

Arbetsinstruktion för plantering med SFI-hacka

Beskrivningen gäller för arbetare som fattar med högra handen närmast hackbladet. Sker fattningen med vänstra handen närmast bladet blir förfaringsättet spegelvänt.



1. Fläckhackning sker med pendlande hackföring, Humusen hyvlas av.



2. Nedhugg för planteringsgrop sker med låg skaffföring. Obs! hackskäftet hela tiden på sidan om benen.

3. Jorden lossas och planteringsgropen vidgas genom att höja skaftändan. — Därefter släppes hackan helt och plantan fattas med höger hand, samtidigt som vänstra foten föres mot hackbladet.

Svenska Skogsvårdsföreningen
Regeringsgatan 18, Stockholm C, i distribution.
Pris 50 öre



4. Planteringsgropen öppnas genom att med handen fattad omkring hackskäftet nära bladet dra detta i riktning uppåt-bakåt.

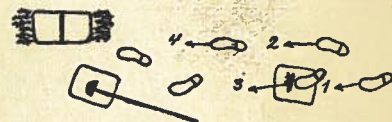


5. Plantan sättes sedan med en snärlig rörelse i bakre delen av den sidokant av gropen, som ligger närmast plantören.



6. Hackan lyftes, jorden skrapas av med foten och trampas till omkring rötterna. Se till att hackbladet icke pressas mot rötterna, som i så fall kunna skadas eller dragas upp.

Förflyttningsschema



1 = planteringssteg

2-4 = förflyttningsssteg

MINNESREGLER

Fattning med

Höger hand närmast
hackbladet

Vänster hand närmast
hackbladet

Vid förflyttning:

Bär hackan i vänster och plant-
lådan i höger hand.

Bär hackan i höger och plant-
lådan i vänster hand.

Vid plantering:

Tag plantan i höger hand och
trampa till jorden med vänster
fot.

Tag plantan i vänster hand och
trampa till jorden med höger
fot.

Bedömningstabell för svårighetsgradering av planteringsarbete med SFI-hacka

I. Anvisningar för tabellens användning

Bedömningen sker med ledning av fyra grundtabeller för svårighetsfaktorerna A. Kviströjning, B. Fläckhackning, C. Plantsättning och D. Frambärning av plantor mm samt sex tabeller med tillägg för speciella arbetssvårigheter. I tabellerna har arbetsdrygheten åsatts ett visst poängtal. De i respektive tabeller erhållna poängtal summeras, varvid summan utgör ett mått på den totala arbetssvårigheten. En poängsumma av 100 motsvarar ungefär en prestation vid ackordsarbete av 1 000 satta plantor per dagsverke. Under punkt III lämnas vissa anvisningar om huru dessa poängtal skola omföras till ackordspris. — Om planteringen utföres utan fläckhackning skall tabell B. Fläckhackning med tilläggstabellerna a och b ej användas.

Före bedömningen bör hygget gås över, varvid nedhugg med planteringshackan göres för att bestämma stenighet mm. Samtidigt bedömes humustäckets beskaffenhet och kvisttäckningen. Antalet planteringshugg taxeras förslagsvis på några representativa slag och på så sätt att hackan hugges ned i marken i förskrivet förband och på de fläckar, där det bedömes lämpligt att sätta en planta. Om man med ett hugg kan få ned hackan till lämpligt planteringsdjup och därefter vidga planteringshållet, registreras en etta. Om två hugg behövas, registreras en tvåa, etc. Det genomsnittliga antalet hugg, som erfordras för de tänkta plantsättningarna får ge uttryck för markens svårighetsgrad i fråga om stenighet och hindrande rötter. Om förhållandena äro så svåra, att man på sex hugg inte lyckas göra en användbar planteringsgrop med den räckvidd man har med hackan utan att förflytta sig, registreras en sexa i protokollet. Starkt steniga och

försumpade områden, där det ej är möjligt att sätta en planta, gås helt förbi. På besvärliga marker, där fylljord måste användas, registreras i hur stort antal plantsättningar detta måste ske.

II. Kommentarer till bedömningstabellen

A. Kviströjning

Sambandet mellan kvisttäckningsprocent och antal grenar, fallande inom en cirkelyta med $\frac{1}{2}$ m radie, är givetvis beroende av förrättningsmannens bedömning. I studiematerialet ha ej ingått några extremt risiga hyggen, varför siffrorna för klassen 7-13 grenar är extrapolerad. I regel brukar bränning ofta företas på hyggen av denna och svårare art.

B. Fläckhackning

Arbetssvårigheten är indelad i fyra klasser. Klass I är avsedd att ange lättaste förhållanden. Inom klassen falla exempelvis hårt brända hyggen, hedar och lätta humusmarker utan gräsinblandning och besvärande markvegetation. Inom klass II förekomma hyggen med gräsinblandning och något besvärande markvegetation. Inom klass III falla t. ex. nedlagda betesmarker och obrända råhumusmarker i Norrland. Klass IV omfattar de allra svåraste markerna t. ex. mycket sega råhumusmarker i Norrlands höjdlägen eller extremt besvärliga gräsmarker.

Svårighetstillägget för ytligt liggande granrötter är osäkert. Några studieresultat ligga icke bakom siffrorna, utan dessa äro bedömda med ledning av praktiska erfarenheter.

C. Plantsättning

Svårighetstilläggen för hård eller klabbig jord grunda sig icke på resultat från studierna utan äro bedömda. Svårighetstillägg för brant och kuperad terräng äro bedömda med ledning av endast ett par ytor.

III. Beräkning av arbetspris

En poängsiffra av 100 motsvarar ungefär en prestation vid ackordsarbete av 1 000 satta plantor per dagsverke. Om man med ledning av bedömningstabellen t. ex. kommer till en poängsumma av 120 och anser, att genomsnittsarbetaren bör tjäna 40 kronor per dag vid ackordsarbete, blir priset per satt planta =

$$\frac{120 \cdot 4000}{100 \cdot 1000} = 4,8 \text{ öre}$$

IV Svårighetsfaktorer.

A. Kviströjning

Kvisttäcknings %	Antal grenar, som falla inom en cirkelyta med 1/2 m radie	Fläckstorlek i dm²					Vid plantering utan fläckhackning
		4	6	9	12	16	
0—5	0—1	—	—	—	—	—	—
6—10	1—3	6	7	9	10	11	4
11—30	3—7	18	21	24	27	30	11
31—50	7—13	31	37	43	49	55	20

B. Fläckhackning (gångtid ingår icke, enär den medräknats i C. Plantsättning)

1. Grundtabell

Fläckstorlek i dm²	4	6	9	12	16
	Poäng				
Klass I = tunn och lucker humus	24	28	34	39	46
Klass II = tunn men seg humus	38	46	55	64	74
Klass III = grästorv eller tjock seg humus	60	73	91	106	125
Klass IV = mycket tjock och seg humus eller grästorv	95	116	148	176	209

a) Tillägg för stenighet mm

Planteringshugg	1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0
Poäng	—	1—3	2—5	4—8	5—10	7—13

Den första siffran i varje kolumn avser 4 dm² och den sista siffran 16 dm² fläckstorlek.

b) Tillägg för ylligt liggande granrötter

Förekomst	Avsevärd	Stor
Poäng	6—12	15—30

Den första siffran avser 4 dm² och den sista siffran 16 dm² fläckstorlek.

C. Plantsättning (gång ingår med poängtalet 26)

1. Grundtabell

Planteringshugg	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	Plantgrovar för vilka fylljord erfordras
	Poäng											
Poäng	79	83	88	92	96	100	105	110	115	120	125	150*—200**

* Fylljord kan påfyllas under planteringslaget. ** Besvärligt att anskaffa fylljord. — Tabellen är beräknad för oomskolade plantor.

a) Tillägg för omskolade plantor

Plantstorlek	2/1 eller små 2/2	Stora 2/2 plantor
Poäng	3—7	10—20

Den första siffran avser låg, den sista siffran hög stenighet.

b) Tillägg vid plantsättning utan föregående fläckhackning

Humus	Tunn och lucker	Tjock och seg
Poäng	3	10

c) Tillägg för jordens beskaffenhet

Jord	Hård eller kläbbig	Mycket hård eller kläbbig
Poäng	10	20

d) Tillägg för terrängsvårigheter

Terräng	Brant och svårframkomlig	Mycket brant och mycket svårframkomlig
Poäng	15	30

D. Frambärning, sortering och vård av plantor i samband med arbetet

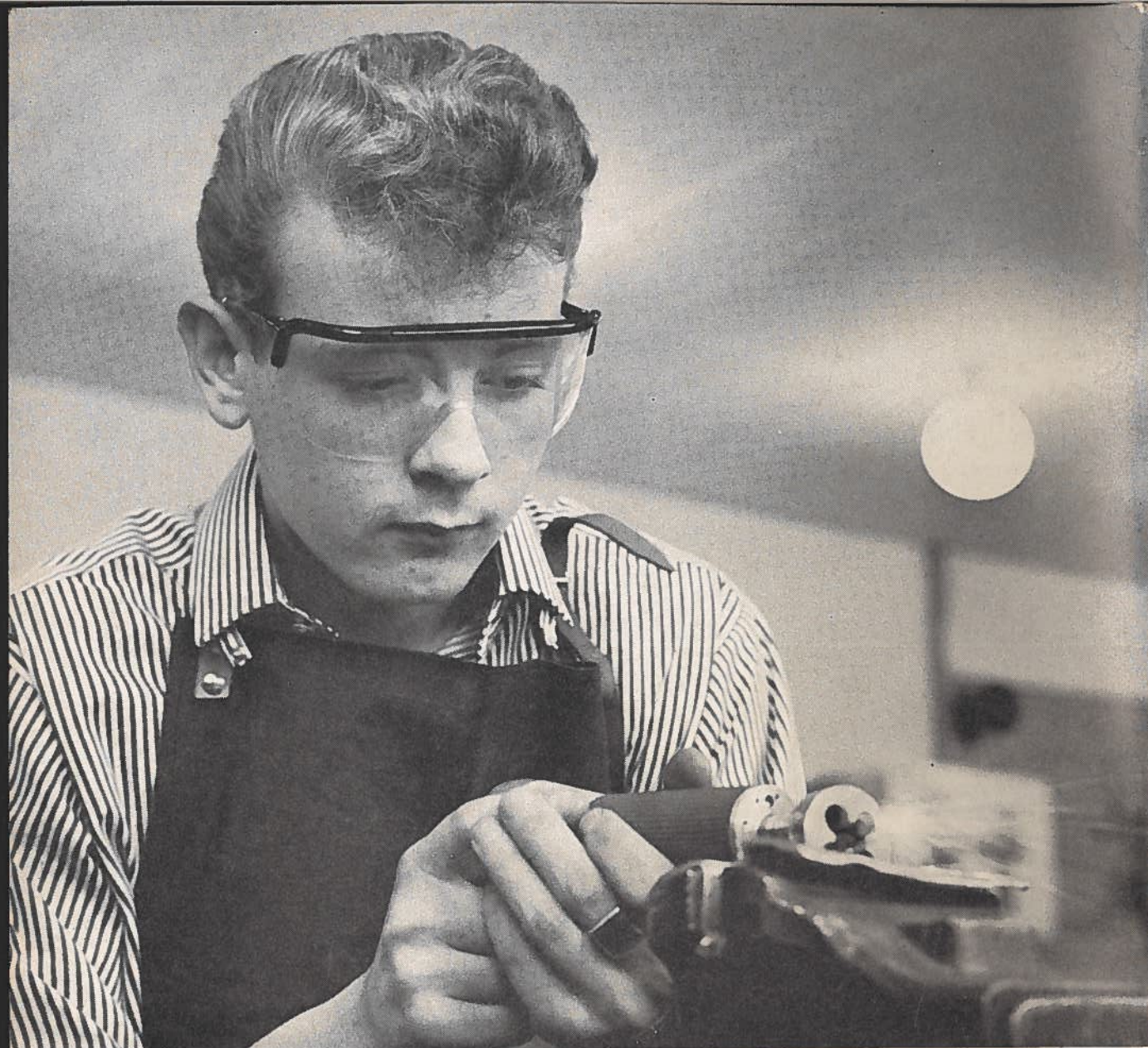
Avstånd till plantupplag	Små plantor	Stora plantor
	Poäng	
0—50 m	10	20
50—100 m	20	35

*

Arbetsvårigheten vid hjälplantering (komplettering) av förnyringar

Vid hjälplantering sker bedömning på samma sätt som vid vanlig plantsättning. På grund av det ökade arbetet för gång och sökande efter tomma plantfläckar göres dock poängtillägg enligt nedanstående tabell. Det förutsättes att planteringen ursprungligen var utförd med fläckhackning.

Antal kompletterade plantor per ha	500	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000
	Svårighetsklass					
1. Mycket lätt att återfinna plantfläckarna	53	24	14	8	4	2
2. Lätt att återfinna plantfläckarna	80	41	24	15	10	7
3. Svårt att återfinna plantfläckarna	124	65	40	27	18	14



SÖ-FÖRLAGET/SKOLOVERSTYRELSEN



SKOLAN-ELEVERNAS ARBETSPLATS

Ergonomi i tillämpning inom grundskolan

SKOLÖVERSTYRELSENS SKRIFTSERIE 83

Skolan –
elevernas arbetsplats

Ergonomi i tillämpning inom grundskolan

SÖ-FÖRLAGET/SKOLÖVERSTYRELSEN

Förord

Denna broschyr handlar om arbetsplatsens anpassning till de arbetandes förutsättningar, närmare bestämt om skolans anpassning till elevernas förutsättningar. Ergonomi i denna betydelse är inte något ämne i grundskolan utan en ledande arbetsprincip, ett samlat uttryck för skolans strävan att genom bl a tekniska åtgärder skapa bästa möjliga arbetssituation för eleverna.

Bildmaterialet visar situationer i skolan, där tillämpningen av ergonomiska principer är av betydelse för elevernas välbefinnande. Det är överstyrelsens förhoppning att broschyren, som riktar sig till skolstyrelser, skolledare och lärare, skall skapa förståelse och väcka intresse för detta viktiga område.

Stockholm i januari 1965
Kungl Skolöverstyrelsen

Bildurval och bildtexter Konsulent Birgit Rydin-Areskoug
Texter Professor Nils Lundgren, sekreterare Eric Klevholm
Foto Bo Dahlin
Teckningar Jan Olofsson
Layout Kerstin Anckers

Svenska Tryckeri Bolagen STB AB, Stockholm 1965

Vad är ergonomi?

Ergonomi är ett samlingsnamn på all verksamhet, som syftar till att anpassa arbete och arbetsmiljö till människans förutsättningar och begränsningar. Termen är ganska ny, hittills företrädesvis använd inom industrin. En annan beteckning som ofta används för denna verksamhet är bioteknologi.

Den kunskap ergonomin stöder sig på härstammar från olika biologiska vetenskapsgrenar, främst arbetsfysiologi, anatomi och rörelselära, arbetsmedicin och arbetshygien samt sinnespsykologi. Modernt arbetsliv innebär inte sällan synnerligen komplicerade arbetssituationer, där en mycket ingående kunskap av denna typ är erforderlig för att maskiner och annan utrustning på bästa sätt skall anpassas till människan. Man får emellertid inte glömma bort, att åtskilliga ergonomiska problem är enkla och ofta kan lösas med hjälp av sunt förnuft.

I industriella sammanhang utgör begreppet ergonomi delvis en syntes av tankegångar hämtade från skyddsteknik, produktionsteknik och företagshälsovård, och det nya ligger närmast just i denna syntes.

Inte heller i skolorna är ergonomin något radikalt nytt, utan det rör sig framförallt om en tillämpning av skolhygieniska synpunkter i vidaste bemärkelse.

Ergonomins syften

De syften man har med ergonomisk verksamhet är i princip desamma oavsett om det rör sig om arbetsplatser i industri eller på kontor, i hem eller i skola. Dessa syften kan sammanfattas under följande huvudpunkter:

1. Ökad säkerhet

En väsentlig strävan när man utformar en arbetsplats är att i möjligaste mån eliminera risker för olycksfall eller av arbetet orsakade sjukdomar. Dessa *skyddsfrågor* är kanske inte lika uppenbara i klassrummet som då det gäller industriella arbetsplatser, men däremot har man all anledning att ägna dem betydande uppmärksamhet i specialsalar och skolverkstäder.

Ute i arbetslivet har skyddsfrågorna sedan länge varit föremål för en omfattande och delvis lagstadgad skyddsteknisk verksamhet utövad av speciella funktionärer med en ofta omfattande utbildning. Den ergonomiska verksamheten i industrin har inneburit, att detta skyddstekniska arbete breddats. Ergonomi tillämpas nämligen inte bara av skyddstekniker och skyddsombud utan dessutom av många andra funktionärer i företagen. På samma sätt kan introduktionen av begreppet ergonomi i skolorna väntas innebära en motsvarande breddning där, t ex genom lärarnas ökade medverkan.

2. Ökad trivsel

Det finns naturligtvis många sysselsättningar, inte minst i skolorna, där några större skaderisker inte förekommer, men där arbetet leder till trötthet och andra obehag. Det kan t ex röra sig om lokala besvär i muskler och rygg till följd av olämplig arbetsställning och ensidigt arbete, sveda i ögonen på grund

av dålig belysning, viss psykisk överbelastning genom olämplig fördelning av arbetsuppgifterna eller ogynnsam pausordning, för att nämna några exempel. Att analysera orsakerna till sådan lokaliserad eller allmän trötthet och motverka den genom att rätt planera och utforma arbete och arbetsplats är viktiga mål för den ergonomiska verksamheten, som härvid sålunda siktar längre än skyddsarbetet i sedvanlig mening.

När det gäller olika yrkesarbeten i industri och skogsbruk m m samt i viss mån även beträffande hemarbetet har man gjort åtskilliga arbetsfysiologiska och andra studier av arbets-trötthetens problem, vilka ger ett objektivt underlag för tillrättaläggande åtgärder. Något motsvarande underlag finns inte i större utsträckning ifråga om skolarbetet. På skolans område finns i detta avseende ett stort fält för fortsatta utredningar.

3. Ökad arbetseffektivitet

Systematisk ergonomisk verksamhet räknas numera i industrin som ett viktigt produktionstekniskt hjälpmedel och kan självfallet på samma sätt i skolarbetet väntas verksamt bidra till ett effektivt arbete.

4. Ergonomi och de handikappade

För vissa människor har ergonomi en speciell betydelse på så sätt, att den förbättrar möjligheterna att för dem finna lämpliga arbeten. I industrin gäller detta t ex många äldre och personer som på grund av sjukdom eller andra orsaker har nedsatt arbetsförmåga. Motsvarande grupper i skolan utgör självfallet de handikappade barnen.

Vilka sysslar med ergonomi?

I det moderna arbetslivet är det många funktionärer, som samverkar i det ergonomiska arbetet. Hit hör t ex arkitekter, maskin- och verktygskonstruktörer, inköpare av maskiner, arbetsmöbler och annan utrustning, arbetsstudietekniker, drifts-

ingenjörer, arbetsledare, skyddsingenjörer och skyddsombud samt personaltjänstemän. I många företag finns dessutom numera speciell personal som företagsläkare, leg sjukgymnaster, gymnastikdirektörer och sjuksköterskor, för vilka det är en väsentlig uppgift att medverka i det ergonomiska arbetet.

Det är av utomordentlig betydelse för skolarbetet, att ergonomiska synpunkter anläggs vid utformningen av skolans arbetsplatser. Kunskaper om ergonomi är därför viktiga för t ex arkitekter, möbelkonstruktörer och inköpare, för skolledare och lärare, skolläkare och skolsköterskor. Genom samverkan mellan skolans olika befattningshavare kan man skapa en god arbetsmiljö för eleverna och på så sätt öka trivseln och förbättra arbetsresultatet.

Några ergonomiska problem i skolan

Arbetsställningar och rörelsemönster

Skolarbetet har vissa av de ergonomiska huvudproblemen gemensamma med många moderna yrkesarbeten, nämligen den *sittande arbetsställningen* och det ofta ganska *ensidiga rörelsemönstret*. Härtill kommer, att man i skolarbetet ofta måste utföra ovana precisionsrörelser, något som ytterligare kan accentuera belastningsproblemen för musklerna. Som bekant arbetar man mera spänt innan man lärt sig ett rörelseförlopp.

Dåliga arbetsställningar samt ensidiga och spända arbetsrörelser är viktiga orsaker till yrkesskador i form av belastningsjukdomar samt trötthet och försämrad arbetseffektivitet. Visserligen är helt säkert unga människor i genomsnitt mindre känsliga än äldre för dessa former av trötthet och smärtor, men samtidigt får man inte glömma, att riskerna för bestående hållningsförändringar till följd av sneda ställningar och ensidigt arbete vanligen är störst under uppväxttiden. Ett detaljerat tillrättaläggande av arbetsställningar och rörelser är därför starkt befogat även i skolarbetet. Hit hör självfallet, att stolar, bord och arbetsbänkar m m skall svara mot barnens kropps mått. Det skall finnas tillräckligt utrymme för knäna, och man skall kunna sitta med hela fotsulan i golvet.

Av stor betydelse då det gäller arbetsställning och rörelsemönster är att det finns tillräckliga möjligheter till omväxling. Även den mest idealiskt utformade arbetsställning kan i längden bli olidlig, om den tvångsmässigt måste intagas under längre tid. Som exempel kan nämnas, att man bör undvika anatomiskt utformade stolsitsar. Den bästa stolsitsen är vanligen

plan och horisontell samt även i övrigt sådan, att den gör det möjligt att variera sittställningen.

Frågan om lämpliga ställningar och rörelser berör även utformningen av de maskiner och verktyg, som används i skolarbetet. Här gäller samma regler, som numera tillämpas i arbetslivet, och som skall exemplifieras i fortsättningen.

Tungt arbete

Särskilt lärare i övnings- och yrkesämnen måste självfallet ha tillräcklig kunskap om hur den fysiska arbetskapaciteten varierar med elevernas ålder och mellan pojkar och flickor. Av särskild betydelse är att tillämpa alla de ryggskonande åtgärder i form av lämplig lyftteknik m m samt "ryggvänlig" utformning av arbetsplatsen, som numera ägnas stor uppmärksamhet i industri och andra näringsgrenar.

Lokalerna

Angående lärosalarnas storlek finns speciella anvisningar.

Beträffande utrymmesfrågorna i övrigt skall bl a påpekas, att alltför låg takhöjd gör det omöjligt att i en större lokal ordna med en bländfri takbelysning.

Arbetsplatsens klimat

Som bekant kan man från komfortsynpunkt fastställa vissa gränsvärden för lufttemperatur, luftfuktighet och luftrörelse. Dessa värden varierar för den enskilde bl a med graden av fysisk aktivitet och med klädseln. Som några exempel på toleransgränser kan nämnas, att man ifråga om luftfuktigheten anser 40—60 % relativ fuktighet vara lämpligast, och att under alla förhållanden värden under 30 och över 70 % bör undvikas.

På samma sätt gäller om lufthastigheten, att vid sittande arbete i 20° temperatur värden över 0,2 m/sek brukar uppfattas som obehagligt drag.

Bland förhållanden som måste beaktas i dessa sammanhang kan vidare nämnas, att vistelse nära kalla ytor kan ge upphov till känsla av drag, s k strålningsdrag. Det rör sig här inte om ett verkligt drag, utan obehagen beror på att kroppens värmeförluster genom utstrålning av värme blir särskilt stora från de hudpartier, som är riktade mot de kallare ytorna. Detta betyder mycket för elever, som råkar få sin arbetsplats för nära fönster eller kalla ytterväggar.

Man bör också uppmärksamma att det finns vissa regler för vilken temperaturskillnad för luften i fot- och huvudhöjd, som kan tolereras, liksom också för motsvarande skillnader mellan luft- och väggtemperatur.

Andra miljöfaktorer

Bullret spelar stor roll i industrin och över huvud taget i samhället, dels som störande moment, dels därför att buller över en viss styrka i längden kan leda till s k bullerdövhet, dvs obotlig hörselskada. Det finns tämligen klara anvisningar både om var skadlighetsgränsen i fråga om bullerstyrka går och om hur buller och bullerskador skall förebyggas. Självfallet bör dessa anvisningar där så är aktuellt tillämpas även i skolorna. Det samma gäller ergonomiska data rörande syn- och belysningsfrågor, färgsättning m m. Belysningsfrågorna bör ägnas särskild omsorg i klasser med synskadade elever. För akustiska specialanordningar och teknisk apparatur i hörselklasser eller klasser med enstaka hörselskadad elev bör särskild expertis anlitas.

Avslutningsvis kan konstateras, att rationella ergonomiska åtgärder spelar sin roll med hänsyn till den omedelbara säkerhe-

ten, komforten och arbetseffektiviteten både för lärare och elever. Även från pedagogisk synpunkt är det av betydelse att eleverna får kontakt med de ergonomiska frågor, som de på olika sätt kommer att möta på sina arbetsplatser senare i livet.

Skolmöbler

En god anpassning till elevens kroppsmått bör eftersträvas

Stolsitsens höjd

Anpassning till underbenets längd bör uppmärksammas. Det är angeläget att konstruktionsdetaljer under sitsen ej hindrar benrörelser.

Sitsen är högre än knäveckshöjden

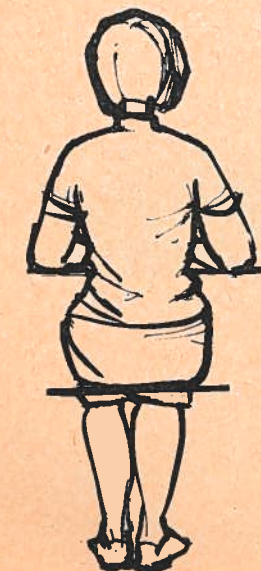
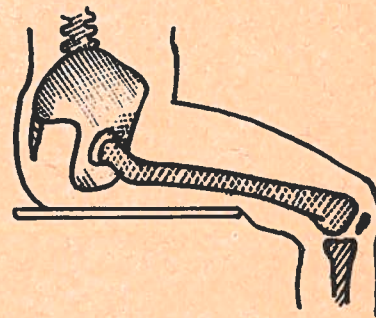
Denna sitshöjd är mest olämplig. Lårets baksida pressas samman. Sitter man länge irriterar sitsens tryck. Man blir fortare trött.

Sitsen är 1 cm lägre än knäveckshöjden

Denna sitshöjd är bäst. Vid 90° vinkel i knäleden blir låret obetydligt lyft från sitsen. Växleställningar med benen kan intagas.

Bordsskivans höjd

Bordet bör inte vara högre än att underarmarna och armbågarna glider naturligt över skivan, när man intar vanlig skrivställning.



Man skall inte behöva trycka upp axlarna vid sittande arbetsställning. Vanligtvis får man en god skrivställning när båda underarmarna vilar på bordsskivan och avståndet mellan armbåge och kroppside är omkring 1 dm, allt med jämnhöga, i naturligt viloläge stående skulderblad.

Förvaringsutrymme

I sittande arbetsställning är det av betydelse att växleställningar med benen kan intagas. Såväl stolens som bordets konstruktion bör medge maximal rörelsefrihet. Om tillräcklig plats för benrörelser skall erhållas, blir ett utrymme av högst 5 cm:s höjd under bordsskivan disponibelt för en förvaringsanordning.

Ställbara skolmöbler

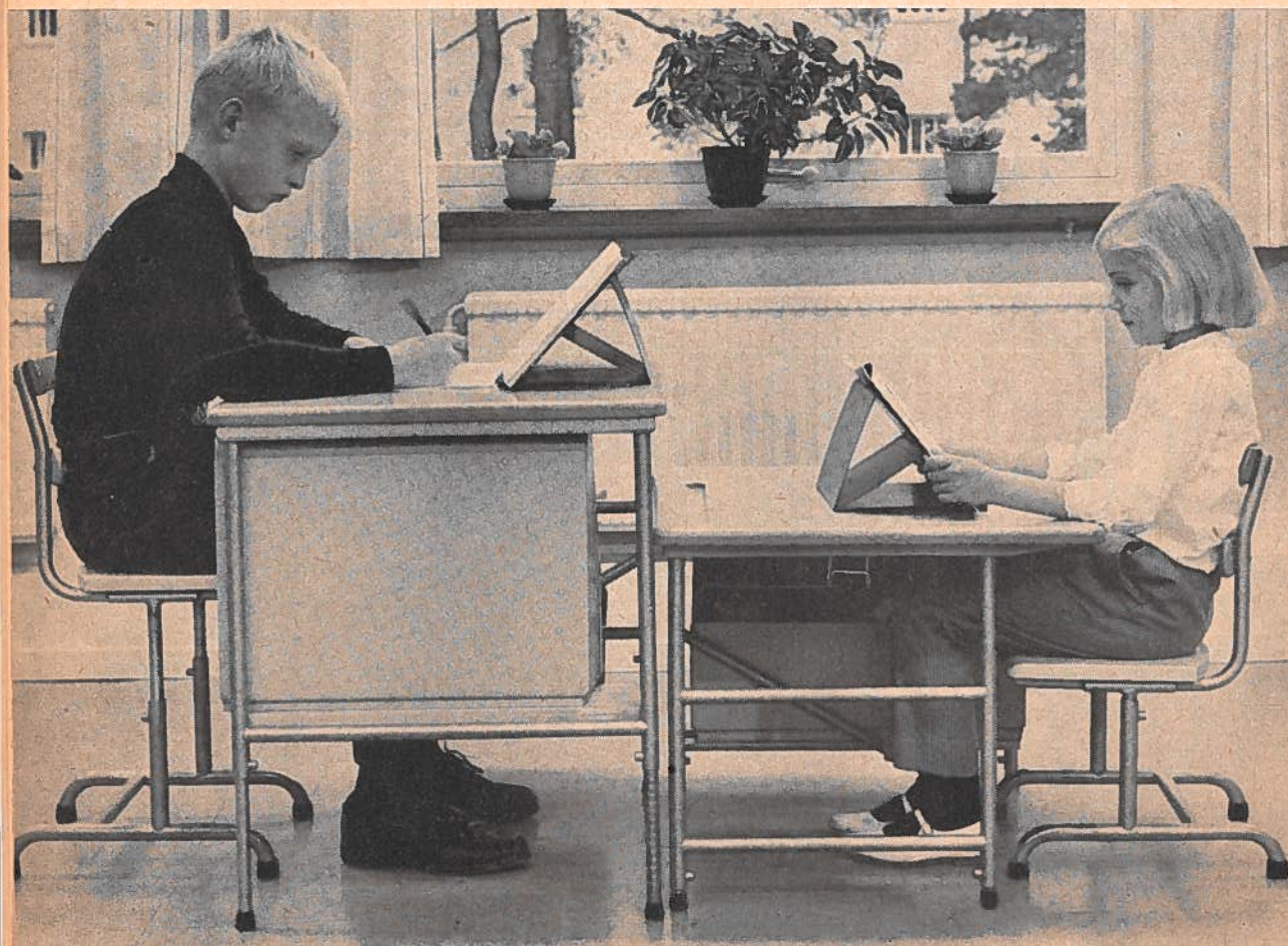
Den bästa anpassningen för individuellt behov erhålls endast med skolmöbler, som har anordning för inställning av stolsits och bordsskiva i olika höjdlägen. Av ställbara skolmöbler bör man fordra, att den ställbara anordningen är stabil och fullt tillförlitlig från säkerhetssynpunkt.

Standardmått

Standardmått för skolmöbler har publicerats i Skolöverstyrelsens skriftserie nr 20, Skolbyggnader.

Sittande arbetsställning

Så här stor skillnad kan det vara på kroppslängden när barnen börjar skolan. Båda går i samma klass. Med höj- och sänkbara stolar och bord kan dock alla få en väl avpassad arbetsplats.



12

Stolens ryggstöd är väl utformat efter ryggens naturliga form.

Elevernas böcker och pennor förvaras i en låda på ena sidan om sittplatsen. Lådan är lätt att drö fram. Här används också ett enkelt bokstöd.

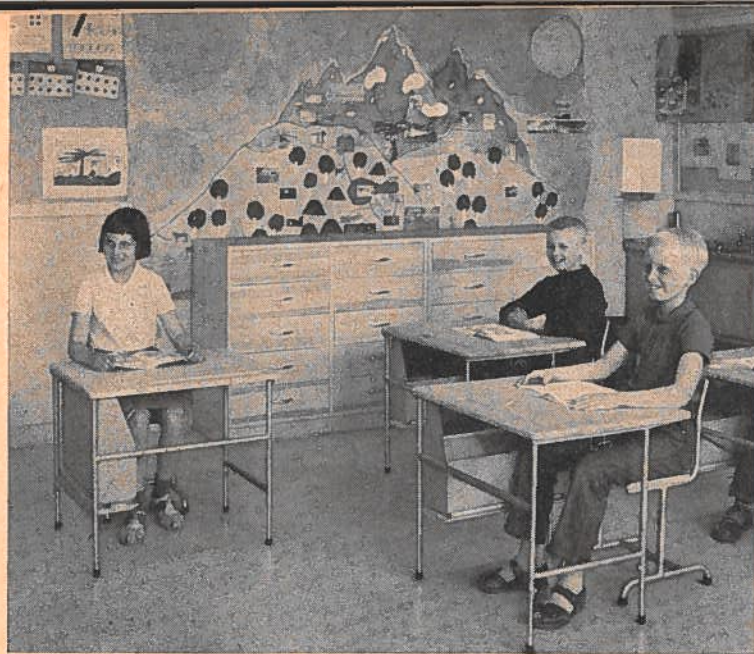


Tripp-Trapp-Trull

— vi sitter bra i alla fall

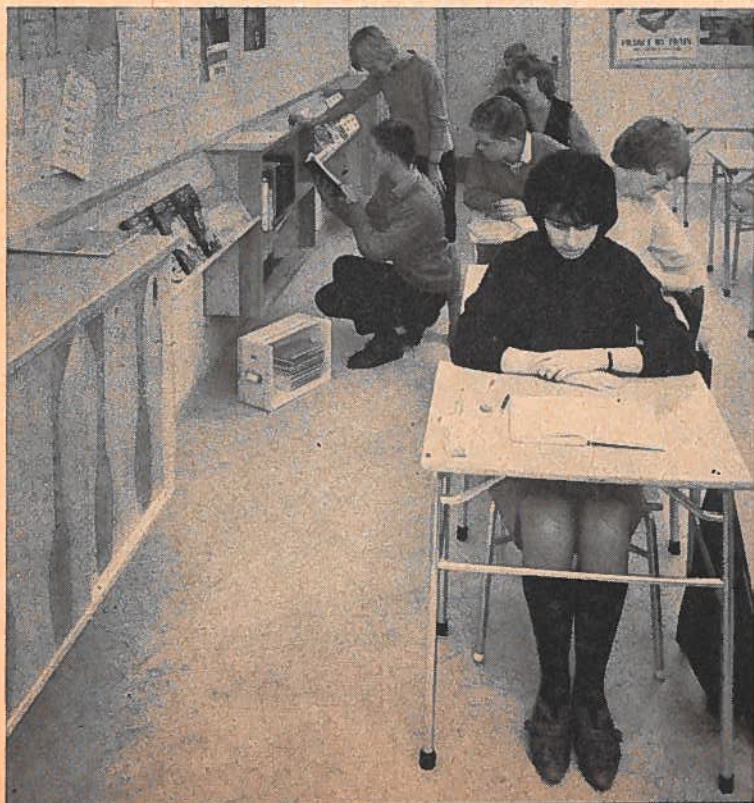
Var och en har lagom höjd på sin stol. Båda underarmarna stöder på bordet och pennan vilar avspänt i handen. Det är roligt att skriva, för man blir inte trött, därför att det finns möjlighet att röra på sig och ändå bibehålla en god arbetsställning.

13



Undervisningen kräver ofta omplacering av eleverna. Det går lätt att flytta sitt eget arbetsbord och sin egen stol. I förvaringsmöbelen vid den ena väggen har var och en sin låda med sitt namn på. Dessutom finns en vertikalställd låda, som tillhör elevens bord. Den används som avlastningsutrymme.

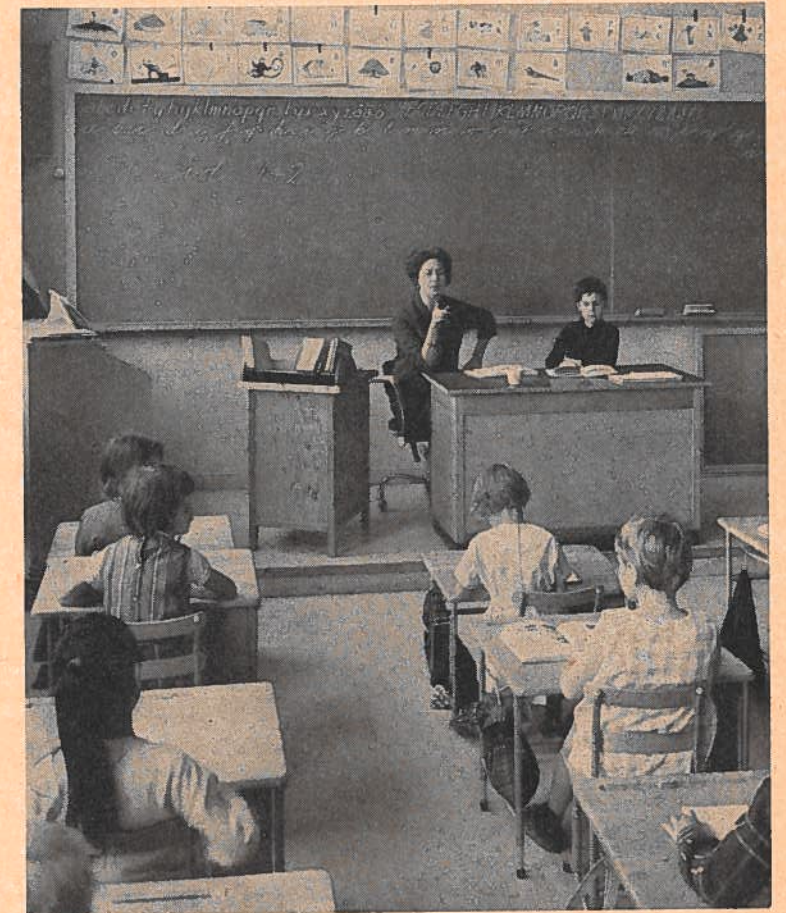
Alla stolar och bord skall ha glidknappar eller doppskor, så att det går att flytta dem ljudlöst.

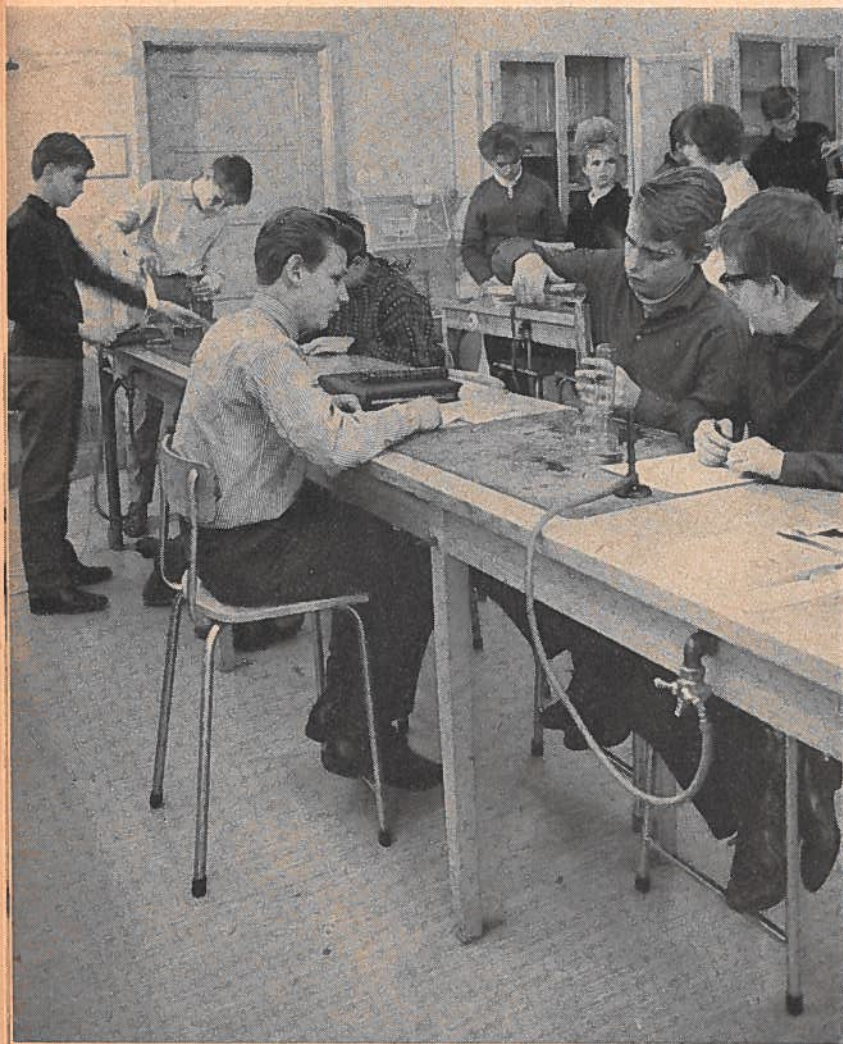


Eleverna på högstadiet behöver en relativt stor bordsyta, så att båda underarmarna kan vila på bordet. De skall ha plats för sina långa ben. Därför är pulpetlådan borttagen. Sina saker förvarar de i skåp i centralkaprum.

Stolen har två ryggbriklar. Den undre stöder i korsryggen, den svagaste delen av ryggen, när stolen dras in ordentligt under bordet t ex vid skrivning. När man lyssnar eller skall se på svarta tavlan, lutar man sig mot båda ryggbriklorna.

Lärarens arbetsbord skall vara rymligt. En hutch är placerad vid sidan. Stolen skall ha ryggstöd och armstöd. Observera att den skall kunna skjutas in under bordet trots armstöden. Den bör vara höj- och sänkbar samt vridbar.





En del specialsalar, exempelvis för kemi, biologi och fysik, har arbetsbord i sådan höjd, att eleverna skall kunna stå eller sitta vid dem.

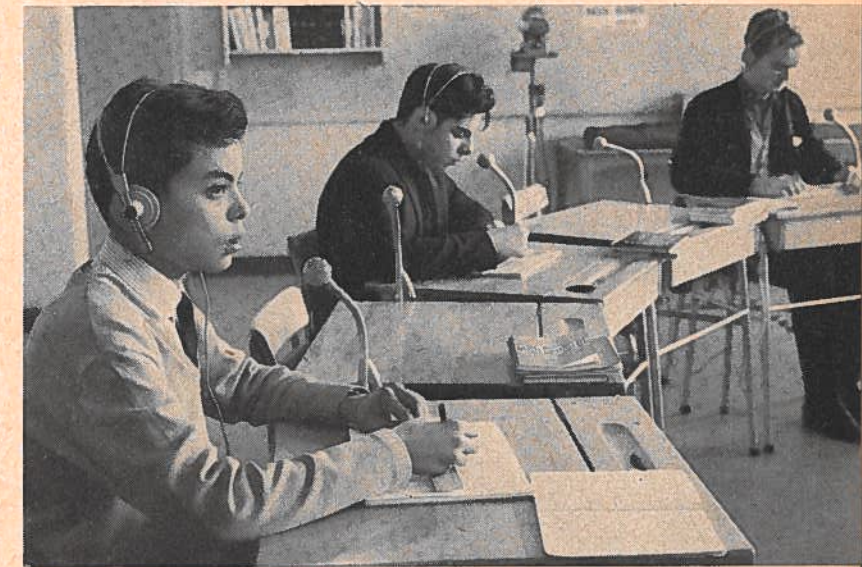
Det kan ibland vara svårt att inta en hygglig sittande arbetsställning vid ett sådant bord.

Arbetsstolen skall vara utförd så, att den har en stadig understödsyta på fyra ben. Ryggbrickan skall stödja i korsryggen och sitsen bör vara relativt rymlig. Stödet för fötterna bör vara placerat så, att fötterna verkligen kan stödja samtidigt som knäna får rum under bordsytan, när stolen dras nära bordet.

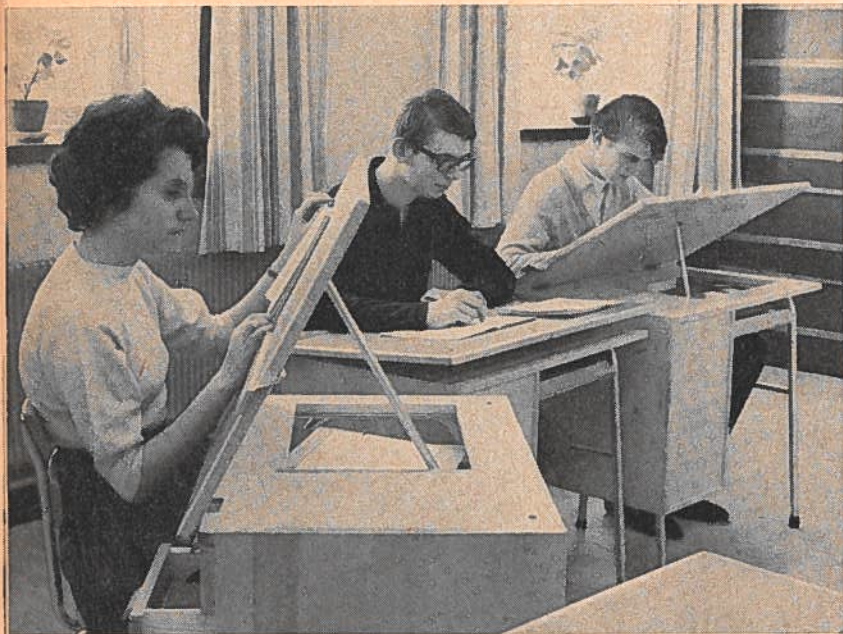
Ofta får eleven precisionsarbete att utföra och måste då kunna sitta absolut stilla. Armarna skall kunna vila på bordet. Arbetet skall vara på lagom avstånd från ögonen. Då blir det både lättare och roligare att utföra det.

Hörselklass

Det är av största betydelse att den elev, som är hörselskadad, har sin skolbänk så placerad, att han kan se ansiktena på både lärare och kamrater. Mikrofonen bör placeras på lämpligt talavstånd.



Placera gärna om eleverna i klassrummet, så att de får större möjligheter att ändra arbetsställning. A och O i sittandets konst är att skifta mellan olika ställningar.



Synklass

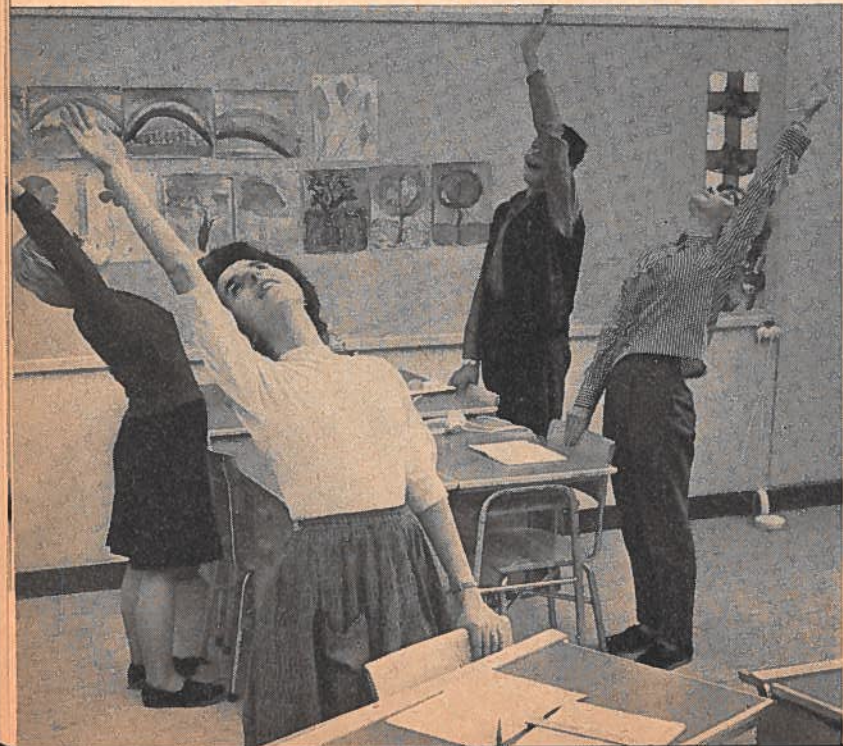
Synskadade elever har numera arbetsbord med glidlinjal. Skivan går att fälla upp så mycket, som behövs för att de skall kunna se t ex i en textbok. De kan sitta upprikt, i en avspänd ställning och behöver inte krumma ihop ryggen över en horisontal bordsyta.

Belysningen är stark och anpassad så, att den ger minsta möjliga skuggor. En enstaka synskadad elev i vanlig klass bör förse med egen reglerbar läslampa med skärm.

Specialkonstruerade skriv- och räkneböcker och mycket mjuka blyertspennor motverkar elevens tendens att arbeta med spända muskler.

Att åtminstone någon gång om dagen få tillfälle att räta på ryggen och helst böja sig något bakåt känns skönt och är stimulerande.

Synskadade elever blir ibland mycket stela i axlarna.

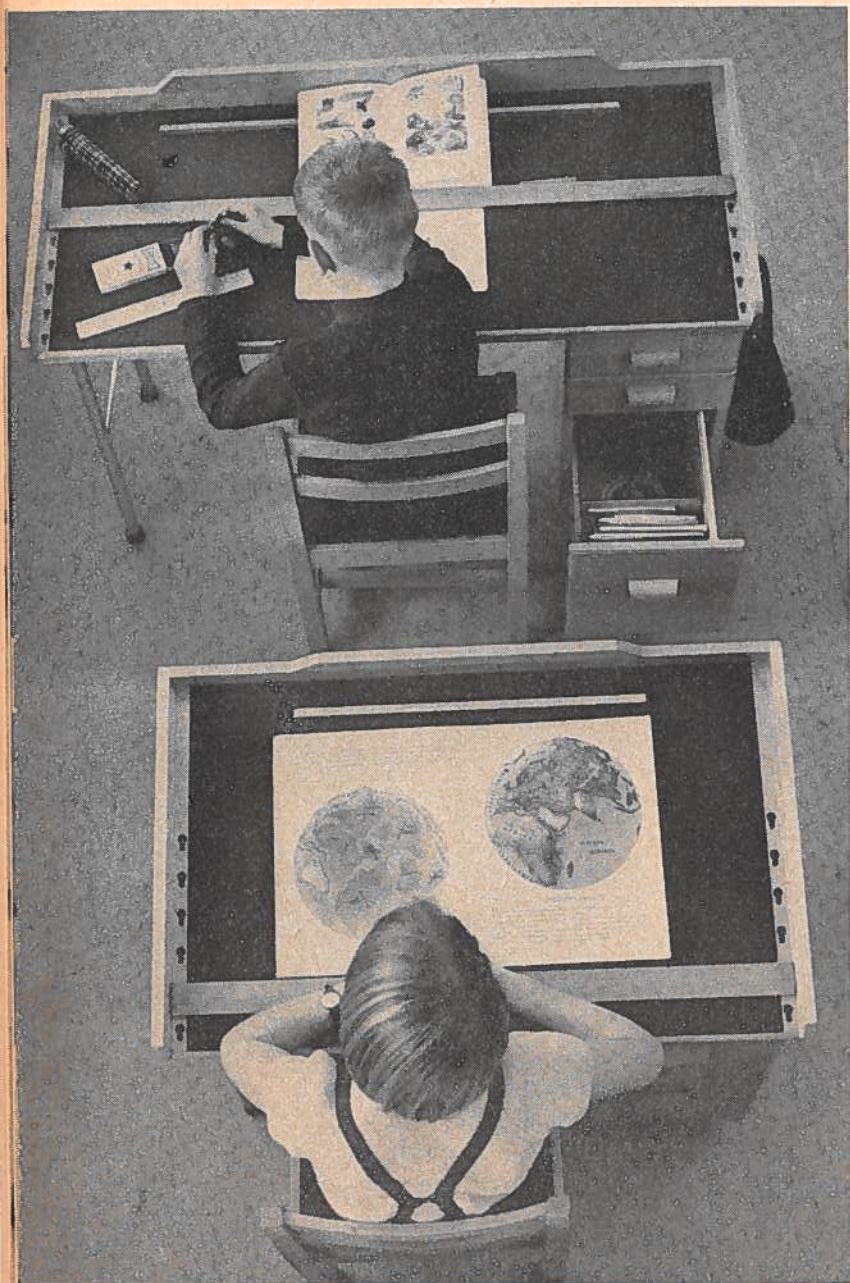


Rörelsehindrade elever

Om bordsskivan går att fälla upp kan eleven placera arbetsmaterialet på lagom avstånd från ögonen. Han kan bibehålla en god arbetsställning och lättare följa med i undervisningen, eftersom han inte så fort blir trött.

Genom att uppmärksamma sådana saker underlättar läraren arbetet också för sig själv.





20

Rörelsehindre elever har bord och stolar i passande storlek vilka är höj- och sänkbara.

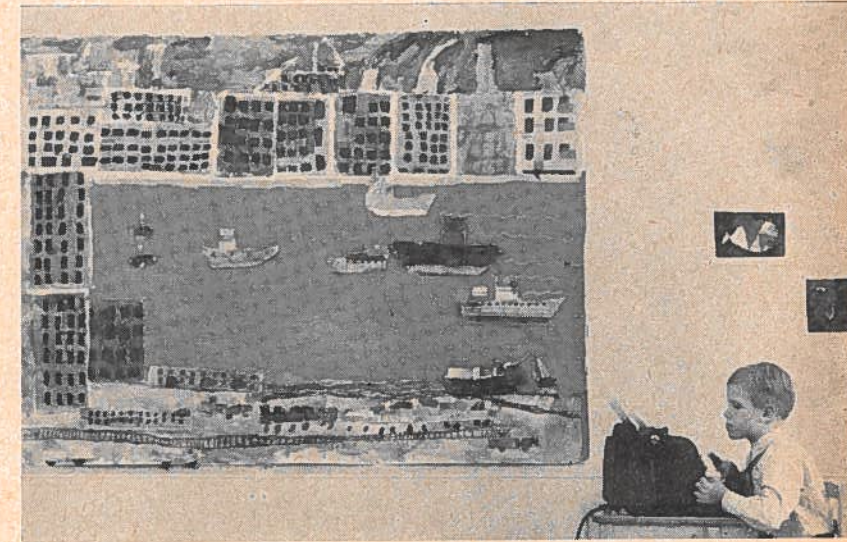
Bordsytan är rymlig och glidfri. Det är kanter på tre sidor av bordet och en stopp-linjal tvärs över arbetsytan. Saker och ting får inte glida ner i golvet. Barnen har ju svårt att själva plocka upp vad de tappat.

Alla lådor i bordet är placerade vid sidan om eleven. Det ger denne fritt spelrum att ändra ställning. Lådan går lätt att dra ut och är överskådlig. Böckerna kan ställas eller läggas.

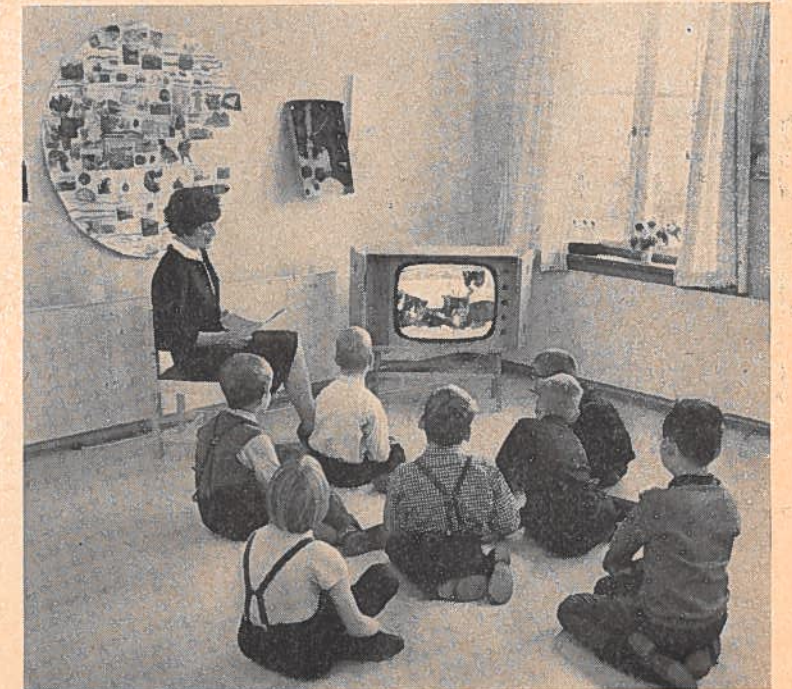
Stolsytan är glidfri, så att eleven lättare håller sig kvar på hela stolsitsen. Det finns stöd i korsryggen, ett stöd något högre upp och dessutom möjlighet att sätta fast sidstöd på stolen, ifall det skulle behövas.

Eleven överst på bilden har ett bredare bord, eftersom han är vänsterhänt.

Handens rörelser är svåra att styra, men med hjälp av elektrisk skrivmaskin kan det ändå bli möjligt att forma tankar i skrivna ord.



Låt eleverna ibland flytta ut från sina skolbänkar. Sätt dem gärna på golvet. Låt dem sitta som de vill och sitta lågt. Tids nog hinner vi sitta på stolar. Bilden visar rörelsehindre barn.



21



22

Instrumentalmusik

En fiolspelare intar en mycket extrem arbetsställning.

En felaktig ställning medför spänningar och inverkar på spelförmågan. En god teknik i hanterandet av fiol och stråke är därför en grundförutsättning.

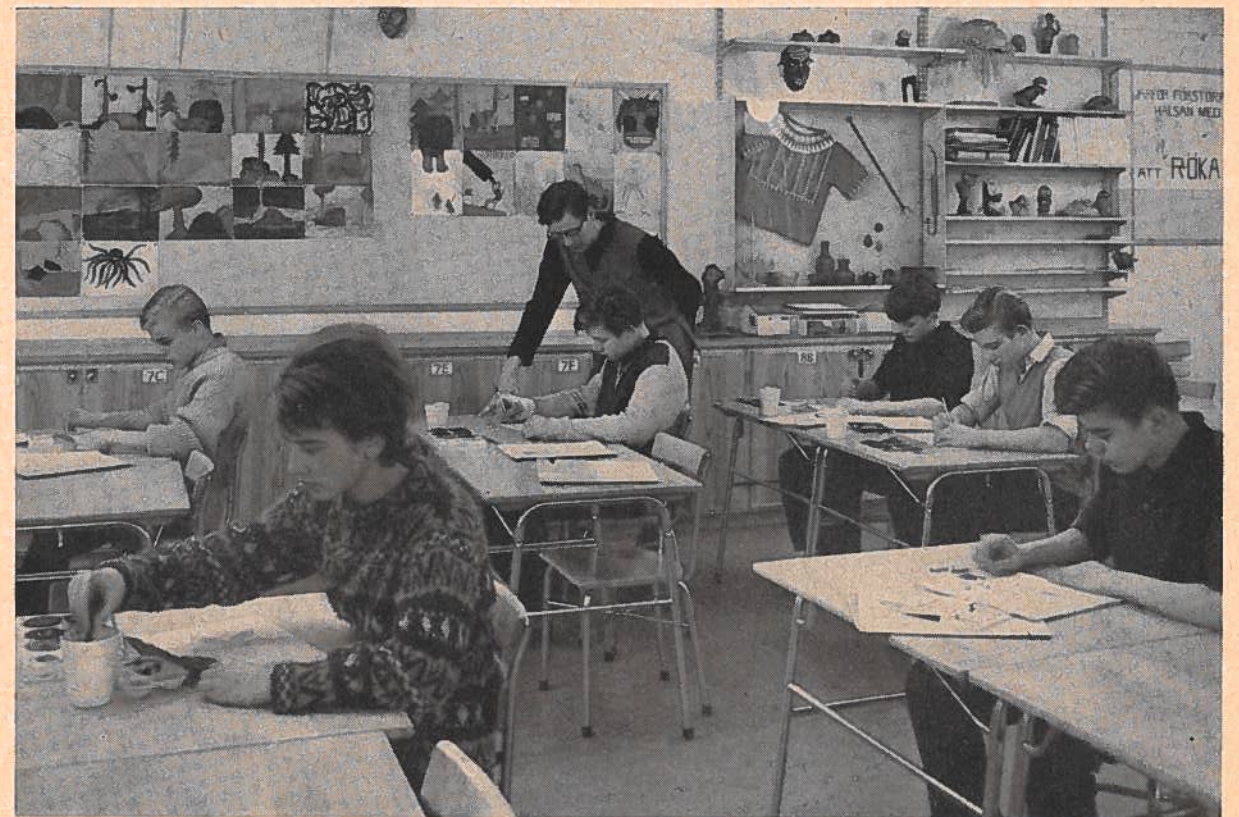
Antingen man står eller sitter när man spelar flöjt, fordras det koncentration och fingerfärdighet. Axlarna hålls sänkta och armarna något ut ifrån kroppen.



23



24



Teckning

Att arbeta med olika material och att arbeta tillsammans i grupp innebär en rörlig sysselsättning. Det krävs dock, att man sitter bra, dvs på en stol, som är lagom hög. Utrymme skall finnas för båda armarna på bordet, trots mängder av färger, penslar, papper, gips, tyg, ståltråd m m. God ljudisolerings underlättar såväl lärarens som elevernas arbete.

25



En högre arbetsbänk kräver högre arbetsstol med pinne för fötterna och ryggbrička på rätt ställe.

Det är tungt men spännande att dreja. Man arbetar med både händer och fötter och måste vara följsam i hela kroppen. Med stolen placerad i riktig höjd i förhållande till drejskivan kan man arbeta med kraft och precision utan att förlora jämvikten och sin goda hållning.





28

Slöjd

Arbetsbordet för sömnad skall ha en rymlig yta. Det skall vara försett med lådor eller skåp vid sidan om sittplatsen.

Det är bra att ha en enkel höj- och sänkbar stol att sitta på vid bordet. Tunga tyger och stora plagg läggs på bordet, ej i knät, vid handsöm.

Ofta behövs en pall eller fotstöd. Man måste ha stöd för fötterna och kunna ändra ställning då och då.

Arbetsställningen vid maskinsömnad blir bäst, om man använder en stol utan ryggstöd. Stolens höjd skall rättas efter elevens storlek.

Underarmarna skall vila lätt på maskinbordet. Axlarna får inte vara uppskjutna. Kroppen följer med i rörelsen framåt och bakåt. Viktigt är att nå ner med fötterna till fotreglaget.



29



30

Träslöjd ger möjlighet till variation av arbetsställningen. Eleven står stadigt med ena foten framför den andra, knäna är lätt böjda.

Handfattningen om hyveln är riktig och stadig.

Hemkunskap

Att lära sig den bästa arbetstekniken och inta den mest kraftbesparande arbetsställningen underlättar hushållsarbetet.



31



Sitt alltid, när det går att sitta i hushållsarbetet. Använd gärna en stol med ryggstöd.



När man placerar saker på en bricka, en plåt e d, sätts de tyngsta närmast kroppen.

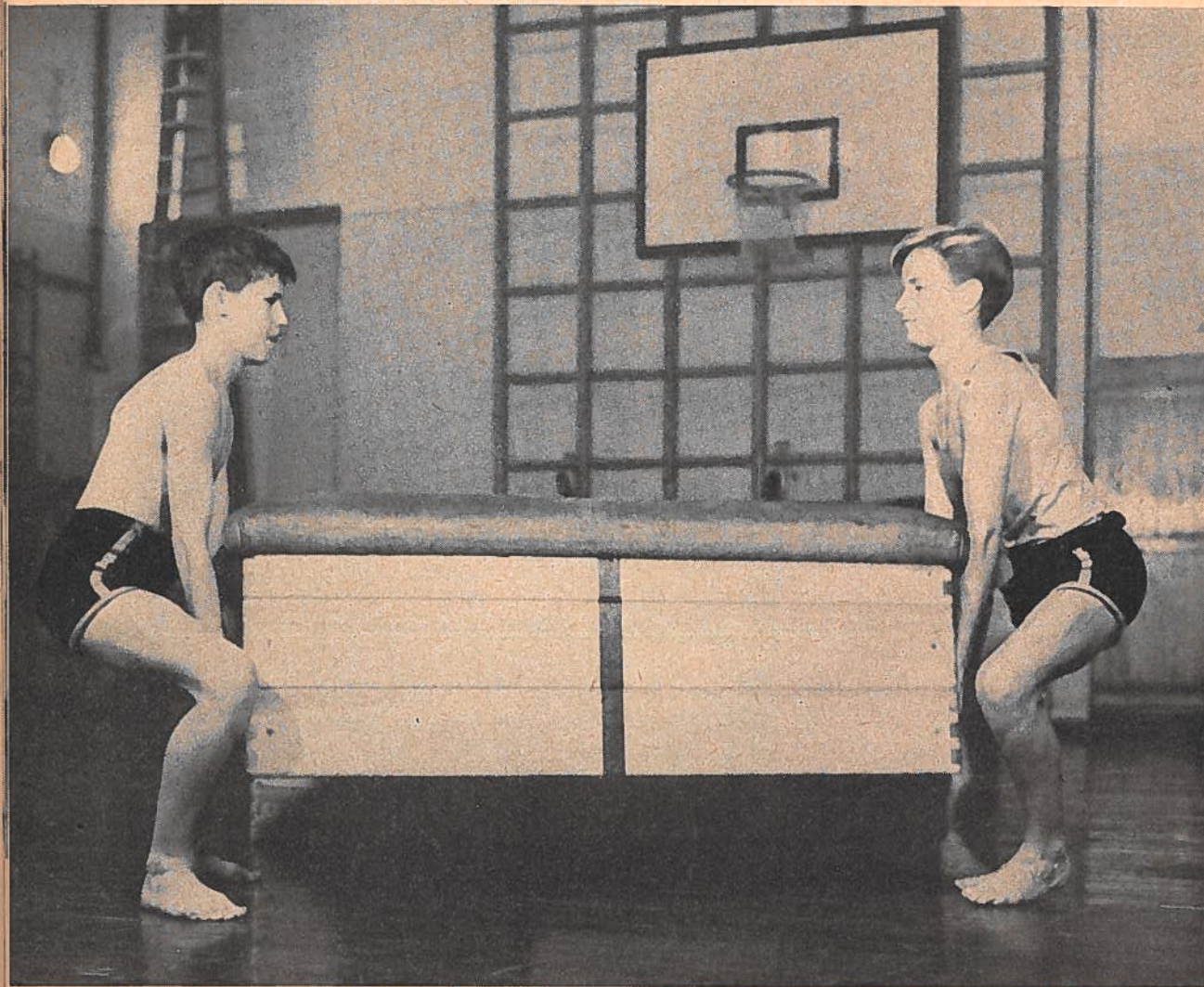
Brickan bärs i ett stadigt grepp med händerna om kanterna. Armarna är lätt böjda, kroppshållningen upprätt.

Trätofflor är lämpliga arbets skor i hushållsarbetet.

Strykbrädan skall vara i sådan höjd, att man kan stå rak när man stryker. Det underlättar arbetet.

Ett termostatstrykjärn, som kan ställas på kant, är lätt att stryka med. Det behöver ej lyftas i onödan, och man behöver inte heller trycka med stor kraft.

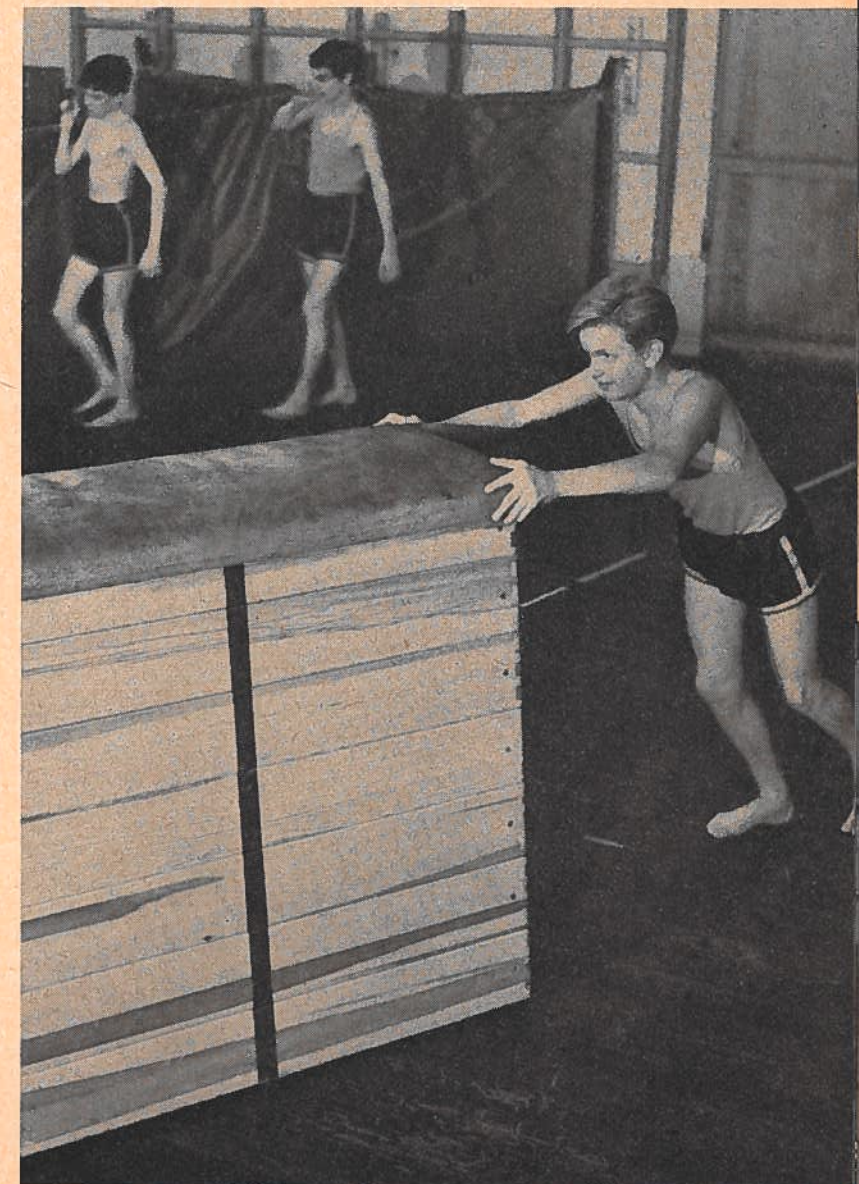




Gymnastik

I gymnastik ges många tillfällen till övning i att skjuta och dra, lyfta och bära på rätt sätt.

Men att lära eleverna en god arbetsteknik är hela skolans angelägenhet: Se praktisk tillämpning på nästa bild.





I en skolverkstad

En kallsåg skall ställas på rätt plats i skolverkstaden.

Ta spjörn med ena foten framför den andra.

Böj armar och knän något och ta ett fast grepp med båda händerna. Tryck med hela kroppstyngden mot sågen och gå sakta med stadiga steg framåt. Ingen muskelsträckning med den tekniken!

Två dunkar, hinkar e d skall lyftas. Det är viktigt, att man placeerar sig själv rätt i förhållande till föremålen.

Så här gör man när man lyfter och bär:

Stå på stadiga ben mitt emellan dunkarna.

Böj knäna och ta ett stadigt tag i handtagen.

Lyft båda dunkarna samtidigt och sträck både ben och rygg.

Stå stilla och inta jämvikt.

Gå därefter framåt och håll ryggen rak, när dunkarna bärs.

Det fordras starka armar, vältränad rygg, bra fötter och en riktig teknik för att kunna lyfta och bära utan ansträngning.





I varje skolverkstad bör det finnas höj- och sänkbara arbetsstolar på fyra ben.

Det är bra, om eleverna har trätofflor och skyddsöverdrag.

Ibland *står* eleven och filar för att få kraft om arbetet är tungt.

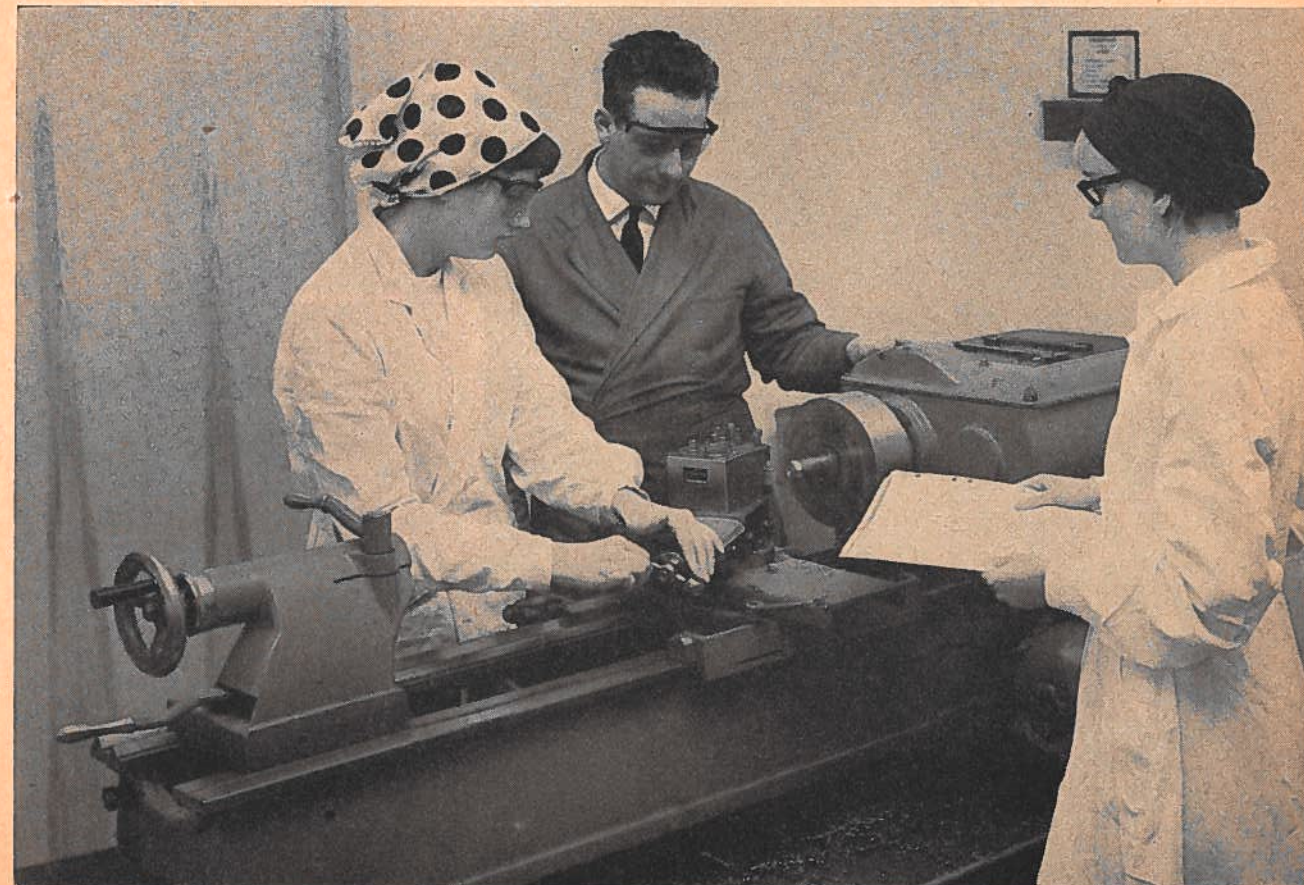
I regel bör dock eleven *sitta* och arbeta, om det är fråga om lättare arbete såsom finputsning eller precisionsarbete.

Arbetet kan nu utföras i normal arbetshöjd.

Att stå och arbeta vid en svarv kan vara tröttsamt. Man blir inte så fort trött om man står något bredbent och har bra arbetskor.

Eleven når allt som behövs för att kunna sköta svarven.

Klädedräkten får inte hindra arbetet eller utgöra risk för olyckor i arbetet.

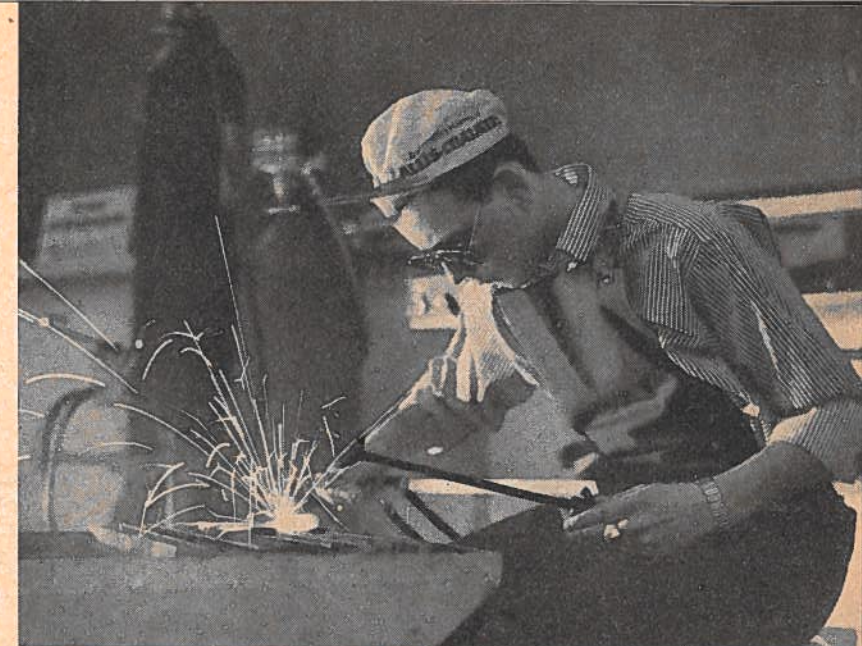




Ett arbete skall utföras ovan axelhöjd, t ex när en ledningstråd skall kapas och handverktyg behöver användas.

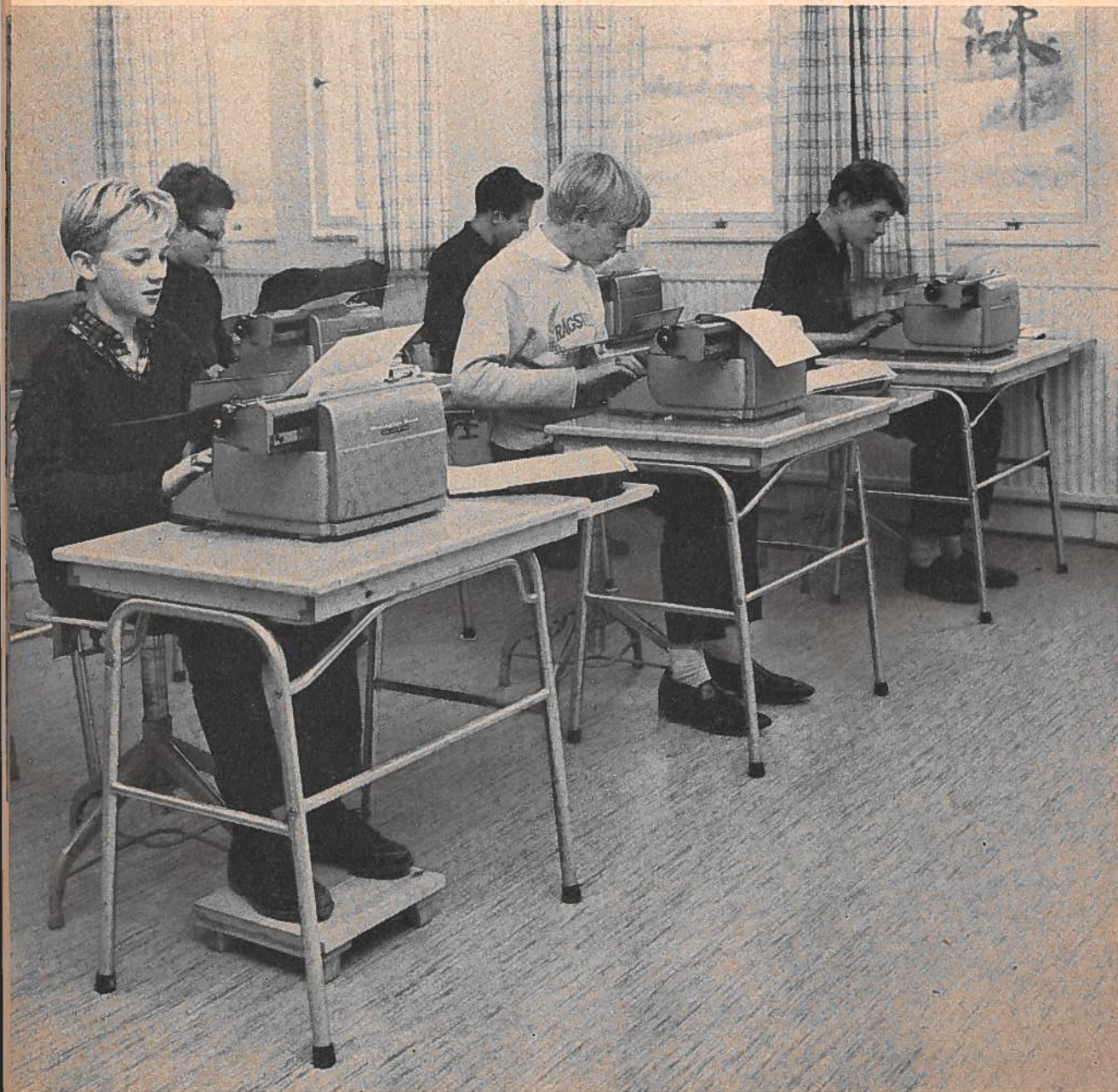
Man bör aldrig stå på golvet och arbeta med händerna ovanför axelhöjd, även om man räcker dit utan stege. Den stege som används skall vara stabil, så att den ger säkerhetskänsla.

Vid svetsning används extra skyddsglasögon. Ibland måste man böja sig något över arbetet, även om man i regel står eller sitter rätt rak i ryggen. Det starka ljuset och gnistbildningen fordrar dubbla skyddsglas.



När bormaskinens arbetsbord inställs i lämplig höjd för eleven blir arbetsställningen bra. Handgreppet om spaken ändras men inte kroppens upprätta ställning.





Maskinskrivning

Vad är viktigast när man lär sig skriva maskin:

Att ha en skrivmaskin, där tangenterna går lätt att slå ner.

Att från början lära sig en riktig arbetsställning.

Att öva upp fingerfärdigheten dvs rörligheten och styrkan i fingrarna.

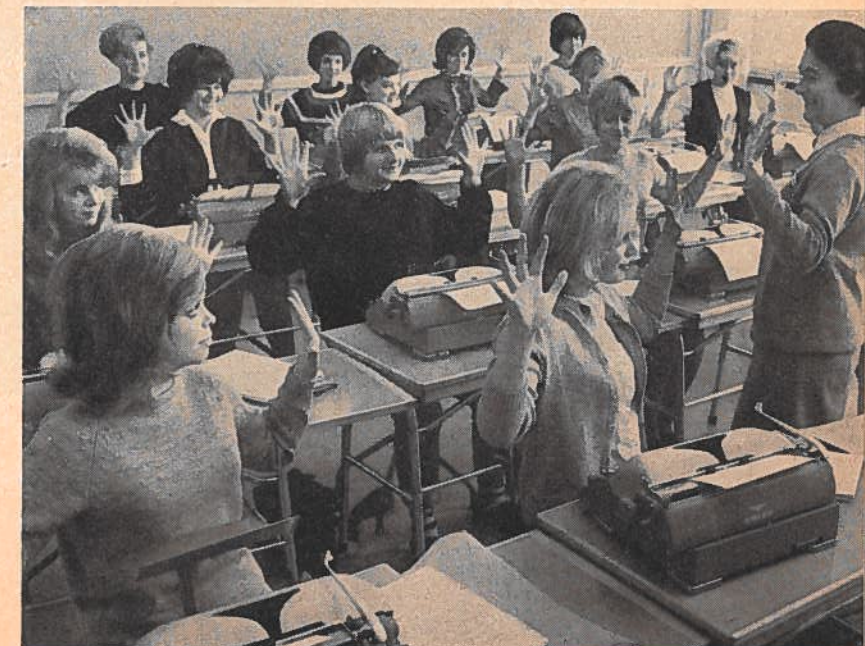
Stolen är höj- och sänkbar och sit-sen plan och rymlig, så att den ger möjlighet att ändra ställning. Sitsens framkant är mjukt avrundad. Ryggbrickan är höj- och sänkbar och vridbar framåt-bakåt. Är ryggbrickan rätt placerad i korsryggen, finns möjlighet att räta på ryggen och t o m att böja sig något bakåt.

Bordet skall stå stadigt och vara lägre än ett vanligt skrivbord, eftersom arbetshöjden för händer och armar blir ovanför bordsytan.

En utdragsskiva för manus skall kunna dras ut till vänster eller höger sida, så nära bordsytans höjd som möjligt. Ibland sätts manus framför. Manuskriphållare är naturligtvis att föredra.

Ovanan att sitta stilla i en ny arbetsställning, "bunden vid en maskin", gör eleverna trötta fysiskt och psykiskt. Lagg in en paus och låt dem utföra fingerrörelser och avspänningsrörelser för axlar och armar. Låt dem resa sig och sträcka på ryggen ibland eller böja ryggen bakåt.

Ett par minuters rörelsepau under lektionen gör att tröttheten försvinner, och efter pausen blir koncentrationen på arbetet större. Elever och lärare får ett bättre arbetsresultat.





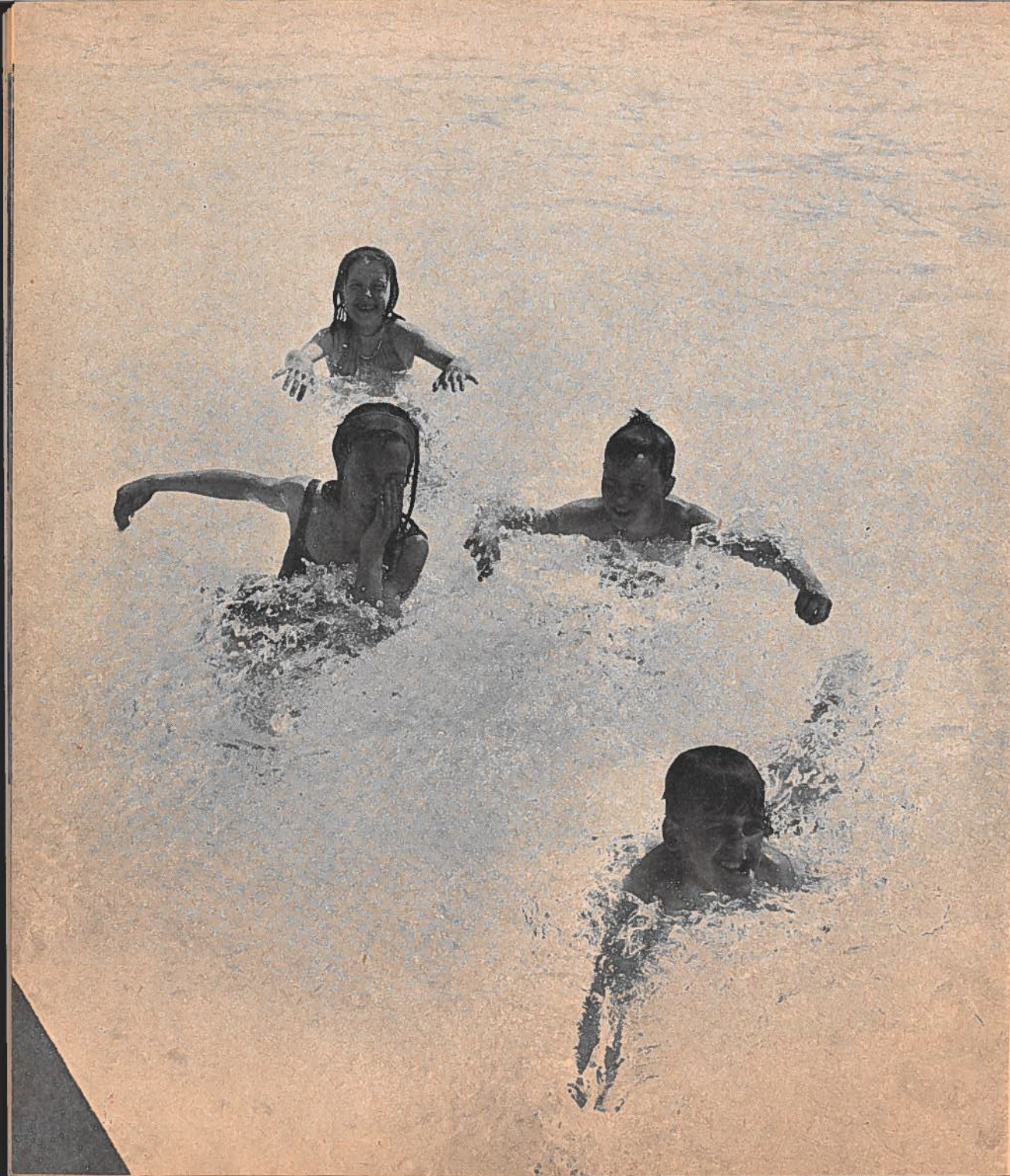
Rast

Det är nödvändigt med frisk luft och motion för att kunna koncentrera sig och inta relativt enahanda arbetställningar under lektionerna.



Att leka med boll, ensam eller tillsammans med andra har roat människor i alla tider. Bollspel ger både spänning och avspänning. Det bevarar barnasinnet glada leklynnene.

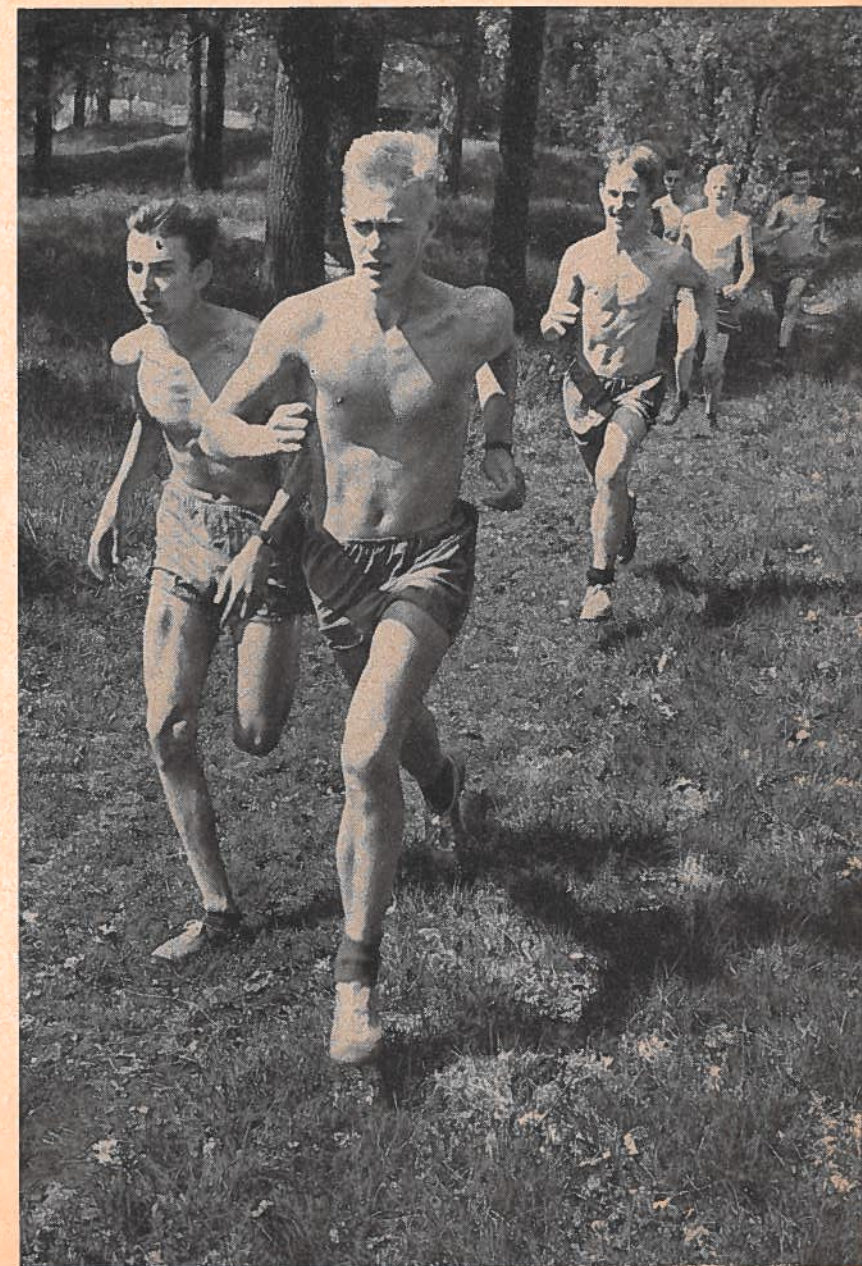
Rörelsebehovet måste tillgodoses även hos de röresehindrade eleverna.



Idrott

Finns det någon motionsform, som utvecklar kroppens rörelser så allsidigt som simning? För elever i alla åldrar ger lek i vatten och simning en befriande och uppfriskande känsla.

Bästa och billigaste sättet att skaffa sig god kondition är terränglöpning.



METODSIDAN

BÄTTRE RESULTAT kan nås på många vägar, och Metodsidan stänger inte av någon sådan väg när det gäller att upplåta sina spalter för bidrag, tips och idéer om bättre metoder. Ämnesområdet för vår sida är hart när obegränsat inom den vida ram som rymmer allt som kan göra ett arbete säkrare, effektivare eller billigare. Metodsidan vill visa vägarna — breda eller smala, välbekanta eller okända — till bättre resultat. Själva resultatet kan sedan uppnås endast ute på alla arbetsplatser genom intresse, engagemang och förstärkelse hos både arbetslag och arbetsledning.

BÄTTRE RESULTAT ute på byggena är ett mål för Metodsidan men ändå mer hoppas vi att tipsen som lämnas skall ge impulser för metodarbetet och stimulera till att ytterligare nya vägar trampas upp. Dessa kan sedan i sin tur ytterligare berika Metodsidan. Och här gäller, som sagt, att inga vägar är stängda. "Det här passar väl inte Metodsidan, för det är ju ingen arbetsmetod i sig själv", undras ibland i diskussioner om metodidéer. Svaret måste alltid vara: "Allt som ger bättre resultat är en bättre metod".

BÄTTRE RESULTAT är det centrala, inte metoderna som sådana. Allt som underlättar arbetet är därför av intresse



En metod att göra bockning av armeringsjärn mera lönsam.

för Metodsidan. Vi får inte heller i det avseendet stänga oss inne. Kardinalfelet när det gäller att åstadkomma något bättre är just att inte släppa det hävdvunna.

ALLT SOM GER RESULTAT bör vi bli väl upplysta om. Här ligger säkert

stora resurser outnyttjade. Det flöde av goda idéer som finns hos så många ute på våra byggen bör utnyttjas väl — det är en av förutsättningarna för att byggnadsindustrin skall kunna fylla sin stora produktionsuppgift. För att bygga mera måste vi utnyttja våra resurser bättre — till dem hör också flödet av metodidéer.

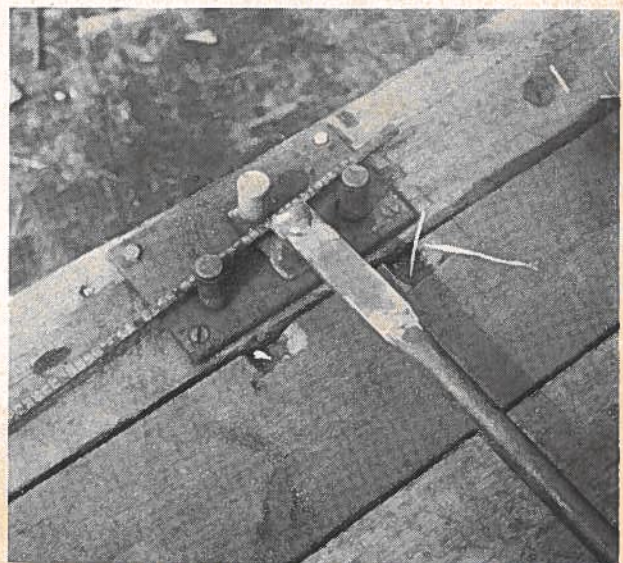
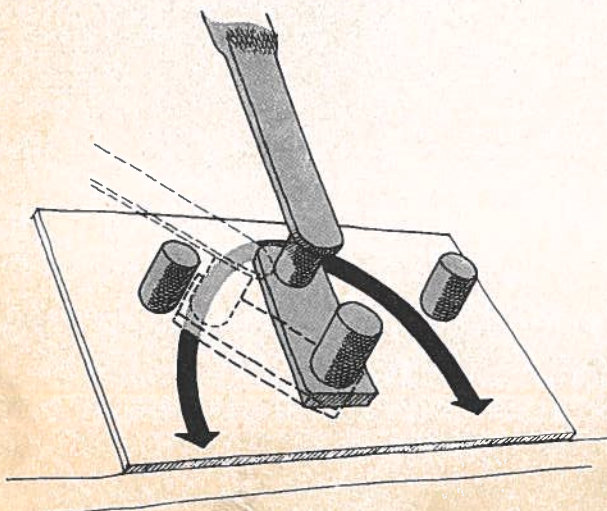
DUBBELSIDIG BOCKNING

Varför går det bara att bocka åt ett håll med en handbockningsmaskin för armeringsjärn? Man kan svara med ett par motfrågor: "Spelar det någon roll? — Är det något större problem?". Alltså ett typexempel på hur det går till när ingenting blir gjort.

Nu kan man genom att se på hur det går till att bocka armeringsjärn snabbt upptäcka att om man skall göra t. ex. ändbockar så måste man hålla på och vända järnen. Det

blir både tidsödande och arbetsamt. Som vanligt — man frestas uttrycka sig så — är en lösning utomordentligt enkel att åstadkomma. Låt bara bockarmen gå över stoppen, så som bilden och teckningen här nedan visar.

Tipset kommer från ingenjör Jan Erik Hansson, Arbetsfysiologiska Institutet. Det skall tilläggas att det dubbelsidiga arbetssättet också är mera skonsamt för den som utför arbetet.



Av ingenjör Jan-Erik Hansson
och arbetsstudietekniker
Hans Nilsson
Arbetsfysiologiska Institutet

Specialkärror för fogning av bjälklagsplattor

■ Det är väl känt att fogning av valv-
element, i den form arbetet för närva-
rande vanligen utförs, är tidskrävande
och ansträngande, främst då för ryggen
(bild 1).

Med utgångspunkt från mera grund-
läggande studier av kärror och kärr-
ningsarbete, som utförts vid Arbetsfysio-
logiska Institutet (1), har vissa prov med
användning av kärror vid fogningsarbete
gjorts. Resultaten från dessa prov har
blivit så gynnsamma att det ansetts lämp-
ligt att publicera dem trots att studie-
materialet är begränsat och att kärrorna
vid kommande praktiska provningar ute
på arbetsplatser sannolikt ytterligare
kommer att förbättras. Några speciella
studier av arbetets organisation och lag-
storlek har ej utförts.

Bestämningen av kroppens syreupp-
tagning i arbetet har utförts på följande
sätt: Personens utandningsluft under ar-
bete uppsamlades i en säck efter en för-
arbetsperiod av 3,5—4 minuter. Luft-
mängden har därefter mätts. Med känne-
dom om luftvolym och tiden för upp-
samling av denna har omsatt volym per
tidsenhet beräknats. Därefter har utand-
ningsluftens syrehalt analyserats (atmos-
färluftens syrehalt är konstant). Den av
försökspersonen förbrukade syremängd-
en har erhållits genom att mäta skill-
naden i syremängd i inandningsluft och
personens utandningsluft.

Svenska Industribyggen AB (SIAB)
har ställt arbetsplatser till förfogande.

Två olika typer av kärror har konstrue-
rats, en för fogning av lättbetongelement
och en för fogning av betongkassetter.
På de studerade arbetsplatserna har kär-
rorna jämförts med förekommande ordi-
narie arbetsmetoder. Den fysiologiska
belastningen (kroppens syreupptagning
och pulsfrekvens) och arbetshastigheten
har mätts enligt Arbetsfysiologiska Insti-
tutets normer.

Fogning av lättbetongelement

Arbetslagens sammansättning vid ar-
bete med fogkärnan (nya metoden) och
vid "normalt" förfaringsätt redovisas
nedan.

Nya metoden: Laget bestod av fyra
man.

En körde fogkärnan (fig. 1).

Två blandade bruk i tombola, lastade
bruk i skottkärna samt hissade kärna till
valv (ej fullt sysselsatta).

En transporterade bruk till fogkärna med
skottkärna, plockade undan virke som
låg i vägen samt assisterade den som
körde fogkärnan.

Traditionell metod: Laget bestod av
tre man.

En blandade bruk i tombola, lastade
skottkärna samt hissade kärna till valv.
Två fogade med hjälp av trädgårdskanna
och murslev.

Resultat.

Fogningskapacitet (m/min) vid arbete
enligt nya metoden (fig. 2) var ca 12

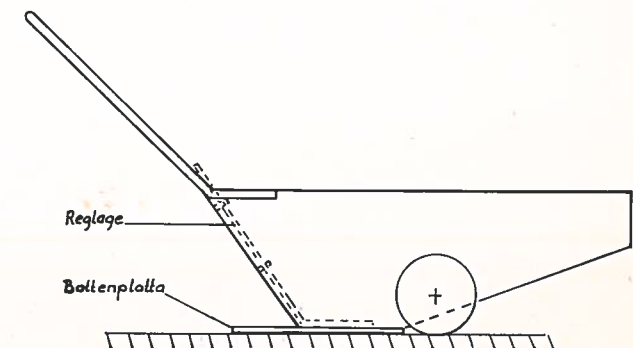


Bild 1. Fogning av lättbetongplank med
hjälp av hink.

gångar så hög som vid fogning enligt ordi-
narie metod. Genom att arbetsstyrkan
för iordningställning av bruk, justerings-
arbeten m.m. endast bestod av en man
mer och fogningskapaciteten var betyd-
ligt större vid användning av kärnan än
vid användning av kanna—murslev blev
biträdespersonal/fogade meter endast
hälften så stor (fig. 3).

Fig. 1.

Kärna för ifyllning av cementbruk i fogslitsar vid mon-
tering av bjälklagsplattor av lättbetong. — Kärnan är
så konstruerad att den har en bottenplatta med en
rektangulär tappöppning, som reglerar tillströmningen
av bruk i fogen i rätt kvantitet oberoende av förflytt-
ningshastighet samt hindrar bruket att tränga utanför
fogslitsen. Bottenplattan har en konvex urgröpfung
som gör att fogen blir plan sedan betongen torkat.
Hjulen är så placerade att de fördelar lasten i lämplig
storleksordning mellan bottenplatta och hjul.



Kapacitet
m/min

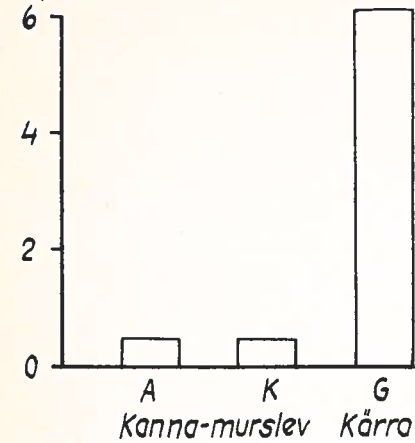


Fig. 2. Kapacitet vid fogning av lättbetongplank enligt de två jämförda metoderna.

Assisterande
personer/fogade meter

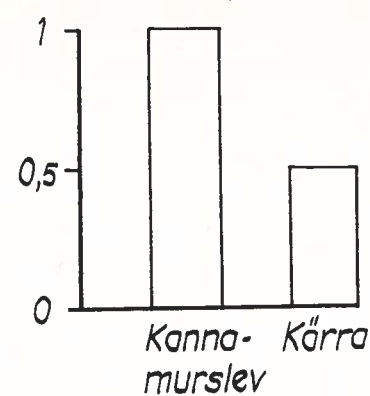


Fig. 3. Biträdespersonal per fogade meter vid fogning av lättbetongplank.

Pulsfrekvens
slag/min

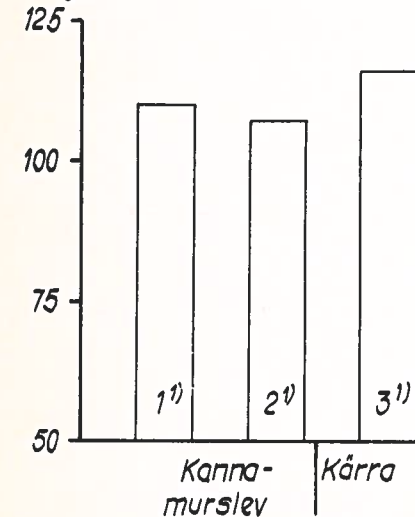


Fig. 4. Pulsfrekvens i medeltal vid fogning av lättbetongplank enligt de två jämförda metoderna. — 1) Personnr.

Kcal/meter fog

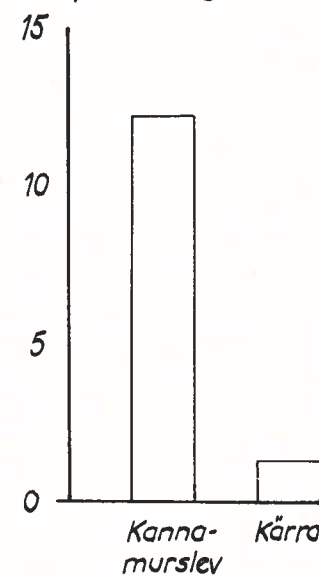


Fig. 5. Beräknad energiförbrukning per meter fog vid fogning av lättbetongplank enligt de två jämförda metoderna.

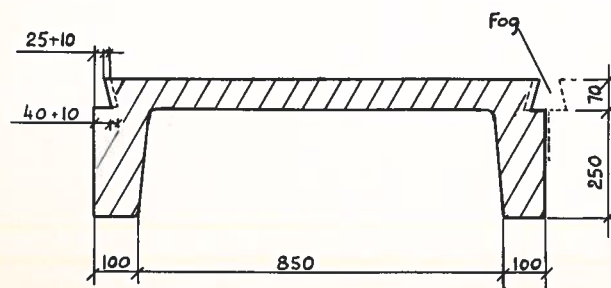


Fig. 6. Genomsnitt av valvelement av betong.

Pulsfrekvens vid fogning (enligt de två jämförda metoderna) redovisas i figur 4. (Arbetsprov på cykelergometer visade att de studerade personerna hade ungefär samma maximala fysiologiska arbetsförmåga.) Av figur 4 framgår att puls-frekvensen varit obetydligt högre vid fogning med kärra i jämförelse med kanna—murslev. Även om så var fallet torde fogning med kärra få betraktas som avsevärt mindre ansträngande genom att arbetet kan utföras i en mera bekväm arbetsställning för kroppen.

I figur 5 redovisas beräknad energiförbrukning per meter fog vid arbete med de två alternativa metoderna. Av figuren framgår att energiförbrukningen varit ca 12 gånger så stor vid användning av skottkärre och murslev i jämförelse med fogkärre. Skillnaden i energiförbrukning motsvarar ungefär skillnaden i arbetshastighet.

Enligt de bedömningar av arbetets kvalitet som utfördes av studiepersonal och arbetsbefäl spilldes mindre bruk vid sidan av fogen vid användning av fogkärre än vid användning av kanna och murslev.

Fogning av betongkassetter

Studierna utfördes vid lasaretsbygget i Lund vid två olika tillfällen under våren 1965. Därvid mättes fysiologisk belastning (syreupptagning, puls-frekvens) samt tidsåtgång, vid arbete enligt två alternativa metoder. Betongplattorna hade en längd av 6,3—7,0 meter. Fogens genomskärningsarea (fig. 6) var ca 53 cm².

Nya metoden: (fogkärre, bild 2). Laget bestod vid studietillfället av fyra man:

En fyller bask från hydraulficka (ej fullt sysselsatt). Basken hissas upp på valv med kran.

En karrar betong med fogkärre från bask till fogställe samt fogar.

En vibrerar fog. (Svårt att hinna med). En sopar fog (tid över, skulle också kunna hinna med att vibrera om ännu ett vibratoraggregat vore tillgängligt).

Traditionell metod: Laget bestod av fem personer med följande arbetsuppgifter:

En transporterar betong i skottkärre från ficka till kran.

En sköter vidaretransport av betongkärre till fogningsställen.

Två öser betong med skyffel från kärre i fog samt sopar.

En vibrerar fog.

Iläggning av masonit, armeringsjärn samt vattning av fog före gjutning har ej studerats av AFI. De förstnämnda arbetena utfördes före fogningens början och vattningen när väntetider av en eller annan anledning uppstod.

Resultat

I figur 7 redovisas energiåtgång per min för enbart fogningsarbetet enligt de två alternativa metoderna. Som framgår är fogningskapaciteten (m/min) vid ener-

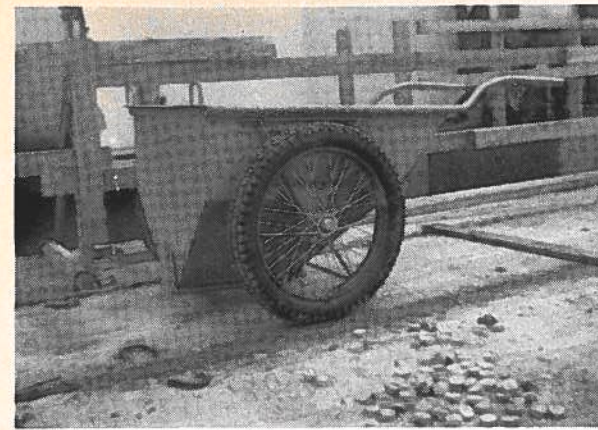


Bild 2.

Kärre för ifyllning av trögflytande cementbruk i fogslitsar i bjälklagsplattor av betong. — Kärren rymmer ca 190 liter och är försedd med stora hjul för att lätt kunna dras samt för att klara hinder som t. ex. fogslitsar. Betongen tappas ur kärren genom en rektangulär öppning, som helt eller delvis kan stängas med en sektorlucka. Genom att kärren är avsedd för trögflytande betong och öppningen är placerad nära intill bjälklagsplattorna rinner betongen ned i fogslitsen i den takt kärren förflyttas.

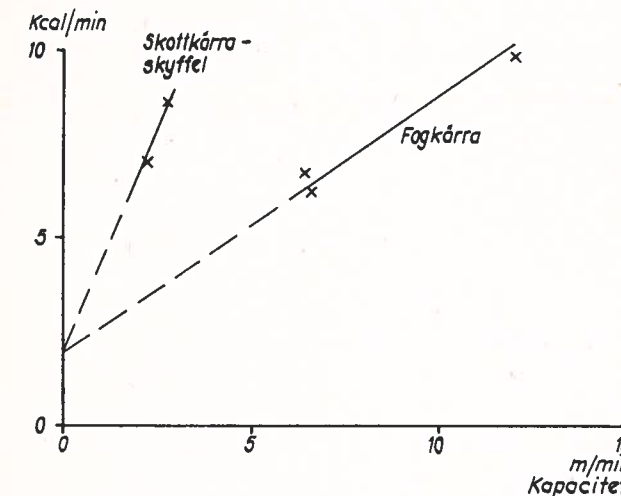


Fig. 7. Energiåtgång vid olika fogningshastighet vid arbete enligt de två jämförda metoderna.

giförbrukningen 7,5 Kcal/min ca 3,5 gånger så stor vid användning av fogkärren (nya metoden) i jämförelse med skyffel (gamla metoden).

En jämförelse av lagets medelprestation (m/min/man) — arbetsbelastning (puls-lag/min) vid arbete enligt de två metoderna redovisas i figur 8 och 9. Mätningarna utfördes vid två olika tillfällen. Av figuren framgår att fogningshastigheten varit ca sex gånger högre vid arbete enligt nya metoden trots att puls-frekvensen var något lägre än vid arbete enligt gamla metoden (fig. 9).

Om fogningskapaciteten vid studie 1 och 2 jämföres finner man att den varit högre vid den senare studien vid arbete enligt båda metoderna trots att puls-frekvensen då i medeltal var lägre än under den första studien. En trolig orsak till detta kan givetvis vara personernas större vana med arbetsmetoderna vid senare studietillfället.

Litteratur

[1] Hansson, J.-E. och H. Nilsson. Kärre och kärningsarbete. Byggnadsindustrins forskningsrapporter och uppsatser nr 2, 1963.

Fig. 8. Kapacitet vid fogning av betongelement enligt de två jämförda metoderna.

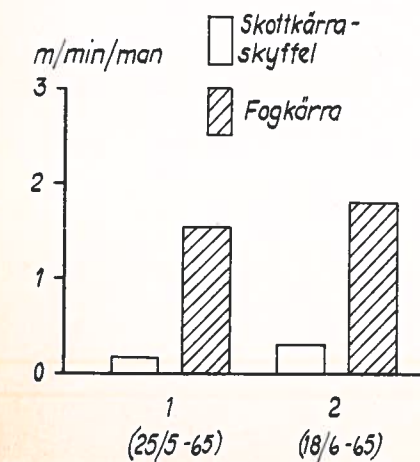
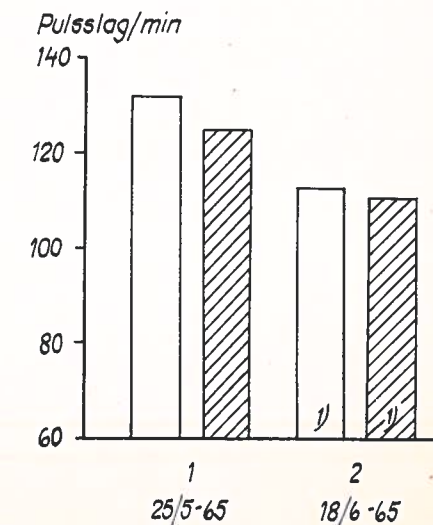
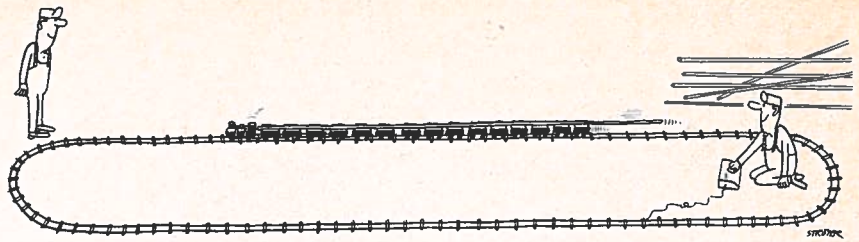


Fig. 9. Pulsfrekvens i medeltal vid fogning av betongelement enligt de två jämförda metoderna.



METODSIDAN



Kärra för armeringsjärn

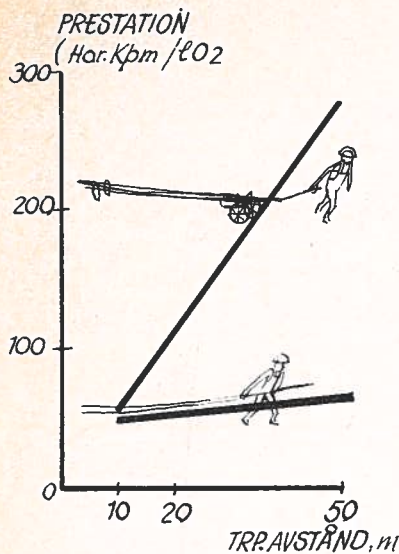
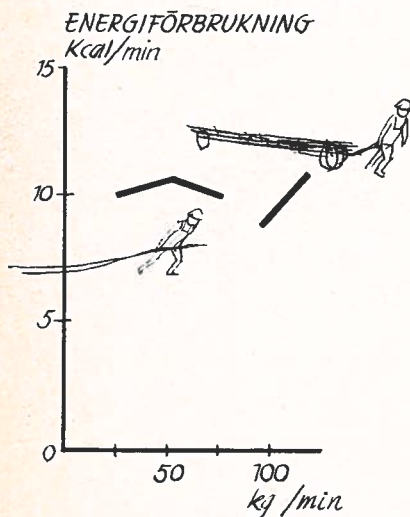


Fig. 1 ▲

Fig. 2 ▼



VAD SKULLE UNDERLÄTTA armeringsjobbet mest? När den frågan ställdes till en grupp armerare fick man ett helt överraskande svar: smidigare transport av de långa järnen till klipp- och bockbänk respektive inläggningsstället. Eftersom det var arbetsfysiologiska institutets utredare som ställde frågan, följde han upp den med mätningar och, som nästa steg, konstruktion av "armeringskärran". Ingenjör Jan-Erik Hansson från AFI och armeraren Stig Roslund, Ohlsson & Skarne, är nämligen männen bakom den här Metodsidans tips.

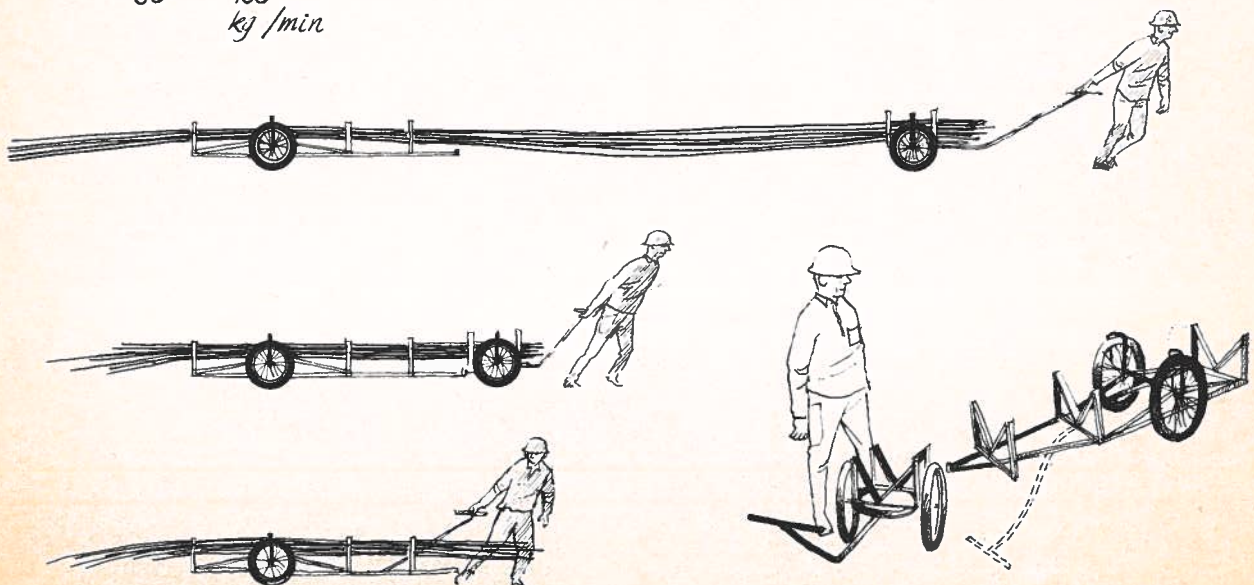
LÅNGA ARMERINGSJÄRN krävde en kärra med två separata hjulpar. De korta järnen klaras med "halva" kärran. Resultatet är förbluffande. Kurvorna här intill visar bl. a. (fig. 1) att redan vid en så kort transportsträcka som t i o m e t e r är det fördelaktigare att använda kärran än att bära och släpa de långa järnen! Jämför man med den nya betongkärran, som presenterades i Byggnadsindustrin nr 20/63, finner man kanske effekten mera naturlig.

SOM VANLIGT visar det sig bli rik utdelning om jobbet läggs upp riktigt. Den första känslan inför den här kärridén kanske är att lastning och lossning av kärran skall helt "äta upp" vinsten. Men det är fel. Dessutom ser vi av fig. 2

att energiförbrukningen hålls på samma nivå trots att kapaciteten ökas till det dubbla. Detta gäller naturligtvis inte i konkurrens med lastbiltransport: kan man lossa järnen från bil just på den plats där de skall användas, så skall man naturligtvis göra det. Men kärran har sitt värde när framkomligheten är begränsad och för närtransporter inom bygget. Kärran kan förstås också användas lika bra för transport av långa rör.

KÄRR-RITNINGAR KAN REKVIRES

Vi tycker på Metodsidans redaktion att det vore mycket orationellt om var och en som behöver en armeringskärra skall göra sina egna konstruktioner. Kärran finns ju redan gjord efter en första omgång konstruktionsskisser. Vi har låtit framställa kompletta satser arbetsritningar som kan rekvireras från Byggnadsindustrins Förlags AB, Stockholm 27, enklast genom att sätta in 15 kr på postgiro 35 01 02 och ange "Armeringskärran" på talongen.



att tillhandahålla tillverkare och köpare av kärror grunddata om olika tekniska och fysiologiska faktorer betydelse för arbetsprestation och arbetstygnd. För att påvisa att erhållna resultat är praktiskt tillämpbara har bl.a. en speciell provmodell av en tvåhjulig betongkärra konstruerats med vilken prestationen ökat ca 40% vid oförändrad fysiologisk belastning.

Det följande exemplet (fig. 2) är från en av de olika detaljstudier som utförts. Exemplet illustrerar ringtryckets inverkan på energigtåg och arbetshastighet vid kärning med enhjulig skottkärra på landgång.

Kroppens syreupptagning vid olika arbetsprestation har mätts. Betr. mätmetodik hänvisas till undersökningsrapport (2).

En specialutbildad arbetsstudietekniker samt en laboratris har utfört mätningarna. Vid den typ av prov, som det här är fråga om, kan ett 20-tal syreupptagningsprov per dag medhinnas.

Kärningen skedde på en rektangulär provbana med en omkrets av 45 meter. Verktiden under varje prov var ca 7 minuter, varav de tre sista användes för uppsamling av utandningsluft.

Resultat

Syreupptagningen är ca 1/2 lit./min. (2,5 Kcal) större vid en viss arbetshastighet vid kärning med det lägre ringtrycket.

Kommentar till resultaten

Som framgår av fig. 2 har en viss variation i syreupptagning, vid en viss arbetshastighet, mellan olika mätningar noterats. Metodfelet vid bestämning av kroppens syreupptagning i en viss arbetssituation har visat sig

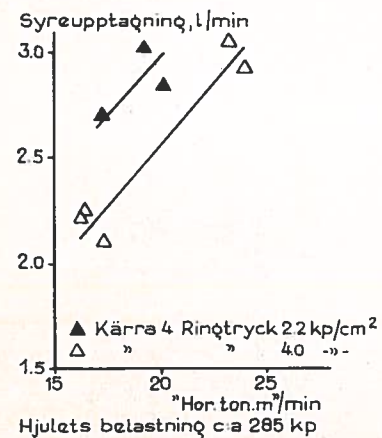


Fig. 2. Syreupptagning i förhållande till utfört arbete vid olika ringtryck.

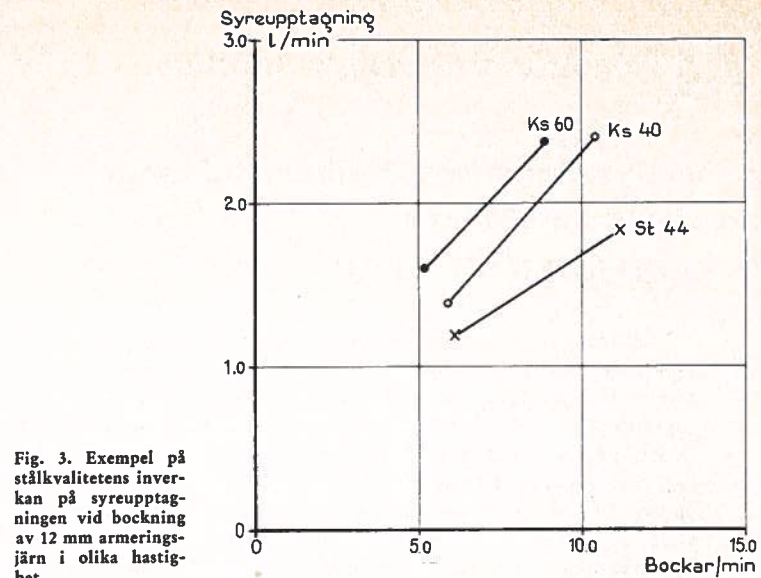


Fig. 3. Exempel på stålqualitätens inverkan på syreupptagningen vid bockning av 12 mm armeringsjärn i olika hastighet.

vara mycket litet, och de skillnader i syreupptagning som här noterats torde bero på skillnader i presterat arbete — i detta fall sannolikt orsakade av tillfälliga svårigheter vid balanseringen av kärnan. Även om antalet mätningar i detta fall var allt för litet för att ge något säkert utslag, har man här av en halv dags studier fått en uppfattning om dels storleksordningen av ringtryckets inverkan på prestationen, dels att arbetet till sin natur är sådant att vissa störningar inträffar, som påverkar arbetstygnden.

Ex. 3 och 4. Bockning och hantering av armeringsjärn

Exemplen är hämtade från en pågående studie av bockning och hantering av armeringsjärn. Syftet med undersökningen är även här att söka underlätta och rationalisera arbetet.

I exempel 3 behandlas stålqualitätens inverkan på arbetsbelastning och arbetshastighet vid bockning av armeringsjärn.

Kroppens syreupptagning vid arbete med två olika hastigheter ("normal" och "långsam" takt) samt arbetsprestationen i bockar/min. har mätts.

Studiepersonalen har, liksom i Ex. 2, bestått av en arbetsstudietekniker och en laboratris. Ca 20 prov per dag kan medhinnas.

Resultat

Som framgår av fig. 3 föreligger en klar skillnad i energigtåg, vid en viss arbetshastighet, mellan bockning av de olika stålqualitäterna. Mellan bockning av stålqualitäteten Ks 60 och St 44 är skillnaden i syreupptagning 0,5 lit./min. Vid syre-

upptagningen 1,5 lit./min. (ca 50% av maximala syreupptagningsförmågan hos ett 120-tal testade byggnadsarbetare) är skillnaden i arbetshastighet 4 bockar/min. eller ca 60% högre vid bockning av St 44 i jämförelse med Ks 60.

Kommentar till resultaten

För att enbart genom tidsstudier få en uppfattning om stålqualitätens inverkan på prestationen torde omfattande studier ha krävts. Genom att testa energigtången för bockning i olika hastighet och sedan ställa detta i relation till arbetsförmågan har denna information erhållits snabbt och billigt, inte minst då med tanke på järnkostnaden.

I exempel 4

har arbetsprestationen vid olika förflyttningsavstånd vid dragning av 11 meters armeringsjärn jämförts med transport på en i samband med undersökningen specialkonstruerad kärra. Kärnan är avsedd för närtransport av armeringsjärn och där järnet för närvarande på många håll i stor utsträckning dras för hand.

Mätmetoder och studiepersonal är samma som i föregående exempel. Två personer har studerats under en dag.

Resultat

Som framgår av fig. 4 föreligger redan vid 10 meters transportavstånd en vinst med att dra armeringsjärnet på kärra i stället för att släpa det. Vid 50 meters avstånd är prestationen fyra gånger så stor vid användning av kärra som vid släpning av järnet.

Kommentar till resultaten

Vid studier av denna typ har det visat sig rationellt att studera två personer som utför prov varannan gång. Därigenom erhåller försökspersonerna en kortare rast mellan varje prov.

Ex. 5. Fysiologiska metodstudier av gräsklippningsarbete (4)

Exemplet är hämtat från en studie, vars syfte var att jämföra några olika typer av motorgräsklippare med handgräsklippare beträffande arbetstygnd och arbetsprestation. Undersökningen har utförts på uppdrag av Statens Institut för Konsumentfrågor.

Arbetsprestationen och kroppens syreupptagning har mätts. En specialutbildad arbetsstudietekniker samt en laboratris har utfört mätningarna. Ca 20 prov/dag har utförts. Försökspersonerna hade instruktionen att arbeta i en självvald, normal arbetstakt.

Resultat

Som framgår av fig. 5 föreligger ingen nämnvärd skillnad mellan handklippare och motorklippare beträffande syreupptagning (arbetsbelastning), förflyttningshastighet och klippshastighet. Beträffande klippta m²/liter syre har största prestationen erhållits vid arbete med två motorklippare och en handklippare. Av dessa tre klippare har motorklippare 1 (luftkuddeklipparen) de bästa värdena.

Kommentar till resultaten

Orsaken till att så små skillnader erhållits mellan motorklipparna och handklipparna, torde bero på att de studerade motorklipparna är tyngre än handklipparna och att själva transporten av motorklipparna är mera energikrävande än av de lättare handklipparna.

Ex. 6. Studier av manglingsarbete (5)

Det följande exemplet är hämtat från en undersökning av manglingsarbete, som utförts åt Statens Institut för Konsumentfrågor. I exemplet jämföres arbetstygnden vid användning av två olika typer av manglar vid arbete i olika hastighet. (Förhållandet mellan arbetshastighet och arbets kvalitet har undersökts i en särskild studie.)

Tillvägagångssättet har även här varit att mäta kroppens syre-

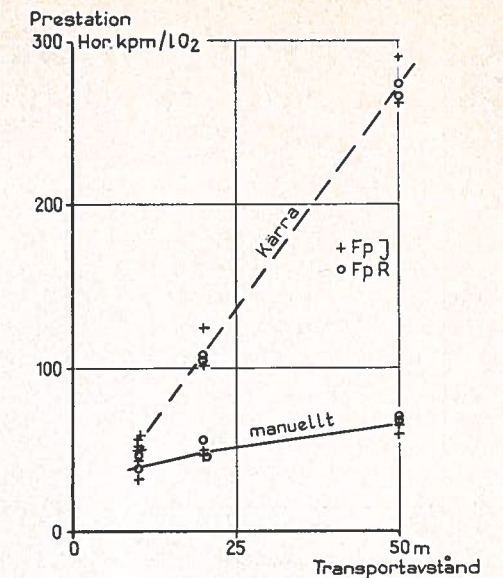


Fig. 4. Jämförelse av manuell dragning av 11 meters armeringsjärn med transport på kärra (lastning, dragning och lossning).

upptagning vid olika arbetsprestation. Mätningarna har utförts av en arbetsstudietekniker och en laboratris. Utförandet av de i fig. 6 redovisade mätningarna har tagit en dag.

Resultat

Arbetstygnden har som framgår av fig. 6 varit avsevärt lägre vid arbete i den elektriska mangeln än i stenskvemangeln.

Kommentar till resultaten

Orsaken till att så få mätningar utförts vid arbete i den elektriska mangeln är att detta arbete till stor del består i att

vänta och arbetstygnden därför är av underordnad betydelse. Arbetstygnden vid arbete i stenskvemangeln kan också tyckas måttlig, men visade sig motsvara ca 50% av de testade försökspersonernas maximala arbetsförmåga och torde därför kunna vara prestationspåverkande för vissa personer. (Maximala arbetsförmågan har beräknats utifrån ett submaximalt arbetsprov på cykelergometer.) Vid arbetet i den studerade stenskvemangeln förekom dessutom lyft i besvärliga kroppsställningar, och uppenbara olycksfallsrisker förelåg.

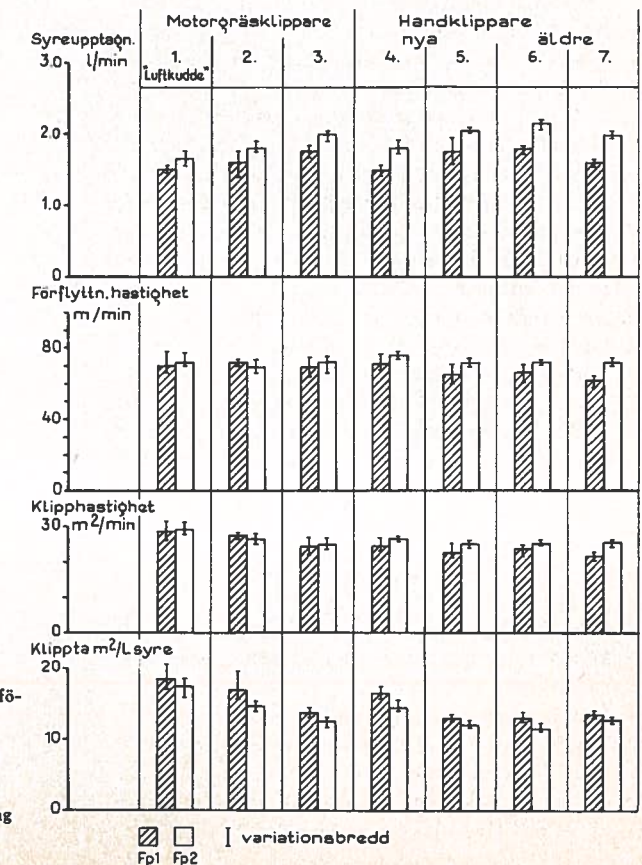


Fig. 5. Jämförelse av motorgräsklippare med handgräsklippare vid klippning av kort gräs (3,5-4 cm).

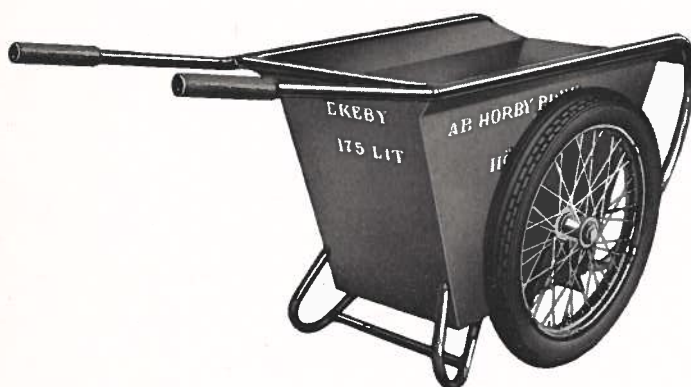
40%

ökad transportkapacitet med

EKEBY NYA 2-HJULIGA BETONGKÄRROR i jämförelse med traditionella skottkärror

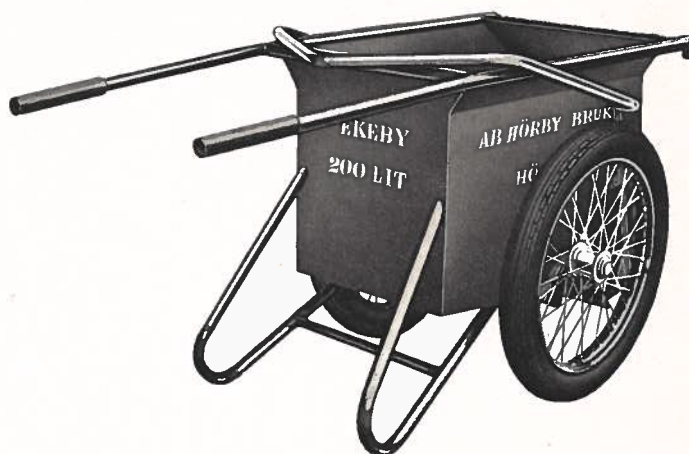
Detta resultat har framkommit vid de fysiologisk-tekniska metodstudier av kärror och kärningsarbete som Arbetsfysiologiska Institutet (AFI) utfört för Svenska Byggnadsindustriförbundet.

De kärror vi nu presentera, är en utveckling av de provkärror som vi konstruerade för ovanstående metodstudier, och har nu även praktiskt utprovats på olika byggnadsplatser. Vi hänvisa till Byggnadsindustrins forskningsrapporter och uppsatser nr 2 som behandlar kärror och kärningsarbete.



2-hjulig tippkärra 175 lit. (struket mått)

Lagom stor last
Endast ca 5 % av lasten i skalmarna
Stora luftgummihjul ger lågt rullningsmotstånd
Låg tyngdpunkt gör kärnan lättbalanserad
Liten spårvidd för att kunna använda smala landgångar,
c—c=550 mm
Lätt att tippa genom tippbågens utformning samt korgens släppning
Små yttermått: största bredd 680 mm
„ längd 1650 mm
„ höjd 725 mm
Korgens bredd upptill, invändigt 600 mm
Kärrens vikt 47 kg



2-hjulig kärra 200 lit. (struket mått) med botten-tömning

Lagom stor last
Endast ca 5 % av lasten i skalmarna
Stora luftgummihjul ger lågt rullningsmotstånd
Låg tyngdpunkt gör kärnan lättbalanserad
Liten spårvidd för att kunna använda smala landgångar,
c—c=600 mm
Bekvämlig manövrering av tömningsluckan
Kanttrören utformade för hissning i kran
Små yttermått: största bredd 720 mm
„ längd 1550 mm
„ höjd 800 mm
Korgens bredd upptill, invändigt 600 mm
Kärrens vikt 57 kg

Konstruktionen grundar sig på de principer som framkommit vid AFI:s metodstudier.

ANPASSAD TILL MÄNNISKAN!

Mycket lätt att köra — prova själv!



Försäljes av:

Tillverkas av:

AB HÖRBY BRUK
HÖRBY

Fig. 6. Verkningsgraden förbättras intill en viss gräns med ökande arbetsintensitet. 100 % motsvarar fullt utnyttjande av kroppens syreupptagningsförmåga.

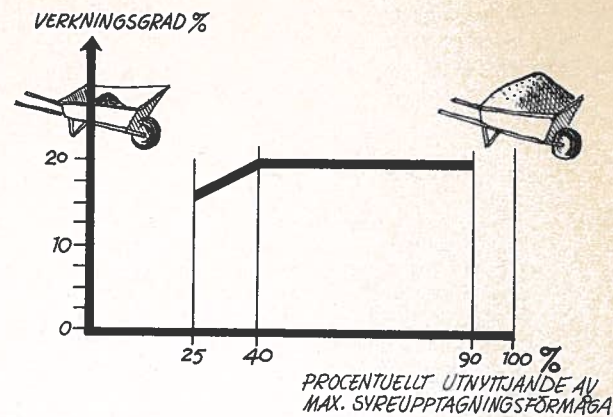


Fig. 7. Arbetstyngden varierar starkt på olika underlag.

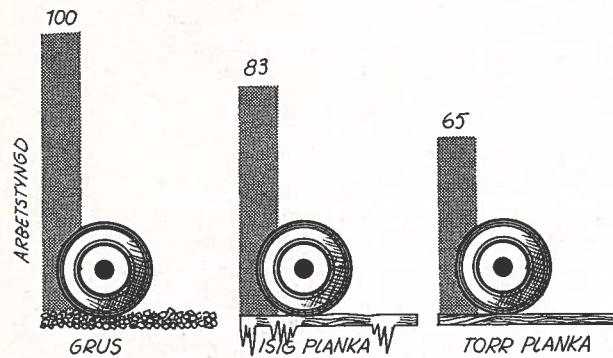


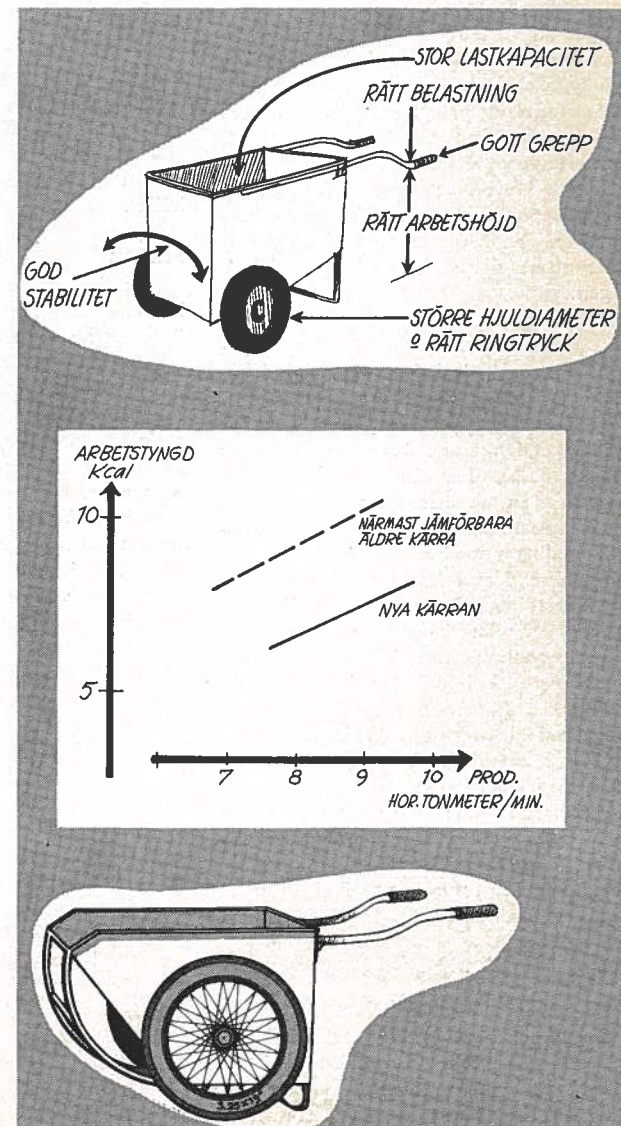
Fig. 8. Studierna av karrans konstruktiva utformning och kapacitet i skilda detaljer gav anvisning på hur en "arbetsriktig" kärria skulle se ut. Resultatet blev en försökskärria (bilden längst ner) som ger en ca 40 % större prestation vid oförändrad arbetstyngd, jämfört med närmast jämförbara tvåhjuliga karrtyper.

rad arbetstyngd — fig. 8. En studie av tippning av karrorna visade att det tidsmässigt inte förelåg någon skillnad mellan de olika karrorna om hänsyn togs till laststorleken.

Den tvåhjuliga försökskarran (lastförmåga 300—350 kg, stora hjul, låg tyngdpunkt, god stabilitet) har konstruerats med en lastkapacitet som passar en yngre byggnadsgrovarbetare (arbetsförmåga 15—20 kcal/min) vid kärning på i huvudsak plan landgång.

Litteratur:

- Hansson, J.-E.: *Tungt arbete lättare — studier av karror och kärningsarbete.* Särtryck ur Byggnadsindustrin 1/62.
- Lundgren, N.: *Arbetsfysiologiska undersökningar i byggnadsbranschen.* Särtryck ur Byggnadsindustrin 3/61.
- Sundberg, U.: *Studier över manuell hantering av rundvirke.* Meddelande från Statens skogsforskningsinstitut. Band 49:2. Stockholm 1960.
- Zotterman, Y. och Lundgren, N.: *Studier över tungt kroppsarbete. Arbetsfysiologiska och arbetstekniska undersökningar vid skogsavverkning.* Förlags AB Affärsökonomi, Stockholm 1948.



På uppdrag av Svenska byggnadsindustriförbundet har Arbetsfysiologiska institutet utfört en serie studier av den fysiologiska belastningen vid byggnadsarbeten. Studierna har bl. a. omfattat mätningar av arbetstyngden vid kärning av betong och tegel, som är ett av de tyngsta arbeten som förekommer i byggandet.

Undersökningarna har nu slutförts. De har bl. a. resulterat i att man konstruerat en tvåhjulig kärria som ger ca 40 % högre prestation än den närmast jämförbara vanliga karrtypen vid samma energiinsats.

Ingenjör Jan-Erik Hansson vid Arbetsfysiologiska institutet ger här en summarisk redogörelse för undersökningens resultat. Tidigare har studier delredovisats i *Byggnadsindustrin* nr 1/62. Undersökningens resultat i deras helhet finns publicerade i "Karror och kärningsarbete, Byggnadsindustrins forskningsrapporter och uppsatser", Stockholm 1963 (stencil), som utgitts av Svenska byggnadsindustriförbundet.

Anledningen till att karror och kärningsarbete blivit föremål för arbetsfysiologiska metodstudier är att man vid en serie grundläggande undersökningar rörande fysiologisk belastning vid byggnadsarbeten funnit att detta arbete hör till de tyngsta.

Gången i de nu slutförda undersökningarna har varit den att man först valt ut ett antal vanligt förekommande karror och studerat dem under standardiserade förhållanden. Det kunde då konstateras, att det var stora skillnader i funktionsduglighet mellan olika karror, vilket berodde på skillnader i laststorlek, hjuldimension, stabilitet m. m. För att lättare nå överskådliga resultat studerades fortsättningsvis endast en av dessa variabler åt gången under standardiserade förhållanden. Dessutom har en större grupp byggnadsgrovarbetare undersökts beträ-

fande fysiologisk arbetsförmåga och vissa kroppsått.

Människan — arbetsförmåga och kroppsått

Studierna av muskelstyrka och syreupptagningsförmåga har gett underlag till en bedömning av lämplig laststorlek vid kärningsarbete.

En test av muskelstyrka vid lyft i vertikalled visade att byggnadsgrovarbetarna som regel har en muskelstyrka som är större än skogsarbetare och gruvarbetare (fig. 1). Byggnadsgrovarbetarnas kondition — syreupptagningsförmåga — är något sämre än skogsarbetarnas men bättre än gruvarbetarnas (fig. 2). Studierna visar också att arbetsförmågan avtar med åldern.

På den grupp som testades beträffande arbetsförmågan mättes också vissa

Kärningsarbetet kan göras lättare

AFI-utredning visar hur karran kan utformas för att bli ett bättre redskap på bygget

kroppsått. Dessutom intervjuades gruppen för att man skulle få fram synpunkter på vissa detaljer i karrornas konstruktion, såsom handtagens grovlek, handtagens höjd och avståndet mellan skalarna. Här skall endast konstateras, att den testade gruppens kroppsått i huvudsak överensstämde med kända data från vuxen manlig befolkning.

Karran — hjuldimension och ringtryck

Ifråga om karrornas konstruktion har nämnts att den på skilda sätt påverkar funktionsdugligheten. Här skall lämnas några exempel på faktorer som har betydelse ur produktionssynpunkt.

Hjuldimensionen bör självfallet anpassas till underlagets beskaffenhet och den belastning som hjulet utsätts för. Undersökningen har visat att energiåttången

Fig. 1

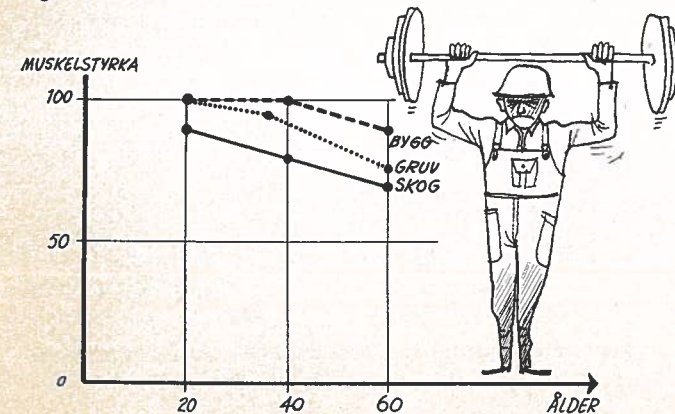
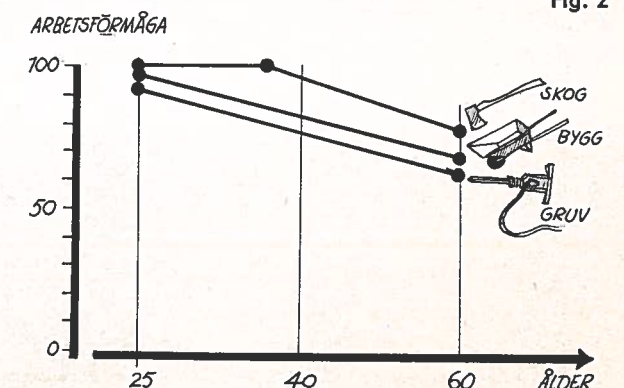
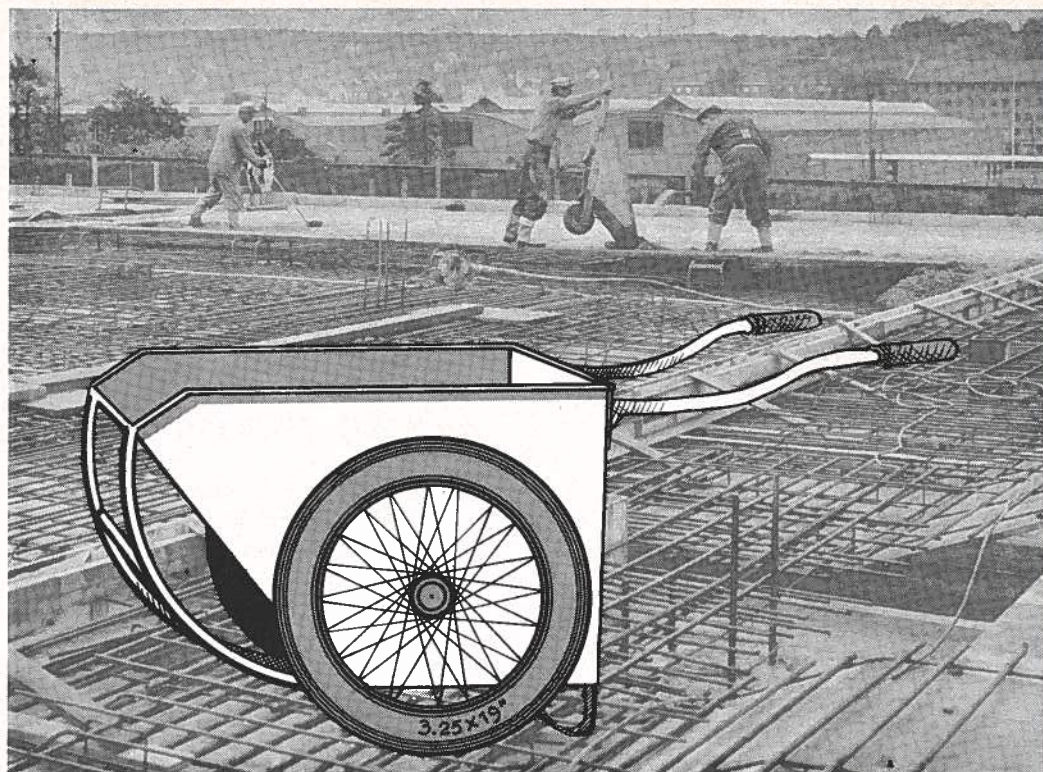


Fig. 2





kan minskas genom att använda större hjul på kärran (fig. 3). Större hjul ökar också kärrans förmåga att klara hinder. En nackdel med stor hjuldiameter är att hjulet blir dyrare, men detta torde väl uppvägas av den minskning i arbetstyngden som erhålls utan att produktionskapaciteten minskar.

En förändring av ringtrycket påverkar storleken på däckets kontaktyta med underlaget. Genom att öka eller minska kontaktytan förändrar man rullningsmotståndet, förmågan att klara hinder samt kärrans stabilitet.

Genom att höja ringtrycket från 2,2 till 4,0 kp/cm² minskas arbetstyngden i relationen 100—85 (fig. 4). En sådan förändring i ringtrycket försämrar dock i viss mån kärrans förmåga att klara hinder, t. ex. landgångsskarvar.

Studierna av kärror och kärrningsarbete ledde fram till ny typ av kärra, som väsentligt skiljer sig från den konventionella. Den är tvåhjulig och framtill försedd med bågar på vilka kärran rullas upp när den skall tömmas. Data: laststorlek 170 l, lastförmåga 300—350 kg, spårvidd 540 mm, hjuldimension 3,25" x 19" (hjulens totalhöjd 26"), handtagsgrovlek Ø 43 mm, belastning på armar under kärrning ca 12 kg, avstånd mellan handtagen 540 mm, tyngdpunkts höjd ovan mark 330 mm. Själva lastkorgen mäter upptill 100 x 40 cm och är 61 cm djup.

Fig. 1. Muskelstyrkan — mätt med vertikala lyft med två händer — vid olika åldrar hos byggnadsgrovarbetare, gruvarbetare och skogsarbetare. Basvärde: muskelstyrkan hos 20-årig byggnadsgrovarbetare.

Fig. 2. Arbet förmågan (syreupptagningsförmågan) vid olika åldrar hos skogsarbetare, byggnadsgrovarbetare och gruvarbetare. Basvärde: arbet förmågan hos 20-årig byggnadsgrovarbetare.

Fig. 3. Vid konstant laststorlek och transporthastighet är arbetstyngden lägre hos kärror med stora hjul än hos kärror med små hjul. Värdena anger kärrning på horisontellt underlag.

Fig. 4. Vid konstant laststorlek och transporthastighet varierar arbetstyngden avsevärt med ringtrycket.

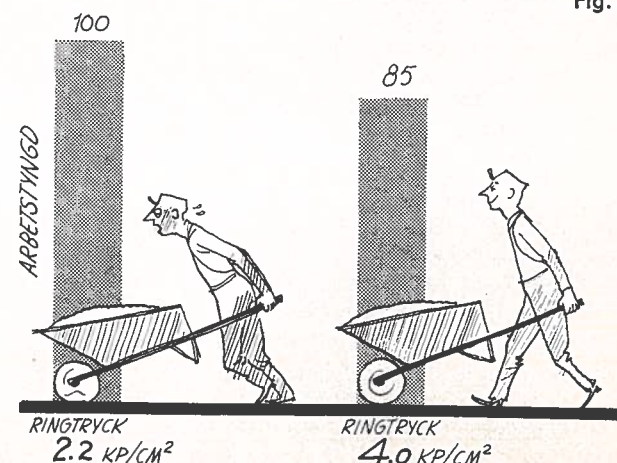
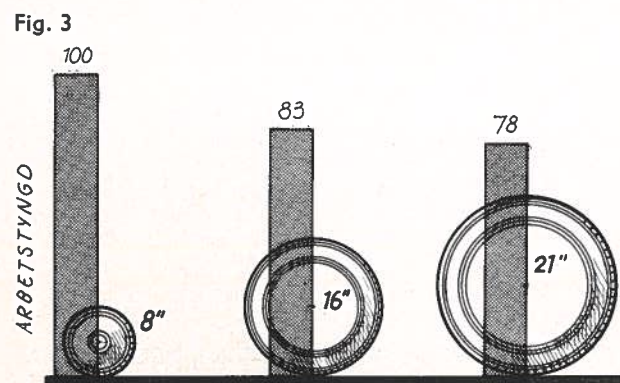
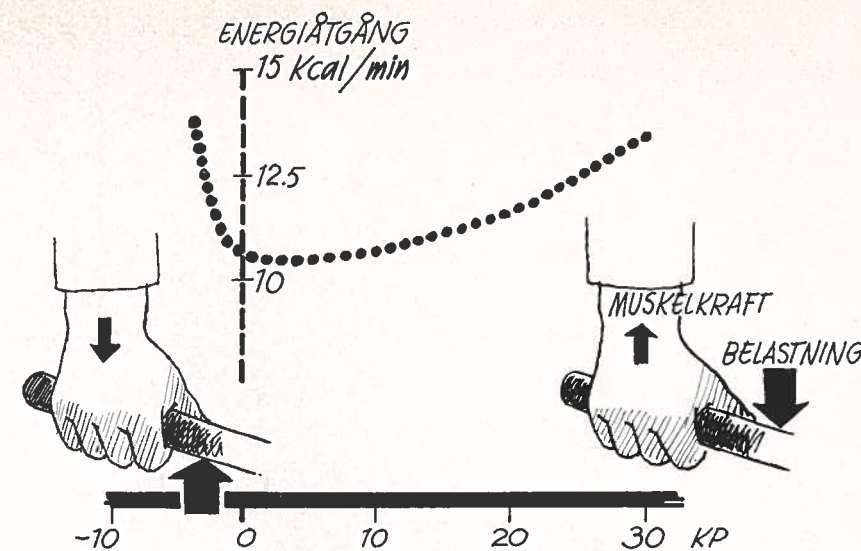


Fig. 5. Belastningen i skalmarna vid kärrning inverkar starkt på energiåtgången i arbetet.



Lastens fördelning

På de kärror som för närvarande finns i marknaden är hjulradie vanligen mindre än avståndet från mark till händernas fästpunkt. Detta innebär att när man skjuter kärran framåt blir den kraft som sätts in delvis nedåtriktad, vilket skapar ett vridande moment som vill lyfta skalmarna. Storleken på den kraft som vill lyfta skalmarna är beroende på rullningsmotstånd och hjulradie. Eftersom rullningsmotstånd och lutningsförhållanden ofta varierar kommer också den uppåtriktade kraften att variera. För att motverka denna lyftning av skalmarna brukar vanligen kärrorna vara så konstruerade att en del av lasten belastar handtagen.

Några speciella studier har utförts för att närmare utvärdera inom vilka områden den vertikala belastningen bör hålla sig. Hur en förändring av den vertikala belastningen på armarna påverkar arbetstyngden under kärrning illustreras i figur 5. Orsaken till att den negativa belastningen på armarna visat sig vara så ogynnsam kan vara att det förekommit växlingar mellan positiv och negativ belastning. Detta har i sin tur medfört att belastningen växlar mellan olika muskelgrupper vilket i sin tur resulterat i en högre syreupptagning. Växlingarna i belastningen på handtagen beror på att handtagen för varje steg förflyttar sig i vertikalled. Storleken på dessa växlingar har i huvudsak visat sig hänga samman med steglängden.

Studierna har vidare visat att en vertikal belastning av den som skjuter kärran också innebär större möjligheter till maximal kraftutveckling i horisontell riktning utan halkning.

Kärrans stabilitet

Stabiliteten hos en kärra beror främst på dess spårvidd (ifråga om tvåhjuliga kärror) och lastens avstånd till hjulets kontaktyta med underlaget. Balanseringen i sidled av den enhjuliga kärran mäs-

te ske helt med armarna, men detta arbete minskas när man använder tvåhjulig kärra. För den enhjuliga kärran innebär detta naturligtvis att laststorleken blir begränsad. Den tvåhjuliga kärran tillåter större last. Studierna har visat att arbetsbelastningen på den som kärrar är något lägre hos den tvåhjuliga än hos den enhjuliga kärran vid samma lastvolymer.

En speciell studie av spårvidd och tyngdpunktsläge för tvåhjuliga kärror visade att de måste hålla vissa minimivärden för att fördelen med två hjul skall bibehållas.

Lasten

När det gäller så tunga arbeten som kärrning av betong är det självfallet önskvärdt att arbetet kan utföras med hög fysiologisk verkningsgrad, d. v. s. på ett så energibesparande sätt som möjligt. För att fastställa den förmånligaste — optimala — arbetsintensiteten ur denna synpunkt har vissa studier utförts på cykelergometer. Detta prov liknar principiellt kärrningsarbetet, eftersom det engagerar stora muskelgrupper i ett dynamiskt arbete. Resultaten för en manlig, tränad grupp gav vid handen att verkningsgraden förbättras upp till det att ca 30—50 % av den maximala arbetsförmågan utnyttjas (fig. 6). För en otränad kvinnlig grupp var motsvarande värden högre.

Resultaten stämmer med vad man funnit ut vid undersökningarna av själva kärrningsarbetet och vid vissa studier av skogsarbete.

För att på grundval av dessa studier sedan diskutera tolerabel belastning måste man också göra klart för sig arbetets natur, d. v. s. fördelningen mellan olika tunga arbetsmoment, möjlighet till pauser etc. I forskningsrapporten diskuteras tolerabel belastning dels ur verkningsgradsynpunkt och dels utifrån den testade arbetargruppens arbetsförmåga. Lyckligtvis visade det sig vara möjligt att förena en hög fysiologisk verkningsgrad med en ansträngningsnivå som inte

leder till uttröttnings. Detta förutsätter att personer med låg arbetsförmåga, t. ex. äldre arbetare, kärrar mindre laster eller kompenserar laststorleken med pauser.

Underlaget

På flera sätt inverkar underlaget på arbetstyngden vid kärrning. Man urskiljer dels faktorer som påverkar rullningsmotståndet hos kärran och dels faktorer som påverkar arbetarens egen förflyttning. Lutningsförhållandena har naturligtvis också en avgörande inverkan på arbetstyngden.

Underlagets hårdhet och jämnhet har stor betydelse. Arbetstyngden vid kärrning på torra plank är endast 65 % av motsvarande värden vid kärrning på grusunderlag. Även is på landgångens plank innebär stor försämring — fig. 7. Kärrning i motlut innebär att arbetaren måste förflytta både kärra, last och sin egen kropp uppåt. Vid kärrning med en 219 kg tung kärra var arbetstyngden dubbelt så stor vid 4 % motlut som vid horisontellt underlag. Ännu större kärrvikter är vanliga på byggarbetsplatserna och då blir stegeringen av arbetsbelastningen ännu mer markerad.

Vid utläggning av landgångar är det viktigt att känna till lutningens inverkan på arbetstyngden och hänsyn till denna bör också påverka ställningstagandet till om en transport skall utföras med manuell körning eller med mekaniska hjälpmedel.

Försökskärra med fördelaktiga värden

Med utgångspunkt från de olika delresultaten av undersökningen har konstruerats en försöksmodell av en kärra. Denna har provats i jämförelse med dels en vanligt förekommande tvåhjulig kärra med samma lastkapacitet och dels med en skottkärra vid kärrning på landgång och gräsunderlag. Jämförelsen med den närmast jämförbara tvåhjuliga kärran visade, att prestationen med försökskärran var ca 40 % större vid oföränd-

ZEH

Kungl. Gymnastiska
Centralinstitutet

1964 — 1965

22 15 00
Truly 23

DIREKTION
LÄRARE
ELEVER

21914

DIREKTION

ALLARD, HENRY, riksdagsman, f. 11; (47), ordförande, Kilsgratan 6 A, Örebro, tel. 019/12 02 64, riksdagen 22 95 60.
NEUMÜLLER, MARGARETHA, fru, 1:e ekonomiföreståndarinna, f. 02; (53), Ehrensgrdsgatan 5, tel. 53 66 60, Karolinska sjukhuset 34 05 00.
BERGÆRUS, HOLGER, direktör, f. 08; (59), v. ordförande, Östervägen 31, Solna, tel. 27 86 11, Kungl. Teatern 20 70 40.
EKMAN, WALTER, rektor, f. 02; (59), Banérgatan 77, tel. 62 10 82, h.a.l. å Östermalm 62 72 76.
BJARNHOLT, LAVE, byrådirektör, f. 09; (59), Tältvägen 11, Södertälje, tel. 0755/326 67, Skolöverstyrelsen 22 24 00.
STRÖM, GUNNAR, professor, f. 22; (63), Banérgatan 24, Uppsala, tel. 018/14 96 39, Akademiska sjukhuset 018/11 82 25.
HÖGBERG, PAUL, rektor (se nedan).
LJUNGGREN, STINA, gymn.-dir., lärarkollegiets representant (se sid. 4).

SEKRETERARE

BOLINDER, HANS, byråchef, jur. kand., f. 25; (64), Merkuriusvägen 17, Lidingö, tel. 66 11 72, Tekniska Högskolan 23 65 20.

REKTOR

HÖGBERG, PAUL, gymn.-dir., (56), (se sid. 4).

EXPEDITION

JOHANSSON, EIVOR, vik. registrator och kassör, Tulegatan 12, Sundbyberg, tel. 28 39 18, till exp. 11 17 14.
LARSSON, GEORG, kontorist, Blåklintsvägen 15, Lidingö, tel. 65 33 26, till exp. 10 18 70.
NELMÆN, GUNILLA, kontorsbiträde, Brunskogsbacken 24, Farsta, tel. 94 58 17, till exp. 10 18 70.
Expeditionen hålles öppen kl. 10.00—15.00; lördag kl. 10.00—12.00.

JÖNSSON, AKE, gymnastikvaktmästare och portvakt, Portvaktsbostaden, Lidingövägen 1, tel. 10 88 75.
OLSSON, ERIK, värmeskötare, Östermalmsgatan 82, tel. 60 88 95.
STAHL, HUGO, gårdskar, S:t Eriksgatan 110, tel. 33 54 94.

BIBLIOTEK

LJUNGWALDH, KARIN, gymn.-dir., fil. mag., f. 95; (52), bibliotekarie, Drottning Kristinas väg 9, tel. 21 58 91.
RASKA, PRITS, f. 88; (51), arkivarbetare, Möckelvägen 30, Johanneshov, tel. 59 33 95.

HÄNVISNINGSLÄKARE FÖR PERSONAL

HANNER, KNUT, med. lic., Sturegatan 18, tel. 62 52 55. Mottagningstid: vanl. kl. 16.00—17.00.

LUNCHRUM

BLOMBERG, ELSA, fru, föreståndarinna, Midgårdsvägen 28, Handen, tel. 777 20 61.

LÄRARE

Ordinarie lärare

- HOHWÜ CHRISTENSEN, ERIK*, professor, dr. phil., med. dr., f. 04; (41), Gamla Kyrkvägen 24, Danderyd, tel. 55 14 93. Professor i kroppsövnings-
arnas fysiologi och hygien. Föreståndare för fysiologiska inst.
THORESSON, KLAS, gymn.-dir., kapten, f. 08; (39), (44), Murarstigen 1,
Lidingö, tel. 65 20 55, i gymnastik.
HÖGBERG, PAUL, gymn.-dir., folkskollärare, kapten, f. 11; (44), (55),
Stormästarvägen 11, Lidingö, tel. 65 33 40, i lek och idrott.
NÄSMARK, ANNA-LISA, gymn.-dir., f. 09; (50), (55), Nyängsvägen 4,
Bromma, tel. 26 65 48, i gymnastik.
EKSTAM, EVA, gymn.-dir., f. 14; (51), (59), Skinnarviksringen 2, tel.
69 66 11, i lek och idrott.
LJUNGGREN, OLOV, gymn.-dir., f. 21; (55), (61), Klöverbacken 3,
Lidingö, tel. 66 13 28, i lek och idrott.
LJUNGGREN, STINA, gymn.-dir., f. 24; (55), (61), Klöverbacken 3,
Lidingö, tel. 66 13 28, i gymnastik.

Icke ordinarie lärare

- HALLDÉN, OLOF*, gymn.-dir., fil. lic., f. 10; (44), (58), Älgvägen 17,
Lidingö, tel. 65 34 58, i psyk. och ped. samt kroppsövn., hist. och allm.
teori.
ASTRAND, PER-OLOF, docent, gymn.-dir., f. 22; (46), (54), Orrspels-
vägen 6, Näsby Park, tel. 56 03 53, docent i fysiologi, särskilt arbets-
fysiologi.
ALMGREN, ULF, gymn.-dir., f. 26; (58), Nybodagatan 1, Solna, tel.
82 25 06, i gymnastik.
CRISPIN, MONA-LISA, gymn.-dir., f. 33; (59), Skeppargatan 80, tel.
61 53 60, i lek och idrott.
NILSSON, EVA, gymn.-dir., f. 18; (61), Herkulesvägen 19, Lidingö, tel.
66 06 01, i gymnastik.
BRIANDT, CARL-GUSTAF, gymn.-dir., folkskollärare, kapten, f. 19;
(61), Källängevägen 65, Lidingö, tel. 75 09 82, i lek och idrott.
LARSON, BERTIL, gymn.-dir., f. 19; (61), Banbrinken 1, Saltsjöbaden,
tel. 17 20 26, i lek och idrott.
WEBJÖRN, VANJA, gymn.-dir., f. 29; (62), (64), Kärrstigen 37, Klinten,
tel. 715 30 33, i gymnastik.
GRANE, KJELL, gymn.-dir., f. 29; (62), Ankdammsgatan 42, Solna, tel.
82 66 99, i gymnastik. Tjänstledig 1964/65.

- MATTSSON, ROLAND*, gymn.-dir., folkskollärare, f. 26; (62), Edsbergs-
vägen 14, Sollentuna, tel. 35 75 32, i lek och idrott.
BERG, ULLA, gymn.-dir., f. 32; (64), Västmannagatan 95, tel. 33 25 22,
i gymnastik, lek och idrott.
DUNBERGER, BERTIL, gymn.-dir., f. 24; (64), Karlavägen 63, c/o Dahl-
man, tel. 60 29 69, i gymnastik.
MALMBERG, JOHAN, gymn.-dir., f. 30; (64), Kapellbacken 7, c/o Boeke,
Lidingö, tel. 26 30 67, i lek och idrott.
LUNDQVIST-MELIN, BRITT, gymn.-dir., f. 31; (64), Sandhamngatan 19,
tel. 63 91 15, i lek och idrott.
ERIKSSON, ANDERS, gymn.-dir., f. 32; vik. för Grane, Veckovägen 36,
Jakobsberg, tel. 0758/302 23, i gymnastik.

Speciallärare

- CARLSÖÖ, SVEN*, prosektor, med. dr., f. 05; (58), Östermalmsgatan 99,
tel. 62 32 64, i anatomi.
GULLANDER, ANDERS, med. kand., f. 41; (64), Ringvägen 160, tel.
44 39 77, i anatomi.
RODHE, GÖSTA, med. lic., skolöverläkare, f. 12; (59), Torstenssonsgatan
15, tel. 61 52 25, i hälsolära.
WETZENSTEIN, HILDING, leg. läk., f. 22; (61), Brunkebergsåsen 44,
Sollentuna, tel. 714 20 57, i hållningslära.
SALTIN, BENGT, med. kand., f. 35; (58), (59), Pyrolavägen 24, Lidingö,
tel. 66 30 84, assistent i fysiologi.
STENBERG, JESPER, med. lic., t.f. docent, f. 31; (61), Radarvägen 19,
Viggbyholm, tel. 56 58 73, t.f. docent i fysiologi.
PETERSSON, STURE, musikdir., folkskollärare, f. 30; (57), Riddarvägen
50, Lidingö, tel. 65 77 03, i musik.
EDELHOLM, OLOF, fil. mag., f. 25; (64), Bredablicksvägen 5 A, Lidingö,
tel. 775 07 09, i psykologi.

Pensionerade lärare

- HOLMBERG, OSWALD*, major, jur. kand., fil. kand., gymn.-dir., f. 82;
avg. 44, Limhamnsvägen 4 A, Malmö, lärare i gymnastik.
KEY-ABERG, RUTH, gymn.-dir., f. 96; avg. 52, Kungstensgatan 42, tel.
30 51 46, lärare i gymnastik.
LINDAU, HELGE, gymn.-dir., folkskollärare, f. 94; avg. 54, Backvägen 10,
Solna, tel. 83 12 92, lärare i lek och idrott.
LJUNGWALDH, KARIN, gymn.-dir., fil. mag., f. 95; avg. 59, Drottning
Kristinas väg 9, tel. 21 58 91, lärare i lek och idrott.

FYSIOLOGISKA INSTITUTIONEN

- HOHWÜ CHRISTENSEN, ERIK*, professor, föreståndare (se sid. 4), tel.
55 14 93.

ASTRAND, PER-OLOF, docent, gymn.-dir. (se sid. 4), tel. 56 03 53.
STENBERG, JESPER, med. lic., t.f. docent (se sid. 5), tel. 56 58 73.
SALTIN, BENGT, med. kand., assistent (se sid. 5), tel. 66 30 84.
HAGELIN, HARRY, instrumentmakare, f. 11; (50), Kringelvägen 28, Mariehäll, tel. 28 49 70.
MARINA, KARIN, kanslibitr. (50), Polhemsgatan 36, tel. 54 42 67.
HALLBACK, INGER, lab.-ass., f. 34; (55), Stångatan 56, Älvsjö, tel. 91 85 86.
EKBLOM, BJÖRN, med. kand., amanuens, f. 38; (62), Mariatorget 7, tel. 42 40 11.
WALLSTRÖM, BRITTMARI, gymn.-dir., amanuens, f. 40; (63), Öregrundsgatan 9, rum 321, tel. 61 87 21.
HOLLMAN, ULLA, lab.-bitr., f. 38; (62), Stureparken 5, ö. g. Tjänstledig 1964.
FJELLNER, BRITT-MARIE, lab.-bitr., f. 43; (62), Dalbobranten 28, Farsta, tel. 93 26 63.
SPARELL, GUNILLA, lab.-bitr., f. 38; (63), Aug. Wahlströms väg 17, Danderyd, tel. 55 04 30.
PETTERSSON, BERIT, lab.-bitr., f. 39; (64), Wittstocksgatan 11, tel. 67 70 14.

ARBETSFYSIOLOGISKA INSTITUTET

LUNDGREN, NILS, professor, med. dr., föreståndare, f. 15; (54), Hornsgatan 58, tel. 42 19 98.
LINDHOLM, ASTRID, ingenjör, M. S. forskningsingenjör, f. 24; (48), (55), Ripstigen 3, Solna, tel. 85 24 66.
ABERG, ULF, tekn. lic., f. 20; (59), Lievägen 24, Roslags Näsby, tel. 58 37 14.
JOHANSSON, LEIF, instrumentmakare, f. 42; (60), Riksmuseet, Stockholm, tel. 33 02 20.
UTBULT, BRUNO, fil. kand., 1:e byråinsp., f. 17; (61), Polhemsvägen 36, Sollentuna, tel. 35 40 43.
HANSSON, JAN-ERIK, ingenjör, forskningsingenjör, f. 28; (62), Dalbovägen 14, Sollentuna, tel. 35 74 34.
NILSSON, HANS, arbetsstudietekniker, f. 32; (62), Fregattvägen 12, Näsby Park, tel. 56 54 81.
GORDON, SIMON, kontorist, f. 12; (63), Arstavägen 71, Johanneshov, tel. 91 51 96.
ROSEN, BERIT, laboratris, f. 38; (64), Nybrogatan 41, tel. 60 31 43.
ASTRAND, IRMA, med. dr., docent, f. 27; (64), Orrspelsvägen 6, Näsby Park, tel. 56 03 53.
FRISK, ELISABETH, leg. sjuksköterska, f. 39; (64), Källängsvägen 32, Lidingö, tel. 775 13 29.
GARDELL, BERTIL, fil. lic., arbetssociolog, f. 27; (64), Taltrastvägen 7, Näsby Park, tel. 56 25 02.

MTM EREZ, SHELOMO, arbetsstudieingenjör, f. 40; (64), Lidingövägen 1, tel. 10 96 50.
KULLBERG, INGER, gymn.-dir., f. 41; (64), Strålgatan 35, tel. 50 25 98.
ELGSTRAND, KAJ, gymn.-dir., f. 41; (64), Odengatan 46 ö. g., tel. 30 65 42.
PAULSSON, BERIT, sekreterare, f. 43; (64), Östermalmsgatan 4, tel. 10 22 05.

FLYGMEDICINSKA LABORATORIET

von DÖBELN, WILHELM, med. dr., laborator, f. 12; (45), (46), Kungsholms hamnplan 7, tel. 51 20 55.
JOHANSEN, WILLIAM, laboratorieingenjör, f. 21; (47), Rörstrandsgatan 50, tel. 32 97 79.
KADERUD, LENNART, inst.-tekniker, f. 22; (50), Fyrskeppsvägen 104, Johanneshov, tel. 59 24 06.
SCHOLLIN, EVA, kanslibitr., f. 13; (64), Floragatan 10, tel. 21 38 98.

TELEFONER TILL GYMNASISTISKA CENTRALINSTITUTET

Expedition		
Rektor, gymn.-dir. Högberg	10 24 73	
Kassör och registrator, fru Johansson	11 17 14	
Prospekt och förfrågningar, frk. Nelmén	10 18 70	
Gymn.-vaktmästare Jönsson	10 88 75	
Värmeskötare Olsson	11 56 84	
Bibliotek		
Bibliotekarie, gymn.-dir. Ljungwaldh	10 94 31	
Lunchrum		
Köket	10 93 02	
Lärare		
Lärarrum	20 46 75	
Kvinnliga, gymn.- och idrottslärarrum	10 93 01	
Mänliga, gymn.- och idrottslärarrum	11 04 78	
Lärare i psyk. och ped., fil. lic. Halldén	10 93 53	
Lärare i anatomi, prosektor Carlsöö	20 64 45	
Fysiologiska institutionen		
Professor Hohwü Christensen	10 80 11	
Docent P.-O. Åstrand	11 74 17	
Expedition och verkstad	21 25 51	
Arbetsfysiologiska institutet		
Professor Lundgren och expedition	20 42 57	
Docent I. Åstrand, byråinsp. Utbult, ing. Hansson	21 91 47	
Ing. Lindholm, tekn. lic. Åberg	10 96 50	
Sociolog Gardell	20 69 75	
Flygmedicinska laboratoriet		
Dr. von Döbeln och expedition	21 63 53	
Elevkåren		
Elevkårens exp.	20 06 18	
Elevmässen	21 65 03	

ELEVKÅRENS STYRELSE

Ordförande:	BORIS LJUNGGREN	47 45 18
vice Ordförande:	MARGARETHA NORHEDEN	65 98 96
Sekreterare:	CHRISTINA SJÖSTEDT	67 63 66
Skattmästare	KURT ERIKSSON	775 06 05
Klubbmästare:	JAN SEVERGÅRDH	67 55 57
Mässföreståndare:	PER-INGE MODIG	49 99 66
Idrottsförman:	BENGT LARSSON	60 54 98

Ordf. i studierådet:	NILS-OLOV ENQVIST	
Socialombudsman:	ELSA SCHAFF	63 64 ..
Int. omb.-m. repr. i SSCO:	KARIN OLSSON	61 39 40

STUDIEMEDELSNÄMNDEN I STOCKHOLM

Ledamot för GCI, JAN-ERIK PETTERSSON	62 56 34
Representant för GCI, gymn.-dir. KLAS THORESSON	65 20 55
Nämndens kansli, Tornhagen, Fack Stockholm 50	31 10 11, 31 72 95

Kansliet hålles öppet vardagar utom lördagar kl. 11.00—15.00.

Äldre kvinnliga

Namn	Född	Hemort
<i>Ademar, Wiveca</i>	1942	Malmö
<i>Andersson, Barbro</i>	1942	Gantofta
<i>Bengtsson, Birgitta</i>	1942	Stenungsund
<i>Boholm, Maud</i>	1944	Upplands Väsby
<i>Boija, Kerstin</i>	1941	Norrköping
<i>Bonde, Caroline</i>	1943	Bosjökloster
<i>Boström-Granbom, Christina</i>	1941	Sundsvall
<i>Brandt, Yvonne</i>	1943	Lidingö
<i>Börjesson, Inga</i>	1941	Stockholm
<i>Carlstedt, Marianne</i>	1943	Skurup
<i>Cederström, Gunilla</i>	1943	Jönköping
<i>Ekström, Anna-Kerstin</i>	1940	Malmö
<i>Eriksson, Boel</i>	1944	Hälsingborg
<i>Furuskog, Ann</i>	1943	Täby
<i>Glad, Ingegerd</i>	1943	Linköping
<i>Gottliebsson, Barbro</i>	1939	Stockholm
<i>Graneli, Ylva</i>	1943	Sollentuna
<i>Gruvmark, Ulla</i>	1943	Stockholm
<i>Gustafsson, Karin-Marie</i>	1942	Hälsingborg
<i>Gyllander-Sundgren, Eva</i>	1941	Uddevalla
<i>Holmberg, Helena</i>	1941	Abo, Finland
<i>Holmquist, Ulla</i>	1943	Malmö
<i>Håkansson, Gunilla</i>	1942	Malmö
<i>Häwerdahl, Gunilla</i>	1944	Malmö
<i>Junger, Carin</i>	1942	Jönköping

= 25 st.

kursen A

Kursföreståndare: Näsma.

Bostad	Telefon	Anm.
Jerum A 302, Studentbacken 21, Sthlm NO	63 89 19	c/o Häggbom
Kommendörsgatan 15, Sthlm Ö	61 52 40	c/o Adalborg
Jerum A 307, Studentbacken 21, Sthlm NO	63 83 34	
Björkvallaväg. 10 B, Upplands Väsby	0760/307 36	
Norr Mälarstrand 76, Sthlm K	53 12 08	
Karlavägen 11, Sthlm Ö	20 16 66	c/o Bäckström
Jerum A 502, Studentbacken 21, Sthlm NO	63 89 14	
Stureplatån 20, Lidingö	65 40 33	
Gullmarsvägen 65, Johanneshov	91 38 95	
Banvägen 5, Lidingö	66 04 58	c/o Thörnblom
Tobaksvägen 31, Farsta	64 84 84	
Jerum A 312, Studentbacken 21, Sthlm NO	63 85 89	
Frislandsvägen 25, Bromma	37 42 07	c/o Löfgren
Falkvägen 35, Näsby Park	56 17 94	
Tulegatan 35, Sthlm VA	34 79 32	c/o Gistrand- Nilson
Domus B 442, Körsbärsvägen 1, Sthlm Ö	—	
Edsbäcksvägen 24, Sollentuna	35 89 18	
Skänegatan 26, Sthlm SÖ	40 51 75	
Torsvikssvängen 44, Lidingö	65 36 30	c/o Walldén
Fågelvägen 14, Lidingö	65 99 52	c/o Schumacher
Torstenssonsgatan 11 ö. g., Sthlm Ö	61 90 77	c/o Ericson
Konstgjutarvägen 32, Johanneshov	49 99 67	c/o Lindbom
Jerum B 14, Studentbacken 23, Sthlm NO	60 64 47	
Ringvägen 18, Lidingö	775 18 47	
Tysta gatan 11, Sthlm NO	62 30 96	

Äldre kvinnliga

Namn	Född	Hemort
<i>Lundqvist, Britt-Marie</i>	1943	Falköping
<i>Lång, Martha</i>	1942	Överkalix
<i>Molén, Katarina</i>	1941	Örebro
<i>Mårtensson, Vera</i>	1942	Johanneshov
<i>Norheden, Margaretha</i>	1942	Norberg
<i>Olausson, Kerstin</i>	1943	Bohus
<i>Olsson, Karin</i>	1943	Alingsås
<i>Petersson, Inga-Stina</i>	1942	Linköping
<i>Ranklev, Ingrid</i>	1943	Hälsingborg
<i>Saartok, Evi</i>	1944	Motala
<i>Sandberg, Ingrid</i>	1944	Halmstad
<i>Schaff, Elsa</i>	1942	Göteborg
<i>Sjöberg, Susanne</i>	1943	Göteborg
<i>Sjöstedt, Christina</i>	1943	Umeå
<i>Ström, Karin</i>	1943	Stockholm
<i>Svedbergh, Hjördis</i>	1943	Östersund
<i>Swenson, Gun</i>	1943	Göteborg
<i>Tallroth, Karin</i>	1943	Ystad
<i>Tengelmark, Kirsten</i>	1943	Vitaby
<i>Thulin, Viveka</i>	1944	Hälsingborg
<i>Weckman, Brigitte</i>	1943	Halmstad
<i>Wergel, Ulla</i>	1942	Växjö
<i>Westelius, Eva</i>	1943	Kalmar
<i>Wikström, Margareta</i>	1940	Skellefteå
		Utländsk
<i>Gioka, Agelica</i>	1939	Grekland

= 25 st.

kursen B

Kursföreståndare: Ljunggren

Bostad	Telefon	Anm.
Törnrosvägen 5, Lidingö 3	65 51 77	c/o Sköld
Domus 219, Körbärsvägen 1—7, Sthlm Ö	34 90 80/219	
Östermalmsgatan 4, Sthlm Ö	10 22 05	
Drottning Kristinas väg 9, Sthlm Ö	10 20 97	c/o Borild
Fregattvägen 11, Lidingö 1	65 98 96	c/o Julén
Roslagsgatan 19, Sthlm VA	30 36 77	c/o Ward
Grevgatan 56, Sthlm Ö	61 39 40	c/o Grafström
Jerum A 315, Studentbacken 21, Sthlm NO	63 89 75	
Rum 973, Öregrundsgatan 11, Sthlm NO	63 89 47	
Östermalmsgatan 4I, Sthlm Ö	10 93 11	c/o Söderhielm
Skeppargatan 80, Sthlm Ö	61 65 65	c/o Hallberg
Jerum A 216, Studentbacken 21, Sthlm NO	63 64 33	
Rum 583, Öregrundsgat. 11, Sthlm NO	63 93 07	
Kommendörsgatan 24, Sthlm Ö	67 63 66	c/o Warving
Oviksgatan 34, Vällingby	37 88 10	
Furusundsgatan 9, Sthlm NO	67 18 35	c/o Sundqvist
Banérgatan 48, Sthlm NO	62 09 43	c/o Aurell
Norr Mälärstrand 38, Sthlm K	50 57 95	c/o Nordgren
Mjölmarstigen 8, Lidingö	65 62 33	c/o Törneman
Erik Dahlbergsgatan 43, Sthlm NO	62 93 68	
Jerum C 415, Studentbacken 25, Sthlm NO	—	
Rum 142, Öregrundsgat. 9, Sthlm NO	61 74 04	
Engelbrektsgatan 4, Sthlm Ö	21 85 66	c/o Stenberg
Rum 818, Vidängsvägen 9, Bromma	80 13 97	
medborgare		
Jerum B 717, Studentbacken 23, Sthlm NO	—	

Äldre manliga

Namn	Född	Hemort
<i>Baum, Rolf</i>	1936	Stockholm
<i>Bengtsson, Ake</i>	1940	Göteborg
<i>Björnsson, Lars-G.</i>	1937	Enebyberg
<i>Blomberg, Lennart</i>	1932	Hässelby
<i>Boman, Leif</i>	1940	Stockholm
<i>Carlsson, Rune</i>	1943	Malmö
<i>Enqvist, Nils-Olov</i>	1934	Hässleholm
<i>Eriksson, Kurt</i>	1942	Halmstad
<i>Gagyi, Laszlo</i>	1939	Göteborg
<i>Hagman, Leif</i>	1942	Ljusdal
<i>Henriksson, Ola</i>	1940	Södertälje
<i>Holm, Lennart</i>	1938	Nyköping
<i>Holmgren, Roland</i>	1939	Ulricehamn
<i>Håkansson, Greger</i>	1941	Stockholm
<i>Ivanov, Petko</i>	1934	Stockholm
<i>Jansson, Björn</i>	1940	Sollefteå
<i>Jansson, Rolf</i>	1942	Stockholm
<i>Johansson, Bengt</i>	1941	Stockholm
<i>Jonsson, Tore</i>	1939	Tranås
<i>Karlson, Ulf</i>	1943	Tranås
<i>Kronby, Bo</i>	1939	Stockholm
<i>Larsson, Bengt</i>	1942	Nyköping
<i>Rejdemo, Tommy</i>	1942	Stockholm

= 23 st.

kursen A

Kursföreståndare: Thoreson

Bostad	Telefon	Anm.
Boktryckarvägen 9—11 C, Hägersten	19 97 98	
Domus 158, Körsbärsvägen 1—7, Sthlm Ö	34 90 80/158	
Sturevägen 50, Enebyberg	58 67 27	
Kvarnhagsgatan 101, Hässelby	38 38 09	
Bryggvägen 7, Sthlm SV	19 43 57	
Snickarbacken 2, KFUM, Sthlm C	—	
Västmannagatan 103 A, Sthlm VA	—	
Torsvikssvängen 14, Lidingö	775 06 05	c/o Elmenius
Idungatan 5, Sthlm N	31 58 78	c/o Öhström
Domus 149, Körsbärsvägen 1—7, Sthlm Ö	34 90 80/149	
Östergatan 4 B, Södertälje	0755/309 35	
Sofielundsplan 51, Enskede	48 73 90	c/o Fernström
Björnsonsgatan 54, Bromma	37 47 24	
Bergsundsstrand 9III, Sthlm SV	68 43 01	
Idungatan 5, Sthlm VA	31 58 78	c/o Öhström
Sylvestervägen 11, Lidingö	61 98 41	
Allhelgonagatan 8, Sthlm SÖ	42 26 79	
Engelbrektsgratan 33 ö. g., Sthlm Ö	11 20 14	
Slånbärsvägen 12, Danderyd	—	
Karlavägen 63IV, Sthlm Ö	61 95 92	Hempension
Kampementsgatan 24, Sthlm NO	62 91 69	
Brahegatan 3I, Sthlm Ö	60 54 98	c/o Tengström
Mejselvägen 32, Hägersten	19 15 35	

Äldre manliga

Namn	Född	Hemort
Larsson, Bertil	1941	Stockholm
Larsson, Willy	1939	Ängelholm
Ljunggren, Boris	1934	Hässleholm
Lövendahl, Jan	1938	Stockholm
Malmborg, Ulf	1940	Norrköping
Modig, Per-Inge	1941	Stockholm
Månsson, Magnus	1939	Skurup
Nilsson, Bengt	1942	Kalmar
Nyrén, Kjell-Erik	1940	Umeå
Olofsson, Alf	1942	Älgarås
Persson, Håkan	1941	Stockholm
Petersson, Alf	1941	Högsby
Pettersson, Jan-Erik	1941	Kiruna
Pettersson, Lars	1940	Alnö
Samuelsson, Birger	1939	Malmö
Schröder, Peter	1940	Arvika
Severgårdh, Jan	1934	Viggbyholm
Sillén, Birger	1925	Kalmar
Sjöberg, Rabbe	1941	Täby
Ström, Lars	1941	Linköping
Tallmark, Bo	1942	Sala
Tegelman, Ragnar	1940	Stockholm
Tjörnmark, Uno	1936	Stockholm
Wedin, Nils-Gunnar	1939	Härnösand
Ahrling, Stig	1939	Sundsvall
Akerlund, Jan	1939	Timrå
Amaloo, Joseph	1938	Singapore
Utländsk		
Esmail, Mansoor	1938	Uganda

= 28 st.

kursen B

Kursföreståndare: Almgren

Bostad	Telefon	Anm.
Erstagatan 7, Sthlm SÖ	40 57 66	
Villavägen 25, Stocksund	85 43 53	
Juvelerarvägen 17, Hägersten	47 45 18	
Hornsgatan 88, Sthlm SV	69 80 98	
Pelargatan 11, Johanneshov	48 33 24	c/o Hedman
Hågervägen 20, Enskede	49 99 66	
Villavägen 25, Stocksund	85 43 53	
Rum 813, Öregrundsgat. 9, Sthlm NO	62 49 33	
Östermalmsgatan 5, Sthlm Ö	11 45 91	c/o Nilsson
Källängsvägen 25, Lidingö	65 37 93	c/o Mollberg
Essinge Brogata 3, Sthlm K	52 58 94	
Ingemarsgatan 7, Sthlm VA	32 89 04	
Rum 831, Öregrundsgat. 9, Sthlm NO	62 56 34	
Jerum C 320, Studentbacken 25, Sthlm NO	—	
Villavägen 25, Stocksund	85 43 53	
Villavägen 25, Stocksund	85 43 53	
Strindbergsgatan 54, Sthlm NO	67 55 57	
Brahegatan 52, Sthlm Ö	60 38 62	c/o Westerberg
Vikingavägen 21—23, Täby	0762/122 54	
Villavägen 25, Stocksund	85 43 53	
Villavägen 25, Stocksund	85 43 53	
Brännkyrkagatan 77, Sthlm SÖ	—	
Stålgatan 17, Sthlm K	52 62 03	
Upplandsgatan 64, Sthlm VA	—	
Grevgatan 5, Sthlm Ö	60 96 69	c/o Låftman
Jerum C 19, Studentbacken 25, Sthlm NO	—	
Jerum C 619, Studentbacken 25, Sthlm NO	63 88 81	
medborgare		
Läroverksvägen 1, Lidingö	65 14 32	

Yngre kvinnliga

Namn	Född	Hemort
<i>Ahlsson, Ingrid</i>	1945	Skultorp
<i>Alfredsson, Gunilla</i>	1941	Håлта
<i>Almqvist, Iréne</i>	1945	Linköping
<i>Andersson, Gunvor</i>	1943	Malmö
<i>Arfors, Karin</i>	1943	Resele
<i>Barnekow, Margareta</i>	1944	Ystad
<i>Bergholtz, Ulla</i>	1945	Sigtuna
<i>Beronius, Gunilla</i>	1942	Stockholm
<i>Billsten, Agneta</i>	1944	Landskrona
<i>Blombergsson, Berit</i>	1943	Härnösand
<i>Briandt, Gullveig</i>	1929	Lidingö
<i>Bäckman, Monica</i>	1943	Skinnskatteberg
<i>Bällstav, Yvonne</i>	1943	Enköping
<i>Carnbo, Inger</i>	1945	Stockholm
<i>Dahlqvist, Aase</i>	1943	Njurunda
<i>Ekstedt, Laila</i>	1945	Stockholm
<i>Ekstrand, Britt-Marie</i>	1943	Eslöv
<i>Ellby, Catherine</i>	1944	Stockholm
<i>Ericsson, Birgitta</i>	1944	Stockholm
<i>Ericsson, Eva</i>	1945	Godegård
<i>Fredriksson, Anne-Marie</i>	1942	Göteborg
<i>Grehn, Elisabeth</i>	1943	Stockholm
<i>Gustafsson, Gunnel</i>	1940	Göteborg
<i>Gånge, Barbro</i>	1944	Göteborg
<i>Hagler, Marianne</i>	1943	Göteborg

= 25 st.

kursen A

Kursföreståndare: Webjörn

Bostad	Telefon	Anm.
Grevgatan 65, Sthlm Ö	60 87 37	c/o Johnson
Haga södra, Solna	27 26 45	c/o Lindström
Rådmansgatan 1, Sthlm Ö	10 74 30	c/o Ahlberg
Karlavägen 18, Sthlm Ö	20 66 02	c/o Jansson
Ekebyvägen 13, Bromma	25 57 92	c/o Nyström
Sibyllegatan 69, Sthlm Ö	61 56 78	c/o Lindh
Stureparken 4, Sthlm Ö	11 43 35	c/o Montgomery
Ångskärsgatan 5, Sthlm NO	62 22 60	
Östermalmsgatan 32, Sthlm Ö	20 19 73	c/o Wrangel
Valhallavägen 78, Sthlm Ö	20 01 07	c/o Ryd
Källängsvägen 65, Lidingö	775 09 82	
Narvavägen 23, Sthlm Ö	63 28 62	c/o Wetterdal
Valhallavägen 55, Sthlm Ö	30 88 02	c/o Troedsson
Kommendörsgatan 40, Sthlm Ö	63 36 36	
Sibyllegatan 38, Sthlm Ö	—	c/o Thunmark
Wivalliusgatan 13, Sthlm K	53 09 88	
Wenströmsvägen 6, Sthlm NO	60 82 61	c/o Hallqvist
Cirkelvägen 7, Enskede	94 66 11	
Riddargatan 70, Sthlm Ö	{ 63 76 64 61 94 40	
Näsbydalsvägen 10, Roslags Näsby	58 49 30	c/o Ejhed
Sibyllegatan 38, Sthlm Ö	—	c/o Thunmark
Roslagsgatan 27, Sthlm VA	32 28 28	
Gumshornsgatan 7, Sthlm Ö	60 78 33	c/o Taube
Värtavägen 23, Sthlm NO	61 46 45	c/o Boman
Banérgatan 49, Sthlm NO	62 21 84	c/o Wickman

Yngre kvinnliga

Namn	Född	Hemort
<i>Hammarberg, Karin</i>	1943	Stöde
<i>Hansson, Marianne</i>	1943	Göteborg
<i>von Heideken, Marianne</i>	1944	Kramfors
<i>Holm, Barbro</i>	1942	Göteborg
<i>Johansson, Barbro</i>	1943	Göteborg
<i>Jönsson, Margareth</i>	1944	Anderslöv
<i>Karlsson, Gun-Britt</i>	1944	Örebro
<i>Knutsson, Margareta</i>	1942	Växjö
<i>Kronqvist, Eva</i>	1943	Stockholm
<i>Lavass, Anita</i>	1940	Järfälla
<i>Lindbom, Eva</i>	1944	Stockholm
<i>Lindsjö, Christina</i>	1945	Malmö
<i>Lindström, Ulla</i>	1943	Huskvarna
<i>Malmerud, Ingrid</i>	1941	Boden
<i>Mellberg, Lisa</i>	1941	Stockholm
<i>Morin, Iréne</i>	1942	Uppsala
<i>Mortimer, Gun</i>	1943	Borås
<i>Myrberger, Ulla</i>	1941	Stockholm
<i>Måvestrand, Leni</i>	1944	Stockholm
<i>Nermo, Agneta</i>	1944	Emmaboda
<i>Nilson, Kristina</i>	1940	Stockholm
<i>Nilsson, Birgitta</i>	1943	Degerfors
<i>Nilsson, Carin</i>	1942	Malmö
<i>Nilsson, Ingrid</i>	1941	Uppsala
<i>Nilsson, Kajsa</i>	1943	Malmö

= 25 st.

kursen B

Kursföreståndare: Crispin

Bostad	Telefon	Anm.
Karlavägen 73, Sthlm Ö	62 01 91	c/o Kumlin
Observatoriegatan 5II, Sthlm VA	32 98 30	
S:t Eriksgatan 86, Sthlm VA	31 83 35	c/o Larson
Artillerigatan 63, Sthlm Ö	62 26 59	c/o Kjellberg
Hästhagsvägen 53, Danderyd 2	55 48 29	c/o K. Carlsson
Kommendörsgatan 5, Sthlm Ö	60 60 60	c/o Granat
Flyggränd 4, Solna 3	27 20 37	
Folkungavägen 28, Jakobsberg	0758/342 04	
Gjutargatan 4 AI, Sthlm K	51 46 71	
Veckovägen 47, Jakobsberg	0768/354 86	
Garvargatan 22, Sthlm K	53 13 37	c/o Grummecke
Villagatan 24, Sthlm Ö	21 39 06	c/o Tell
Sveavägen 96, Sthlm VA	30 99 89	c/o Claeson
Rum 341, Nybohovsbacken 43, Sthlm SV	18 09 20	
Tyskbagargatan 14, Sthlm Ö	60 94 22	c/o Hannu
Södermalmstorg 8, Sthlm SÖ	41 42 45	c/o KFUM Söder
Banérgatan 42, Sthlm NO	61 05 38	
Jungfrugatan 31, Sthlm Ö	62 41 13	
Norrtullsgatan 4, Sthlm	32 67 83	
David Bagares gata 22—24, Sthlm C	10 59 19	
Hästhagsvägen 13, Danderyd	55 31 59	c/o Neander
Södermalmstorg 8, Sthlm SÖ	41 42 45	c/o KFUM Söder
Vråkvägen 19, Lidingö	65 34 78	c/o Littorin
Riddargatan 43, Sthlm Ö	62 68 00	c/o Håkansson

Yngre kvinnliga

Namn	Född	Hemort
<i>Carlsson, Rigmor</i>	1940	Göteborg
<i>Nordlander, Gunlög</i>	1943	Stockholm
<i>Nygren, Elisabet</i>	1942	Ungranselse
<i>Ohlsson, Inga</i>	1943	Lidingö
<i>Olsson, Irmelin</i>	1942	Mölnadal
<i>Olsson, Ulla</i>	1943	Mariestad
<i>Paijkull, Gunilla</i>	1943	Nyköping
<i>Paulsson, Gunnel</i>	1943	Hälsingborg
<i>Pehrsson, Bodil</i>	1945	Ödåkra
<i>Pettersson, Kerstin</i>	1944	Örebro
<i>Quick, Monica</i>	1945	Falköping
<i>Reini, Birgit</i>	1941	Stockholm
<i>Rydell, Ewa</i>	1942	Göteborg
<i>Sahlin, Elisabeth</i>	1945	Malmö
<i>Sandberg, Sylvia</i>	1943	Stockholm
<i>Simonsson, Ulla</i>	1944	Gävle
<i>Stenson, Ulla</i>	1942	Hälsingborg
<i>Ström, Ann-Charlotte</i>	1944	Sigtuna
<i>Svensson, Kerstin</i>	1944	Landskrona
<i>Swedberg, Margaretha</i>	1942	Vegby
<i>Söderberg, Ulla</i>	1943	Göteborg
<i>Wadenmark, Lena</i>	1943	Vänersborg
<i>Welinder, Lena</i>	1943	Malmö
<i>Wiberg, Ingrid</i>	1944	Tyresö
<i>Willert, Ulla</i>	1944	Bromma

= 25 st.

kursen C

Kursföreståndare: Nilsson

Bostad	Telefon	Anm.
Tempus 2113, Bromma	37 43 37	
Tegnérgatan 28, Sthlm VA	30 46 80	
Sibyllegatan 65, Sthlm Ö	67 63 64	c/o Alfe
Norrstigen 45, Lidingö	65 33 00	
Alvkarleövägen 3, Hjorthagen	61 50 29	c/o Sidenvall
Grev Magnigatan 6, Sthlm Ö	67 57 11	c/o Sandberg
Rindögatan 42, Sthlm NO	67 76 00	c/o Lidvall
Drottningholmsvägen 2, Sthlm K	53 58 36	c/o Jönsson
Bellmansgatan 6, Sthlm	40 73 15	c/o Hellzén
Torsvägen 2, Stocksund	85 18 54	c/o Stenqvist
Nimrodsgatan 16, Sthlm NO	60 31 50	c/o Ekman
Rum 452, Öregrundsgat. 11, Sthlm NO	63 27 28	
Lanforsvägen 23, Sthlm NO	—	
Lerduvestigen 10, Lidingö	65 74 35	c/o Flodin
Grev Magnigatan 6, Sthlm Ö	67 57 11	
Hägerstigen 9, Lidingö	65 16 05	c/o Egberg
S. Kungsvägen 260 B, Lidingö	66 06 88	c/o Wallgren
Liljeholmsvägen 10, Sthlm SV	45 13 54	c/o Hällberg
Sibyllegatan 26, Sthlm Ö	60 54 30	c/o von Rosen
Armfeldtsgatan 7, Sthlm NO	60 05 96	c/o Sandahl
Kampementsgatan 16, Sthlm NO	60 11 33	c/o Aldin
Tempus 3204, Bromma	37 76 11	
Liljeholmsvägen 10, Sthlm SV	45 10 33	c/o Johansson
Alby sjöväg 8, Tyresö	770 05 43	
Ritarvägen 26, Bromma	26 37 21	

Yngre manliga

Namn	Född	Hemort
<i>Abrahamson, Jan</i>	1943	Norrköping
<i>Ahlström, Anders</i>	1944	Vedevåg
<i>Al Abdi, Abdul-Muttalib</i>	1939	Irak
<i>Albinsson, Per</i>	1943	Arjäng
<i>Aldén, Mats</i>	1943	Tived
<i>Anderberg, Thomas</i>		Uppsala
<i>Andersson, Bengt</i>	1942	Finspång
<i>Axelsten, Ove</i>	1940	Sundbyberg
<i>Bengtsson, Lars-Eric</i>	1942	Stockholm
<i>Björklund, Lars-Erik</i>	1940	Vårgårda
<i>Carlsson, Bengt</i>	1943	Stockholm
<i>Danielsson, Claes-Göran</i>	1940	Linköping
<i>Davidson, Kurt Ake</i>	1940	Stockholm
<i>Ekström, Roland</i>	1942	Nyköping
<i>Enfält, Olof</i>	1942	Gafsele
<i>Englund, Bertil</i>	1936	Vällingby
<i>Ericson, Sören</i>	1942	Södertälje
<i>Eriksson, Bertil</i>	1930	Boden
<i>Eriksson, Signar</i>	1943	Malmberget
<i>Erlandsson, Leif</i>	1942	Vetlanda
<i>Falk, Curt</i>	1941	Västerås
<i>Fors, Lars</i>	1938	Hälsingmo
<i>Friberg, Claes</i>	1941	Klinten
<i>Fridmark, Bengt</i>	1942	Nacka
<i>From, Jan</i>	1943	Lycksele
<i>Frölén, Per</i>	1941	Umeå
		Utländsk
<i>Nkongo, Timothy</i>	1936	Tanganyika

= 27 st.

kursen A

Kursföreståndare: Eriksson

Bostad	Telefon	Anm.
Ljusstöparbacken 5 C, Sthlm SV	18 55 39	
Majorsgatan 6, Sthlm Ö	—	c/o Emilsson
Västeråsgatan 6, Sthlm VA	33 17 39	
Wenströmsvägen 7, Sthlm NO	61 43 88	c/o Keyser
Odengatan 80—82, Sthlm VA	31 78 54	c/o Lundgren
Villavägen 25, Stocksund	85 43 53	
Rindögatan 5, Sthlm NO	61 53 81	c/o Kruse
Starrbäcksgatan 8, Sundbyberg	—	
Mölnbovägen 15, Bandhagen	47 40 68	
Näckrovsvägen 22, Solna	27 72 70	c/o Holmqvist
Skebokvarnsvägen 261, Bandhagen	47 66 69	
Snickarbacken 2, KFUM, Sthlm C	—	
Lindhagensplan 45, Sthlm K	53 05 04	
Bältgatan 2, Sthlm Ö	61 91 75	c/o Grönstedt
Palmbladsvägen 1, Sthlm K	53 72 27	c/o Pihl
Lyckselevägen 64, Vällingby	38 14 00	
Heleneborgsgatan 48 t.h., Sthlm SV	69 24 47	c/o Lind
Kruthornsvägen 56 A, Sollentuna	96 21 49	
Tulegatan 23, Sthlm VA	31 03 52	c/o Fjellberg
Götgatan 92, Sthlm SÖ	40 16 94	c/o Larsson
Skeppargatan 39 ö. g., Sthlm Ö	61 52 70	
Grev Turegatan 54, Sthlm Ö	62 57 04	c/o Winkler
Trädgårdsvägen 5 B, Klinten	715 32 23	
Hägervägen 5, Ektorp	716 12 62	
Apelbergsgatan 36, Sthlm C	10 40 84	c/o Schager
Skeppargatan 107, Sthlm NO	62 73 67	c/o Gröndahl
		medborgare
Sturevägen 36, Lidingö	65 53 85	c/o Fell

Yngre manliga

Namn	Född	Hemort
<i>Gillisson, Per Inge</i>	1941	Skara
<i>Grahn, Klas-Gösta</i>	1942	Örnsköldsvik
<i>Grenmäs, Torsten</i>	1941	Finspång
<i>Grönbladh, Lars</i>	1940	Östersund
<i>Hagberg, Bo</i>	1941	Visby
<i>Holm, Per-Anders</i>	1942	Jönköping
<i>Holmgren, Bertil</i>	1944	Gävle
<i>Holmstrand, Bo</i>	1944	Sörberge
<i>Horwath, Endre</i>	1938	Ungern
<i>Högrelius, Björn</i>	1941	Vällingby
<i>Israelsson, Göran</i>	1943	Charlottenberg
<i>Johansson, Arne</i>	1943	Stockholm
<i>Johansson, Kaj</i>	1942	Nora
<i>Johansson, Kjell</i>	1934	Solna
<i>Johansson, Lars-Erik</i>	1941	Karlskoga
<i>Johansson, Sven-Olof</i>	1943	Linköping
<i>Johnson, Kenneth</i>	1933	Stockholm
<i>Jägestedt, Rutger</i>	1944	Sigtuna
<i>Jönsson, Tommy</i>	1943	Hälsingborg
<i>von Krusenstierna, Michael</i>	1943	Mariefred
<i>Källerus, Matts</i>	1943	Örebro
<i>Larson, Bo</i>	1942	Malmö
<i>Levin, Rolf</i>	1941	Bromma
<i>Librand, Leif</i>	1941	Göteborg
<i>Lindau, Ake</i>	1939	Johanneshov
<i>Lundberg, Tomas</i>	1940	Norsjö
<i>Månsson, Jan</i>	1942	Skurup
Utländsk		
<i>Remeileh, Azmi</i>	1936	Jordanien

= 28 st.

kursen B

Kursföreståndare: Briandt

Bostad	Telefon	Anm.
Tulegatan 43, Sthlm VA	31 12 92	
Sturegatan 60, Sthlm Ö	60 01 22	c/o Wallenius
Kommendörsgatan 39, Sthlm Ö	62 89 96	c/o Ablad
Eriksbergsgatan 19, Sthlm Ö	10 62 04	c/o Rengman
—	—	V.t. 1965
KFUM:s studenthem, Vidängsväg. 9, Alvik	26 32 40	
Regeringsgatan 13, Sthlm C	21 83 24	
Regnstigen 8 A, Solna	27 30 66	c/o Göransson
Månadsvägen 48, Jakobsberg	0758/322 27	c/o Moldrich
Härjedalsgatan 16, Vällingby	87 45 14	
Manhemsvägen 20, Sollentuna	35 00 99	c/o Malmkvist
Kungsholmsstrand 21, Sthlm K	53 11 97	
Hammarvägen 2, Lidingö	65 37 16	
Råsundavägen 135, Solna	82 57 61	
Hornsgatan 106 ^{IV} t.v., Sthlm SV	—	c/o Hjorth
Norlindsvägen 18, Bromma	37 33 56	
Flintbacken 16, Sthlm SV	68 67 38	
Idrottsvägen 10, Enebyberg	—	c/o Åkerman
Tomtebogatan 28, Sthlm VA	30 08 06	c/o Lindquist
Linkälla, Mariefred	0159/104 55	
Virebergsvägen 18, Solna	82 89 31	c/o Eriksson
Västerled 8, Bromma	—	
Tranebergsvägen 22, Bromma	25 52 24	
Skeppargatan 54, Sthlm Ö	—	c/o Wall
Finn Malmgrens väg 52, Johanneshov	59 91 27	
Björnstigen 3, Solna	85 10 38	
Sveavägen 80, Sthlm VA	30 69 22	c/o Lagerkvist
medborgare		
Ny gård, Täby		

Yngre manliga

Namn	Född	Hemort
Norberg, Bernt	1942	Eskilstuna
Nyqvist, Bertil	1941	Göteborg
Näås, Krister	1942	Göteborg
Ohlson, Bengt	1943	Leksand
Pettersson, Hans Erik	1941	Mjölby
Pikwer, Tönis	1943	Olofström
Polhammer, Stig	1940	Vårgårda
Pops, Ado	1943	Stockholm
Pops, Tönis	1943	Stockholm
Sandberg, Rolf	1945	Enebyberg
Sjölin, Anders	1942	Landskrona
Sjöstrand, Ingemar	1942	Nykil
Sundin, Håkan	1942	Falun
Svanström, Krister	1942	Stockholm
Swane, Erik	1942	Stockholm
Söderholm, Sture	1941	Långsele
Thelénius, Leif	1944	Enköping
Tideström, Lars	1942	Roslags Näsby
Timmerman, Allan	1942	Stockholm
Törnblad, Bo	1943	Trånghalla
Ulin, Stig	1939	Sollefteå
Waldvik, Anders	1943	Stockholm
Wanjura, Bernt Ulf	1928	Enköping
Wiklund, Gunnar	1942	Bromma
		Utländsk
Pavlatos, Denis	1935	Grekland

= 25 st.

kursen C

Kursföreståndare: Dunberger

Bostad	Telefon	Anm.
Jerum A 306, Studentbacken 21, Sthlm NO	63 82 43	
Erik Dahlbergsgatan 25, Sthlm NO	61 76 21	c/o Isakson
Skeppargatan 54, Sthlm Ö	—	c/o Wall
Rålambsvägen 67, Sthlm K	51 49 89	
Östermalmsgatan 65, Sthlm Ö	67 40 45	c/o Cederin
Östermalmsgatan 82, Sthlm Ö	60 88 95	c/o Olsson
Smedvägen 9, Kallhäll	0758/564 27	
Valla torg 89, Johanneshov	91 69 62	
Valla torg 89, Johanneshov	91 69 62	
Centralvägen 31, Enebyberg	58 12 40	
Fyrverkarbacken 21, Sthlm K	—	c/o Hellström
Sturegatan 60, Sthlm Ö	—	c/o Wallenius
Källängsvägen 6, Lidingö	65 79 49	c/o Carpelan
Jungfrugatan 31, Sthlm Ö	67 77 25	
Eslövsvägen 1, Johanneshov	—	
Ringvägen 7 C, Lidingö	—	c/o Fredin
Skaldevägen 14, Bromma	25 46 70	c/o Bergdahl
Konvaljevägen 6, Roslags Näsby	—	
Bergsundsgatan 11, Sthlm SV	68 20 59	
Rådmansgatan 67, Sthlm VA	—	
Johannesbäcksgatan 86 C, Uppsala	—	
Ringvägen 2, Sthlm SÖ	68 40 87	
Korsängsgatan 29, Enköping	0171/352 29	
Mårdvägen 42, Bromma	25 38 11	
		medborgare
Magelugnsvägen 31, Älvsjö	47 89 24	c/o Birksjö

Table I. Mean values, standard error of the means and standard deviations of the measurements on 16 male and 16 female test subjects

Measure	♂		♀	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.
Weight, kg.....	70.94 ± 1.53	6.12	56.74 ± 1.46	5.82
FFW, kg.....	64.76 ± 1.39	5.56	45.94 ± 1.00	4.02
H, cm.....	178.8 ± 1.63	6.54	164.1 ± 1.58	6.31
T, cm.....	27.66 ± 0.34	1.34	24.18 ± 0.37	1.50
F, cm.....	19.78 ± 0.25	0.99	17.32 ± 0.14	0.57
R, cm.....	12.14 ± 0.15	0.60	10.40 ± 0.13	0.50

of the thorax (*T*), femoral condylar breadth (*F*) and bistyloid radioulnar breadth (*R*). The measures *H* and *T* were taken strictly according to the technique described by Martin (5). The measurements for *F* and *R* were taken with a spreading caliper.¹ The caliper ends were firmly pressed against the bone surfaces. These measurements were taken on both right and left sides the values for the two sides being added in each case to give the measures *F* and *R*.

All determinations were made in the morning on two different days and if the results differed the mean between these two determinations was used in the statistical treatment.

In the statistical treatment of the data the method of partial regression analysis as presented by Bonnier and Tedin (6) is followed.

Results and Discussion

The means of the different measures with the standard error of the mean and standard deviation are given in table I.

In the regression analysis the relationship between fat-free weight and

¹ Manufactured by ABA-werk, Aschaffenberg, Germany. Cat. n:o 108.

anthropologic measures is assumed to have the mathematical form

$$FFW = k \cdot x_1^{b_1} \cdot x_2^{b_2} \cdot \dots \cdot x_n^{b_n}$$

where *k* is a constant and $x_1 \dots x_n$ are the anthropologic measures in question. The calculations were made on the data transcribed to logarithmic form. The results of the calculation of the relationship between *FFW* and one single measure are given in table II.

The transverse diameter of the thorax was apparently somewhat inferior in value to the other measurements. Since this measure is much more difficult to determine accurately than the others, it is not included in the following calculations, which are intended to arrive at a method as simple as possible for determining fat-free body weight.

By means of partial regression analysis the values of the exponents b_1 , b_2 and b_3 in the equation

$$FFW = k \cdot x_1^{b_1} \cdot x_2^{b_2} \cdot x_3^{b_3}$$

were determined. In this formula $x_1 = H$, $x_2 = F$ and $x_3 = R$. The result is given in table III.

The sum of the exponents is not significantly different from the value 3 which is to be expected on dimensional grounds.

In order to arrive at a practical formula

Table II. Regression coefficient (*b*) and correlation coefficient (*r*) for different measures (*x*) in the regression equation $FFW = k \cdot x^b$

x	b	r
H.....	3.19	0.94
T.....	1.91	0.85
F.....	2.28	0.90
R.....	1.89	0.90

Table III. Values of b_1 , b_2 and b_3 in the regression equation $FFW = k \cdot H^{b_1} \cdot F^{b_2} \cdot R^{b_3}$

$$\begin{aligned} b_1 &= 1.55 \pm 0.093 \\ b_2 &= 0.59 \pm 0.075 \\ b_3 &= 0.72 \pm 0.047 \\ b_1 + b_2 + b_3 &= 2.86 \pm 0.128 \end{aligned}$$

for the relationship between *FFW* and the three measurements *H*, *F* and *R*, the relationship found by partial regression analysis is approximated to the form

$$FFW = k \cdot x^b$$

where $x = H^2 \cdot F \cdot R$ (*H* in metres, *F* and *R* in decimetres).

The regression analysis gave the following result:

Regression equation:	$FFW = 15.1 \cdot x^{0.712}$
Regression coefficient:	0.712 ± 0.026
Correlation coefficient:	0.980 ± 0.011
Standard deviation from regression line:	$\pm 4.0 \%$

The actual figures for determined *FFW* as a function of the value predicted by this formula are plotted in fig. 1.

The values for *FFW* predicted from different values of the product $H^2 \cdot F \cdot R$ are tabulated in table IV.

One of the practical applications of the value for fat-free body weight is the estimation of that total body weight which can be considered as normal. The ordinary tables based on height alone may, in individual cases, be very misleading indeed. This and earlier studies

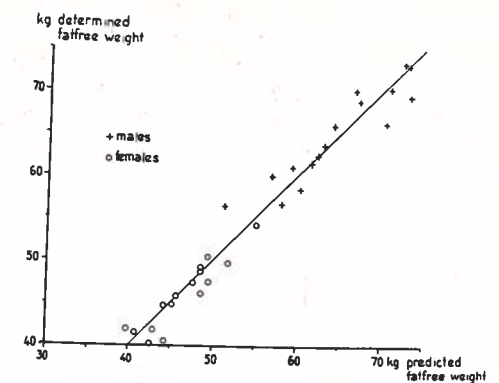


Fig. 1. Fat-free weight determined from body density in relation to fat-free weight predicted from anthropologic measurements.

(3) indicate that values for fat content of about 10 % for young men and of about 20 % for young women are normal mean values. Table IV contains these values ± 2 times the standard deviation for the anthropometric method (95 % confidence limit). The difference between an individual's weight and the value given in the table may therefore be designated over- or underweight.

Several functions of the organism, e. g. standard metabolic rate, may be related to fat-free body weight. It has earlier been found (3) that standard metabolic rate (expressed as ml O_2 /min) when calculated from the formula

$$\text{Metabolic rate} = 17.5 \cdot FFW^{2/3}$$

is the same for both sexes. The values given in the last column of table IV are derived from this equation.

In this study the test subjects are young individuals. It is obvious that the results cannot be applied on subjects with a senile hypotrophy of the soft tissues. The age at which this hypotrophy reaches appreciable values is not known. Until our knowledge of the influence of age on gross body composition has been improved, it is certainly wise to apply

Table IV. Fat-free weight, normal weight (95 % confidence limit) and standard oxygen consumption at different values of the product $H^2 \cdot F \cdot R$ (H = height in metres, F = sum of right and left femoral condylar breadth in decimetres, R = sum of right and left radioulnar bistyloid breadth in decimetres)

$H^2 \cdot F \cdot R$	Fat-free weight, kg	Normal weight, kg		Standard oxygen consumption (ml O_2 /min)
		♂ (10 % fat)	♀ (20 % fat)	
3.0	33.2	—	38.0—44.6	180
3.5	36.8	—	42.3—49.7	194
4.0	40.5	—	46.6—54.6	207
4.5	44.1	45.1—52.9	50.7—59.5	218
5.0	47.5	48.6—57.0	54.6—64.2	230
5.5	50.8	51.9—60.9	58.4—68.6	240
6.0	54.1	55.3—64.9	62.2—73.0	250
6.5	57.3	58.5—68.8	65.9—77.3	260
7.0	60.4	61.7—72.5	69.5—81.5	269
7.5	63.4	64.8—76.0	—	278
8.0	66.4	67.9—79.7	—	287
8.5	69.3	70.8—83.2	—	295
9.0	72.2	73.8—86.6	—	303
9.5	75.0	76.6—90.0	—	311
10.0	77.8	79.5—93.3	—	319

the results given here on older subjects with some cautiousness. It is also obvious that application of the data to children is not justified.

Summary

1) Body density, weight, height (H), transverse diameter of thorax (T), femoral condylar breadth (F) and bistyloid radioulnar breadth (R) have been determined on 16 male and 16 female young healthy people.

2) The value for fat-free weight (FFW) is calculated from body density and weight.

3) It is shown that fat-free weight can be predicted from anthropologic measurements by the formula:

$$FFW = 15.1 \cdot (H^2 \cdot F \cdot R)^{0.712}$$

with a standard deviation of $\pm 4\%$.

4) A table of fat-free weight, normal weight and standard metabolic rate as a function of the product $H^2 \cdot F \cdot R$ is given.

Acknowledgements

For the precise measurements on which this study is based I am greatly indebted to Miss Shirley Burton, B. A. and Mr. Lennart Kaderud.

References

1. BEHNKE, A. R., FEEN, B. G. and WELHAM, W. C.: J. A. M. A. 118: 495, 1942.
2. BEHNKE, A. R. and SIRI, W. E.: U. S. Naval Radiological Laboratory Report USNRDL — TR — 203, 1958.
3. VON DÖBELN, W.: Acta Physiol. Scand. suppl. 126, 1956.
4. KEYS, A. and BROŽEK, J.: Physiol. Rev. 33: 245, 1953.
5. MARTIN, R.: Lehrbuch der Anthropologie I. 3 Aufl. von K. Saller, Stuttgart, 1957.
6. BONNIER, G. och TEDIN, O.: Biologisk variationsanalys. Stockholm, 1940.

Anthropometric Determination of Fat-Free Body Weight

By

WILHELM VON DÖBELN

Since Behnke, Feen and Welham in 1942 (1) improved the methods for determination of human body density and showed that lean body weight can be calculated from the figure for density, the value of this method for studies of gross body composition has been confirmed in several investigations. However, the technical difficulties connected with the density determination has limited the use of these measurements to a few laboratories. In a recent study, Behnke and Siri (2) showed that lean body weight can be estimated from anthropologic measurements. The correlation coefficient between this estimation and lean body weight as computed from combined measurements of density and total body water was found to be approximately 0.9 with a coefficient of variation of $\pm 6\%$ of body weight. Behnke and Siri used only male subjects

Submitted for publication January 7, 1959.

in their investigation. The object of the study which shall be presented here is to investigate the accuracy by which the fat-free body weight as determined from density determination can be estimated from some easily determined anthropologic measurements in a material of young healthy men and women.

Material and Methods

Sixteen male and sixteen female students of physical education at the age of 19—33 years were examined.

The density was determined by hydrostatic weighing according to a method earlier described in detail (3). From the value for density the fat-free body weight (FFW) was calculated according to the formula given by Keys and Brožek (4).

The anthropologic measurements taken were height (H), transverse diameter

ACTA PHYSIOLOGICA SCANDINAVICA

VOL. 37 SUPPLEMENTUM 126

HUMAN
STANDARD AND MAXIMAL
METABOLIC RATE IN RELATION TO
FATFREE BODY MASS

By

WILHELM VON DÖBELN

STOCKHOLM 1956

W. DÖBELN. HUMAN STANDARD AND MAXIMAL METABOLIC RATE IN RELATION TO FATFREE BODY MASS

ACTA PHYSIOLOGICA SCANDINAVICA

VOL. 37. SUPPLEMENTUM 126.

FROM THE DEPARTMENT OF PHYSIOLOGY

KUNGLIGA GYMNASSTISKA CENTRALINSTITUTET, STOCKHOLM

HUMAN
STANDARD AND MAXIMAL
METABOLIC RATE IN RELATION TO
FATFREE BODY MASS

By

WILHELM VON DÖBELN

STOCKHOLM 1956

PREFACE

During the past decade the question of gross body composition has been subject to an increasing interest. The study presented here was started because of the fundamental importance of data in this respect. The task was on a human material to analyse the relationship between energy metabolism and an anthropometric measure of body size not including the variable amount of fat. In order to obtain the required data the density of a number of male and female subjects was measured by hydrostatic weighing and the fat content was calculated from the density value. The standard oxygen consumption was determined on the same subjects.

The influence of body size on standard metabolic rate has been investigated in comparative studies of the animal kingdom. Earlier it has not been possible to apply the results of these studies on comparison between individuals or groups within the human species. All data of human standard metabolic rate indicate a difference between the sexes. In this study the standard metabolic rate of males and females was compared with respect to the size of the fatfree body mass. This made it possible to apply data from other species on the material and in the analysis of the influence of body size, it appeared that the difference in standard oxygen consumption between the sexes is due to difference in fat content and body size.

The maximal energy production was also determined. This was made by testing the pulse reaction of the subjects during submaximal work and extrapolating the values to express maximal oxygen consumption. Concerning the maximal energy production there are very few comparative data from other species. Therefore the influence of body size on this function was estimated by a dimensional analysis. Because the circulation is of fundamental importance for the level of maximal

power of an organism, and dimensionally correct formulas can be used for estimating the work of the heart, the influence of size was analysed for this function. In this way the influence of size on maximal energy production could be predicted and the estimation thus obtained was applied on the experimental data. For sake of simplicity it appeared necessary to use other units than those conventional in physiological work and the MKS unit system proved to be very suitable.

For a comparative purpose and for a dimensional analysis quantitative anatomical data were often required. The data that can be found in literature, however, are very meager. It is hoped that this work may show the need for further quantitative anatomical investigations. Fundamental physiological questions can be treated only against an adequate anatomical background. If more data of this type could be obtained, a more complete dimensional analysis of the energetic characteristics of animal life seems to be an interesting field for further studies.

CONTENTS

PREFACE	3
CHAPTER I Density of the Human Body	7
CHAPTER II Interpretation of the Value for Body Density	22
CHAPTER III Body Size and Standard Metabolic Rate . .	38
CHAPTER IV Body Size and Maximal Metabolic Rate . .	49
CHAPTER V Relation Between Maximal and Standard Metabolic Rate	59
SUMMARY	65
ACKNOWLEDGEMENTS	67
APPENDIX	69
Data on Test Subjects	70
List of Units	72
List of Symbols	73
REFERENCES	74

Chapter I

DENSITY OF THE HUMAN BODY

Method

The concept of weight per unit volume was first used by ARCHIMEDES in his investigation on floating bodies. According to VITRUVIUS, this investigation was initiated by the need of a method for determining the proportion of silver mixed in a crown of King Hiero supposed to be made of pure gold. ARCHIMEDES determined the weight per volume of the crown, pure silver and pure gold. The incentive, which led to the discovery of the method, is known from the following story told by VITRUVIUS.

“Archimedes made many and various wonderful discoveries. *Archimedes' discovery*
Of all these the one which I will explain seems to be worked out with infinite skill. Hiero was greatly exalted in the regal power at Syracuse, and after his victories he determined to set up in a certain temple a crown vowed to the immortal gods. He let out the execution as far as the craftsman's wages were concerned, and weighed the gold out to the contractor to an exact amount. At the appointed time the man presented the work finely wrought for the King's acceptance, and appeared to have furnished the weight of the crown to scale.

However, information was laid that gold had been withdrawn, and that the same amount of silver had been added in the making of the crown. Hiero was indignant that he had been made light of, and failing to find a method by which he might detect the theft, asked Archimedes to undertake the investigation. While Archimedes was considering the matter, he happened to go to the baths. When he went down into the bathing pool he observed that the amount of water which flowed outside the pool was equal to the amount of his body

that was immersed. Since this fact indicated the method of explaining the case, he did not linger, but moved with delight he leapt out of the pool, and going home naked, cried aloud that he had found exactly what he was seeking. For as he ran he shouted in Greek: 'Heureka, heureka.'

Then, following up his discovery, he is said to have taken two masses of the same weight as the crown, one of gold and the other of silver. When he had done this, he filled a large vessel to the brim with water, into which he dropped the mass of silver. The amount of this when let down into the water corresponded to the overflow water. So he removed the metal and filled in by measure the amount by which the water was diminished, so that it was level with the brim as before. In this way he discovered what weight of silver corresponded to a given measure of water.

After this experiment he then dropped a mass of gold in like manner into the full vessel and removed it. Again he added water by measure, and discovered that there was not so much water; and this corresponded to the lessened quantity of the same weight of gold compared with the same weight of silver. He then let down the crown itself into the vase after filling the vase with water, and found that more water flowed into the space left by the crown than into the space left by a mass of gold of the same weight. And so from the fact that there was more water in the case of the crown than in the mass of gold, he calculated and detected the mixture of the silver with the gold, and the fraud of the contractor."

*Variants of
Archimedes'
method*

There exist two variants of the method of ARCHIMEDES for determining density, D , which can be used on living test subjects. The first variant consists of weighing and volume determination independent of each other; the second one of hydrostatic weighing. Both procedures have been used in measurements on human test subjects, and from a physiological point of view they are equal. Therefore either alternative may be chosen which gives the highest accuracy.

Let us analyse the possibility of determining the density of a body which has the weight of 60 kg and the volume of 54 to 60 l. The desired accuracy is ± 1 kg/m³. If the method of independent determination of weight and volume is used, the density is calculated from the formula:

$$D = \frac{M}{V}$$

where M equals mass and V equals volume.

In order to obtain the desired accuracy the errors in M and V must not exceed .03 kilograms or liters respectively. If the volume is determined by submersion of the test subject in a water tank, the diameter of the tank must be about 60 cm in order to allow for fat test subjects. With this diameter the displacement of the level of the water surface created by the submersion of the subject must be read with an accuracy of $\pm .1$ mm. Since it is not possible to read the level of the water surface with such a degree of accuracy, this method is not considered practicable. Another procedure for volume determination has been used by KOHLRAUSCH. He placed the test subjects in an air-tight tank and the air space was reduced by a known quantity of water. The pressure in the tank was read before and after a 10 % reduction in the volume. The pressure in the tank can be increased, at most, by .1 bar. If the pressure is increased more than this, the test subject may be caused severe ear pains. Under these circumstances the pressure has to be read within .05 mm Hg and the temperature within .01° C in order to obtain the desired accuracy. If the volume of the air space in the tank of KOHLRAUSCH is determined through introduction of a foreign inert gas, this must, after complete mixing, be determined within .005 % of the concentration. The technical difficulties connected with the volume determination independent of the weighing are apparently too big to make them a proper basis for determining the density of the human body.

*Accuracy of
volume de-
termination*

The other variant of the method of ARCHIMEDES is hydrostatic weighing. In this case D is determined from the formula

Hydrostatic
weighing

$$D = \frac{M_a}{M_a - M_w} \cdot Q + \left(1 - \frac{M_a}{M_a - M_w}\right) \cdot 1.2 \cdot 10^{-6}$$

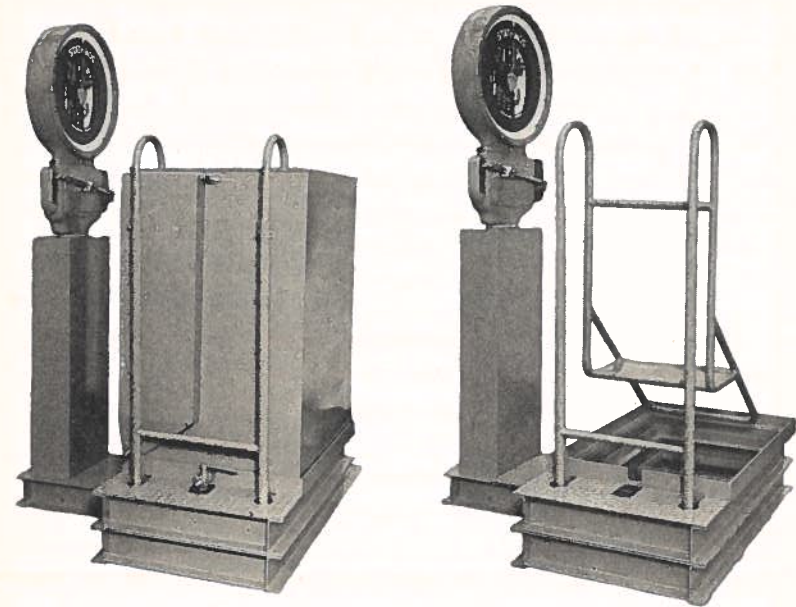
where M_a = weight in air
 M_w = weight in water
 Q = density of water
 $1.2 \cdot 10^{-6}$ = density of air

The second term, which is the correction for the influence of the air on the weighing, may be eliminated since it will be too small to affect the first place digit. Q is 994 at the temperature of 35° C and must consequently be taken into account, which means that the temperature of the water has to be

determined within $\pm 1^\circ$ C. In the quotient $\frac{M_a}{M_a - M_w}$ the value of M_w is the critical number. If the error in M_a is less than .1 kg, it is required that the error in M_w does not exceed .04 kg if D shall be determined within ± 1 unit. Apparently there are no technical difficulties in making a hydrostatic weighing with this accuracy. Consequently this method has been used and a weighing device for human test subjects, as shown on the figure below, has been constructed.

The main parts of the apparatus are a water tank, a pendulum balance, and a chair in the tank connected by a system of levers with the pendulum balance. This is equipped with an adjustable damping and a taring device. The capacity of the balance is 20 kg, and it has a maximum error of 10 g. The tank has a brim outlet which enables the water level to be kept constant. The height of the chair can be adjusted so that when the subject is sitting upright the water level will be at his neck.

A hydrostatic weighing is performed in the following way. The tank is filled with tap water the night before the experiment in order to let the excess of dissolved gases escape. If



Device for hydrostatic weighing shown with and without watertank.

this is not done small gas bubbles will appear on the skin of the test subject and will affect the result of the under-water weighing. By means of an electrical heater the water is warmed so that by the following morning it will be 30° to 35° C. A lead plate weighing 12 kg is placed on the chair, and before the experiment the chair and the lead plate are tared together. The test subject must have fasted 12 hours before the experiment, and immediately before the experiment, the subject must empty his bowels and bladder. After weighing in air, the test subject is placed on the chair in the water tank with the lead plate in a position across his thighs. No part of the subject must touch the walls of the tank. A clip is placed over the subject's nose to keep water from entering his nasal passage. He is directed to make a maximal expiration and immediately after to lean forward so that all the head is

Weighing
procedure

covered by water. At this moment the balance is read as soon as the pointer is stabilized. After the reading a signal is given to the subject to lift his head above the surface of the water.

The procedure is repeated a number of times. It appears that the weight in the water is increased the first three or four times, and then remains constant. The reason for this is that maximal expiration is not obtained until after three or four attempts. In the calculation of density that value is used which after a number of measurements has shown to be constant.

*Calculation
of density
and volume*

If in the formula $D = \frac{M_a}{M_a - M_w} \cdot Q$

D is substituted by $\frac{M_a}{V}$, the equation may be solved with respect to V , and will then be

$$V = \frac{M_a - M_w}{Q}$$

In this way the volumes of the bodies of the test subjects are calculated from the value obtained through hydrostatic weighing.

This volume, however, includes the gas filled spaces in the body, and the volume of the tissues of the body will be the total volume minus the volumes of these spaces. One part of the total gas filled spaces in the body, namely the residual volume of the lungs, may be experimentally determined.

Residual air In this connection, only that residual volume is of interest which exists under the experimental conditions in hydrostatic weighing. BROŽEK et al. have shown that this is less than residual volume measured under normal conditions. In our measurements we have used a simplified procedure with hydrogen-air mixtures. A rubber bladder of the same type as used in a narcosis apparatus is emptied of air and the connecting rubber tubes are closed by forceps. Then through one of the tubes 2 l of air and .35 l of hydrogen of room temperature are forced into the bladder. A sample from the mixture is

taken. The other tube of the bladder is connected with a mouthpiece, the volume of which is .05 l. This is made while the test subject is being weighed in the water tank. When constant reading of the balance in the hydrostatic weighing has been obtained, the residual air is determined. The test subject is again asked to make a maximal expiration. The mouthpiece with attached rubber bladder is put into the mouth of the test subject. After this the connection between the mouthpiece and the bladder is opened and the test subject inhales all the gas content of the bladder. He is asked to exhale rapidly and, in this way, he rebreathes the content of the bladder three times. This takes a period of about 10 seconds. After the last expiration the bladder is sealed and the mouthpiece taken away from the mouth of the test subject. A new sample of the content is taken.

After some further hydrostatic weighings, being made with the purpose to insure that maximal expiration is kept constant, the determination of residual air is repeated. The second determination is made after an interval of at least five minutes, and during this time at least three maximal expirations have been made. This guarantees that no hydrogen is left in the lungs of the test subject. After the second determination of residual air, the experiment is completed. The gas samples from the bladders are analyzed through combustion of hydrogen in an apparatus for gas analyses. From the concentration of hydrogen in the bladder before mixing with the air of the lungs, the residual air is calculated with correction for the dead space in the mouthpiece. The residual air in the lungs is corrected to body temperature and pressure and saturation with water vapor.

One condition for a correct determination of residual air is that the gas mixture in the bladder is completely mixed with the air in the lungs. This condition is investigated by GROLLMAN and HOHWÜ CHRISTENSEN for acetylene in a similar device. They have both found that three respirations are enough

for complete mixing of gas. RAHN, FENN, and OTIS obtained the same results in a method for determining residual air by means of dilution with pure oxygen from a spirometer. LINDHARD and BIRATH have shown that diffusion of hydrogen in the blood of the lungs is not rapid enough to make an error of importance for the method. Consequently there are reasons to believe that the used method will give an accurate value for the residual air of the lungs.

*Error in
value for
residual air*

The error of the method has been determined through statistical analyses of the double determinations. In 121 double determinations the difference between the first and the second determinations is between +.20 and -.23 l with a mean difference of zero. The standard deviation, S.D. or σ , is determined from the formula

$$\sigma^2 = \frac{S(d - \bar{d})^2}{2(n - 1)}$$

It is .059 l for one determination, and consequently the S.D. of the mean of two determinations is .042 l. Using the method of LINDHARD, ÅSTRAND obtained the corresponding S.D. of .055 and .039. Consequently, the values for residual air obtained in the modified method are as reproducible as in the original method. The lack of difference between the first and second determination proves that there is no influence of the first determination on the second, and that the wanted uniformity in maximal expiration during the experiment has been obtained. If the error in the determination of residual air was the only one in the determination of density, the error in this value for a test subject weighing 63 kg with a volume of .06 m³ ($D = 1.050$) would be .7.

*Error in
value for
density*

Hydrostatic weighing was made on every test subject on two different days. On the basis of the double values obtained in this way, the error for the method was determined and found to be 1.1 (error in $V = .065$ l) for one determination, and .8 (error in $V = .046$ l) for the mean of two determinations. The error in one determination, 1.1, is due to the error in deter-

mination of residual air, .7 units of density, and of other errors, for instance in the reading of the balance, variations in the volume of the body, and so on. The size of the errors other than that of the residual air can be calculated from the relationship

$$\sigma_{\text{total}}^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 \dots$$

It will be .9 corresponding to an error in volume determination of about .05 l. Considering that an error in the determination of residual air of the obtained size is impossible to avoid, the total error apparently cannot be very much reduced by attempts to eliminate the other causes of error. In spite of this, it seems worthwhile to discuss what these errors are. It may be thought that there are systematical errors in the determination with a variance of the calculated size. There is reason to believe that the most important source of error is the volume of the gas filled spaces in the body other than the lungs.

The part of the body, except for the lungs, which contains the largest amount of gas, is probably the gastro-intestinal channel. The conditions under which the weighing procedure is performed have been chosen with the intention of making these gas volumes as small as possible. The investigation is made under fasting conditions in the morning and after the test subject has been asked to empty his bowels. Still the intestinal channel cannot be made completely free of gas in this way. Therefore, experiments have been made with the purpose to determine the volume of the intestinal gases.

*Influence of
abdominal
gases*

When a subject is exposed to low barometric pressure, all the gases in the body expand, which results in eructations and voiding of flatus. This may easily be brought about experimentally through exposition to a barometric pressure of .25 bar, corresponding to an altitude of about 10 000 m. If the volume is determined through hydrostatic weighing before and after exposition to the low barometric pressure the volume of the voided gases could be calculated. A number of experi-

ments of this type, however, did not give the expected results. No statistically significant reduction in the volume was observed, and in some experiments the volume had even increased in connection with the test. The explanation for this is probably that the test subject had swallowed air, in his attempt to equalize the pressure in the middle ears, during the period when the low barometric pressure was raised to normal.

Some experiments of another type were also made with the purpose to determine the volume of the intestinal gases. A test subject was placed in a water tank on a chair suspended from a balance of the steelyard type. The whole apparatus was placed in the low pressure chamber. A hydrostatic weighing was performed after maximal expiration, and after that the pressure in the chamber was reduced to approximately .6 bar. Then another hydrostatic weighing was performed. However, it was impossible to obtain reproducible results under these conditions. The steelyard balance was not damped, which resulted in too long a delay before the balance could be read.

The consequence of this was too big a stress on the test subject under low barometric pressure, even though he was allowed to breathe oxygen before the weighing. There are reasons to believe the experiment could be performed successfully with a better weighing device in the low pressure chamber, but this was impossible for us to arrange.

The determinations of the gases of the gastro-intestinal channel found in literature do not permit a satisfactory conclusion regarding this question. The values found by ROITH on two executed subjects are not applicable because they had probably not been fasting. BLAIR et al. tried to determine the gas volume in the abdomen in the following way. A test subject was enclosed in an air-tight chamber, and the subject was directed to make a forced expiration with an open glottis and a maximal contraction of the abdominal muscles. The reduction of the pressure in the chamber during this experiment

was registered. The same experiment was repeated after the subject had swallowed a carbonated fluid containing a known quantity of carbon dioxide. From the pressure changes in the chamber the compression of the abdomen was calculated. The observed changes in pressure in the chamber which were read after 5 to 10 seconds in an expiratory position corresponded to volume changes of .1 to .2 l. The calculations resulted in the conclusion that the normal amount of gas in the abdomen was in the order of size of one liter.

In the experiments of BLAIR et al., the chamber was kept at room temperature. The expired air, however, has a temperature of 37° C and is saturated with water. When about three liters of air is expired, as occurs in maximal expiration, this comes in contact with the steel walls of the chamber and must rapidly cool down. A fall of temperature of the expired air to 27° C would reduce the volume about .1 l. This explains most of the reduction of pressure in the chamber in the experiment before intake of a carbonated fluid. Consequently the amount of gas in the abdomen is overestimated through this source of error, and the experiments are not considered reliable because no attention has been paid to the temperature conditions.

KEYS and BROŽEK criticized these experiments from other points of view. They made X-ray investigations of the gas content in the abdomen which were, however, not described in detail. Their conclusion was that .05 to .1 l gas in the gastro-intestinal channel is about the upper limit for gas content of a normal test subject who had been instructed to void flatus. Perhaps our own unsuccessful experiments for measuring the gas content of the abdomen confirm the supposition of KEYS and BROŽEK; if larger amounts of gas had existed in the abdomen they should have been detectable even with our unsatisfactory technique. Recently MARSHALL et al. found the normal average abdominal gas volume to be 115 ml. The volume of gas in our experiments must apparently be lower than this value.

*Amount of
abdominal
gases*

The result of these considerations is that because of the small amount of gas in the abdomen there will always be a systematical error in the measurement of density. This is of the order of size that the density value will be influenced by one to two units. Because this error is so minute and the value so approximate, there is no reason to make an adjustment for this source of error. Still it seems probable that this error is the main reason for the variations in density, due to other reasons than the uncertainty of the measurements of residual air.

Material

Using the technique as described in the previous pages, the density has been determined on 35 male and 35 female test subjects. Of the male test subjects, 27 were in the age range of 19 to 30 years, and 8 in the age range of 31 to 40 years. Of the female test subjects, 34 were in the age range of 19 to 30 years, and one was 35 years. Most subjects were students at a school of physical education, and the remainder were employed by this school. All subjects were in a good state of health. In the following table the mean height and weight are given and compared to the corresponding values for a normal Swedish population in the 20 year age groups, as determined by BROMAN et al.

<i>Anthropological characteristics</i>	Own values		BROMAN's values	
	♂	♀	♂	♀
Height cm	177.9 ± 1.2	169.4 ± .7	178.2	166.5
S.D. of height . cm	6.9 . .	4.0 . .	6.0	5.1
Weight kg	69.3 ± 1.4	62.3 ± 1.2	67.2	59.4
S.D. of weight . kg	8.5 . .	6.9 . .	7.5	6.1

It appears that the differences with respect to height and weight between our test subjects and those of BROMAN are small. The significance of the differences cannot be calculated

because BROMAN did not give the number of test subjects. Probably the difference is statistically significant only for the height of the women.

The difference between the sexes in our material, with respect to height, is 8.5 ± 1.39 cm, and with respect to weight, 7.0 ± 1.84 kg. In both cases the difference is statistically significant with *p* value of less than .001. In anthropological characterization there is often reason to give a measure on the relationship between height and weight. In our material we have used the ratio height over cubic root of weight. We have used this ratio not because it is superior to other indexes, but because it is used by SHELDON in his studies on the human physique, and consequently exists in larger modern investigations.

In the following table the values of height over cubic root of weight are given. For comparison the corresponding values have been calculated from height and weight means of 20 year old subjects as determined by BROMAN et al. Because of the method of calculation there may be an error in the second decimal in the values based on BROMAN's data.

<u>Height</u> $\sqrt[3]{\text{Weight}}$	<i>Ponderal index</i>	
	♂, <i>n</i>	♀, <i>n</i>
40.00—40.99	1	4
41.00—41.99	3	7
42.00—42.99	9	8
43.00—43.99	11	6
44.00—44.99	8	9
45.00—45.99	2	1
46.00—46.99	1	—
Total number of subjects .	35	35
Mean	$43.37 \pm .21$	$42.78 \pm .24$
S.D.	1.21	1.40
Mean from BROMAN's values	43.83	42.54

From the table it can be seen that there is no major disagreement between our values of ponderal index and those calculated from BROMAN's figures.

The difference between the sexes with respect to the used ponderal index is $.59 \pm .32$, and the probability of the difference is $0.05 < p < .1$. The difference of the means of the sexes is approximately equal to .1 of the total observed range of variation.

From the comparison with the data of BROMAN et al. we may conclude that our material may be considered as normal from an anthropological point of view. In the division of the material in sexes, it shows that as in normal material the males are taller and heavier than the women, but the difference in body constitution as measured with a ponderal index is small and not statistically significant.

In the following table the result of the measurements of density is given.

Density of test subjects	Density	♂, n	♀, n
	1 020—1 029	1	3
	1 030—1 039	—	6
	1 040—1 049	1	10
	1 050—1 059	1	11
	1 060—1 069	8	4
	1 070—1 079	14	1
	1 080—1 089	9	—
	1 090—1 099	1	—
	Total number of subjects	35	35
	Mean	1 072 \pm 2	1 048 \pm 2
	S.D.	12	12

For the whole material the mean density is $1 060 \pm 2$, S.D. ± 17 . The range of density in the material is 62 units, if cal-

culated as the difference between the highest and lowest value, and if calculated as $\pm 3 \cdot \text{S.D.}$, is 102 units. Because, as is earlier mentioned, the error of the method measured as S.D. of a single determination is 1.1 units of density, this is very small as compared with the range. This means that the method is very useful for characterization of an individual with respect to density.

The difference between the mean values for density of the male and female subjects is 24 ± 3 with a p value of less than .001. The difference is more than one third of the total range for density. In comparison with the corresponding values for ponderal index this indicates that density determination is a measure of a biological quality, which is different from that one expressed by ponderal index. Also, if the individual values for density and ponderal index are plotted against each other no correlation appears.

Chapter II

INTERPRETATION OF THE VALUE FOR BODY DENSITY

Measurements of human body density, or "specific gravity," have been undertaken since the middle of the 18th Century, and older investigations are summarized by BOYD, 1933. All these measurements were influenced by the unknown quantities of gases in the body, especially in the lungs. Therefore, there did not exist any possibility of utilizing the method of ARCHIMEDES to determine the composition of the body with respect to various components with different densities. No other conclusion from the older measurements could be drawn than "that obesity tends to decrease specific gravity" (BOYD). The first measurements of the volume of the lungs in connection with determination of total body volume were made by BEHNKE et al., 1942. After measurements on 99 male test subjects in the age range of 20 to 40 years, BEHNKE arrived at the conclusion that "Excess fat... is viewed as the prime factor governing the level of specific gravity."

*Concept of
lean body
mass*

BEHNKE's interpretation of his data is based on the opinion that the organism consists of a "lean body mass" of uniform composition and of a variable amount of "adipose tissue." Since these two masses have different values of density, the relationship between "lean body mass" and "adipose tissue" may be calculated from the gross body density. Later on the concept of "lean body mass" is criticized by KEYS and BROŽEK. Therefore, a discussion of the reality behind the idea of a "lean body mass" and the possibility of computing the amount of body fat from the value of gross body density seems necessary.

The gross body composition with respect to the different tissues has been known since the fundamental anatomical

INTERPRETATION OF THE VALUE FOR BODY DENSITY

studies of BISCHOFF, 1863, and VON LIEBIG, 1874. Unfortunately, the data of BISCHOFF and VON LIEBIG have been overlooked in modern discussions on the same question. One recent study on the body composition is published by FORBES et al. in 1953. Except for these publications, we were not able to find any appropriate studies on human corpses which can be considered as normal.

*Anatomical
data of body
composition*

BISCHOFF, VON LIEBIG, and FORBES et al. have all studied corpses of persons in the 20 to 40 year age range, who had died through execution, accident (head injury) or suicide by hanging. BISCHOFF and VON LIEBIG made their dissections within a very short interval after death, while FORBES et al. kept the corpse at -18°C for one month before dissection. All of the investigations seem to have been made with a good anatomical technique. The various body organs and tissues were weighed, and attention was paid to the possible source of error by evaporation.

In the tables on the following page those values are extracted from the publications which pertain to the question of the composition of that part of the body which is liberated of adipose tissue. Apparently the data of BISCHOFF, VON LIEBIG and FORBES et al. support BEHNKE's concept of a "lean body mass" of approximately uniform composition. For the following discussion we define "lean body mass" (L.B.M.) as the total mass of the body minus the mass of adipose tissue. This does not mean that L.B.M. is entirely free of fat. It contains fat, for instance, in the central nervous system and especially in the bone marrow. This type of fat BEHNKE labels as "essential lipoids."

*Definition
of L.B.M.*

Fat tissue has an important characteristic which makes it differ from "essential lipoids." This characteristic is that if fat is added to or taken away from fat tissue, both weight and volume change. If fat, on the other hand, is taken away from the bone marrow, another substance must be added because the volume is anatomically determined. If fat from the bone

Body composition of corpses dissected by

		BISCHOFF		VON LIEBIG		FORBES
		I ♂	II ♀	I ♂	II ♂	I ♂
(a) Total . . .	kg	69.67	55.40	55.75	76.51	53.80
(b) Skeleton . . .	kg	11.08	8.39	11.46	13.94	9.46
(c) Muscle . . .	kg	29.10	19.85	23.06	32.19	21.39
(d) Skin . . .	kg	4.85	3.18	3.52	4.23	3.41
(e) Fat tissue . . .	kg	12.57	15.67	6.16	11.03	6.12
(f) C.N.S. . . .	kg	1.70	1.61	1.73	1.76	1.61
(g) Liver . . .	kg	1.60	1.25	1.72	2.18	1.26
(h) a — e . . .	kg	57.10	39.73	49.59	65.48	47.58
b/h	%	19.4	21.1	23.1	21.3	19.9
c/h	%	51.0	50.0	46.5	49.2	45.0
d/h	%	8.5	8.0	7.1	6.5	7.2
f/h	%	3.0	4.1	3.5	2.7	3.4
g/h	%	2.8	3.1	3.5	3.3	2.6
e/a	%	18.0	28.3	11.0	14.4	11.4

Mean composition of human body liberated of adipose tissue

Tissue	%
Skeleton	21.0
Muscle	48.3
Skin	7.5
C.N.S. and big nerves	3.3
Liver	3.1
Other organs, tissues and body fluids	16.8

marrow is used, the total body weight will increase. In emaciation the fat from the yellow bone marrow is used by the body, and is substituted by a gelatinous substance which is poor of fat. It is not known at what stage of emaciation this phenomena appears.

Now the L.B.M. is composed of soft tissues, including body fluids (blood) and skeleton. In order to determine the density of L.B.M., knowledge of the densities of the components is required. The heaviest components of L.B.M. are muscles, skin, blood, liver, nervous tissue, and skeleton. As is seen from the preceding table, muscles make up about 48 % of L.B.M., the skin about 8 % and the liver and nervous tissue each about 3 %. The blood volume is determined by SJÖSTRAND on 172 subjects with a mean weight of 70 kg to 5.25 l. We estimate this to be about 9 % of L.B.M. Finally, the skeleton makes up about 21 %.

Of the measurements found in literature on the density of muscle tissue, the value given by NADESHDIN seems trustworthy. He determined the specific gravity of different tissues in experiments where samples of tissues were floated in benzene-chloroform mixtures. His material consisted of 200 cases for forensic autopsy. For striated muscle tissue and heart muscle tissue NADESHDIN found a specific gravity of 1.049 at 11.5° R on samples from young, healthy subjects. From this figure the density at 37° C is computed, assuming that the coefficient of cubical expansion for the tissue is the same as that of water, and the density of muscle tissue will then be 1.043.

Density of different tissues

Only one value for the density of the skin is found in literature. In the year 1832 SCHÜBLER and KAPFF determined the specific gravity of "allgemeine Bedeckung ohne Fett" to 1.057 which, computed to normal skin temperature of 30° C, will be a density of 1.053. The density of blood at body temperature is about 1.052. This figure is obtained through re-computation of the value given by VAN SLYKE et al. The density of liver tissue, calculated from the determinations of NADESHDIN, is

1 059 and for nervous tissue is 1 035. The remaining parts of L.B.M. consist of different organs. According to the measurements of NADESHDIN the values of density for these organs cannot differ very much from that of muscle tissue.

On the basis of the density figures and the figures for the composition of L.B.M. previously stated, we can estimate that L.B.M. contains 56 % tissue with the density 1 043, 8 % with the density 1 053, 9 % with the density 1 052, 3 % with the density 1 059, and 3 % with the density 1 035. Now the density of all the soft tissues together may be computed. We denote the combined density of all the soft tissues as D_s . Because the total volume equals the sum of the volumes of the components, we may write:

$$D_s = \frac{79}{1\ 043} + \frac{8}{1\ 053} + \frac{9}{1\ 052} + \frac{3}{1\ 059} + \frac{3}{1\ 035}$$

$$D_s = 1\ 045$$

The main inaccuracy in this computation is due to the unreliability of the value for the density of the skin. According to FORBES et al. the skin contains 57.71 % water, while the water content of muscle tissue is 70.09 %. Supposing that the density of the skin is the same as that of muscle tissue dried to 57.71 % water content, we would obtain a value for density of 1 068. If in the computation above 1 068 is inserted instead of 1 053, D_s would be 1 047. Another inaccuracy is due to normal variations in the water content of the body. It is known that body weight measured under standard conditions may vary from one day to another up to .5 kg. The main reason for this must be variances in water content. This influences the density of the soft tissues of L.B.M. with .5 units. Consequently, we can estimate the density of the soft tissues of L.B.M. to 1 045 with a possible range of variation of about 2 units.

Determinations of the density of the whole skeleton are not to be found in literature. For parts of the skeleton there are single measurements. SCHÜBLER and KAPFF have found the

specific gravity of caput femoris to be 1.267; of the diaphys of the femur, 1.791; of the temperal bone, 1.613; and of the sphenoid bone, 1.501. KRAUSE and FISCHER determined the specific gravity of the spongy substance of the long bones to be 1.21 to 1.24, and that of the compact substance to be 1.90 to 1.96. FORBES et al. determined "density by water displacement" of tibia to be 1.25 and of ulna to be 1.30. Apparently it is impossible from these values to calculate the value for density of the whole skeleton.

Density of skeleton

Neither is the chemical composition of the whole skeleton known exactly enough. FORBES et al. examined the composition of bones with respect to water, ether extract, protein, and ash, but the analysis was made on "representative portions" without stating which and how big these portions were. However, their analysis showed that the quotient protein/water differs significantly from the same quotient for other tissues. Consequently a calculation of the density from the chemical composition using the densities of other tissues must contain large errors. Because the analysis of FORBES et al. may still give an indication of the probable density of the entire skeleton, their figures for the chemical composition of tibia, ulna, and the whole skeleton are quoted in the following table.

	Tibia	Ulna	Representative portions of total skeleton
Water %	11.92 . .	15.76 . .	28.17
Ether extract . . . %	49.12 . .	19.91 . .	25.04
Protein %	15.56 . .	22.25 . .	19.71
Ash %	30.47 . .	42.22 . .	26.62

From the table it is seen that ulna contains less water and ether extract than the entire skeleton. The density of ulna, therefore, must be the upper limit for the density of the entire

skeleton. Tibia, however, has, with a slightly higher ash content, a double percentage of ether extract than the entire skeleton. The density of tibia consequently must be a lower limit for the density of the whole skeleton. The consequence of this is that the density of the whole skeleton must be somewhere between 1.25 and 1.30, or, if calculated as kg/m³, between 1 250 and 1 300.

Density of L.B.M. If we now calculate the density of L.B.M. from the data of body composition and density of different tissues, we can apparently just obtain limiting values. A calculation of these limits has been made and the result is given in the following table.

		Lower limit	Upper limit
Skeleton	% of L.B.M.	19	23
Soft tissues and body fluids	% of L.B.M.	81	77
Skeleton	density	1 250	1 300
Soft tissues and body fluids	density	1 043	1 047
L.B.M.	density	1 077	1 093

The consequence of the figures given in the preceding table is that it is not justified to give a figure for the density of L.B.M. more accurate than in the third digit. But we must take into consideration that the inaccuracy of a value for the density of L.B.M. does not reflect true variations. There are reasons to believe that the density values of the different components of the body are biologically determined within very narrow limits. Consequently we may state fixed values for the density of the skeleton and the soft tissues, and calculate the range of variation of the density of L.B.M. due to variations in the relationship between skeleton and soft tissues. Supposing the density of the skeleton is 1 280, and that of the

soft tissues and body fluids is 1 045, we have a density of L.B.M. of 1 091 at 23 % skeleton, and of 1 083 at 19 % skeleton. Whatever the value for the density of L.B.M. is, the range of variation between different individuals will be limited to the order of size of about 10 density units.

KEYS and BROŽEK, in their criticism of BEHNKE, have expressed the opinion that "A major obstacle to the use of the concept of the 'lean body mass' or even of the 'fat-free mass' is the fact that the composition of the body, apart from fat, is not independent of the amount of fat in it." Let us now investigate the fact on which KEYS and BROŽEK support their conclusion.

BEHNKE, in one experiment on a test subject who was put on a restricted diet for seven months and lost 9 kg of weight, found that the lost tissue had a specific gravity of .94. KEYS et al. studied ten men, who during a period of six months gained weight by simply over-eating, and found that the density of the gained tissue was .9478 kg/l. Because the density of pure fat is .9000 kg/l at 37° C, according to the very exact determinations by FIDANZA et al. it is evident that the added tissue must contain something more than pure fat.

Variable tissue

Unfortunately the detailed experimental data of this investigation are not yet published, but the result is given in the summarizing paper of KEYS and BROŽEK, 1953. There it is stated that the ten subjects together gained 114.41 kg in weight and 120.71 l in volume. In order to determine the accuracy of the calculated value of density of gained tissue, we must know the S.D. of the volume determination. This is given by KEYS and BROŽEK for the technique used in their laboratory to ±.061 l. Supposing that the real value for the volume will be within ±3 · S.D., the added error valid for the sum of 20 determinations will be ±3 · .06√20 = ±.8 l. The density of the "gained tissue" will then be within the limits .954 and .942 kg/l. This calculation is based on the assumption that only

one determination is made before and one after the period of weight gain, which is certainly not true. On the other hand, it has been supposed that the error in volume determination is the single error in the experiment, which is not true either.

In an attempt to make a closer determination of the composition of the gained tissue, KEYS et al. determined thiocyanate space on their ten test subjects. They found that 16.01 kg of the weight increase was extra-cellular fluid, computed from the assumption that this is 70 % of thiocyanate space. The figure 16.01 can not possibly be very exact. KEYS and BROŽEK have given the S.D. for thiocyanate space as 1.58 % of body weight. The error in the sum of 20 determinations will be ± 11.1 kg of extra-cellular fluid. If the increase in extra-cellular fluid as percentage of total weight increase is computed, including this error, it will be between 23.8 % and 3.4 %.

In order to use a value of extra-cellular fluid for analysis of the composition of a tissue with a certain density, knowledge is required of the density of cellular matter as separated from extra-cellular fluid. KEYS and BROŽEK assumed this value to be about 1.057 kg/l. Because there does not exist a method for separating the cells from the extra-cellular fluid and then determining their density, there is no direct method for determining the validity of this assumption. The determination of thiocyanate space implies that the investigation is extended by a quite inaccurate method, and that a new unknown factor has been introduced in the calculation.

Density of adipose tissue The question is now if the gained tissue of KEYS and BROŽEK with the density of 948 differs from adipose tissue in anatomical sense. In the literature just one measurement is found of the density of adipose tissue. SCHÜBLER and KAPFF have given the specific gravity of adipose tissue to be .971. Correcting their value to density at 37° C, and using the coefficient of cubical expansion for pure human fat given by FIDANZA et al. we obtain a value of density of 957, which is reasonably close to the value given for gained tissue by KEYS and BROŽEK.

A theoretical computation of the density of adipose tissue can be founded on the analysis of its chemical composition made by FORBES et al. They have found that it contains 23.02 % water, 71.57 % ether extract, 5.85 % protein, and .20 % ash. Supposing that fat tissue is composed of pure fat plus tissue with the same quotient protein/water as muscle tissue, plus excess extra-cellular fluid, the fat tissue of FORBES may be calculated to 72 % fat, 24 % tissue, and 4 % excess fluid. The density of fat is 900, the density of the tissue cannot differ very much from 1 043, and the density of excess fluid is, as given by KEYS and BROŽEK for extra-cellular fluid, 1 002. Calculating the density of all the adipose tissue from these values, we obtain a figure of 936.

The given values of the density of adipose tissue are of course both inaccurate and differ somewhat from the density of gained tissue, as found by KEYS et al., but in opposite directions. Until something else has been shown the simplest interpretation of the experiment of KEYS et al. must be accepted. That is that gained tissue does not differ significantly from adipose tissue in an anatomical sense. One small difference possibly exists, and that depends on the fact that in gaining weight the surface area of the skin increases, but the weight gain of the skin must be very small in comparison to the weight gain of the adipose tissue. Assuming that adipose tissue is composed of fat with the density of 900, and connecting tissue with the density of 1 043, and that the adipose tissue has a density of between 954 and 952, it may be calculated that this adipose tissue contains between 59 % and 67 % pure fat. The consequence of the analysis of the over-feeding experiments of KEYS et al. is that the part of the body changing through simple over-eating is adipose tissue, and the L.B.M., if the definition which has been stated previously is used, remains essentially unchanged. These experiments seem to be the best experimental support for the original idea of BEHNKE.

Variable tissue equals adipose tissue

Because the use of the concept of L.B.M. is well supported by the anatomical and physiological data hitherto known, we have put down in a general form the relationship between L.B.M., the adipose tissue, and the density of the total body.

$$\frac{1}{D} = \frac{a}{D_a} + \frac{1-a}{D_b}$$

- where D = total body density
- D_a = density of adipose tissue
- D_b = density of L.B.M.
- a = fraction of adipose tissue of the body
- $1 - a$ = fraction of L.B.M. of the body

If solved with respect to the fraction of adipose tissue of the body, the equation will be:

$$a = \frac{D_a \cdot D_b}{D(D_b - D_a)} - \frac{D_a}{D_b - D_a}$$

If we now designate the fraction of skeleton of the L.B.M. as s , the fat fraction of the skeleton as f_s , and the fat fraction of adipose tissue as f_a , we may compute the added fat fraction of the total body (f) from the formula:

Formula for
fat content
from density

$$f = f_a \left[\frac{D_a \cdot D_b}{D(D_b - D_a)} - \frac{D_a}{D_b - D_a} \right] + s \cdot f_s \left[1 - \frac{D_a \cdot D_b}{D(D_b - D_a)} + \frac{D_a}{D_b - D_a} \right]$$

It is earlier stated that there are reasons to suppose that an individual variation of D_b between 1 091 and 1 083 exists, depending on the variation of s . If we accept the values of KEYS and BROŽEK for D_a and f_a (948 and .62 respectively) and for f_s the value .25 given by FORBES et al., we may by introducing these values in the general formula obtain two different values for f . These values are the limits between which f , at a certain value of D , may vary, depending on individual variances in s .

We obtain for $s = .23$ ($D_b = 1\ 091$)

$$f = \frac{4\ 068}{D} - 3.672$$

and for $s = .19$ ($D_b = 1\ 083$)

$$f = \frac{4\ 354}{D} - 3.973$$

For exemplifying what this means, we may compute the value of f at the density values of 1 072 and 1 048, which are the mean densities for our male and female test subjects.

s	f at density 1 072	f at density 1 048	Inaccuracy of fat determination
.23	.123	.210	
.19	.089	.182	

The inaccuracy of the determination of f as a function of D is impossible to avoid without having a method for measuring the amount of bone within the body. Possibly there are small individual variations in other points also, for instance, in the value of f_s , but there is no doubt that the relative weight of the bones is the main one. Against this background, hitherto published and used formulas for the fat content as a function of D are too precise. It should be sufficient to use a formula where the values of the constants are rounded off, for instance

$$f = \frac{4\ 400}{D} - 4$$

As a substitute for the concept of L.B.M., KEYS and BROŽEK proposed the use of a "reference body" for judging the meaning of a density value found on a test subject. This "reference body" is computed on the basis of an investigation by BROŽEK on 25 healthy men in the age range of 23 to 29 years. The mean values of these were: with respect to height, 176.5 cm, weight, 70.60 kg, and density, 1.0629 kg/l. This "reference man" is supposed to have a fraction of fat of 14 % of the total body

Reference body

weight. This assumption they consider to be supported by the following calculation. In such a reference body, the amount of bone mineral is supposed to be 6 % and the amount of extra-cellular fluid, 16 % of total body weight. With a fat content of 14 % the density of the remaining tissue, "cellular matter," will be 1.057 kg/l. But as earlier stated, this value is not only unknown, but even with known methods is impossible to verify directly. The calculation apparently belongs to the group of considerations which KEYS and BROŽEK denote as "very rough armchair computations."

From the assumptions mentioned above and from their measurements of the composition of "gained tissue," KEYS and BROŽEK derived a formula for the fat content of the body. Transcribed to the MKS unit system, the formula is:

$$f = \frac{4\,201}{D} - 3.813$$

In this formula the presumption of a certain value of density for the fat free body is implicit for the range of fat content in which the formula is used. This is evident if we write:

$$\frac{1}{D} = \frac{f}{.62 \cdot 947.8} + \frac{1 - \frac{f}{.62}}{D_c}$$

where D_c equals the density of the fat free body. If the values for D and f , from the suggested reference body, are inserted, we obtain

$$D_c = 1\,102$$

If the equation is written to express f as a function of D , with this value of D_c used as a constant, we obtain the formula as given by KEYS and BROŽEK. D_c is not, of course, the density of L.B.M. in the reference body. Supposing that the 14 % of fat is distributed on adipose tissue and fat of the skeleton which, according to FORBES et al., is 25 % of the weight of the skele-

ton, we may compute the fraction of fat tissue in the reference body. Using the mean value of 21 % for the fraction of skeleton of the L.B.M., it may be computed from the following formula:

$$.62 \cdot a + .21 \cdot .25(1 - a) = .14$$

$$a = .1542$$

Now the density of L.B.M. may be computed:

$$\frac{1}{1062.9} = \frac{.1542}{948} + \frac{1 - .1542}{D_b}$$

$$D_b = 1\,087$$

If now L.B.M. contains 21 % of skeleton and the remaining tissues have a density of 1 045, the density of the skeleton will be 1 280. This value indicates that the assumption of 14 % fat in the body of the reference man, as calculated by KEYS and BROŽEK, can not be very much in error.

The first published formula for computing fat content was given by RATHBUN and PACE. Having shown that fat content of guinea pigs could be calculated from the specific gravity of the carcass, they gave the following formula for humans:

$$\% \text{ fat} = 100 \left(\frac{5.548}{\text{sp. gr.}} - 5.044 \right)$$

In all there are five alternative formulas:

$$(1) \quad f = \frac{4\,068}{D} - 3.672$$

$$(2) \quad f = \frac{4\,354}{D} - 3.973$$

$$(3) \quad f = \frac{4\,400}{D} - 4$$

$$(4) \quad f = \frac{4\,201}{D} - 3.813$$

$$(5) \quad f = \frac{5.548}{\text{sp. gr.}} - 5.044$$

*Alternative
formulas*

Formula (1) expresses the probable upper limit for the fat content at a given value of density, and formula (2) gives the lower limit for the fat content. Formula (3) is an approximation within those limits. Formula (4) is given by KEYS and BROŽEK, and formula (5) by RATHBUN and PACE.

In the following table the fat percentage for the density values 1 080, 1 060, and 1 040 using the five formulas is given.

D	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1 080 . .	9.5 . .	5.8 . .	7.4 . .	7.7 . .	11.5
1 060 . .	16.6 . .	13.5 . .	15.1 . .	15.0 . .	21.3
1 040 . .	23.9 . .	21.3 . .	23.0 . .	22.6 . .	31.3

In using Formula (5) the density values have been changed to express specific gravity at 30° C, because probably RATHBUN and PACE calculated their formula for this temperature of the water bath.

The formula of RATHBUN and PACE gives percentages of fat definitely outside the limits which are probable from the recent knowledge of the human body. Consequently this formula should not be used. Formulas (3) and (4) give both values in the middle range between the values calculated from the formulas (1) and (2). Because the difference in the values from formulas (3) and (4) is so minute, there is no reason to prefer one to the other. In order not to create confusion we have in the following calculated the values for fat content from formula (4), because this has been used in other studies. As follows from the previous discussion, this does not mean that we accept the derivation of the formula of KEYS and BROŽEK.

In the calculations we have used the formula in a slightly modified form. The total amount of fat in the body may be calculated if f is substituted by $\frac{F}{M}$, where M denotes the total

mass of the body in kilograms and F denotes the mass of fat in kilograms. Furthermore, D may be substituted by $\frac{M}{V}$, where V denotes total body volume in cubic metres. Then the formula will be:

$$F = 4\,201 \cdot V - 3.813 \cdot M$$

We have applied the method of computation of fat content on the obtained values for density of the test subjects. In the following table the distribution of fat content, as percentage of total body mass, is given.

Fat, %	♂, n	♀, n	Fat content of test subjects
0.0—4.9	1	—	
5.0—9.9	18	1	
10.0—14.9	12	4	
15.0—19.9	3	14	
20.0—24.9	—	13	
25.0—29.9	1	3	
Total number of subjects . .	35	35	

The mean percentage of fat content for male subjects is 10.6%, and for female test subjects, 20.3%. The error in the determination depends on two sources of error. The first one comes from the inaccuracy in density determination and will be about $\pm 0.6\%$. The second one comes from the normal variations in the composition of L.B.M. If we suppose that the mean density \pm S.D. is the density of the extremes of the five corpses dissected by BISCHOFF, VON LIEBIC, and FORBES et al. we can judge the error in fat percentage from this source. It will be in the order of size of 1.6%. Consequently, the total error will be $\pm 1.7\%$ of fat, computed from the relationship $\sigma_t^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$. Because the total observed range of fat content is 25%, the error is about one fifteenth of the range.

Error of the method

BODY SIZE AND STANDARD METABOLIC RATE

In the preceding chapter it has been shown that density determination enables computation of the amount of fat within the body. This makes it possible to use the fat free body mass, or L.B.M., as a parameter for a series of functions for which there is a priori reason to believe that the amount of fat or adipose tissue respectively does not influence the function in question. In studies of the so-called "hereditary obese-hyperglycemic syndrome" in mice, *MAYER et al.* have found that these fat mice, with the total body weight exceeding the double of the normal controls, have the same standard oxygen consumption as the controls. *BEHNKE* has presented convincing arguments for the supposition that L.B.M. would be a better parameter for standard metabolic rate in man than normal values based on total body weight.

MILLER and *BLYTH* investigated L.B.M. as a reference standard for metabolic rate, but their material does not include female test subjects. Because no direct experimental studies for a reference standard for metabolic rate based on fat determination, including female as well as male test subjects, can be found in literature, we have measured the standard metabolic rate on all the test subjects used in our investigations on human body density.

*Method for
metabolic
studies*

The following method was used for determination of the standard metabolic rate. The test subjects slept in the laboratory the night preceding the experiment. In the morning, before leaving their beds, the standard oxygen consumption was determined according to the method of *DOUGLAS*. The subjects breathed through a mouthpiece, valve and rubber tube for five minutes. After this period the tube was connected to a rubber bag and the expired air was collected until the bag

contained about 50 l. Immediately after that another bag was attached to the tube and a second sample of 50 l of expired air was collected. The volume of the air in the bags was determined by means of a spirometer. From each bag air samples were taken and analysed for their content of oxygen and carbon dioxide, according to the method of *HALDANE*. For each experiment the oxygen consumption was calculated as the mean of the result from the two determinations. The determination of the oxygen consumption was made on two different days. The mean of the results from these two experiments was used as the value for the standard oxygen consumption of the test subject.

Through the result of the gas analyses the carbon dioxide production and the respiratory quotient were calculated. This was done only to insure that there was no hyper-ventilation during the experiment. In the following we give all the metabolic rates as ml O₂/min.

The standard metabolic rate for the male test subjects was 269 ± 4.72 , S.D. 27.92, and for the female, 226 ± 3.32 , S.D. 19.64. The error of the method was calculated from the result of the double determinations, and was, for one determination, 13.5, and for the mean of two determinations, 9.5. For all test subjects we have compared the result with the standard value as given by *BOOTHBY et al.* Expressed as percentage of the value as denoted by the standard, we obtain for the male test subjects a mean value of $104.2 \pm 1.62\%$, S.D. 9.58 %, and for the female, $105.6 \pm 1.15\%$, S.D. 6.80 %.

*Metabolic
rate of test
subjects*

It is seen that our values for standard oxygen consumption are somewhat higher than the standard values according to *BOOTHBY*. The probable explanation for this is an anthropological difference between the Swedish and the American population. In *BROŽEK's* investigation the mean density of 25 men in the age range of 23 to 29 years was 1 063. The mean density for our male test subjects is 1 072. Consequently, our test subjects are leaner than those of *BROŽEK*. If *BROŽEK's* value is re-

representative for the American population, our test subjects must be leaner also than the test subjects of BOOTHBY et al. This might be the explanation of the difference between our values and the American standard.

Let us now compare the standard metabolic rate for the male and the female test subjects, using different parameters. Using kilogram body mass as parameter, we obtain for male subjects $3.91 \pm .071$ ml O₂/min/kg, and for the female subjects $3.65 \pm .055$ ml O₂/min/kg. This difference has a probability of $.001 < p < .01$. The mean body weight of the men is 70 kg, and of the females, 62 kg. Consequently the men have, at a greater body weight, a larger oxygen consumption per kilo than the women. Using the body surface calculated from the formula given by DU BOIS, the relationship between male and female will be the same. The oxygen consumption of the male is 144 ± 2.19 ml O₂/min/m², and for the female, 131 ± 1.73 ml O₂/min/m². The difference has a probability of $p < .001$.

Earlier BEHNKE as well as KEYS and BROŽEK, through estimations of the fat content of men and women in a normal population, drew the conclusion that the difference between the sexes with respect to the standard metabolic rate would disappear if L.B.M. or fat free body weight was used as parameter. There do not seem to exist any direct investigations on this question. An analysis of our material could possibly throw some light on the problem.

The first task would then be to decide whether L.B.M. or fat free body weight should be used as parameter. It seems to be clear a priori that the amount of fat within the body should be without influence on the oxygen consumption. The cellular matter of the adipose tissue, however, cannot be considered as metabolically inactive. Therefore, it seems most reasonable to calculate the standard oxygen consumption with the fat free body weight and not the L.B.M. as parameter.

In our material the total body weight minus the computed weight of the fat ($M - F$) is, for the male subjects, $61.76 \pm$

± 1.14 kg, and for the female, $49.98 \pm .81$ kg. In the following table the distribution of the individual values is shown.

$M - F$	δ, n	$\text{♀}, n$	Fatfree body mass of test subjects
35.00—39.99	—	1	
40.00—44.99	1	5	
45.00—49.99	—	9	
50.00—54.99	4	14	
55.00—59.99	6	6	
60.00—64.99	12	—	
65.00—69.99	8	—	
70.00—74.99	3	—	
75.00—79.99	1	—	
Total number of subjects		35	35

The standard oxygen consumption per kilogram ($M - F$) is, for the male subjects, $4.37 \pm .070$, S.D. .414, and for the female, $4.54 \pm .066$, S.D. .379 all values in ml O₂/min. The probability of the difference is $.05 < p < .1$.

In the following table the standard oxygen consumption of the male and female subjects is given for different parameters.

	Standard metabolic rate in ml O ₂ per minute per			Parameters for metabolic rate
	individual	M kg	body surface m ² ($M - F$)kg	
δ	269	3.91	144	4.37
♀	226	3.65	131	4.54
δ as % of ♀	119	107	110	96

As seen from the table, we have found that the standard metabolic rate is higher for the males than for the females, if weight or body surface is used as parameter. Using fat free body weight as parameter, the relationship between the males

and females is probably reversed. However, the values of all the parameters are higher for the males than for the females. Consequently we have to investigate whether the difference in metabolic rate is determined exclusively by the differences in body size, or if there is reason to believe that other factors cause a difference in metabolic rate.

*Body size
and meta-
bolic rate*

The problem in the relationship between body size and metabolic rate has been discussed for more than one hundred years. The most important contributions to the question come from comparative studies on the whole animal kingdom. Our special problem cannot be discussed without taking the fundamental data from the general biological studies into consideration.

The huge amount of literature in this field makes it impossible for us to give a complete quotation from all the studies on this question. More complete references are found in the interesting monographs by BRODY, KLEIBER, and HEMMINGSEN. Here just a short review of the most important studies made in the past is given.

SARRUS and RAMEAUX seem to have been the first to give a general formulation for the relationship between body size and metabolic rate. They draw, from the circumstance that the body temperature for homothermal animals is constant and the same for different species, the conclusion that the production of heat must be proportional to the area of the body surface from which the heat loss occurs. Their theory is an attempt to apply NEWTON's law of cooling on this physiological problem. Later studies by a long series of investigators, among which especially the names RICHEL, RUBNER, and VOIT must be mentioned, seem to support the theory which in literature often is called RUBNER's law, or surface area law.

*Surface
area law*

The main characteristic of this theory is that the prime factor is supposed to be the loss of heat to the surrounding. The production of heat must then be regulated so that body temperature may be maintained. The consequence of this as-

pect was that the area of the body surface must be measured or calculated as accurately as possible. Numerous attempts to determine the area of the body surface from simple biometric data have been made. The formula for surface area in man of DU BOIS is an example of these attempts.

Objections against this so-called surface area law appeared early in the discussion. When HOESSLIN made the experiment to keep similar dogs at different surrounding temperature, it appeared that these dogs maintained approximately the same standard metabolic rate, but the dog kept in a cold environment developed a protective fur. When, later on, it was shown through numerous investigations that also cold-blooded animals showed about the same relationship between body size and metabolic rate, the difficulties for the explanation of metabolic rate as governed by the heat loss were obvious.

HOESSLIN pointed out that in organisms a series of functions, for instance absorption of food, are surface functions, and consequently must be more proportional to surface area than to body weight. Later on, DREYER et al. showed that the sectional area of the aorta and the trachea of animals of different size are approximately proportional to $M^{2/3}$.

In his fundamental work *Respiratory Exchange of Animals and Man* KROGH opposes the more or less teleological character of the arguments for the surface area law. KROGH writes: "In the opinion of the writer the reasons against Rubner's view are very strong, and the line of inquiry initiated by Dreyer is much more likely ultimately to clear up the relationship between size and metabolism. The metabolism should not therefore be expressed per sq. m. or any other unit of surface but as a function of W^n . For warm-blooded animals n can be taken, at least provisionally, as $2/3$." In this quotation, W is used as the symbol for total body mass.

In later comparative studies, many investigators have used KROGH's system for designating metabolism and have calculated the value of n in the equation metabolism = $k \cdot M^n$.

These studies have given important results. It has appeared that the exponent n for adult warm-blooded animals is between .75 and .70, according to KLEIBER and BRODY. Furthermore, it has appeared that the same value of n is also valid for comparison between different cold-blooded animals with a minimum total body mass of about 1 mg (for data see HEMMINGSEN). In this case the value of k is different from that valid for warm-blooded animals. ZEUTHEN, who studied the marine microfauna, has found that $n = .95$ for small metazoa to organisms containing about 1 mg nitrogen. For protozoa he found that $n = .7$. HEMMINGSEN furthermore extended the comparison to plants and showed that the carbon dioxide production of the aerial leafless parts of beech trees followed the same function as the metabolism of cold-blooded animals.

BENEDICT, who contributed to the discussion with a large amount of carefully collected data of standard metabolism in different species, did not agree with the way of expressing metabolism as a function of M^n . His opinion is that "this method of presenting the data completely masks metabolic differences within the species and distorts or obscures striking differences between species." Further he writes that "... all attempts by mathematical means to secure a uniform expression of the basal metabolism findings on different animal species are utterly futile."

KROGH's and BENEDICT's views are not only different opinions in a question of matter, but they also represent two entirely different scientific ways of thinking. There does not seem to be any doubt about which is the most productive method if the purpose of science shall be something more than the collection of as many separate detailed data as possible.

Concerning the explanation of why the exponent is closer to $2/3$ than to 1, the discussion has not given any more definite results. One explanation is that the fact that big animals have a lower metabolic rate per unit of body mass than small animals is the result of natural selection. The empirically found relation-

ship between body size and metabolic rate is supposed to have a "survival value." KLEIBER gives this thesis the following formulation: "In natural selection, those animals prove to be better fit whose rate of oxygen consumption is regulated so as to permit the more efficient temperature regulation as well as the more efficient transport of oxygen and nutrients." It appears doubtful how this thesis can apply to standard metabolic rate, since this is a pure product of laboratory conditions. If we should go out into nature and try to find an animal under standard conditions, that is fasting during complete muscular relaxation, we would have to search for a long time. This behaviour in animals would mean a definite negative "survival value." Just under one condition, and that is during the period of sleep, the conditions approach those existing in metabolic experiments in the laboratory. When the climatic conditions make maintenance of body temperature difficult, different protective mechanisms are taken advantage of by various species. The migrating birds seek a warmer climate, and the hibernating animals lower their metabolism and body temperature. The large animals might have the problem of maintaining body temperature low enough, but the important thing is that they are able to maintain body temperature even though they have a higher metabolic rate than the standard. For the elephant, whose life is one continuous meal, body temperature must be maintained under the conditions of eating and searching for food, which includes muscular activity. It is characteristic that BENEDICT, in his study of the physiology of the elephant, found only one among sixty-three elephants which could be used for metabolic studies, and this one was adapted to the life in New York City. The remark of ZEUTHEN that "... the basal metabolism in mammals—as in other animals—is adapted to the needs of the species to a lesser extent than the species are adapted to the metabolism derived according to their body size and the phylogenetic history of their whole groups" contains a more important view of this problem.

Other scientists tried to solve the problem by studying energy output of tissues isolated from animals of different sizes. KREBS draws from his studies of tissue respirations the conclusion that "The characteristic differences in the basal rate of heat production in animals of different size are to be attributed mainly to variation in the Q_{O_2} of the musculature." Tissue respiration
 VON BERTALANFFY and PIROZYNSKY, however, could not confirm the conclusion of KREBS, but found in direct comparative studies of the tissue respiration of the musculature that this did not decrease with increasing body size to an extent which would explain the value for the exponent n . These authors, also discussing other possibilities for explaining the value of n , arrived at the conclusion that "none of the explanations proposed (decline of total metabolic rate as based upon decrease of the rate of tissue respiration, upon thermoregulation, upon decrease of Q_{O_2} of musculature, upon the relative decrease of 'metabolically active' organs, upon age) is consistent. It appears that the decline in basal metabolic rate depends on regulative factors lying in the organism as a whole."

These attempts to explain the value of n all have one thing in common, they presuppose a biological explanation for the deviation of the value of n from the figure 1. The value $n = 1$ seems to be considered as the most natural one. Already HOESSLIN has objected to this way of looking at the problem, and has written: "Diejenigen, die annehmen, das Natürlichste wäre, der Umsatz verhielte sich wie die Körpergewichte der verschiedenen Thiere und nicht wie die Querschnitte, müssen die Voraussetzung machen, es lasse sich im Körper leicht eine Einrichtung denken, welche bewirke, dass in der Zeiteinheit durch den physiologischen Querschnitt des Körpers eine Blutmenge ströme, die nicht proportional der Grösse des Querschnittes, sondern proportional der des Körpergewichtes selbst wäre. Es liesse sich dies jedoch überhaupt nur unter ganz gewaltigen morphologischen Aenderungen und vollkommenem Verzicht auf die Aehnlichkeit im Bau verschieden

grosser Thiere erreichen, bei grossen Gewichtsunterschieden aber ist es gänzlich unmöglich."

Later on LAMBERT and TEISSIER, and TEISSIER made a fundamental theoretical analysis of the problem. They originated from the hypothesis that the quotient between the times required for equivalent physiological events, for instance the time for a heart beat, in animals of different size equals the quotient between corresponding anatomical lengths. They found that the only relationship between the total energy output of animals of different size, which is consistent with the approximation that animals of different size are uniform, is the quotient of the respective masses raised to the power $2/3$.

Dimensional analysis

We may summarize the present knowledge of the relationship between body size and standard metabolic rate derived from comparative studies in the following way. With increases in body size, the standard metabolic rate per kilo body mass decreases. The influence of body size is best expressed by the relationship standard metabolic rate equals $k \cdot M^n$, where the value for n is between $2/3$ and $3/4$. There does not exist any generally accepted biological explanation for this empirically found value for n .

Let us now apply this relationship on our material and investigate what values for standard metabolic rate we obtain using $(M - F)^{2/3}$ and $(M - F)^{3/4}$ as parameters. The results of the computations are summarized in the following table.

Application on own material

Standard metabolic rate in ml O ₂ per minute per kg $(M - F)^n$	
	$n = 2/3$ $n = 3/4$
♂	17.57 ± .25 12.23 ± .18
♀	17.50 ± .22 11.95 ± .15

Using either value for n , the difference between the sexes is minute and in no case statistically significant. This means that we have failed to detect any difference between the sexes with

respect to standard metabolic rate except that one which depends upon differences in fat content and body size. Hitherto we have just argued from the means of the male and female subjects. Because of the conclusion stated above, we can now consider the material as one population with respect to metabolic rate. Through putting the values for $M - F$ and for determined metabolic rate in logarithmic form, we can now calculate the value of n in all of our material. This value will be the regression coefficient for the best straight regression line between $\log (M - F)$ and \log metabolic rate. We find then that $n = .70 \pm .06$ and the correlation coefficient is $.80 \pm .04$. As expected the value for n is significantly different from 1, but not from $2/3$ or $3/4$.

MILLER and BLYTH, in their study on 47 male and 1 female subjects, have found the best value for n in the relationship between L.B.M. and standard metabolic rate to be $.64 \pm .03$. However, they used a different formula for determining L.B.M. and actually did not measure the volume of residual air.

From our study and that of MILLER and BLYTH, we suggest that in future studies on the influence of body size on standard metabolic rate, the fat free body mass raised to the power $2/3$ be used as a reference standard.

BODY SIZE AND MAXIMAL METABOLIC RATE

In the study of the relationship between standard metabolic rate and fat free body mass we have shown that the latter is a good anthropological measure of body size. However, the study has been limited to oxygen consumption under resting condition. In the following we want to extend the investigation to maximal oxygen consumption in order to decide whether the density determination may result in a measure for body size which is also appropriate in this connection.

The maximal oxygen intake in normal man has been determined in an extensive study by ÅSTRAND. Later on ÅSTRAND and RYHMING, mainly on the basis of ÅSTRAND's material, elaborated a method for computing the maximal oxygen intake of an individual from the pulse rates at sub-maximal work. The method for the computation is given as a nomogram.

Our material is practically identical with that of ÅSTRAND; as he had done we used primarily students at the college of physical education as test subjects. Our subjects were all tested by means of sub-maximal work on a bicycle ergometer, following the same procedure as ÅSTRAND. Therefore we consider it to be justified to calculate the maximal oxygen intake from the nomogram.

The sub-maximal work test was performed in the following way. The test subject pedalled the bicycle ergometer keeping pace with a metronome set at 50 cycles per minute. The amount of work is determined by the break force applied on the fly wheel. The work was started at a low intensity which was increased at timed intervals. For each work intensity the work was performed for a period of six minutes. The pulse rate was taken at the end of each six minute period. The work intensity was increased until a pulse rate of at least 150 beats

*Determi-
nation of
maximal
metabolism*

per minute was reached. From the pulse rates at the different work intensities the maximal oxygen intake was computed by means of the afore-mentioned nomogram. The experiment was performed twice on separate days. The mean value of the maximal oxygen intake computed from these two experiments has been used as the value for maximal oxygen intake of a test subject.

Maximal oxygen consumption of test subjects The found mean values for maximal oxygen intake were, for the 35 male test subjects, $3.91 \pm .09$ l of oxygen per minute, and for 34 female test subjects, $3.06 \pm .09$ l. One of the female test subjects failed to perform the work test. The mean weight of the male test subjects was 69.3 kg, and that of the female subjects, 62.8 kg. Consequently the male test subjects have, at a 10 % higher body weight than the females, a 28 % higher maximal oxygen intake.

In ÅSTRAND's material, where the maximal oxygen intake was directly determined, the male test subjects had at a 17 % higher body weight than the females, a 42 % higher maximal oxygen intake.

Parameter for maximal metabolism Now we want to investigate whether a difference between the sexes remains if a measure of body size based on the density determinations is used as parameter. In the study of standard oxygen consumption we have used $M - F$ as a measure of body size. This measure does not contain the amount of fat in the body, but it contains the cellular matter of the adipose tissue. However, it is reasonable to suppose that this does not greatly influence the maximal oxygen intake. Consequently the complete mass of the adipose tissue should be subtracted from the total body mass if we want to have a parameter for the maximal oxygen intake. However, we do not know what percentage of the yellow bone marrow is cellular matter and body fluid under normal conditions. Therefore we have made the rough approximation that all the fat of the body is connected with cellular matter in the same ratio as the adipose tissue, or that all the fat in the body exists in tissue which contains 62 % of

pure fat. Consequently we have used $M - \frac{F}{.62}$ as parameter for maximal oxygen intake. Probably this value will be a little too low, but we do not believe a closer approximation is justified from the present knowledge of the composition of the skeleton.

The maximal oxygen intake, however, cannot be supposed to be a linear function of the parameter mentioned above. Our male test subjects have, at a body weight of 70 kg, a maximal oxygen intake of about 4 l per minute. If a mouse weighing 20 g would have the same maximal oxygen intake per unit body mass as a man, it would be only 1.14 ml of oxygen per minute. This is, however, just a little more than the double standard oxygen intake. Evidently there can not be a linear relationship between body size and maximal oxygen intake.

In the comparison between our groups of test subjects, the male and the female, with respect to maximal oxygen intake, we are apparently in the same difficulty as concerning standard oxygen consumption. That is, the degree to which body size in itself influences that function which we want to compare with respect to the sexes. Here the problem is much more difficult because there do not exist comparative studies over an interval big enough to allow any conclusions to be drawn on the influence of body size itself. An analysis on the influence of body size on maximal oxygen intake therefore must be purely theoretical.

In his discussion of the relationship between standard metabolic rate and body size, KROGH considered the line of inquiry which takes the size of the section area of the aorta and the trachea into consideration, as the one which could possibly clear up the relationship between size and metabolism. It seems as though this idea could be applied to advantage on the maximal metabolism because under these conditions the organs for circulation and respiration work close to the limit for their capacity. Now we want to start our analysis from the data

Body size and maximal metabolism

which may be evaluated for the work of the heart at maximal metabolic rate.

*Analysis of
work of the
heart*

The theorem of BERNOULLI admits a computation of the energy content of a particle of fluid flowing through a tube. This theorem has been applied within physiology many times for computation of the increase in energy content delivered to the blood through the work of the heart (see for instance EVANS). For a heart with two ventricles the energy equation written in the MKS system is as follows:

$$E_h = V \cdot p_1 + \frac{1}{2} \cdot D \cdot V \cdot v_1^2 + V \cdot p_2 + \frac{1}{2} D \cdot V \cdot v_2^2$$

In order to be applied to the total work of the heart the equation should be integrated with respect to the actual form of the pressure-time and the velocity-time curves. If this is not done the result will be an underestimation of the energy, especially the kinetic one, which has been shown for a turtle heart by KATZ. However, there do not seem to exist any supports for the assumption that the form of the curve should be dependent upon the size of the heart. Therefore, for our purposes the approximation can be made that a calculation based on mean pressure and mean velocity may substitute a computation based on the complete integral function.

By inserting actual values in the energy equation we may now calculate the energy delivered by the heart. We will compute the mechanical energy delivered in one minute for a heart model approximately corresponding to the human heart and which works with a minute volume of 4 l at rest and 40 l at maximal metabolic rate. For the different constants of the equation we make the following assumptions. (1) p_1 , which is the mean arterial blood pressure during the period of expulsion, is at rest about 120 mm Hg, or 16 000 newton per m^2 . At maximal minute volume, p_1 raises to about 200 mm of Hg, or 26 000 newton per m^2 . (2) D , which denotes density of the blood, may be approximated to 1 000 kg per m^3 . (3) v_1 , which

denotes the mean velocity of the blood in the aortic ostium during the period of expulsion, may be computed if the area of the aortic ostium and the time of expulsion are known. The area of the aortic ostium is known from anatomical investigations by PERLS. He found on 91 examined cases the circumference of the ostium to be in mean 70.9 mm, which gives an area of 4 cm^2 . The time of expulsion may be approximated to about one third of the complete heart cycle. With these values the mean velocity of the blood flow will be .5 m/sec at rest, and 5 m/sec at maximum minute volume. (4) p_2 denotes blood pressure in the pulmonary artery. Under resting conditions this is about 20 mm of Hg, or 2 700 newton per m^2 . The corresponding value at maximal minute volume is not known, but it may be supposed to be about 4 000 newton per m^2 . (5) v_2 may be calculated in the same way as v_1 . According to PERLS the circumference of the human pulmonary ostium is, in mean, 81.5 mm, and the area consequently about 5 cm^2 . Therefore, v_2 will be .4 m/sec at rest, and 4 m/sec at maximal minute volume.

From the constants assumed for our heart model, we obtain the following table giving the values for the work of the heart per minute.

V/min	$V \cdot p_1$	$\frac{D \cdot V}{2} \cdot v_1^2$	$V \cdot p_2$	$\frac{D \cdot V}{2} \cdot v_2^2$	E_h/min	<i>Cardiac output and work of the heart</i>
.004	. . . 64	. . . .5	. 10.8	. . . .32	. 75.6	
.04	. . . 1 064	. 500	. 160	. 320	. 2 044	

If the work of the heart model is calculated per liter of expelled blood, it will be for $V = .004$ about 19 Nm, and for $V = .04$ about 51 Nm. If we suppose that the oxygen content of the arterial blood is 200 ml/l, and that 150 ml of oxygen can be utilized by muscle tissue we can calculate that 1 liter of blood can give a quantity of energy of 3 140 J. At a mechanical

efficiency of 25 %, this will be a mechanical work of 785 Nm. However, according to KATZ the mechanical efficiency of the heart is of this order of size. That means that a minute volume of 40 l of our heart model can only be obtained if 6.5 % of the total blood flow is deflected to the heart.

In the energy equation, velocity may be substituted by the expression $\frac{V}{A \cdot t}$, where A equals area (of the ostium) and t equals time of the expulsion period. If this is done the whole equation may be differentiated with respect to V and the amount of energy required for a delta increase in the minute volume may be calculated. It appears that an increase in the minute volume from 40 to 41 l would require an increase of the energy output of the heart per minute by 94 Nm. This means that 12 % of the last liter of blood must be deflected to the heart in order to obtain energy equilibrium.

*Anatomical
limits for
power of the
heart*

There are reasons to believe that at maximal work a maximal vasodilatation exists in the working organs. The consequence of this is that the part of the total flow which may be distributed to the heart is anatomically determined. Apparently there must exist an upper limit for the energy output per unit time of the heart, which is dependent upon the anatomical structure of the blood vessels.

If the conclusion drawn above from the energy equation, that the maximal working capacity of the heart is dependent upon the anatomy of the blood vessels of the heart, is valid, the maximal working capacity of the heart must also depend upon another factor, and that is the oxygen content of the arterial blood. If we assume that the fraction of the blood which may be deflected to the heart is independent of the oxygen content of the blood, and that the maximal minute volume of the heart is dependent upon the value of this fraction, it follows that the maximal energy output of the heart must be lower at lower oxygen content of the arterial blood. This follows from the fact that the energy required to expel

one unit volume of blood is practically independent of its oxygen content, but the energy liberated in the organ supplied by the same blood depends very much upon its oxygen content.

The conclusion arrived at above is supported by an investigation on maximal physical work during breathing air rich in O_2 made by NIELSEN and HANSEN. They showed that the maximal oxygen intake was increased when oxygen was added to the inspired air. Their analysis of the experimental data indicated that the main part of the increase in the oxygen intake must depend on an increase in the maximal cardiac output. This, however, must be due to an increase of the working capacity of the heart depending on the higher oxygen content of the blood deflected to the heart itself.

The important conclusions of our computations above are not the values themselves because these depend upon approximations and suppositions which may deviate more or less from the real conditions in the human heart. Especially the assumption of the figure 1/3 for the fraction of the time for a complete heart cycle being the time for expulsion is a very rough one. Actually this fraction is increased with increasing pulse rate and this error in our calculations tends somewhat to exaggerate the values for kinetic energy. The calculations, however, show the fundamental importance of the physical laws expressed by the theorem of BERNOULLI for considerations concerning maximal energy output of the heart. The calculations made are examples of the way of working of these laws for a certain heart size.

The energy equation for the heart has one characteristic which makes it applicable on all heart sizes. This is that the constants in the equation are dimensionless and that all the terms express energy. Therefore, the constants of the equation are the same whether we want to apply the equation on a mouse heart or a horse heart.

If we now theoretically construct heart models of different sizes working against the same blood pressure with blood of

*Heart size
and maximal
cardiac
output*

the same oxygen content and being also anatomically uniform, we may directly, from the energy equation, derive the maximal minute volume as a function of size. Apparently the linear velocity at a maximal output must be independent of the size of the heart. This means that also $\frac{V}{A \cdot t}$ must be independent of the size of the heart. From our presumption of uniformity, however, A is a squared function of the length scale. If we apply the equation on one heart beat, V will denote stroke volume and t the time for expulsion during this heart beat. The stroke volume for uniform hearts will be a cubic function of the length scale, and consequently t will be a function of the first degree of the length scale. Because there is no reason to believe that the fraction of the time of the heart cycle, being the time for expulsion, will be dependent on the size of the heart, the total time for the heart cycle will also be a first degree function of the length scale. This means that the maximal minute volume will be a squared function of the length scale or a function of the weight scale raised to the power two-thirds. The maximal pulse rate will be a function of the length scale raised to the power -1 , or a function of the weight scale raised to the power $-1/3$.

In the preceding chapter we have mentioned the hypothesis of LAMBERT and TEISSIER which states that the times for equivalent physiological events relate as the length scale. The conclusion from our analysis is that for the maximal output of the heart, the hypothesis can be derived from the theorem of BERNOULLI and consequently in this case has a simple physical basis.

*Result of
dimensional
analysis*

The maximal metabolic rate must be a function of the minute volume for the case that arterio-venous oxygen difference for different sizes of organisms is independent of size. For uniform organisms the maximal metabolic rate must consequently be a function of the body mass raised to the power two-thirds. As a curiosity, it may be mentioned that this re-

lationship also seems to be valid within dead nature. Concerning combustion engines, SCHRÖN states that "die Leistung wächst quadratisch mit dem Vergrößerungsfaktor" and that "die Literleistungen stehen im umgekehrten Verhältnis des Ähnlichkeitsfaktors."

In all considerations made, no attention has been paid to the work of respiration. There are reasons to believe that this has as great an importance as the work of the heart, and that all energetic computations should be done with respect to the sum of the work for circulation and respiration. OTIS has given methods for the calculation of respiratory work in man. This problem, however, is very complicated. The consequence of this is that the formulas derived by OTIS differ in one important way from the formula for the work of the heart. This difference is that the constants in the formulas for respiratory work have dimensions. This means that extrapolation outside the range within which the constants have been experimentally determined must be very inaccurate, which is also stressed by OTIS. Therefore, a comparative analysis of the influence of size on maximal metabolic rate cannot be extended to include respiration. An analysis from the energy equation for the heart seems to be the only way, at the present time, possible for obtaining an expression for the influence of body size on maximal metabolic rate.

*Work of
respiration*

From the considerations previously made, the maximal oxygen intake of our test subjects shall be computed per kg $\left(M - \frac{F}{.62}\right)^{2/3}$. If this is done the maximal oxygen intake for the males is 263.2 ± 4.50 ml O_2 /min and for the females 248.9 ± 7.13 . The probability of the difference is $.05 < p < .1$.

*Application
on own
material*

The difference between the sexes, with respect to physical working capacity, is small and not statistically significant if we use the parameter that is expected to be theoretically correct. However, the probability that there is a real difference is big enough to motivate the conclusion that it is doubtful whether

the male and female test subjects are biologically similar with respect to physical working capacity. There are reasons to investigate whether there are biological differences which might explain why such a difference exists.

*Difference
between
sexes*

One striking difference generally found between the sexes which, according to our earlier considerations, must influence the maximal metabolic rate is the O₂ content of the arterial blood, which depends upon the relative hemoglobin. This difference is also found in our material. The values for hemoglobin content were determined on the test subjects through spectrophotometric determination of oxi-hemoglobin. Our male subjects had a relative amount of hemoglobin of $14.95 \pm .17$ g/100 ml blood. The corresponding figure for the females was about ten per cent less, or $13.47 \pm .12$.

Previously the conclusion from the energy equation was drawn, that the maximal minute volume must be reduced if the oxygen content of the blood is lowered. The influence of a reduction in content of hemoglobin, however, is more complicated. Through the reduction of the number of red blood cells, the viscosity of the blood is lowered. This reduces the energy content of the blood necessary for the flow of one unit of blood per unit time through the periferal vessels. This factor will reduce the arterial blood pressure at a certain minute volume and consequently reduce the work of the heart. A physically correct analysis of the summarized influence on the work of the heart of a reduction of the content of hemoglobin is, however, presently not possible. Therefore it is not possible to predict the influence of a reduction of hemoglobin on maximal metabolic rate. However, it is obvious that some reduction of this value is to be expected.

The difference between the mean values of the sexes of the calculated maximal metabolic rate per unit $\left(M - \frac{F}{.62}\right)^{2/3}$ is 5.4 %. This difference could be explained by the difference in the hemoglobin content of the blood.

RELATION BETWEEN MAXIMAL AND STANDARD METABOLIC RATE

In the previous chapter the relationship between body size and maximal metabolic rate has been derived theoretically from the physical laws valid for the work of the heart. The question now arises if also the relationship between standard metabolic rate and body size for uniform organisms could be derived in the same way.

This, however, does not seem to be possible. In standard conditions the heaviest tissue of the organism, the musculature, reduces its metabolism to a minimum and is for humans just between 20 and 25 % of the total body metabolism as shown by ASMUSSEN et al. This induces regulative reactions on the circulatory system which at rest is working under conditions where the energetic and hydrodynamic factors for the heart are not limiting. A dimensional analysis for organisms under these conditions would be possible only if approximations could be made for the relationship between these regulations and body size. An appropriate basis for assumptions of this type does not seem to exist.

The fact still remains that the value for the exponent n in the equation metabolism = $k \cdot M^n$ is reasonably close to the value for n derived for maximal work for similarly built organisms of different size. Therefore the possibility exists that the value for the standard metabolic rate is essentially determined by the highest metabolic rate possible. As an hypothesis, however, it may be thought that in the adaptation to standard conditions homotherm organisms independent of size regulate the circulation down to a cardiac output, which is a constant percentage of the maximal cardiac output. The standard metabolic rate would then be determined by an adaption of the different

organs in the development of species to the amount of oxygen available through the circulation.

*Metabolism
in develop-
ment of
species*

If this hypothesis would be true, the role of metabolic rate in the development of species is easily understood. In natural selection the maximal metabolic rate must have a very high survival value. If an eagle is hunting a group of ducks that duck will be food for the eagle who is the poorest flyer and that is probably the one with the lowest maximal metabolic rate. On the other hand that eagle has the highest chance of success in the hunting who is the best flyer or has the highest maximal metabolic rate. In comparison with this essential quality the standard metabolic rate apparently has a secondary importance. The whole structure of the body is probably in most species much more determined by the conditions existing during maximal work than by those during muscular rest. Therefore it seems quite probable, that the prime factor governing the standard metabolic rate is the maximal rate for energy output of the organism. A question of importance seems to be how standard metabolic rate relates to the maximal one.

The quotient between maximal and standard metabolic rate is experimentally investigated on horses by BRODY, who found that "The ratio of maximal to minimal oxygen consumption is of the same order in horses and men, namely about 20 . . ." Investigations on other species do not seem to be published. Determinations of this quotient for small homotherm animals also would be very valuable for further analyses.

The statement by BRODY quoted above does certainly not justify the general conclusion that the ratio of maximal and standard oxygen consumption found in men and horses is the same for all homotherm animals. For the following discussion, however, we accept this generalization as a hypothesis being fully aware of the objections that can be made against theories which are not based on a sufficient amount of valid data.

If the ratio of maximal and standard metabolic rate is the same for different animals the standard metabolic rate for

uniform organisms would necessarily be a function of $M^{2/3}$. For real organisms this is, however, as mentioned in chapter III, not the case; the value for the exponent is somewhat higher.

This fact raises a question concerning standard metabolic rate quite different from the one we are accustomed to in the discussion on comparative physiology of metabolism. The problem hitherto has seemed to be why the value for n differs from 1. If the circulation is regulated in the way assumed above the question is why the value for the exponent differs from $2/3$.

This difference can apparently not be explained by the influence of heat loss from the body surface. Small animals have difficulties in keeping temperature balance. This depends on the circumstance stressed by ZEUTHEN that "... small animals do not have the same opportunities as big ones for insulating themselves, because the maximum thickness of the fur is less and the available temperature gradient in the skin is shorter in small than in big animals". ZEUTHEN continues "Consequently, small mammals have all kinds of trouble in keeping warm. Had the metabolism in mammals been fully adapted to the needs of the organism we should have expected the metabolism to vary with a power . . . of the body weight smaller than $2/3$. . ." This would mean that in small animals an adaptation to the influence of heat loss would result in a lower ratio between maximal and standard metabolic rate than in large ones.

*Heat loss and
metabolism*

Hitherto we have argued from the assumption that animals of different size are uniformly built. In the investigation on human species this assumption seems to be justified for L.B.M. In the comparison between species, however, there are striking differences from this very rough approximation. ADOLPH has summarized data from various authors concerning body function and body structure and has expressed the data as functions of $k \cdot M^n$. Some values for n are given in the following table.

Function	<i>n</i>
Urea clearance . . . . .	.72
O ₂ consumption, basal . . . . .	.73
Heartbeat duration . . . . .	.27
Breath duration . . . . .	.28
Ventilation rate . . . . .	.74
Tidal volume	1.01
N endogenous output . . . . .	.72
Hemoglobin weight . . . . .	.99
Myoglobin weight	1.31
Kidneys weight . . . . .	.85
Brain weight . . . . .	.70
Heart weight . . . . .	.98
Lungs weight . . . . .	.99
Liver weight . . . . .	.87
Stomach + intestines weight . . . . .	.94

*Deviations
from
uniformity*

The values for organ weights in the table of ADOLPH indicate striking differences from the assumption that organisms of different size are of uniform build. The exponent for myoglobin is considerably above 1, and the exponent for visceral organs is below 1. It is not impossible that these deviations from uniformity might explain why the exponent for metabolic rate differs from 2/3.

The reasons why organisms of different size are not uniform might be of a physical nature. GALILEI seems to have been the first one who discussed this question. He showed that from pure mechanical reasons the supporting organs must have another form in big than in small animals. Also, HALDANE has discussed the same problem. Haldane writes: "... suppose that a gazelle, a graceful little creature, is to become larger, it will break its legs unless it does one of two things. It may make its legs short and thick, like the rhinoceros so that every pound of weight has still about the same area of bone to support it.

Or it can compress its body and stretch out its legs obliquely to gain stability like the giraffe. I mention these two beasts because they happen to belong to the same order as the gazelle and both are quite successful mechanically being remarkably fast runners."

BRODY, who has collected a large amount of data concerning the question of organ weight in relation to total body weight, summarized the result of his analysis of the data in the following way: "The decline in the ratio of strength to weight is compensated in part by relatively larger increases in the size of the supporting structures than in nonsupporting visceral organs. Thus it comes about, that per unit total body weight larger animals have larger muscles and bones than internal organs; or, what is the same, the larger the animal, the smaller the ratio of visceral organs weight to body weight."

The obstacle against applying these facts to the question of metabolic rate is that we do not know the weight of the bones and the muscle weight of animals of different size. An analysis along these lines would require much more data of gross body composition of different animals than those which are available now.

However, it may be possible that the heavier weight of the locomotive organs in the big animals corresponds to a structure of the heart, which makes a higher maximal metabolic rate possible than if the hearts were uniformly built. If our theory is correct, this would also result in a higher standard metabolic rate in large animals and the value for *n* would be higher than 2/3. This theory, however, is not supported by known data. Data concerning, for instance, such fundamental measures as the size of the heart ostia in different animals do not seem to exist.

Another conclusion must be drawn from the demonstrated lack of uniformity in gross body structure of animals of different size. This is that the idea of a uniform L.B.M. cannot be extended to the whole series of mammals. Apparently a different relative weight of the supporting organs in different

animals will influence the composition of the L.B.M. and its density. How valuable the concept of L.B.M. is in intra-specific analyses, it is not justified to assume the same composition of L.B.M. in two different species.

General conclusion In this study we have tried to apply data from comparative studies and conclusions that can be drawn from dimensional analysis on some special problems in human metabolism. The main conclusion that can be drawn from our study is, that the use of the concept of L.B.M. very much facilitates this task. The concept of L.B.M. and fat free body mass, however, is also very useful in special investigations within human physiology. In a coming publication we will discuss some questions connected with the relationship between total hemoglobin, blood volume and fat free body mass.

SUMMARY

- (1) By means of hydrostatic weighing human body density may be determined with an error of $\pm 1.1 \text{ kg/m}^3$.
- (2) In a material of 35 male and 35 female young healthy subjects the mean density was 1 072 and 1 048 kg/m^3 respectively.
- (3) From the value for density the fat content of the body may be calculated with an estimated error of $\pm 1.7 \%$ of body weight.
- (4) Mean fat content of the male subjects was 10.6 % and of the females 20.3 %. Mean fatfree body mass ($M - F$) was 61.8 and 50.0 kg respectively.
- (5) From comparative studies the conclusion is drawn that standard metabolic rate is best expressed as a function of $(M - F)^n$ where $2/3 < n < 3/4$.
- (6) In the material standard metabolic rate per kg $(M - F)^n$ is not significantly different between the sexes for values of n of 2/3 or 3/4. The value for n in the material is significantly lower than 1.
- (7) From a dimensional analysis of the work of the heart the maximal metabolic rate is expected to be a function of $\left(M - \frac{F}{.62}\right)^{2/3}$.
- (8) The maximal metabolic rate per kg $\left(M - \frac{F}{.62}\right)^{2/3}$ in the material is found to be 5.4 % lower for the female than for the male subjects. The difference is not statistically significant.
- (9) The possible difference in maximal metabolic rate between the sexes could be explained by the difference in relative hemoglobin content of the blood.

- (10) The influence of body size on standard metabolic rate cannot be directly derived by dimensional analysis. The question is open whether the quotient between maximal and standard metabolic rate is independent of body size. If this would be the case standard metabolic rate could indirectly be predicted from a dimensional analysis.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been carried through under the guidance of Professor E. Hohwü Christensen, who has followed it with a never lacking interest and has given most valuable advice in the planning of the investigation as well as in the treatment of the material.

For many stimulating discussions of the problems concerned I am greatly indebted to many collaborators, among whom I want especially to mention Dr. P.-O. Åstrand, Professor E. Bárány and Mr. I. Ryhming, Civ. Eng.

Invaluable technical assistance has been given by Miss A. Lindholm, M.Sc. and Mr. L. Kaderud and other members of the staff of the institute. For translation and typing I wish to thank Miss S. Burton, B.A.

In the literature studies the kind help of the personnel of the libraries of Karolinska Institutet and of Vetenskapsakademien has very much facilitated the work. In technical questions concerning the printing the advice and help given by Mr. E. Lenning has been very valuable.

The work is prepared with financial support from Statens Nämnd för Flyg- och Navalmedicinsk Forsknings- och Försöksverksamhet (State Research Committee on Aviation and Naval Medicine).

APPENDIX

The following tables give the data obtained for the test subjects from the experiments.

It may be mentioned that the values given for body weight, body volume, standard oxygen consumption and maximal oxygen consumption are mean values taken from two different determinations. The figures given for the fat content are the mean values taken from the two original measurements of weight and volume. Therefore the figure for fat shown in the table does not always fit the mean values for weight and volume.

DATA ON TEST SUBJECTS

Male

Subject	Age years	Height cm	Weight kg	Volume l	Fat kg	Stand. O ₂ intake ml/min	Max. O ₂ intake l/min
B.A.	21	174	62.7	58.5	6.8	275	4.15
N.A.	28	173	61.6	57.0	4.7	242	3.65
S.B.	29	179	72.6	68.4	10.8	248	3.50
L.C.	24	187	66.2	61.2	4.7	297	3.05
M.C.	26	171	67.6	62.7	5.8	255	4.05
L.O.E.	29	174	73.2	69.7	13.9	238	3.55
K.E.	32	169	55.2	51.2	4.8	207	3.20
P.E.	21	171	65.8	61.9	9.0	294	3.45
K.B.E.	23	175	66.9	61.3	2.3	260	4.25
L.E.E.	20	177	62.0	57.8	6.6	267	3.10
O.E.	25	172	68.4	63.4	6.0	247	3.45
J.G.	32	187	81.4	77.7	16.2	250	3.45
T.H.	29	188	80.6	75.7	10.4	288	4.55
Å.H.	30	181	79.6	75.0	11.5	304	4.05
G.H.	22	188	71.1	66.2	7.0	288	4.15
R.H.	24	177	75.4	69.5	4.6	273	4.70
P.H.	40	187	73.7	68.8	8.0	261	4.85
R.H.	24	172	57.3	53.1	4.4	271	3.15
A.J.	24	181	74.9	70.0	8.8	295	4.00
W.J.	32	164	50.3	47.2	6.7	185	3.35
I.J.	22	181	68.0	62.9	4.9	283	4.55
G.J.	22	180	66.4	61.6	5.7	259	4.00
L.K.	31	189	85.4	83.0	23.0	264	3.85
B.K.	19	181	73.2	67.7	5.5	310	3.85
M.K.	22	186	76.6	70.9	5.8	301	4.10
R.L.	32	189	82.5	76.1	5.3	288	5.45
A.L.	24	167	67.8	63.2	7.3	245	3.85
J.M.	23	178	70.0	64.5	3.8	295	4.35
S.O.	23	170	58.5	54.5	5.9	251	2.85
P.P.	32	175	69.3	64.5	6.7	270	4.10
P.O.P.	22	184	70.4	66.1	9.2	323	4.20
U.R.	27	169	63.6	58.9	4.9	257	3.40
P.W.	26	174	57.5	53.5	5.5	266	3.90
P.O.Å.	30	178	73.4	68.1	6.4	272	4.45
K.H.Ö.	23	179	78.3	73.9	12.0	286	4.10

DATA ON TEST SUBJECTS

Female

Subject	Age years	Height cm	Weight kg	Volume l	Fat kg	Stand. O ₂ intake ml/min	Max. O ₂ intake l/min
E.A.	19	166	64.6	62.1	14.6	238	2.85
K.B.	21	168	59.6	57.0	11.9	212	2.75
S.B.	36	170	58.9	56.9	14.6	214	1.45
U.B.	22	170	61.9	58.5	9.7	208	3.45
K.B.	22	165	62.4	59.1	10.4	221	3.75
I.B.	22	174	62.3	58.8	9.6	212	2.95
E.D.	21	161	55.0	53.0	13.2	200	1.70
U.D.	21	170	55.1	52.0	8.3	233	3.10
G.E.	21	172	72.5	69.5	15.7	269	2.80
B.E.	20	171	64.7	60.9	8.9	257	2.90
I.E.	23	165	51.2	49.4	12.1	224	2.00
K.F.	25	172	60.8	58.3	13.3	249	3.35
I.H.	21	173	58.7	56.1	11.9	220	2.75
E.H.	18	162	47.6	44.9	7.3	197	—
B.J.	24	167	71.2	69.4	20.0	239	3.45
B.J.	27	169	55.2	53.1	12.5	196	3.30
I.L.	26	163	65.6	63.2	15.5	241	3.55
M.L.	21	172	65.7	62.5	12.2	249	3.10
G.L.	21	178	62.9	59.5	10.3	259	2.90
B.N.	21	170	61.2	57.8	9.6	204	3.10
M.P.	19	174	72.6	69.8	16.4	243	3.80
U.R.	29	172	68.6	66.9	19.4	212	2.95
I.R.	26	166	50.5	47.6	7.3	200	3.05
E.R.	20	164	58.9	55.5	8.8	236	2.80
G.S.	21	167	58.4	55.4	10.2	215	3.10
A.M.S.	22	173	69.0	66.5	16.5	238	3.70
J.S.	21	170	70.6	67.7	15.3	230	2.90
M.T.	23	166	58.5	55.7	11.1	217	4.10
A.V.	25	168	56.4	52.9	7.5	206	2.80
A.M.W.	23	173	60.9	56.5	5.3	236	3.50
S.W.	20	169	66.8	63.5	12.5	210	3.20
E.W.	21	174	78.3	76.1	21.4	241	3.10
K.W.	22	173	58.9	56.2	11.4	227	3.15
L.W.	19	175	66.5	63.1	11.6	220	3.10
B.Ö.	22	168	70.7	68.2	17.0	240	3.05

UNITS

All measurements are made in metric units. In the computations the MKS unit system is used. This system is based on the three fundamental units

for length:	meter, m
» mass:	kilogram, kg
» time:	second, s

Derived units are

for surface area:	square meter, m ²
» volume:	cubic meter, m ³
» density:	kg/m ³
» force:	newton, N
» pressure:	N/m ²
» mechanical work:	newtonmeter, Nm
» heat:	joule, J
» power:	Watt, W or Nm/s or J/s

The unit for force, newton, is defined as the force giving one unit for mass (1 kg) an acceleration of 1 m/s².

In transformation of work the following relationship is valid:

$$1 \text{ Nm} = 1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$$

In transformations from conventional units the following relations are valid:

1 kilogramforce or kilopond	= 9.80665 N
1 Cal or kcal	= 4187 J
1 mm Hg pressure	= 133.2 N/m ²
1 bar	= 10 ⁵ N/m ²

SYMBOLS

A = surface area	l = liter
a = adipose tissue fraction of body	L.B.M. = lean body mass
C = centigrade	M = mass
cm = centimeter	M_a = weight in air
C.N.S. = central nervous system	M_w = weight in water
D = density	m = meter
D_a = density of adipose tissue	min = minute
D_b = density of L.B.M.	ml = milliliter
D_c = density of fatfree L.B.M.	mm = millimeter
D_s = density of soft tissue	N = newton
d = difference	n = number
\bar{d} = mean difference	Nm = newtonmeter
E_h = energy delivered by the heart	p = pressure, probability
F = mass of fat	Q = density of water
f = fat fraction of body	R = Réamur
f_a = fat fraction of adipose tissue	S = sum
f_s = fat fraction of skeleton	s = skeleton fraction of body
g = gram	S.D. = standard deviation
J = joule	sec = second
k = constant	sp.gr. = specific gravity
kg = kilogram	σ = standard deviation
	t = time
	V = volume
	v = velocity

A figure following the value for a mean and the sign \pm denotes the standard error of the mean.

REFERENCES

Chapter I

- ARCHIMEDES. The Works of Archimedes. Ed. by T. L. HEATH. Cambridge, 1897.
- ÅSTRAND, P.-O. Experimental Studies of Physical Working Capacity in Relation to Sex and Age. Copenhagen, 1952.
- BIRATH, G. Lung Volume and Ventilation Efficiency. Stockholm, 1944.
- BLAIR, H. A., R. J. DERN and P. L. BATES. The measurement of volume of gas in the digestive tract. *Am. J. Physiol.*, 1947, 149, 688.
- BROMAN, B., G. DAHLBERG and A. LICHTENSTEIN. Height and weight during growth. *Acta pædiatrica*, 1942, 30, 1.
- BROŽEK, J., A. HENSCHL and A. KEYS. Effect of submersion in water on the volume of residual air in man. *J. Appl. Physiol.*, 1949, 2, 240.
- CHRISTENSEN, E. H. Beiträge zur Physiologie schwerer körperlicher Arbeit. V. Arbeitsphysiologie, 1931, 4, 470.
- GROLLMAN, A. Schlagvolumen und Zeitvolumen des gesunden und kranken Menschen. Dresden und Leipzig, 1935.
- KEYS, A., and J. BROŽEK. Body fat in adult man. *Physiol. Rev.* 1953, 33, 245.
- KOHLRAUSCH, W. Methodik zur quantitativen Bestimmung der Körperstoffe in vivo. *Arbeitsphysiol.* 1930, 2, 23.
- LINDHARD, J. Funktionsuntersuchungen an den Lungen des Menschen mittels gasanalytischer Methoden. *Hand. d. biol. Arbeitsmethoden*, ed. by ABDERHALDEN, Abt 5, Teil 4, 2, p. 1581 (1925).
- MARSHALL, R., A. B. DuBOIS, G. N. BEDELL, S. Y. BOTELHO and J. H. COMROE JR. Measurement of functional residual capacity and of abdominal gas by a plethysmographic method. *Am. J. Physiol.*, 1955, 183, 642.

REFERENCES

- RAHN, H., W. O. FENN and A. B. OTIS. Daily variations of vital capacity, residual air and expiratory reserve including a study of the residual air method. *J. Appl. Physiol.*, 1949, 1, 725.
- ROITH, O. Die Füllungsverhältnisse des Dickdarms. *Anat. Hefte*, 1903, 20, 19.
- SHELDON, W. H. The Varieties of Human Physique. New York, 1940.
- VITRUVIUS. On Architecture. Ed. by F. GRANGER, London and New York, 1934.

Chapter II

- BEHNKE, A. R., B. G. FEEN and W. C. WELHAM. Specific gravity of healthy men. *J.A.M.A.*, 1942, 118, 495.
- BISCHOFF, E. Einige Gewichts- und Trocken-Bestimmungen der Organe des menschlichen Körpers. *Zeitschr. f. ration. Med.* III. Reihe, 1863, 20, 75.
- BOYD, E. The specific gravity of the human body. *Human Biol.*, 1933, 5, 646.
- BROŽEK, J. Changes of body composition in man during maturity. *Federation Proc.* 1952, 11, 784.
- FIDANZA, F., A. KEYS and J. T. ANDERSON. Density of body fat in man and other mammals. *J. Appl. Physiol.*, 1953, 6, 252.
- FORBES, R. M., A. R. COOPER and H. H. MITCHELL. The composition of the adult human body as determined by chemical analysis. *J. Biol. Chem.*, 1953, 203, 359.
- KEYS, A., J. T. ANDERSON and J. BROŽEK. Quoted from KEYS and BROŽEK, p. 276.
- KEYS, A. and J. BROŽEK. Body fat in adult man. *Physiol. Rev.*, 1953, 33, 245.
- KRAUSE, W. und L. FISCHER. Neue Bestimmungen des spezifischen Gewichts von Organen und Geweben des menschlichen Körpers. *Zeitschr. f. ration. Med.*, 1866, 24, 306.

REFERENCES

- VON LIEBIG, G. Gewichtsbestimmungen der Organe des menschlichen Körpers. Arch. f. Anat., Physiol. und wiss. Med., 1874, p. 96.
- NADESHDIN, W. A. Zur Untersuchung der Minderwertigkeit der Organe an Leichen. Deutsch. Zeitschr. f. d. gesamte gericht. Med., 1932, 18, 426.
- RATHBUN, E. N. and N. PACE. Studies on body composition I. J. Biol. Chem., 1945, 158, 667.
- SCHÜBLER, N.N. und P. KAPFF. Untersuchungen über das spezifische Gewicht thierischer Substanzen. Journ. f. techn. und ökon. Chemie, 1832, 14, 89.
- SJÖSTRAND, T. The total quantity of hemoglobin in man and its relation to age, sex, body weight and height. Acta Physiol. Scand., 1949, 18, 324.
- VAN SLYKE, D. D., R. A. PHILLIPS, V. P. DOLE, P. B. HAMILTON, R. M. ARCHIBALD, and J. PLAZIN. Calculation of hemoglobin from blood specific gravities. J. Biol. Chem., 1950, 183, 349.

Chapter III

- BEHNKE, A. R. The relation of lean body weight to metabolism and some consequent systematizations. Ann. of the New York Acad. of Sc., 1953, 56, 1095.
- BENEDICT, F. G. The Physiology of the Elephant. Washington, 1936.
- BENEDICT, F. G. Vital Energetics. Washington, 1938.
- VON BERTALANFFY, L. and W. J. PIROZINSKI. Tissue respiration, growth and basal metabolism. Biol. Bull., 1953, 105, 240.
- BOOTHBY, W. M., J. BERKSON, and H. L. DUNN. Studies of the energy metabolism of normal individuals. Am. J. Physiol., 1936, 116, 468.
- BRODY, S. Bioenergetics and Growth. New York, 1945.
- BROŽEK, J. Changes of body composition in man during maturity. Federation Proc., 1952, 11, 784.

REFERENCES

- DOUGLAS, C. G. and J. G. PRIESTLEY. Human Physiology, third ed. Oxford, 1948.
- DREYER, G., W. RAY and E. W. A. WALKER. The size of the trachea in warmblooded animals and its relationship to the weight, the surface area, the blood volume, and the size of the aorta. Proc. Roy. Soc. B., 1912, 86, 56-65.
- DU BOIS, D., and E. F. DU BOIS. Clinical calorimetry X. Arch. Intern. Med., 1916, 17, 863.
- HALDANE, J. S. Quoted from DOUGLAS and PRIESTLEY. Human Physiology. Oxford, 1948.
- HEMMINGSEN, A. M. The Relation of Standard (Basal) Energy Metabolism to Total Fresh Weight of Living Organisms. Reports of the Steno Mem. Hosp. IV. Copenhagen, 1950.
- VON HOESSLIN, H. Ueber die Ursache der scheinbaren Abhängigkeit des Umsatzes von der Grösse der Körperoberfläche. Arch. f. Anat. und Physiol., Physiol. Abt., 1888, p. 323.
- KEYS, A., and J. BROŽEK. Body fat in adult man. Physiol. Rev., 1953, 33, 245.
- KLEIBER, M. Body size and metabolic rate. Physiol. Rev., 1947, 27, 511.
- KREBS, H. A. Body size and tissue respiration. Biochim. et Biophys. Acta, 1950, 4, 249.
- KROGH, A. The Respiratory Exchange of Animals and Man. London, 1916.
- LAMBERT, T. et G. TEISSIER. Theorie de la similitude biologique. Ann. de Physiol., 1927, 3, 212.
- MAYER, J., R. E. RUSSEL, M. W. BATES and M. M. DICKIE. Basal oxygen consumption of hereditary obese and diabetic mice.
- MILLER, A. T. and C. S. BLYTH. Estimation of lean body mass and body fat from basal oxygen consumption and creatinine excretion. J. Appl. Physiol., 1952., 1952, 5, 73.
- NEWTON, J. Quoted from SPINNEY, L. B. A Textbook of Physics. 5th ed. New York, 1943.
- RICHET, CH. La Chaleur Animale. Paris, 1889.

REFERENCES

- RUBNER, M. Ueber den Einfluss der Körpergrösse auf Stoff- und Kraftwechsel. *Zeitschr. f. Biol.*, 1883, 19, 535.
- SARRUS et RAMEAUX. Quoted from HARRIS, J. A. and F. G. BENEDICT. *A Biometric Study of Basal Metabolism in Man*. Wash. 1919.
- TEISSIER, G. La grandeur du metabolisme en fonction de la taille. *Ann. de Physiol.*, 1928, 4, 1.
- VOIT, E. Über die Grösse des Energiebedarfes der Tiere im Hungerzustande. *Zeitschr. f. Biol.* 1901, 41, 113.
- ZEUTHEN, E. Oxygen uptake as related to body size in organisms. *Quart. Rev. of Biol.*, 1953, 28, 1.

Chapter IV

- ÅSTRAND, P.-O. *Experimental Studies of Physical Working Capacity in Relation to Sex and Age*. Copenhagen, 1952.
- ÅSTRAND, P.-O. and I. RYHMING. A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J. Appl. Physiol.*, 1954, 7, 218.
- BERNOULLI, D. Quoted from R. TOMASCHEK. *Grimsehls Lehrbuch der Physik I*. Leipzig und Berlin, 1944.
- EVANS, C. L. *Principles of Human Physiology*. Ninth ed. London, 1945.
- KATZ, L. N. Observations on the external work of the isolated turtle heart. *Am. J. Physiol.*, 1931, 99, 579.
- KATZ, L. N. Analysis of the several factors regulating the performance of the heart. *Physiol. Rev.*, 1955, 35, 91.
- KROGH, A. *The Respiratory Exchange of Animals and Man*. London, 1916.
- LAMBERT, R. et G. TEISSIER. Theorie de la similitude biologique. *Ann. de Physiol.*, 1927, 3, 212.
- NIELSEN, M. und O. HANSEN. Maximale körperliche Arbeit bei Atmung O₂-reicher Luft. *Skand. Arch. f. Physiol.*, 1937, 76, 37.

REFERENCES

- OTIS, A. B. The work of breathing. *Physiol. Rev.*, 1954, 34, 449.
- PERLS, M. Ueber Weite und Schlussfähigkeit der Herzmündungen und ihrer Klappen. *Deutsch. Arch. f. Klin. Med.* 1869, 5, 381.
- SCHRÖN, H. *Die Dynamik der Verbrennungskraftmaschine*. Wien, 1947.

Chapter V

- ADOLPH, E. F. Quantitative relations in the physiological constitution of mammals. *Science*, 1949, 109, 579.
- ASMUSSEN, E., E. H. CHRISTENSEN und M. NIELSEN. Die O₂-Aufnahme der ruhenden und der arbeitenden Skelettmuskeln. *Skand. Arch. f. Physiol.*, 1939, 82, 212.
- BRODY, S. *Bioenergetics and Growth*. New York, 1945.
- GALILEI, G. *Unterredungen und Mathematische Demonstration über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffen*. Erster und zweiter Tag, p. 108. Ed. by A. v. OETTINGEN. Leipzig, 1917.
- HALDANE, J. B. S. *Possible Worlds* (p. 18, On being the right size). London, 1927.
- ZEUTHEN, E. Oxygen uptake as related to body size in organisms. *Quart. Rev. of Biol.*, 1953, 28, 1.

Estimation of Muscle Mass of the Human Body from Potassium-40 Determination¹

by Wilhelm von Döbeln, Stockholm²

Abstract

The uneven distribution of potassium in the lean body mass may be utilized in studies of gross body composition. A method is given for estimating the body components; muscle, adipose tissue and lean muscle free body mass from measurements of potassium-40 by whole body gamma radiation counting, skeletal diameters, height and weight. Results obtained in measurement of 227 subjects are presented.

Recent studies of gross body composition are generally based on the concept of a lean body mass (LBM) of uniform composition to which is attached an individually varying amount of adipose tissue (1). However, everyday experience leads one to suspect, that lean body mass is a relatively crude approximation. It must be suspected, that the relationship between muscle mass and skeleton varies within relatively wide limits. Hitherto, unfortunately no method for determining muscle mass has been available.

The gamma radiation from the body arises almost entirely from potassium (2, 3) and therefore the development of whole body gamma spectrometers by which K⁴⁰ may be easily measured, has very much facilitated the determination of total body potassium. These instruments also have been utilized in studies of body composition (4, 5). However, the distribution of potassium is uneven not only between adipose tissue and lean body mass, but also between the different components of lean body mass. The approximate values for potassium concentration of different tissues taken from different sources in the literature (6, 7) are shown on table 1.

¹This study was carried out during a visit to the U.S. Army Medical Research Unit, Europe, Landstuhl, Pfalz, Germany and was made possible by the collaboration and help of Major Charles Onstead, U.S. Army M.C.

² Adress: Kungl. Gymnastiska Centralinstitutet, Stockholm Ö.

Table 1

Tissue	% of LBM	K content g/kg
Muscle	50	3.2
Skeleton	20	1.1
Skin	8	1.6
Blood	8	1.9
CNS	3	2.9
Liver	3	2.5
Other	8	1.7
Adipose	—	0.7

50 } 1.6

Let us assume, that the main components of the body are muscle (M), adipose tissue (A) and lean muscle-free body mass (LMF) and that the potassium content of the components are those shown on table 1. If body weight = W and total body potassium = K we may write:

$$W = M + A + LMF \dots \dots \dots (1)$$

$$K = 3.2 M + 0.7 A + 1.6 LMF \dots \dots (2)$$

After elimination of A and rearrangement we obtain

$$M = 0.4 K - 0.28 W - 0.36 LMF \dots (3)$$

It has earlier been shown (8), that lean body mass may be estimated from some easily determined skeletal measurements. These measurements, however, are independent of individual variations in muscular development. This means, that also lean body mass minus muscle may be estimated from the same measurements provided a suitable constant expressing the mean percent of LMF in lean body mass is introduced in the equation. Because this constant may be taken as 0.5, the formula for predicting LMF will be

$$\text{LMF} = 7.55 (L^2 \cdot F \cdot R \cdot 100)^{0.712} \dots (4)$$

where

L = height in meters
 F = sum of right and left femoral condylar breadth (meters)
 R = sum of right and left bistyloid radioulnar breadth (meters)

Finally, weight of adipose tissue is calculated from

$$A = W - \text{LMF} - M \dots (5)$$

On a material of 154 men and 73 women, mainly U.S. Army personnel and German students, we measured the gamma radiation over the K^{40} peak in the 2π liquid scintillation counter at Landstuhl and the skeletal measurements mentioned. From these values the amount of body potassium and the lean muscle-free body mass respectively were calculated.

The relationship between body weight and potassium is shown on fig. 1. The correlation coefficient is 0.66 which means, that the total standard deviation of potassium ± 32 g is reduced to a standard deviation of ± 24 g around the regression line against weight. On fig. 2 potassium is plotted against LMF. As expected this correlation is higher (0.86), which means a standard deviation around the regression line of ± 16 g. This remaining variation in the values seems to reflect differences in the composition of lean body mass with respect to muscularity. The body composition of each subject with respect to the three

components M, A and LMF was calculated according to the formulas given. The mean values for body composition are shown on Table 2.

Table 2

	Males	Females
Number	154	73
Weight, kg	72.1	63.7
K, g	159	104
LMFM, kg	29.0	22.4
Muscle, kg	33.0	15.7
Adipose tissue	10.1	25.6

Because no other method for determining muscle mass in living subjects exists a control of the obtained results has not been possible. However the figures seem relatively well to reflect the difference in body build which is to expect in comparison between the sexes.

References

1. A. R. Behnke, B. G. Feen and W. C. Welham, J.A.M.A. 118, 495 (1942).
2. R. M. Sievert, Arkiv f. Fysik 3, 337 (1951).
3. P. R. J. Burch and F. W. Spiers, Nature 172, 519 (1953)
4. T. H. Allen, E. C. Anderson and W. H. Langham, J. Gerontol. 15, 348 (1960).
5. G. B. Forbes, J. Gallup and J. B. Hursb, Science 133, 101 (1961).
6. G. B. Forbes and A. M. Lewies, J. Clin. Invest. 35, 596 (1956).
7. Handbook of Biological Data. Ed. by W. S. Spector. W. B. Saunders Co., Philadelphia and London 1956.
8. W. von Döbeln. Acta Med. Scand. 165, 37 (1959).

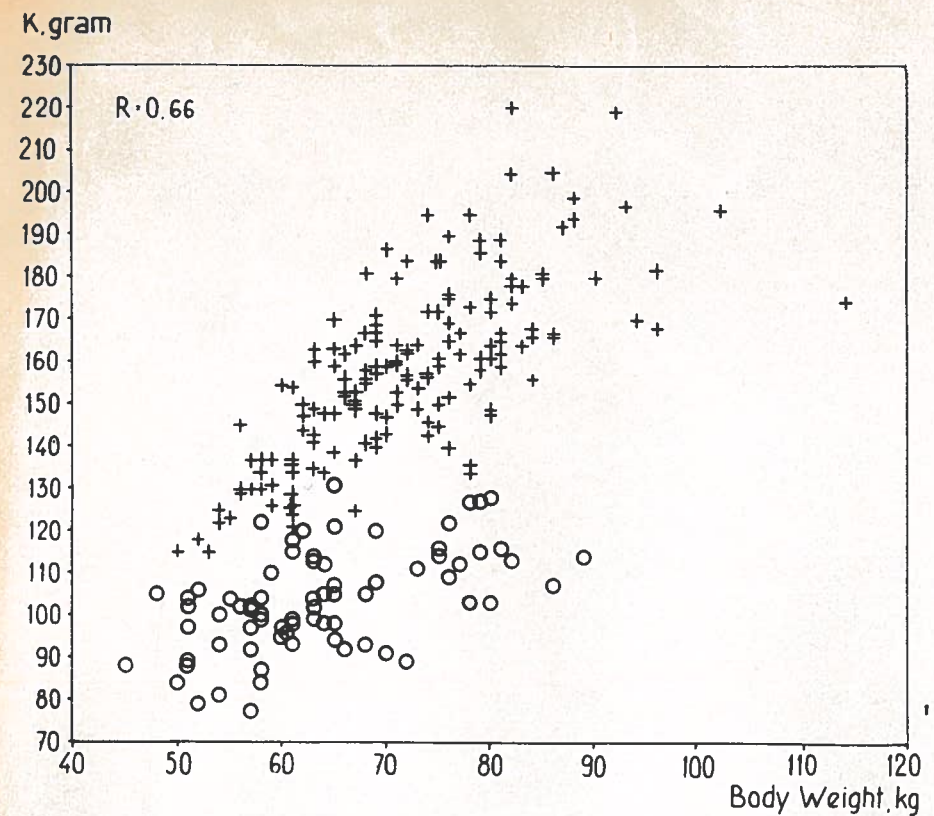


Fig. 1.
 Total body potassium versus body weight. Females (o), males (+).

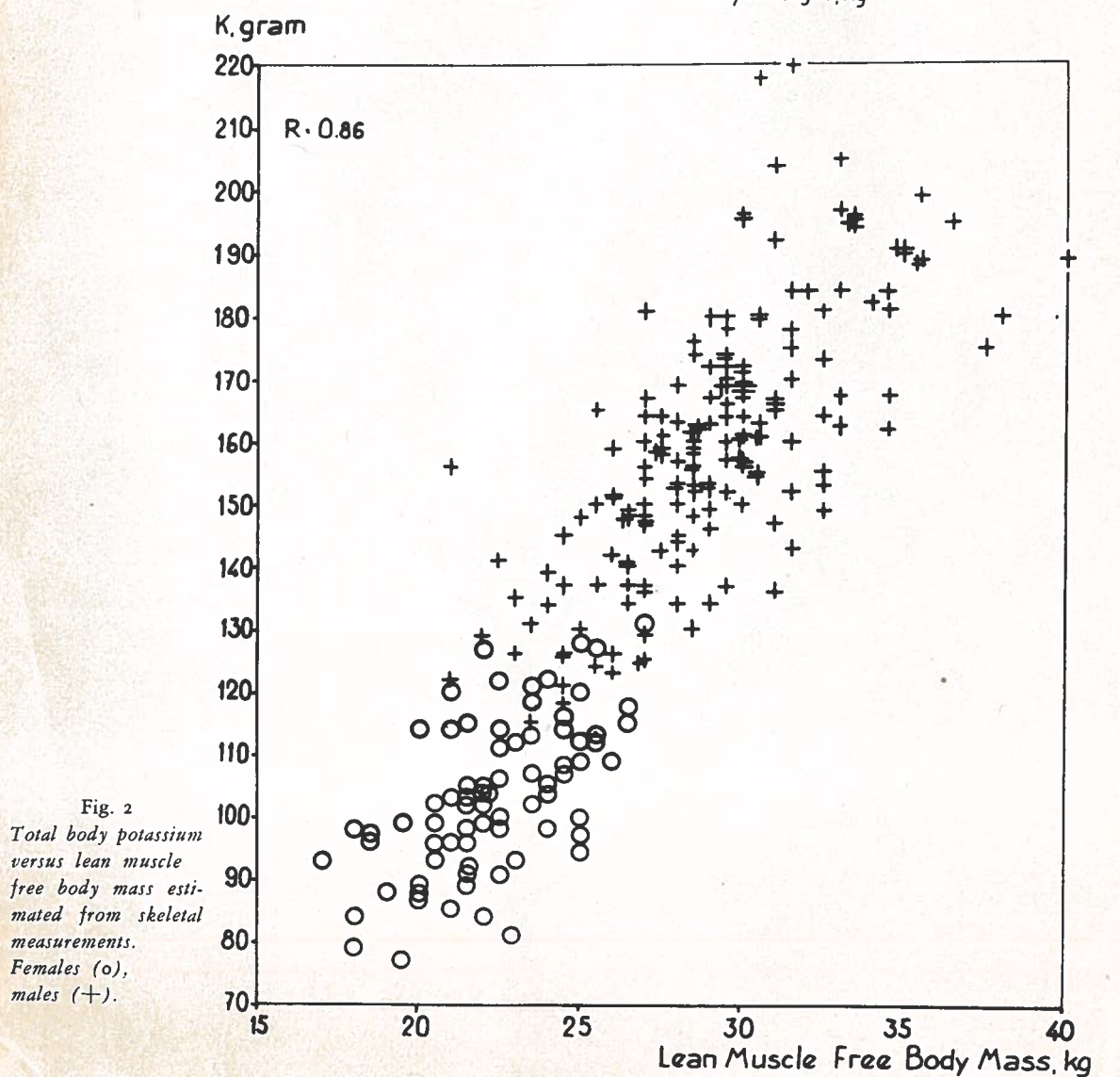


Fig. 2
 Total body potassium versus lean muscle free body mass estimated from skeletal measurements. Females (o), males (+).