


## Využití digitálních nástrojů ergonomie v praxi

 04.04.2011

### USAGE OF DIGITAL TOOLS OF ERGONOMICS IN PRACTICE

**Marek Bureš<sup>1</sup>, Tomáš Görner<sup>1</sup>, Michal Šimon<sup>1</sup>, Kateřina Sekulová<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Západočeská univerzita v Plzni, Katedra průmyslového inženýrství a managementu, Univerzitní 8, 306 14 Plzeň, [buressmarek@seznam.cz](mailto:buressmarek@seznam.cz), [tomas.gorner@seznam.cz](mailto:tomas.gorner@seznam.cz), [simon@kpv.zcu.cz](mailto:simon@kpv.zcu.cz)

<sup>2</sup>Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů, Mostní 5139, 760 01 Zlín, [sekulovak@email.cz](mailto:sekulovak@email.cz)

digitalizace

ergonomické analýzy

ergonomie

software

#### Abstrakt

Vědní obory dnešní doby se vyznačují fenoménem, který se stal jejich pojátkem. Tímto trendem je digitalizace. Tento trend se nevyhnul ani ergonomii. Výsledkem těchto trendů jsou pak softwarové nástroje, které obsahují sofistikované modely člověka a nejmodernější ergonomické metody. Každý nástroj má svoje silné a slabé stránky. Není tedy jen důležité tyto softwary ovládat, ale také dokázat aplikovat jejich výstupy. Tento příspěvek pojednává o případové studii konkrétního modelu výrobního pracoviště. Na tomto modelu byly aplikovány metody ergonomických analýz dvou softwarů, na jejichž základě byla provedena kvalifikovaná analýza.

**Klíčová slova:** ergonomie, digitalizace, ergonomické analýzy, softwary

#### Abstract

Nowadays science is characterized by a phenomenon that has become the link. This trend is digitalization. This trend also did not avoid the ergonomics. The results of those trends are the software tools, which include sophisticated models of the human and the latest ergonomic methods. Each instrument has its strengths and weaknesses. Therefore it is not only important to control the software, but also be able to apply their outputs. This paper discusses a concrete case study of model of the production workplace. This model was applied by means of two software and its ergonomic analysis methods. Based on these methods were performed a qualified analysis.

**Keywords:** ergonomics, digitalization, ergonomic analysis, software

#### Úvod

V posledních letech dochází k masivnímu rozvoji a využívání informačních technologií. Právě tyto technologie jsou asi

jedinou odpovědí na úspěch v silně globalizovaném a turbulentním tržním prostředí. Rozvoj výpočetní a komunikační techniky umožňuje od základů měnit metody inženýrské práce. Stejně tak je ovlivňována i oblast ergonomie. V současné době jsou jedny z nejkompaktnějších ergonomických studií obsaženy ve dvou digitálních softwarových nástrojích (nástrojích digitální fabriky), kterými je Delmia a Tecnomatix. Oba tyto softwary mimo jiné obsahují i moduly pro podporu ergonomických studií. V případě Delmia je to modul s názvem V5 Human. V případě Tecnomatix je to modul s názvem Jack. Základem pro ergonomické studie v těchto softwarech jsou digitální modely člověka. Tyto digitální modely jsou plně customizovatelné, tak aby byly výsledky provedených studií co možná nejrealističtější. Pokud hovoříme o customizaci digitálního modelu, máme na mysli nastavení jeho pohlaví, národnosti, percentilu nebo popřípadě konkrétních tělesných rozměrů tak, aby náš digitální model člověka co možná nejvíce odpovídal konkrétnímu pracovníku ve výrobě. S takto nadefinovaným pracovníkem máme poté možnost provádět rozličné ergonomické analýzy. Oba dva zmíněné softwary nabízí různé druhy analýz, avšak stěžejní oblastí, kterou je manipulace s materiálem a hodnocení pracovního postoje, je součástí obou softwarů. Konkrétní analýzy jsou následující:

### **Delmia V5 Human**

základní analýzy:

- ❖ Zorné pole
- ❖ Dosahové možnosti

pokročilejší analýzy:

- ❖ Carry analysis
- ❖ Lift-Lower analysis
- ❖ Push-Pull analysis
- ❖ Rapid Upper Limb Assessment (RULA)
- ❖ Biomechanical analysis

### **Tecnomatix Jack**

základní analýzy:

- ❖ Zorné pole
- ❖ Dosahové možnosti

pokročilejší analýzy:

- ❖ Low Back Spinal Force Analysis
- ❖ Static Strength Prediction
- ❖ NIOSH Lifting Analysis
- ❖ Predetermined Time Analysis (MTM-1)
- ❖ Rapid Upper Limb Assessment (RULA)
- ❖ Metabolic Energy Expenditure
- ❖ Manual Handling Limit
- ❖ Fatigue/Recovery Analysis
- ❖ Working Posture (OWAS)

Výhodou těchto analýz je především značné zkrácení času při jejich provádění. Jako příklad lze uvést například analýzu RULA. Když je tato analýza prováděna klasickým způsobem, zabere přibližně 15 minut času pro vyhodnocení jednoho postoje. Pomocí softwaru je to pouze otázkou několika mála minut. Podobné časové úspory poskytnou i další analýzy jako například NIOSH nebo OWAS. Ve spojení s možností vizualizace a rychlé názorné simulace změn na pracovišti ve virtuálním prostředí, poskytují tyto softwary značný přínos při optimalizaci pracoviště.

Použití zmíněných softwarových nástrojů lze rozdělit na dvě hlavní činnosti co do jejich užití a tedy na **návrh nových ještě neexistujících pracovišť a výrobních systémů** nebo na **posuzování již existujících**. Co se týče oblasti nasazení těchto softwarů je toto prováděno z několika směrů. Co se týče vývoje a vzniku těchto ergonomických softwarů, vznikaly tyto stejně jako požadavky na věrný digitální model člověka na objednávku NASA. Co se týče nasazení v praxi, tak nejvíce nasazení najdeme v automobilovém průmyslu. Tento průmysl disponuje dostatečnými finančními zdroji pro financování pořízení těchto softwarů, které bylo v začátcích značně finančně náročné, neboť tyto softwary byly součástí balíku s dalšími aplikacemi, který se označuje jako digitální podnik a procházely stále změnami a úpravami. Ty samozřejmě u komplexních nástrojů nejsou levné.

Dnešním trendem je zlevňování těchto nástrojů, jejich komplexnost v rámci digitálního podniku, ale i jejich možnost samostatného běhu jenom jako ergonomických softwarů.

Dále je možné sledovat v automobilovém průmyslu trend vyžadování aplikace těchto nástrojů výrobci již u jejich dodavatelů, čímž velcí hráči přesouvají odpovědnost na nižší stupně, tedy na menší a střední podniky a využívají při tom svoji silnou pozici. Jako poslední je možné sledovat trend nasazování těchto softwarů na akademické půdě, čímž se vychovává generace pracovníků, kteří by měli mít tím pádem mnohem větší povědomí o ergonomii a možnostech moderních ergonomických digitálních nástrojů. Tuto strategii v ČR nejlépe zvládla firma SIEMENS s produktem Tecnomatix do kterého patří i produkt JACK.

Tyto softwary však nelze pouze slepě chválit, což ukazuje následující **srovnávací případová studie**.

### **Srovnávací případová studie využití digitálních nástrojů v praxi**

Následující případová studie se snaží poukázat na problémy, které se mohou objevit při hodnocení již existujících výrobních pracovišť. Jedná se o konkrétní pracoviště společnosti Kermi s.r.o. zabývající se výrobou topných těles a sprchových koutů. Případová studie byla realizována na pracovišti **finální montáže sprchových koutů**. Charakter výroby je sériového typu, takže se jedná o poměrně velkou opakovanost jednotlivých úkonů.

Prvním krokem je vždy vytvoření co možná nejpřesnějšího modelu skutečného pracoviště, na kterém se následně budou provádět analýzy a experimenty. Pro získání objektivních výsledků bylo již zmíněné pracoviště namodelováno v obou softwarových nástrojích, tedy v Delmia V5 Human, a v Tecnomatix Jack. Na následujících obrázcích jsou tyto dva modely znázorněny.

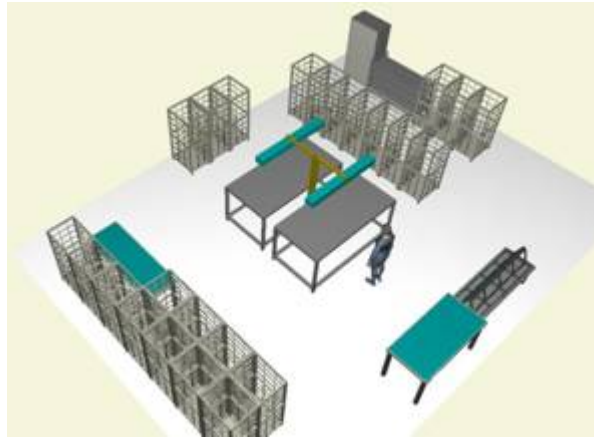


Image not found or type unknown

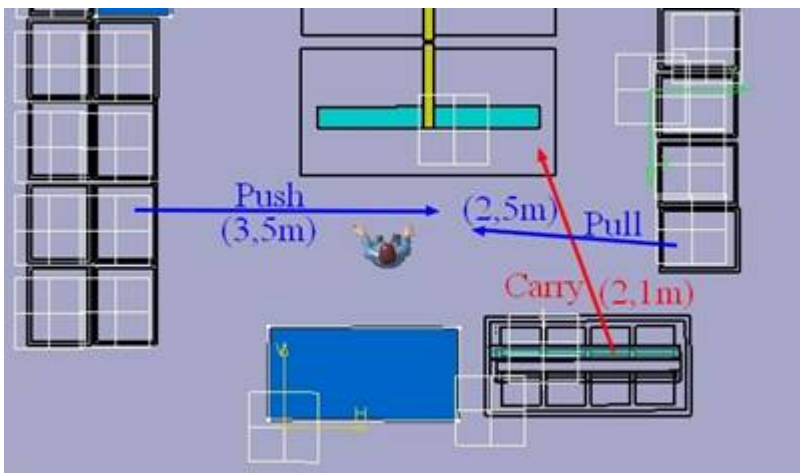
### Obr. 1: Modely pracoviště finální montáže v Delmia V5 Human a Tecnomatix Jack

Jak je vidět, co do oblasti vizualizace jsou oba softwary schopny znázornit zkoumaná pracoviště zcela totožně.

Rozdíly se však vyskytují při provádění ergonomických analýz. Na obou dvou pracovištích byl zvolen **stejný digitální model člověka**. Jedná se o muže 50. percentilu s výškou 175 cm a váhou 78 kg. Tento průměrný člověk byl zvolen z důvodu časté rotace pracovníků na pracovišti.

Následně byly na modelech obou pracovišť provedeny **totožné analýzy** pro činnosti, které se konají opakovaně, a je zde tedy nutné dbát na velikost zátěže pracovníka. Jedná se o ergonomické analýzy činnosti přenášení skleněné tabule ze stojanu na pracovní stůl a tlačení nebo tahání vozíku, ve kterém jsou uskladněny různé druhy (barvy, rozměry) plastových profilů potřebných ke kompletaci rámu nebo dveří sprchového koutu.

V nástroji Delmia se jedná o analýzu „Carry“ pro manipulaci se sklem a analýzu „Push-Pull“ pro manipulaci s vozíkem. V Tecnomatix jde o analýzu s názvem „Manual Handling Limits“, která je zaměřena na zdvihání, pokládání, tlačení, tažení a přenášení břemen. Na následující obrázku jsou znázorněny vzdálenosti a směry analyzovaných pohybů.



### Obr. 2: Naznačení prováděných analýz - Delmia V5 Human

## Analýza přenášení břemen

V obou softwarech využitých pro analýzu pracoviště se nachází ergonomické analýzy se stejnými možnostmi. Toto je prvním předpokladem pro srovnání výsledných hodnot.

V druhé řadě bylo důležité, aby obě analýzy pracovaly na stejném principu, aby tedy využívaly stejný propoččet nebo stejné standardy. Tento předpoklad byl také splněn, neboť obě analýzy vychází ze směrnic Snook & Ciriello z roku 1991 [4].

Na obrázku 3 máte možnost vidět vstupní i výstupní hodnoty při provádění analýzy v softwaru Delmia. Vzdálenost pro přenášení břemene byla stanovena na 2,1 m a tato činnost se opakovala každých 60 sekund. Výsledkem analýzy je maximální zátěžující síla 341,2 N, což představuje přibližně 34 kg.

Při provádění stejné analýzy v softwaru Tecnomatix JACK (viz obrázek 4) byly zadány stejné vstupní hodnoty. Výsledný hmotnostní limit zde činil 37 kg, což je o 3 kg více než v softwaru Delmia. Tento rozdíl je zapříčiněn rozdílným nastavením vstupních parametrů. Jak vidíte na obrázku 4, v Tecnomatix je kromě vzdálenosti a opakovanosti úkonu možno nastavit ještě i výšku neseného předmětu, která byla stanovena na 79 cm. Právě toto přesnější nastavení způsobuje drobné odlišnosti ve výsledcích z analýzy na přenášení břemen v Delmia vs. Human



Image not found or type unknown

Ukázky z analýzy na přenášení břemen v Tecnomatix Jack

**Obr. 3: Ukázky z analýzy na přenášení břemen**

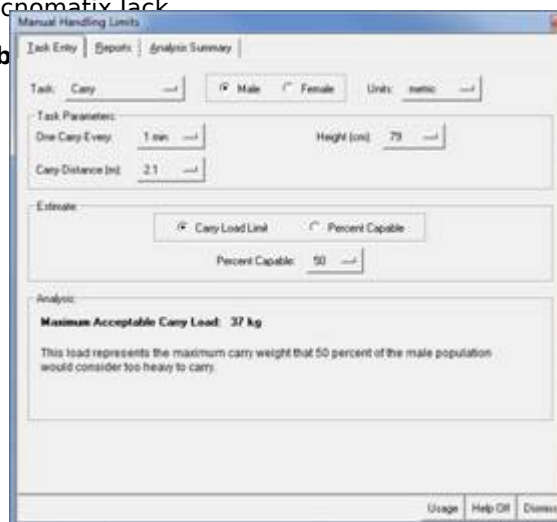


Image not found or type unknown

## Obr. 4: Ukázky z analýzy na přenášení břemen v Tecnomatix Jack

### Analýza tlačení a tahání vozíku

Na obrázku 5 je možné vidět vstupní i výstupní hodnoty při provádění analýzy v softwaru Delmia. Vzdálenost při tlačení vozíku byla stanovena na 3,5 m, vzdálenost při tažení pak na 2,5 m. Úkon se opakoval každých 50 sekund. Výsledky analýzy jsou v tomto případě dva. Jedná se o síly, které jsou nutné k rozpočívání klece a následně síly nutné pro její další pohyb. Síla nutná k rozpočívání je přirozeně vyšší. Zde se zaměříme pouze na sílu pohybovou. Hodnota pohybové síly pro tlačení činí 244,6 N (25 kg) a síly pro tahání 214,7 N (22 kg).

Při provádění analýzy stejného úkonu v Tecnomatix JACK (viz obrázek 6) došlo při zadávání vstupních parametrů k problému. V porovnání s Delmia není totiž v Tecnomatix možné nastavit konkrétní hodnoty pro vzdálenosti a dobu trvání operace. Na výběr jsou pouze hodnoty rozdělené po určitých úsecích, ze kterých se vybírá hodnota nejbližší skutečnosti. V našem případě byla na výběr jako nejpřijatelnější vzdálenost 2,1 m, blíží se skutečnosti. Doba trvání se opět lišila, a to o 10 sekund. V Tecnomatix byla doba manipulace nastavena na 60 sekund. Toto rozdílné zadání vstupních parametrů, které bylo markantnější než u předchozí analýzy, mělo za následek rozdílné výsledné hodnoty. Hodnota pohybové síly v Tecnomatix činí 260 N (26 kg) pro tahání 26 kg, což je opět řádově o 3 až 4 kg více než v softwaru Delmia.

Ukázky z analýzy na tlačení a tahání

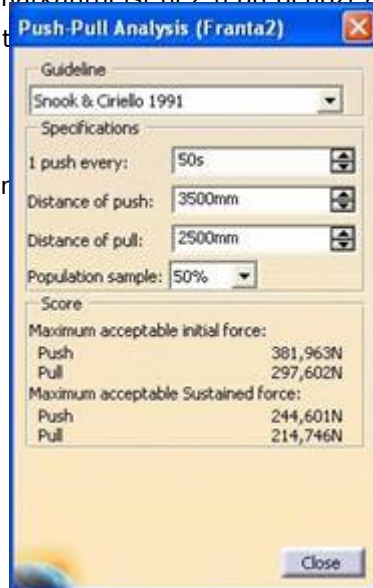


Image not found or type unknown

## Obr. 5: Ukázky z analýzy na tlačení a tahání v Delmia V5 Human

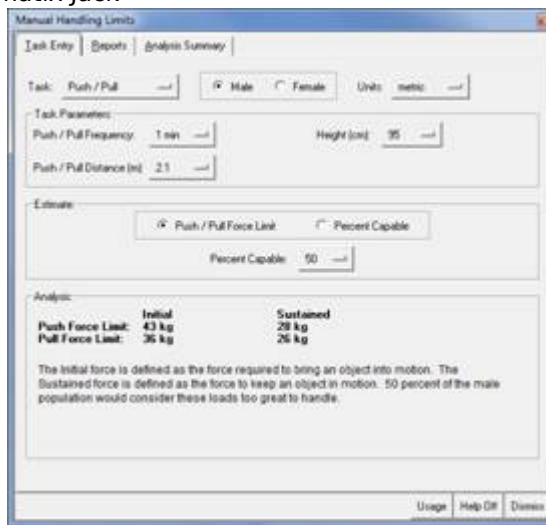


Image not found or type unknown

**Obr. 6: Ukázky z analýzy na tlačení a tahání v Tecnomatix Jack**

### Zhodnocení srovnávací případové studie

Výsledné hodnoty získané z provedených analýz srovnávací případové studie v softwarech Delmia a Tecnomatix, nelze brát zcela dogmaticky, neboť z různých důvodů **dochází k různým výsledkům**. Nesmíme také zapomínat na skutečnost, že předlohou těchto analýz jsou mezinárodní směrnice a metody. Vždy je nutné výsledné hodnoty **porovnat s legislativou dané země**. V České republice je v platnosti vyhláška č. 432/2003 Sb., stanovující podmínky pro zařazování prací do kategorií a nařízení vlády č. 361/2007 Sb., stanovující podmínky ochrany zdraví při práci. Oba dva tyto zdroje uvádí přípustné hmotnostní limity pro pracovní činnost v rámci 8 hodinové pracovní směny (viz Tabulka 1).

	občasná manipulace	častá manipulace	kumulativní hmotnost
muži	30-50 kg	15-30 kg	od 7000 kg do 10000 kg
ženy	15-20 kg	5-15 kg	od 4500 kg do 6500 kg

*pozn. hmotnostní limity pro těhotné ženy a osoby se změněnou pracovní schopností jsou nižší*

**Tabulka 1: Hmotnostní limity dle české legislativy**

Z této tabulky je patrné, že pro náš konkrétní případ platí maximální **okamžitý hmotnostní limit** 30 kg (muži, častá manipulace, což je více jak 30 min/směnu) a **kumulativní limit** do 10 000 kg (za celou směnu na vzdálenost 1 m). Pro porovnání s výsledky ergonomických analýz v softwarech použijeme pouze výsledky z analýzy na přenášení.

Kumulativní limit je nutné ponížít, neboť dochází k manipulaci na vzdálenost 2,1 m. Platný kumulativní limit bude tedy činit po úpravě 4 761 kg. Pokud se podíváme na výsledky okamžitého maximálního hmotnostního limitu ze softwarů (Delmia 34 kg, Jack 37 kg), zjistíme, že došlo k překročení legislativou dané hranice. Stejně je tomu i u kumulativní hmotnosti, kde tyto hodnoty značně přesahují dovolené maximum. V nástroji Delmia je pro pracovní směnu mimo přestávek hodnota kumulativní hmotnosti 14280 kg ( $34 \cdot 420 = 14\,280$  kg) a v Tecnomatix ještě vyšší, až 15 540 kg ( $37 \cdot 420 = 15\,540$  kg).

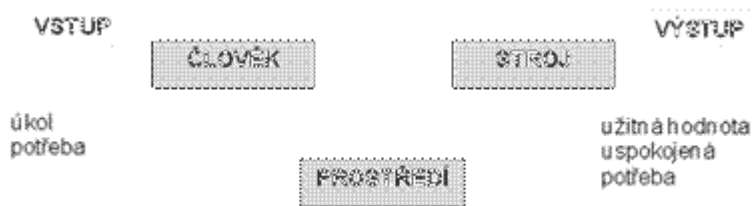
U obou digitálních nástrojů byl tedy překročen jak okamžitý maximální hmotnostní limit (Delmia o 4 kg a Jack o 7 kg).

Tím pádem byl překročen i limit maximální kumulativní hmotnosti manipulovatelné za směnu (Delmia o 4 280 kg, Jack o 5 540 kg).

## Závěr

Jak je vidět, existují určitá omezení při interpretaci výsledků ergonomických analýz při použití digitálních softwarových nástrojů. Prezentované nástroje nejsou jedinými nástroji na trhu, avšak jsou jedinými komplexními na trhu, které obsahují uznávané ergonomické analýzy, stejně jako nejpropracovanější digitální modely člověka. Je nesporné, že tyto nástroje spolu přináší spoustu výhod, počínající názornou 3D vizualizací, přes zrychlenou tvorbu a vyhodnocování ergonomických analýz až po finální 3D simulaci ověřeného výrobního procesu, ale nezapomínáme na něco? Nezapomínáme na něco, co je dle našeho názoru nepostradatelnou částí ergonomické optimalizace pracoviště?

Téměř v každé literatuře se v úvodních kapitolách setkáme s popisem základního ergonomického systému, který je tvořen třemi komponenty, člověkem – strojem – a prostředím (viz obrázek 7), (někdy také 3M nebo man-machine-medium). Při používání softwarových nástrojů máme k dispozici perfektní digitální modely lidského těla, máme možnost přesně do detailů znázornit pracoviště (nebo stroj) na kterém probíhají pracovní operace, ale bohužel **nepomáhají nám při řešení problémů techniky prostředí**. Parametry jako teplo, vlhko a proudění vzduchu, osvětlení nebo hluk určují až do výše 75% celkovou pohodu člověka v pracovním prostředí. Sledování těchto pracovních podmínek i bez podpory digitálních nástrojů je proto nezbytným předpokladem při efektivní ergonomické optimalizaci pracovního systému.



**Obr. 7: Schéma klasického pojetí ergonomie, zdroj [3]**

## Literatura

[1] BUREŠ, M. Ergonomie ve virtuálním světě. In *5. ročník medzinárodnej konferencie Priemyselné inžinierstvo, Nový Smokovec 2007*. ISBN 978-80-8073-895-2.

[2] BUREŠ, M. Porovnání komplexních ergonomických nástrojů. In *Mezinárodní konference Digitálny podnik, Žilina, Slovensko 2008*. ISBN 978-80-89333-03-5

[3] CHUNDELA, L. *Ergonomie*. Praha : ČVUT, 2005. ISBN 80-01-02301-X.

[4] CIRIELLO, V.M.; SNOOK, S.H. The design of manual handling tasks : revised tables of maximum acceptable weights and forces. *Ergonomics*, 1991, no. 34, s. 1197-1213.

[5] Česká republika. Vyhláška č. 432/2003 ze dne 4. prosince 2003, kterou se stanoví podmínky pro zařazování prací do kategorií, limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů, podmínky odběru biologického materiálu pro provádění biologických expozičních testů a náležitosti hlášení prací s azbestem a biologickými činiteli. *Sbírka zákonů Česká republika*, 2003, částka 142, s. 7210-7223.

[6] Česká republika. Vláda České republiky. Nařízení vlády č. 361/2007 ze dne 12. prosince 2007, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. *Sbírka zákonů Česká republika*, 2007, částka 111, s. 5086-5229.



[7] GÖRNER, T. *Systémový pohled na využití modulu Ergonomie programu Delmia v prostředí V5*. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta strojní. Katedra průmyslového inženýrství a managementu, 2008. 137 s. Vedoucí diplomové práce Prof. Ing. Edvard Leeder, CSc.

## Poděkování

Příspěvek byl vytvořen za podpory projektu SGS-2010-065 s názvem "Multidisciplinární optimalizace návrhu a provozu výrobního systému v prostředí digitálního podniku" řešeného v programu Interní grantové agentury Západočeské univerzity v Plzni.

## Vzorová citace

BUREŠ, Marek...[et al.]. Využití digitálních nástrojů ergonomie pro praxi. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online], 2011, roč. 4, č. 1. Dostupný z WWW: <<http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-01-2011/digitalni-nastroje-ergonomie.html>>. ISSN 1803-3687.

---

Autor článku:

[Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.](#)

[Ing. Kateřina Sekulová](#)

[Ing. Marek Bureš, Ph.D.](#)

[Ing. Tomáš Görner](#)