


# Nejistoty a neurčitosti při aplikaci probitových funkcí v oblasti prevence závažných havárií - část I.

 11.01.2013

**Uncertainties and ambiguities in probit function application in the field of major accident hazards prevention - part I**

**Jakub Dlabka<sup>1</sup>, Barbora Baudišová<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Inovace pro efektivitu a životní prostředí, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15/2172, Ostrava - Poruba 708 00, E-mail: [jakub.dlabka@vsb.cz](mailto:jakub.dlabka@vsb.cz), [barbora.baudisova@vsb.cz](mailto:barbora.baudisova@vsb.cz)*

nejistota

prevence závažných havárií

probit funkce

toxická

analýzy rizik

hodnocení rizik

## Abstrakt

Probitová funkce patří mezi jeden ze základních nástrojů používaných v analýze a hodnocení rizik v rámci prevence závažných havárií. K tomuto nástroji se však váže určité množství nejistot, které mohou významně ovlivnit výsledné výstupy analýzy. Nejistoty vznikají, především během procesu vzniku probitových funkcí. Článek se zabývá tímto procesem tj. stanovením parametrů probitových funkcí a identifikací části, ve kterých mohou jednotlivé nejistoty a neurčitosti vznikat. Pomocí kritické analýzy a dalších nástrojů se pokouší vytvořit obraz, který může přispět k lepšímu pochopení probitových funkcí a jejich vhodnějšímu použití v rámci analýzy a hodnocení rizik.

**Klíčová slova:** probit funkce, analýza a hodnocení rizik, prevence závažných havárií, toxicita, nejistota

## Abstract

Probit functions are a basic tool for risk analysis and evaluation in the field of major hazard prevention. However this tool, exhibits certain uncertainties, which can significantly influence the results of risk analysis. The uncertainties are connected mainly to the probit function developing process. This work is focused precisely on this process, i.e. probit parameters determination, and to identification of parts where the uncertainties emerges. Through the critical analysis overview will be created. This overview could be used as a tool for better understanding of probit function and its usability for risk analysis and evaluation.

**Keywords:** probit function, risk analysis and evaluation, major hazard prevention, toxicity, uncertainty, exposition

## Úvod

V současnosti je v České republice pro kvantitativní hodnocení účinku havarijních jevů na obyvatelstvo v rámci analýzy rizik v oblasti prevence závažných používána probitová funkce. Probitovou funkci lze chápat jako modelový vztah dávky a účinku. Přes své časté využití, představuje tento model zásadní problém v oblasti analýzy a hodnocení rizik (dále jen AHR). A to z důvodů, že je využíván bez pochopení širších souvislostí a principu funkčnosti tohoto modelu.

Jako každý model zjednodušuje obraz reality tak, aby bylo dosaženo požadovaných výsledků, proto i probitová funkce v sobě díky zjednodušení obsahuje určité nejistoty a neurčitosti. Bez samotného uvědomění si těchto faktů sice lze získat výsledek, avšak jeho vypovídací hodnota se může blížit k nule.

Další problémem, který přispívá k nevhodnému využívání tohoto modelu, je skutečnost, že vypovídací hodnota výsledku není přímo závislá na modelu samotném, ale na účelu, pro který je využíván. Přesněji se jedná o nejasnosti spojené ze specifikací následků, tzn., které následky na zdraví, je třeba znát při havarijním úniku (např. smrt, nevratné účinky, neschopnost úniku) a jakou mají mít vypovídací hodnotu. Tato práce je proto zaměřená na pochopení principů probitové funkce a zjištění nejistot, které je třeba mít na zřeteli při používání této funkce.

Před samotným poukázáním na nejistoty a neurčitosti v rámci probitových funkcí, je nutné si tyto pojmy předem přiblížit.

## Obecný pohled na nejistoty a neurčitosti

Problémem nejistot a neurčitostí na obecné úrovni se v rámci ČR detailněji zabýval například Dudek, který v publikaci [1] uvádí, že ve fyzice, chemii či jiných technických vědách, jsou definované procesy, stavy, situace, systémy které se řídí deterministickými zákonitostmi. V rámci publikace dále uvádí, že tyto procesy, stavy, situace, systémy jsou zjednodušeny na elementy, tzn. veličiny a jejich vzájemnými pevně danými vztahy. Ve většině případů se však jedná pouze o zjednodušující koncepty nebo modely. V rámci těchto vztahů se pracuje pouze s omezeným počtem proměnných, které jsou často považovány za nezávislé a přitom nemusí vždy přesně odpovídat konkrétním podmínkám a jejich používání nemusí vést k přesným výsledkům a závěrům [1]. Například konstantní hodnota drsnosti povrchu, v určitých modelech pro vyjádření průběhu havarijního jevu, nepopisuje zcela přesně realitu terénu.

Dudek [1] dále uvádí, že *„Je nutné si uvědomit, že v běžném životě, a prakticky ve všech vědních oborech, existují procesy, u kterých není možné kontrolovat všechny podmínky, za nichž proces probíhá. Realizace takového souboru podmínek, který by dokonale popsal realitu, by vedla k výsledku, který nemůžeme předem jednoznačně určit. Což vyplývá z toho, že realita podléhá vlivu různě velkého množství často drobných, ne úplně nebo zcela zjistitelných vlivů, které jsou příčinou toho, že i při opakované realizaci tohoto souboru podmínek dostaneme různé a náhodné výsledky. K dalšímu pochopení souvislostí modelů popisující dokonale realitu a jeho náhodných výsledku je třeba si uvědomit co je to náhoda. Náhoda je objektivně reálná, není subjektivní nevědomostí a neznamená bezpříčinnost. Náhoda je příčinou toho, že výsledek některých činností nebo procesů nejsme schopni s jistotou předpovědět. Zákonitosti, u nichž výsledkem realizace souboru podmínek je náhodný jev, nazýváme zákonitostmi (závislostmi) stochastickými (nedeterministickými).“* [1].

Tradiční modely předpokládají, že kdyby byly známy všechny kauzality, bylo by možno určit jistý výsledek. Tento předpoklad je však nereálný, jak je poukázáno výše. Pokud je k dispozici nějaká předpověď události, na tuto předpověď se vždy vážou podmínky nejistoty a omezené znalosti současných zákonitostí světa. Tato nejistota je důsledkem neúplné znalostí procesů a vlivů, které mají na danou událost vliv. Některé tyto nejistoty jsme schopni zobrazit pomocí

statistického aparátu, právě díky tomu, že i samotné náhodné jevy se řídí určitou zákonitostí. Některé nejistoty však není možno, se současným stavem vědomostí zachytit žádným způsobem, právě kvůli nedostatečné znalosti daných procesů a neschopnosti tento nedostatek zachytit stochastickou závislostí, popřípadě experimentálně ověřit. Rozlišují se tedy dva druhy nejistoty:

#### 1) Nejistota (aleatory nebo stochastic uncertainty)

Projevuje se z důvodu přirozené, nepředvídatelné variace v projevech studovaného systému. Je však možné ji zachytit pomocí statistického aparátu.

#### 2) Neurčitost (Epistemic nebo knowledge-based uncertainty)

Vzniká z důvodu nedostatečných vědomostí o chování systému, které je konceptuálně možné zpřesnit. Není ovšem možné ji zobrazit. [2]

Na základě výše uvedeného, je tedy jasné, že žádný proces není možno zachytit nebo předvídat naprosto přesně a dokonale. Přesto vzhledem k potřebám společnosti (například předpověď počasí) je nutné znát výsledek i za cenu vytvoření ne úplně přesného obrazu daného procesu. Tato potřeba získání výsledků, však vyvolává další otázky typu, zda při přijetí všech zjednodušujících podmínek a započtení nejistot, je ještě zjištěná hodnota použitelná a pokud ano v jakém rozsahu.

Hledáme například určitou hodnotu  $X$  a máme k dispozici jinou hodnotu  $Y$ , získanou měřením nebo modelováním. K hodnotě  $Y$  se váže určité množství nejistot, které vyplývají z poznaných náhodných vlastností systému, a lze je vyjádřit pomocí statistického aparátu, a poté neurčitosti, které pouze odhadujeme, na základě stupně naší neznalosti systému. Tyto nejistoty a neurčitosti mohou velmi výrazně ovlivnit hledanou hodnotu  $X$ .

Pokud je neurčitost nebo nejistota u dané hodnoty  $X$  velká, můžeme hovořit o tom, jaký pro nás může mít samotná hodnota význam. V mnoha oblastech lze exaktním matematickým postupem dojít k hodnotě, která je díky různým nejistotám a neurčitostem tak nepřesná, že při reálném použití nemá praktický význam. Na druhou stranu, však existují takové problémy, které vyžadují určité řešení, o němž jsme si vědomi, že je nepřesné, ale přesto ho používáme. Jednoduše proto, že v dané situaci potřebujeme alespoň nějaký podklad pro rozhodnutí. Bohužel, často se stává, že pokud je nějaká hodnota vypočtena exaktním způsobem, člověk, který ji používá, se domnívá, že výsledná hodnota je reálným zobrazením situace. Je nutné mít neustále na paměti, že pokud takové hodnoty používáme, jsou pouze přibližným obrazem reality. Toto uvědomění je však podmíněno hlubší orientací v dané problematice.

Probitová funkce je v AHR velmi často používána bez pochopení širších souvislostí. Zpravidla je pouze převzata z odborné literatury, následně jsou dosazeny koeficienty pro danou látku a výsledné zobrazení nebezpečných koncentrací či procentuelního rozdělení úmrtnosti je považováno za správný výsledek. Poměrně obvyklým způsobem je její využití v rámci softwaru (např. EFFECTS), kde je implementována jako jeho základní část a je často obtížné zjistit, jakým a způsobem a jaká funkce byla použita. Což vede k otázce, jakým způsobem vypovídá takto získaný výsledek o skutečném stavu věcí. Pro správné využití je proto nutné mít představu o tom, jakým způsobem byla probitová funkce určena, z jakých toxikologických dat se vychází a jak přesným způsobem a jakými způsoby dokáže zobrazovat realitu. Teoretický základ probitové analýzy je rozebírán v článku [3] a tato práce na tento článek navazuje rozbořením specifických problémů, přímo spojených s nejistotami.

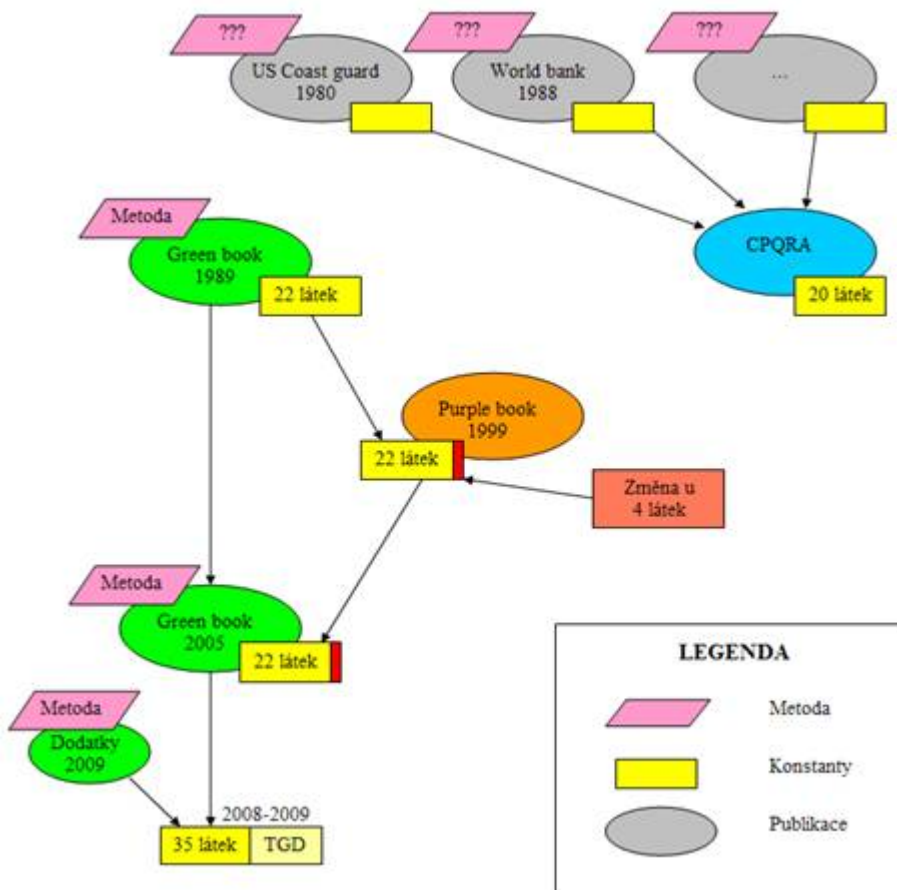
## Vývoj probitové funkce

Základním problémem při využívání probitové funkce v AHR je existence většího množství probitových funkcí resp. konstant. Probitová funkce jako tvar je dána jednou rovnicí, co je však rozdílné jsou probitové konstanty, které jsou

různé jak pro každou látku, tak i pro jednotlivé zdrojové studie. Základním problémem, se kterým se setká zpracovatel, který chce probitovou funkci použít je právě množství různých konstant. Proto je nutné se také v rámci článku zaměřit na to, jaké probitové funkce je možné nalézt a jaké jsou v nich rozdíly.

### Existence a původ různých probitových funkcí

V dokumentaci Green Book (1989) [4] bylo vybráno 25 chemických látek, pro které měly být probitové funkce primárně stanoveny. Byla zhodnocena tři kritéria pro výběr látek, a to hierarchicky: specifická toxicita, těkavost a frekvence použití v praxi. Pro 22 z těchto látek byly vypočteny a publikovány hodnoty konstant probitové funkce. V aktuální verzi v dokumentu Purple Book z roku 1999 [5] byly publikovány stejné chemické látky se stejnými konstanty jako v dokumentu Green Book (1989) [4], výjimku však tvoří čtyři z nich (chlor, čpavek, fosgen a chlorovodík), u kterých byly hodnoty konstant upraveny. Schéma vývoje a existence probitových konstant je znázorněno na obrázku 1.



**Obrázek 1: Původ konstant probitových funkcí**

V období mezi říjnem roku 2008 a prosincem 2009 byly pracovní skupinou institutu RIVM stanoveny konstanty probitových funkcí pro více jak třicet dalších nebezpečných látek. Tyto látky byly vyvinuty na základě metody publikované v nové verzi Green Book a v dokumentu Dodatky k metodě pro stanovování probitových konstant [6]. Ke každé látce vznikl takzvaný TSD (Technical Support Document), který je volně přístupný na internetových stránkách institutu RIVM [7]. Podobně jako při vývoji limitů AEGL (EPA) jsou hodnoty konstant předkládány odborné i širší veřejnosti průběžně, ve vývojových stupních „proposed“, „interim“ a „final“. Způsob hodnocení je podrobně popsán v dokumentu [11].

Dále byly konstanty probitových funkcí publikovány dalšími institucemi a subjekty. Většina těchto hodnot je odvozena z malého množství studií, často jsou při tom kombinována data ze studií pokusů na více druzích zvířat. Centre for

Chemical Process Safety (dále jen CCPS) z Amerického institutu pro bezpečnost chemických procesů (AIChE) se pokusilo tyto hodnoty shromáždit v literatuře Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis (CPQRA) [8].

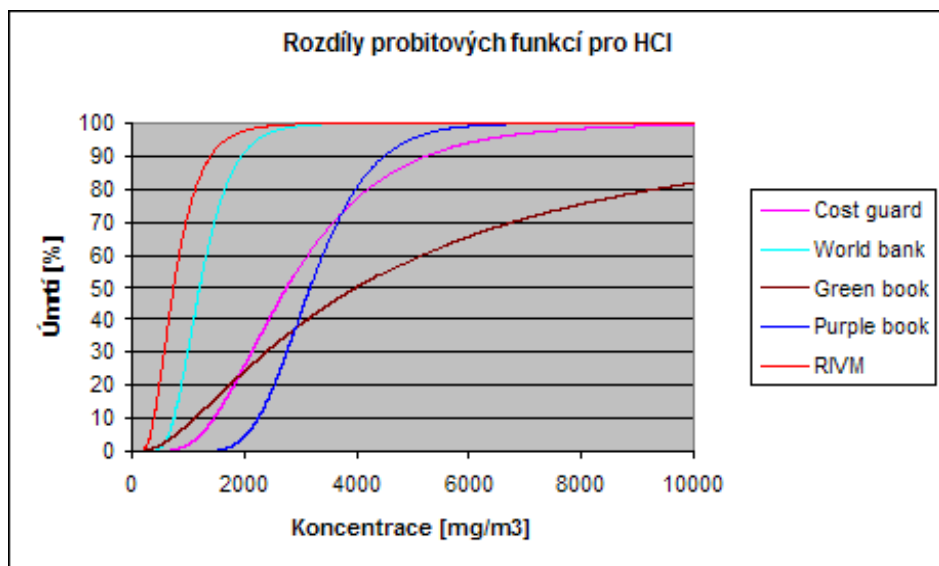
V tabulce 1 je uveden seznam různých probitových konstant, které jsou dostupné pro chlor, čpavek a kyanovodík. Tyto hodnoty jsou získány z různých zdrojů [4], [8], [9]. Hodnoty konstant jsou uvedeny pro výpočet z koncentrací udávaných v  $\text{mg/m}^3$ . Původní hodnoty, převzaté z amerických zdrojů, kde je výpočet obvykle prováděn v ppm, jsou přepočteny.

<b>Chemická látka - studie</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>n</b>
<b>Chlor</b>			
Eisenberg, Lynch and Breeding (1975)	-22,05	1,69	2,75
Perry and Articola (1980)	-45,25	3,13	2,64
Rijnmond (1983)	-13,8	0,82	2,75
ten Berge and van Heemst (1983)	-6,5	0,5	2,75
World bank (1980)	-6,76	0,5	2,75
Green Book (1989)	-14,3	1	2,3
Purple book (1999)	-6,4	0,5	2,75
<b>Čpavek</b>			
US Coast Guard (1980)	-34,06	1,85	2,75
World Bank (1988)	-9,3	0,71	2
Green Book (1989)	-15,8	1	2
Purple book (1999)	-15,6	1	2
<b>Chlorovodík</b>			
US Coast Guard (1980)	-17,65	2	1
World Bank (1988)	-22,82	2,65	1
Green Book (1989)	-6,7	1	1
Purple book (1999)	-37,3	3,69	1
RIVM (2009)	-12,8	1,35	1,48

**Tabulka 1: Konstanty probitových funkcí publikované různými institucemi**

Z uvedené tabulky je zřejmé, že tyto hodnoty si v mnoha případech neodpovídají. Rozdílnost tvaru křivky koncentrace-účinek jsou potom patrné z následujícího grafu na obrázku 2.

Rozdílnost konstant uvedených v publikacích [4] a [8] zkoumal ve své práci Simon Schubach [10]. Dochází k závěrům, že mezi hodnotami získanými z jednotlivých zdrojů je znatelný rozdíl. Rozdílnost potom plyne především z odlišných výchozích dat a také z toho, že TNO používala ke stanovování hodnot, faktory nejistoty. Obecně tvrdí, že TNO rozeznala a kvantifikovala nejistoty (neurčitosti) plynoucí z transformace dat ze studií na zvířatech na člověka. Navrhuje přezkoumat data sloužící ke stanovení konstant publikovaných CCPS.



**Obrázek 2: Rozdíly v probitových funkcích**

Především pro probitové funkce stanovené v období druhé poloviny 20 století v USA je velmi obtížné určit, případně dohledat, zdrojová data, případně experimenty, na kterých byly tyto modely založeny. Hlavním zdrojem informací jsou studie z pokusů na zvířatech, zvláště na myších a krysách. Lees ve své publikaci [9] uvádí množství probitových modelů, včetně zdrojových odkazů. Je však prakticky nemožné tyto modely verifikovat, jelikož lze jen obtížně dohledávat zdrojová experimentální data.

### Faktory nejistoty probitové funkce

V okamžiku, kdy nelze odstranit neurčitosti v určitých krocích při stanovování probitové funkce (nebo obecně při AHR určité nebezpečné látky), je možné využít, tzn. faktory nejistoty. Při použití těchto faktorů se hodnoty upravují tak, aby byly započteny různé nejistoty a neurčitosti, které se vztahují k procesům při vývoji těchto hodnot.

Principiálně, ideální databáze pro hodnocení rizika by měla obsahovat celý rozsah informací, od známých expozic v rámci lidské populace, včetně vyšetření všech možných potenciálních zdravotních komplikací. V určitých případech jsou k dispozici data ze studií na člověku, a v závislosti na hledaném druhu účinku, mohou poskytnout dodatečně vyhovující informace pro účely AHR. Data z experimentálních studií na člověku mohou být použita jako základ pro AHR. Pro většinu látek závisí hodnocení rizika na informacích získaných z experimentálních studií na zvířatech a dalších možných testů. Čím větší je množství informací dostupných z takovýchto experimentů, tím větší je porozumění nebezpečí, kterému byla vystavena pokusná zvířata a klesají nejistoty a neurčitosti vztažené k nedostatku informací tohoto typu. Na druhou stranu, i s komplexní experimentální databází, nejistoty a neurčitosti stále zůstávají. Tabulka 2 shrnuje klíčové oblasti nejistoty při použití dat získaných z pokusů na zvířatech.

Kategorie	Nejistota
Extrapolace	Ze zvířete na člověka
Extrapolace	Rozdíly v rámci lidské populace
Databáze	Trvání expozice
Databáze	Mezery a nedostatky v databázích

**Tabulka 2: Nejistoty vztahované k probitovým funkcím**

Jak je patrné, nejistoty a neurčitosti spadají do dvou širokých kategorií. Zaprvé, jsou zde nejistoty a neurčitosti vztahované k extrapolaci klíčových dat z pokusných zvířecích druhů, dále extrapolaci z "průměrného" člověka na ostatní členy populace s různými vlastnostmi (např. s větší senzitivitou). Následně je zde velké množství neurčitostí vztahované k databázi. Je zřejmé, že zvětšující se znalosti o mechanismu toxického působení pomáhá snižovat nejistoty v extrapolaci, a zvyšování množství informace pomáhá snižovat nejistoty a neurčitosti vztahované k databázím (např. studie, které zaplňují mezery v předchozích studiích, nebo studie jiné cesty účinku).

## Závěr

V první části článku jsou obecně popsány nejistoty a neurčitosti vážící se k lidskému poznání a používání modelů. Současně jsou identifikovány rozdíly ve zdrojích dat s uvedením faktorů nejistot používaných při procesu stanovování. V další části budou tyto faktory podrobně rozebrány, doplněny o statistické vyjádření nejistot při zpracování primárních dat. Dále budou porovnány s limity akutní toxicity s uvedením zhodnocení, významu a omezení samotné probitové funkce.

*Tento článek byl podpořen z projektu OPVaVpl, „Inovace pro efektivitu a životní prostředí“ financovaného MŠMT (evidenční číslo: CZ.1.05/2.1.00/01.0036).*

## Zdroje

- [1] DUDEK, Ivan. Poznání a neurčitost základní racionální přístupy a praktické metody. *E-logos : Electronic journal for philosophy*, 1999. ISSN 1211-0442.
- [2] DANESHKHAH, A.R. *Uncertainty in Probabilistic Risk Assessment : a review*. The university of Sheffield. 2004.
- [3] DLABKA, J.; BAUDIŠOVÁ, B.; DANIHELKA, P. Základní principy probitové funkce v rámci prevence závažných havárií. *Spektrum*, 2010, roč. 10, č. 2, s. 51-54. ISSN 1211-6920.
- [4] Methoden voor het bepalen van mogelijk schade aan mensen en goederen door het vrijkomen van gevaarlijke stoffen (Green Book) : Hoofdstuk 5 : Schade door acute intoxicatie. Voorburg : Commissie Preventie van Rampen door Gevaarlijke Stoffen (CPR), 1990. ISBN 90-5307-052-4.
- [5] P.A.M. Uijt de Haag. B.J.M. Ale. *Guideline for quantitative risk assessment : Purple Book*. The State Secretary of Housing Spatial Planning and the Environment (VROM), 2005. 237s.

[6] Centre for External Safety (RIVM/CEV) : amendments to the methodology for the derivation of probit functions [online]. 2009 [cit. 2010-02-18]. Dostupný z WWW: <  
<http://www.rivm.nl/milieuportaal/images/Amendments%20to%20the%20methodology%20for%20the%20derivation%20of%20pr>  
>.

[7] RIVM Milieuportaal [online]. 2009 [cit. 2010-02-18]. Afleiding en vaststelling van probitrelaties. Dostupný z WWW: <  
<http://www.rivm.nl/milieuportaal/bibliotheek/databases/probitrelaties.jsp>>.

[8] *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis (CPQRA)*. USA : Center for Chemical Process Safety/AIChE, 2003. 800 s. ISBN 0-8169-0720-X.

[9] LEES, F.P. Loss prevention in the Process Industries. Reed Educational and Professional Publishing, 1996. 1302s. ISBN 0 7506 1547 8.

[10] SCHUBACH, Simon. Comparison of probit expressions for the prediction of lethality due to toxic exposure. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 1995, vol. 8, issue. 4, s. 197-204.

[11] Evaluation and assessment of probit functions. In *Probitrelaties : Afleiding, beoordeling en vaststelling* [online]. Bilthoven: RIVM, 2010 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z WWW: <  
[http://www.rivm.nl/Onderwerpen/Onderwerpen/P/Probitrelaties/Afleiding\\_beoordeling\\_en\\_vaststelling](http://www.rivm.nl/Onderwerpen/Onderwerpen/P/Probitrelaties/Afleiding_beoordeling_en_vaststelling) >.

#### **Vzorová citace**

DLABKA, Jakub; BAUDIŠOVÁ, Barbora. Nejistoty a neurčitosti při aplikaci probitových funkcí v oblasti prevence závažných havárií : část I. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online], 2012, roč. 5, č. 3-4. Dostupný z WWW: <  
<http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-03-04-2012/aplikace-probit-funkci-havarie.html>>. ISSN 1803-3687.

---

Autor článku:

[Ing. Barbora Baudišová](#)

[Ing. Jakub Dlabka](#)