

Ověření přínosu exoskeletu – porovnávací měření pomocí exoskeletu

Andrea Šimerová ¹, Kateřina Veselá ¹, Ilona Kačerová ¹, Marek Bureš ¹,
Michal Šimon ¹

¹ Západočeská univerzita v Plzni
Univerzitní 2732/8, 301 00 Plzeň

simerova@fst.zcu.cz

vesela@fst.zcu.cz

ikacerov@kpv.zcu.cz

buresm@kpv.zcu.cz

simon@kpv.zcu.cz

Anotace: Článek se věnuje popisu projektu, jehož cílem bylo ověření přínosu exoskeletu. Jednalo se o přípravu a následnou realizaci porovnávacího měření pomocí exoskeletu. Měření bylo zaměřeno na pracovní činnost impregnace transformátorů bez použití exoskeletu a s použitím exoskeletu. Z provedeného měření bylo následně představeno porovnání zjištěných hodnot.

1 Úvod

V současné době stále větší množství podniků a firem dbá na zdraví a pohodlí svých pracovníků. Tento vývoj je poháněn několika klíčovými faktory, které reflektují rostoucí povědomí o významu zdraví a jeho vlivu na výkonnost a spokojenost zaměstnanců. Zaměstnavatelé si uvědomují, že zdravý a spokojený pracovník, je pro podnik či firmu přínosnější, než pracovník nemocný a nespokojený. Zdraví zaměstnance má přímý vliv na produktivitu, kreativitu a dlouhodobou pracovní výkonnost. Proto podnik či firma, která se stará o zdraví a spokojenost svých pracovníků disponuje nižší fluktuací, což vede k nižším nákladům na zaměstnance. [1] [2] [3]

Dále je možné zmínit vliv na firemní odpovědnost a image. Podniky či firmy, které se aktivně starají o své zaměstnance jsou veřejností a potenciálními klienty vnímány jako etické a sociálně odpovědné. To může podniku či firmě pomoci získat mladé a talentované zaměstnance, a posílit pozici na trhu a maximalizovat zisk. [1] [2] [3]

Pokud konkrétní podniky či firmy nekladou dostatečný důraz na zdraví svých zaměstnanců, ale je zde snaha tuto skutečnost změnit, měly by začít tím, že provedou analýzu pracovních podmínek. Je důležité zjistit, kde lze přijmout opatření na zlepšení, například se zaměřit na ergonomii, snížit stres a podpořit fyzickou i psychickou stránku každého pracovníka. V současné době je stále významnějším trendem zavedení firemních programů pro zdravý životní styl, jako jsou například sportovní aktivity, fyzioterapie, psychologická podpora či preventivní lékařské prohlídky. [3] [4]

S nepříznivým dlouhodobým působením škodlivých vlivů na pracoviště souvisí také několik nemocí z povolání, jako je například chronické onemocnění bederní páteře z dlouhodobého přetěžování fyzickou prací. [10] Právě tomuto onemocnění je možné předcházet například za pomoci pravidelného využívání exoskeletu.

Pro tento projekt bylo zvoleno pracoviště ve výrobním podniku v plzeňském kraji. Konkrétně se jednalo o pracoviště s názvem impregnace transformátorů, kde pracuje jeden zaměstnanec. Zátěž vznikající během pracovní činnosti byla měřena při použití exoskeletu i bez použití exoskeletu. Na závěr byly naměřené hodnoty vyhodnoceny a slovně interpretovány.

2 Průmyslové exoskelety

Dlouhodobým cílem prevence a ochrany zdraví člověka při práci je výrazně snížit rizika, která jsou spojená s přetížením a poruchami pohybového aparátu vznikajícími při manipulaci s břemeny. [5]

Exoskelety jsou mechanická či elektrická nositelná zařízení, jejichž smyslem je minimalizovat zátěž a zranění tím, že poskytují podporu uživateli při zvedání břemene a rozptyl jeho váhy, korekci držení těla a další funkce. [11]

Existuje mnoho typů exoskeletů, je možné je rozlišovat na základě konstrukce na pasivní a aktivní, nebo dle částí těla, které exoskelety podporují. Pasivní exoskelety fungují čistě mechanicky, například pomocí pružinových systémů, které absorbují energii při určitých pohybech těla a opět ji uvolňují, aby zajistily požadovaný pohyb a oporu. Nevyžadují napájení a obvykle podporují pouze jednotlivé části těla. Vzhledem k tomu, že jsou lehčí a levnější než jejich aktivní protějšky, setkaly se s výrazným ve firmách většího uznání. Aktivní exoskelety disponují elektrickým nebo pneumatickým pohonem, který vyžaduje napájení. Mohou mít modulární a rozšiřitelnou formu, což umožňuje podporu více částí těla. Vzhledem k tomu, že aktivní exoskelety jsou velmi složité a často mají vysokou vlastní hmotnost, setkaly se s v průmyslu zatím s menším přijetím. [12]

Mnoho exoskeletů funguje na principu přenášení váhy z jedné části těla na jiné části, například z paží na nohy, aby se snížila nepřetržitá zátěž, zvýšila vytrvalost a zlepšila produktivita. Postup, jak toho dosáhnout, se u různých typů exoskeletů liší. Například některé exoskelety na paži toho dosahují pomocí protiváhy, která přenáší váhu paže dolů na zem. Jiné exoskelety se zaměřují na zvýšení síly uživatele. Například silové rukavice mohou být použity ke zvýšení síly úchopu pro uživatele, kteří mají problémy s uchopením nástrojů. Toho se dosahuje pomocí senzorů v rukavici, které přidávají dodatečnou sílu do ruky uživatele a zlepšují úchop. [12]

Některé konstrukční exoskelety jsou přizpůsobeny typu postavy uživatele a většina z nich se dodává v různých velikostech. Při usazení dané části těla do exoskeletu musí klouby exoskeletu kopírovat klouby lidské. V případě

špatného usazení by mohlo dojít ke zranění uživatele, uvolnění končetiny či dokonce k rozbití exoskeletu. [5] [6]

Cílem tohoto měření s využitím exoskeletu je změřit únavu a úlevu v zatížených svalech. Měření se u pracovníků provádí pro posouzení ověření přínosu vykonávání pracovní činnosti pomocí exoskeletu. Exoskelet ulevuje zádům během ohýbacích a zvedacích pohybů, stejně jako při statických aktivitách. Při měření je pracovník vybaven elektrodami na svalech centrálně zapojených do zvedání. Výhody systému lze pozorovat ve srovnání parametrů úsilí a únavy. [5] [6]

Při měření byl využit exoskelet od společnosti hTRIUS. Konkrétně se jednalo o model BionicBack, který je určen pro pomoc při zvedání a je umístěn na zádových svalech. Z tohoto důvodu je exoskelet vyroben z extra lehkého materiálu a jeho nastavení je snadné. [9]



Obrázek 1: Exoskelet BionicBack

3 Měření ergonomie pracovního místa pomocí přístroje TEA CAPTIV

CAPTIV je přístroj od francouzské společnosti TEA Ergo, který je využíván pro měření zatížení a pohybů osob. Tento přístroj využívá různé druhy bezdrátových senzorů. Tyto senzory spolupracují s počítačovým softwarem, který zaznamenává data ve formě virtuálního modelu člověka. Z tohoto modelu lze pak data analyzovat a vyhodnocovat. Virtuální model je možné propojit s videozáznamem, což vede k větší názornosti a rychlejšímu průběhu analyzování. [7]

3.1 CAPTIV sada

Přístroj CAPTIV využívá různé druhy bezdrátových senzorů, které měří např. svalovou aktivitu, tepovou frekvenci, vodivost pokožky vlivem pocení nebo pohyby sledované osoby. Aktuálně využívaná sada obsahuje 6 senzorů měřící pohyb a 4 EMG senzory, které měří svalovou aktivitu. Senzory disponují 3 důležitými prvky. Prvním z nich je tlačítko „Start/stop“, druhým jsou barevně odlišné LED diody a dalším je Mini-USB konektor, který slouží především k nabíjení senzorů. [7]



Obrázek 2: CAPTIV sada

3.2 CAPTIV senzory

Pohybové senzory T-Sens Motion zaznamenávají pohyby sledované osoby pomocí měření změn úhlů vůči sobě. Například pokud je senzor umístěn na paži a předloktí, je možné sledovat pohyby loktu. Nebo pokud je senzor umístěn na stehno a lýtko, můžou se sledovat pohyby v kolenu atd. [7]



Obrázek 3: Pohybový senzor

Dále sada obsahuje povrchové EMG senzory pro hodnocení svalového zatížení. Tyto senzory opět fungují bezdrátově. [7]



Obrázek 4: EMG senzor

4 Popis pracovního procesu

Měření bylo provedeno na 1 zapracovaném muži v nejmenované výrobní společnosti v plzeňském kraji.

Základní informace o měřeném muži:

- Věk: 31 let
- Výška: 185 cm
- Váha: 87 kg
- Dominantní horní končetina: Pravá
- Zapracování: 8 let

Měření bylo provedeno na 1 muži z důvodu nedostatečného počtu vhodných osob k měření.

Umístění senzorů bylo následující:

- Pravá strana – EMG 443 fascie
- Pravá strana – EMG 444 široký sval
- Levá stran – EMG 445 fascie
- Levá strana – EMG 446 široký sval



Obrázek 5: Umístění EMG senzorů

V době měření pracovník nakládal do impregnační vany výrobky o hmotnosti 6,5 kg, dále je z vany i vykládal. V průběhu impregnace se věnoval očištění roštů od zaschlého laku. V závěru měření pracovník nakládal do impregnační vany větší výrobky od hmotnosti 20,5 kg. Tyto větší výrobky byly poté nakládány i vykládány s i bez exoskeletu. Proto byly větší výrobky zvoleny pro srovnání výsledků.

4.1 Výsledky měření s exoskeletem

Nejprve bylo provedeno měření s exoskeletem. Čistý čas měření byl 55 minut.

V průběhu celého měření byly naměřeny následující hodnoty svalového potenciálu na zádočných svalech:

- | | | |
|-----------|-------|------------|
| ➤ EMG 443 | 11,12 | Mikrovoltu |
| ➤ EMG 444 | 11,14 | Mikrovoltu |
| ➤ EMG 445 | 16,29 | Mikrovoltu |
| ➤ EMG 446 | 10,43 | Mikrovoltu |

Detailnímu zkoumání byly podrobeny situace při nakládání do impregnační vany. Níže vyobrazené výsledky jsou pouze pro nakládání 20,5kg výrobků. Celkem byly analyzovány 4 úseky, kdy v každém pracovník naložil do vany 3-4 výrobky. Průměrné a maximální hodnoty svalového potenciálu v mikrovoltech jsou uvedeny v tabulce. Klíčové hodnoty naměřené na širokém zádočném svalu jsou zvýrazněny zeleně. Tabulka je zároveň doplněna o maximální úhel předklonu ve stupních při nakládání výrobků do vany.

Tabulka 1: Výsledky měření s exoskeletem [vlastní zpracování]

Nakládání 1	MAX	AVG	Nakládání 2	MAX	AVG	Nakládání 3	MAX	AVG	Nakládání 4	MAX	AVG
EMG 443	49,08	24,45	EMG 443	42,39	23,49	EMG 443	38,66	22,14	EMG 443	39,53	21,48
EMG 444	33,37	17,53	EMG 444	26,78	16,84	EMG 444	19,89	14,88	EMG 444	20,83	13,6
EMG 445	55,75	30,51	EMG 445	52,59	29,58	EMG 445	40,25	16,11	EMG 445	48,91	26,07
EMG 446	28,1	14,91	EMG 446	27,6	15,03	EMG 446	19,05	12,54	EMG 446	23,31	13,28
Předklon	46,1		Předklon	41,7		Předklon	48,5		Předklon	62,9	



Obrázek 6: Výsledky měření s exoskeletem

4.2 Výsledky měření bez exoskeletu

Měření bez exoskeletu bylo realizováno po přestávce. Čistý čas měření byl 36 minut. V průběhu měření docházelo výhradně k manipulaci s výrobky o hmotnosti 20,5 kg.

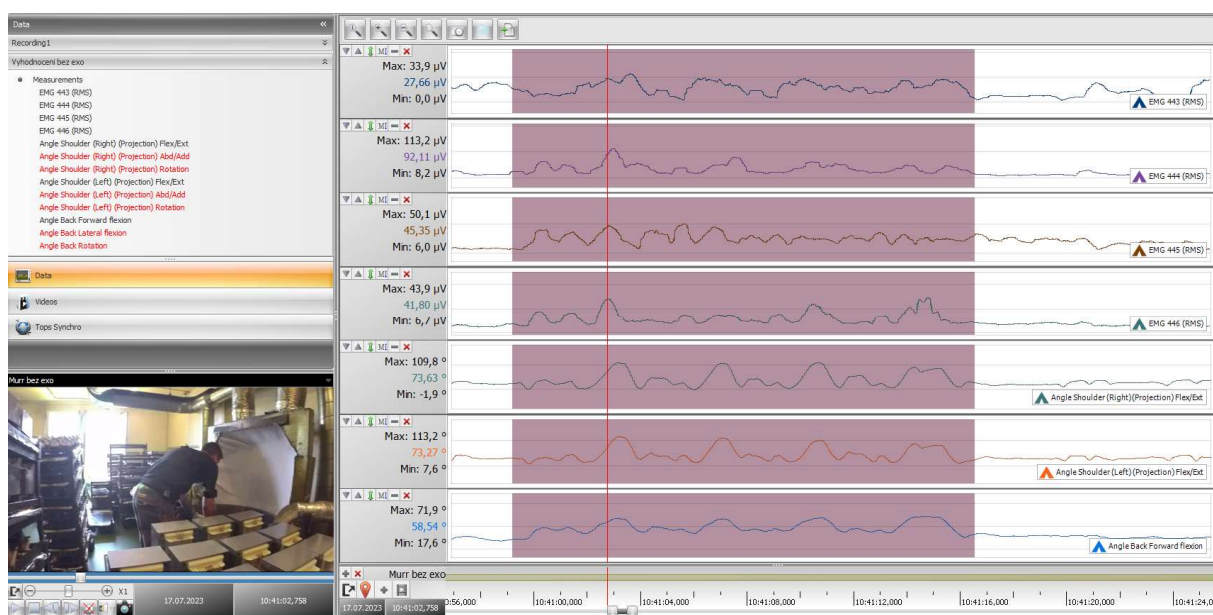
V průběhu celého měření byly naměřeny následující hodnoty svalového potenciálu na zádových svalech:

- EMG 443 13,44 Mikrovoltu
- EMG 444 20,09 Mikrovoltu
- EMG 445 18,55 Mikrovoltu
- EMG 446 23,79 Mikrovoltu

Detailnímu zkoumání byly podrobeny opět situace při nakládání impregnační vany. Celkem byly analyzovány 3 úseky, kdy v každém pracovník naložil do vany 4 výrobky. Průměrné a maximální hodnoty svalového potenciálu v mikrovoltech jsou uvedeny v tabulce. Klíčové hodnoty naměřené na širokém zádovém svalu jsou zvýrazněny zeleně. Tabulka je také doplněna o maximální úhel předklonu ve stupních při nakládání výrobků do vany.

Tabulka 2: Výsledky měření bez exoskeletu [výsledky měření bez exoskeletu]

Nakládání 1	MAX	AVG	Nakládání 2	MAX	AVG	Nakládání 3	MAX	AVG
EMG 443	33,89	17,42	EMG 443	31,43	17,53	EMG 443	31,71	17,47
EMG 444	113,16	37,89	EMG 444	84,02	36,12	EMG 444	78,95	39,98
EMG 445	50,13	26,21	EMG 445	43,59	26,16	EMG 445	48,21	24,55
EMG 446	43,88	18,66	EMG 446	45,21	18,02	EMG 446	35,52	21,16
Předklon	71,9		Předklon	73,5		Předklon	82,3	



Obrázek 7: Výsledky měření bez exoskeletu

5 Porovnání výsledků

Cílem provedeného měření bylo ověření přínosů při využívání exoskeletu určeného k odlehčení zádových svalů. Konkrétně se jednalo o exoskelet od společnosti hTRIUS. Měření bylo provedeno pomocí biomechanického systému Captiv od francouzského výrobce TEA Ergo. K měření byly využity 4 EMG senzory umístěné na zádových svaích (široký zádový sval a jeho fascie) a 4 polohové senzory pro měření úhlu v bederní páteři a ramenech. V první fázi bylo zrealizované 55minutové měření s exoskeletem. Ve druhé fázi bylo zrealizované 36minutové měření bez exoskeletu. Průměrně hodnoty svalového potenciálu získaného z EMG senzorů byly v případě práce s exoskeletem nižší, než při práci bez exoskeletu (viz následující tabulka).

Tabulka 3: Porovnání výsledků měření [vlastní zpracování, 2023]

EMG	s exoskeletem		bez exoskeletu	
EMG 443	11,12	Mikrovoltu	13,44	Mikrovoltu
EMG 444	11,14	Mikrovoltu	20,09	Mikrovoltu
EMG 445	16,29	Mikrovoltu	18,55	Mikrovoltu
EMG 446	10,43	Mikrovoltu	23,79	Mikrovoltu

Je patrné, že jak průměrné, tak maximální hodnoty ze senzorů umístěné na šikmých zádočných svalech byly v případě využití exoskeletu nižší než bez něj. V případě senzorů umístěných na lumbodorsální fascii již nejsou výsledky tak jasné. V případě senzoru EMG 445 umístěného na levé straně zad jsou výsledky s exoskeletem a bez téměř totožné. Průměrná hodnota ze všech měření s exoskeletem činí 25,57 mikrovoltu a 25,64 mikrovoltu v případě bez exoskeletu. U senzoru EMG 443 umístěného na pravé straně zad jsou průměrné hodnoty 22,89 mikrovoltu s exoskeletem a 17,74 mikrovoltu bez exoskeletu. Hodnoty jsou tak opačné, než bylo očekáváno. Tato skutečnost je způsobená pravděpodobně krátkými výpadky tohoto senzoru v průběhu celého měření. Je také možné, že v případě měření s exoskeletem byl tento senzor stlačován konstrukcí exoskeletu, čímž dochází k naměření vyšších hodnot.

Tabulka 4: Výsledky měření s exoskeletem [vlastní zpracování, 2023]

Nakládání 1	MAX	AVG	Nakládání 2	MAX	AVG	Nakládání 3	MAX	AVG	Nakládání 4	MAX	AVG
EMG 443	49,08	24,45	EMG 443	42,39	23,49	EMG 443	38,66	22,14	EMG 443	39,53	21,48
EMG 444	33,37	17,53	EMG 444	26,78	16,84	EMG 444	19,89	14,88	EMG 444	20,83	13,6
EMG 445	55,75	30,51	EMG 445	52,59	29,58	EMG 445	40,25	16,11	EMG 445	48,91	26,07
EMG 446	28,1	14,91	EMG 446	27,6	15,03	EMG 446	19,05	12,54	EMG 446	23,31	13,28
Předklon	46,1		Předklon	41,7		Předklon	48,5		Předklon	62,9	

Tabulka 5: Výsledky měření bez exoskeletu [vlastní zpracování, 2023]

Nakládání 1	MAX	AVG	Nakládání 2	MAX	AVG	Nakládání 3	MAX	AVG
EMG 443	33,89	17,42	EMG 443	31,43	17,53	EMG 443	31,71	17,47
EMG 444	113,16	37,89	EMG 444	84,02	36,12	EMG 444	78,95	39,98
EMG 445	50,13	26,21	EMG 445	43,59	26,16	EMG 445	48,21	24,55
EMG 446	43,88	18,66	EMG 446	45,21	18,02	EMG 446	35,52	21,16
Předklon	71,9		Předklon	73,5		Předklon	82,3	

Velice zajímavé jsou tak výsledky hloubky předklonu měřené pohybovým senzorem. Jak je vidět z výše uvedených tabulek, maximální hodnoty předklonu při využívání exoskeletu se velmi často pohybovali do 50°, kdyžto maximální hodnoty předklonu bez exoskeletu byly vždy až přes 70°. Je tedy evidentní, že dalším benefitem exoskeletu, je kromě snížené svalové zátěže, držení trupu v nižším předklonu. Při práci bez exoskeletu se pracovník předkláněl více než bylo potřeba. Je tedy pravděpodobné, že při využití exoskeletu pracovník nepřekročí hygienické limity pro nepřijatelné pracovní polohy dle platné legislativy. [8]

6 Závěr

Cílem provedeného měření bylo ověření přínosů při využívání exoskeletu určeného k odlehčení zádových svalů. Konkrétně se jednalo o exoskelet od společnosti hTRIUS. Měření bylo realizováno na jednom pracovníkovi z pracoviště impregnace transformátorů. Měření bylo provedeno pomocí biomechanického systému Captiv od francouzského výrobce TEA Ergo. K měření byly využity 4 EMG senzory umístěné na zádových svalech (široký zádový sval a jeho fascie) a 4 polohové senzory pro měření úhlu v bederní páteři a ramenech.

Jak je možné z prezentovaných výrobků pozorovat, je velice důležité při pracovních činnostech ulevovat namáhaným svalům. Včasné ulevení může předejít vzniku nemocím z povolání, a to konkrétně nemoci bederní páteře. Právě z tohoto důvodu je důležité dbát na ergonomii pracovního místa.

Poděkování

Příspěvek byl vytvořen za podpory projektu SGS-2021-028 s názvem "Vývojové a tréninkové prostředky pro interakci člověka a kyber-fyzického výrobního systému" řešeného v rámci Interní grantové agentury Západočeské univerzity v Plzni.

Použitá literatura

- [1] ARMSTRONG, M., & TAYLOR, S. *Řízení lidských zdrojů. Moderní pojetí a postupy*. 13. vyd. Praha: Grada Publishing, 2015, ISBN 978-80-247-5258-7
- [2] KOCIÁNOVÁ, R. *Personální činnosti a metody personální práce*. Praha, Grada Publishing, 2010, ISBN 978-80-247-2497-3
- [3] MILLER, K. *What is Human resource management: career, skills, trends*. [online]. [cit. 2023-09-20]. Dostupné z: [What is Human Resources Management: Careers, Skills, Trends \(northeastern.edu\)](https://www.northeastern.edu/what-is-human-resources-management-careers-skills-trends/)
- [4] BUREŠ, M. *Tvorba a optimalizace pracoviště*. 1. vyd. Plzeň: SmartMotion s.r.o., 2013, ISBN: 978-80-87539-32-3
- [5] BŘEZINA, J. *Robotický exoskelet pro horní končetiny*. [online]. [cit. 2023-09-19]. Dostupné z: [Březina Jan NMSP.pdf \(tul.cz\)](https://www.nmosp.cz/files/Brezina_Jan_NMSP.pdf)
- [6] VÝZKUMNÝ ÚSTAV BEZPEČNOSTI PRÁCE. *Nebezpečí přetěžování pohybového aparátu v souvislosti s použitím moderních technologií, technologických inovací a možnosti jeho eliminace*. [online]. [cit. 2023. 09.18]. Dostupné z: [1 Komplexní pohled na prevenci přetěžování pohybového aparátu při výkonu pracovních činností \(vubp.cz\)](https://www.vubp.cz/1-komplexni-pohled-na-prevenci-pretezovani-pohyboveho-aparatu-pri-vykonu-pracovnich-cinnosti/)
- [7] TEA ERGO. *Manuál Captiv*. [online]. [cit. 2023-09-20]. Dostupné z: [TEA - Measurement and analysis of Human Behavior \(teaergo.com\)](https://www.teaergo.com/TEA-Measurement-and-analysis-of-Human-Behavior/)

- [8] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. In: zakonyprolidi.cz [online]. [cit. 2023-09-20]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361>
- [9] BionicBack. *BionicBack*. [online]. [cit. 2023-08-30]. Dostupné z: <https://www.htrius.com/>
- [10] MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ. *Věstník MZ*. [online]. 2023, [cit. 2023-09-25]. Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/vestnik/vestnik-8-2023/>
- [11] SCHICK, Ralf. Exoskeletons at work: everything safe and sound? KANBrief [online]. 2019, Nr. 3 [cit. 2021-11-12]. Dostupné z: <https://www.kan.de/en/publications/kanbrief/exoskeletons/exoskeletons-at-work-everything-safe-and-sound>
- [12] FOX, Stephen ...[et al.]. Exoskeletons: comprehensive, comparative and critical analyses of their potential to improve manufacturing performance. *Journal of Manufacturing Technology Management* [online]. 2019, vol. 31, no. 6, s. 1261-1280 [cit. 2021-11-12]. Dostupné z: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JMTM-01-2019-0023/full/html>. ISSN 1741-038X