

UDK 331.01.055:658.3.055:612.745.6

Človekovo delo in njegovo merjenje

EVGEN MAREK

Industrijski razvoj je že precej dolgo tega zakoračil v obdobje, ko je stroj človeku prevzemal vsa naporna telesna dela, v obdobje, ko stroj (računalnik) prevzema tudi informacijska dela, pa šele prehajamo. Če govorimo o prevzemanju človekovega dela, pomeni, da niti telesno niti informacijsko delo ni nekaj abstraktnega. Delo, ki ga je od človeka prevzel stroj, lahko vedno izrazimo z energijo; ko pa hočemo določene izraziti obseg človekovega dela, preden ga prevzame stroj, se še vedno vrtimo v začaranem krogu protislovnih ocen. Vemo sicer, da tudi človek v svoje delo vključuje energijo. Vemo tudi, da je povprečen človek, ki v delo vključuje velike sisteme mišic, v osmih urah sposoben spremeniti v delo 7,94 MJ svoje energije. Ne vemo pa podrobneje, do katere meje je človek sposoben del te energije predelati v samostojnih manjših mišičnih sistemih; in še manj vemo, kaj od te energije lahko predela v svojih informacijskih (živčnih) sistemih. Vemo le, da se človek, ki med delom prekoračuje mejo, s katero je posamezen sistem omejen, utruja.

Če bi hoteli pravilneje izraziti velikost človekovega prispevka k delu, bi morali mnogo več vedeti o energijskih pojavih v človekovih mišičnih in živčnih sistemih.

INTENZIVNOST DELA V DELOVNI NALOZI (Načela)

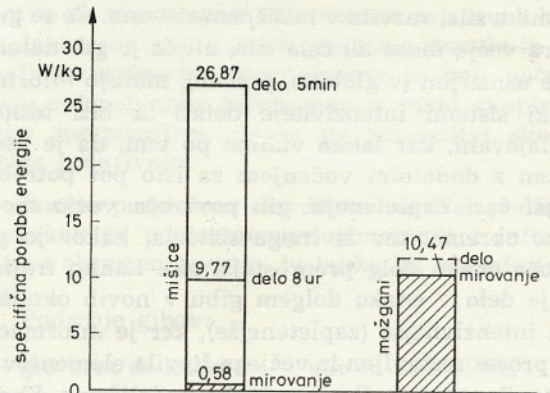
Fizikalno je delo energija. Človek med delom preoblikuje energijo. Njegovo delo se kaže na dva načina:

- v gibanju udov (v neposredni predelavi energije),
- v predelavi informacij.

Izkoristek energije je v teh dveh primerih bistveno različen. V gibu lahko človek izkoristi do 40 % energije, ki jo je sprejel s hrano, pri predelavi informacij pa je celo idealni izkoristek veliko manjši od 1 %.

Slika 1. prikazuje v prvem stolpcu specifično porabo energije v mišicah med mirovanjem ter med osemurno in petminutno največjo obremenitvijo, v drugem stolpcu pa specifično porabo energije v možganih med mirovanjem in oceno za povečano obremenitev med delom.

Človekova delovna sposobnost je omejena. Po energijski strani bi lahko človekovo delo med gibanjem udov primerjali z delom množice elektromo-



Sl. 1. Specifična poraba energije

torjev, priključenih na električno omrežje. Za majhne elektromotorje, priključene v manjšem številu, ima lahko omrežje zadostno zmogljivost. Energijska omejitev posameznega elektromotorja je njegova imenska moč. Pri velikih elektromotorjih ali pri velikem številu majhnih elektromotorjev se omejitev ne pojavlja več v elektromotorju, temveč v električnem omrežju, če to nima zadostne zmogljivosti.

Dotok elektrike, ki prinaša energijo, lahko primerjamo z dotokom kisika, ki je v mišičnih sistemih najboljši kazalec za porabljeno energijo. Male elektromotorje lahko primerjamo z majhnimi sistemi mišic med trajno obremenitvijo.

Primer: Kadar dela samo laket, ga med trajno obremenitvijo omejuje energija, ki jo lahko predelajo gibalne mišice. Dotok kisika s krvjo ne povzroča težav. Drugače je, kadar pri delu trajno sodelujejo veliki mišični sistemi (npr. mišice nog), katerih sposobnost za predelavo energije je večja, kakor sposobnost krvi za prenos kisika. V tem primeru določa energijsko mejo sposobnost krvi, da mišicam dovede dovolj kisika.

In vendar je med človekovim delom in delom elektromehanskega sistema pri predelavi energije načelna razlika. Kadar napajamo elektromotorje iz omrežja, je dotok zadostne električne energije edina omejitev. Pri človekovem delu pa delovni proces kljub zadostnemu dotoku kisika ne teče, če živčni sistem v mišici z zaporednimi impulzi ne vzbuja spreminjanja energije iz njenega latentnega stanja. Živčni sistem mora mišičnemu sproti dovajati toliko impulzov, kolikor jih je potrebnih za silo, ki sproži in vodi gibanje uda. Brez živčnih impulzov se energija mišičnega sistema ne spreminja v mehansko delo.

Preprosto človekovo delo se kaže predvsem v preprostih gibih. Že vodenje najpreprostejšega giba je razmeroma zapleteno, saj ima vsak mišični sistem poleg gibalnih živcev, ki sprožajo in vodijo gibanje, še tri obveščevalne živčne sisteme; ti sporočajo napetost mišice ter hitrost in lego uda, ki ga premika sila, razvita v mišičnem sistemu. Če se gibu upira večja masa ali celo sila, ali če je gib natančneje usmerjen (v globino, prečno), morajo informacijski sistemi intenzivneje delati in biti tesneje usklajevani, kar lahko vidimo po tem, da je vsem gibom z dodatnim vodenjem za isto pot potreben daljši čas. Zapletenejši gib povzroča večjo specifično obremenitev živčnega sistema, kakor jo povzroča enako dolg preprostejši gib. Lahko trdimo, da je delo v enako dolgem gibu v novih okoliščinah intenzivnejše (zapletenejše), ker je informacijski proces sestavljen iz večjega števila elementov in njihovih povezav. Razlago lahko podaljšamo. Kadar moramo uskladiti delo dveh mišičnih sistemov, je število elementov in njihovih povezav še večje, delo je še intenzivnejše.

Živčni sistem budnega človeka se obnaša kakor električni sistem s spremenljivo napetostjo, ki ima osnovno frekvenco med 8 in 12 Hz (po Wienerjevem izračunu 9,05 Hz). Sistem je podoben električnemu omrežju z osnovno frekvenco 50 Hz. Kakor električno omrežje porablja energijo za svoje vzdrževanje, jo porablja tudi živčni sistem. Podobnost se še nadaljuje. Informacija, ki se vključuje v živčni sistem, navadno ne prihaja z električnimi impulzi z enako frekvenco, kakršno ima sistem. Zato povzroča v živčnem sistemu neravnovesje, podobno kakor povzroča v električnem omrežju neravnovesje priključen generator, ki ima frekvenco drugačno od 50 Hz. Poleg tega imajo električni impulzi, s katerimi se prenaša informacija, okoli tisočkrat večjo amplitudo (okoli 50 mV, medtem ko imajo tako imenovani α — valovi v človekovih možganih amplitudo okoli 50 μ V). Sistem, ki je za svoje vzdrževanje v budnem stanju že porabil približno 18-krat več energije kakor sistem z enako maso mišic, porablja to energijo še v večji meri. Prav tako, kakor je razpoložljiva energija omejena v mišicah, je omejena tudi v živčnem sistemu, čeprav v drugačnih mejah; teh sicer ne poznamo, lahko pa domnevamo, da so uravnovešene z mejami mišičnega sistema.

Energijsko dogajanje brez informacijskega pri človekovem delu ni mogoče. Energijska in informacijska dogajanja lahko potekajo vzporedno. Informacijska dogajanja pa lahko potekajo tudi samostojno. Navadno se začnejo z opazovanjem. Opazovanje je zapletenejše, kadar informacijski sistem sprejema več informacij, posebno če se te prepletajo. Opazovanje v delovnem procesu pa ni namenjeno samemu sebi. Opazovanje je priprava za od-

ločitev, za katero je treba predelati večje število informacij, še več pa, če je treba uskladiti večje število informacijskih sistemov.

Človekovi regulacijski mehanizmi registrirajo preveliko obremenitev z utrujanjem. Ti mehanizmi so navadno povezani tako, da se človek začneja utrujati ob približno uravnovešenih obremenitvah. Zato lahko sklepamo, da je energijski potencial mišičnega sistema usklajen z energijskim potencialom živčnega sistema. Oba sistema bi se morala utrujati približno hkrati. Če je tako, pomeni, da je obremenljivost obeh sistemov enaka.

Živčni sistem lahko obvlada samotni gib ali preprostejšo kombinacijo gibov, ne more pa obvladati preveč zapletenih kombinacij. Že pri preprosti kombinaciji gibov lahko živčni sistem določa mejo človekove delovne sposobnosti. Za živčne obremenitve pa ni nujno, da so togo povezane z mišičnimi. Živčni sistem se lahko obremenjuje tudi s predelavo informacij, ki se ne končajo v gibalnem delu živčevja. Tudi v tem primeru je sposobnost živčnega sistema, ki je samo predelovalec informacij, omejena. Živčni sistem npr. ni sposoben, da bi po enem kanalu predelal dve različni informaciji, čeprav lahko analizira in sintetizira kombinacije iste informacije iz različnih čutil (vid, sluh, tip, kinestetično čutilo itd.). Tudi pri samostojnem obremenjevanju živčnih sistemov so neke meje, onstran katerih se človek začneja utrujati.

Informacijske obremenitve so univerzalnejše od telesnih in se z njimi prepletajo, kar spoznamo po tem, da ne moremo opravljati utrudljivega telesnega dela hkrati z delom, ki po pazljivosti ali sklepanju močno obremenjuje informacijske sisteme. Meja za samostojno informacijsko obremenitev je torej višja od meje za kombinirano obremenitev, kar vsiljuje domnevo, da je pri obremenjevanju človekovih informacijskih sistemov neka skupna meja, ki je človek ne more prekoračiti. Ta meja je lahko izraz za največjo informacijsko obremenljivost.

Ugotavljanje meje obremenljivosti človekovega informacijskega sistema dodatno zapleta dejstvo, da se s pripravljanjem na delo ta meja lahko precej dvigne. Intenzivnost dela pri delovni nalogi je tedaj lahko objektivno večja od intenzivnosti dela pri nalogi, kakršno bi lahko opravil povprečen, nepripravljen človek. Ker pa je razpon, v katerem se lahko giblje intenzivnost dela pri delovni nalogi, določen s človekovo obremenljivostjo, moramo vpliv pripravljenosti na intenzivnost dela upoštevati prav tako kakor samo obremenjevanje. Pripravljenost pri ugotavljanju intenzivnosti dela pri delovni nalogi bi se lahko v nekem pomenu pokazala kot stalen dodatek delovni nalogi, ki je neodvisen od njenega trajanja.

Pri ugotavljanju človekovega delovnega prispevka bi se torej poleg gibov in informacij pojavljali še dve komponenti: pripravljenost in obremenjenost. Njuna vloga bi lahko bila približno podobna stalnim in spremenljivim stroškom, znanim pri analiziranju gospodarnosti.

— Človekovo pripravljenost za delo bi lahko primerjali s stalnimi stroški, ki se s trajanjem izdelovalnega procesa ne spreminjajo. Pripravljenost bi bila lahko stalni delež dela pri nalogi.

— Človekovo obremenjenost med delom bi lahko primerjali s spremenljivimi stroški, ki se s trajanjem izdelovalnega procesa večajo. Obremenjenost bi bila lahko tekoči delež dela, pri katerem se intenzivnost prispevka med delom načelno ne spreminja.

Čeprav primerjava s stroški mnogo pove, za opredeljevanje intenzivnosti delovnega prispevka ni popolnoma primerna.

Ko smo definirali intenzivnost človekovega delovnega prispevka, smo ugotovili, da je intenzivnost delovnega prispevka omejena tudi z najmanjšo in največjo mogočo obremenljivostjo informacijskih sistemov. Največjo človekovo obremenljivost bi lahko ocenjevali po povprečnem človeku, konkretni ljudje pa bi se ji v mejah nekega razsipanja približevali z večjo ali manjšo verjetnostjo. Pripravljenost na delo raztegne lestvico človekove obremenljivosti močno navzgor, hkrati pa postane njen vrh povprečnemu človeku nedosegljiv. Konkretni človek se lahko blizu vrha lestvice uvrsti le takrat, če je zmogel napor, ki ga je terjalo povečano pripravljanje. Z vključitvijo pripravljenosti smo pretežnemu delu množice ljudi onemogočili uvrščanje blizu vrha lestvice. Kljub temu je podaljšanje lestvice človekove obremenljivosti potrebno; brez nje ne bi mogli razlikovati intenzivnosti zapletenih del. Nedoslednosti proti zakonom povprečja s tem nismo bistveno povečali. Saj bi že zožena lestvica izključila tisti del množice, ki nima normalno razvitih informacijskih (in energijskih) sistemov. Raztegnjena lestvica izključuje le nadaljnji del množice, ki bi se sicer lahko dvignil do zgornje meje, ki pa iz katerega koli razloga ni imel možnosti, da bi se prebil skozi proces, ki omogoča bistveno povišanje obremenljivosti informacijskih sistemov v telesu. Pripravljenost za delo z novo mejo človekove obremenljivosti širi področje možnih obremenitev in na ta način prispeva k definiranju lestvice, s katero ugotavljamo stopnjo intenzivnosti človekovega delovnega prispevka.

Kakor ima v energetiki večjo delovno intenzivnost (moč) tisti stroj, ki opravi več dela (koristno predela več energije) v enoti časa, dela človek bolj intenzivno takrat, kadar je zapletenost njegovega dela večja. Intenzivnost človekovega prispevka k

delu imenujemo »specifična velikost dela«. Če izhajamo iz intenzivnosti, človekov prispevek k delu definiramo z »velikostjo dela«, ki ji iz energetike lahko po analogiji primerjamo za delo porabljeno energijo.

Če informacijske procese uporabimo kot skupno merilo za intenzivnost človekovega prispevka k delu, lahko tej intenzivnosti določimo stopnje in razvrstimo prispevke. Stopnjevanje je bolj načelno, kajti intenzivnosti prispevkov v vsaki skupini so tako spremenljive, da se po razvrstitvi skupine delno prekrivajo.

Poskus posplošene razvrstitve na dveh področjih človekovega udejstvovanja, povezanih z informacijsko obremenljivostjo, bi lahko bil naslednji:

Področje gibov:

- gib brez dodatne mase, sile in usmeritve,
- gib z dodatno maso,
- gib proti sili,
- gib z usmeritvijo (stransko, globinsko),
- gib s kombinacijami dodatkov,
- več koordiniranih gibov brez dodatkov,
- več koordiniranih gibov z maso ali proti sili ali z usmeritvijo,
- več koordiniranih gibov s kombinacijami dodatkov.

Področje informacij:

- konkretna informacija,
- večje število koordiniranih konkretnih informacij,
- sklepanje po kombinaciji konkretnih informacij,
- sklepanje po kombinaciji nepopolnih konkretnih informacij,
- abstraktna informacija,
- večje število samostojnih abstraktnih informacij,
- večje število koordiniranih abstraktnih informacij,
- sklepanje po kombinaciji abstraktnih informacij,
- sklepanje po kombinaciji nepopolnih abstraktnih informacij.

Na področju dela, ki obravnava samo informacije, je s črtkano črto označena meja, okoli katere je posebno močno prekrivanje. Načelno je sicer bistvena razlika med delom, ki obdeluje samo konkretne informacije, in delom, ki obdeluje predvsem abstraktne informacije (nekoč je potekala ločnica, ki se je pri pripravi izražala z maturo, celo v izobraževalnih sistemih). Število informacij, njihove kombinacije in njihova (ne)popolnost pa to mejo močno zabrisujejo (npr. športni dosežki, akrobatika itd.).

POSKUS UGOTAVLJANJA OBREMENLJIVOSTI MIŠIČNIH SISTEMOV MED DELOM LAKTA

V dosedanji analizi smo poskusili načelno opisati povezave, s katerimi bi lahko ovrednotili vpliv mejnih obremenitev med delom na stopnjo intenzivnosti dela. Za čisto informacijsko delo imamo premalo podatkov. Tudi delo, ki hkrati obremenjuje velike mišične sisteme, ni značilno. Zato se bomo s podrobnejšo analizo ustavili le na najbolj obdelanem delovnem procesu, to je na razvijanju sile lakta v vodoravni smeri. Intenzivnost dela ni v korelaciji samo s potrebno energijo, temveč tudi z intenzivnostjo živčnih impulzov, ki sodelujejo pri delu.

Ob začetku podrobnejše analize moramo opozoriti na nekaj poenostavitev:

— Mišični sistemi niso homogene celote. Zato je mehanizem, uporabljen za razvijanje sile lahko le izraz povprečja iz nekega dejanskega dogajanja.

— Za prikazovanje procesa v mišičnem sistemu ali podsistemu smo uporabljali model, po katerem se impulzi v mišičnih vlaknih, ki opravljajo isto nalogo, sprožajo hkrati, upoštevali pa smo postopno mobilizacijo mišičnih vlaken. Takšen način prikazovanja lahko brez popravkov izraža tudi stanje, pri katerem so nekatera vlakna v mišičnem sistemu obremenjena do skrajne meje, druga pa so šele na začetku mobilizacije ali pa so mobilizacijo že prešla. Naj mobilizacija poteka usklajeno ali ne, vedno ima skrajno mejo, ki je ne more prekoračiti in ki jo izražajo s preizkusi ugotovljeni podatki o največji sili določenega mišičnega sistema. Velikost te sile pri povprečnem človeku je mogoče izračunati iz mnogih že doslej opravljenih meritev.

— Za povezavo med energijsko potrebo in gostoto živčnih impulzov smo uporabili model, ki smo ga prilagodili poskusnim podatkom. Značilnost modela je, da je frekvenca živčnih impulzov v času največje statične sile 133,3 Hz. Računamo z usklajenimi impulzi.

Čeprav so poenostavitve le na modelu, kljub temu v precejšnji meri osvetlijo obremenljivost informacijskega sistema med delom mišic, čeprav samo na odlomku delovnega procesa.

Izhodiščni podatki za obremenjevanje lakta v vodoravni smeri so:

gibajoča se masa lakta	$M_u = 2,4 \text{ kg}$
največja sila mišičnega sistema (povprečje)	$F_m = 79,43 \text{ N}$
masa mišic v pospeševalnem sistemu (povprečje):	
— odstotek od vseh mišic	3,4 %
— masa v absolutni velikosti	1,02 kg

dotok energije v mirujoč mišični sistem	0,59 W
dotok kisika v mirujoč mišični sistem	1,76 ml/min
dogovorjena največja za delo razpoložljiva energija	11,9 W
dogovorjen največji dotok energije v mišice za delo	29,75 W
dogovorjen največji dotok kisika v mišice za delo	88,36 ml/min
dogovorjen največji skupni dotok energije v mišice	30,34 W
dogovorjen največji skupni dotok kisika v mišice	90,12 ml/min

Za mejo obremenljivosti lakta med delom uporabljamo dva kriterija:

- za osemurno delo potrebno energijo,
- število za osemurno delo sproženih živčnih impulzov (izraža kakovost porabljene energije).

Obremenitve niso enotne. Zato bomo snov razdelili na pet kolikor toliko enotnih področij:

- poraba energije v mirovanju; parametri: statična sila, njeno trajanje do izčrpanosti, trajanje regeneracije;
- gibanje z bremenom; parametra: premeščana masa, dolžina premestitve z Work-Factorjevo hitrostjo;
- gibanje brez bremena proti sili; parametri: gibanju nasprotujoča sila, dolžina premestitve s hitrostjo, usklajeno z Work-Factorjevimi načeli;
- gibanje, usmerjeno v globino; parametri: premeščana masa, dolžina premestitve z Work-Factorjevo hitrostjo, velikost tarče;
- gibanje, usmerjeno prečno; parametri: premeščana masa, dolžina premestitve z Work-Factorjevo hitrostjo, velikost tarče.

1. Poraba energije z razvijanjem sile v mirovanju (dotok kisika ni ustaljen)

Značilnost obremenjevanja je, da se po seriji impulzov z večjo frekvenco izčrpava zaloga goriva v mišičnem sistemu. Zato je po seriji impulzov potrebna regeneracija mišičnega sistema. Med delovnim procesom se pojavlja v mišičnem sistemu pomanjkanje kisika, ki se v mišični sistem začenja vračati šele ob začetku regeneracije. Ciljna vrednost za intenzivnost procesa regeneracije je intenzivnost pojavljanja primanjkljaja kisika. Če ni spremembe v potrebi po dotoku kisika, se dotok kisika ustali po 120 s. Za prikaz, kako poteka sprememba, je najprimernejša logistična krivulja, ki

upošteva postopne prehode ob začetku in koncu spreminjanja potrebe. Splošna enačba krivulje je

$$y = \frac{a}{1 + b \cdot e^{-ct}}$$

kjer sta spremenljivki:

y — dotok energije ali kisika v določenem trenutku,

t — čas od začetka izravnnavanja [s].

Enačba za izravnnavanje kisikovega dotoka med razvijanjem največje sile lakta je

$$y = \frac{73,25}{1 + 40,62 \cdot e^{-0,069t}}$$

y — dotok kisika v določenem trenutku [ml/min].

Nadomeščanje primanjkljaja kisika v primeru največje sile je prikazano z diagramom na sliki 2.

Računske vrednosti se povsem ne ujemajo s podatki, ki jih je sestavil W. Rohmert. Ker pa so njegovi podatki za obremenjevalna in regeneracijska obdobja bolj obdelani, se pri računanju naslanjamo nanje.*

Med vzdrževanjem sile nastalo energijo izračunamo iz impulza sile. Energija impulza nastane med virtualnim gibanjem, ki ga povzroča impulz sile.

Kako se razvija sila po živčnem impulzu, prikazuje slika 3.

Energijo, ki nastane po impulzu sile, izračunamo iz gibalne veličine impulza.

Vrednosti, ki jih uporabljamo v modelu za lakete so:

trajanje impulza

$$\frac{T}{2} = 30 \text{ ms}$$

amplituda sile med enim impulzom

$$F_i = 0,3927 F_m = 31,19 \text{ N}$$

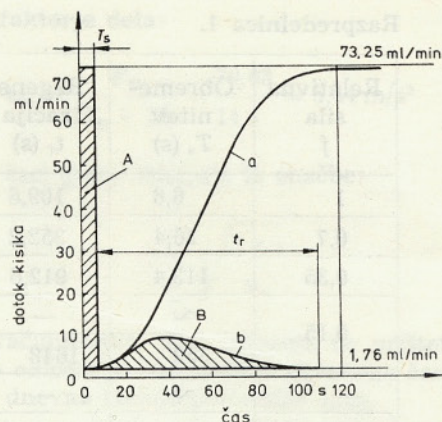
trenutna sila se razvija po enačbi

$$F = F_i \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$$

gibalna veličina impulza je:

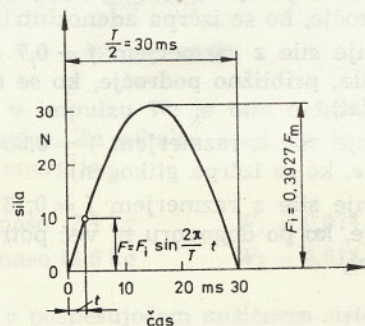
$$\begin{aligned} \frac{G}{2} &= \int_0^{T/2} F(t) \cdot dt = F_i \int_0^{T/2} \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right) dt = \frac{T}{\pi} \cdot F_i = \\ &= \frac{2 \cdot 0,03}{\pi} \cdot 31,19 = 0,596 \text{ Ns} \end{aligned}$$

* (W. Rohmert, Statische Haltearbeit des Menschen).



Sl. 2. Vračanje kisikovega primanjkljaja po vzdrževanju največje statične sile

Ploskev A — kisikov primanjkljaj, ploskev B — vrnjen kisikov primanjkljaj, a — prehodna krivulja na povečan dotok kisika, b — krivulja dotoka kisika med regeneracijo, T_s — najdaljši čas vzdrževanja statične sile, t_r — za regeneracijo mišičnega sistema potreben čas



Sl. 3. Model razvoja sile po impulzu v mišičnem sistemu s povprečnimi lastnostmi

F_i — največja sila v impulzu, F_m — največja sila mišičnega sistema, F — trenutna sila med impulzom, $T/2$ — trajanje impulza, t — trenutni čas

Iz gibalne veličine izračunamo virtualno hitrost

$$v = \frac{G}{2 \cdot M}$$

Iz virtualne hitrosti izračunamo energijo v impulzu

$$\begin{aligned} W_i &= \frac{M \cdot v^2}{2} = \frac{1}{2 \cdot M} \left(\int_0^{T/2} F(t) \cdot dt \right)^2 = \\ &= \frac{0,596^2}{2 \cdot 2,4} = 0,074 \text{ J} \end{aligned}$$

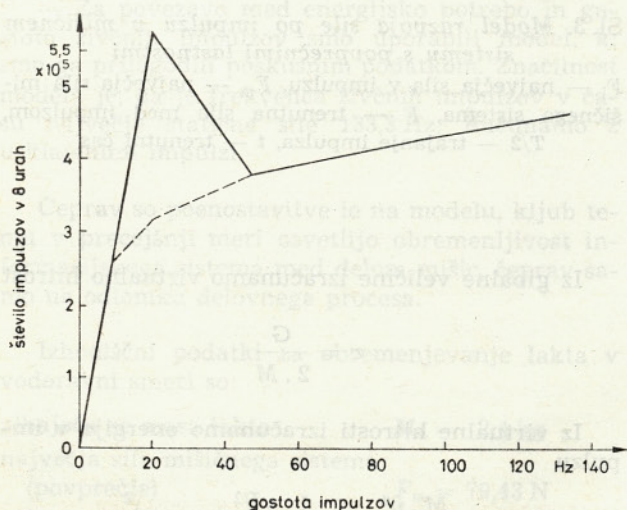
Razpredelnica 1.

Relativna sila f	Obreme- nitev T_s (s)	Regene- racija t_r (s)	Gostota impulzov (Hz)	Osemurno delo		
				impulzi	energija (J)	
					odtok	dotok
1	6,6	109,6	133,3	463 000	34 200	85 600
0,7	26,4	352,2	93,3	428 000	31 700	79 300
0,35	113,4	912,6	46,7	379 000	28 100	70 200
0,15	∞	—	20	576 000	42 600	106 600
	352	1648		315 000	23 300	58 300
—	∞	—	9	259 000	19 200	48 000
—	∞	—	3,2	92 000	6 800	17 100

V razpredelnici 1 smo zbrali najznačilnejše podatke za število impulzov v 8 urah in energijske razmere v 8 urah med razvijanjem statične sile.

Značilni podatki so:

- razvijanje največje sile; razmerje $f = 1$ (približno področje, ko se izčrpa adenzintrifosfat),
- razvijanje sile z razmerjem $f = 0,7$ (70 % največje sile; približno področje, ko se izčrpa kreatinfosfat),
- razvijanje sile z razmerjem $f = 0,35$ (približno področje, ko se izčrpa glikogen),
- razvijanje sile z razmerjem $f = 0,15$ (približno področje, ko po dogovoru ni več potrebna regeneracija),



Sl. 4. Število v osmih urah sproženih impulzov, odvisno od gostote impulzov med delom (razvijanje statične sile)

— razvijanje sile pod vplivom impulzov, frekvence približno kakor v budnosti (možganski valovi $\alpha = 8 \dots 12$ Hz; uporabljena gostota impulzov 9 Hz),

— razvijanje sile pod vplivom impulzov, frekvence približno kakor v spečem stanju (možganski valovi δ in $\theta \approx 7,5$ Hz; uporabljena gostota impulzov 3,2 Hz), ki povzročajo približno porabo presnovne energije.

Med regeneracijo računamo z gostoto impulzov 9 Hz.

Dogovorjeni dotok energije med mirovanjem je enak energiji, ki se pozneje porabi po impulzih z gostoto 3,2 Hz (17 000 J).

Odvisnost števila impulzov v 8 urah od gostote impulzov je prikazana na sliki 4.

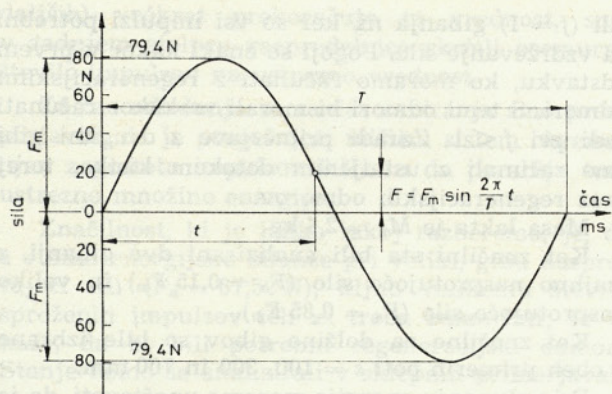
Pri osemurnem številu impulzov na sliki 4 se pojavlja skok. Ta skok vzbuja domnevo, da ni upravičeno sklepanje, po katerem bi bilo mogoče silo velikosti 15 % največje sile vzdrževati trajno. Zato je v razpredelnici pri razmerju sil $f = 0,15$ še en podatek; zanj je bila uporabljena domneva, da je trajanje dopustne obremenitve 352 s, čas za regeneracijo pa 1648 s. Krivulja na sliki 4, s to domnevo je enotnejša.

2. Poraba energije pri gibanju lakta z bremenom (pri enoličnih gibih je dotok kisika ustaljen)

Za obremenjevanje je značilno, da delo v okviru vodenja v največji meri izkorišča največjo statično silo in da je dotok kisika v mišični sistem stabiliziran. Razvoj sile, ki povzroča gibanje, je prikazan na sliki 5.

Analizirana so značilna gibanja z Work-Factorjevo hitrostjo, ponavljajoča se nepretrgoma 8 ur.

Kot značilni masi sta masa lakta $M_u = 2,4$ kg (nič faktorjev dela) in največja masa v Work-Factorjevih tabelah $M = 14,6$ kg (štirje faktorji dela).



Sl. 5. Razvoj sile med gibom brez nasprotne sile
 F_m — največja sila, F — trenutna pospešujoča sila,
 T — čisto trajanje giba, t — trenutni čas giba

Kot značilne dolžine gibov so bile izbrane poti 100, 300 in 700 mm. Povprečna gostota impulzov je tista, ki povzroča povprečno silo F_p .

$$F_p = \frac{2}{\pi} \cdot F_m = \frac{2}{\pi} \cdot 79,43$$

$$F_p = 50,57 \text{ N}$$

Povprečna gostota impulzov izhaja iz enačbe

$$\text{imp}_p = \text{imp}_m \cdot \frac{F_p}{F_m} = 133,3 \cdot \frac{50,57}{79,43}$$

$$\text{imp}_p = 84,87 \text{ Hz}$$

Če hočemo ugotoviti trajanje gibov, moramo še izračunati največje pospeške

za nič faktorjev dela:

$$a_m = \frac{F_m}{M_u} = \frac{79,43}{2,4} = 33,1 \text{ m/s}^2$$

za štiri faktorje dela:

$$a_m = \frac{F_m}{M_u + M_4} = \frac{79,43}{14,6} = 5,44 \text{ m/s}^2$$

Čisti časi gibov izhajajo iz enačbe:

$$T = \sqrt{\frac{2 \pi s}{a_m}}$$

K izračunanemu času moramo še prišteti $t_0 = 36 \text{ ms}$ za odločanje. Na podlagi skupnega časa izračunamo dnevno število ponovitev giba.

Število impulzov med pospeševanjem giba izračunamo tako, da v pospešenem delu giba računamo z gostoto impulzov 84,87 Hz.

Iz števila impulzov n v pospešenem delu giba lahko izračunamo porabljeno energijo v n -tem impulzu in po n -tih impulzih z enačbama

— za energijo v n -tem impulzu

$$W_n = (2n - 1) W_i$$

— za energijo po n impulzih

$$W_{sn} = n^2 W_i$$

Energija v impulzu W_i je bila definirana že v prvem odstavku. Za gibalni masi, ki ju obravnavamo, je ta energija

$$\text{za maso } 2,4 \text{ kg} \quad W_i = 0,074 \text{ J}$$

$$\text{za maso } 14,6 \text{ kg} \quad W_i = 0,012 \text{ J}$$

Energija v pospešujočem mišičnem sistemu med odločanjem ($t_0 = 36 \text{ ms}$) in zaviranjem $\left(\frac{T}{2}\right)$ nastaja

kot posledica impulzov med mirovanjem v budnem stanju. Gostoto impulzov smo ocenili na 9 Hz. Energija je zmnožek energije impulza W_i in števila impulzov v času odločanja in zaviranja.

Razpredelnica 2.

WF gib.	Masa (kg)	Impulzi v gibu (št)	Čas (ms)	Pot s (mm)	Osemurno delo			
					impulzi	energija (J)		reducirani impulzi
						odtok	dotok	
0	2,4	6,8	173,8	100	1 125 300	430 800	1 077 000	913 000
		11,5	274,7	300	1 209 000	807 300	2 018 300	523 400
		17,4	400,6	700	1 253 600	1 284 000	3 210 000	341 200
4	14,6	16,3	375,8	100	1 247 000	193 100	482 800	—
		27,9	624,6	300	1 288 700	346 700	866 800	—
		42,5	635,1	700	1 309 800	539 600	1 349 000	848 400

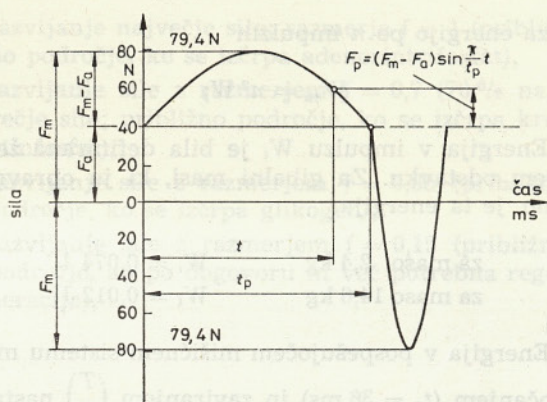
V razpredelnici 2 so podatki za število impulzov, sproženih v osmih urah, in za osemurno potrebno energijo pri šestih značilnih gibih. Dogovorjeni osemurni dotok energije v pospešujoči mišični sistem smo izračunali in je bil 873 800 J. Ker potrebni dotok energije pri osemurnih enoličnih gibih (posebno daljših) večkrat prekoračuje to vrednost, smo v zadnjem stolpcu razpredelnice skrčili osemurno število impulzov na tej energiji ustrezne vrednosti.

Ker obremenjujemo samo pospešujoči mišični sistem, se nanašajo vsi podatki samo na ta sistem.

3. Poraba energije pri gibanju lakta proti aktivni sili (pri enoličnih gibih je dotok kisika ustaljen)

Pri izračunu parametrov gibanja je bil uporabljen model za gibanje proti aktivni sili. Razvoj sile, ki povzroča gibanje, je prikazan na sliki 6.

Za obremenjevanje je kakor v prejšnjem primeru značilno, da delo med vodenjem v največji meri izkorišča statično silo. Gostota impulzov je posebno pri velikih nasprotujočih si silah bistveno večja. Pri nasprotujoči sili, enaki največji statični



Sl. 6. Razvoj sile med gibom proti nasprotujoči sili F_m — največja sila, F_a — gibu nasprotujoča sila, F_p — trenutna pospešujoča sila, t — trenutni čas giba, t_p — trajanje pospešenega dela giba

sili ($f = 1$) gibanja ni, ker so vsi impulzi potrebni za vzdrževanje sile. Pogoji so enaki kakor v prvem odstavku, ko moramo računati z regeneracijskimi odmori. S temi odmori bi morali vsekakor računati tudi pri $f < 1$. Zaradi primerjave z drugimi gibi smo računali z ustaljenim dotokom kisika, torej brez regeneracijskih odmorov.

Masa lakta je $M_u = 2,4$ kg.

Kot značilni sta bili analizirani dve gibanji, z majhno nasprotujočo silo ($F_a = 0,15 F_m$) in veliko nasprotujočo silo ($F_a = 0,85 F_m$).

Kot značilne za dolžine gibov so bile izbrane v obeh primerih poti $s = 100, 300$ in 700 mm.

Pri računanju energije moramo upoštevati, da je del impulzov namenjen vzdrževanju ravnovesja z aktivno silo. Ta del impulzov porablja energijo sorazmerno s številom impulzov.

$$W_1 = n_1 W_i$$

W_1 — energija, potrebna za vzdrževanje ravnovesja z aktivno silo [J],

n_1 — število impulzov, ki vzdržujejo ravnovesje z aktivno silo.

Drugi del impulzov je potreben za pospeševanje gibanja.

Ta del porablja energijo po enačbi

$$W_2 = n_2^2 W_i$$

W_2 — energija, potrebna za pospeševanje gibanja [J],

n_2 — število impulzov, potrebnih za pospeševanje gibanja.

Pomembna omejitev je, da gostota iz seštevka impulzov ($n_1 + n_2$) ne prekoračuje mejne gostote 133,3 Hz.

V razpredelnici 3 so podatki za osemurno število impulzov in za osemurno potrebno energijo pri šestih značilnih gibih. Dogovorjen osemurni dotok energije v mišični sistem je enako kakor v prejšnjem primeru 873 800 J. Ker potrebni dotok energije pri osemurnih enoličnih gibih (posebno

Razpredelnica 3.

Sila F_a (N)	Impulzi v gibu (št)	Čas (ms)	Pot s (mm)	Osemurno delo			
				impulzi	energija (J)		reducirani impulzi
					odtok	dotok	
11,91	8,4	168,6	100	1 429 700	478 300	1 195 700	1 044 800
	14,3	265,9	300	1 549 900	883 800	2 209 500	612 900
	21,6	387,1	700	1 608 500	1 398 700	3 496 800	401 900
67,52	28,9	306,5	100	2 710 900	235 900	589 600	—
	49,7	504,4	300	2 836 100	290 600	726 600	—
	75,7	751,5	700	2 900 000	352 600	881 400	2 875 000

daljših) večkrat prekoračuje to vrednost, smo v zadnjem stolpcu razpredelnice skrčili osemurno število impulzov na ustrezno vrednost.

Za čas odločanja in za čas zaviranja smo predpostavili, da je pospešujoči mišični sistem obremenjen z gostoto impulzov 9 Hz in da porablja tudi ustrezno množino energije.

Značilnost, ki jo lahko takoj razberemo, je, da z vidika energijske bilance pri veliki, gibu nasprotujoči sili ($F_a = 67,52 \text{ N}$), kljub velikemu številu sproženih impulzov teh ni treba zmanjšati; že to kaže, da bi bili potrebni regeneracijski odmori. Stanje bomo še analizirali v sklepnih primerjavah.

4. Poraba energije pri vodenju lakta v globino

(Pri enoličnih gibih je dotok kisika ustaljen)

Značilno za obremenjevanje je, da se pospešujoča sila ne razvija do največje, temveč samo do velikosti, ki je v nasprotnem razmerju z natančnostjo vodenja. Po Work-Factorjevi tabeli se zmanjša največji pospešek pri vodenju giba v globino s toleranco $\pm 12,5 \text{ mm}$ za toliko, kolikor bi se

zmanjšal pospešek pri povečanju mase za en delovni faktor.

Spremembo v pospeševanju si lahko zamišljamo tako, kakor če bi se prvotni pospešujoči mišični sistem razdelil v dva podsistema:

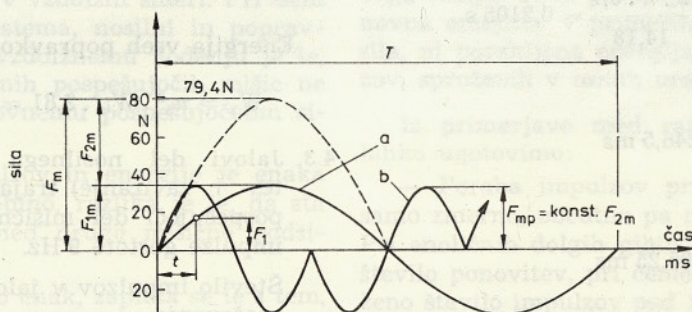
— Nosilni podsistem, ki pospešuje gibanje. Njegovo največjo silo lahko izračunamo iz Work-Factorjevega časa z enim faktorjem dela več, kakor bi ga imel gib brez vodenja v globino. Do nasprotne spremembe mora priti tudi na zaviralnem mišičnem sistemu, ki ga pa v primerjavi ne obravnavamo.

— Popravljalni podsistem, ki vodi gibanje v okviru popravkov. Popravljalni pospešujoči podsistem se kombinira s pomožnim zaviralnim že v pospešenem delu giba.

Shemo razvijanja sil prikazuje slika 7.

Slika prikazuje, kako prvotni enotni sistem razpade na dva podsistema, ki imata na zunaj enake potencialne možnosti.

V primerjalni razpredelnici 4 smo obdelali tri značilne gibe dolžin 100, 300 in 700 mm, z enim faktorjem vodenja v globino, pri osnovni gibajoči se masi.



Sl. 7. Razvoj nosilne sile gibanja (krivulja a) in sile, ki vodi popravke (krivulja b) pri gibanju proti tarči v globino

F_m — največja sila pospešujočega mišičnega sistema, F_{1m} — največja sila nosilnega pospešujočega mišičnega podsistema, F_{2m} — največja sila popravljalnega pospešujočega mišičnega podsistema, F_{mp} — na dva impulza reducirana največja sila popravljalnega pospešujočega mišičnega podsistema, T — čisto trajanje giba, t — trenutni čas med gibanjem, F — trenutna sila nosilnega mišičnega podsistema

Razpredelnica 4.

Impulzi v gibu (št)	Čas (ms)	Pot s (mm)	Osemurno delo			
			impulzi	energija (J)		reducirani impulzi
				odtok	dotok	
17,1	246,5	100	1 191 700	147 400	368 500	—
			806 300			—
29,1	400,6	300	1 253 400	255 600	639 000	—
			838 600			—
44,1	592,9	700	1 285 300	391 000	977 500	1 148 900
			856 700			765 800

Izhodišni podatki:

osnovna gibajoča se masa $M_u = 2,4 \text{ kg}$

gibajoča se masa pri enem faktorju mase $M_{1s} = 5,6 \text{ kg}$

največja sila popolnega mišičnega sistema $F_m = 79,43 \text{ N}$

največja sila, ki pospešuje osnovno gibajočo se maso pri enem faktorju vodenja

$$F_{m1} = F_m \cdot \frac{M_u}{M_{1s}} = 79,43 \cdot \frac{2,4}{5,6} \quad F_{m1} = 34,04 \text{ N}$$

največja sila, ki popravlja gibanje $F_{m2} = 45,39 \text{ N}$

4.1. Z izhodišnimi podatki lahko izračunamo parametre nosilnega giba. V besedilu bomo obdelali samo gib z dolžino $s = 100 \text{ mm}$.

Največji pospešek nosilnega giba:

$$a_{m1} = \frac{F_{m1}}{M_u} = \frac{34,04}{2,4} = 14,18 \text{ m/s}^2$$

Osnovni čas giba

$$T = \sqrt{\frac{2 \pi s}{a_{m1}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot 0,1}{14,18}} = 0,2105 \text{ s}$$

Skupni čas giba

$$T_s = 246,5 \text{ ms}$$

Pospešni del giba

$$\frac{T}{2} = 105,25 \text{ ms}$$

Število impulzov v pospešnem delu giba

$$n_1 = \frac{105,25}{1000} \cdot \frac{133,3 \cdot 2}{\pi} = 8,93 \text{ imp}$$

Energija v impulzu

$$W_{i1} = \frac{(2 \cdot 0,03 \cdot 0,3927 \cdot 34,04)^2}{\pi^2 \cdot 2 \cdot 2,4} = 0,0136 \text{ J/imp}$$

Energija v pospešnem delu giba

$$W_1 = n_1^2 \cdot W_{i1} = 8,93^2 \times 0,0136 = 1,085 \text{ J}$$

4.2. Pospešni del popravka. Domnevamo, da povzročata pospešni del popravka vsakokrat po dva impulza. Po dveh impulzih se še ne more razviti največja sila, temveč samo njen del. Izračuna tega dela ne bomo obdelali; uporabili bomo že izračunano razmerje proti največji sili $F_m = 79,4 \text{ N}$.

$$F_{mp} = \frac{57,9}{79,4} \cdot F_{m2} = 33,1 \text{ N}$$

Potreben čas za dva pospešujoča in dva zaviralna popravljalna impulza je $T_k = 75 \text{ ms}$ (po shemi združevanja impulzov sile).

Velikost popravka po dveh impulzih izračunamo iz enačbe

$$s_p = \frac{a_m}{2} \cdot \frac{T^2}{2 \cdot \pi} = \frac{33,1}{2 \cdot 2,4} \cdot \frac{0,075^2}{2 \cdot \pi} = 0,006 \text{ m}$$

$$s_p = 6 \text{ mm}$$

Popravek z dvema impulzoma je primeren, ker je manjši od največjega dopustnega (približno 50 %).

V enem gibu je

$$\frac{210,5}{75} = 2,81 \text{ popravkov}$$

Energija v impulzu na pospešnem delu popravka je

$$W_{i2} = \frac{(2 \cdot 0,03 \cdot 0,3927 \cdot 33,1)^2}{\pi^2 \cdot 2 \cdot 2,4} = 0,0128 \text{ J/imp}$$

Energija vseh popravkov v pospešnem delu

$$W_2 = n_2^2 \cdot W_{i2} \cdot 2,81 = 0,143872 = 0,144 \text{ J}$$

4.3. Jalovi del nosilnega pospeševanja (odločitev + zaviranje) traja 141,25 ms. V tem času pospešujoči del mišičnega podsistema dobiva impulze gostote 9 Hz.

Število impulzov v jalovem delu nosilnega pospeševanja

$$n_{1j} = \frac{141,25}{1000} \cdot 9 = 1,27 \text{ imp}$$

Energija v jalovem delu nosilnega pospeševanja

$$W_{1j} = 1,27 \cdot 0,0136 = 0,017 \text{ J}$$

4.4. Jalovi del popravljalnega pospeševanja (odločitev + zaviranje) traja 141,25 ms.

Število impulzov je enako kakor v jalovem delu nosilnega pospeševanja.

Energija je

$$W_{2j} = 1,27 \cdot 0,0128 = 0,016 \text{ J}$$

4.5. Čas gibanja: $T_s = 246,5 \text{ ms}$.

Skupno število impulzov v pospešujočem sistemu mišic

$$\text{imp} = 8,93 + 2 \cdot 2,81 + 1,27 + 1,27 = 10,2 + 6,9$$

Skupna energija v pospešujočem sistemu mišic:

$$W = 1,085 + 0,144 + 0,017 + 0,016 = 1,262 \text{ J}$$

Število ponovitev giba v 8 urah:

$$P = \frac{28800 \cdot 1000}{246,5} = 116\,836$$

Osemurno število impulzov: 1 191 700 + 806 300

Energija, ki se razvija v 8 urah: 147 446 J

Na enak način smo izračunali podatke za giba dolžin 300 in 700 mm. Primerjalni podatki so v razpredelnici 4.

Zgornja številka v stolpcu impulzov pomeni obremenitev nosilnega pospešujočega podsistema mišic, spodnja pa obremenitev popravljalnega pospešujočega podsistema mišic.

Popravek zaradi prekoračitve energije pri dotoku v pospešujoči sistem mišic (dogovorno je dovoljeno 873 800 J) je bil potreben samo pri najdaljšem gibu.

5. Poraba energije pri vodenju lakta v širino (pri enoličnih gibih je dotok kisika ustaljen)

Mehanizem vodenja v prečni smeri je enak kakor mehanizem vodenja v vzdolžni smeri. Pri delu sta udeležena dva podsistema, nosilni in popravljalni. Razlika nasproti vzdolžnemu vodenju je le, da podsistem popravljalnih pospešujočih mišic ne pripada več istemu osnovnemu pospešujočemu sistemu.

Skupna poraba impulzov in energije je enaka kakor pri vodenju v globino, razlika je le, da sta obe porabi razdeljeni med druge mišične podskeme.

Ker je primer načelno enak, zapleta se le s tem, da je treba k delu pritegniti nove mišične sisteme, ga nismo podrobneje analizirali.

6. Sklepi

V petih odstavkih je bilo obdelano obremenjevanje pospešujočega sistema mišic na laktu v vodoravni smeri. Vse obremenitve so skržene samo na ta mišični sistem, čeprav npr. pri gibih sodelujejo vsaj še zaviralni mišični sistem lakta, nadalje mišični sistem, ki nosi breme, pri vodenju v prečni smeri pa še sistem, ki vodi gibanje v prečni smeri in ki ni sestavni del pospešujočega mišičnega sistema.

Obremenitve v računu so grajene na dogovorjenih omejitvah, ki so statističnega značaja in lahko enostranske. Pri obremenitvah s statično silo so mejam obremenitve predpisani regeneracijski odmori, ki se sicer približujejo procesu, s katerim se nadomešča primanjkljaj kisika, v skrajnostih pa se razhajajo.

Pri obremenitvah med gibanjem je osnova Work-Factorjev tempo. Ta tempo se zelo dobro sklada z razvijanjem pospešujoče sile, razhaja pa

se, posebno pri daljših gibih z dogovorjeno mejo, do katere je mogoče nadomeščati energijo v mišici.

Kljub temu primerjava, kako je pri različnih oblikah dela obremenjen isti mišični sistem, o obremenljivosti mišičnega sistema mnogo pove.

Prva primerjava je med razvijanjem statične sile in razvijanjem sile v gibanju. Za razvijanje statične sile je značilna majhna poraba energije pri razmeroma veliki porabi impulzov. Da število impulzov ostaja pri meji $5 \cdot 10^5$ v osmih urah, je razumljivo, ker so predpisani regeneracijski odmori velika omejitev. Značilnejše je to, da je poraba energije manjša od 10 % dogovorno dovoljene. Pogojem razvijanja statične sile se približuje gibanje proti aktivni sili velikosti $F_a = 0,85 F_m$ (odstavek 3.). Iz razpredelnice vidimo, da se osemurno število impulzov bliža številu $30 \cdot 10^5$ in da poraba energije izračunanega števila impulzov skoraj sploh ne omejuje. To veliko število impulzov je jasno znamenje, da bi morali enako kakor pri razvijanju statične sile vključiti regeneracijske odmori, tako da bi število impulzov zmanjšali vsaj na okoli $10 \cdot 10^5$, kar pomeni zmanjšanje na 33 % tudi energije, skoraj na enako velikost pa tudi delovnega tempa. Prva primerjava torej že pove, da osnovna omejitev v primerih, ko gibanju nasprotuje sila, ni porabljen energija, temveč število impulzov, sproženih v osmih urah.

Iz primerjave med različnimi vrstami gibanj lahko ugotovimo:

— Poraba impulzov pri daljših gibih narašča samo zmerno, občutno pa narašča poraba energije. Pri enoličnih dolgih gibih bi bilo treba zmanjšati število ponovitev, pri čemer se zniža dnevno sproženo število impulzov pod $10 \cdot 10^5$.

— Gibi, ki premeščajo večjo maso, so intenzivnejši predvsem po številu impulzov, porabljajo pa bistveno manj energije kakor gibi, ki premeščajo manjšo maso.

— Podobna, samo še bolj izrazita so ta razmerja pri premagovanju aktivne sile. Skrajnost za obremenitev je premagovanje največje statične sile.

— Tudi gibi z vodenjem v globino, podobno kakor gibi, ki premeščajo večjo maso, so intenzivnejši po številu impulzov, porabljajo pa bistveno manj energije.

V splošnem iz primerjave za gibe lahko ugotovimo, da enolično razvijanje sile v mišičnem sistemu mišični sistem obremenjuje mnogo bolj kakor povprečno industrijsko delo, ki kombinira obremenitev večjega števila mišičnih sistemov, medtem ko se drugi regenerirajo. Enolično delo je pri uporabljenih standardih po obremenitvi skoraj vedno nad dogovorjeno mejo.

Poleg značilnosti enoličnega dela lahko ugotovimo, da za obremenljivost mišičnega sistema ni pomembna samo energijska, temveč tudi informacijska obremenitev.

Energijska obremenitev je za obremenljivost mišičnega sistema vsekakor prva orientacija. Z dogovorjenim dotokom energije v manjši mišični sistem (primer 873 800 J v osmih urah na laktu) smo povečali dotok energije na visoko stopnjo (približno 50-kratni dotok, potreben za presnovo). Te energijske gladine ne smemo več dvigati, če hočemo preprečiti izčrpavanje mišičnega sistema.

Ko smo ugotovili, da ne prekoračujemo energijske meje, nadziramo dnevno potrebno število usklajenih impulzov v mišičnem sistemu. Če ne upoštevamo razvijanja statične sile, pri kateri zaradi predpisanih regeneracijskih odmorov (mogoče so prestrogi) in nestabilnega vračanja kisikovega primanjkljaja najvišje osemurno število sproženih impulzov ne presega števila $5 \cdot 10^5$, lahko uporabimo kot orientacijo za osemurno število sproženih impulzov število ujetu v precej ozke meje (med $8 \cdot 10^5$ in $12 \cdot 10^5$). Vendar pa samo število sproženih impulzov ni vsa obremenitev informacijskega področja. Odvisna je tudi od kombinacij. Med analizo smo na takšno kombinirano obremenjevanje nalteli pri vodenju giba v globino (in tudi v širino). V četrtem odstavku je pospešujoči mišični sistem načelno razpadel na dva podsistema, v katerih se pojavljajo impulzi z dvema popolnoma različnima režimoma. Takšna kombinacija že sama po sebi ne glede na število impulzov bolj obremenjuje informacijsko področje, kakor je to obremenjeno v enotno napajanjem mišičnem sistemu.

Na podlagi analize bi lahko sklepali, da je število v osmih urah sproženih impulzov skoraj zanesljivejša orientacija za obremenljivost mišičnega sistema kakor poraba energije. Ugotavljanje dnevno sproženega števila impulzov v mišičnem sistemu je sicer v nekem pomenu grajeno na ugotavljanju njihove gostote, podobno kakor je ugotavljanje dnevno porabljene energije grajeno na ugotavljanju povprečne izkoriščene energijske moči sistema. Vendar pa je delo z gostoto živčnih impulzov mnogo delikatnejše, kar lahko ugotovimo že iz obdelane primerjave v četrtem odstavku. Kljub temu, da smo mišični sistem razdelili na dva podsistema, smo skupno energijo lahko dobili iz seštevek energij v vsakem podsistemu. Gostota impulzov pa ni prenosljiva na enak način. Impulzov, ki so bili namenjeni enemu podsistemu, nismo mogli preprosto prišteti drugemu ter poiskati povprečje skupnega sistema. Spremenjena gostota impulzov v mišičnem podsistemu bi za prizadeti podsistem včasih lahko pomenila drugačno sporočilo, kar bi lahko pomenilo drugačno obnašanje podsistema. Zato moramo biti pri kombiniranju gostote impulzov mnogo bolj previdni kakor pri kombiniranju energijske moči.

IZBIRA OSNOVNIH ENOT ZA MERJENJE ČLOVEKOVEGA DELA

Med iskanjem skupnega imenovalca za merjenje vseh del smo izhajali iz tega, da je človekovo delo, kakor vsako fizikalno delo, tesno povezano s spreminjanjem energije. Zato prikazovanje energije, porabljene pri človekovem delu, lahko povežemo s prikazom energije v fiziki. Poraba energije (ali opravljeno fizikalno delo) v enakem času je večja, čim intenzivneje jo vključujemo. Intenzivnost fizikalne energije imenujemo moč. Opravljeno fizikalno delo izražamo z enačbo

$$\text{energija (ali delo)} = \text{moč} \times \text{čas}$$

Energijo merimo z džuli (J) ali vatsekundami (Ws). Moč (intenzivnost energijskega prispevka) merimo z vati (W). Čas, porabljen za delo, merimo s sekundami (s).

Tudi človekov delovni prispevek ali velikost dela lahko izrazimo z enim od dveh faktorjev, s časom. Pri intenzivnosti človekovega delovnega prispevka pa je pojem »moč« preozek, ker se intenzivnost človekovega delovnega prispevka zaradi energijske in informacijske kombinacije ter pripravljenosti in obremenjenosti oblikuje bolj zapleteno. Zato pri iskanju osnovne enote izhajamo iz velikosti dela. V tem primeru lahko intenzivnost človekovega delovnega prispevka imenujemo specifično velikost dela, kar je človekov delovni prispevek v omejenem času. Velikost dela, ki je torej izhodišče za označitev enote, nastaja iz razmerja proti največji človekovi obremenljivosti. Enoto bomo preprosto imenovali **ENOTA DELA** z označbo (ED). V tem primeru bo intenzivnost človekovega delovnega prispevka ali specifično velikost dela označevala sestavljena enota; to bo specifična enota dela ali enota dela na čas z označbo (ED/h). Velikost dela bo izražala enačba

$$VD = V_{ec} \times T_n = KD \times T_n = I_n \times T_n$$

VD — velikost dela v delovni nalogi [ED],

$V_{ec} = KD$ — velikost dela v enoti časa ali specifična velikost konkretnega dela [ED/h],

I_n — normativna intenzivnost delovnega prispevka [ED/h],

T_n — normativni čas, tj. čas, predviden za izvedbo delovne naloge [h].

S to enačbo smo ohranili primerljivost človekovega dela s fizikalnim delom, saj imata obe vrsti del skupno lastnost, da porabljata energijo.

Avtorjev naslov: Evgen Marek, dipl. ing.

ISKRA, Biro za industrijski inženiring,
Ljubljana, Snežniška 1