

# Fiche 11 (Analyse): Fysieke arbeidsbelasting



## 1. Inleiding

Het metabolisme staat voor het energieverbruik door musculaire belasting. Deze energie is afkomstig van de omzetting van suikers en vetten in mechanische en thermische energie.

Het metabolisme kan aanzien worden als een numerische index voor een activiteit.

De fysieke arbeidsbelasting beïnvloedt op een doorslaggevende manier of blootstelling aan bepaalde thermische condities als comfortbel of belastend wordt gevoeld.

Bij een warm klimaat in het bijzonder zal de grote warmteproductie door het metabolisme ten gevolge van spierarbeid de belasting door blootstelling aan warmte verergeren vermits grote hoeveelheden warmte dient afgegeven te worden door het lichaam en dit vooral door evaporatie aan de hand van transpiratievocht.

## 2. Principe en nauwkeurigheid

De mechanische doeltreffendheid van de spierarbeid tot « nuttige » arbeid is zwak.

Bij de meeste industriële arbeid is zij zo zwak (enkele %) dat zij zo goed als gelijk is aan nul.

Dit betekent dat kan verondersteld worden dat de totale energie van het werk omgezet wordt in warmte.

Tabel 1 geeft de verschillende benaderingen weer om het metabolisme te bepalen met hun respectievelijke nauwkeurigheid.

Volgens de **SOBANE**-strategie worden er 4 niveaus bekeken:

- Niveau 1, **Opsporing**: Twee eenvoudige en gemakkelijke methodes om de gemiddelde fysieke arbeidsbelasting voor een gegeven beroep of voor een bepaalde activiteit vlug te schetsen worden voorgesteld:

- methode A: indeling volgens het beroep
- methode B: indeling volgens het soort activiteit.

Beide methodes geven een oppervlakkige en weinig precieze evaluatie.

Op dit niveau is een onderzoek van de arbeidsplaats niet nodig.

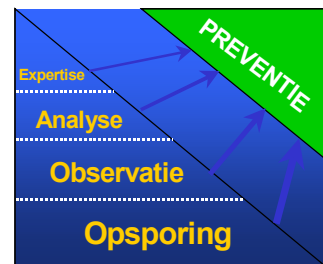
- Niveau 2, **Observatie**: Drie methodes worden voorgesteld voor personen met een perfecte kennis van de arbeidsomstandigheden, maar zonder noodzakelijk bijkomende vorming in ergonomie. Zij laten toe de gemiddelde belasting in een gegeven arbeidssituatie en op een gegeven ogenblik te bepalen:

- methode A: het metabolisme wordt bepaald in functie van de lichaamshouding, krachtinspanningen en de houdingen van de lichaamsdelen
- methode B: het gemiddelde metabolisme wordt bepaald in functie van het werkritme
- methode C: het gemiddelde metabolisme wordt rechtstreeks bepaald in functie van de activiteit.

Een procedure is beschreven om de activiteiten in de loop van de tijd te registreren en om het gewogen gemiddelde metabolisme te berekenen, door gebruik te maken van de gegevens van bovenstaande methodes gebruikt.

De nauwkeurigheid blijft zwak.

Een tijdsstudie is nodig om het metabolisme te bepalen in arbeidssituaties opgebouwd uit een cyclus van verschillende activiteiten.



## Hulpfiches, Analyse

- Niveau 3, **Analyse**: Het gemiddelde metabolisme wordt bepaald door de registratie van de hartfrequenties gedurende een representatieve periode. Deze methode van indirecte bepaling van het metabolisme is gebaseerd op de relatie tussen het zuurstofverbruik en de hartfrequentie in welbepaalde omstandigheden. De methode dient toegepast te worden door personen opgeleid in gezondheid op het werk.
- Niveau 4, **Expertise**: De beschikbare methodes op dit niveau zijn:
  - de meting van het zuurstofverbruik
  - de directe methode door warmtemeting

Deze methodes worden hier niet voorgesteld.

**Tabel 1 - Vergelijking van de methodes voor het bepalen van het metabolisme**

Niveau	Methode	Nauwkeurigheid	Inspectie van de arbeidsplaats
<i>Opsporing</i>	A. Indeling volgens beroep	Benaderende informatie Zeer groot risico op vergissing	Niet noodzakelijk, maar een informatie over de technische uitrusting en de arbeidsorganisatie is nodig
	B. Indeling volgens soort activiteit		
<i>Observatie</i>	A. Tabellen in functie van houdingen en inspanningen	Hoog risico op vergissing Foutenmarge: $\pm 20\%$	Tijdsstudie noodzakelijk
	B. Tabellen in functie van snelheden		
	C. Tabellen voor specifieke activiteiten		
<i>Analyse</i>	Evaluatie vanuit de registratie van de hartfrequentie in welbepaalde omstandigheden	Middelmatig risico op vergissing Foutenmarge: $\pm 10\%$	Niet noodzakelijk
<i>Expertise</i>	Metten van het zuurstofverbruik	Vergissingen in de nauwkeurigheids-grenzen van de meting of de tijdsstudie Foutenmarge: $\pm 5\%$	Tijdsstudie noodzakelijk
	Rechtstreekse warmtemeting		Niet noodzakelijk

De voornaamste factoren die de nauwkeurigheid verminderen zijn:

- de persoonlijke verschillen
- de verschillen in de arbeidsuitrusting
- de variatie in het werkritme
- de verschillen in arbeidstechnieken en professionele bekwaamheden
- de verschillen in geslacht en antropometrische kenmerken
- de culturele verschillen
- bij het gebruik van tabellen, de verschillen tussen onderzoekers en hun opleidingsniveau
- bij het gebruik van niveau 3, de nauwkeurigheid van de relatie tussen de hartfrequentie en het zuurstofverbruik en de aanwezigheid van andere factoren die de hartfrequentie beïnvloeden

## Hulpfiches, Analyse

### 3. Niveau 1, Opsporing

- **Evaluatie van het metabolisme per beroep.**

Tabel 2 geeft het gemiddelde metabolisme voor verschillende beroepen. Belangrijke schommelingen kunnen optreden door verschillen in verband met de technologie, de exacte aard van het werk, de arbeidsorganisatie, enz.

**Tabel 2 – Metabolisme voor verschillende beroepen**

Beroep		Metabolisme (watt)
Handarbeid	Metselaar	200 - 290
	Timmerman	200 - 310
	Glazenmaker	160 - 230
	Schilder	180 - 230
	Bakker	200 - 250
	Beenhouwer	190 - 250
	Horloge maker	100 - 130
Mijnindustrie	Mijnwerker	200 - 400
	Arbeider aan cokeovens	210 - 310
Staalindustrie	Arbeider aan hoogoven	310 - 400
	Arbeider aan elektrische oven	220 - 260
	Manuele metaalgieter	250 - 430
	Machinale metaalgieter	190 - 300
Metaalindustrie	Arbeider in metaalgieterij	250 - 430
	Smid	160 - 360
	Lasser	130 - 220
	Draaier	130 - 220
	Boorder	140 - 250
	Nauwkeurigheidsmechanieker	130 - 200
Drukkerij	Drukker	125 - 170
	Boekbinder	135 - 200
Landbouw	Tuinier	200 - 340
	Tractorbestuurder	150 - 200
Transport	Auto bestuurder	125 - 180
	Buschauffeur	135 - 225
	Trambestuurder	145 - 210
	Kraanmachinist	115 - 260
Allerlei	Laboratoriumhulp	150 - 180
	Onderwijzer	150 - 180
	Verkoper	180 - 220
	Secretaris	125 - 150



- **Evaluatie van het metabolisme per categorie**

Tabel 3 bepaalt 6 klassen van metabolisme: rust (zittend of staand), licht, middelmatig, zwaar, zeer zwaar.

Deze kwalificaties worden gebruikt voor een **ONAFGEBROKEN** arbeid van 8 h (rekening houdend met normale arbeidspauzes). Ze hebben geen nut voor een kortdurende occasionele arbeid.

Voorbeeld: een trap opgaan is een zeer zware arbeid wanneer dit onafgebroken gedurende 8 h moet gebeuren; het is geheel aanvaardbaar wanneer dit 30 seconden duurt.

Voor iedere klasse zijn het gemiddelde en het gamma van metabolische waarden aangegeven tesamen met een aantal voorbeelden. In deze activiteiten zijn korte ontspanningspauzes ingelast.

## Hulpfiches, Analyse

Tabel 3 – Metabolisme per categorie

Klasse	Metabolisme watt	Voorbeelden
Rust zittend	100	
Rust staand	120	
Licht	180 (130 – 240)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Secretariaatswerk</li> <li>• Licht zittend handwerk (bedienen van een toetsenbord, tekenen, naaien,...)</li> <li>• Zittend werk met kleine werktuigen, inspectie, lichte assemblage</li> <li>• Besturen van een wagen, bedienen van een pedaal, ...</li> <li>• Boren, lichtjes polijsten van kleine stukken</li> <li>• Gebruik van kleine handwerktuigen</li> <li>• Occasioneel, traag stappen</li> </ul>
Middelmatig	300 (241 – 355)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestadig werken met armen en handen (timmeren, vijzen,...)</li> <li>• Besturen van voertuigen, tractoren, vrachtwagens, ...</li> <li>• Occasioneel behandelen van middelmatig zware voorwerpen</li> <li>• Sneller stappen (3,5 tot 5,5 km/h)</li> </ul>
Zwaar	410 (356 – 465)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intense arbeid met de armen en met de romp</li> <li>• Behandelen van zware voorwerpen van bouwmaterialen</li> <li>• Spitten, zagen met de hand, schaven</li> <li>• Snel stappen (5,5 tot 7 km/h)</li> <li>• Wagentjes en kruiwagens duwen en trekken</li> </ul>
Zeer zwaar	520 (> 466)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeer intense en snelle arbeid</li> <li>• Zwaar spitten, graven</li> <li>• Beklimmen van ladders of trappen</li> <li>• Zeer snel stappen, looppas (&gt;7km/u)</li> </ul>

### 4. Niveau 2, Observatie

#### A. Evaluatie van het metabolisme door ontleding van de taak

Het metabolisme is hier geschat vanuit volgende observaties:

- het lichaamsdeel dat bij het werk gebruikt wordt: twee handen, een arm, twee armen, het gehele lichaam
- de fysieke arbeidsbelasting voor dit lichaamsdeel: licht, middelmatig, zwaar
- de lichaamshouding: in rust, op de knieën, gehurkt, rechtstaand, rechtstaand voorovergebogen



Tabel 4 geeft de gemiddelde waarde en het gamma van het metabolisme weer voor een normaal persoon, in zittende houding, in functie van het betrokken lichaamsdeel en de fysieke arbeidsbelasting.

Tabel 5 geeft de toe te voegen verbeteringen als het werk niet zittend gebeurt.

Het betreft hier opnieuw licht, middelmatig en zwaar in de zin van één arbeidsduur van 8 h. De belasting moet beoordeeld worden naargelang de gemiddelde capaciteiten van werknemers en **NIET** in functie van de capaciteit van de werknemer in het bijzonder, of, a fortiori, van de observator.

## Hulpfiches, Analyse

**Tabel 4 – Fysieke arbeidsbelasting (in watt) voor een zittend persoon, in functie van de intensiteit van de arbeid en van de betrokken lichaamszone**

Betrokken lichaamszone		Arbeid		
		Licht	Middelmatig	Zwaar
De 2 handen	Gemiddelde	125	155	170
	Gamma	<135	135-160	>160
Een arm	Gemiddelde	160	200	235
	Gamma	<180	180-215	>215
De 2 armen	Gemiddelde	215	250	290
	Gamma	<235	235-270	>270
Het lichaam	Gemiddelde	325	440	600
	Gamma	<380	380-510	>510

**Tabel 5 – Toevoegen in functie van de voornaamste lichaamshouding**

Houding van het lichaam	Metabolisme (watt)
Zittend	0
Geknield	20
Gehurkt	20
Rechtstaand	25
Rechtstaand, voorovergebogen	35

## Hulpfiches, Analyse

### B. Evaluatie van het metabolisme in functie van de arbeidsritme

Tabel 6 laat toe het metabolisme te evalueren voor een verplaatsingsactiviteit in functie van de snelheid van deze verplaatsing.

#### Tabel 6 - Metabolisme verbonden aan de arbeidsritme

Het basaal metabolisme (80 W) moet worden toegevoegd aan de einduitkomst

Aard van de arbeid	Metabolisme W per (m/min)
<b>Metabolisme in functie van de stapnelheid in meters per minuut (m/min)</b>	
Stappen: 0,55 à 1,40 m/min (2 à 5 km/h)	200 *
Klimmen: 0,55 à 1,40 m/min (2 à 5 km/h)	
helling 5°	320
helling 10°	500
Dalen: 0,55 à 1,40 m/min (2 à 5 km/h)	
helling 5°	110
helling 10°	90
Stappen met een last op de rug: 1,1 m/min (4 km/h)	
last van 10 kg	225
last van 30 kg	330
<b>Metabolisme verbonden aan de snelheid van klimmen in m/ minuut (verticale afstand per seconde)</b>	
Beklimmen van trappen	3240
Afdaling van trappen	945
Beklimmen van een hellende ladder	
onbelast	3000
last van 10 kg	3400
last van 20 kg	4000
Beklimmen van een verticale ladder	
onbelast	3800
last van 10 kg	4300
last van 20 kg	4900



## Hulpfiches, Analyse

### C. Evaluatie van het metabolisme voor specifieke activiteiten

Tabel 7 geeft metabolische waarden voor specifieke activiteiten.

**Tabel 7 - Metabolisme voor specifieke activiteiten**

Activiteiten	M (watt)
Slaap	70
Rust zittend	100
Rust rechtstaand	125
Stappen op geëffende, stevige, vlakke weg	
1. onbelast	
aan 2 km/h	200
aan 3 km/h	250
aan 4 km/h	300
aan 5 km/h	360
2. belast	
10 kg last, 4 km/h	330
30 kg last, 4 km/h	450
Stappen op geëffende, hellende weg, stijgend	
1. onbelast	
5° helling, 4 km/h	320
15° helling, 3 km/h	380
25° helling, 3 km/h	540
2. belast, 20 kg	
15° helling, 4 km/h	490
25° helling, 4 km/h	740
Afdaling aan 5 km/h, onbelast	
5° helling	240
15° helling	250
25° helling	320
Ladder 70°, snelheid 11,2 m hoogteverschil per minuut	
onbelast	520
met last = 20 kg	650
Duwen of trekken van wagentjes, 3,6 km/h, op vlakke, stevige weg	
duwkracht: 12 kg	520
duwkracht: 16 kg	670
Kruiwagen duwen, effen weg, 4,5 km/h, rubber banden, last = 100 kg	410
IJzer vijlen	
42 vijlstreken/min	180
60 vijlstreken/min	340
Werken met een hamer (met 2 handen), gewicht van de hamer: 4,4 kg, 15 slagen/min	520
Timmerwerk	
zagen met de hand	400
zagen met de machine	180
schaven met de hand	540
Metselen, 5 bakstenen/min	310
Schroeven	180
Een greppel graven	520
Werken met een machine-werktuig	
licht (regelen, monteren)	180
middelmatic (laden)	250
zwaar	380
Werken met een handwerktuig	
licht (lichtjes polijsten)	180
middelmatic (schuren)	290
zwaar (stevig boren)	410



## Hulpfiches, Analyse

### D. Evaluatie van het gemiddelde metabolisme gedurende afwisselende arbeid

Om het gemiddelde metabolisme van een arbeidsfase te bepalen moet er een studie gedaan worden over de uitvoeringstijden waarbij een gedetailleerde beschrijving van de uit te voeren taken gebeurt.

Hiervoor moet iedere activiteit gerangschikt worden rekening houdend met factoren zoals: duur van de activiteit, afgelegde afstanden, hoogtes, behandelde gewichten, aantal uitgevoerde handelingen...

Het metabolisme voor een arbeidscyclus kan bepaald worden vanuit het metabolisme van de verschillende deelactiviteiten en van hun respectievelijke duur door:

$$M = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n M_i t_i$$

waar

- $M$  = het gemiddelde metabolisme van een arbeidscyclus, in watt
- $M_i$  = het metabolisme van een activiteit  $i$ , in watt
- $t_i$  = de duur van een activiteit, in seconden
- $T$  = de duur, in seconden, van de desbetreffende arbeidscyclus, deze is gelijk aan de som van de partiële duurtijden  $t_i$



Het registreren van de professionele activiteiten en de duur van de activiteiten tijdens een werkdag of tijdens een bepaalde periode kan vereenvoudigd worden door het gebruik van het dagboek beschreven in tabel 8.

**Tabel 8 - Dagboek voor de registratie van de activiteiten**

Datum						
Onderwerp						
Werkplaats						
Temperatuur van de lucht (°C)						
Zwarte boltemperatuur (°C)						
Relatieve vochtigheid (RH %)						
Luchtsnelheid (m/s)						
kledij isolatie (clo)						
Uur	Minuut	Nummer van de taak				
		1	2	3	---	n
..						
..						



## Hulpfiches, Analyse

De aanbevolen procedure is de volgende:

- een representatieve operator kiezen
- de te analyseren arbeidsfase bepalen, rekening houdend met haar representativiteit
- het werk van deze operator observeren tijdens de gekozen fase
- de onderdelen van de taak en het overeenkomstig metabolisme bepalen, door middel van de tabellen 4, 5, 6 of 7.
- deze onderdelen nummeren en het dagboek klaarmaken
- het nummer van het onderdeel registreren van zodra het begint

Na de observatie:

- de tijd doorgebracht aan elk onderdeel van de taak berekenen
- het gemiddelde metabolisme berekenen door middel van de hierboven beschreven formule

De tabel met de resultaten kan de vorm aannemen van tabel 9.

**Tabel 9 - Samenvatting van de resultaten**

Taak: ..... Datum: ..... Observator: .....

Onderdelen		$M_i$ W	Duur $t_i$ sec	Product $M_i t_i$
N°	Beschrijving			
1	Taak 1	$M_1$		
2	Taak 2	$M_2$		
..				
i	Taak i	$M_i$		
..				
n	Taak n	$M_n$		
	Totaal			
	<b>Gemiddeld metabolisme</b>			

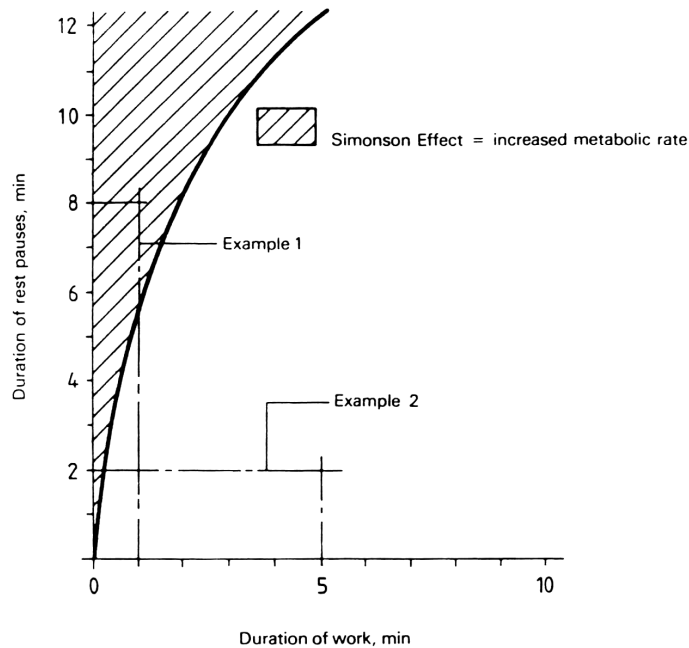
### Invloed van de arbeids- en rusttijden

De hierboven uiteengezette methode mag niet worden gebruikt voor de evaluatie van het gemiddelde metabolisme voor arbeidsomstandigheden met korte activiteitsperiodes afgewisseld worden met lange rustperiodes. In dit geval zou ze leiden tot een onderschatting van het metabolisme (gekend onder de naam "effect van Simonson"). De validiteitsgrens van de combinaties rust - werk wordt weergegeven figuur 1:

- Voorbeeld 1 betreft een cyclus van 8 min rust en 1 min werk. In dit geval zou de hierboven uitgelegde techniek voor het berekenen van het gemiddeld metabolisme leiden tot een onderschatting van de werkelijke waarde van het metabolisme
- In voorbeeld 2 kunnen de tabellen gebruikt worden met de aangegeven nauwkeurigheid.

## Hulpfiches, Analyse

**Figuur 1 - Verhogingsgebied van het metabolisme**



De verhoging van het metabolisme door het Simonson-effect hangt af van de aard van het werk en van de gebruikte spiergroepen.

### E. Interpolatie tussen de door de tabellen gegeven waarden

De interpolatie van de metabolische waarden is correct.

Wanneer de verplaatsingssnelheden verschillen van deze vermeld in de tabellen, zal de interpolatie slechts geldig zijn in een marge van  $\pm 25\%$  van de vermelde snelheid.

### F. Niet "standaard" operatoren

De waarden van de tabellen werden genormaliseerd voor een "standaard" operator die in een comfortabele thermische omgeving werkt.

Voor een gegeven persoon die een welbepaalde taak uitvoert, kan het metabolisme in zekere mate variëren in de buurt van de gemiddelde waarden uit de tabellen, en dit onder invloed van de eerder vermelde factoren.

Men kan ervan uitgaan dat:

- voor hetzelfde werk en in dezelfde arbeidsomstandigheden, het metabolisme van de ene persoon tot de andere met ongeveer 5 % kan variëren.
- voor een persoon opgeleid voor dit onderzoek, zal de variatie ongeveer 5 % zijn in laboratoriumomstandigheden.

Op het terrein, dit wil zeggen als de activiteit nooit steeds volledig dezelfde is, kan een variatie tot 20 % oplopen.

Gezien dit risico op fouten, is het niet aangewezen om op dit niveau van de evaluatie rekening te houden met het verschil in grootte, geslacht ... van de personen.

Het rekening houden met het gewicht van de persoon is alleen gegrond voor activiteiten met bewegingen van het ganse lichaam, zoals stappen, zich recht zetten, een gewicht opheffen ...

In een warme omgeving kan een verhoging van maximum 10 à 20 W optreden door de verhoogde hartfrequentie en de transpiratie. Een correctie hiervoor is op dit niveau niet gerechtvaardigd.

Anderzijds kan in een koude omgeving een verhoging, van de belasting die tot 400 W kan oplopen, waargenomen worden wanneer de operator rilt. Het dragen van zware kledij vermeerdert eveneens het metabolisme, door het gewicht te verhogen en door het gemakkelijker bewegen te verminderen.

## Hulpfiches, Analyse

### 5. Niveau 3, Analyse

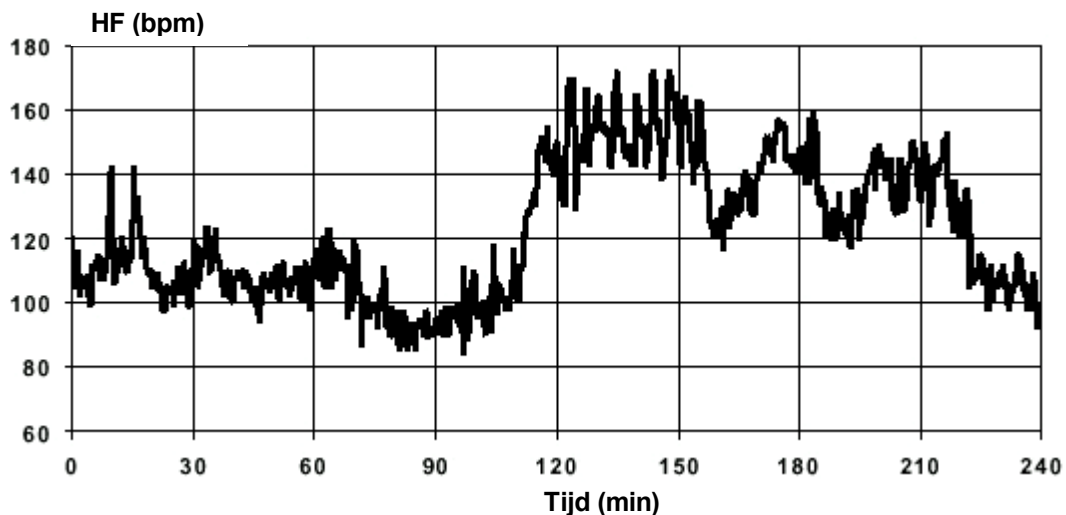
- **Schatting van het metabolisme door registratie van de hartfrequentie**

De hartfrequentie op een bepaald ogenblik kan beschouwd worden als een som van verschillende elementen.

$$HF = HF_0 + \Delta HF_M + \Delta HF_S + \Delta HF_T + \Delta HF_N + \Delta HF_E$$

waarbij

- $HF_0$  = de hartfrequentie, in slagen per minuut, in rust, in liggende houding, in neutrale thermische omstandigheden
- $\Delta HF_M$  = de vermeerdering van de hartfrequentie toe te schrijven aan dynamische musculaire spierbelasting, in neutrale thermische omstandigheden
- $\Delta HF_S$  = de verhoging van de hartfrequentie toe te schrijven aan statische musculaire spierbelasting. Deze factor hangt af van de verhouding tussen de uitgeoefende kracht en de maximale uitvoerbare spierkracht van de desbetreffende spiergroep
- $\Delta HF_T$  = de verhoging van de hartfrequentie toe te schrijven aan de thermische belasting. Deze factor wordt besproken in de ISO 9886 Norm.
- $\Delta HF_N$  = de verhoging van de hartfrequentie toe te schrijven aan de mentale belasting
- $\Delta HF_E$  = de restfactor van de hartfrequentie te wijten, bijvoorbeeld aan ademhalingsseffecten, aan het 24-uren ritme, aan deshydratie.



In het geval van een dynamische arbeid die de voornaamste spiergroepen activeert, met weinig bijkomende statische spierbelasting en zonder thermische en mentale belasting, kan het metabolisme geschat worden door de hartfrequentie te meten gedurende de arbeid.

Men mag ervan uitgaan dat er in dit geval een rechtlijnige relatie is tussen de hartfrequentie en het metabolisme. Als de hierboven vermelde beperkingen in overweging genomen worden kan deze methode nauwkeuriger zijn dan de voorgaande.

De hartfrequentie kan ononderbroken worden geregistreerd, bijvoorbeeld door het gebruik van een telemetrische uitrusting, of kan manueel worden gemeten, met een verminderde nauwkeurigheid, door de polsslagen te tellen (zie ISO 9886 norm).

De gemiddelde hartfrequentie kan berekend worden op vastgestelde tussentijden, bijvoorbeeld 1 minuut, op verschillende functioneringscycli of op de totale duur van de werkdag.

## Hulpfiches, Analyse

Bij een belangrijke thermische belasting, bij statische musculaire arbeid, bij dynamisch werk met kleine musculaire groepen, of nog bij belangrijke mentale belasting, kunnen de helling en de vorm van de verhouding hartfrequentie - metabolisme behoorlijk veranderen. De procedure die toelaat de waarden van de hartfrequentie voor het thermische effect te verbeteren wordt beschreven in de ISO 9886 Norm.

- **Relatie hartfrequentie - metabolisme**

De relatie hartfrequentie - metabolisme kan worden bepaald door de hartfrequentie op verschillende niveaus van spierbelasting te registreren tijdens een proefopstelling in een klimatologisch neutrale omgeving. Aangezien het soort inspanning (cyclo-ergometer, step-test, rollend tapijt...) en de stappen van verhoging en de duur van inspanningsgraad een invloed hebben op de twee parameters, is het nodig een genormaliseerde testprocedure te gebruiken.

In het algemeen is de rechtlijnigheid juist in het gamma:

- boven de 120 slagen per minuut (bpm), omdat het mentale onderdeel dan kan worden verwaarloosd.
- tot 20 slagen onder de maximale hartfrequentie van de persoon, omdat de hartfrequentie geneigd is zich te stabiliseren boven deze waarde. De persoonlijke maximale hartfrequentie kan geschat worden door de volgende formules:  
 $HF_{max} = 205 - 0,62 \times \text{leeftijd}$  of  $HF_{max} = 220 - \text{leeftijd}$

Door regressie van de gegevens uit dit interval, kunnen de coëfficiënten  $HF_0$  en  $RM$  van de volgende uitdrukking worden bepaald.

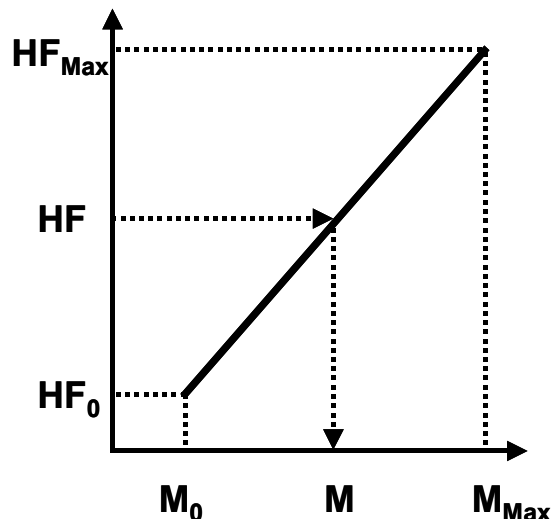
$$HF = HF_0 + RM \cdot (M - M_0)$$

waarbij

- $M$  = het metabolisme, in watt
- $M_0$  = het metabolisme bij rust, in watt
- $RM$  = de verhoging van de hartfrequentie per eenheid van metabolisme
- $HF_0$  = de hartfrequentie bij rust, in omstandigheden die overeenstemmen met het metabolisme  $M_0$  en in neutrale thermische omstandigheden.

Deze uitdrukking kan als volgt worden omschreven:

$$M = (HF - HF_0) / RM + M_0$$



## Hulpfiches, Analyse

Dit verband wordt gebruikt om het metabolisme af te leiden vanuit de gemeten gemiddelde hartfrequentie.

Tabel 10, geeft, met een zeker verlies aan nauwkeurigheid, de relatie van HF - M in functie van de leeftijd en het gewicht van de persoon.

**Tabel 10 - Verhouding Metabolisme (in watt) - Hartfrequentie, voorspeld in functie van de leeftijd en het gewicht van de persoon (vrouwen en mannen)**

Leeftijd (in jaren)	Gewicht				
	50 kg	60 kg	70 kg	80 kg	90 kg
<b>Vrouwen</b>					
20	5.2 HF - 270	6.1 HF - 324	6.8 HF - 378	7.6 HF - 427	8.1 HF - 473
30	5.0 HF - 257	6.0 HF - 311	6.7 HF - 361	7.2 HF - 410	7.9 HF - 457
40	4.9 HF - 244	5.6 HF - 165	6.3 HF - 346	7.0 HF - 392	7.7 HF - 439
50	4.7 HF - 229	5.4 HF - 279	6.1 HF - 328	6.7 HF - 373	7.4 HF - 418
<b>Mannen</b>					
20	6.7 HF - 361	7.6 HF - 428	8.5 HF - 491	9.4 HF - 553	10.1 HF - 610
30	6.5 HF - 355	7.4 HF - 419	8.3 HF - 482	9.2 HF - 542	9.9 HF - 600
40	6.3 HF - 346	7.2 HF - 410	8.1 HF - 472	9.0 HF - 531	9.7 HF - 587
50	6.1 HF - 335	7.2 HF - 400	7.9 HF - 461	8.8 HF - 518	9.5 HF - 574

### 6. Niveau 4, Expertise

De expertisemethodes, die heel moeilijk te gebruiken zijn en waarvoor zeer dure apparatuur nodig is, wordt hier niet beschreven worden. De lezer die hiervoor belangstelling heeft kan de beschrijving vinden in de ISO 8996 Norm.

