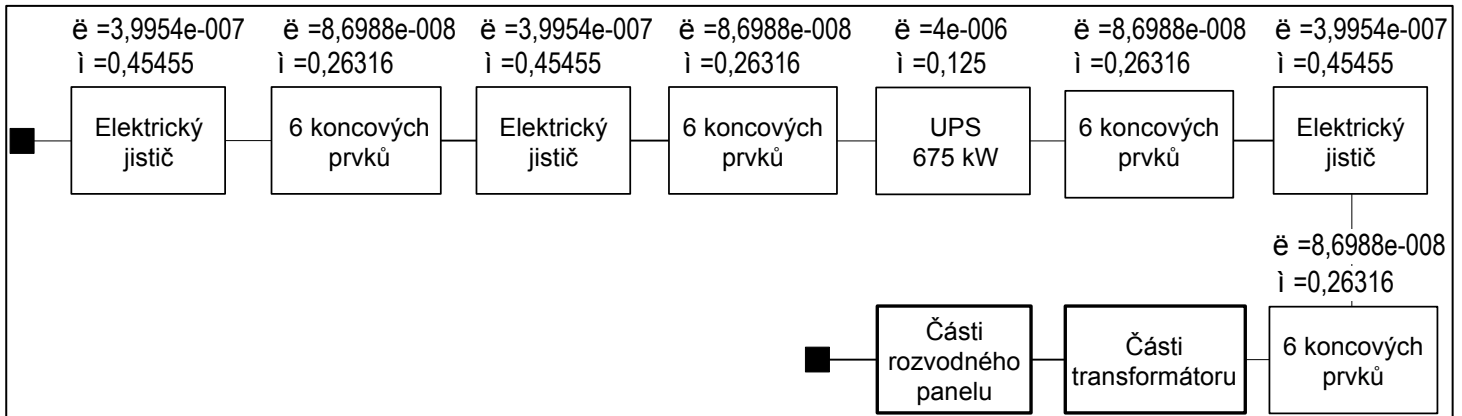
## Dostupnost zařízení s jedním napájecím kabelem a se stojanovým přepínačem ATS [případ 4]

Analýza zařízení s jedním napájecím kabelem a stojanovým přepínačem ATS (viz schéma 5) je vypočtena na základě diagramu RBD na obrázku 22, který představuje nejvyšší úroveň architektury RBD. Model tak zajišťuje redundantní rozvod až ke stojanu, nicméně stojanový přepínač ATS stále není zálohován. Součásti bloku „Systém UPS a distribuce“ jsou znázorněny na obrázku 23. Obsahy bloků „Součásti transformátoru“ a „Součásti rozvodného panelu“ jsou totožné s obrázky 16 a 17.

**Obrázek 22:** Zařízení s jedním napájecím kabelem a se stojanovým přepínačem ATS



**Obrázek 23: Systém UPS a distribuce**



Na základě architektury RBD je v následující tabulce uvedena dostupnost systému s jedním napájecím kabelem a stojanovým přepínačem ATS.

*Zařízení s jedním napájecím kabelem a stojanovým přepínačem ATS [případ 4]*

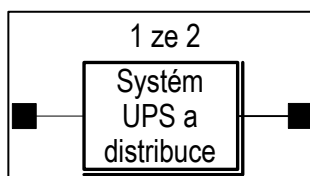
Název modelu	Dostupnost	Nedostupnost	MTTR (hod)	MTTF (hod)	Roční výpadek (hod)
Zařízení s jedním napájecím kabelem a stojanovým přepínačem ATS	99,999931 %	3,558950E-07	0,4	499 705	0,00604
Systém UPS a distribuce	99,999998 %	2,2562E-08	19,3	856 898 029	0,00018
Součásti transformátoru	99,98879 %	1,1205E-04	85,5	763 201	0,98158
Součásti rozvodného panelu	99,99978 %	2,1987E-06	2,4	1 092 825	0,01926
Stojanový přepínač ATS	99,999933 %	3,3333E-07	0,3	500 000	0,00584

V tomto případě lze dostupnost výrazně zvýšit pouhým přidáním dalšího zařízení PDU. Stojanový přepínač ATS však stále zůstává bez zálohy a při jeho poruše dojde k výpadku celého systému. To omezuje celkovou dostupnost na „šest devítek“. Stojanový přepínač ATS by proto měl být stále vybírán podle spolehlivosti. Navíc je třeba mít tento přepínač jako náhradní součástku, kterou lze rychle použít a minimalizovat tak hodnotu MTTR.

## Dostupnost zařízení se dvěma napájecími kabely [případ 5]

Analýza pro zařízení se dvěma napájecími kabely (viz schéma 6) je vypočtena na základě schématu RBD na obrázku 24, které opět představuje nejvyšší vrstvu. Obdobně jako v případě systému se stojanovým přepínačem ATS se i v této architektuře RBD počítá konstantní dostupnost na základě celkové poruchovosti UPS a PDU a míry obnovy. Nezapočítává se však stojanový přepínač ATS, protože napájení je vedeno kompletně dvěma redundantními rozvody, které jsou od sebe zcela odděleny. Pro fungování celého systému je zapotřebí, aby alespoň jeden rozvod ze dvou byl plně funkční a pokryl provozní zátěž. V systému jsou všechny součásti zálohovány. Redundantní jsou dokonce i všechny zdroje napájení jednotlivých zařízení.

**Obrázek 24:** Zařízení se dvěma napájecími kabely



Nižší úroveň RBD, ze které sestává blok „Systém UPS a distribuce“, je shodná se schématy 9 - 11.

Na základě těchto bloků je dostupnost systému se dvěma napájecími rozvody uvedena v následující tabulce.

*Dostupnost systému se dvěma napájecími rozvody [případ 5]*

Název modelu	Dostupnost	Nedostupnost	MTTR (hod)	MTTF (hod)	Roční výpadek (hod)
Zařízení se dvěma napájecími kabely	99,9999977 %	2,2562E-08	19,3	856 898 029	0,0001976
Systém UPS a distribuce	99,9999977 %	2,2562E-08	19,3	856 898 029	0,0001976
Součásti rozvodného panelu	99,98879 %	1,1205E-04	85,5	763 201	0,98158
Součásti rozvodného panelu	99,99978 %	2,1987E-06	2,4	1 092 825	0,01926

V tomto posledním případě je dostupnost „Systému UPS a distribuce“ totožná s předchozím případem, nicméně celková dostupnost se zvýšila na hodnotu „sedmi devítek“. Při použití zařízení se dvěma napájecími kabely spočívá hlavní rozdíl v tom, že již není zapotřebí stojanový přepínač ATS. Jak je znázorněno v posledním systému, stojanový přepínač ATS představuje rizikový bod selhání a jeho porucha způsobí výpadek celého systému. To omezuje dostupnost systému na „šest devítek“.