

T A
Č R

Tento projekt je spolufinancován se státní podporou
Technologické agentury ČR a Ministerstva průmyslu
a obchodu v rámci **Programu TREND**.

www.tacr.cz

www.mpo.cz

Vývoj systému pro monitoring a vyhodnocení vybraných rizikových faktorů fyzické zátěže pracovních operací v kontextu Průmyslu 4.0.

Doba realizace: 04/2021 – 03/2024

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta managementu a ekonomiky


Technologie a konzultace



Fakulta
tělesné kultury
Univerzita Palackého
v Olomouci

VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA

 FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ
ČVUT V PRAZE

 VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE

 MORAVSKOSLEZSKÝ
AUTOMOBILOVÝ KLAŠTR

 PREVENTADO

Vývojový a měřicí tým:

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, FaME

- prof. Ing. David Tuček, Ph.D.
- Ing. Lucie Macurová, Ph.D.
- Ing. Tomáš Urbánek, Ph.D.
- Ing. Zuzana Vaculčíková, Ph.D.
- Ing. Jan Holočí

VŠB Technická Univerzita Ostrava, FEI

- doc. Ing. Jaromír Konečný, Ph.D.
- doc. Ing. Michal Prauzek, Ph.D.

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

- doc. Ing. Lenka Švecová, Ph.D.
- Ing. Dagmar Čámská, Ph.D.
- Ing. Petra Králová, Ph.D.

České vysoké učení technické, FBMI:

- doc. Ing. Lenka Lhotská, CSc.
- Mgr. Viktor Kubát MBA

Icontio

- Emil Vařeka
- Ondřej Pavlacký
- Michal Musil
- Vojtěch Spěvák
- Anastasia Klásková
- Hana Boháčová

Univerzita Palackého v Olomouci

- Mgr. David Prycl, MPA

PREVENTADO s.r.o.

- Ing. Barbora Dombeková, Ph.D.
- Mgr. Radim Pektor

Moravskoslezský automobilový klastr, z.s.

- Ing. Jana Nevřelová



Osnova

1. **ROLE ERGONOMIE V ÉŘE INDUSTRY 4.0.**
2. **CÍLE A ZAMĚŘENÍ PROJEKTŮ ERGONOMIE ŘEŠENÝCH NA FAME UTB**
3. **DOSAVADNÍ MĚŘENÍ A VÝSLEDKY**
4. **NOVÁ METODIKA MĚŘENÍ**
5. **UŽIVATELSKÝ POHLED VYVINUTÉ MĚŘÍCÍ APLIKACE**

Cíle a zaměření projektu TAČR

- Vyvinout novou technologii a zařízení, zvyšující míru automatizace vyhodnocení vybraných rizikových faktorů fyzické zátěže pracovních operací v kontextu Průmyslu 4.0.
- Komplexní metodika hodnocení vybraných rizikových faktorů fyzické zátěže pracovních operací
- Zhodnocení jednotlivých parametrů konkrétního pracovního výkonu
- Přímě pro konkrétní pracovní operaci díky inteligentním sensorům
- Komplexní přehled o výkonu a zatížení pracovníka
- Návrh doporučení pro kompenzaci a intervenci
- Zvýšení efektivity při dodržování BOZP na pracovišti (snížení únavy, přetížení, zvýšení výkonu, nižší chybovost)
- Snížení nemocí z povolání (nižší absence, příp. náhrady)

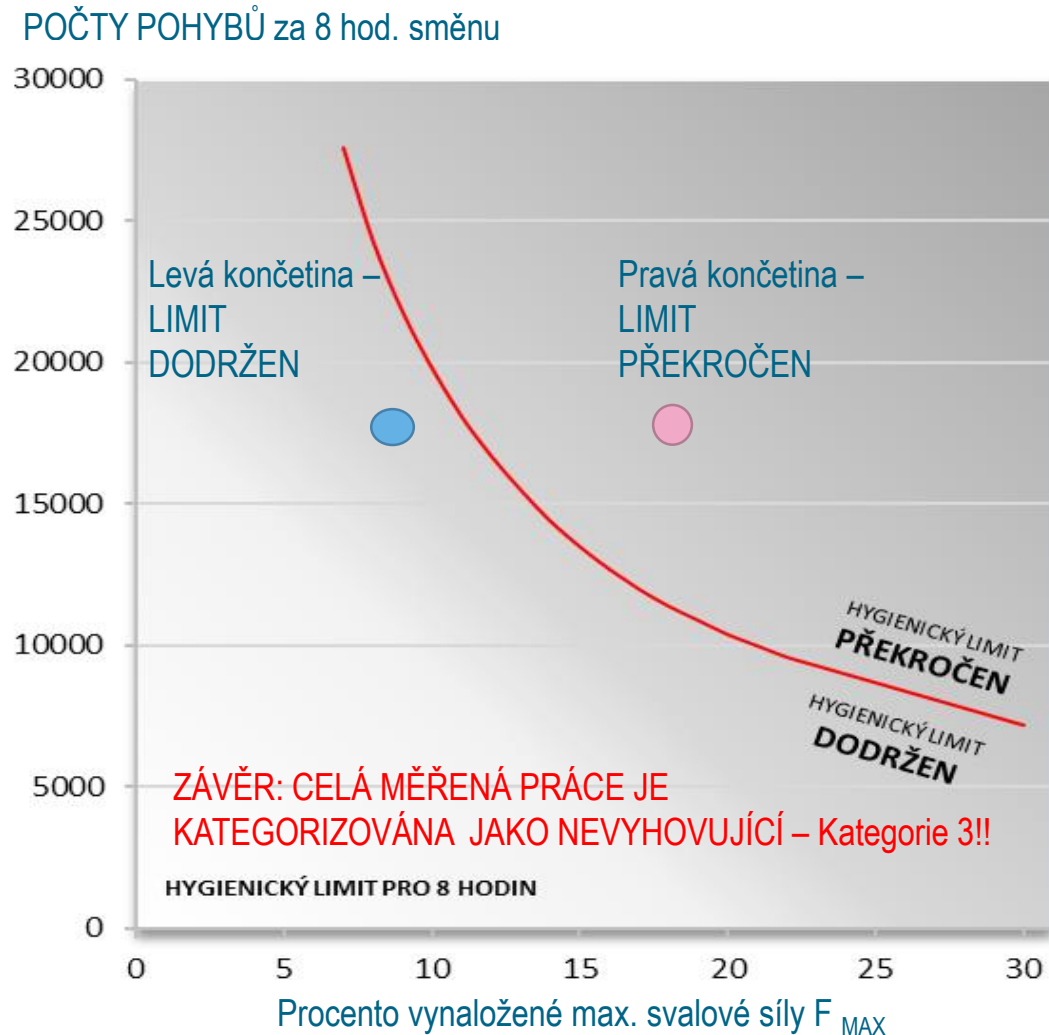
Výzkum - zlepšování procesů v ergonomii

- **2013 – 2015:** Zlepšování procesů – VaV Ergonomie drobné svalové zátěže, OPPI – Operační program pro podnikání a inovace MPO
- **Výzkumný problém:** akreditované měření jednoho z rizikových faktorů pracovního prostředí: lokální svalová zátěž (LSZ) metodou integrované elektromyografie (iEMG). Poskytuje pouze souhrnné hodnocení (viz. obr. 2).



Obr. 1 EMG holter (GETA)

- Výsledek výzkumu:** ergonomické zařízení (tzv. datalogger) pro monitorování LSZ (měřícího zařízení vč. zpracované metodiky pro měření a vyhodnocování i SW aplikace).



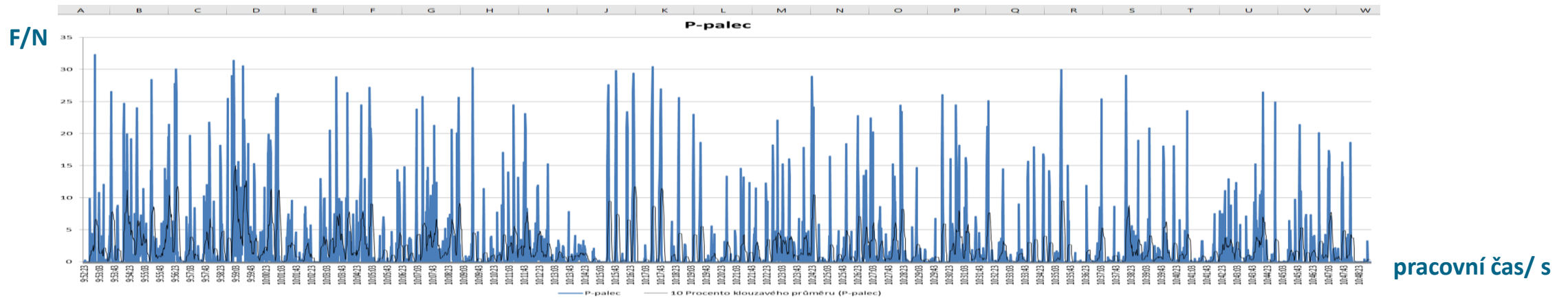
Obr. 2 Graf závislosti počtu pohybů a svalové síly (vlastní zpracování)



Obr. 3 Ergonomický datalogger - 1 GENERACE (vlastní zpracování)

Přínos:

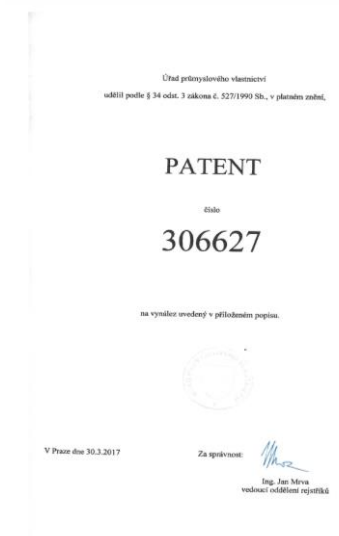
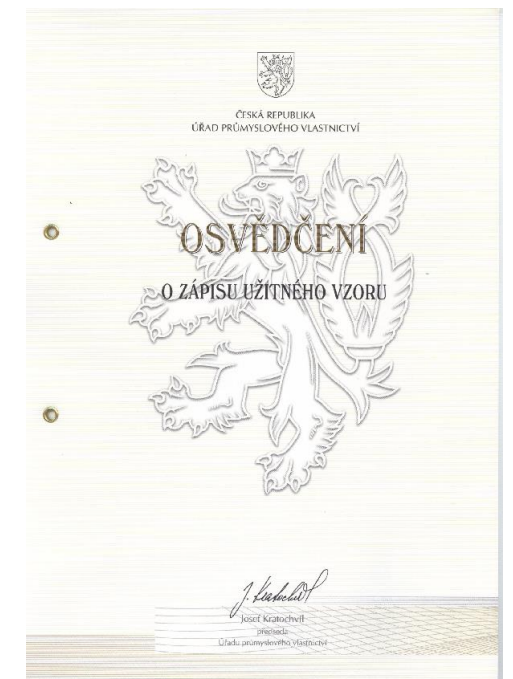
- nová metodika a zařízení na měření LSZ s možností vyhodnotit vynakládané síly jednotlivých prstů **jako optimalizační kritérium při plánování a realizaci pracovních operací** (nebo při kolaudaci linek) – pro nalezení optimální realizace procesu z pohledu minimalizace LSZ (minimální vynakládané síly prstů).



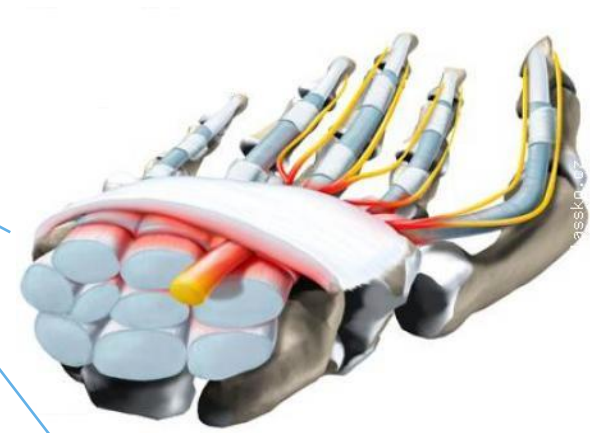
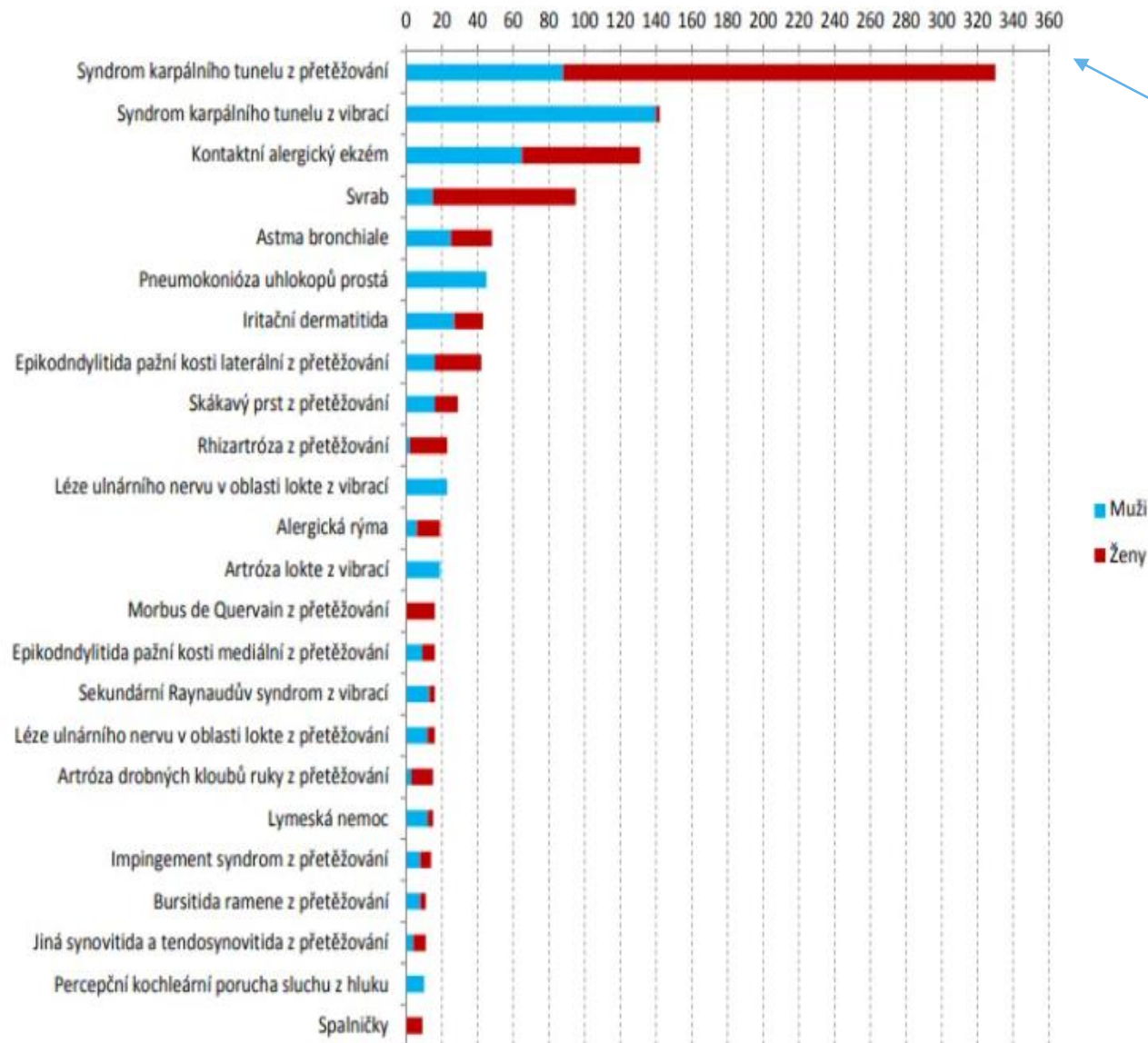
Obr. 4 Optimalizace procesů v ITT holding a.s. Ostrava – možnost průběžného sledování zatížení vč. jednotlivých prstů (vlastní zpracování)

Využití výsledků prvního výzkumu

- **Patent a užitný vzor** skupina patentové přihlášky, číslo přihlášky: PV/2015-820 číslo ochranného dokumentu: 306627
- **Licenční smlouva**
- **Využití v podnikové praxi:** desítky měření na vyhodnocení úrovně LSZ s návrhy na optimalizaci výrobních či montážních procesů pro společnosti např.: Koyo, ITT holding, Continental, Smith Medical, Continental Barum, TON ad.
- výsledky publikovány m.j. v časopisech: **Measurement (Q2 dle AIS)**, a **Acta Polytechnica Hungarica (Q4 dle AIS)** ad.
- **Další vývoj:** multioborové přesahy, sensorika, podání a realizace projektu TAČR TREND



Výskyt NzP dle diagnóz - 2018



Lokální svalová zátěž

- synonymum pro **dlouhodobou nadměrnou jednostrannou zátěž svalových** (tj. svalů, šlach, šlachových úponů a šlachových pochev) a mimosvalových struktur (nervů, cév, kloubů, tíhových váčků ad.) především horních končetin (svaly předloktí)

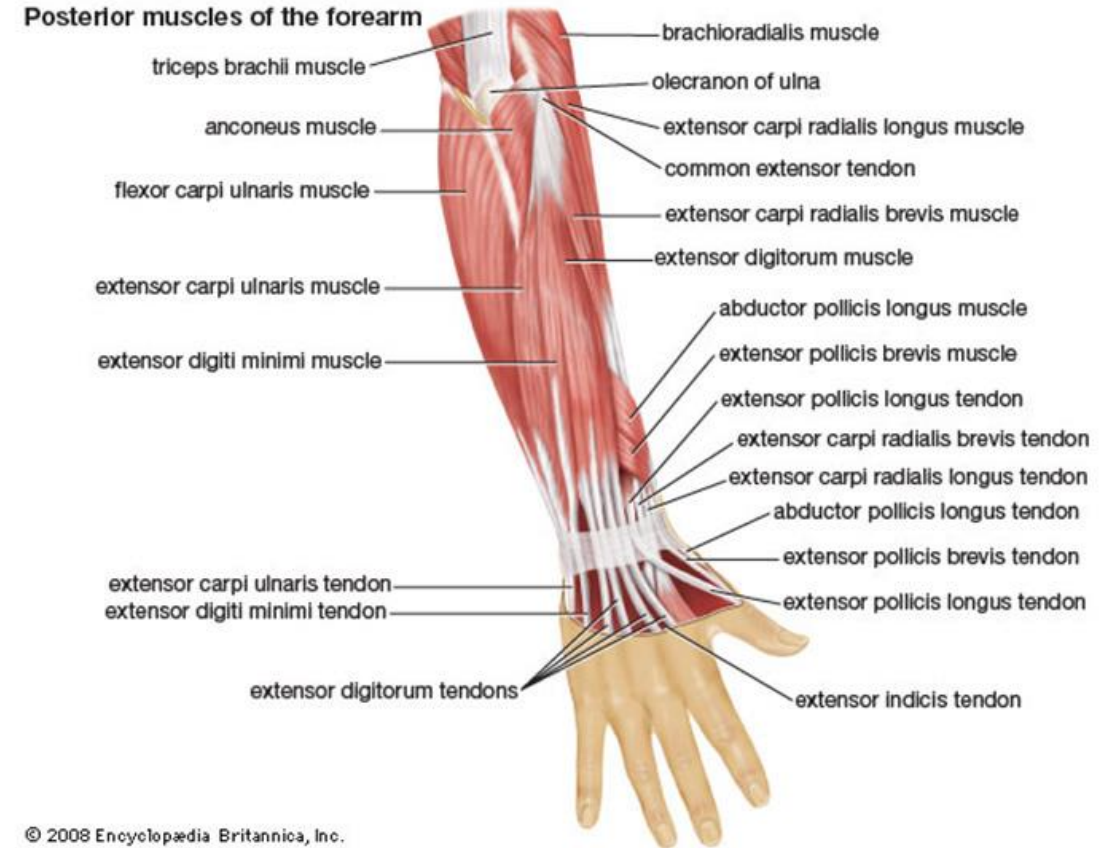
Riziko přetěžování pohybového aparátu:

- repetitivní pohyby (*RSI - Repetitive Strain Injury*)
- zvýšená svalová síla
- nevhodná pracovní poloha
- kombinace více faktorů (vibrace, chlad, ad.)



Svalová práce

- **dynamická** – střídání kontrakce a uvolnění svalstva (délka stahu kratší než 3 s),
- **statická** – dochází k izometrické kontrakci svalu, kdy s vyvíjí sílu, aniž se přitom zkracuje či prodlužuje (např. nesení pytle cementu).



© 2008 Encyclopædia Britannica, Inc.

Měření a hodnocení LSZ

- Celosměnový (časově vážený) průměr vynakládaných **svalových sil** udávaný v % **Fmax**
- **Četnost pohybů** ve směně, za minutu (u práce převážně dynamické)
- Počet vynakládaných svalových sil (převážně dynam.):
 - 55 až 70% Fmax – 600krát/8 hodin práce
 - Nad 70% Fmax – 0krát/směnu
- Počet vynakládaných svalových sil (převážně statická):
- Nad 45% Fmax – 0krát/směnu

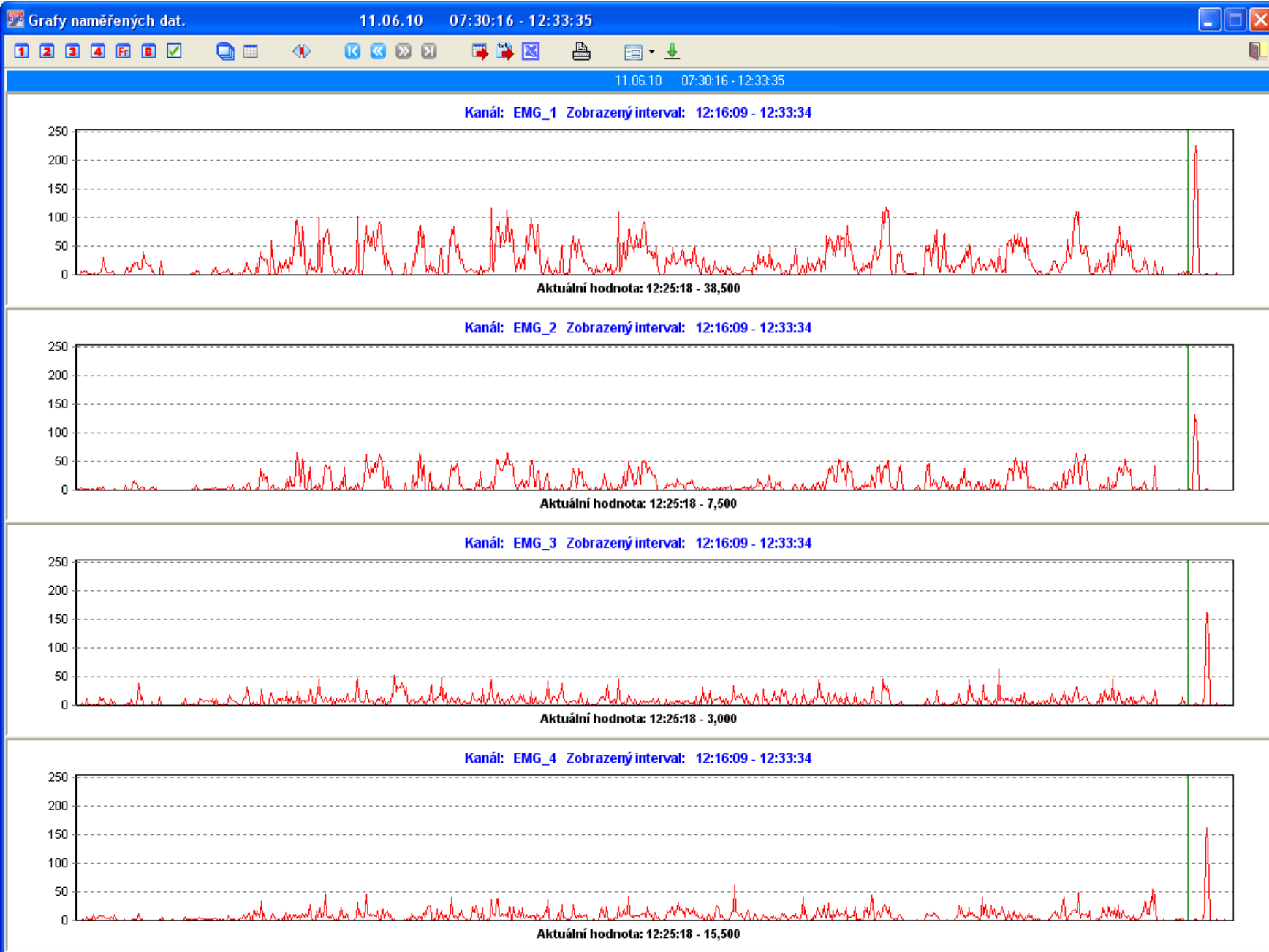


Hygienické limity – NV 361/2007 Sb.

Přehled hygienických limitů (8 hodinová směna)	Charakter práce	
	dynamická	statická
Přípustné celosměnově vynakládané svalové síly	30 % Fmax	10 % Fmax
Přípustný hygienický limit počtu vynakládaných svalových sil*	70 % Fmax	45 % Fmax
Průměrný hygienický limit počtu vynakládaných svalových sil	55 – 70 % Fmax = ≤ 600 x / směnu	<i>Nestanoven</i>

Celosměnový průměr svalových sil (% Fmax)	Celosměnový počet pohybů	Celosměnový průměr svalových sil (% Fmax)	Celosměnový počet pohybů
7	27 600	19	10 900
8	24 300	20	10 400
9	21 800	21	10 000
10	19 800	22	9 600
11	18 100	23	9 300
12	16 700	24	9 000
13	15 500	25	8 700
14	14 400	26	8 400
15	13 500	27	8 100
16	12 700	28	7 800
17	12 000	29	7 500
18	11 400	30	7 200





Frekvenční analýza Měření:

Měření: SMĚNA: 07:30:16 - 12:33:35 Počet vzorků: 15785

	EMG_1	EMG_1	EMG_2	EMG_2	EMG_3	EMG_3	EMG_4	EMG_4
	%	Poč./čas	%	Poč./čas	%	Poč./čas	%	Poč./čas
0 - 5	58,12	16740	67,76	19515	57,88	16669	65,53	18873
5 - 10	75,95	21874	80,72	23248	84,21	24251	84,45	24321
10 - 15	83,01	23907	85,70	24682	93,57	26948	92,63	26676
15 - 20	87,51	25202	89,19	25687	97,04	27948	96,23	27714
20 - 25	91,19	26262	92,02	26501	98,61	28399	98,16	28269
25 - 30	94,39	27185	94,72	27278	99,36	28616	99,04	28523
30 - 35	96,83	27888	97,42	28056	99,65	28698	99,52	28661
35 - 40	98,21	28285	99,04	28524	99,88	28765	99,80	28743
40 - 45	98,99	28508	99,71	28716	99,96	28789	99,94	28784
45 - 50	99,52	28663	99,97	28793	99,98	28795	99,99	28798
50 - 55	99,77	28732	100,00	28800	100,00	28800	99,99	28798
55 - 60	55 - 70	55 - 70	55 - 70	55 - 70	55 - 70	55 - 70	55 - 70	55 - 70
60 - 65								
65 - 70	0,19	55	0,00	0	0,00	0	0,01	2
70 - 75								
75 - 80								
80 - 85	70 - 100	70 - 100	70 - 100	70 - 100	70 - 100	70 - 100	70 - 100	70 - 100
85 - 90								
90 - 95								
95 - 100	0,04	13	0,00	0	0,00	0	0,00	0

Volby tabulky: 480 Čas přepočtu [min]

Způsob zobrazení údajů:

- Kumulační součty
- Absolutní hodnoty

Zobrazit sloupce:

- Procenta
- Počet
- Počet za čas přepočtu
- Hodnoty času v pětice

Realizované šetření – závěry

- které rizikové faktory chtějí firmy měřit
- zjistit názory budoucích uživatelů na aplikaci
- implementovat návrhy uživatelů na aplikaci
- přizpůsobit produkt potřebám uživatelů
- zvýšit efektivitu měření a následného užití v praxi
- sdělit možná úskalí měření

Vyhodnocování rizikových faktorů– zájem ze strany podniků

V souvislosti s předchozí otázkou uveďte, jakou důležitost vnímáte pro Vaše pracoviště v kontextu vyhodnocení a následné eliminace rizikových faktorů. (1 – není důležitý faktor, 5- maximální důležitost)	Minimum	Průměr	Smodch	Medián	Maximum
Lokální svalová zátěž	1	3,35	1,36	3	5
Celková fyzická zátěž	1	3,04	1,24	3	5
Pracovní polohy	1	3,08	1,33	3	5
Hluk	1	2,79	1,50	3	5
Vibrace	1	2,27	1,36	2	5
Zátěž chladem	1	1,77	1,18	1	5
Zátěž teplem	1	2,48	1,35	2	5
Prach	1	2,69	1,52	2,5	5
Chemické látky a směsi	1	3,00	1,61	3	5
Zraková zátěž	1	2,37	1,22	2	5
Psychická zátěž	1	2,44	1,26	2	5
Neionizující záření	1	1,65	1,06	1	5

Vybrané měřicí zařízení - elektrody



Měřicí a komunikační jednotka Shimmer s měřicími elektrodami

- dokončen návrh protokolu experimentálního měření svalové aktivity předloktí při definovaných pohybech.
- provedeno měření aktivity svalů předloktí při opakovaných cvicích na vzorku osob;
- dokončena implementaci beta verze algoritmů pro zpracování signálu;
- následně zpracovávána naměřená data pomocí implementovaných algoritmů.

Prováděná testovací měření - přehled



Test 1

Měření svalové síly předloktí při přesouvání spojených puků mezi body **BOČNÍM ÚCHOPEM** v taktu 55 bpm po dobu 3 minut.



Test 2

Měření svalové síly předloktí při přesouvání spojených puků mezi body **NADHMATEM** v taktu 55 bpm po dobu 3 minut.



Test 3

Měření srdeční frekvence při step testu – výstup na stupínek o výšce 28 cm v taktu 55 bpm po dobu 3 minut.

Prováděná testovací měření - přehled



Test 4

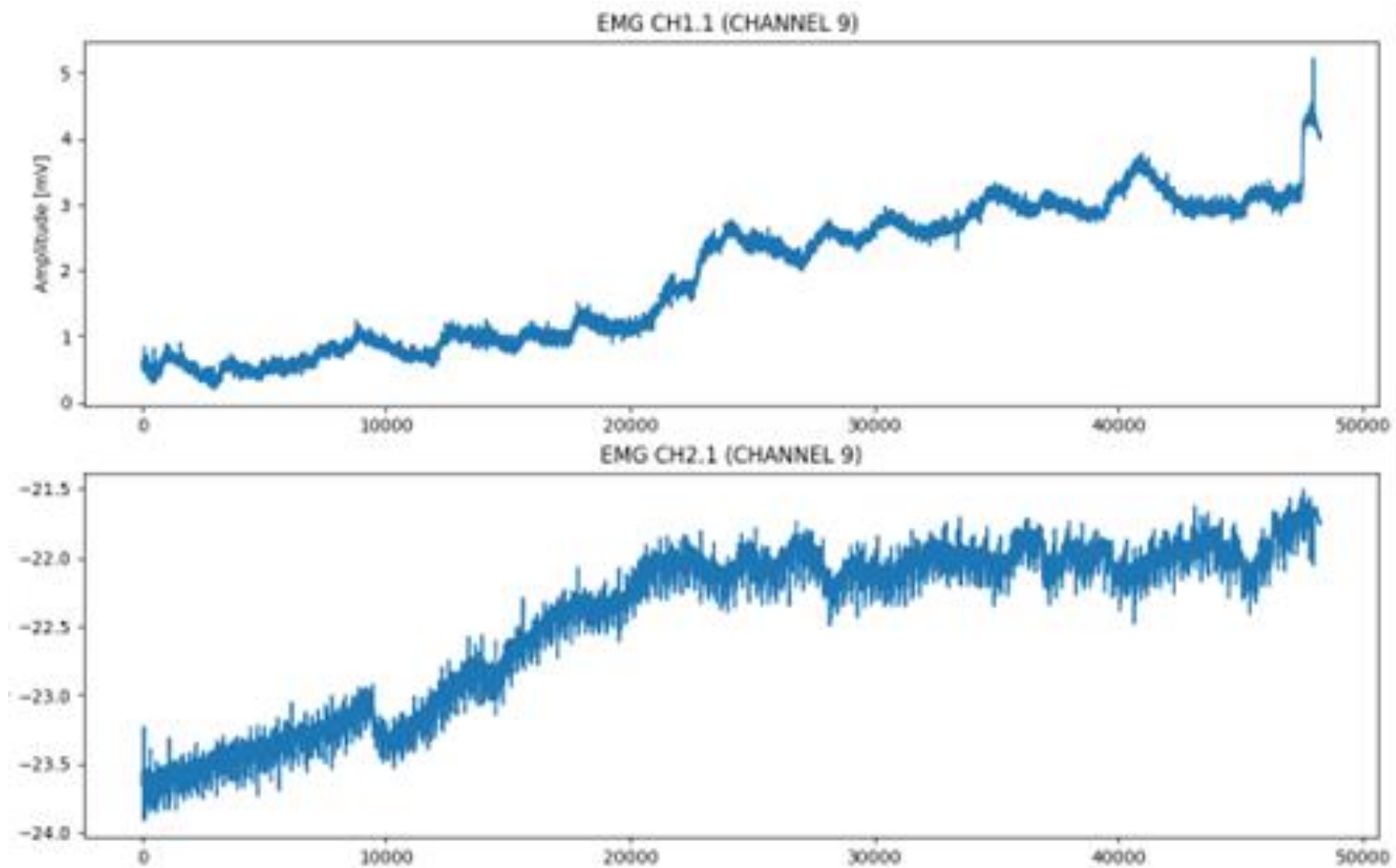
Měření doby pohybu v pravém ramenním kloubu ve 3 stanovených úhlech (45°, 90° a 135°) v taktu 35 bpm po dobu 3 minut.

- Test 1 -2. LSZ
- Test 3. CFZ
- Test 4. Pracovní polohy

Ukázka naměřeného protokolu

Proband:		2				Pohlaví:	Muž
Lateralita:	Pravák	Výška:	179	Váha:	84	Věk:	22
Stisk ruky (dynamometr), jednotky N:		PREVENTADO		Schimmer (VŠB)		DELSYS (UPOL)	
		Před:	Po:	Před:	Po:	Před:	Po:
Pravá ruka:		40,6	38,6	38,7	38,7	41,2	41,2
Levá ruka:		36,7	35,8	40,4	28,7	33,9	35,9
Výsledky: laboratoř PREVENTADO, Zlín							
Svalové skupiny předloktí (jednotky % Fmax)		Pravé předloktí		Levé předloktí		Poznámky:	
		Extenzory	Flexory	Extenzory	Flexory		
Test 1 (PUKY – boční úchop)		12,1	4,8	8,3	6,2	-	
Test 2 (PUKY – nadhmat)		15,6	4,1	14,5	4,7		
Test 3 (měření SF - step test)	Průměrná srdeční frekvence: 135 t/min Maximální srdeční frekvence: 154 t/min						
Test 4 (úhly v rameni)	Setrvání ramene v úhlu (po dobu 3minutového testu): ± 45°: 42 s ± 90°: 42 s ± 135°: 42 s <i>Poznámka: zbývající (neuvezený) čas ze 3minutového testu tvoří přechod ramene mezi výše uvedenými úhly. Zde tvořil cca 53 s.</i>						

Naměřený surový signál



Výstupy měření ve vyvinuté aplikaci - *centrální serverový systém* *a mobilní aplikace vč. integračních rozhraní*

The image shows the login and registration interface of the ErgoSens mobile application. On the left, there is a login section with fields for 'Jméno' (Name) and 'Heslo' (Password), and buttons for 'Přihlásit' (Login) and 'Registrovat' (Register). On the right, there is a main menu with the ErgoSens logo and three measurement options: 'Měření v kanceláři' (Office measurement), 'Měření na pracovišti' (Workplace measurement), and a central '+' button for new measurements.


The image shows the main menu of the ErgoSens mobile application. It features a home indicator, a 'Nové měření' (New measurement) button, and a list of measurement statuses: 'Probíhající měření' (Ongoing measurement), 'Dokončené měření' (Completed measurement), 'Profil' (Profile), and 'Nastavení' (Settings).


The image shows the 'Informace o pracovišti' (Workplace information) form in the ErgoSens mobile application. It includes fields for 'Název Projektu' (Project name) with the value 'Měření v továrně T', 'Pracoviště' (Workplace) with 'Hala 2', and 'Linka' (Line) with '4'. There is also a 'Norma' field and a 'Přidat poznámku' (Add note) button. A 'Pokračovat' (Continue) button is at the bottom.

The image shows the 'Informace o probandovi' (Proband information) form in the ErgoSens mobile application. It includes a 'Jméno' (Name) field with 'Petr Šiška', gender selection (Muž , Žena) with 'Muž' selected, and a 'Rok narození' (Year of birth) field. There are also fields for 'Váha' (Weight) with '84' and 'Výška' (Height) with '178'. The 'Dominantní strana' (Dominant side) field has 'Pravá' (Right) selected and 'Levá' (Left) unselected. A 'Přidat poznámku' (Add note) button and a 'Pokračovat' (Continue) button are also present.

☰ Výběr typu měření ErgoSens

Výběr senzorů

 Měření fyzické zátěže

 Pravá ruka



+ Přidat nové měření

Pokračovat



☰ Výběr typu měření ErgoSens

Pravá ruka
Vyberte zařízení, které bude měřit pravou ruku:

Již spárovaná zařízení

-  **Měřicí jednotka VŠCHT 1** 7F:25
-  **Měřicí jednotka VŠCHT 2** 4C:11

Zařízení dostupná v okolí

-  **Měřicí jednotka** 2B:33
-  **Měřicí jednotka** 8D:33

Pokračovat

☰ Příprava senzoru ErgoSens

- Na očištěné elektrody naneste trochu vodivého gelu.
- Umístěte senzor na správné místo, elektrody přiložte na odmaštěnou pokožku.
- Zvažte riziko rušení signálu množstvím podkožního tuku.



2. Zapněte senzor pomocí červeného tlačítka.




3. Ujistěte se, že indikátor Bluetooth bliká modře.

[Podrobný návod](#)

Připojit se

☰ Připojení senzoru ErgoSens


Konfigurace zařízení




Odesílání konfigurace pro zařízení pravé ruky

Připojování zařízení

Levá ruka

-  **Měřicí jednotka** 7F:47 ✓

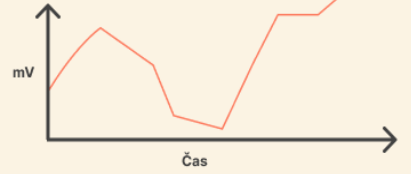
Pravá ruka

-  **Měřicí jednotka VŠCHT 2** 4C:11

Pokračovat

☰ Maximální síla ErgoSens

Graf



mV

Čas

Maximální naměřená síla

550 N


*Průměrné hodnoty mužů: 300-600 N
*Průměrné hodnoty žen: 250-550 N

Pokračovat

12:30

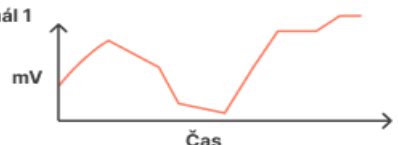
Kontrola instalace

ErgoSens



Měřicí jednotka VŠCHT 2
4C:11

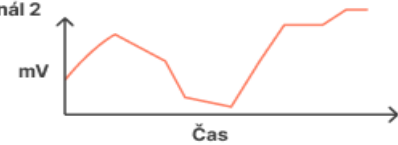
Kanál 1



mV


Čas

Kanál 2




mV

Čas



Měřicí jednotka
7F:47

Kanál 1



mV

Čas

Pokračovat

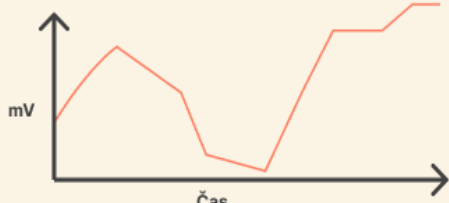
12:30

Aktuální měření

ErgoSens

Opakované měření maximální síly

Graf



mV

Čas

Maximální síla

535.7 N

*Průměrné hodnoty mužů: 300-600 N
 *Průměrné hodnoty žen: 250-550 N

Restart měření

Vyhodnotit

12:30

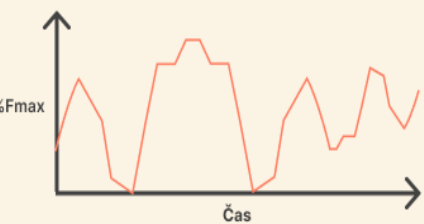
Aktuální měření

ErgoSens

Průběh měření

Graf

Status: ●



%Fmax

Čas

Marker

15:33:06 +

Čas	Poznámka	Hodnota
15:33:06	Proband provádí práci	450 N
15:53:16	Proband šel do kuchyně	200 N
16:13:55	Proband odpočívá	30 N

Pokračovat

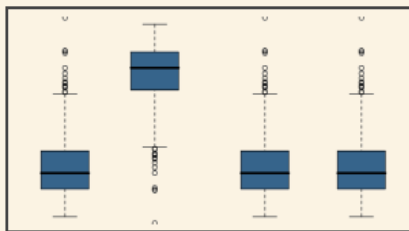
12:30

Výsledek měření

ErgoSens

Vyhodnocení

Graf s výsledky



Krabicový graf %Fmax po dobu měření

Průměrná hodnota %Fmax: 31%

Nejvyšší hodnota %Fmax: 57%

Délka měření: 3:36:12

+ Přidat poznámku

Konec měření



Nasazení Schimmeru

- <https://youtu.be/m0ky2QwGh08>



Eliminace rizika LSZ

- ergonomická úprava pracovního místa (dosahové vzdálenosti, úprava pracovních poloh HKK, hlavy a krku, změna ovladačů, ergonomie nástrojů ad.)
- optimalizace technologického a pracovního postupu (odstranění zbytečných pohybů HKK, změny technologie apod.)
- zavedení nové technologie (el. šroubování na místo ručního, robotizace operací)
- odstranění četné manipulace břemen technologickými prostředky
- odstranění nebo minimalizace ostatních nežádoucích faktorů (vibrace, chlad, útlaky)
- systémové střídání pracovníků na jednotlivých pozicích dle náročnosti operace
- zapojení pracovníků do systému zlepšování a úpravy pracovišť a pracovních postupů
- vyškolení pracovníků správnému pracovnímu postupu
- snížení normy nebo výkonu pracovníka (nežádoucí pro zaměstnavatele)
- bezpečnostní přestávky dle legislativy (5 – 10 minut po 2 hodinách)
- relaxační cviky (např. během bezpečnostních přestávek)



**Děkuji za pozornost a rád zodpovím vaše
dotazy.....**