

Stichting Work-Study en de Work-Factor Raad willen een platform bieden aan Work-Factor gebruikers, arbeidsanalisten, cost engineers en industrial engineers om problemen, oplossingen, ideeën en tips te bespreken. Daartoe zullen we regelmatig een WS Tip sturen aan “WF-leden” en geïnteresseerden. Mocht dit bericht niet op het juiste adres aankomen stuur het dan door naar geïnteresseerden en laat ons dat weten, svp.

DE GRENZEN VAN HET ARBEIDSTEMPO

Door: Hr. Z. Marek (?), Ljubliana d.d. 25-09-1977 (Vertaald uit het Duits door G. de Vrij)

Deel 2

Met beide modellen kan men de benodigde energie voor bijna alle arbeidsbewegingen berekenen. De berekende waarden zijn in tabellen weergegeven, naar lichaamsdeel, lengte van de beweging en massastraagheid.

Hoe het lichaamsdeel de energie bij horizontale Work-Factor bewegingen verbruikt, kan men in de onderstaande tabel aflezen. De waarden zijn in [cal] gegeven.

Toevoer (cal/min)	Afstand (mm)	E	25	50	100	200	300	400	500	600	750	1000
342	Arm	0,12	0,61	0,86	1,21	2,41	3,62	4,83	6,04	7,24	9,06	12,07
97	Hand	-	0,24	0,33	0,47	-	-	-	-	-	-	-
24	Vinger	0,04	0,18	0,25	0,35	-	-	-	-	-	-	-
1165	Romp	-	2,39	3,38	4,76	9,55	14,33	19,10	23,88	28,65	35,81	-
1520	Been	-	1,97	2,78	3,93	7,86	11,79	15,71	19,64	23,57	29,46	39,29
1360	Stap	Schoen, 1 kgm					5,29	7,06	8,82	10,59	13,24	17,45

Tabel 1. Grens-toevoer van energie en verbruik van energie per lichaamsdeel en horizontale afstand.

Conventionele grens-toevoer van energie in het spiersysteem.

Voor de arbeid, die naar algemene basisprincipes is ingericht, onderscheiden we enkel die spiersystemen waarvoor we de conventionele grens-toevoer van energie moeten berekenen. Voordat we die toevoer kunnen berekenen, zijn nog enkele vereenvoudigingen nodig:

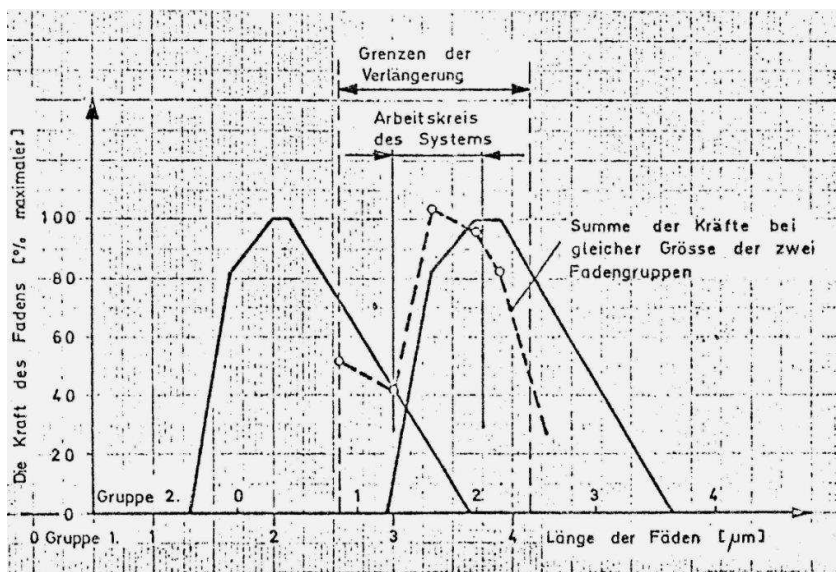
- De berekeningen voor de energie-afvoer gelden enkel voor de gemiddelde mens. Daarom is het noodzakelijk dat we de conventionele grens-toevoer van de energie naar de spiersystemen ook voor gemiddelde grenzen vaststellen.
- De doorbloeding van de spieren kan in 8 uren de energie ter grootte van 2000 kcal bewerkstelligen. Dat is de grootste conventionele toevoer van energie naar alle spieren.
- Vanwege verliezen bij de chemische processen, kunnen de spieren voor de actieve arbeid slechts 40% van de in de spieren omgezette energie benutten.
- De belangrijkste variabele voor de in het lichaam omgezette energie is het verbruik van zuurstof. Voordat de zuurstof op de plaats van het verbruik aankomt, moeten er meerdere knelpunten worden gepasseerd, waarvan ieder de doorvoer kan begrenzen. Analyses hebben aangetoond dat, relatief gezien, de doorbloeding het kritische knelpunt is. Daarom werd de doorbloeding aan een gedetailleerde analyse onderworpen. Die analyse heeft laten zien dat we de grote en kleine spiersystemen niet op dezelfde manier kunnen behandelen. Volgens de Wetten van Kennelly, neemt de toevoer van energie naar de spieren af afhankelijk van de duur van de belasting en de spiermassa die aan de arbeid deelneemt. Uit deze wetten komen 2 mogelijkheden voort:
 - Als de massa van de bij de arbeid deelnemende spieren meer dan 31,6% van de totale massa van de spieren is, is de begrenzing voor de toevoer van energie 2000 kcal in 8 uren. De begrenzing komt door de capaciteit van het hart.
 - Als de massa van de bij de arbeid deelnemende spieren minder dan 31,6% van de totale spiermassa is, is de begrenzing voor de conventionele grens-toevoer van het bloed 2000 kcal voor 31,6% van de spieren. Voor de kleinere spiermassa's verloopt de toevoer proportioneel met het

percentage van de deelnemende spieren. Die begrenzing komt van de doorstromingscapaciteit van de spieren.

- Voor de omzetting van energie is het tijdstip, waarop het opbouwen van melkzuur begint, kritisch.

Verdere vereenvoudigingen zijn:

- Alle spiersystemen zijn t.b.v. de omzetting van energie gelijkwaardig. Dat betekent: hetzelfde spier-volume zet dezelfde hoeveelheid energie om.
- Alle spiersystemen zijn ook voor de opwekking van kracht gelijkwaardig, Dat betekent: spieren met gelijke doorsnede kunnen gelijke kracht leveren.
- Alle spiervezels worden op dezelfde manier langer. Dat betekent: eenzelfde specifieke kracht volgt eenzelfde verlenging van de spiervezels.
- In het model worden twee groepen van spiervezels samen gebracht in één systeem. Iedere groep spiervezels dekt een deel van het verlengingsvlak af. Gecombineerd voor de beide groepen spiervezels, wordt de relatie tussen kracht en verlenging per groep, getoond in onderstaande figuur 3.



Figuur 3: Kracht versus Spiervezelverlenging.

- Antropologische gegevens (gewicht en lengte van het lichaamsdeel, de lengte van de mogelijke beweging, maximaal kracht), komen van de gemiddeldes uit de ergonomische literatuur.

De vereenvoudigingen hebben de berekening voor de conventionele grens-toevoer van energie in de spiersystemen die aan de arbeid deelnemen, mogelijk gemaakt.

Als men de conventionele grens-toevoer van energie in de spiersystemen vaststelt, is het belangrijk, dat men het percentage van de bij de arbeid deelnemende spieren berekent. De uitgangspunten zijn ten aanzien van

- De fictieve doorsnede van het spiersysteem: de doorsnede berekenen we uit de maximale kracht van het spiersysteem die de versnelling en vertraging veroorzaken.
- De fictieve lengte van het spiersysteem: de fictieve lengte berekenen we uit twee gegevens, n.l.
 - de verhouding, die we uit figuur 3 bepalen: die verhouding definieert de lengte van de spiervezels t.o.v. de ontspanning in het spiersysteem.
 - de verhouding uit de werkelijke ontspanning uit antropologische gegevens.

Het spiersysteem dat wij voor de berekening nodig hebben, is een fictief spiersysteem dat echter dezelfde massa heeft als het werkelijke bij de arbeid deelnemende systeem.

De uitgerekenende gegevens voor de conventionele grens-toevoer van energie in de spiersystemen zijn in de tabellen voor energie-afvoer voor de arbeid toegevoegd (zie de tabel voor energieverbruik bij Work-Factor tempo).

Geformaliseerde bepaling van de vermoeiing door arbeid en de vermindering van de arbeidsnelheid.

Wanneer men de vermoeiing door de arbeidstaak wil vaststellen, moet men precies weten wat men onder die taak verstaat, naar welke methode en met welke snelheid men die dient uit te voeren (*dus*

tegen welk tempo). Als één van deze voorwaarden ontbreekt, is de berekening niet correct. Daarom dient men de arbeidstaak volgens de Work-Factor methode te analyseren. De methode die wij gebruiken is gebaseerd op Detailed Work-Factor (DWF). Omdat het traject van de berekening tamelijk lang is, gaan we slechts in die gevallen de berekening aan, waarbij de arbeid t.a.v. vermoeiing reeds verdacht is.

De berekening gaat als volgt, zie voorbeeld in bijlage 1.

- Als eerste analyseert men de arbeidstaak c.q. operatie volgens DWF. (*Kolommen 1 t/m 5: dit dient natuurlijk een echte 2-handen analyse te zijn, maar vooruit, het gaat om het idee*).
- Op het analyseblad geeft men aan één kant in kolommen alle bij de arbeid deelnemende spiersystemen aan (*AH, AV, H, F, T, L, Ft, Walk en Overige*). (*Kolommen 6 t/m 14*)
- Bij elk element van de analyse schrijft men in de kolom van het betreffende spiersysteem, de bij het element behorende energie. (*Uit tabel 1 en "overig"*)
- Men sommeert de energie per kolom.
- Die sommen rekent men om naar de arbeid per één minuut. (*In ons voorbeeld: vermenigvuldigen met 10000 / 866 = 11,55*). Dat is de waarde van de negatieve/passieve zijde van de balans.
- Uit tabel 1, *kolom 1*, haalt men de waarde van de ter beschikking zijnde toevoer van energie voor de deelnemende spiersystemen. Die waarde is de positieve/actieve zijde van de balans.

Daarmee is de analyse klaar voor de controle.

- Bij de eerste controle stelt men vast, of in de afzonderlijke spiersystemen de passieve waarde van de energetische balans de actieve waarde te boven gaat. In geval dat het te boven gaat vermindert men de arbeidssnelheid voor het betreffende systeem.
- Bij de tweede controle sommeert men alle "per-minuut-waarden" van de benodigde energie; en men voegt nog de energie voor lichaamshouding toe. Als het percentage van de belaste spieren kleiner is dan 31,6%, sommeert men eveneens de ter beschikking staande energieën; de som moet dan groter zijn dan de som van de benodigde energie. Als het percentage van de belaste spieren groter is dan 31,6%, dan mag de benodigde energie de waarde van 1580 cal/min niet te boven gaan. Wanneer deze grens wel wordt overschreden, moet men de arbeidssnelheid verminderen.

Bij verlaging van de arbeidssnelheid dient men het volgende in acht te nemen.

- Als de energie enkel voor de beweging van arbeidsorganen gebruikt wordt, is de omrekening naar de nieuwe arbeidssnelheid eenvoudig. De verhouding tussen de arbeidssnelheden is gelijk aan de wortel uit de verhouding tussen de energieën. De nieuwe arbeidssnelheid is dan:

$$v_n = v_a \cdot \sqrt{W_n / W_a}$$
, waarin
 v_n nieuw arbeidssnelheid
 v_a oude arbeidssnelheid
 W_n .. nieuwe benodigde (ter beschikking staande) energie
 W_a .. oude benodigde energie.
- Wanneer de energie voor een extra arbeid (bijv. $W = F \cdot s$) nodig is, zijn de verhoudingen tussen de arbeidssnelheden en de benodigde energieën gelijk. Wanneer de arbeid zonder versnellingen en vertragingen zou zijn, zou de nieuwe arbeidssnelheid als volgt zijn

$$v_n = v_a \cdot W_n / W_a$$

In de praktijk dient men beide mogelijkheden te combineren.

Het onderwerp van vorige WS Tips staat op de WF Website onder: WF en Management/Praktisch - Algemeen/WS Tips.

Voor reacties naar

G. de Vrij

Secr.: Stichting Work-Study / WORK-FACTOR Raad / WFGD

Tel: +31.40.2046048

Fax: +31.40.2010432

E-mail: work-study@onsmail.nl of info@work-factor.nl

Website: www.work-factor.nl