

# BEZBATERIOVÉ ZÁLOŽNÍ ZDROJE PRO OBJEKTY DOPRAVNÍ INFRASTRUKTURY

## NON-BATTERY BACKUP POWER SUPPLY FOR TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE FACILITIES

KAREL KUČTA

### ÚVOD

V minulém roce se čtenáři mohli seznámit s technologií dálničního tunelu Klimkovice včetně energetické části. Zabezpečené napájení elektrickou energií tunelu je předmětem tohoto článku.

### SPECIFICKÉ POŽADAVKY NA NAPÁJENÍ ELEKTRICKOU ENERGIÍ U DÁLNIČNÍCH TUNELŮ

Dálniční tunely patří do kritické infrastruktury, definované Bezpečnostní radou ČR v roce 2002. Pro zabezpečení dodávky elektrické energie v objektech kritické infrastruktury se používá kombinace krátkodobého a dlouhodobého záložního zdroje elektrické energie, pro kterou se používá termín *energocentrum*.

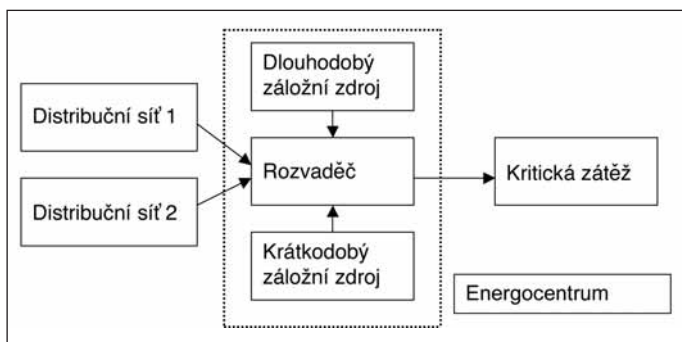
Dálniční tunely musí být realizovány v souladu s TP 98, kde je jednoznačný požadavek na napájení technologie tunelu ze dvou nezávislých zdrojů v prvním stupni jistění. V praxi to znamená, že napájení tunelu musí být realizováno ze dvou nezávislých rozveden na úrovni 110 kV a vyšší. Pokud tento požadavek nelze splnit (což je i případ tunelu Klimkovice, kde jsou sice dva přívozy 22 kV, ale z jedné rozvodny 110 kV), musí být tunel vybaven záložním zdrojem – energocentrem. Výsledné uspořádání je na obr. 1.

Z požadavku na dlouhodobou nezávislost objektu na dodávce elektrické energie z veřejné sítě vyplývá dominantní role dlouhodobého záložního zdroje v energocentru. Typickým dlouhodobým záložním zdrojem, který asi nebude v dohledné době nahrazen, je dieselgenerátor. Je to spolehlivý stroj s jednoduchou údržbou a s možností doplňování palivové nádrže za provozu. Moderní konstrukce a elektronické řízení zajišťují i splnění stále přísnějších emisních limitů při rozumné míře spotřeby paliva. Jeho jediný handicap, a sice schopnost dodávat energii až po několika sekundách po startu, kompenzuje krátkodobý záložní zdroj, který pracuje on-line a má takovou kapacitu, aby zabezpečil napájení zátěže s dostatečnou rezervou do té doby, než je dieselgenerátor schopen zátěž převzít sám.

### AKUMULÁTOROVÉ UPS

Jako akumulátor energie v krátkodobém záložním zdroji (obvykle nazývaném UPS – Uninterruptible Power Source) byly používány olověné baterie.

Olověné akumulátory se právě v objektech dopravní infrastruktury (železniční i silniční) v minulosti používaly i jako dlouhodobý zdroj elektrické energie. Akumulátorová sada o potřebné kapacitě byla, a stále je ve výbavě většiny železničních stanic. Najdeme je i v elektrárnách a v dalších provozech.



Obr. 1 Energocentrum

### INTRODUCTION

Last year, readers could get acquainted with the equipment of the Klimkovice tunnel, including electrical installations and the power supply system. The power supply system is the topic of this paper.

### SPECIFIC REQUIREMENTS FOR MOTORWAY TUNNEL POWER SUPPLIES

Motorway tunnels belong in the critical infrastructure which was defined by the National Safety Council of the Czech Republic in 2002. A combination of short-term and long-term backup power sources, which is termed energocentre, is used to secure power supplies in facilities of the critical infrastructure.

Motorway tunnels must be carried out in compliance with TP98 specifications, where there is an unambiguous requirement for supplying tunnel equipment from two independent sources, providing the first degree protection. In practice, this means that the tunnel must be supplied from two independent substations at the 110kV level or higher. If this requirement cannot be met (which is the case of the Klimkovice tunnel, where there are two 22kV feeders but both of them come from one 110kV substation), the tunnel must be equipped with a backup source – an energocentre. The resulting arrangement is shown in Fig. 1.

It follows from the requirement for long-term independence of the facility on power supplies from public network that the role of a long-term backup source in the energocentre is crucial. A diesel generating set is a typical long-term backup power source, which probably is not going to be replaced in the foreseeable future. It is a reliable machine, simple to maintain, allowing fuelling up under the machine operation. A modern design and electronic control are a guarantee that the ever stricter emission limits will be complied with, whilst the fuel consumption rate will remain reasonable. The only handicap of the machine is its ability to start to supply power only several seconds after the start up; it is compensated for by a short-term backup source, which operates on-line and the capacity of which is sufficient to guarantee the power supply for the equipment with a sufficient margin till the moment when the diesel generating set is capable of taking the load by itself.

### ACCUMULATOR-BASED UPS

Lead batteries were used as power accumulators in the short-term backup source set (usually called the UPS - Uninterruptible Power Source).

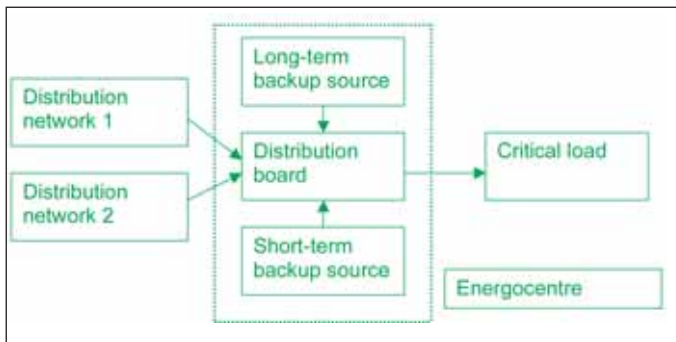
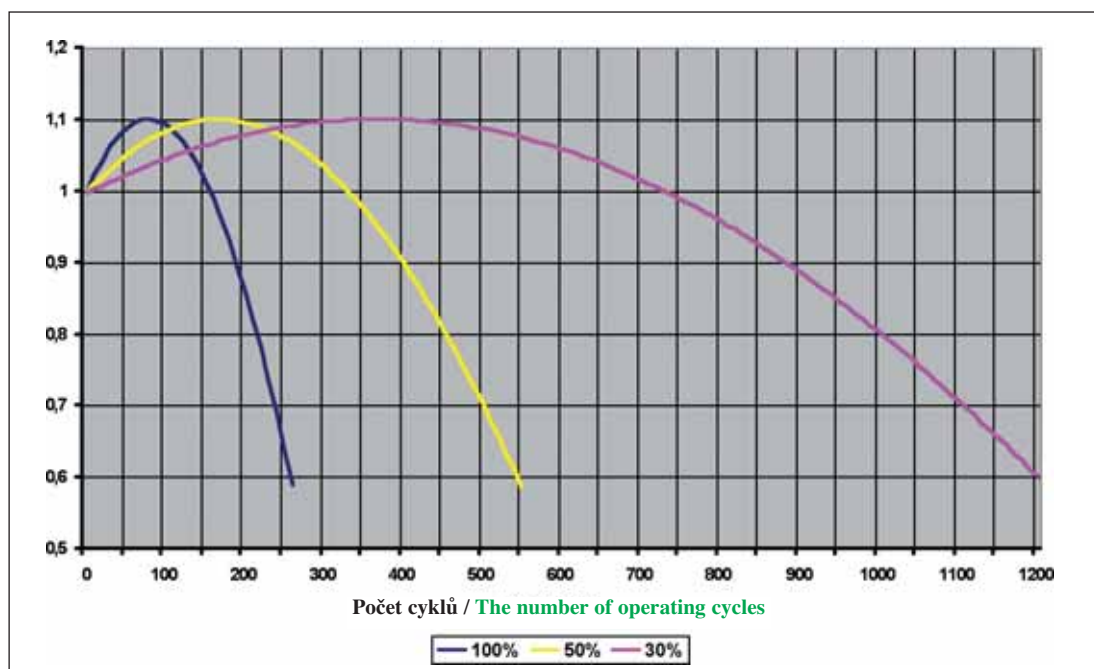


Fig. 1 Energocentre



Obr. 2 Závislost kapacity baterie na počtu provozních cyklů (graf je převzat z katalogu firmy Yuntong Power, obdobné charakteristiky udává většina výrobců)

Fig. 2 Dependency of the battery capacity on the number of operating cycles (the graph was borrowed from Yuntong Power catalogue, similar characteristics are offered by the majority of manufacturers)

Spolehlivostní analýzy, které se pro zabezpečené napájení objektů kritické infrastruktury zpracovávají, vedou k jednoznačnému závěru: kritickým prvkem energocentra z hlediska spolehlivosti jsou baterie, a to nejen ve zdroji UPS nebo ve staničním uspořádání, ale i startovací baterie dieselgenerátoru.

Shrňme krátce hlavní nevýhody baterií:

- Mají omezenou životnost, udávanou nejen časově (tři, pět, případně deset let), ale také počtem provozních cyklů vybití/nabití. Na obr. 2 je typická závislost kapacity baterie na počtu provozních cyklů s ohledem na hloubku vybití. Z obrázku vyplývá, jak je nebezpečné vybití baterie „na doraz“.
- Životnost baterie má určitou analogii s provozem osobního automobilu, kdy se preventivní servisní prohlídka realizuje po ujetí určitého počtu km nebo za určitý čas – podle toho, co nastane dříve.
- Baterie tvoří nejtěžší, nejrozměnější a nejdražší součást energocentra.
- Řazení článků do série (napětí DC meziobvodu je cca 400 V a skládáme je ze 2 V článků) je z hlediska provozní spolehlivosti velmi citlivé. Porucha jednoho článku způsobí kolaps celého řetězce, a tedy i zdroje UPS.
- Vnitřní stav baterie lze obtížně diagnostikovat. Systémy pro kontrolu jednotlivých článků udávají stav baterie v daném okamžiku bez predikce dalšího vývoje. Navíc tyto systémy zvyšují cenu zařízení.
- Po skončení životnosti baterií je problémem jejich ekologická likvidace. Technologie pro likvidaci použitých baterií jsou známy, ale náklady na likvidaci se promítají do provozních nákladů.
- Baterie pro svůj provoz potřebují prostředí s konstantní teplotou 20–22 °C, jinak jejich životnost prudce klesá, viz obr. 3. Pro jejich provoz je nutná klimatizace, která výrazně snižuje již tak nízkou účinnost zdrojů UPS.

## BEZBATERIOVÉ – ROTAČNÍ – UPS

Rotační UPS představují alternativu krátkodobého záložního zdroje, kde akumulátorem energie je roztočený setrvačnick. Kvůli výše uvedeným nedostatkům akumulátorových UPS se již v minulosti u kritických aplikací používaly mechanické záložní zdroje elektrické energie (no-break systémy). Spolehlivé, ale rozměrné a těžké nízkotáčkové stroje měly však omezené možnosti použití.

S nástupem moderních technologií bylo možné tyto stroje „odlehčit“, vybavit elektronikou a vstoupit s nimi do nového tisíciletí.

## BEZBATERIOVÉ NAPÁJECÍ SYSTÉMY

Představitelem těchto řešení je právě energocentrum NZ2®, použité k napájení technologie tunelů na dálnicích D8 a D47.

Lead accumulators used to be used in the past in transportation infrastructure facilities (railways and roads) even as long-term power sources. Adequate capacity accumulator sets have still been parts of equipment of most of railway stations. We can find them even in power stations and other plants.

The reliability analyses on safe power supplies which have been carried out for critical infrastructure facilities have led to an unambiguous conclusion: batteries are the critical element of an energocentre in terms of reliability, not only batteries in a UPS source or in a station set, but also starter batteries in a diesel generating set.

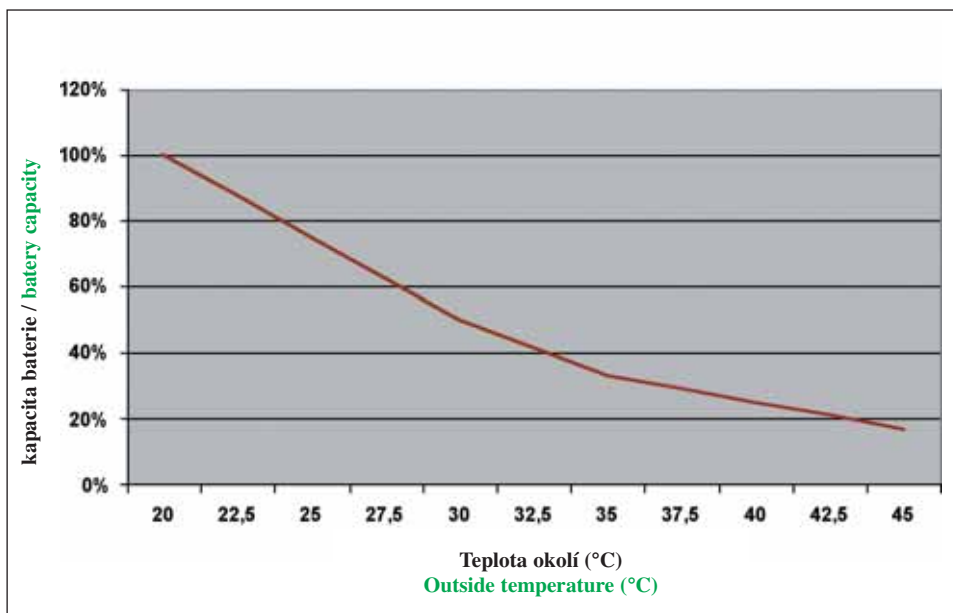
Let us summarise the main set-backs of batteries:

- Their life-span, which is denoted not only in terms of time (three, five or ten years) but also by means of the number of charge/discharge operating cycles, is limited. Fig. 2 shows a typical dependence of battery capacity on the number of operating cycles, taking into consideration the degree of battery discharge. It follows from the picture how much the complete discharging of batteries is dangerous.
- There is a certain analogy between the battery life-span and the operation of a car, where a preventive service examination is carried out when a certain mileage or a certain time has passed, whichever case comes first.
- Batteries form the heaviest, most sizeable and most expensive part of the energocentre.
- The serial arrangement of cells (DC voltage in an intermediate circuit is about 400V; it is assembled from 2V cells) is very sensitive in terms of operational reliability. A failure of one cell causes a collapse of the entire chain, thus also of the UPS source.
- Internal condition of a battery is hard to diagnose. Systems for control of individual cells indicate the current condition of a battery, without prediction of the further development. In addition, these systems increase the cost of the equipment.
- Environmentally friendly disposal of batteries at the end of their life-time poses a problem. Technologies for disposal of used batteries are known, but the cost of the disposal is projected into operating costs.
- Batteries need to be operated in a constant temperature environment (20-22°C), otherwise their life-span steeply diminishes (see Fig. 3). Air conditioning, which is necessary for the operation, significantly reduces the inherently low efficiency of UPS sources.

## NON-BATTERY (ROTATION) UPS SYSTEMS

Rotation UPSs represent an alternative of a short-term power source, where a rotating fly-wheel acts as the power accumulator. Because of the above-mentioned drawbacks of accumulator-based UPSs, mechanical backup power sources (no-break systems) were used for critical applications even in the past. However, the possibilities to use the reliable, but sizeable and heavy, low speed machines were limited.

With the onset of modern technologies, it has become possible to make these machines “lighter”, equip them with electronics and enter the new millennium with them.



Obr. 3 Závislost kapacity baterie na teplotě okolí (zdroj: Elektrotechnický magazín 6/2008)

Fig. 3 Dependency of the battery capacity on the ambient temperature (source: Elektrotechnický magazín 6/2008)

Principiální schéma energocentra NZ<sup>2</sup>® je na obr. 4. Pokud je energetická síť v pořádku, prochází energie ze sítě přímo do zátěže. Současně je přes AC/AC měnič napájen setrvačnick. Setrvačnick je v podstatě elektrický točivý stroj, který je v normální situaci v motorovém režimu a je udržován na jmenovitých otáčkách 7700 ot/min. Vzhledem k minimalizaci ztrát je rotor uložen ve vakuu a namísto zavěšení v ložiscích je nadnášen magnetickým polem statoru. Setrvačnick, spolu s měničem AC/AC, vakuovou pumpou a dalšími obvody, je umístěn v Modulu nepřetržitého napájení (MNN – někdy nesprávně nazývaný RUPS).

V okamžiku ztráty napětí v síti je napájení zátěže okamžitě zajištěno ze setrvačnicku, který v té chvíli změnil svůj pracovní režim na generátorový. Napětí ze statoru setrvačnicku je měničem AC/AC transformováno na požadovanou úroveň 3x400 V/50 Hz.

Statisticky je dokázáno, že 96–98 % všech výpadků elektrické energie skončí do 2 sekund. Jsou to veškeré krátkodobé poruchy a technologické výpadky v přenosové síti, způsobené přepojováním linek VVN, a které v dílci energetického zákona č. 458 / 2000 Sb. a navazujících předpisů vlastně poruchami nejsou (i když jejich vliv na provoz většiny technologií může být fatální). Z tohoto důvodu se provoz energocentra NZ<sup>2</sup>® v prvních sekundách výpadku nemění, a pokud dojde k obnovení dodávky elektrické energie, je zátěž dále napájena ze sítě a setrvačnick je přes AC/AC měnič „dobit“ na jmenovité otáčky.

Trvá-li výpadek v síti déle (lze programově zvolit čas např. 2 sekundy, nebo stupeň poklesu vybití setrvačnicku např. na 80 %), je vydán impuls ke startu dieselgenerátoru. Diagnostický systém vyhodnotí, zda došlo k nárůstu otáček z nulové hodnoty. Pokud se tak nestane, je to v naprosté většině případů z důvodu poruchy startovací baterie. Proto energocentrum umožňuje náhradní start dieselgenerátoru provést přímo ze setrvačnicku. Dieselgenerátor během 3–6 sekund dosáhne jmenovité otáčky a provede se synchronizace jeho výstupního napětí s napětím na zátěži.

Po synchronizaci napětí dojde během několika vteřin k převzetí zátěže dieselgenerátorem. Zároveň je přes AC/AC měnič znovu roztáčen setrvačnick na jmenovité otáčky. Energocentrum NZ<sup>2</sup>® je připraveno k zabezpečení spotřebičů při dalším výpadku rozvodné sítě.

## ŘEŠENÍ PROVOZNÍ SPOLEHLIVOSTI ENERGOCENTER

Jak již bylo uvedeno, součástí projektů energocenter u kritických aplikací je spolehlivostní analýza. Protože energocentra nepatří mezi výrobky, kde lze zpracovávat přesné statistiky (energocenter NZ<sup>2</sup>® je v současné době instalováno asi 50), byl pro analýzu spolehlivosti zpracován matematický model a metodou Markovovských řetězců byla řešena pravděpodobnost různých stavů energocentra.

Většina dodavatelů energocenter uvádí provozní spolehlivost prostřednictvím parametru dostupnost (A), v jednodušších aplikacích pak formou parametru MTBF (střední doba mezi poruchami). Ani jeden

## NON-BATTERY POWER SUPPLY SYSTEMS

Energocentre NZ<sup>2</sup>®, which has been used for supplying tunnel equipment on the D8 and D47 motorways, is a representative of this technology.

A principal chart of the Energocentre NZ<sup>2</sup>® is shown in Fig. 4. If the electrical network is in order, energy passes directly from the network to the equipment. At the same time, a flywheel is supplied via an AC to AC converter. The flywheel is, in substance, an electric rotary machine, which is in a motor regime under normal conditions, and is maintained rotating at a nominal speed of 7700 rev/min. With the aim of minimising losses, the rotor is in a vacuum and levitates in a magnetic field generated by the stator, instead of being suspended on bearings. The flywheel together with the AC to AC converter, a vacuum pump and other circuits are installed in the Uninterruptible Power Supply Module (sometimes incorrectly referred to as the Rotation UPS).

At the moment when the voltage in the network drops, the power supply for equipment is instantaneously provided from the flywheel, which, at that moment, switches its operating regime to power generation. The voltage from the flywheel stator is converted by the AC to AC converter to the required 3x400V/50Hz level.

It has been statistically proved that 96–98 % of all power failures are over within 2 seconds. They comprise all short-term breaks and technological failures within the transmission network caused by EHV line switching. As a matter of fact, these breaks and failures are not failures in the meaning of the Energy Law No. 458/2000 Coll. and related regulations (even though their impact on operation of the majority of equipment may be fatal). For that reason the operation of the Energocentre NZ<sup>2</sup>® does not change during the initial seconds of a failure and, if the power supply is resumed, power for equipment is further supplied from the network; the flywheel is “recharged” to the nominal speed via the AC to AC converter.

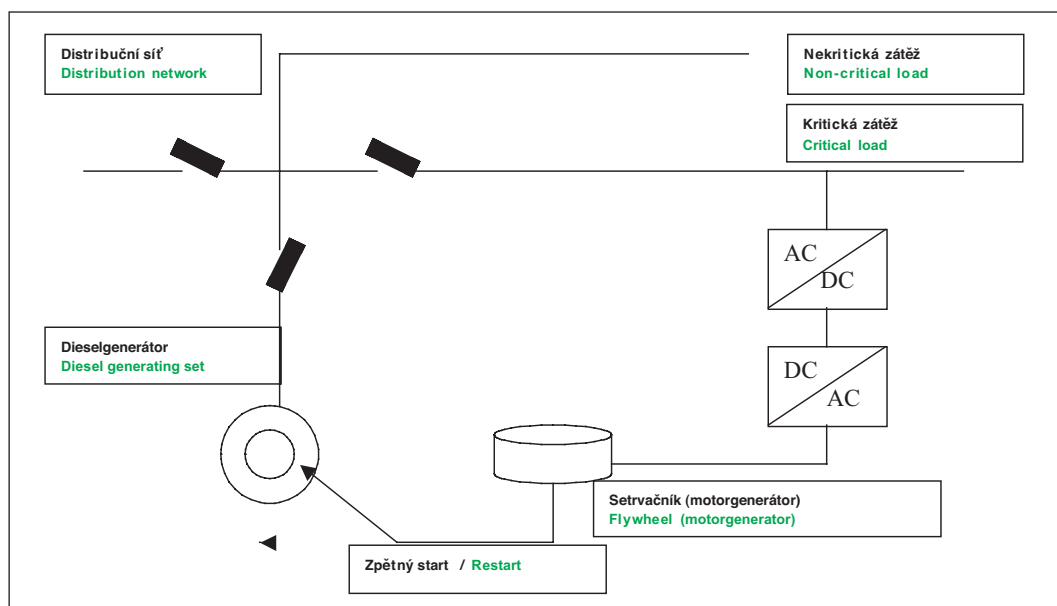
If the network failure takes longer (it is possible to programme the time for e.g. 2 seconds, or the degree of the “discharge” of the flywheel e.g. to 80 %), an impulse to start up is sent to the diesel generating set. A diagnostic system analyses whether the speed rose from zero. If this does not happen, it is so, in the absolute majority of cases, a result of a failure of the starting battery. For that reason, the Energocentre allows a substitute start to be carried out directly from the flywheel. The diesel generating set reaches the nominal speed within 3 – 6 seconds and the output voltage is synchronised with the voltage supplied to the equipment.

After the voltage synchronisation, the diesel generating set takes over the load within several seconds. At the same time, the flywheel starts again to rotate to achieve the nominal speed. The Energocentre NZ<sup>2</sup>® is prepared to supply power to the equipment during another failure of the distribution network.

## SOLUTION TO OPERATING RELIABILITY OF ENERGOCENTRES

As mentioned above, a reliability analysis is part of designs for energocentres in cases of critical applications. Because energocentres do not belong among the products for which exact statistics can be carried out (currently there are about 50 Energocentres NZ<sup>2</sup>® in operation), a mathematical model was developed for the reliability analysis, and the probabilities of various states of the Energocentre was solved by the Markov chain method.

The majority of energocentre suppliers present the operating reliability by means of an availability parameter (A), for simpler applications mostly in the form of the MTBF parameter (Mean Time Between Failures). Neither of these parameters describes operating reliability unambiguously. Regarding the availability



Obr. 4 Principiální schéma energocentra NZ2®

Fig. 4 Block diagram of Energocentre NZ2®

z těchto parametrů nepopisuje provozní spolehlivost jednoznačně. V případě dostupnosti se jedná pouze o poměrnou veličinu (která sice velmi přesně popisuje opravitelnost systému, ale je v čase konstantní), parametr MTBF zase nelze použít pro opravované systémy. Ukazuje se, že pro komplexní posouzení provozní spolehlivosti je třeba použít spolehlivostní funkci  $R(t)$  ve spojení s dostupností. Tato funkce má v čase  $t=0$  hodnotu 1 a s časem její hodnota klesá (u elektrotechnických systémů obvykle podle exponenciálního rozdělení). Spolehlivostní funkce  $R(t)$  tak jednoznačně definuje spolehlivost (jistotu bezporuchového provozu) pro konkrétní časový okamžik a zároveň míru jistoty udržení zařízení v provozu.

Spolehlivostní analýzy energocentra NZ2® přinesly následující závěry:

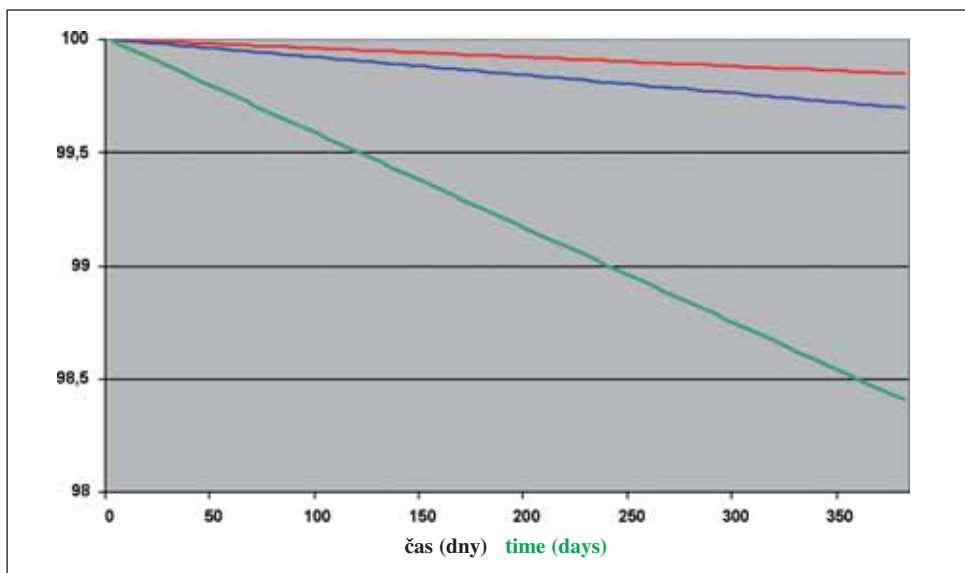
- Klíčovým zařízením v energocentru je dieselgenerátor. Na jeho schopnosti nastartovat a dodávat energii do zátěže závisí funkce celého energocentra. Proto je třeba při projektu energocentra volit kvalitní a osvědčené výrobky. Při konstrukci energocentra lze dělat vždy nějaké kompromisy, např. při volbě rozvaděčů, kontejnerů, komunikačních systémů atd. Volba dieselgenerátoru by ale měla být bez kompromisů.
- Pro garanci schopnosti startu dieselgenerátoru je velmi důležitý obvod zpětného startu. Spolehlivostní analýzy prokázaly, že tento redundantní zdroj energie pro startér, postavený na odlišné technologii než původní chemická baterie, zvyšuje provozní spolehlivost přibližně o jeden řád.
- Další možnou příčinou selhání dieselgenerátoru je nízká hladina paliva ve vstřikovacím systému dieselgenerátoru při jeho delší nečinnosti. Tato příčina je eliminována instalací čerpadla, které v pravidelných intervalech dočerpává palivo z nádrže do motoru.
- Skutečnost, že ke startu dieselgenerátoru dochází při každém delším výpadku elektrické energie, znamená, že ke změně schématu (a tedy k přepínání kontaktních prvků) dochází tak často, jak časté jsou výpadky. Opotřebenění těchto kontaktních prvků tedy závisí i na spolehlivosti sítě v dané lokalitě. Naštěstí většina kvalitních dodavatelů garantuje životnost spínacích prvků v desítkách tisíc sepnutí a v průběhu technické životnosti energocentra (20 let) k jejich výměně nedochází. Ve výpočtu spolehlivosti se ale tato skutečnost projevuje. Proto je při spolehlivostní analýze nutno znát stav sítě v místě instalace. Dodavatel elektrické energie je povinen podle již zmíněného energetického zákona tyto údaje poskytnout.
- Na spolehlivý provoz energocentra má vliv i činnost dalších navazujících systémů. Energoentrum je součástí velmi rozsáhlého technologického systému, a je-li autonomnost funkce energocentra potlačena, může při poruše řídicích systémů tunelu dojít i k výpadku napájení. Při uvádění do provozu je nutné ověřit chování systému ve všech možných provozních stavech, aby se předešlo nečekaným událostem za běžného provozu.

parameter, it is only a relative quantity (which, on the one hand, describes very exactly the reparability of the system, on the other hand, is constant during the time); in contrast, the MTBF parameter cannot be used for systems being repaired. It has turned out that the reliability function  $R(t)$  must be used in combination with the availability to arrive at a comprehensive assessment of the operating reliability. This function has the value of 1 at the time  $t=0$ , and this value decreases with time (in the case of electrotechnical systems usually following an exponential distribution). Thus the reliability function  $R(t)$  unambiguously defines reliability (the certainty of a failure-free operation) for a particular moment and, at the same time, defines the ratio of

certainty that the equipment will be maintained operating.

The reliability analyses of the Energocentre NZ2® yielded the following conclusions:

- The critical facility in an energocentre is a diesel generating set. The functioning of the whole energocentre depends on its capability to get started and supply power. This is why it is necessary when an energocentre is being designed to choose well-tried, good quality trademarks and not to be lured by significantly lower prices offered by some manufacturers. When an energocentre is to be reconstructed, it is always possible to make some compromises, for example when selecting distribution boards, containers, communications systems etc. Nevertheless, the selection of a diesel generating set should always be without compromises.
- The restart circuit is very important in terms of guaranteeing the ability of the diesel generating set to be started. Reliability analyses proved that this redundant source of power for the starter, which is based on a technology differing from the original chemical battery, increases the operating reliability roughly by one order.
- Another possible cause of a diesel generating set failure is a low level of fuel in the diesel generating set injection system during a longer standstill period. This cause is eliminated by installing a pump which adds fuel from the tank to the motor.
- The fact that a diesel generating set starting up takes place during any longer power failure means that the change in the scheme (therefore also switching between contact elements) happens as frequently as the failures take place. The wear of these contact elements even depends on the reliability of the electric network in the given location. Fortunately, the majority of trademark manufacturers guarantee the life span of contact elements in tens of thousands of contact makings; they usually do not have to be replaced during the technical life of the energocentre (20 years). Nevertheless, this fact is allowed for in the calculation of reliability. It is therefore necessary for the reliability analysis to know the condition of the network in the installation location. According to the requirements of the above-mentioned Energy Law, the electricity supplier is obliged to provide this information.
- The reliability of an energocentre operation is also affected by the functioning of other related systems. The energocentre is part of a very extensive system of equipment and, if the autonomy of the energocentre function is reduced, a power failure may take place when a failure of the control systems occurs. It is necessary during the commissioning to verify the behaviour of the system during all possible operating states so that unexpected events in common operation are prevented.



Obr. 5 Průběh spolehlivostní funkce  $R(t)$  (zdroj: inSophy, s. r. o., program PZ-IN)

Fig. 5 Behaviour of the reliability function  $R(t)$  (source: inSophy, s. r. o., program PZ-IN)

- Even the human factor influences the reliability of an energocentre. A quality diagnostic and monitoring system, which promptly (preferably sooner than the operator) reveals the states which directly threaten the ability of the diesel generating set to start up, helps to curb the influence. Such the states comprise, for instance, a failure of a starter battery trickle charger, a failure of the oil bath pre-heating system, remote signalling of the state of the mode switch (operators are obliged to carry out a manual checking start once in a month; if they forget to return the mode switch to the original position, no command from the outside will start the diesel generating set); it is even possible to download a list of out of tolerance conditions of the network from the internal

● Vliv na spolehlivost provozu energocentra má i lidský faktor. K jeho omezení pomůže kvalitní diagnostický a monitorovací systém, který včas (nejlépe dříve než obsluha) odhalí stavy, které přímo ohrožují schopnost startu dieselgenerátoru. Je to např. porucha dobíječe startovací baterie, porucha předehřevu olejové lázně, dálková signalizace stavu přepínače režimů (obsluha je povinna jednou za měsíc provést manuálně kontrolní start, a pokud zapomeneme přepínač režimů vrátit do původní polohy, žádný povel zvemčí dieselgenerátor nenastartuje), je také možné si stáhnout seznam mimotolerantních stavů sítě z vnitřní paměti modulu MNN atd.

Výsledky spolehlivostní analýzy jsou na obr. 5. Grafy znázorňují průběh spolehlivostní funkce  $R(t)$  pro první rok provozu energocentra. Červená křivka je spolehlivostní funkce pro energocentrum NZ2®, zelená je pro energocentrum s bateriovým zdrojem UPS. Modrá křivka je rovněž pro energocentrum s bateriemi, ale pro uspořádání zdrojů UPS 1+1, tj. 100% redundance. Je zřejmé, že paralelně-redundantní uspořádání zdrojů UPS výrazně zvyšuje provozní spolehlivost (téměř na úroveň energocentra NZ2®), ovšem za cenu vyšších investičních nákladů, klimatizovaných prostor pro baterie atd.

#### SOUČASNÉ INSTALACE ENERGOCENTER NZ2® V DÁLNIČNÍCH TUNELECH

Energocentra NZ2® jsou dnes instalována na třech dálničních tunelech v ČR. Každá instalace má své specifické provozní i projekční podmínky:

- Tunel Liboucheč D8: dieselgenerátor v kontejneru před jižním portálem, ostatní části energocentra NZ2® ve strojovně v portálu
- Tunel Panenská D8, jižní portál: celé energocentrum NZ2® ve strojovně v portálu
- Tunel Panenská D8, severní portál: celé energocentrum NZ2® ve strojovně v portálu
- Tunel Klimkovice D47: celé energocentrum NZ2® v kontejneru ve vrchlíku nad tunelem

Další instalace energocenter NZ2® se připravují.

ING. KAREL KUČHTA, CSc., karel.kuchta@p-z.cz,  
PHOENIX-ZEPPELIN, spol. s r. o., Energetické systémy

Recenzoval: Prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc.

storage of the Uninterruptible Power Supply Module, etc.

Results of a reliability analysis are presented in Fig. 5. The graphs demonstrate the behaviour of the reliability function  $R(t)$  during the first year of the energocentre operation. The red curve is for the reliability function for the Energocentre NZ2®, whilst the green one is for the energocentre equipped with a UPS battery power source. The blue curve is also for the energocentre with batteries, but it is for the 1+1 arrangement of UPS sources, which means 100% redundancy. It is obvious that the parallel-redundant arrangement of UPSs significantly increases operating reliability (nearly to the level of the Energocentre NZ2®), of course, it is at the expense of higher investment costs, necessity for air-conditioned spaces for batteries, etc.

#### CURRENT INSTALLATIONS OF ENERGOCENTRES NZ2® IN MOTORWAY TUNNELS

Energocentres NZ2® are currently installed in three motorway tunnels in the Czech Republic. Each of the installations has its own specific operating and design conditions:

- Liboucheč tunnel on the D8 motorway: diesel generating set in a container in front of the southern portal, the other parts of the Energocentre NZ2® in the generator room, which is embedded in the portal wall
- Panenská tunnel on the D8 motorway, southern portal: the whole Energocentre NZ2® in the generator room, which is embedded in the portal wall
- Panenská tunnel on the D8 motorway, northern portal: the whole Energocentre NZ2® in the generator room, which is embedded in the portal wall
- Klimkovice tunnel on the D47 motorway: the whole Energocentre NZ2® is in a container installed in the calotte, above the tunnel

Other installations of Energocentre NZ2® are under preparation.

ING. KAREL KUČHTA, CSc., karel.kuchta@p-z.cz,  
PHOENIX-ZEPPELIN, spol. s r. o., Energetické systémy

#### LITERATURA / REFERENCES

1. Komenda, O.: Analytické vyhodnocení provozní spolehlivosti energocentra NZ2® Praha 2006
2. Energocentrum NZ2®, Firemní dokumenty Phoenix-Zeppelin, viz též www.p-z.cz.
3. Kuchta, K., Komenda, O., Štefka, D.: Zvyšování provozní spolehlivosti napájecích systémů pro IT objekty a technologie, Sborník 8. konference Information Security Summit, Praha 2007
4. TP 98 – Technologické vybavení tunelů pozemních komunikací (Technické Podmínky)
5. Folwarczny, L.: Vytýpování subjektů v MSZK k připravenému nasazení elektrocentrály EC 250, Sborník semináře Náhradní zdroje elektrické energie nové generace, Ostrava, 2005