

# Management rizik a spolehlivost lidského činitele

Management rizik (*risk management*) stále ještě v mnoha podnicích není zaveden jako systém se srozumitelně formulovanými cíli, přehlednou strukturou, vyhlášenými postupy a jasně přidělenými odpovědnostmi. Každá změna podnikových procesů, ať se týká oblasti strategické, finanční, technické, bezpečnostní nebo personální, je spojena s riziky, neboli hrozbami. Je v životním zájmu podniků, aby všechny hrozby a jejich zdroje byly včas a důsledně identifikovány a následně vhodnými opatřeními zvládnuty. To je úkolem managementu rizik. Klíčovou roli ve všech jeho cílech a činnostech hraje lidský činitel. Jako zdroj rizik i nositel nápravy.

Žijeme v prostředí plném rizik. S riziky se setkáváme na každém kroku, ale zdaleka ne vždy si jich všimáme. Někdy o nich nevíme, jindy o nich vědět nechceme. Každá jízda autem je lavinou rizikových situací. Hodně záleží na tom, jaký jsem řidič, jak dodržuji pravidla silničního provozu, jaké mám zkušenosti. Ale to zdaleka není všechno. Vždyť ani chodec na chodníku si nemůže být jistý.

Koupeme se v moři. Radost nám kazí strach, že slápneme na ježovku. Vezmeme si boty a potápěčské brýle. A jsme v klidu. Nešťastně, že k pobřeží se blíží tsunami...

## Management rizik v podniku je řízením lidí

V podmínkách permanentního ohrožení fungují i podniky. V dobách úspěchu si to ale jejich vedení uvědomuje málo, a když se problémy objeví, je tím často zaskočeno. To, co rozhoduje o odolnosti podniků proti vnitřním i vnějším rizikům, lze shrnout pod jeden společný pojem: *management rizik*<sup>1)</sup>.

Management rizik musí být nedílnou součástí systematického řízení podniku. Jeho cílem je analyzovat současná i budoucí rizika a vhodnými opatřeními zmenšovat pravděpodobnost výskytu a závažnost jejich možných nežádoucích následků.

Každé rozhodnutí vedoucích pracovníků na všech úrovních řízení podniku je spojeno s určitým rizikem, někdy zřetelným na první pohled, jindy skrytým a o to záladnějším. Ta nejskrytější a nejnebezpečnější bývají spojena s lidským činitelem. Organizace jsou

složitým systémem lidí a technických prvků a jejich vzájemných vazeb – má-li být podnik správně řízen, musí být pojmán jako komplexní socio-technický systém. Každé organizační selhání, každá porucha techniky jsou primárně způsobeny selháním lidské složky systému. Žádná nehoda nemůže nastat, aniž by někde na začátku nestálo určité opomenutí člověka, určitá nedůslednost, podcenění, nebo dokonce evidentní nedodržení stanovených postupů, chybné vykonání činnosti na základě např. nesprávného vnímání nebo chápání situace. Výjimkou mohou být pouze extrémní případy nikým nezaviněných a naprosto nepředvídatelných nehod, jakými jsou např. živelní pohromy či sabotáže. U velmi rizikových provozů ovšem musí být i takové události lidmi předpokládány a zahrnuty do preventivních opatření.

Přesto všechno se často objevují závěry různých rozborů nebo obecné odhady uvádějící, že příčinou nehod či poruch je lidský činitel např. v 85 % případů (někdy je uváděno i méně). A to dokonce i tehdy, když podtextem takové formulace mělo být důrazné upozornění na význam lidského činitele a varování před jeho podceňováním. Jediným správným východiskem je přitom již uvedená věta: *Každé organizační selhání, každá porucha techniky jsou primárně způsobeny selháním lidské složky systému.*

Úvahy o 85% podílu člověka svědčí o tom, že v oněch zbývajících 15 % případech se analýzy spokojily s povrchním konstatováním technické závady, aniž by se např. zajímaly o odpovědnost lidí za nedostatky v procesech nebo za neuplatnění potřebných preventivních opatření. Důsledně provedený rozbor nehody nebo jiné nežádoucí události nakonec vždy odhalí, že její přímí nebo nepřímí účastníci provedli určitý nesprávný nebo nebezpečný úkon. Dalším šetřením je nutné zjistit, proč, z jakých příčin k selhání došlo. Obecně platí, že téměř pro každý nebezpečný úkon lze najít zpravidla dlouhodobě existující a přehlížené příčiny. Chyba člověka je pak pouze symptomem čili důsledkem jiných, hlubších – *kořenových* – příčin. Výsledkem šetření musí být ve zjednodušeném vyjádření odpověď na otázku: *Který faktor nebo které faktory společně způsobily, že člověk při provádění činnosti selhal?* Preventivní opatření,

kteřá nejsou založena na takové analýze kauzálního řetězce příčin a následků a na odhalení kořenových příčin stojících na jeho začátku, jsou zpravidla neefektivní.

Platí tedy jednoduché pravidlo: pokud chyba lidského činitele nebyla odhalena, nebyl rozbor proveden dobře. Cílem vždy musí být odhalit, *kdo, v které fázi* (konstrukční, výrobní, montážní, provozní) a *z jakých příčin* vzniku nežádoucí události nezabránil, kdo ji umožnil, nebo ji dokonce přímo způsobil. Opomenuty nesmí zůstat např. procesy projektové, dodavatelské, kontrolní, údržby atd.

## Tri pojaty prevence

V praxi se při řízení podniků využívá mnoho různých modelů a přístupů k prevenci lidských selhání a jimi způsobených nehod. Tri typické přístupy, které v systémech prevence rizik nacházejí významné místo, se navzájem liší svým hlavním zaměřením buď na *jednání lidí*, nebo na *postoje lidí*, nebo na *prevenci vzniku a rozvoje nehod*.

### 1. Zaměření na jednání lidí

V tradičních a stále se běžně vyskytujících pojetech je odpovědnost vedoucích pracovníků v podniku soustředěna výhradně na minimalizaci rizik, která se projevila určitou poruchou nebo nehodou. V centru pozornosti bývají převážně bezpečnostní opatření, vydávání předpisů, úpravy postupů a technického vybavení, zpřísnění kontroly apod. Prokáže-li se chyba lidského faktoru, bývá snaha o nápravu zaměřena na zlepšení výcviku, zkvalitnění informovanosti příslušných pracovníků nebo na zvýšení vědomí odpovědnosti pracovníků za procesy a činnosti v podniku. Tato koncepce řízení je zpravidla striktně zaměřena na zjistitelné a změřitelné jednání pracovníků. Výsledkem analýz jsou např. tzv. kritické vzorky chování, které jsou u daných procesů typickými příčinami vzniku většiny nehod. Přes slabiny z hlediska pochopení skutečných zdrojů nespolehlivého chování člověka má tato koncepce metodický význam v tom, že v mnoha případech umožňuje pochopit sekvenční strukturu poruchových dějů a může významně napomoci při navrhování opatření, kterými lze zamezit vznik riziko-

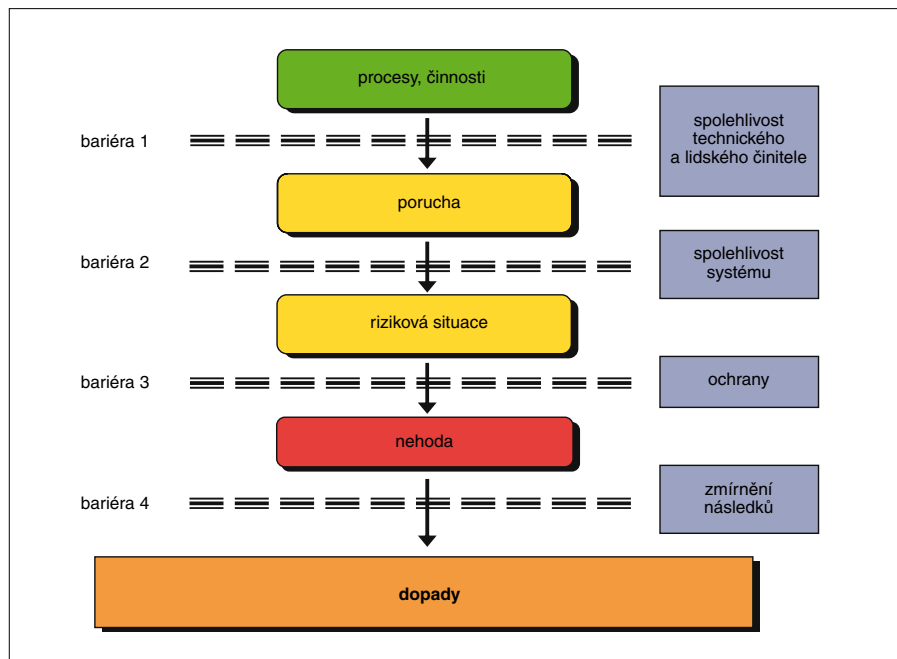
<sup>1)</sup> V češtině se používají i výrazy *řízení rizik* nebo *ovládání rizik*. Terminologie v oblasti podnikového řízení je ve značné míře přebírána z angličtiny, kde se používají zejména výrazy *risk management*, *risk control* a *risk engineering*. Nevýhodou uvedených českých termínů je, že nevyjadřují, *co* je vlastně předmětem řízení – jde o oblast managementu zabývající se řízením *podniku a jeho procesů* (z hlediska minimalizace rizik), *nikoliv tedy řízením rizik samotných*. Rizika nelze v pravém slova smyslu řídit, pouze lze řízením procesů a činností, které jsou jejich zdrojem, snižovat jejich závažnost. Bylo by proto správnější překládat *risk management* termínem „rizikový management“ podniku. To by však mohlo být v některých souvislostech vnímáno jako vyjádření, že daný management je rizikový, že je zdrojem rizik. Proto je účelné připustit termín *management rizik*, avšak s vědomím, že primárním objektem řízení jsou procesy, činnosti, lidé atd. v organizaci, jejichž řízení následně vede ke snížení rizik (*pozn. autora*).

vých situací nebo zabránit, aby tyto děje dospěly k nežádoucím důsledkům.

Málo pozornosti bývá věnováno těm rizikovým faktorům a procesům, jejichž role při vzniku selhání není na první pohled zřejmá a jejichž prevence není bezprostředně spojena s těmi pracovníky, jichž se daná rizika dotýkají. Přednost se dává „tvrdým“ ukazatelům spo-

lze formováním postojů výrazně ovlivnit bezpečnost na rizikových pracovištích: soustavný a viditelný zájem vedení firmy, výcvik, využívání zkušeností a poznatků z reálných situací (nehod, skoronehod), zvyšování osobní odpovědnosti, uplatnění účinných motivačních stimulantů, zlepšování pracovních podmínek a prostředí atd.

- *porucha*: selhání technického nebo lidského činitele (na kterékoliv úrovni funkční hierarchie), odchylka průběhu nebo parametrů procesu (od stanovených požadavků, od optima),
- *riziková situace*: stav systému, vzniklý v důsledku selhání technického nebo lidského činitele, jehož důsledkem může v daných podmínkách být ohrožení kvalitativních a kvantitativních parametrů výstupů nebo bezpečnosti,
- *nehoda*: mimořádná událost, funkční výpadek, nesplnění úkolu, zhoršení kvality produktu, popř. úraz, havárie apod.,
- *dopady*: časové a materiální ztráty, popř. škody na zdraví lidí, životech nebo životním prostředím,
- *bariéra 1*: personální, technické, organizační a ergonomické faktory, které zmenšují pravděpodobnost selhání technického a lidského činitele a jejich součinnosti,
- *bariéra 2*: kontrolní a korektivní prostředky a postupy a jiná systémová opatření, jejichž cílem je zabránit, aby selhání některého prvku přerostlo v ohrožení funkce systému,
- *bariéra 3*: nápravné postupy, výstrahy, záskoky, bezpečnostní zábrany (např. osobní ochranné prostředky) a jiná opatření, která mají při vzniku rizikové situace odvrátit vznik mimořádné nežádoucí události,
- *bariéra 4*: soubor opatření, jejichž cílem je zmenšit negativní dopady nastalých nehod.



Obr. 1. Princip zvyšování spolehlivosti lidského činitele cestou čtyřstupňové prevence nežádoucích událostí a jejich dopadů

lehlivosti a bezpečnosti, jako je četnost nehod nebo velikost následných ztrát, před „měkkými“ ukazateli, jako jsou názory zaměstnanců nebo výpovědi o nastalých mimořádných situacích (popř. „skoronehodách“).

## 2. Zaměření na postoje lidí

Ve firmách, kde je větší důraz kladen na vedení lidí (*leadership*), pátrají manažeři po možných nedostatcích v postojích zaměstnanců. Jsou si vědomi, že postoje jsou primárním zdrojem veškerého chování člověka.

Pozornost je věnována zejména těm zdrojům negativních postojů, které fungují jako faktory (blokátoři) spolehlivého chování. Jsou to zejména:

- 1 nepříznivá firemní kultura,
- 2 malý zájem o zvyšování kvalifikace,
- 3 nedostatek dobré vůle ke komunikaci,
- 4 malá snaha využívat osobní a týmovou pracovní kapacitu,
- 5 neochota přebírat osobní odpovědnost,
- 6 rozpor mezi individuálními potřebami a hodnotami uznávanými podnikem,
- 7 nízká úroveň loajality,
- 8 nespokojenost s pracovními podmínkami atd.

Ilustrační příklad z oblasti bezpečnostních rizik uvedený jako vložený text na str. 48. názorně ukazuje na některé účinné způsoby, jak

## 3. Prevence vzniku a rozvoje nehod

Třetí z přístupů ke zvyšování spolehlivosti lidského činitele je založen na *čtyřstupňové prevenci nežádoucích událostí a jejich dopadů*. Jeho princip je ukázán na obr. 1, kde použité výrazy mají tyto významy:

- *procesy, činnosti*: součinnost technického a lidského činitele při provádění stanovených úkolů, operací, úkonů apod.,

Tab. 1. Typické otázky příslušné jednotlivým bariérám v systému čtyřstupňové prevence nežádoucích událostí

Stupeň	Charakteristické otázky
bariéra 1	Jaká selhání mohou nastat při plnění daných funkcí, úkolů, záměrů? Jakých chyb a z jakých důvodů se člověk může dopustit? Jak je zabezpečeno, aby k těmto selháním nedocházelo nebo aby byl jejich výskyt minimalizován? Které faktory rozhodují o pravděpodobnosti selhání a jaká je účinnost těchto faktorů?
bariéra 2	Jaká opatření byla provedena, aby při selhání člověka nebo techniky nebyla ohrožena kvalita, spolehlivost, bezpečnost plnění příslušných úkolů? Jaké jsou připraveny procesy, jejichž cílem je včas napravit vzniklé chyby? Které faktory rozhodují o účinnosti těchto opatření?
bariéra 3	Jaké ochranné postupy a prostředky, jaká organizační, technická a personální opatření jsou uplatňovány v případě, že nastane riziková situace? Jak jsou lidé připraveni vykonávat účinné činnosti k odvrácení nežádoucí události?
bariéra 4	Jaká opatření jsou uplatněna pro zmenšení negativních dopadů nehod v podobě ztrát času, materiálu a energie? Jaké konkrétní mechanismy mají zabránit možným nežádoucím dopadům (reklamacím, poškozením zařízení, úrazům, únikům toxických látek apod.)? Jak je obsluha připravena na mimořádné situace? Jaká je účinnost technicko-organizačních opatření pro případ vzniku takových situací?

### Příklad z oblasti bezpečnosti práce

Personální oddělení podniku uskutečnilo v provozu s nadprůměrným výskytem úrazů průzkum motivace a postojů pracovníků. Bylo zjištěno, že na pracovišti se pracovníci velmi často stírají, většina uvažuje o odchodu a zdůvodňuje to jednak nespokojeností se mzdovými podmínkami, jednak obavami z bezpečnostních rizik. Na pracovišti zůstávají déle zaměstnanci, kteří by obtížně nacházeli uplatnění jinde. Kvalifikační úroveň pracovníků se tak neustále zhoršuje a patrný je i pokles celkové pracovní disciplíny. Tím vzniká velmi nebezpečný rozpor mezi podprůměrnými schopnostmi zaměstnanců a nadprůměrnými riziky vyžadujícími přísný výběr uchazečů, který ale z důvodu nedostatku zájemců není možný. Ukázalo se, že platy v tomto provozu jsou ve skutečnosti nad podnikovým průměrem, i když částečně v důsledku přesčasových hodin, vynucených nedostatkem pracovníků. Výhrady ke mzdám zde proto vystupují jako spíše zástupný problém.

Z uvedených důvodů byla provedena hlubší analýza motivačních a demotivačních faktorů u zaměstnanců, kteří z pracoviště odešli do jiných provozů, a u zaměstnanců z jiných provozů, kteří by pro přechod na analyzované pracoviště připadali v úvahu. Byly zjištěny zejména tyto negativní postoje: práce na daném pracovišti probíhá v často nepříznivých klimatických podmínkách, je přes poměrně velkou psychickou zátěž (permanentní stres z ohrožení) značně stereotypní, vyžaduje stálou pozornost, ale je nenáročná na myšlení a tvořivost, neposkytuje dostatek kontaktů se spolupracovníky, vybavení pracoviště a hygienického zázemí je zastaralé a neestetické, neuspokojuje ani současná úroveň mezilidských vztahů. Shrnujícím rysem zmíněných postojů je mimořádně nízká prestiž profese, pracoviště i pracovníků. Důsledkem je, že malá atraktivita pracoviště znemožňuje obsadit je pracovníky schopnými plnit vysoké požadavky daného provozu v oblasti spolehlivosti a bezpečnosti.

Na základě výsledků šetření byla navržena nápravná opatření, jejichž cílem bylo prostřednictvím změny postojů dosáhnout vyšší úrovně motivace ke spolehlivé práci a pracovní disciplíně. Současně bylo zaměřeno vytvořit podmínky pro postupnou změnu nahlížení ostatních zaměstnanců na toto pracoviště, a zvýšit tak jeho atraktivitu pro potenciální zájemce. Proto byl vedle technicko-organizačních zlepšení (např. úprava hygienických zařízení) zaveden systém pravidelného střídání (rotace) pracovníků z jiného pracoviště s větší prestiží a dále zavedení pravidelných školení pracovníků s důrazem na jejich seznámení se s konkrétními zdroji rizik a rizikovými situacemi. Rovněž byla vytvořena funkce vedoucího tříčlenné směny s vyšší mzdou, odpovědného za dodržování postupů, a byla stanovena motivující pravidla pro jmenování do této funkce.

nou účinnost slabým místem systému, je jí v dalším postupu analýzy věnována zvýšená pozornost.

Cílem šetření je nalézt u jednotlivých bariér odpovědi na různé relevantní otázky, jejichž typické příklady jsou uvedeny v tab. 1.

### Požadavek komplexnosti

Vedoucí pracovníci musí být schopni řídit podnik jako celek ve všech jeho vnitřních i vnějších souvislostech, nikoliv jako soubor jednotlivých, vzájemně izolovaných procesů. Základem všech podnikových aktivit v oblasti managementu rizik jsou informace o tom, jakými potenciálními riziky mohou být ohrožovány zájmy podniku, které podnikové procesy a jak mohou být těmito riziky narušovány a s jakými dopady. A nestačí zabývat se těmi riziky, která jsou tradičně sledována. Znovu a znovu ověřovanou skutečností je, že opomenutí třeba jediného významného rizika může znehodnotit výsledky prováděných analýz a následně i efekty uplatněných opatření. Sledování a analyzování procesů v podniku musí být proto založeno na principu Komplexnost lze zvládnout pouze komplexností (M. Pfiffner: *Von biologischen Systemen lernen*, viz též Ashbyho kybernetický „zákon nezbytné komplexnosti“). Přesto se odborníci na rizika shodují, že ve značné části organizací stále není management rizik pojímán jako systém

se srozumitelně formulovanými cíli, transparentní strukturou a vyhlášenými postupy.

Metody používané pro analýzu rizik uvedenému požadavku komplexnosti zpravidla málo vyhovují, zejména proto, že nedisponují komplexními kontrolními seznamy, kte-

Tab. 2. Složky systému řízení podniku podle metody IPR – Identifikace procesů a rizik (podrobněji o metodě IPR viz [www.management-rizik.cz](http://www.management-rizik.cz))

1. Procesní management
2. Strategický management, plánování
3. Organizační management
4. Management lidských zdrojů
5. Management kvality
6. Kontroling
7. Informační a znalostní management
8. Bezpečnostní management
9. Změnový a projektový management
10. Ostatní složky managementu:
10.1 Environmentální management
10.2 Finanční management
10.3 Marketingový management
10.4 Produktový management
10.5 Krizový management
11. Vedení a řízení lidí
12. Rozvoj lidských zdrojů
13. Pracovní podmínky
14. Motivační systém
15. Podniková kultura

ré by hodnotitelům pomohly projít celou sítí podnikových procesů tak, aby žádné z potenciálních rizik nezůstalo opomenuto. Je užitečné provádět např. kauzální rozbor procesů v podniku z hlediska možnosti vzniku nehod s využitím různých metodických postupů, jako jsou např. vývojové diagramy (*flow charts*), stromy poruch a událostí (*fault tree, event tree analysis*), HAZOP (*Hazard and Operability Study*), analýzy typu „Co se stane, když...“ („*What if...?*“), MORT (*Management Oversight and Risk Tree*), CRT (*Current Reality Tree*), MES (*Multiple Events Sequencing*), ECFC (*Events and Causal Factors Charting*), HTA (*Hierarchical Task Analysis*), TTA (*Tabular Task Analysis*), RCA (*Root Cause Analysis*) atd. Užitečnost výsledků získaných těmito postupy však velmi závisí na schopnostech, znalostech a zkušenostech hodnotitelů. Ukazuje se, že velmi často bývají závěry šetření jednostranné a že za zdroje událostí jsou označovány nikoliv skutečné příčiny, ale až následky a příznaky (symptomy).

Obdobně je tomu u analýz projektových a změnových rizik s použitím metod jako Sigma, FMEA (*Fault Modes and Effects Analysis*), SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*), CPA (*Critical Path Analysis*), PERT (*Project Evaluation and Review Technique*) apod.

### Metoda IPR

Z důvodů uvedených v předchozí kapitole vznikla na základě dlouholetého vývoje v rámci konzultační praxe metoda IPR – *Identifikace procesů a rizik*, jejímž hlavním účelem je poskytnout co nejúplnější kontrolní seznam podnikových procesů a faktorů, které mohou být zdrojem rizik. Seznam je využíván jako návod při systematické analýze. Jeho struktura, která odpovídá základním složkám systému řízení podniku, má čtyři úrovně, z nichž nejvyšší je představena v tab. 2.

Metodu IPR lze použít při auditech (procesních, organizačních, personálních, bezpečnostních, kvality apod.) i jako součást systému řízení podniku. Poskytuje také návod k analýze rizik, popř. kritických faktorů úspěchu při přípravě a řízení projektů.

Výstupem získaným při použití metody IPR je soupis identifikovaných rizik, která jsou ohodnocena podle své závažnosti pro podnikové procesy, pro jejich výkonnost, spolehlivost, kvalitu, hospodárnost a bezpečnost.

Hierarchicky uspořádané tabulky a grafy jsou následně využívány jednak při navrhování konkrétních nápravných a preventivních opatření, jednak k řízení a zlepšování celé struktury podnikových procesů.

Všechny tyto výstupy se v další fázi využívají jako informační vstupy do podnikového systému managementu rizik, a to do všech jeho složek, jimiž jsou:



- *Tvorba a soustavná inovace strategie v oblasti řízení rizik.* Strategii je vždy nutné v organizaci vyhlásit a usilovat o to, aby jí všichni rozuměli a aby byla všeobecně přijata. Strategie musí být založena na znalosti potenciálních hrozeb a její nedílnou součástí je určení postupů a metod používaných v podniku při monitorování rizik, při formulování opatření a při zavádění změn do života.
- *Identifikace procesů a rizik a hodnocení jejich závažnosti* z hlediska jak pravděpodobnosti, tak nebezpečnosti potenciálních následků. Výstupem je určení, která rizika a v jakém pořadí by měla být předmětem opatření, popř. která rizika mají být dále analyzována.
- *Zvládání rizik* s cílem předcházet nežádoucím událostem a redukovat jejich případné následky, a to cestou návrhu opatření a plánu jejich zavádění, určení kritických faktorů úspěchu čili podmínek a předpokladů jejich hladké a účinné realizace a zajištění potřebných zdrojů (lidských, finančních, informačních, metodických).
- *Monitorování rizik a dopadů*, které může probíhat buď v režimu jednorázových akcí, nebo účinněji formou soustavné identifikace rizik jako systémového nástroje řízení podniku.
- *Optimalizace podnikového systému managementu rizik* na základě výsledků trvalého sledování rizik.

## Závěr

Podnik, který nemá komplexní systém managementu s takovou strukturou, jaká je popsána v článku, je plachetnicí bez kormidla na rozbouřeném moři. Autem, na které za každou zatáčkou číhá nebezpečí. Proč za zatáčkou? Protože tam řidič nevidí. Bude tam zamrzlá louže? Nebo kamion na střeše?

Manažer si všímá, že lidé v podniku jsou nespokojení a pracovní morálka klesá. Může za to ježovka, nebo přichází tsunami?

## Odkazy na internet:

<http://www.management-rizik.cz>

PhDr. Ing. Jiří Kruliš, PREP PRAHA  
(krulis.j@gmail.com)

# Nitrid gallia – nový materiál pro výkonovou elektroniku

Výkonové tranzistory jsou klíčovou součástí elektrických měničů výkonu, které se obecně využívají k přeměně elektrické energie (DC/DC, DC/AC, AC/DC, AC/AC) a umožňují ji transformovat na napětí různé velikosti. Lze je nalézt jak v nabíječkách mobilních telefonů, notebooků apod., tak i v průmyslových elektrických pohonech nebo systémech pro ovládání trakčních motorů rychlovlaků ICE. Významnou úlohu mají polovodičové výkonové měniče také v automobilové elektronice. Jejich výkonnost, účinnost, rozměry a hmotnost spolurozhodují o úspěchu téměř všech tzv. zelených koncepcí ve vývoji budoucích automobilů s hybridním a elektrickým pohonem. Vedle napájení vlastního elektropohonu je zde výkonová elektronika třeba také v systémech pro rekuperaci pohybové energie, pro inteligentní nabíjení baterií nebo pro napájení moderní palubní sítě. Hlavní požadavky na vývoj přicházejí proto z automobilového průmyslu.

V uplynulých třech desetiletích se v polovodičových měničích výkonu používaly převážně křemíkové unipolární tranzistory MOSFET. Počínaje planárními typy se strukturou HEXFET (*Hexagonal Field Effect Transistor*), které v roce 1978 zavedla firma International Rectifier, až po nejmodernější typy v provedení TrenchFET a Super-Junction-FET (SJ-FET). Nyní se však křemíkové výkonové komponenty přiblížily ke svému výkonovému maximu, danému fyzikálními vlastnostmi křemíku. To znamená, že již nemohou nabídnout poměr ceny a výkonu, jaký požadují úlohy příštích generací, a každé další zvětšování jejich výkonu je nepřiměřeně nákladné.

Odborníci na celém světě proto hledají nové materiály a nové struktury tranzistorů jako náhradu křemíkových tranzistorů v budoucích výkonových měničích. V posledních letech se velké naděje vkládaly do použití karbidu křemíku (SiC), ale vzhledem k jeho vy-



Obr. 1. Nový výkonový tranzistor 25 A 250 V na bázi GaN v porovnání s velikostí mince v hodnotě jednoho eurocentu (foto: FBH/Schurian)

soké ceně se tento materiál na trhu neprosadil. Vedle specifické struktury ceny jsou možnosti jeho využití také omezeny nedostatečnou nabídkou materiálu v potřebné kvalitě a velkou kapacitou závěrné vrstvy. Pozoruhodné materiálové vlastnosti však nabízí nitrid gallia (nitrid gallit) GaN, který se podle odborníků může v této oblasti brzy stát nástupcem křemíku. V mikrovlnné technice se již vysokofrekvenční výkonové tranzistory na bázi nitridu gallia dokonce úspěšně používají, např. v základnových stanicích mobilních telefonních sítí.

Leibnizův ústav pro vysokofrekvenční techniku Ferdinanda Brauna (Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik – FBH) v Berlíně společně s partnery z dalších vědeckých pracovišť

a z průmyslu v současnosti vyvíjí na bázi nitridu gallia nové tranzistory pro výkonovou elektroniku a připravuje jejich sériovou výrobu. Konečným cílem je vyvinout účinnější měniče výkonu vhodné především k použití v nově projektovaných automobilech s hybridním a elektrickým pohonem nebo ve stále výkonnějších fotovoltaických zařízeních.

Nitrid gallia má oproti křemíku velkou výhodu v tom, že jeho energetický pásmový odstup 3,4 eV je v porovnání s křemíkem (1,1 eV) více než trojnásobný, což umožňuje používat tranzistory na bázi GaN při vyšších teplotách. Tím klesají náklady na chlazení a zmenšují se rozměry i hmotnost měniče výkonu. Nitrid gallia má také větší průrazné napětí, a proto mohou tranzistory na bázi GaN v porovnání se stejně velkými křemíkovými tranzistory spínat vyšší napětí. Nové výkonové tranzistory z výzkumného ústavu FBH (obr. 1) dovolují např. spínat proudy velikosti několika desítek ampérů při napětích 1 000 V i více. V podstatě se tyto nové výkonové prvky vyznačují podstatným zlepšením tří důležitých funkčních parametrů – výrazným poklesem hodnoty odporu v propustném stavu, větší dosažitelnou rychlostí spínání a díky menší spotřebě energie i lepší účinností. Rovněž je možné na jeden čip z nitridu gallia umístit větší počet elektronických prvků než při použití křemíku, což je mnohdy přednost velmi důležitá. Ovšem teprve budoucnost ukáže, zda se splní předpovědi odborníků a tranzistory na bázi nitridu gallia moderní výkonovou elektroniku skutečně ovládnou.

[Galliumnitrid – das neue Material für die Leistungselektronik. Pressemitteilung, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik, 9. 12. 2009.]

Kab.