

BREZPREKINITVENI NAPAVALNI SISTEMI IN NJIHOVE ARHITEKTURE

Boštjan LAVUGER

POVZETEK

Za delovanje mnogih sistemov in naprav v različnih organizacijah je ključna zanesljiva in na izpade odporna oskrba z električno energijo. Zato ni dovolj le nameščanje rezervnih in neprekinjenih virov električnega napajanja, temveč je takšne napajalne sisteme potrebno v svojem izhodišču snovati z upoštevanjem nekaterih osnovnih zahtev ter izhodišč. Kot pomoč pri tem lahko služijo priporočila in iz njih izpeljane osnovne arhitekture napajalnih sistemov, ki inženirjem omogočajo relativno hitro ter tehnično primerno snovanje takšnih napajalnih sistemov. V prispevku bomo povzeli ključne zahteve za takšne napajalne sisteme, ki jih poimenujemo brezprekinitveni napajalni sistemi ali omrežja. Prav tako pa bomo predstavili tipične arhitekture brezprekinitvenih napajalnih sistemov, ki izhajajo iz navedenih priporočil.

ABSTRACT

Reliable and resilient power supply is the key for the functioning of many systems and devices in different organizations. To achieve these objectives, it is not enough just to install spare and uninterruptible power supply sources. Design of reliable and resilient power supply systems require to respect some special demands and fundamental knowledge. To help in design procedure recommendation and typical architectures of such systems has been prepared. Engineers with support of this recommendations and typical architectures can relatively fast and efficient prepare end solutions with respect to all necessary end resilience. In article we will present key demands and requirements for reliable and resilient power supply systems also with typical architectures of such power supply systems.

1. UVOD

V sodobnem svetu smo posamezniki, predvsem pa podjetja in organizacije, postali življenjsko odvisni od informacijsko komunikacijske tehnologije (IKT) ter sodobnih telekomunikacijskih (TK) storitev. Prav tako smo postali življenjsko odvisni od delovanja infrastrukture in tehniških objektov, ki nas obkrožajo. S storitvami, ki jih takšni objekti in tehnologije zagotavljajo, se srečujemo zavedno in nezavedno na vsakem koraku. S tem je postalo poslovanje in tudi naše življenje, vsaj v običajnem življenjskem slogu, odvisno od delovanja vseh teh različnih sistemov. To seveda ni nujno pozitivno, kljub temu se večina posameznikov in predvsem velika večina podjetij ter organizacij zanaša na stalno delovanje vseh teh storitev. Govorimo o delovanju različnih IKT storitev, kot so bančne storitve, plačilni promet, sredstva obveščanja, promet in vodenje prometa, proizvodnja in distribucija

električne energije in še bi lahko naštevali. Vse te storitve so tako ali drugače postale odvisne od delovanja raznih računalniških sistemov vodenja obdelave in shranjevanja podatkov, bodisi s področja IKT tehnologije, bodisi s področja sistemov vodenja in avtomatizacije. Od delovanja teh sistemov niso odvisne le storitve, ki jih uporabljamo občani, temveč tudi naša varnost in varnost našega zdravja ter premoženja. Vsi ti sistemi imajo skupno točko, ki se imenuje oskrba z električno energijo za lastno delovanje in je vitalnega pomena za delovanje vseh teh sistemov. Na žalost nas življenjski slog in težnja po napredku vodi v čedalje večjo odvisnost od delovanja vseh teh sistemov, zato jih tudi vedno bolj vgrajujemo in si življenja brez njih praktično ne znamo predstavljati. Danes so mnogi sistemi in storitve, posledično ne samo naše dejavnosti, temveč tudi življenja in naše premoženje vitalno odvisni od delovanja IKT naprav, posledično pa njihove oskrbe z el. energijo.

2. KAJ JE BREZPREKINITVENO NAPAJANJE

Brezprekinitveno napajanje je pojem, ki je v naši literaturi redek. Vsaj v podrobnejšem in natančnem smislu. S stališča zagotavljanja zanesljive oskrbe z el. energijo se v splošnem srečujemo z nekaj različnimi vrstami napajalnih sistemov in posledično omrežij. Vendar nismo natančneje specifikirali njihove topologije, namena in poimenovanja. Zato so imena, ki jih uporabljamo v tem prispevku rezultat večletnega praktičnega dela in potrebe po ločevanju različnih vrst zanesljivih omrežij za oskrbo z el. energijo. Tako v hierarhičnih sistemih oskrbe z el. energijo ločimo naslednje vrste omrežij:

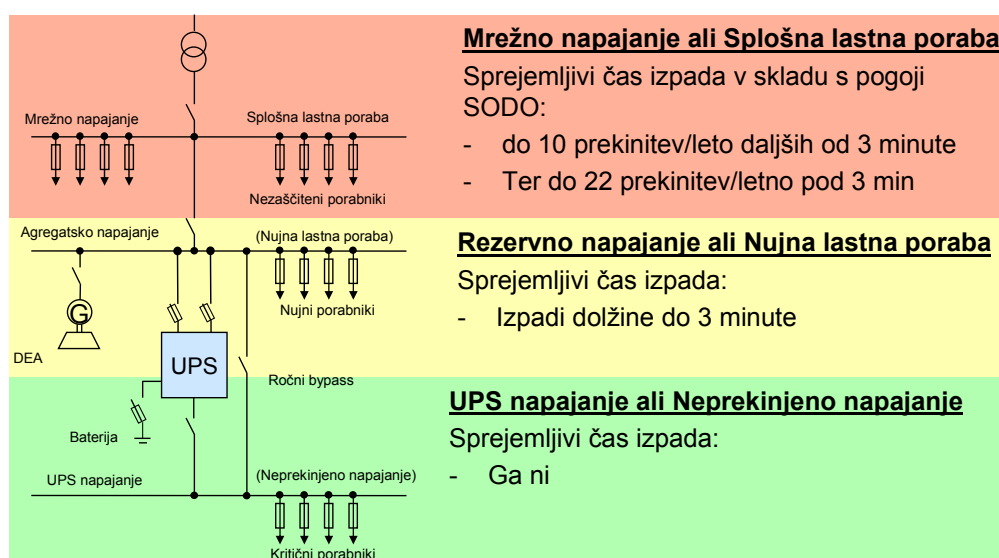
- Mrežno napajanje, včasih poimenovano tudi splošna lastna raba (SLR). Gre za napajalno omrežje, iz katerega se napajajo običajni porabniki na omrežju. Kakovost el. energije ter parametri zanesljivosti so določeni v QoS specifikaciji operaterja ali distribucije el. energije. V splošnem pa so ob normalnem delovanju, ne upoštevaje višje sile in tujih vzrokov v Sloveniji kot sprejemljivo šteje skupno trajanje nenačrtovanih prekinitev, ki so daljše od 3 min v letnem času trajanja 400 min, pri čemer je največje sprejemljivo število le teh prekinitev v mešanem okolju 10. Dodatno je sprejemljivih še do 22 nenačrtovanih prekinitev trajanja do 3 minut.¹
- Rezervno napajanje, včasih poimenovano tudi nujna lastna raba (NLR). Gre za napajalno omrežje, iz katerega se napajajo porabniki, ki morajo delovati tudi ob vseh dolgotrajnejših izpadih el. omrežja (nad 2-3 minute), tako načrtovanih, kot nenačrtovanih. El. energijo v teh omrežjih zagotavljamo ob običajnem delovanju iz omrežja, ob izpadu le tega pa iz rezervnih virov. Tipičen primer rezervnega vira je Diesel električni agregat (DEA).
- Neprekinjeno napajanje, v splošnem poimenovano tudi UPS napajanje (Uninterruptable Power Supply). Gre za napajalno omrežje, iz katerega se napajajo porabniki, ki morajo biti nenehno oskrbovani z el. energijo. Tipični primeri porabnikov so protipožarni sistemi, protivlomni sistemi v visoko varovanih objektih, različni računalniški, informacijski in telekomunikacijski sistemi ipd. Običajno kot vir energije v takšnih omrežjih služijo UPS sistemi, ki se napajajo iz mrežnega ali rezervnega napajanja. Ob

¹ (Minimalni standard kakovosti, SODO d.o.o., 2013)

prekinitvi so sposobni el. energijo dovajati iz zasilnih virov, kot so baterije oz. akumulatorji.

- Brezprekinitveno napajanje je poimenovanje, ki še ni splošno prepoznavno in uporabljeno. Izbrano je zaradi problematike nekaterih porabnikov, ki jim razpoložljivost neprekinjenega napajanja ne zadošča, temveč potrebujejo zanesljivejšie vire el. energije. Večja zanesljivost se s samimi napravami nad neko mero več ne da doseči, temveč je potrebno poseči po vzporedni vezavi različnih sistemov ali uporabi drugih, zahtevnejših arhitektur..

Splošna arhitektura zanesljivih napajalnih sistemov v skladu z navedeno delitvijo je prikazana na sliki 1.



Slika 1: Splošna arhitektura napajalnih sistemov

2.1 Zahteve za brezprekinitveno napajanje

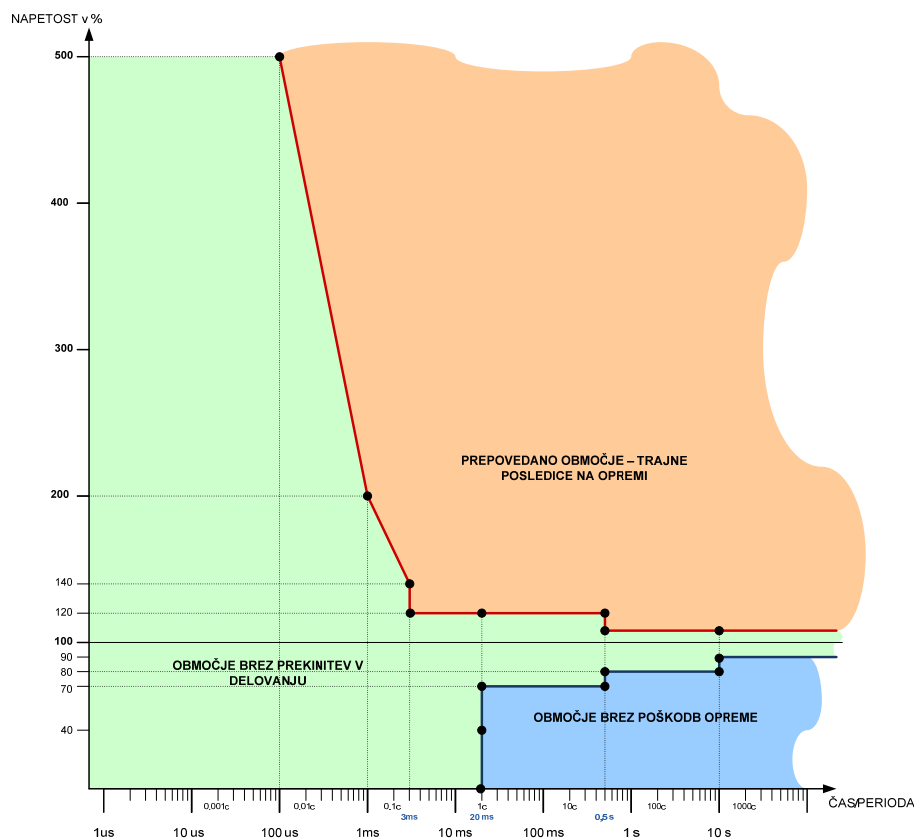
Standard IEEE 446², ki obravnava Priporočeno prakso za rezervno in nujno oskrbo z el. energijo, v svojem tretjem poglavju navaja ključne zahteve zakaj je rezervna in nujna (neprekinjena) oskrba z električno energijo potrebna ter kakšni so sprejemljivi časi izpadov napajanja glede na vrsto opreme. V teh navedbah so dopustni časi za današnje razmere precej ohlapni in težko razumljivi. V podpoglavju 3.8 pa isti standard določa mejne pogoje za neprekinjeno oskrbo z el. energijo glede na poslovne posledice ter škodo, ki lahko nastane zaradi izpadov el. omrežja. In ravno slednja je postala ključni razlog, zakaj je potrebno v sodobnem poslovnem svetu vedno večkrat zagotoviti ne samo rezervno in neprekinjeno oskrbo z el. energijo, temveč visoko zanesljivo oskrbo, kar v tem dokumentu imenujemo brezprekinitveno oskrbo z el. energijo.

Glavni razlog za tako visoke zahteve so seveda posledice, ki jih vsak izpad lahko ima za podjetje oz. organizacijo. Posledice se lahko merijo v neposredni in posredni škodi, lahko pa

² Standard IEEE 446-1999

ovrednotimo tudi tveganje, ki bi mu bil sistem izpostavljen, če bi do izpada prišlo. Najvišje zahteve po visoko zanesljivi oskrbi z el. energijo prihajajo s strani IKT tehnologije in IKT opreme. Posebej pa je IKT tehnologija postala občutljiva na izpade tudi zaradi možnosti izgube podatkov. Vsak kratkotrajni izpad napajanja pomeni ugasnitev strežnikov in pomnilniških sistemov, kar pa lahko pomeni, da bomo izgubili množico podatkov, recimo podatke o stanjih na računih komitentov. Takšne posledice so praktično nesprejemljive, zato so navedeni napajalni sistemi vitalnega pomena za delovanje mnogih organizacij.

Glede na to, da so eni od glavnih in najzahtevnejših porabnikov brezprekinitvenega napajanja naprave IKT tehnologije, sledijo glavne zahteve za ta omrežja iz specifikacij in standardov napajalnih sistemov za naprave v IKT tehnologijah. Osnovne zahteve za napajanje IKT opreme izhajajo iz t.i. CBEMA diagrama (Computer Business Equipment Manufacturers Association). Diagram sprejemljivosti napajalne napetosti je nastal v 70 letih prejšnjega stoletja, kot osnova za razvoj napajalnih elementov za računalniške sisteme ter naprave. V letu 1994 je diagram sprejemljivosti napajalne napetosti prevzel še ITIC (Information Technology Industry Council) in ga leta 2000 dopolnil. Enake zahteve za IKT tehnologijo se zrcalijo tudi v IEEE standardu 446 (Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications). V splošnem so te zahteve bolje poznane kot ITIC diagram. Naveden diagram določa sprejemljive napetostne nivoje na vhodu napajalnika glede na časovno dolžino pojavov oz. motenj napajalne napetosti. ITIC diagram je prikazan na sliki 2.



Slika 2: ITIC diagram sprejemljivosti napetosti na vhodu napajalnika IKT opreme

Če povzamemo, izhajajo ključne zahteve za delovanje brezprekinitvenih napajalnih omrežij in sistemov iz ITIC diagrama, ki določa sprejemljive napetostne nivoje glede na čas in dolžino pojavov na napajalnem omrežju. Te zahteve posledično določajo potrebno razpoložljivost in stabilnost napajalnih virov, potrebne prenapetostne zaščite ter, deloma, potrebne varnostne mehanizme. Zato lahko ključne zahteve za brezprekinitvena omrežja strnemo v naslednje:

- Visoka stopnja razpoložljivosti,
- Odpornost na enkratne in večkratne izpade,
- Kar se da dolgi čas med dvema izpadoma (MTBF) ter kratek čas popravila (MTTR),
- Zagotavljanje ustreznih napetostni nivojev glede na zahteve porabnikov,
- Zagotavljanje ustrezne kvalitete napajalne napetosti na porabnikih.

Poleg navedenih zahtev pa so prisotne tudi druge zahteve, ki so skupne vsem napajalnim omrežjem. Te zahteve so posledica bodi pogojev za zagotavljanje varnega in zanesljivega obratovanja, bodisi zrcalijo posebne lastnosti porabnikov v takšnih omrežjih. Pri tem navedimo le nekatere:

- Energetska učinkovitost virov in naprav,
- Sposobnost vzdrževanja med delovanjem,
- Skalabilnost,
- Zagotavljanje selektivnosti v vseh režimih delovanja,
- Zaščita zdravja in opreme,
- ...

Vsako od zahtev lahko kvantitativno in kvalitativno ovrednotimo ali prevzamemo njeno ovrednotenje iz katerega od veljavnih standardov ali priporočil. Vendar to ni tema tega dela in se s tem v tem dokumentu ne bomo ukvarjali.

2.2 Klasifikacija in ureditev sistemov po Tier standardu

Ameriška organizacija Uptime Institute je prva pričela z določanjem priporočil ali vodil za ureditev IKT infrastrukture glede na njihovo zahtevano razpoložljivost. V okviru priporočil so določena osnovna vodila kako zagotoviti ustrezno oskrbno infrastrukturo glede na zahtevano ali želeno razpoložljivost. Oskrbna infrastruktura računalniških centrov je glede na slednjo razporejena v 4 razrede v skladu s preglednico I.

Preglednica I: Tier klasifikacija po priporočilih Uptime Instituta ZDA

	Razred I	Razred II	Razred III	Razred IV
Redundanca opreme	N	N+1	N+1	2x(N+1)
Napajalne trase	1	1	1 aktivna 1 pasivna	2
Vzdrževanje med delovanjem	Ni zahtevano	Ni zahtevano	da	da

"Single point of failure"	DA	Ponekod	Deloma	brez
Toleranca na izpade	ne	ne	da	da
Omjeitev delovanja zaradi vzdrževanja	2 izklopa daljša od 12 h/leto	3 izklopi daljši od 12h/2 leti	Brez izklopov	Brez izklopov
Downtime	1,2 izpada preko 4 ure /leto	2 izpada preko 4 ure/2leti	2 izpada preko 4 ure/5 let	1 izpad preko 4 ure/5 let
Skupni letni DT	do 28 h	do 22 h	do 1,6 h	do 0,8 h
Razpoložljivost	do 99,671%	do 99,749%	do 99.982%	do 99,991%

Tier klasifikacija določa 4 razrede oskrbne infrastrukture celovitih sistemov, kamor poleg napajalnih sodijo še drugi sistemi. Vendar se tu omejujemo na napajalne sisteme. Glede na zahteve za posamezen razred po Tier klasifikaciji, lahko izpeljemo tudi zahteve in izhodišča za napajalne sisteme oz. omrežja. Predstavljene so v preglednici II.

Preglednica II: Izpeljane zahteve do napajalnih sistemov, skladnih s Tier klasifikacijo

Razred po Tier priporočilih	Tier I	Tier II	Tier III	Tier IV
Število mrežnih virov	Eden	Eden	Eden	Dva neodvisna
Redundanca komponent sistema	N (ni redundance)	N+1	N+1	Minimalno N+N
Neodvisne distribucijske poti	1	1	1 aktivna in 1 pasivna	2 simultano aktivni
Notranja delitev stikalnih blokov 4B	NE	NE	NE	DA (vsaj izvlečljivi odklopniki)
Vzdrževanje med delovanjem	NE	NE	DA	DA
Odpornost na izpade	NE	NE	Enkratni	Večkratni
Vpliv na porabnike	Kakršen koli izpad ali načrtovan poseg vpliva na porabnike	Izpad sistema lahko vpliva na porabnike, izpad na distribuciji vpliva na porabnike	Odpornost na enkratne izpade	Noben najhujši izpad posameznega sistema ne vpliva na porabnike, velika večina dvakratnih izpadov ne vpliva na porabnike

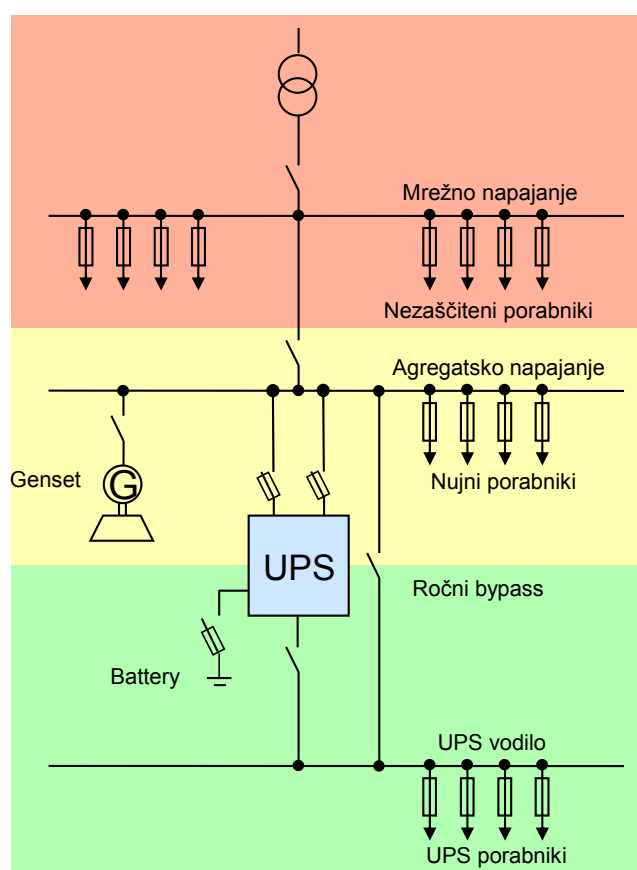
3. ARHITEKTURE BREZPREKINITVENIH NAPAVALNIH SISTEMOV

Ključni elementi za doseganje visoke razpoložljivosti in zanesljivosti je prvenstveno arhitektura izbrane tehnične rešitve. Poleg tega pa na skupno razpoložljivost in zanesljivost vplivajo še izbrane naprave napajalnega sistema, izvedba stikalnih blokov, čas, ki je potreben

za popravilo bodisi naprav ali stikalnih blokov ter seveda morebitni izredni vplivi okolja. Zato je s stališča načrtovanja in izvedbe visoko zanesljivih napajalnih sistemov, ki smo jih poimenovali brezprekinitveni sistemi oz. omrežja, ključnega pomena izbira primerne arhitekture. Le ta določa razpoložljivost sistema, na drugi strani pa določa tudi višino investicije in ostale funkcionalnosti napajalnega sistema. V splošnem tipične arhitekture sledijo zahtevam iz Tier klasifikacije, zato v praksi uporabljamo približke ene od štirih osnovnih arhitektur v skladu z navedeno klasifikacijo.

3.1 Arhitektura napajalnega sistema, skladna s Tier I

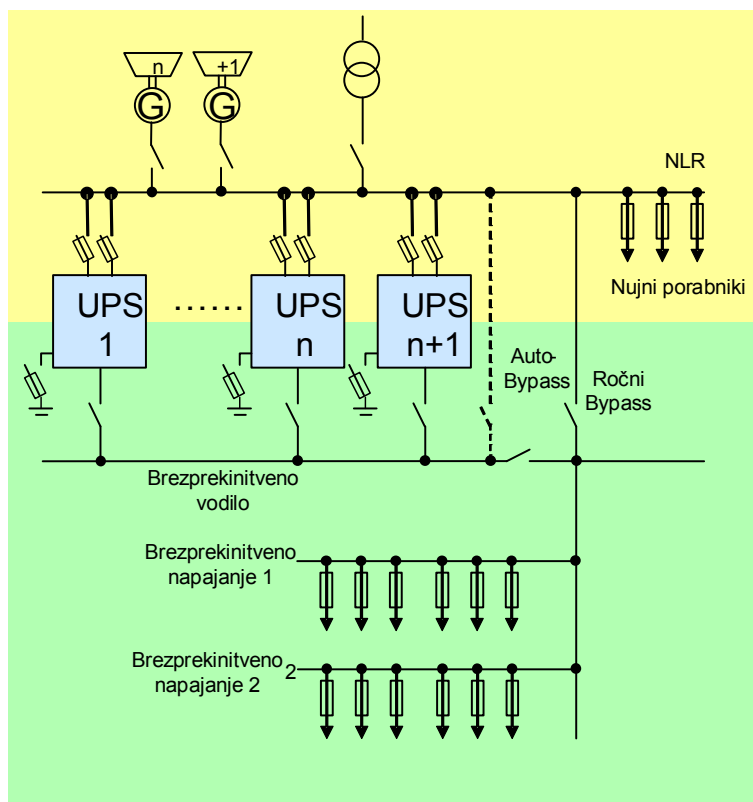
V arhitekturi, skladni s Tier I, še ne moremo govoriti o brezprekinitvenem napajanju, saj gre v osnovi za sistem z neprekinjenim napajalnim sistemom. To pomeni, da je sistem zasnovan z enojnimi napravami, brez vgrajene redundance. Zagotavlja sicer odpornost na izpade napajanja na mrežnem dovodu, vendar ni nikakršne odpornosti na izpade na samih napravah in sistemih v celotnem omrežju. Vzdrževanje med delovanjem je neizvedljivo ali pa zmanjša funkcionalnost celotnega napajalnega sistema. Arhitektura napajalnega sistema, skladna s Tier I, je prikazana na sliki 3.



Slika 3: Arhitektura napajalnega sistema, skladna s Tier I

3.2 Arhitektura napajalnega sistema, skladna s Tier II

V arhitekturi, skladni s Tier II, že govorimo o brezprekinitvenem napajalnem sistemu ali omrežju. Ključni element napajalnega sistema so UPS sistemi, ki so v tej arhitekturi že podvojeni oz. redundantni po sistemu N+1. To pomeni, da je vezanih v paralelno delovanje več sistemov, od katerih je eden namenjen zagotavljanju redundance. Takšen napajalni sistem zagotavlja odpornost na izpade napajanja na mrežnem dovodu ter delno odpornost na izpade posameznih naprav (UPS sistemov). Kljub temu je skupna razpoložljivost sistema najboljša pri dveh vzporednih enotah (1+1 redundanca) in pada s številom vzporedno vezanih enot. Posebno problematiko predstavlja napaka – kratek stik na izhodnem sistemu ene UPS naprave, saj običajno pomeni izpad vseh paralelno vezanih naprav. Tudi napajalne trase in razdelilni sistemi niso podvojeni. Celotna arhitektura je tako deloma odporna na enkratne izpade, mogoče je tudi vzdrževanje med delovanjem. Arhitektura napajalnega sistema, skladna s Tier II, je prikazana na sliki 4.

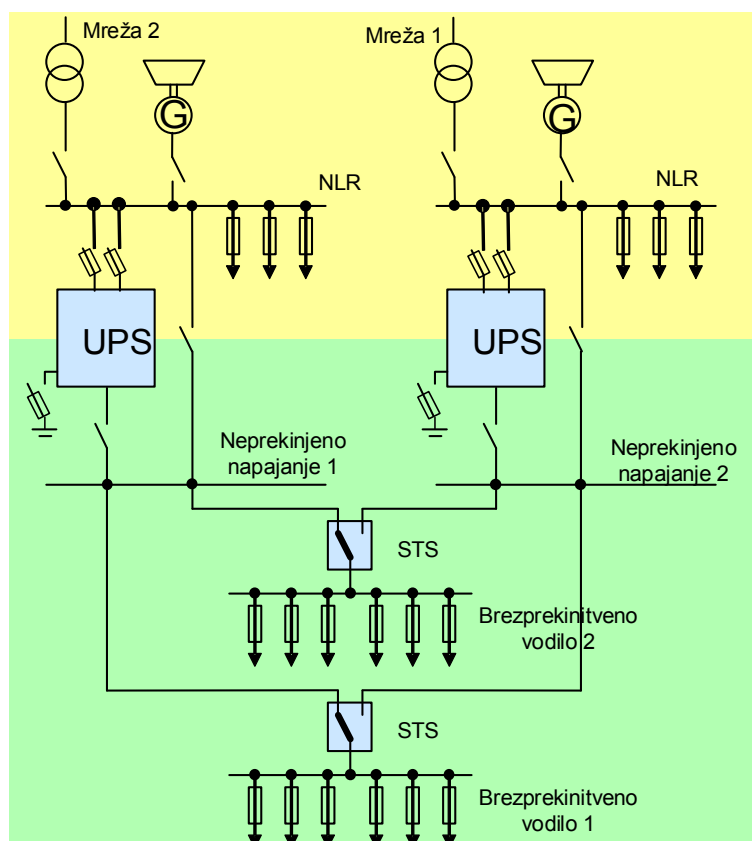


Slika 4: Arhitektura napajalnega sistema, skladna s Tier II

3.3 Arhitektura napajalnega sistema, skladna s Tier III

V arhitekturi, skladni s Tier III govorimo o celovitem brezprekinitvenem napajalnem sistemu. Vsi sistemi in naprave so redundantni po načelu N+N, v naših velikostnih razredih običajno 1+1. Podvojene so tudi distribucijske poti in razdelilni sistemi. Zahtevajo se redundantni napajalniki na porabnikih ali STS sistemi pri porabnikih. Takšen sistem zagotavlja odpornost na izpade napajanja na mrežnem dovodu ter odpornost na enkratne

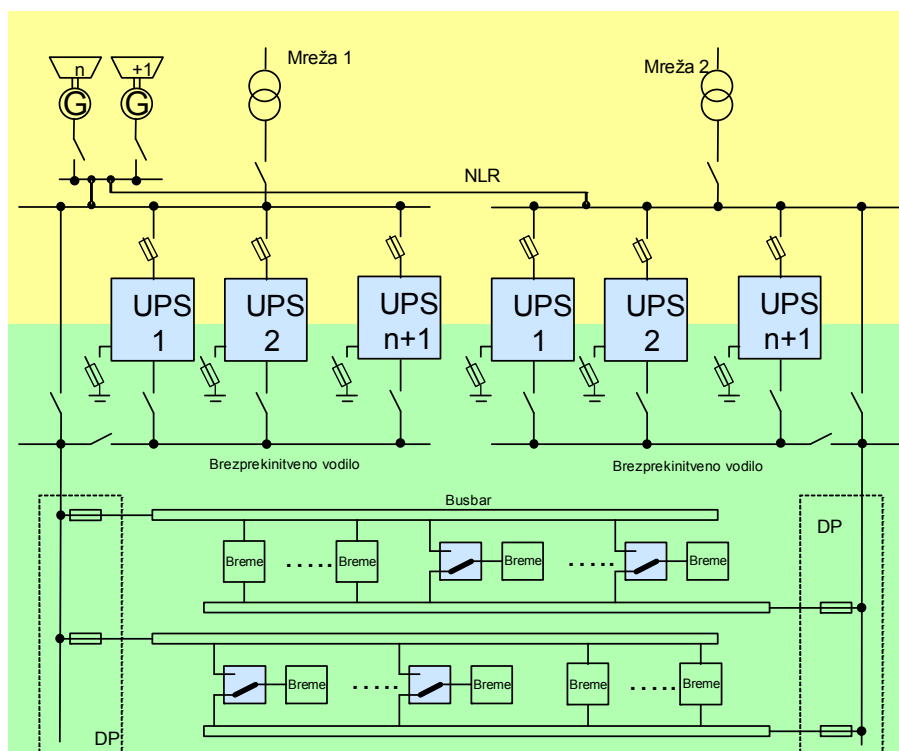
izpade naprav ali delov sistemov. Mogoče je popolno vzdrževanje sistema in tudi zamenjava posameznih delov sistema brez prekinitve napajanja na porabnikih. Arhitektura napajalnega sistema, skladna s Tier III, je prikazana na sliki 5.



Slika 5: Arhitektura napajalnega sistema, skladna s Tier III

3.4 Arhitektura napajalnega sistema, skladna s Tier IV

Najvišja stopnja brezprekinitvenega napajanja je izvedena v skladu z zahtevami Tier IV. V temu prilagojeni arhitekturi so vsi deli podvojeni, izvedeni po principu N+N redundance z hkratnim paralelnim delovanjem vseh sistemov. Podvojene so vse vmesne povezave in distribucijske poti ter razdelilni sistemi. Porabniki morajo biti opremljeni z redundantni napajalniki, pred njimi so predvidena centralna ali lokalna STS stikala na porabnikih. Takšen sistem zagotavlja odpornost na izpade napajanja na mrežnem dovodu, odpornost na vse enkratne ter veliko večino dvakratnih ali večkratnih izpadov naprav ali delov sistemov. Mogoče je popolno vzdrževanje sistema in zamenjava posameznih delov in naprav sistema brez prekinitve napajanja na porabnikih. Arhitektura napajalnega sistema, skladna s Tier IV, je prikazana na sliki 6.



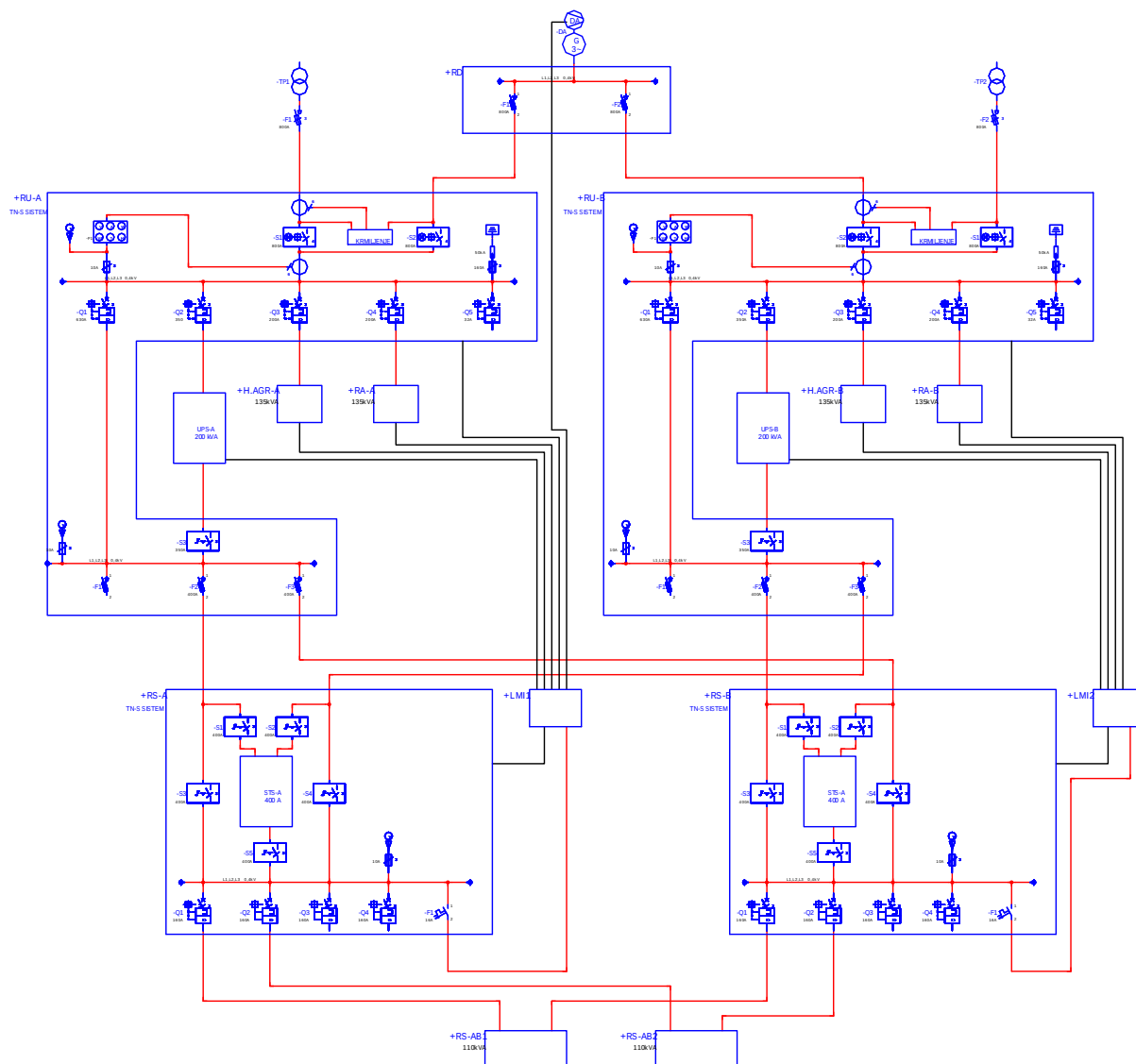
Slika 6: Arhitektura napajalnega sistema, skladna s Tier IV

4. ZAKLJUČEK

Sodobno življenje ter življenjski tempo, zagotavljanje storitev ter varnosti ljudi in premoženja od inženirjev terjajo, da za naprave IKT tehnologije zagotovimo kar se da zanesljive napajalne sisteme. Takšni sistemi omogočajo delovanje velike večine sodobnih informacijskih in telekomunikacijskih storitev, pa tudi storitev vodenja in nadzora različnih objektov, kot so kontrola zračnega prostora in prometa ipd. Zato se pri snovanju takšnih napajalnih sistemov srečujemo z zahtevami po izjemno visoki zanesljivosti in razpoložljivosti. Iz tega je nastala nova vrsta napajalnih sistemov, kjer ni dovolj le premoščanje izpadov na mrežnem napajanju, temveč moramo izvesti in zagotoviti odpornost na različne izpade naprav in sistemov. V pomoč načrtovalcem so usmeritve in priporočila organizacije Uptime Institute, ki oskrbno infrastrukturo, tudi napajalne sisteme, delijo v štiri razrede. S to delitvijo določajo tudi ključne lastnosti, ki jih za posamezen razred ta infrastruktura mora imeti. Z implementacijo teh lastnosti v prakso lahko povzamemo ali določimo referenčne arhitekture napajalnih sistemov glede na ciljne razpoložljivosti in zanesljivosti, kot jih določa t.i. Tier klasifikacija.

V praksi se srečujemo s prilagojenimi arhitekturami, ki praktično nikoli niso neposredno zrcaljene iz po Tier klasifikaciji priporočenih. Primer takšne arhitekture, ki je povzeta po eni zadnjih rešitev za takšen napajalni sistem, je na sliki 7. V njej se zrcalijo osnovne zahteve iz Tier klasifikacije, obenem pa upošteva tudi lokalne posebnosti glede na okolje v katerem se

nahaja, potrebne velikostne razrede naprav ter ostale zahteve, ki so specifične za konkreten projekt.



Slika 7: Arhitektura napajalnega sistema, skladna s Tier III-IV, primer iz prakse

5. VIRI, LITERATURA

- [1] CIBSE, "Electricity in buildings CIBSE Guide K", London, CIBSE Publications 2004.
- [2] EGSA, "On-Site Power Generation", A reference Book. EGSA 2002.
- [3] Habel D., "Concepts for Power Supply of modern datacenters", Piller IRM 2007.
- [4] IEEE, "IEEE 446-2000. Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications" IEEE Press 2000.

- [5] Gnan J.W., "Emergency and standby power systems", EngineerEducator 2010.
- [6] SODO d.o.o., "Minimalni standard kakovosti", SODO d.o.o. 2013.
- [7] Pitt Turner W. IV, Seader H. J., Renaud V., Brill G. K., "Tier classification define site infrastructure performance", White paper, Uptime Institute 2008.