

W. Sannel.
1931.

SVERIGES ENSKILDA JÄRNVÄGARS INGENIÖRSFÖRBUND
MEDDELANDE N:o 101. 1928.

71

L74

Lokomotiv

med ångöverhettning och enkel expansion.

Grunderna för beräkning av dragkraft och bränsle- förbrukning

av

K. E. NORDLING.



KARLSHAMN 1928

Aktiebolaget E. G. Johanssons Boktryckeri

Approximativ beräkning av dragkraft för lokomotiv med ångöverhettning och enkel expansion.

I. Ångkvantitet pr tidsenhet.

Sökes den pr tidsenheten genererade ångkvantiteten med den grad av noggrannhet, som är möjlig, måste värmeöverföringen i pannan beräknas, se t. ex. »Grunderna för beräkning av värmeöverföringen i lokomotivångpannan», S. E. J. I. F. tryck, 1927. Vid summariska beräkningar av lokomotivets dragkraft kan i allmänhet ett förenklat, mera approximativt förfarande tillåtas.

Nedan beteckna:

R	m ²	total rostyta,
F ₁	»	inre eldyta av eldstaden,
F ₂ F ₃	»	» » » tuber resp. flamrör,
F ₄	»	värmeberörd överhettningssyta inom flamrören,
B	kg/m ² tim.	rostansträngning,
h	WE/kg	bränslets värmevärde,
p	at	absolut ångtryck,
Hx	kg/tim.	genererad ångvikt, oberäknat dess vattenhalt,
u ₁	kbm/kg	den mättade ångans specifika volym,
u ₂	»	» överhettade » » » »

Förhållandena mellan de värmeupptagande ytorna och rostytan ligga ofta i närheten av följande:

för pannor utan överhettare

$$F_1 : R = 4,6, \quad F_2 : R = 60, \quad F_3 = 0, \quad F_4 = 0,$$

för pannor med Schmidts eller liknande flamrörsöverhettare

$$F_1 : R = 4,6, \quad (F_2 + F_3) : R = 48, \quad F_4 : R = 16.$$

Värmeöverföringen blir i båda slagen ungefär densamma. Under vissa betingelser, B = 400 kg/m²tim. och luftöverskott n - 1 = 0,6 samt därmed sammanhörande värmeförluster, överföres i sådana pannor av det värme, som tillgodogöres, runt 42 % i eldstaden samt 58 % i tuberna, resp. i tuberna, flamrören och till överhettaren. Om tillika bränslet är stenkol med värmevärde h = 7500 WE och stybbhalten ringa till



medelmåttig samt ångtrycket $p = 11$ — — 15 at abs., kan i pannan utan överhettare beräknas en ångvikt pr kg stenköl $H_x/BR = 7,6$ kg och ur denna härledes för pannor med flammrörsöverhettare

$$\frac{H_x}{BR} = 7,6 \left[0,42 + 0,58 \left(\frac{48 + 36}{60 + 36} \right)^{0,5} - 0,046 \right] = 6,96 \text{ kg.}$$

Förändras förhållandena mellan värmeytor och rostytta eller rostansträngningen resp. bränslets värmevärde, undergår ångvikten en motsvarande förändring och blir ungefärligen

$$\frac{H_x}{BR} = \frac{7,6 \text{ h}}{7500} \cdot \frac{1,04 + 0,001 B}{0,8 + 0,0016 B} \cdot a \dots \dots \dots \text{ Ekv. 1.}$$

Den överhettade ångans specifika volym blir, jfr tab. 1,

$$u_4 = u_3 [1 + (0,1 \sqrt{5,75^2 - (5,55 - 0,01 B)^2} - 0,18) \cdot b] \text{ Ekv. 2.}$$

I dessa ekvationer äro

$$a = 0,28 \left(\frac{4,6 R}{F_1} \right)^{0,5} + 0,14 \left(\frac{F_1 + 3,4 R}{8 R} \right)^{0,5} +$$

$$+ 0,58 \left(\frac{F_2 + F_3 + 36 R}{96 R} \right)^{0,5} - 0,046 \left(\frac{F_4}{16 R} \right)^{0,5}$$

$$b = \left(\frac{F_4}{16 R} \cdot \frac{0,87}{0,28 \cdot 4,6 R : F_1 + 0,14 F_1 : (4,6 R) + 0,45 (F_2 + F_3) : (48 R)} \right)^{0,5} \dots \dots \dots \text{ Ekv. 3.}$$

Totala ångvikten med avdrag för innehållet vatten blir H_x kg och totala ångvolymen $u_4 H_x$ kbm; allt pr timme.

Den överhettade ångans mot u_4 svarande temperatur erhålles ur tab. 1.

Ekvationerna äro uppställda för luftöverskotten $n = 1 = = 0,7$ — — $0,5$ vid $B = 200$ — — 600 kg/m²tim. och förutsätta, att rökgaserna fördelas på tuber och flammrör i visst förhållande, sammanhörande med ytorna F_2 F_3 och F_4 , jfr det ovan åberopade arbetet. Inflytandet av förändringar i detta förhållande, som i synnerhet berör ångvolymerna u_4 och $u_4 H_x$ samt ångtemperaturen t_4 , kunna icke bestämmas genom de jämförelsevis enkla formelnerna, ekv. 1 — — 3. Dessa kunna tillämpas på lokomotivångpannor, i vilka överhettningssytan F_4 är = $12 R$ — — $20 R$.

Förefinnas särskilda bränslebesparande anordningar, t. ex. matarvattenförvärmare, injektor för avloppsånga eller spirai-

vidna tuber, tages inflytandet av dem på ångvikt och ångvolym i räkning med förläggning väl på säkra sidan, då det i olika fall kan variera avsevärt.

Vid användande av	Ökning i % av	
	ångvikt	ångvolym
matarvattenförvärmare	9 — 14	6 — 10
injektor för avloppsånga	5 — 9	4 — 7
spiraltuber, beroende av formen	6 — 2	4 — 7

Övre gränsen för bränsleförbrukningen BR bestämmes bl. a. av eldarens prestationsförmåga och kan vid eldning för hand sättas till 1200 à 1300 kg/tim. under normal tjänstgöringstid, upp till 1600 à 1700 kg för kortare tidsperiod.

Jämförelser av effekten hos olika lokomotivångpannor skola alltid grundas på lika rostansträngning.

Av den genererade ångkvantiteten förbrukas en mindre del i lokomotivets hjälpapparater, bromsen, sotaren m. m., anslagen till i genomsnitt 0,03 u_4 Hx kbm. Tågvärmning från lokomotiv beräknas taga intill 0,08 u_4 Hx kbm i anspråk.

Den för ångcylindrarna disponibla ångvolymen blir därmed i medeltal $\approx u_4$ Hx kbm/tim. =

0,93 u_4 Hx för snäll- och persontågslokomotiv, resp.

0,97 u_4 Hx » godstågs- och växellokomotiv.

II. Medeltryck och ångvolymen vid olika cylinderfyllningar samt motsvarande hastigheter.

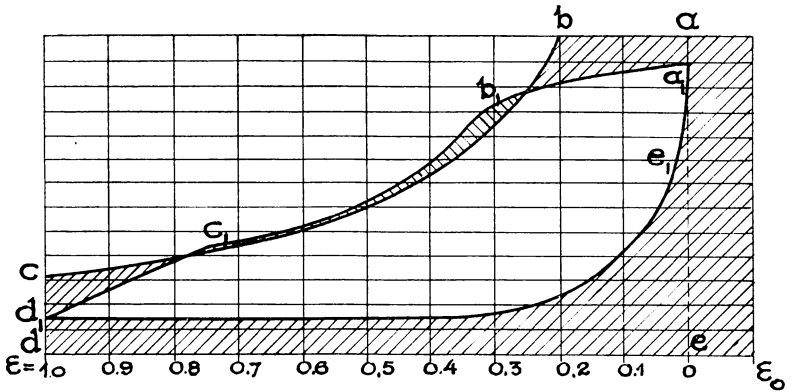
Beteckningar:

C	st.	antal ångcylindrar med lika d och L ,
d	m	cylinderdiameter,
L	»	slagets längd,
D	»	drivhjulsdiameter,
ε	rel.	cylinderfyllning (skalafyllning),
ε_0	»	skadligt rum,
i	»	expansionsförhållande = $(1 + \varepsilon_0) : (\varepsilon + \varepsilon_0)$,
f	»	ytan av det absoluta tryckdiagrammet,
f_m	»	den verksamma ytan av indikatordiagrammet (medeltryckskoefficient),

- p_a at. abs. inströmnings-medeltryck,
 p_s » kompressions-sluttryck,
 p_m at. skillnaden mellan medeltrycken å kolvsidorna
 (effektiva medeltrycket),
 U rel. erforderlig volym ånga av trycket p pr enkelt
 kolvslag vid fyllningen ε , därav
 U_1 » ånga från pannan.
 U_2 » kompressionsånga,
 n antal hjulvarv pr minut,
 V km/tim. körhastighet.

Tillsvidare sättes $L = 1$ och ε ε_0 f f_m U_1 U_2 uttryckas i delar av enheten.

Fig. 1.



I diagrammet, fig. 1, representeras f av ytan $a b c d e$. För överhettad ånga blir

$$f = \frac{1}{i} \left[1 + 3,333 \left(1 - \frac{1}{i^{0,5}} \right) \right] (1 + \varepsilon_0) - \varepsilon_0 \dots \text{ Ekv. 4.}$$

För bestämningen av f_m , = ytan $a_1 b_1 c_1 d_1 e_1$ i diagrammet, ligga dels undersökningar i E. T. G., die Lokomotiven, 1920, sid. 946 o. f. och dels några serier indikatoridiagram till grund.

För $p = 13$ at abs. och $\varepsilon_0 = 0,10$ blir empiriskt

$$\begin{aligned}
 f_m &= (0,63 + 0,1 \varepsilon) \left(\frac{2,2 - 2 \varepsilon + 0,0075 \cdot 120}{2,2 - 2 \varepsilon + 0,0075 n} \right)^{0,5} \cdot f = \\
 &= (0,63 + 0,1 \varepsilon) \left(\frac{3,1 - 2 \varepsilon}{2,2 - 2 \varepsilon + 0,0075 n} \right)^{0,5} \cdot f \dots \text{ Ekv. 5.}
 \end{aligned}$$

Tabellerna II och II A upptaga värdena å f_m inom gränserna ε 0,80 — 0,15 och n 60 — 330. Dessa värden uttrycka för $L = 1$ även diagramytans medelhöjd, d. v. s. relativa medeltrycket. För andra värden å p än 13 at abs. införes en korrektion för p och effektiva medeltrycket blir

$$p_m = f_m (p - 1) \cdot \frac{13}{12} = f_m \cdot 1,083 (p - 1) \quad \dots \quad \text{Ekv. 6.}$$

Värdet av faktorn 1,083 ($p - 1$), se tab. III.

Sättes ekv. 5 under formen $f_m = kf$, däri k angiver diagrammets fyllighetsgrad, så är relativa förlusten i medeltryck ($f - kf$) : $f = 1 - k$. Av tryckförlusten härrör en del, ungefär tredjedelen, från ofullständig ånginströmning och inströmningstrycket blir därmed,

$$p_a = [1 - 0,33 (1 - k)] \cdot p = (0,67 + 0,33 k) p \quad \dots \quad \text{Ekv. 7.}$$

Reduceras volymen $\varepsilon + \varepsilon_0$ av trycket p_a till motsvarande volym av pantrycket p , erhålles

$$U = (p_a : p)^{0,769} (\varepsilon + \varepsilon_0) \quad \dots \quad \text{Ekv. 8.}$$

Den för arbetet erforderliga volymen $\varepsilon + \varepsilon_0$ av trycket p_a utgöres dels av ånga från pannan och dels av kompressionsånga. För $\varepsilon_0 = 0,10$ kan kompressionssluttrycket sättas till

$$p_s = 0,00125 (180 + n) p \quad \dots \quad \text{Ekv. 9,}$$

och reducerad till pantrycket p blir volymen ε_0 av trycket p_s

$$U_2 \propto (p_s : p)^{0,769} \varepsilon_0 \quad \dots \quad \text{Ekv. 10.}$$

Under inströmningen övergår en del av friskångans värme till cylinderväggarna och en annan del av värmnet förbrukas vid ångans arbete under inströmningsperioden. Dessa värmeförluster ersättas genom ökad ångtillströmning, som här tages i räkning genom införandet av en koefficient i ekvationen för den mot skalafyllningen ε svarande relativa volymen friskånga av trycket p ,

$$U_1 = (1,16 - 0,1 \varepsilon) (U - U_2) \quad \dots \quad \text{Ekv. 11.}$$

Härvid förutsättes ånga av så hög temperatur, att kondensation icke ifrågakommer under inströmningen.

Kvantiteterna p_a , p_s , U och U_2 kunna för olika ångfördelningsorgan och -regleringar antaga värden, som avsevärt avvika från de enligt ekv. 7 — — 10 bestämda. Det förutsättes, att relationen mellan de för dragkraften utslagsgivande volymkoefficienterna U_1 enligt ekv. 11 och medeltryckskoefficienterna f_m enligt ekv. 5 icke nämnvärt beröres härav.

I tab. IV och IV A återfinnas värden å U_1 för ε 0,80 — — 0,15 och n 60 — — 330.

Den absoluta ångvolymen, om kolvstångsvolymen avdrages med 2 %, blir slutligen

$$U_1 \cdot 0,98 \frac{\pi d^2}{4} L.$$

Den pr ångcylinder och enkelt kolvslag disponibla relativa ångvolymen U_1 km^3/min . bestämmas av ångcylindrarnas volymer och körhastigheten samt av den pr tidsenhet i pannan genererade ångvolymen,

$$U_1 \cdot 0,98 \frac{\pi d^2 L}{4} \cdot 2 C \cdot 60 n = \alpha u_1 H x,$$

och blir således vid n hjulvarv pr minut

$$U_1 = \frac{1}{60 \cdot 0,98 \frac{\pi d^2 L}{4} \cdot 2 C} \cdot \frac{\alpha u_1 H x}{n} \dots \dots \dots \text{Ekv. 12.}$$

Den motsvarande körhastigheten i km/tim . är

$$V = 0,06 \pi D \cdot n \dots \dots \dots \text{Ekv. 13.}$$

III. Dragkraft.

Beteckningar:

- Z_0 kg resp. hkr indikerad dragkraft,
 η rel. maskineriets verkningsgrad,
 Z kg resp. hkr den på koppeltapparna verkande dragkraften, utreducerad till drivhjulspärfierien,
 Z_1 » » » effektiv dragkraft i dragkroken å rak, horisontell bana.

Lokomotivets indikerade dragkraft är
i kg

$$Z_0 = 10000 \cdot p_m \cdot \frac{C}{2} \cdot 0,98 \frac{d^2 L}{D} \dots\dots\dots \text{ Ekv. 14 a,}$$

resp. i hkr

$$Z_0 = 10000 \cdot p_m \cdot \frac{C}{2} \cdot 0,98 \frac{d^2 L}{D} \cdot \frac{V}{75 \cdot 3,6} \dots\dots \text{ Ekv. 14 b,}$$

och i båda fallen är

$$Z = \eta Z_0 \dots\dots\dots \text{ Ekv. 15.}$$

Den effektiva dragkraften behandlas i sammanhang med gångmotstånden, avd. IV.

Ett tillförlitligt generellt uttryck för η kan ännu icke uppställas.

Enligt *Prof. Goss*, jfr E. T. G. die Lokomotiven 1920, sid. 917, 930 och 941, sjunker verkningsgraden vid avtagande cylinderfyllning och stigande antal hjulvarv. Beroendet kan ungefärligen uttryckas genom ekvationen

$$\eta_0 = (0,72 + 0,55 \varepsilon) : (1 + 0,00008 n^{1,33}).$$

De värden å η_0 , som erhållas härur, äro dock ej direkt tillämpliga, enär i avdraget $Z_0 (1 - \eta_0)$ från den indikerade dragkraften ingå icke blott motstånden i maskineriet utan även motståndet i de kopplade hjulens axellager och rullningsmotståndet för samma hjul.

I Glasers *Annalen* 1926, band 99, sid. 137 o. f. har *Prof. Nordmann* framlagt resultaten av undersökningar över maskineriets verkningsgrad, uttryckt i funktion av effektiva dragkraften och således ej heller den i ekv. 15 åsyftade. Under oförändrad körhastighet faller verkningsgraden vid avtagande ansträngning, mindre vid de större ansträngningarna resp. mera vid de mindre, och varierar avsevärt för olika lokomotivtyper.

Leitzmann anslår i *Theoretisches Lehrbuch des Lokomotivbaues*, sid. 61, friktionsförlusterna i maskineriet till omkring 10 %.

Tillsvidare kan uttrycket för verkningsgraden skrivas

$$\eta = a [0,95 - b (1 - \varepsilon)^n] \dots\dots\dots \text{ Ekv. 16,}$$

vari a betecknar en av lokomotivtypen beroende faktor, vanli-

gen med värde inom gränserna 1,05 — — 0,95 eller i genomsnitt 1,0, b sättes = 0,25 och $n = 6$, således

$$\eta = 0,95 - 0,25 (1 - \varepsilon)^6.$$

De motsvarande värdena för $\varepsilon = 0,80$ — — 0,11 återfinnas i tab. V.

Beräkningen av Z verkställes enklast i följande ordning: bestämningen av $\kappa u_4 Hx$ enl. avd. I; av U_1 enl. ekv. 12 för ifrågakommande hastigheter n ; av de U_1 och n motsvarande värdena å ε enl. tab. IV A; av de mot ε och n svarande koefficienterna f_m enl. tab. II A och η enl. tab. V; av p_m enl. ekv. 6 samt slutligen av Z enligt ekv. 14 a och 15.

Erhållas värden å U_1 , som enligt tab. IV A svara mot mindre skalafyllningar än 15 %, så anslutes räkningen till det i verkligheten tillämpade förfarandet, körning med strypt ångpådrag och ökad fyllning. Volymen U_1 expanderar således till U_r vid $\varepsilon = 0,15$, utan att arbetet härunder tillgodogöres, och panntrycket p reduceras till $p_r = p (U_1 : U_r)^{1,3}$. För värden å sistnämnda faktor, se tab. III².

Efter reduktion av hastigheterna n till V enligt ekv. 13, införas de funna värdena å Z såsom ordinator i ett diagram, vari V -värdena utgöra abskissor, och dragkraftskurvan uppträds, jfr ett följande exempel.

IV. Gångmotstånd och tågsvikt.

Från ses maskineriets motstånd, som verkar t. o. m. kopplapparna och redan är uteliminert genom koefficienten η , kunna *motstånden å rak, horisontell bana* för såväl lokomotiv som tendrar och vagnar sammanfattas i det gemensamma uttrycket

$$W = a + bV + cV^2.$$

De trenne termerna häri representera icke enskilda motstånd, utan ingå dessa i ekvationen på följande sätt:

$a_1 + b_1V$, friktionsmotstånden i axellager, lagerstyrningar, fjädersystem, draginrättningar och buffertar m. m. eller de s. k. inre motstånden, av vilka lagerfriktionen är dominerande;

a_2 , ett friktionsmotstånd vid hjulens rullning å skenorna, »rullningsmotståndet», till större delen härrörande från skennornas nedböjning under belastningen;

$a_3 + b_3V + cV^2$, det totala luftmotståndet, sammansatt av motståndet cV^2 mot luftens undanskjutande vid tågets framförande under vindstilla och vindmotståndet $a_3 + b_3V$.

Tillsammans äro $a_1 + a_2 + a_3 = a$ och $b_1 + b_3 = b$.

1. De inre motstånden.

Beteckna

d m lagergångarnas diameter,
 P ton belastningen på lagergångarna pr axel,
 G » axeltrycket på skenorna pr axel,
 μ_1 kg/ton friktionskoefficienten, hänförd till vitmetall på stål
 och oljesmörjning,
 så är för de enskilda hjulparen
 friktionsarbetet under ett hjulvarv

$$L = \text{kraften } \mu_1 P \times \text{vägen } \pi d = \mu_1 P \pi d \text{ kgm}$$

och friktionsmotståndet, utreducerat till hjulperiferien,

$$(a_1 + b_1V)' = \mu_1 P d : (GD) \text{ kg/ton.}$$

Koefficienten μ_1 är beroende av lagergångarnas periferihastighet ω och specifika lagertrycket p , jfr Hütte II 1926, sid. 111. I hastighetsområdet $\omega = 0$ — — 1 m/sek. avtager den från värdet för vilofriktionen till ett minimum, c:a 4 kg/ton, och stiger åter från detta samt blir inom området $\omega = 1$ — — 4 m/sek. resp. $p = 6$ — — 25 kg/cm² för sorgfälligt smorda glidlager ungefärligen

$$\mu_1 = k \left(4 + \frac{360 \omega}{p^2 + 80} \right) \approx k (4 - - 16) \text{ kg/ton}$$

eller för körhastigheten V km/tim., $V : 3,6 = \omega$,

$$\mu_1 = k \left(4 + \frac{100 V}{p^2 + 80} \cdot \frac{d}{D} \right).$$

Genomsnittsvärden å $d : D \approx 0,13$ för lokomotiv med tenderar och $\approx 0,11$ för vagnar.

Koefficienten k varierar från 1 vid fullständigaste smörjning, hel oljehinna mellan lager och tapp, upp till högre värden och sättes här till 2. För kopplade axlar tillkomma krafter, som öka lagertrycket resp. friktionsarbetet utöver de från be-

lastningen fallande och denna ökning tages i räkning genom faktorn 1,5 till μ_1 . För p kan ett medelvärde 12 kg/cm² tillåtas. Friktionskoefficienten blir slutligen för lokomotiv och tenderar

$$\mu_1 = 8,0 + 0,116 V$$

samt för vagnar

$$\mu_1 = 8,0 + 0,098 V.$$

Tillämpning på ett lokomotiv med tender:

Axlar	P ton	G ton	d m	D m
2 boggi-	11,7	13,0	0,17	0,98
3 kopplade	14,0	17,4	0,21	1,89
4 tender-	9,2	10,5	0,13	1,08

Då koefficienten för V står i bestämt förhållande 0,0145 till konstanten, beräknas endast den senare, $V = 0$.

$$\text{Boggi- axlar} \quad 8 \cdot 2 \cdot 11,7 \cdot 0,17 : 0,98 = 32,47$$

$$\text{Kopplade} \quad \gg \quad 1,5 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 14,0 \cdot 0,21 : 1,89 = 56,00$$

$$\text{Tender-} \quad \gg \quad 8 \cdot 4 \cdot 9,2 \cdot 0,13 : 1,08 = \underline{35,44} \quad 123,9$$

$$a_1 = 123,9 : (2 \cdot 13 + 3 \cdot 17,4 + 4 \cdot 10,5) = 1,03 \quad \text{samt}$$

$$(a_1 + b_1 V)' = 1,03 + 1,03 \cdot 0,0145 V = 1,03 + 0,0149 V.$$

De övriga inre friktionsmotstånden äro svårigen bestämbara, men i alla händelser av underordnad betydelse och torde uppgå till högst 10 % av konstanten. Därmed blir

$$a_1 + b_1 V = 1,13 + 0,0149 V \text{ kg/ton.}$$

Exempel å tillämpningen för person- och godsvagnar:

	Vagnslag	P ton	G ton	d m	D m
1	4-axl. personboggivagnar	6,5	7,5	0,110	0,96
2	2- » öppna godsv., tomma	3,9	5,0	0,115	1,00
3	2- » » » , lastade	13,9	15,0	»	»

1. $a_1 = 8 \cdot 6,5 \cdot 0,110 : (7,5 \cdot 0,96) = 0,79$
2. $a_1 = 8 \cdot 3,9 \cdot 0,115 : (5,0 \cdot 1,00) = 0,72$
3. $a_1 = 8 \cdot 13,9 \cdot 0,115 : (15,0 \cdot 1,00) = 0,85.$

Skillnaderna minskas vid stigande hastighet, om de olika lagertrycken p införs i beräkningen, och användandet av ett medelvärde $a_1 = 0,79$ blir tillåtligt, således

$$(a_1 + b_1 V)' = 0,79 + 0,79 \cdot 0,0122 V = 0,79 + 0,0096 V,$$

resp. med tillägg för övriga inre friktionsmotstånd,

$$a_1 + b_1 V = 0,87 + 0,0096 V \text{ kg/ton.}$$

2. Rullningsmotståndet.

Rullningsmotståndet behandlas i det tidigare anförda arbetet, Theoretisches Lehrbuch des Lokomotivbaues. Det kan ännu icke bestämmas med någon större grad av noggrannhet, är troligen avtagande vid stigande hastighet, men uttryckes oberoende av denna:

$$a_2 = k : (0,5 D)^{0,5} = 0,6 : (0,5 D)^{0,5} \text{ kg/ton.}$$

För lokomotivet och tendern i ovanstående exempel blir

$$a_2 = 0,6 \left(\frac{26}{0,700} + \frac{52,2}{0,972} + \frac{42}{0,735} \right) : 120,2 = 0,74 \text{ kg/ton}$$

och för vagnarna i genomsnitt

$$a_2 = 0,6 : 0,49^{0,5} = 0,86 \quad \gg$$

3. Luftmotståndet.

Om en prismatisk eller cylindrisk kropp med plana, mot längdaxeln vinkelräta ändytor under vindstilla framföres i axelns riktning, möter ett motstånd från luften, sammansatt av dels ett tryck på den främre ändytan och dels friktion mot alla de luftberörda ytorna. För kroppar av sådan enkel form kunna dessa motstånd utan svårighet beräknas, vid mera invecklade former däremot, såsom t. ex. hos ett lokomotiv, bliva räkneresultaten alltid osäkra.

Beteckningar, hänfödda till järnvägsfordon:

γ kg/kbm	luftens specifika vikt,
g m/sek. ²	tyngdkraftens hastighetsacceleration,
F m ²	fordonets största projektionsyta vinkelrätt mot rörelseriktningen,
M kg sek. ² /m	luftviktens massa = $\omega F \gamma$: 9,81, med betydelsen längd för ω ,
q kg/m ²	trycket på enheten av ytan F ,
k rel.	koefficient, beroende av fordonets form,
G ton	fordonets egenvikt.

Det vid luftens undanskjutande förrättade arbetet blir, oberäknat övertvinnandet av friktionsmotståndet,

$$L = M\omega^2 : 2 \text{ kgm,}$$

trycket på ytenheten

$$q = \gamma\omega^2 : (2 g) \text{ kg/m}^2$$

eller, för V i km/tim. och $\gamma = 1,29$ vid 0°C ,

$$q = 1,29 \left(\frac{V}{3,6} \right)^2 : 19,62 = 0,0051 V^2 \text{ kg/m}^2,$$

friktionsmotståndet kan sättas i funktion härav och motståndet i sin helhet blir pr viktsenhet av fordonet

$$cV^2 = k \cdot 0,0051 FV^2 : G.$$

Vid bestämningen av k kunna uppgifter i Hütte I 1925, sid. 373, tagas till hjälp. För långsträckta plana ytor kan k uppgå till 2,0, för en kvadratisk plan yta är den 1,1, för en cylinder med plan ändyta mot rörelseriktningen 0,85 — — 0,99, beroende av cylinderns relativa längd, för en kon med motriktad spets och 60° spetsvinkel 0,51.

Ytan inom lokomotivets tvärprofil är sammansatt av ett antal i olika plan förlagda ytor, vilket ökar motståndet, men samtidigt ha vissa av dessa ytor oftast sådan form, att motståndet utfaller avsevärt mindre än om de vore plana. Med ledning härav kan koefficienten för lokomotiv med friliggande ångpannor antagas vara $k \approx 1$.

Betecknar

G_1 ton vikten av lokomotiv och tender, inberäknat $\frac{2}{3}$ förråd i den senare, blir

$$cV^2 = 0,0051 FV^2 : G_1 \text{ kg/ton.}$$

Luftmotståndet på grund av maskindelarnas rörelse inbegripes icke häri, utan får anses ingå i avdraget $Z_0 (1 - \eta)$ från den indikerade dragkraften.

Vindens hastighet varierar i de lägre luftlagren från 0 under vindstilla upp till 45 m/sek. eller runt 160 km/tim. vid svåraste orkan. I undantagsfall kan vindmotståndet således bli större än cV^2 , i allmänhet är det mycket lägre. Enligt observationer å en ort i Tyskland, se Hütte I 1925, sid. 369, är vindhastigheten vid jordytan i genomsnitt 4,7 m/sek. \approx 17 km/tim. För tåget i sin helhet blir vindmotståndet störst, om vinden är snett motriktad. Ogynnsammaste infallsvinkeln mot tvärytorna är omkring 45° för personvagnar med öppna plattformar resp. 25° för godsvagnar eller i medeltal 35° . Hastighetskomponenten mot tågets rörelseriktning, vid $V = 17$ km/tim. $17 \sin 35^\circ \approx 9$ km/tim., ökas med skattningsvis $\frac{1}{3}$ till 12 km/tim. för störningen av luftens strömning omkring tåget och dessutom tillägges en konstant $\approx 0,3$ kg/ton för ökad friktion på grund av trycket från vindens mot tågsidan riktade hastighetskomponent. Summan av luft- och vindmotstånden blir

$$\begin{aligned} a_3 + b_3 V + cV^2 &= 0,3 + 0,0051 F (V + 12)^2 : G_1 \\ &= 0,3 + \frac{0,0051 F}{G_1} (144 + 24 V + V^2). \end{aligned}$$

För det redan behandlade lokomotivet med $F = 10,5 \text{ m}^2$ och $G_1 = 120 \text{ ton}$ blir $0,0051 F : G_1 \approx 0,000446$ och

$$a_3 + b_3 V + cV^2 = 0,36 + 0,0107 V + 0,000446 V^2.$$

Ett förelöpande fordon skyddar en del av det omedelbart efterföljande mot luftströmningen. Det för bestämningen av denna andel föreliggande underlaget, jfr Hütte I 1925, sid. 373, fig. 46 — 48, är ännu ofullständigt, men möjliggör dock en approximativ uppskattning. Under förenklade betingelser får det skyddade området bakom en rektangulär yta F närmast formen av en kil, vars egg är belägen på ett avstånd från ytan av $\approx 4,5 \times$ ytbredden eller ythöjden, minsta måttet. För kvadratiske ytor blir avståndet $\approx 4,5 F^{0,5}$ och kan detta ut-

tryck användas även för närstående, icke rektangulära ytor. Äro de båda sammankopplade fordonens ytor lika och avståndet emellan dem n meter, blir således den oskyddade ytan f hos det efterlöpande fordonet

$$f = F \left(1 - \frac{4,5 F^{0,5} - n}{4,5 F^{0,5}} \right) = \frac{n F^{0,5}}{4,5} \text{ m}^2.$$

Den förutsatta, snett infallande vindriktningen kan anses inverka i rummet mellan fordonen på det sätt, att det skyddade områdets axel vrides och dess verksamma yta $F - f$ skjutes något åt sidan. Inflytandet härav kan försummas, då det vid oförändrad vindhastighet avtager med stigande körhastighet.

Vid fullföljandet av den inledda motståndsberäkningen för vagnarna antagas personboggivagnarna ha öppna plattformar och godsvagnarna 1,6 m höga väggar. n är medelavståndet mellan de i olika plan belägna gavelytorna.

	Vagnslag	G_2 ton	F m ²	n meter
1	4-axl. personboggivagnar	30	9,8	2,4
2	2- » öppna godsvagnar, tomma	10	6,4	1,7
3	2- » » » , lastade	30	»	»

Häri betecknar

G_2 ton totala vagnsvikten.

Efter bestämning av de oskyddade ytorna,

$$1. \quad f = 2,4 \cdot 3,13 : 4,5 = 1,67 \text{ m}^2,$$

$$2. \quad 3. \quad f = 1,7 \cdot 2,53 : 4,5 = 0,96 \text{ » } ,$$

och insättning av f i ekvationen

$$a_3 + b_3 V + cV^2 = 0,3 + \frac{0,0051 f}{G_2} (144 + 24 V + V^2),$$

bliva för

$$1. \quad a_3 + b_3V + cV^2 = 0,34 + 0,0068 V + 0,000284 V^2$$

$$2. \quad \gg \quad \gg \quad \gg = 0,37 + 0,0118 V + 0,000490 V^2$$

$$3. \quad \gg \quad \gg \quad \gg = 0,32 + 0,0039 V + 0,000163 V^2.$$

4. G å n g m o t s t å n d e t.

Beteckningar:

W_1 kg/ton gångmotståndet å rak horisontell bana för lokomotiv och tender, då det förra går framåt i spetsen för tåget,

W_2 » » gångmotståndet å rak, horisontell bana för vagnar.

För lokomotivet och tendern med 120 tons vikt erhålles:

$$a_1 + b_1V = 1,13 + 0,0149 V$$

$$a_2 = 0,74$$

$$a_3 + b_3V + cV^2 = 0,36 + 0,0107 V + 0,000446 V^2$$

$$a. + bV + cV^2 = 2,23 + 0,0256 V + 0,000446 V^2 =$$

$$= W_1 \quad \approx 2,2 + 0,026 V + 0,00045 V^2.$$

Formeln är tillämplig för lokomotivtyper, som stå den angivna nära i storlek och vikt. Med avtagande egenvikt hos lokomotivet utfalla de specifika gångmotstånden merendels allt större. Som exempel härpå beräknas de enligt de anförda grunderna för ett tanklokomotiv 1-C-1 med $F = 9,6 \text{ m}^2$, $G_1 = 57 \text{ ton}$ samt i övrigt följande vikter, tapp- och hjulmått:

Axlar	P ton	G ton	d m	D m
2 löp-	7,7	8,7	0,15	0,88
3 kopplade	11,1	13,2	0,17	1,40

$$a_1 + b_1V = 1,32 + 0,0177 V$$

$$a_2 = 0,77$$

$$a_3 + b_3V + cV^2 = 0,42 + 0,0206 V + 0,000860 V^2$$

$$a + bV + cV^2 = 2,51 + 0,0383 V + 0,000860 V^2 =$$

$$= W_1 \quad \approx 2,5 + 0,038 V + 0,00086 V^2.$$

Motståndsekvationen vinner i överskådlighet, om den i andra termen ingående andelen av luftmotståndet fördelas på a och cV^2 . Uttrycket för luftmotståndet blir då i allmänhet

$$a_3 + b_3V + cV^2 = a'_3 + c'V^2$$

och med tillämpning på lokomotiv

$$a'_3 + c'V^2 = 0,3 + \frac{0,0051 F}{G_1} (1000 + 1,16 V^2).$$

I de båda förut berörda fallen erhålles, för lokomotivet med 120 tons vikt, inberäknat tendern,

$$\begin{array}{rcl} a_1 + b_1V & = & 1,13 + 0,0149 V \\ a_2 & = & 0,74 \\ a'_3 + c'V^2 & = & 0,75 + 0,000517 V^2 \\ \hline a + bV + cV^2 & = & 2,62 + 0,0149 V + 0,000517 V^2 = \\ = W_1 & \approx & 2,6 + 0,015 V + 0,00052 V^2 \end{array}$$

samt för tanklokomotivet med 57 tons vikt

$$\begin{array}{rcl} a_1 + b_1V & = & 1,32 + 0,0177 V \\ a_2 & = & 0,77 \\ a'_3 + c'V^2 & = & 1,16 + 0,000998 V^2 \\ \hline a + bV + cV^2 & = & 3,25 + 0,0177 V + 0,000998 V^2 = \\ = W_1 & \approx & 3,2 + 0,018 V + 0,00100 V^2. \end{array}$$

Vid överslagsberäkningar eller då hjulsatsernas vikter ej äro kända kan följande approximativa motståndsuttryck tillämpas för lokomotiv med eller utan tendrar:

$$W_1 = \frac{330}{230 + G_1} (2,8 + 0,016 V) + \frac{0,006 FV^2}{G_1} \dots \dots \text{Ekv. 18.}$$

Motståndets beroende av lokomotivets allmänna anordning ingår redan till större delen i formlerna. Motståndet $(a + bV) G_1$ stiger med antalet kopplade axlar, men Z_0 , η och $Z_0 (1 - \eta)$ ökas vanligen i ungefär samma förhållande och till den ökade lagerfriktionen toges hänsyn genom införandet av koefficienten 1,5 till μ_1 . Uppdelningen av maskineriet på 2,

3 eller 4 enkla ångmaskiner inverkar så obetydligt på motståndet, jfr nedan, att inflytandet kan försummas vid här ifrågakommande beräkningar.

I Glasers Annalen 1913, band 72, har Regierings- och Baurat *Strahl* offentliggjort en mycket uppmärksammat avhandling över bestämningen av tåghastigheter och körtider. De däri framlagda grunderna för beräkningen av lokomotivens dragkraft tillämpas vid några av Europas största järnvägsföretag och äro hos oss mest kända genom Kungl. Järnvägsstyrelsens välbekanta »Lokomotivlära». Motståndsekvationen, som även inbegriper friktionsförlusterna i maskineriet, har med användande av Strahls ursprungliga hastighetstillägg för vindmotståndet följande utseende:

$$W' = \frac{2,5 G'}{G_1} + \frac{kG''}{G_1} + \frac{0,006 F}{G_1} (V + 20)^2.$$

Häri beteckna

G' ton skentryck från löp- och tenderaxlar = $G_1 - G''$,
 G'' » » » kopplade axlar,
 W' kg/ton specifika gångmotståndet för totalvikten G_1 ,
 k » » » » vikten G'' .

Värden å k.

Antal kopplade axlar	2		3		4		5			
Antal ångcylindrar	2	2	3	4	2	3	4	2	3	4
k	5,8	7,3	7,4	7,5	8,4	8,5	8,6	9,3	9,4	9,5

För lokomotivet med $G_1 = 120$ ton inkl. tender, $G' = 68$ och $G'' = 52$ ton samt $F = 10,5$ m² blir

$$W' \approx 4,8 + 0,021 V + 0,00052 V^2.$$

Beräknas effektiva dragkraften enligt ekv. 24 vid några hastigheter, t. ex. 30, 60 och 90 km/tim., med användande av dels den förut härledda och dels den nyss angivna motståndsforneln, erhålles:

$$1. Z_1 = Z_0 - Z_0(1 - \eta) - W_1 G_1.$$

V	30		60		90	
Z_0		9950		5750		4170
$Z_0(1 - \eta)$	570		580		590	
$(2,6 + 0,015 V + 0,00052 V^2) G_1$	422	992	644	1224	979	1569
Z_1		8958		4526		2601

$$2. Z_1 = Z_0 - W' G_1 \text{ (Strahl).}$$

Z_0	9950	5750	4170
$(4,8 + 0,021 V + 0,00052 V^2) G_1$	708	952	1308
Z_1	9242	4798	2862

Dragkrafterna i 2 äro redan 3 — 10 % större än i 1, i stigningar 10 ‰ under i övrigt oförändrade betingelser ökas skillnaden till 3 — 18 % och användes det Strahlska räkneunderlaget i sin helhet — däri ingår då även beräkningen av ångalstring och ångförbrukning — utfaller den ännu större. Det har också inträffat, att de sålunda beräknade dragkrafterna icke ha kunnat påräknas i verkligheten, jfr Prof. Nordmanns i III åberopade avhandling. Då marginalen mot ogynnsamma inflytanden tillsvidare måste anses snävt utmätt, tillämpas i det följande de tidigare anförda formlerna vid dragkraftsbestämningarna.

Vid summering av de enskilda motstånden för vagnarna enligt tabellen i 3 bliva gångmotstånden:

1. $W_2 \approx 2,1 + 0,016 V + 0,00028 V^2$
2. $W_2 \approx 2,1 + 0,021 V + 0,00049 V^2$
3. $W_2 \approx 2,1 + 0,014 V + 0,00016 V^2$.

Då det är av viss betydelse, att de för olika lokomotivtyper beräknade tågvikterna bliva fullt jämförbara, bortses icke sällan från skillnaderna i motstånd för olika tågslag och lägges en genomsnittsformel till grund för beräkningarna. För tidtabellsbestämningar vid Statens Järnvägar användes en av v. *Borries* uppställd sådan, närmast giltig för medeltunga personvagnar och lastade godsvagnar:

$$W_2 = 1,6 + 0,015 V + 0,0003 V^2 \dots \dots \dots \text{ Ekv. 19 a.}$$

En sammanställning av några värden enligt denna och de motsvarande, närmast föregående formlerna 1 resp. 3 framläggas till jämförelse:

Körhastighet	$V =$	30	60	90	km/tim.
Formel 1.	$W_2 =$	2,83	4,07	5,81	kg/ton
» 2.	$W_2 =$	2,66	3,52	4,66	»
Ekv. 19 a.	$W_2 =$	2,32	3,58	5,38	»

För tunga personboggivagnar utfaller motståndet mindre, i synnerhet om vagnarna äro förenade med bälgar, och kan enligt *Nadal* sättas till

$$W_2 = 1,4 + 0,016 V + 0,0002 V^2 \dots\dots\dots \text{Ekv. 19 b.}$$

För tåg av lätta personvagnar, av omväxlande lastade och tomma godsvagnar eller av enbart tomma sådana upptagas formler enligt *Frank* i tab. VI.

5. Stigningsmotståndet.

Beteckningar:

s ‰ stigningsförhållande $s/1000$,

W_3 kg/ton stigningsmotstånd.

I en stigning är $\text{tg } \alpha = s : 1000$ och tyngdkraftens komponent i lutningens riktning $1000 \sin \alpha$ kg/ton, om α är stigningsvinkeln. För små vinklar är $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha$. Motståndet blir därmed

i stigningen

$$W_3 = 1000 s : 1000 = s \text{ kg/ton}$$

och i motsvarande lutning

$$W_3 = - s \text{ kg/ton}$$

oberoende av körhastigheten.

6. Kurvmotståndet.

W_4 kg/ton kurvmotstånd,

R m kurvradié.

Införes ett fordon i en kurva, löper främre ytterhjulets fläns mot den yttre skenan och måste i fortsättningen följa dess krökning. Under den fortskridande rörelsen vrides fordonets framände kontinuerligt åt sidan, varmed bl. a. följer, att dess hjul icke endast rulla utan även måste glida på skenorna. Friktionen vid denna glidning utgör det väsentligaste av *kurvmotståndet*.

Har fordonet förflyttats ett bågstycke, bestämt av tvenne radier R och mellanliggande vinkel α , så har det också vridits vinkeln α . Då vridningen alltid försiggår kring en viss punkt, kunna de enskilda hjulens glidvägar behandlas såsom bågar, bestämda av avstånden från vridpunkten och av vinkeln α . Dessa bågar måste förhålla sig till bågen för förflyttningen som avstånden förhålla sig till kurvradien och kunna således beräknas, om vridpunktens läge är känt. Den något invecklade bestämningen av detta läge, se Dr.-Ing. *Heumann*: »Zum Verhalten von Eisenbahnfahrzeugen in Gleisbogen», Organ etc. 1913, sid. 104, kan här utelämnas och ersättas med fastställandet av tvenne gränslägen.

I enklaste fall har fordonet två fasta axlar med axelavståndet A . Dess bakre axel söker att inställa sig i radiens riktning och om det är möjligt, vilket beror av förhållandet $A : R$, kan vridningen av fordonet tänkas äga rum kring ett av hjulen, företrädesvis bakre innerhjulet. Är axelavståndet stort i förhållande till kurvradien, kan bakaxeln ej intaga den radiella ställningen, dess förlängning inåt faller i stället bakom kurvans medelpunkt och på grund av hjulens riktning rullas bakre innerhjulets fläns in mot innerskenan. Fordonets vridning ombesörjes då av tvenne diagonalt belägna hjulflänsar och vridpunkten faller mellan axlarna.

Betecknas avståndet mellan skenornas mittlinjer med B och summan av hjulens glidvägar med Σ , blir

$$\frac{0 + A + (A^2 + B^2)^{0,5} + B}{R} \geq \Sigma \geq 4 \frac{(A^2 + B^2)^{0,5}}{2R}$$

Ledet till vänster avser vridning kring ett av hjulen, ledet till höger vridning kring mittpunkten $A/2$, $B/2$.

Det motsvarande arbetet erhålles genom insättning av $\mu G_2 : 4$ som faktor till de resp. uttrycken. Friktionskoefficienten μ är ≈ 250 kg/ton. För den tillkommande friktionen vid hjulflänsarnas beröring med skenorna och för stegringen av fordonets inre motstånd i kurvorna införes ett förhöjt värde $\Sigma \approx 4(A + B) : (2 R)$ och en av radien beroende faktor $1 + 45 : R$. Efter denna empiriska komplettering erhålles:

arbetet

$$L = \frac{\mu G_2}{4} \cdot 4 \frac{A + B}{2 R} \left(1 + \frac{45}{R}\right) \text{ kgm}$$

och motståndet

$$W_4 = \frac{\mu(A + B)}{2 R} \left(1 + \frac{45}{R}\right) \text{ kg/ton.}$$

Beroendet av körhastigheten V ingår icke i den förenklade härledningen av motståndet och räkneresultaten bliva därigenom ytterligare approximativa.

Vid uppställningen av motsvarande formler för fordon med tre eller flera fasta axlar kan vridpunkten förläggas till inre bakhjulet. Motstånden utfalla därvid endast obetydligt större än om de beräknas för den verkliga vridpunkten, som i allmänhet ligger framför axeln.

Rörlighet hos en eller flera av fordonets axlar minskar motståndet. Såsom exempel härpå anföras ett par formler enligt *Hoffmann*, jfr *Organ* etc. 1885, sid. 174, avseende normalspåriga, tvåaxliga fordon:

med fasta axlar

$$W_4 = 21 \frac{4 A + A^2}{R - 45} \dots \text{ Ekv. 21 a,}$$

med länkaxlar

$$W_4 = 0,4 + \frac{40 A}{R} \dots \text{ Ekv. 21 b.}$$

Ofta bestämes motståndet mera summariskt enligt en formel av *v. Röckl*:

$$W_4 = \frac{650}{R - 55} \dots\dots\dots \text{Ekv. 21 c,}$$

tillämplig för normalspår och närmast hänförlig till fordon med omkring 4 m fast axelavstånd. För mindre kurvradier, $R < 250$ m, giver den för stora värden. I Kungl. Järnvägsstyrelsens lokomotivlära upptagas motsvarande uttryck för smalspår:

Spårvidd	m	=	1,067	0,890	0,600
W_4	kg/ton	=	$\frac{400}{R - 20}$	$\frac{375}{R - 15}$	$\frac{200}{R - 5}$

Till jämförelse beräknas W_4 enligt de tillämpliga formlerna härövan för en normalspårig, fyraxlig personvagn med $2 A = 2 \cdot 2,4$ m. Kurvradien är $R = 300$ m.

Härledd formel:

$$W_4 = \frac{250 (2,4 + 1,5)}{2 \cdot 300} \left(1 + \frac{45}{R}\right) = 1,87 \text{ kg/ton}$$

Ekv. 21 a:

$$W_4 = \frac{21 (4 \cdot 2,4 + 5,76)}{300 - 45} = 1,26 \text{ »}$$

Ekv. 21 c:

$$W_4 = \frac{650}{300 - 55} = 2,65 \text{ »}$$

Enligt ekv. 21 a underskattas motståndet, enligt ekv. 21 c överdrives det. Vid användning av den senare kan överskattningen merendels utjämnas genom att W_4 försummas för kurvor med stor radie, t. ex. $R > 600$ m.

7. Tågvikten.

ΣWG ton summan av tågfordonens gångmotstånd,

Z_r kg en hjälpkvantitet, »reducerad dragkraft».

Dragkraften Z och summan av tågfordonens gångmotstånd ΣWG bestämma tåghastigheten:

$Z > \Sigma WG$ angiver accelerationstillstånd,

$Z = \Sigma WG$ » fortvarighets- » ,

$Z < \Sigma WG$ » retardations- » .

Vid konstant hastighet blir således, jfr definitionerna i det föregående,

$$Z = (W_1 \pm W_3 + W_4) G_1 + (W_2 \pm W_3 + W_4) G_2 \dots \text{ Ekv. 22,}$$

och det direkta uttrycket för tågagnarnas vikt

$$G_2 = \frac{Z - (W_1 \pm W_3 + W_4) G_1}{W_2 \pm W_3 + W_4} \dots \text{ Ekv. 23,}$$

samt effekt. dragkraften å rak, horisont. bana, $W_3 = 0, W_4 = 0$.

$$Z_1 = Z - W_1 G_1 \dots \text{ Ekv. 24.}$$

De hithörande beräkningarna underlättas och de i avd. V förekommande förenklas avsevärt genom införandet av hjälpkvantiteten Z_r eller den dragkraft, som skulle erfordras för att med oförändrad hastighet framföra tåget, om specifika gångmotståndet för vagnarna vore tillämpligt för hela tågvikten, således

$$Z_r = (W_2 \pm W_3 + W_4) (G_1 + G_2).$$

Då ekv. 22 alltid kan skrivas under formen

$$Z = (W_1 - W_2) G_1 + (W_2 \pm W_3 + W_4) (G_1 + G_2),$$

så blir tillika

$$Z_r = Z - (W_1 - W_2) G_1 \dots \text{ Ekv. 25,}$$

d. v. s. den på koppeltapparna verkande, till drivhjulspärfierien utreducerade dragkraften, minskad med skillnaden mellan gångmotstånden för lokomotiv plus tender och en lika stor vagnvikt.

Det motsvarande uttrycket för tågagnarnas vikt blir

$$G_2 = \frac{Z_r}{W_2 \pm W_3 + W_4} - G_1 \dots \dots \dots \text{ Ekv. 26.}$$

Värden å W_1 enl. ekv. 18 för viss lokomotivtyp, å W_2 enl. ekv. 19 och å $W_1 - W_2$ för $V = 5 - 100$ km/tim. återfinnas i tab. VII₁, å W_4 enl. ekv. 21 c för R 125 — 2100 m i tab. VIII.

För det följande erfordras såsom underlag Z-kurvor och G_2 -kurvor, de senare beräknade för vissa av banprofilen betingade stigningar upp till den största förekommande. Är denna t. ex. 10 ‰, kunna de lämpligen upprättas för $s = 0, 2, 4, 6, 8$ och 10 ‰ vid anspråk på större grad av noggrannhet, resp. $s = 0, 5, 8$ och 10 ‰ i enklare fall.

V. Gångtid, tid och väg vid acceleration resp. retardation.

Beteckningar:

S	km	väglängd,
t	min.	gångtid, accelerations- resp. retardationstid, var- av t_a t_b t_1 t_2 t_3 etc. äro partialtider,
V_m	km/tim.	medelhastighet under acceleration resp. retardation,
μ	kg/ton	koefficienten för friktion mellan bromsblock och hjulringar,
P	ton/ton	förhållandet mellan bromstryck och tågsvikt.

Tillryggalägges vägen S med hastigheten V, blir gångtiden
 $t = 60 S : V \dots \dots \dots$ Ekv. 27.

Tiden t för acceleration från 0 till V är i allmänhet

$$t = \frac{1000 (G_1 + G_2)}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{1000 V}{3600} \right)^2 \cdot \frac{3600}{60 \cdot 1000 V_m} \cdot \frac{1}{Z_r - (W_2 \pm W_3 + W_4) (G_1 + G_2)} =$$

$$= \frac{0,236 V^2 (G_1 + G_2)}{V_m [Z_r - (W_2 \pm W_3 + W_4) (G_1 + G_2)]} \dots \dots \dots \text{ Ekv. 28.}$$

Å rak horisontell bana bliva W_3 och W_4 noll och uttrycket förenklas till

$$t = \frac{0,236 V^2 (G_1 + G_2)}{V_m [Z_r - W_2 (G_1 + G_2)]}$$

Emellan hastighetsgränserna V_a och V_b blir vidare

$$t_b = \frac{0,236 (V_b^2 - V_a^2) (G_1 + G_2)}{V_m [Z_r - W_2 (G_1 + G_2)]} \dots\dots\dots \text{Ekv. 29.}$$

I dessa ekvationer 28 — 29 beteckna Z_r den konstanta reducerade dragkraft och W_2 det konstanta vagnmotstånd å horisontell bana, som vid likformig acceleration från 0 till V på tiden t ersätta de variabla vid den verkliga, olikformiga accelerationen.

Förläggas hastighetsgränserna tillräckligt nära varandra, kan V_m sättas $= (V_a + V_b) : 2$ och efter insättning av motsvarande värden å Z_r och W_2 erhålles t_b . Den sökta tiden för acceleration från 0 till V blir summan av de på detta sätt beräknade partialtiderna, alltså

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + \dots\dots\dots + t_n.$$

Ekv. 28 kan således icke användas för direkt beräkning av t , när såväl V_m som Z_r och W_2 äro obekanta. En empirisk bestämning blir alltid osäker och iöfrigt föga mindre besvärlig än den relativt enkla beräkningen av partialtiderna.

I allmänhet erhålles t -värdet med tillräcklig noggrannhet, om partialtiderna från $V = 0$ beräknas för hastighetsområdena $V_a - V_b = 0 - 10, 10 - 20, 20 - 30$ etc. km/tim., med övergång till hastighetsskillnaden

$V_b - V_a = 5$ km/tim. i närheten av övre accelerationsgränsen och vidare till

$V_b - V_a = 2,5$ km/tim. omedelbart invid denna, därest accelerationen drives så långt.

Övre accelerationsgränsen, vid vilken Z_r är $= W_2 (G_1 + G_2)$, bestämmes med hjälp av den förut omnämnda G_2 -kurvan.

Obs. vid beräkningarna, ekv. 29, att

$$\frac{V_b^2 - V_a^2}{V_m} = \frac{10^2 - 0^2}{5} = \frac{20^2 - 10^2}{15} = \frac{30^2 - 20^2}{25} \text{ etc.} = 20,$$

$$\text{»} = \frac{5^2 - 0^2}{2,5} = \frac{10^2 - 5^2}{7,5} = \frac{15^2 - 10^2}{12,5} \text{ »} = 10,$$

$$\text{»} = \frac{2,5^2 - 0^2}{1,25} = \frac{5,0^2 - 2,5^2}{3,75} = \frac{7,5^2 - 5,0^2}{6,25} \text{ »} = 5.$$

Till underlättande av beräkningarna upptagas i tab. VII₂ värden å W_2 för $V = 2,5, 7,5, 12,5$ etc.

Medelhastigheten under accelerationen beräknas med hjälp av partialtiderna och motsvarande medelhastigheter,

$$V_m = \frac{V_{1m}t_1 + V_{2m}t_2 + V_{3m}t_3 + \dots + V_{nm}t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n} \dots \text{ Ekv. 30.}$$

Accelerationsvägen blir, jfr ekv. 24,

$$S = \frac{V_m t}{60} \dots \dots \dots \text{ Ekv. 31,}$$

och tidsförlusten vid accelerationen, skillnaden mellan tiden t och den tid t_0 , som åtgår vid genomfärdande av vägen S med hastigheten V , jfr ex. 7,

$$t' = t \frac{V - V_m}{V} \dots \dots \dots \text{ Ekv. 32.}$$

Tiden t för retardation från V till 0 är

$$t = \frac{1000 V^2 (G_1 + G_2)}{9,81 \cdot 60 \cdot 7,2 [(P\mu + W_2 \pm W_3 + W_4) (G_1 + G_2) + (W_1 - W_2) G_1]}$$

eller, med försummande av $(W_1 - W_2) G_1$ i nämnaren,

$$t = \frac{0,236 V^2}{V_m (P\mu + W_2 \pm W_3 + W_4)} \dots \dots \dots \text{ Ekv. 33.}$$

Ekvationen är analog med ekv. 28 och förenklas vid retardation å rak, horisontell bana till

$$t = \frac{0,236 V^2}{V_m (P\mu + W_2)}$$

Emellan hastighetsgränserna V_b och V_a blir likaså

$$t_b = \frac{0,236 (V_b^2 - V_a^2)}{V_m (P\mu + W_2)} \dots \dots \dots \text{ Ekv. 34.}$$

och vid beräkningen enligt denna ekv. av

$$t = t_n + \dots + t_3 + t_2 + t_1$$

sättes med tillräcklig noggrannhet

$$V_b - V_a = 10, \text{ alltså } \frac{V_b^2 - V_a^2}{V_m} = 20.$$

I ekv. 33 — 34 ha μ och W_2 en mot Z_r och W_2 i ekv. 28 — 29 svarande betydelse.

Beräkningarna av t , V_m , S och t' vid retardation från V till 0 bliva analoga med beräkningarna vid acceleration.

Koefficienten μ har tidigare varit föremål för undersökningar av *Galton* och ännu användes ofta *Fliegners* på dessa grundade formel, för V uttryckt i km/tim.,

$$\mu = 14800 : (V + 45).$$

Senare har *Metzkow* i *Glasers Annalen* 1926, band 99, sid. 149 o. f., offentliggjort sina omfattande försök över inflytandet på μ av körhastigheten, klotstrycket pr ytenhet, klotsmaterialets hårdhetsgrad, klotsarnas temperatur och fuktighets-tillståndet. Vid ett specifikt klotstryck av 12 kg/cm², närmast hänförligt till vagnar med ensidigt bromsade hjul och medel-hårda bromsblock, kunna resultaten sammanfattas i följande uttryck:

$$\mu = \begin{cases} 406 - 11,3 V & \text{för } V = 0 \text{ — — } 15 \text{ km/tim.} \\ 200 & \text{» » } 20 \text{ » »} \\ 800 : (V + 20)^{0,333} - 40 & \text{» » } 25 \text{ — — } 125 \text{ » »} \\ \dots\dots\dots & \text{Ekv. 35.} \end{cases}$$

De beräknade värdena å μ , upptagna i tab. IX, förläggas enligt ekvationen avsiktligt omkring 15 % under de vid försöken erhållna och inrymma därmed nöjaktig säkerhet även för lokomotiv med större specifikt klotstryck än det ovan angivna.

I verkligheten förlöper retardationen icke alldeles överensstämmande med den enligt förestående beräknade, som förutsätter ett i varje fall konstant medelvärde å P . I allmänhet inledes bromsningen till stopp med ett relativt bromstryck $> P$ och i den mån, som hastigheten avtar, regleras trycket nedåt. Retardationen blir därför något större under bromsningens tidigare och något mindre under dess senare skede än enligt beräkningen. Ett följande exempel åskådliggör förhållandet.

För t och V_m vid retardation kunna förenklade närmeformler uppställas. Här upptagas dock inga sådana. De bliva alltid beroende av uttrycken för μ resp. W_2 och få på den grund begränsade giltighetsområden.

Vid handbromsning av tåg förflyter från signalgivningen till ansättningen av bromsblocken en tid $t'' \approx 10 \text{ sek.} \approx 0,17 \text{ min.}$, jfr Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 1926, sid. 313.

VI. Bestämning av lokomotivets verkliga bränsleförbrukning.

Lokomotivet förbrukar bränsle:

1. under uppeldningen,
2. under de tider, då det hålles i tjänsteberedskap,
3. vid framförandet av tåg,
4. då det går ensamt, t. ex. vid gång från stall till station och tvärtom,
5. vid vagnsväxling,
6. under stillestånd vid uppehåll å station.

Egentligen avses här de bränslekvantiteter, som erfordras för avgivandet av de i de enskilda fallen behövliga värmemäng-

derna. Bränslet kan, helt eller delvis, förbrukas tidigare än det därur tillgodogjorda värmets, som då under mellantiden ackumulerats i pannvattnet. Den mot bränsleförbrukningen vid uppeldningen svarande värmeförbrukningen kan t. ex. anses äga rum, då pannan får kallna efter slutförd tjänstetår.

Där bränslevikter nedan angivas, äro de hänförliga till stenkolk med värmevärde $h = 7500$ WE.

1. Uppeldningen.

Beteckningar:

U'	kbm	vattenvolymen i ångpannan,
U''	»	ång- » » » ,
γ'	kg/kbkm	pannvattnets specifika vikt vid p at abs.,
γ''	kg/kbm	den mättade ångans » » » » » ,
i'	WE/kg	pannvattnets värmeinhåll » » » » ,
i''	»	den mättade ångans » » » » » ,
t_3	°C	pannvattnets resp. den mättade ångans temperatur vid trycket p at abs.,
t	tid,	under vilken påeldningen pågår.

Under uppeldningen är sotavsättningen å pannans eldytor ofta rikligare än eljes och verkningsgraden sättes därför lågt, $\eta = 0,6$. Vid beräkningen kan uppeldningen antagas fortgå tills det för pannan bestämda arbetsstrycket uppnåtts och kan vattenhalten i ångan försummas.

Efter avslutad uppeldning finnes i pannan vattenvikten $1000 U'\gamma'$ och ångvikten $U''\gamma''$ med värmeinhåll $1000 i'U'\gamma' + i''U''\gamma''$. Utmärkas de motsvarande kvantiteterna vid tillståndet före påeldningen med index o , blir bränsleförbrukningen

$$BRt = \frac{1}{0,6 h} [1000 (i'U'\gamma' - i_o'U_o'\gamma_o') + i''U''\gamma'' - i_o''U_o''\gamma_o''] .$$

Sista termen försvinner för $U_o'' = 0$, då vattentemperaturen före påeldningen understiger kokpunkten. I den vanliga lokomotivpannan med ångtryck 10 — 16 at abs. utgör värmeinhållet hos ångan i ångrummet en så ringa del av totala värmeinhållet, att det kan försummas, således

$$BRt \approx 1000 U'\gamma' (i' - i_o') : (0,6 h) \text{ Ekv. 36.}$$

Tab. X upptager värden å γ' γ'' i' i'' och t_3 för p upp till 16 at abs.

2. Tjänstebereidskap.

Bränsleförbrukningen kan enligt verkställda undersökningar anslås till

$B = 5$ kg/m²tim. för i stall inestående lokomotiv,

$B = 10$ » » utestående lokomotiv.

3. Framförandet av tåg.

Frånsett de behövliga uppgifterna rörande lokomotivet, erfordras för beräkningens verkställande kännedom om tågets vikt och vagnsslag, banprofil, åtminstone huvuddragen därav, avsedda körhastigheter å de förekommande sträckorna, antal igångsättningar, stopp och saktningar.

Är räkneunderlaget för tidtabellen tillgängligt, erhålles hastighetsfördelningen ur detta, eljes måste den beräknas med ledning av tabellen och banprofilen.

Beräkningen av bränsleförbrukningen uppdelas lämpligen på de respektive tiderna för

acceleration efter avgång och saktning,

gång å horisontell bana,

» med nedsatt hastighet i kurvor,

» i stigningar och

» i lutningar.

Tågets grundhastighet V förutsättes vara känd. Är tåg-tidtabellen upprättad speciellt för viss lokomotivtyp och fastställd tågvikt, så är rostansträngningen B vid acceleration och i stigningar vanligen förutbestämd. I andra fall måste den, liksom rostansträngningen å horisontell bana, i allmänhet beräknas.

Efter bestämning av dragkraften Z resp. den erforderliga ångvolymen $u_4 Hx$, beräknas de mot ett skattat värde B' svarande Z' resp. $(u_4 Hx)'$. Den sökta rostansträngningen B inneslutes av gränsvärdena

$$B/Z : Z' \geq B \geq B' u_4 Hx : (u_4 Hx)'$$

och om dessa ligga nära varandra, är $B \approx$ aritmetiska mediet B'' , eljes insättes det senare i en förnyad beräkning av $(u_4 Hx)''$ och slutligen erhålles

$$B \approx B'' u_4 Hx : (u_4 Hx)'' \dots \dots \dots \text{ Ekv. 37.}$$

Denna rostansträngning blir tillämplig för en väglängd $S =$ totala väglängden, minskad med väglängderna för acceleration och retardation, för kurvor med $R < 600$ m samt för stigningar och lutningar. I bruten terräng eller vid framförandet av tunga tåg kan det inträffa, att summan av väglängderna för acceleration och retardation blir större än de summerade längderna av rak, horisontell bana och kurvor med $R > 600$ m. S , t och $B R t$ bliva i sådana fall negativa, jfr ex. 10.3.

Ju mindre tågvikten är i förhållande till dragkraften, desto mindre bliva cylinderfyllningarna ε av inströmningstrycket p_a , ekv. 7, och alltmer osäkra räkneresultatet. I synnerhet blir detta händelsen vid minsta förekommande tågviikt.

4. E n s a m g å n g,

där beräkningarna, eljes analoga med de i 3. angivna, ofta måste tillämpas långt utanför giltighetsområdet. En ren skattning av bränsleförbrukningen blir dock ännu mera otillförlitlig.

5. V a g n s v ä x l i n g.

För lokomotiv med ångöverhettning kan bränsleförbrukningen anslås till i genomsnitt:

- $B = 80$ kg/m²tim. — tung stationsväxling,
- $B = 60$ » — mindre ansträngande sådan,
- $B = 40$ » — tågväxling med stilleståndspausar.

Givetvis kunna förestående genomsnittsvärden över- resp. underskridas och alla mellanliggande ansträngningsgrader förekomma.

6. Stillestånd vid stationsuppehåll.

$$B = 10 \text{ — — } 25 \text{ kg/m}^2\text{tim.}$$

Årstidens inflytande på bränsleförbrukningen.

Hittills angiven bränsleförbrukning är uttryckt i medeltalsvärden pr år, närmast hänförliga till april och oktober månader. Under vintern blir den större på grund av den lägre luft-

temperaturen och de vid kyla stegrade tågmotstånden, under sommaren mindre. Variationen är så pass betydande, att den t. ex. icke får förbises vid jämförelser av bränsleprov, verkställda under olika årstider.

För mellersta Sverige äro följande avrundade koefficienter för bränsleförbrukningen pr arbetsenhet tillämpliga. I de övre värdena inbegripes icke tågvärmning, i de undre är sådan inberäknad.

jan.	febr.	mars	april	maj	juni
1,10	1,09	1,06	1,00	0,94	0,91
1,14	1,13	1,08	1,00	0,92	0,87
juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.
0,90	0,91	0,94	1,00	1,06	1,09
0,86	0,87	0,92	1,00	1,08	1,13

Även dessa koefficienter få anses såsom genomsnittsvärden, underkastade variation till följd av onormala väderleksförhållanden eller förskjutningar i årstidernas inträffande.

De i det föregående anförda formlerna för beräkningen av lokomotivets dragkraft inrymma en viss marginal mot störande inflytanden med åtföljande förhöjt tågmotstånd, och under normala förhållanden kunna således något större tågvikter än de beräknade påräknas framförda av lokomotivet. Under synnerligen ogynnsamma omständigheter, t. ex. stark storm eller mycket sträng köld, kunna dock motstånden stegras så avsevärt, att dragkraften vid den förutsatta rostansträngningen blir otillräcklig för innehållandet av beräknad tågvykt och körhastighet.

Däremot är den i avd. I till hjälpapparaterna anslagna ångförbrukningen icke alltid tillräcklig. Den kan uppgå till 5 % av totala ångkonsumtionen och ännu mera, om den kontinuerliga bromsens ledningar etc. ej äro i fullgott tillstånd.

Tillämpning av det föregående.

De i det följande anförda exemplen äro hänfödda till ett trecylindrigt snälltågslokomotiv 2 C med fyraxlig tender.

Uppgifter rörande ångpannan.

Rostyta	R =	3,2 m ²
Eldyta i eldstaden	F ₁ =	14,5 »
» i tuberna och flamlrören ...	F ₂ + F ₃ =	145,6 »
Överhettningssyta inom flamlrören	F ₄ =	52,5 »
Ångtryck abs.	p =	13 at.

Ex. 1. Bestäm ångproduktionen och ångtemperaturen vid rost-ansträngningarna B = 400 resp. 500 kg/m²tim. Bränslet stenkol med h = 7500 WE/kg.

För B = 400:

Ekv. 3.

$$\begin{aligned}
 a &= 0,28 \left(\frac{4,6 \cdot 3,2}{14,5} \right)^{0,5} + 0,14 \left(\frac{14,5 + 3,4 \cdot 3,2}{8 \cdot 3,2} \right)^{0,5} + \\
 &+ 0,58 \left(\frac{145,6 + 36 \cdot 3,2}{96 \cdot 3,2} \right)^{0,5} - 0,046 \left(\frac{52,5}{16 \cdot 3,2} \right)^{0,5} = \\
 &= 0,282 + 0,139 + 0,534 - 0,047 = 0,908
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ekv. 1. } \frac{Hx}{BR} &= \frac{7,6 \cdot 7500}{7500} \cdot \frac{1,04 + 0,001 \cdot 400}{0,8 + 0,0016 \cdot 400} \cdot 0,908 = \\
 &= 7,6 \cdot 1,0 \cdot 0,908 = 6,90
 \end{aligned}$$

$$Hx = 400 \cdot 3,2 \cdot 6,90 \quad \approx 8830 \text{ kg.}$$

Ekv. 3.

$$\begin{aligned}
 b &= \left(\frac{52,5}{16 \cdot 3,2} \cdot \frac{0,87}{\frac{0,28 \cdot 4,6 \cdot 3,2}{14,5} + \frac{0,14 \cdot 14,5}{4,6 \cdot 3,2} + \frac{0,45 \cdot 145,6}{48 \cdot 3,2}} \right)^{0,5} = \\
 &= (1,025 \cdot 1,025)^{0,5} = 1,025
 \end{aligned}$$

$$\text{Ekv. 2. } u_4 = 0,154 [1 + (0,1 \sqrt{5,75^2 - (5,55 - 0,01 \cdot 400)^2} - 0,18) \cdot 1,025] = 0,154 (1 + 0,374 \cdot 1,025) = 0,213 \text{ kbm/kg}$$

$$u_4 Hx = 0,213 \cdot 8830 \quad \approx 1880 \text{ kbm/tim.}$$

$$\text{Tab. I. } t_4 \text{ för } p = 13 \text{ at och } u_4 = 0,213 =$$

$$= 320 + 3 \cdot 20 : 7 = 329^\circ.$$

Den motsvarande beräkningen för $B = 500$ giver

Hx	\approx	10630 kg
$u_4 Hx$	\approx	2300 kbm
u_4	=	0,216
t_4	=	337°.

Uppgifter rörande maskineri, hjul och vikt.

Antal ångcylindrar	C =	3 st.
Cylinderdiameter	d =	0,500 m
Slagets längd	L =	0,660 »
Drivhjulsdiameter	D =	1,890 »
Lokomotivets och tenderns tjänstevikt	$G_1 =$	120 ton.

Ex. 2. Bestäm dragkraftskurvorna Z för rostansträngningar-na $B = 400$ och $500 \text{ kg/m}^2\text{tim.}$

För $B = 400$ är,

$$\text{Ex. 1. } \kappa u_4 Hx = 0,93 \cdot 1880 = 1748 \text{ kbm/tim.}$$

$$\text{Ekv. 12, } U_1 = \frac{1748}{60 \cdot 0,98 \cdot 0,196 \cdot 0,660 \cdot 2 \cdot 3 n} = \frac{38,3}{n}$$

$$\text{» } 15, Z = 10000 \cdot \frac{3}{2} \cdot 0,98 \cdot \frac{0,250 \cdot 0,660}{1,890} \eta P_m = 1283 \eta P_m \text{ kg.}$$

$$\text{» } 13, V = 0,6 \cdot 1,890 \pi n = 0,356 n \text{ km/tim.}$$

Resultaten av de olika räkneoperationerna ha nedan sammanförts i en tabell. Efter insättning av värdena å n , rad 1, och V , rad 2, samt beräkning av U_1 för $n = 60, 90, 120$ etc., rad 3, och bestämning enligt tab. IV A av motsvarande värden å ε , rad 5, befinnas volymerna U_1 för $n = 210, 240$ och 270 , giva mindre fyllningar än 15 %. Volymen $U_1 = 0,182$ vid $\varepsilon = 0,142$ reduceras med hjälp av tab. IV A till $U_r = 0,190$, rad 4, vid $\varepsilon_r = 0,150$, rad 6, och panntrycket p enligt tab. III 2

till $p_r = p (0,182 : 0,190)^{1,3} = p \cdot 0,958^{1,3} = 0,946 p =$
 $= 12,3$, rad 7. På samma sätt förfäres för $n = 240$ resp.
 270. Medeltrycken p_m , rad 10, äro enligt ekv. 6 produkter av
 faktorerna $1,083 (p - 1)$, rad 8, och de i rad 9 införda vär-
 dena å f_m , tab. II A. Koefficienterna η , rad 11, erhållas ur tab.
 V och värdena å Z , rad 12, beräknas slutligen ur ovanstående
 förenklade formel.

För $B = 500$ blir $U_1 = 46,9 : n$. Beräkningarna förlöpa
 analogt med den föregående och i tabellen äro därför endast
 värdena å Z intagna.

1	n	60	90	120	150	180	210	240	270	300
2	V	21,4	32,0	42,7	53,4	64,1	74,8	85,4	96,1	106,8
B = 400.										
3	U_1	0,638	0,426	0,319	0,256	0,213	0,182	0,160	0,142	
4	U_r						0,190	0,184	0,179	
5	ε	0,555	0,357	0,260	0,205	0,168	0,142	0,125	0,113	
6	ε_r						0,150	0,150	0,150	
7	p_r	13	13	13	13	13	12,3	10,8	9,6	
8	$1,083 \cdot (p_r - 1)$						12,2	10,6	9,3	
9	f_m	0,678	0,496	0,395	0,330	0,285	0,258	0,251	0,245	
10	p_m	8,81	6,45	5,14	4,29	3,71	3,15	2,66	2,28	
11	η	0,948	0,932	0,909	0,887	0,867	0,856	0,856	0,856	
12	Z	10715	7712	5994	4882	4127	3459	2921	2504	
B = 500.										
12	Z	12164	8928	6994	5761	4864	4203	3754	3350	2955

De båda sökta Z-kurvorna äro inlagda å bilagan 1, där
 resp. dragkrafter äro angivna i ton. Uppåt begränsas drag-
 kraften av lokomotivets adhesionsvikt till omkring en femtedel
 av denna, här $0,2 \cdot 52,3 \approx$ max. 10,5 ton. Överskjutande
 dragkraft, jfr Z vid $n = 60$ ovan, kan dock med hjälp av
 sandning övergående utnyttjas.

Ex. 3. Bestäm de motsvarande vagnviktskurvorna

G_2 för $B = 400$ och $s = 0 \text{ ‰}$ samt

G_2 » $B = 500$ » $s = 0, 5, 8$ och 10 ‰ för tåg av

- a) dels medeltunga personvagnar,
 b) dels tunga boggivagnar med bälgar.

För lokomotivtypen blir enligt avd. IV

$$W_1 = 2,6 + 0,015 V + 0,00052 V^2.$$

a) Z-värdena för $V = 10, 20, 30$ etc. km/tim. erhållas från bilagan 1, de motsvarande värdena å Z_r bestämmas enl. ekv. 25 med hjälp av tab. VII₁ och bliva $Z_r = Z - 120$ ($W_1 - W_2$), vidare blir enligt ekv. 26, med värden å W_2 enl. tab. VII₁,

$$G_2 = \frac{Z_r}{W_2 + W_3} - 120.$$

Beräkningarna, jfr sammanställning i bilagan 2, inledas lämpligen med bestämning av G_2 -värdena vid största förutsatta rostansträngning i största förekommande stigning. Därvid erhålles omedelbart övre gränsen för den vagnåtgivikt, som lokomotivet enligt de uppställda betingelserna kan framföra å banan, här 761 ton. Den följande beräkningen av tågvikterna i de mindre stigningarna inskränkes till bestämning av närmast högre och därifrån fallande värden å G_2 .

De sökta kurvorna äro inlagda å bilagan 3, fulldragna linjer.

b) I detta fall tillämpas ekv. 19 b vid bestämningen av vagnarnas gångmotstånd W_2 . Värdena därå och å $W_1 - W_2$ bliva

V	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
W_2	1,58	1,80	2,06	2,36	2,70	3,08	3,50	3,96	4,46	5,00
$W_1 - W_2$	1,22	1,31	1,46	1,67	1,95	2,29	2,70	3,17	3,70	4,30

Beräkningen är utelämnad, då den blir fullt analog med den närmast föregående. Kurvorna äro införda med streckade linjer å bilagan 3.

Ex. 4. Bestäm de tågvikter av

- a) boggivagnar utan bälgar, medelvikt halvbelastade 30 ton,
 b) » med » , » » 35 » ,

som kunna framföras av lokomotivet med grundhastigheten 90 km/tim. och hastigheten 40 km/tim. i största förekommande stigning, här 10 ‰.

De övre gränserna för tågvikterna avläsas omedelbart från bilagan 3 vid $B = 500 \text{ kg/m}^2\text{tim.}$,

$$\begin{array}{l|l} \text{a) } s = 0, \quad V = 90, \quad G_2 = 483 & s = 10 \quad V \overline{\infty} 38 \\ \text{b) } s = 0, \quad V = 90, \quad G_2 = 583 & s = 10 \quad V \overline{\infty} 33. \end{array}$$

På grund av den betingade minimikörhastigheten reduceras G_2 -värdena enligt bilagan 3 till

$$\begin{array}{l} \text{a) } s = 10, \quad V = 40, \quad G_2 \overline{\infty} 452, \\ \text{b) } s = 10, \quad V = 40, \quad G_2 \overline{\infty} 463. \end{array}$$

Förlägges G_2 -värdet för nära övre gränsvärdet, såsom ännu är fallet i a), bliva tidsförlusterna vid accelerationerna för stora och nedsätta tidtabellshastigheten för mycket, om tåget skall stanna vid mellanstationerna. Övre gränsvärdet kan försöksvis minskas med omkring 15 %, således $G_2 = 0,85 \cdot 483 \overline{\infty} 410$ ton, och härefter erhålles

$$\begin{array}{l} \text{a) } G_2 = 410 \text{ ton} = \text{närmast } 13 \text{ vagnar } \text{à } 30 = 390 \text{ ton,} \\ \text{b) } G_2 = 463 \text{ »} = \text{ » } 13 \text{ » } \text{à } 35 = 455 \text{ » .} \end{array}$$

Dessa vagnstågvikter kunna i stigningarna framföras med följande hastigheter:

$$\begin{array}{l} \text{a) } G_2 = 390 \mid s = 5, V \overline{\infty} 65 \mid s = 8, V \overline{\infty} 52 \mid s = 10, V \overline{\infty} 45 \\ \text{b) } G_2 = 455 \mid s = 5, V \overline{\infty} 62 \mid s = 8, V \overline{\infty} 48 \mid s = 10, V \overline{\infty} 41 \end{array}$$

Belastningen 390 resp. 455 ton måste betraktas såsom den största praktiskt möjliga enligt de uppställda betingelserna. Rostansträngningen å horisontell bana, $\infty 446$ resp. $\infty 437$ kg, är därvid ännu något högre än önskvärt i daglig drift. Vid störande inflytanden, t. ex. avsevärt sämre bränsle än det förut-satta, kan marginalen för tidtabellens innehållande bliva otill-räcklig.

De vagnstågvikter, som lokomotivet normalt skall framdraga, böra således helst sättas lägre än de nyss nämnda. Reduceras vagnantalet i båda fallen till 11, d. v. s. G_2 till 330 resp. 385 ton, motsvarande en rostansträngning å horisontell bana av 406 resp. 396 kg, blir lokomotivets dragkraft fortfarande väl tagen i anspråk och medger dessutom tågförstärkning med två vagnar vid behov. Tidtabellen upprättas lämpligen för mellanliggande vagnstågvikter, $G_2 = 360$ resp. 420 ton. I stigningarna kunna då enligt bilagan 3 följande hastigheter hållas:

$$\begin{array}{l} \text{a) } G_2 = 360 \left| \begin{array}{l} s = 5, V \overline{\overline{68}} \\ s = 8, V \overline{\overline{55}} \\ s = 10, V \overline{\overline{47}} \end{array} \right| \\ \text{b) } G_2 = 420 \left| \begin{array}{l} s = 5, V \overline{\overline{65}} \\ s = 8, V \overline{\overline{50}} \\ s = 10, V \overline{\overline{43}} \end{array} \right| \end{array}$$

Ex. 5. Beräkna tiderna för acceleration från 0 till 90 km/tim. å rak, horisontell bana för de två tågen i ex. 4 med

- a) vagnstågvikt $G_2 = 360$ ton,
b) » » $G_2 = 420$ » ,

och bestäm de motsvarande tidsförlusterna. Rostansträngningen är 500 kg/m²tim.

- a) Partialtiderna bliva enligt ekv. 29

$$t_b = \frac{0,236 (V_b^2 - V_a^2) (120 + 360)}{V_m [Z_r - W_2 (120 + 360)]} = \frac{113,3 (V_b^2 - V_a^2)}{V_m (Z_r - 480 W_2)}$$

För bestämning av de mot V_m svarande värdena å den reducerade dragkraften inlägges kurvan för Z_r å bil. 1 enligt bil. 2. Värdena å W_2 tagas ur tab. VII₁ och ₂.

Enligt den å bil. 4 sammanställda beräkningen bliva accelerationstiden $t = 6,46$ min.,

medelhastigheten $V_m = 64,8$ km/tim. samt

tidsförlusten, ekv. 32, $t' = 6,46 (90 - 64,8) : 90 = 1,81$ min.

- b) Här blir, vid införande av $G_2 = 420$ ton, jfr ovan,

$$t_b = \frac{127,4 (V_b^2 - V_a^2)}{V_m (Z_r - 540 W_2)}$$

De för bestämningen av Z_r behöfliga värdena å $W_1 - W_2$ finnas i tabellen, ex. 3, värdena å W_2 för $V = 5, 15, 25$ etc. km/tim. beräknas enligt ekv. 19 b. I övrigt blir räkningen överensstämmande med den föregående och giver

$$\begin{aligned} t &= 7,08 \text{ min.}, \\ V_m &= 64,3 \text{ km/tim.}, \\ t' &= 2,02 \text{ min.} \end{aligned}$$

De båda accelerationskurvorna återfinnas under beteckningarna a och b å bilagan 5.

Efter kortare uppehåll å mellanstationer kunna de beräknade accelerationstiderna minska något. I accelerationens tidigaste skede är ångproduktionen vid den förutsatta rostansträngningen större än den beräknade konsumtionen och överskottet kan tillgodogöras under sandning.

Efter avgång från utgångsstation eller efter längre uppehåll kan förbränningen däremot icke påräknas vara uppdriven till den åsyftade och de beräknade tiderna kunna då ej innehållas. En obetydlig upprundning är vanligen tillfyllest.

Ex. 6. De båda tågen a) och b) i ex. 5 skola genomfara vissa kurvor med hastigheten nedsatt till 60 resp. 75 km/tim. Bestäm tidsförlusterna vid accelerationen från dessa hastigheter till grundhastigheten 90 km/tim. Rostansträngningen är fortfarande 500 kg/m²tim.

a) Från bilagan 4 samt enligt ekv. 30 och 32 erhålles:

V 60 — — 90 km/tim.

$$\begin{aligned} t_1 + t_2 + t_3 + \dots & \text{ för } 0 \text{ --- } 60 \text{ km} = 2,09 \text{ min.} \\ V_m t_1 + V_m t_2 + V_m t_3 + \dots & \text{ » » » » } = 75,15 \text{ km/60} \\ V_m = 75,15 : 2,09 & \text{ » » » » } = 36,0 \text{ km/tim.} \\ t' = 2,09 (90 - 36,0) : 90 & \text{ » » » » } = 1,25 \text{ min.} \\ t' \text{ enl. ex. 5} & \text{ » } 0 \text{ --- } 90 \text{ » } = 1,81 \text{ »} \\ t' = 1,81 - 1,25 & \text{ » } 60 \text{ --- } 90 \text{ » } = 0,56 \text{ min.} \end{aligned}$$

V 75 — — 90 km/tim.

$$\begin{aligned} t' &= 3,48 (90 - 48,7) : 90 \text{ » } 0 \text{ --- } 75 \text{ » } = 1,60 \text{ min.} \\ t' &= 1,81 - 1,60 \text{ » } 75 \text{ --- } 90 \text{ » } = 0,21 \text{ min.} \end{aligned}$$

b) De motsvarande tidsförlusterna bliva:

V 60 — — 90 km/tim.

$$\begin{aligned} t' &= 2,35 (90 - 35,9) : 90 \text{ för } 0 \text{ --- } 60 \text{ km} = 1,41 \text{ min.} \\ t' &= 2,02 - 1,41 \text{ » } 60 \text{ --- } 90 \text{ » } = 0,61 \text{ min.} \end{aligned}$$

V 75 — — 90 km/tim.

$$\begin{aligned} t' &= 3,90 (90 - 48,7) : 90 \text{ » } 0 \text{ --- } 75 \text{ » } = 1,79 \text{ min.} \\ t' &= 2,02 - 1,79 \text{ » } 75 \text{ --- } 90 \text{ » } = 0,23 \text{ min.} \end{aligned}$$

Ex. 7. Beräkna tidsförlusten vid acceleration 0 — — 60 km/tim. för tåget a) under samma betingelser som i ex. 6, men för grundhastigheten 60 km/tim.

Accelerationstid och medelhastighet bliva oförändrade, 2,09 min. och 36,0 km/tim. enligt ex. 6. Däremot blir, ekv. 32,

$$t' = 2,09 (60 - 36,0) : 60 = 0,84 \text{ min.}$$

i stället för vid grundhastigheten 90 km/tim. 1,81 min.

Ex. 8. Ett persontåg med genomgående broms nedbromsas å rak, horisontell bana från 90 km hastighet till stopp. Bestäm retardationstiden t , tidsförlusten t' och bromsvägen S vid användande av 40 % utbromsning, alltså $P = 0,4$, och för $W_2 = 1,6 + 0,015 V + 0,0003 V^2$.

Vid beräkning av partialtiderna för hastighetsområdena 90 — — 80, 80 — — 70 etc. km/tim. är enl. ekv. 34

$$t_b = \frac{0,236 \cdot 20}{P\mu + W_2} = \frac{4,72}{P\mu + W_2}$$

Beräkningen är sammanställd å sid. 43.

Ex. 9. Bestäm kortaste påräkneliga bromsväg vid nödbromsning från hastigheten 90 km/tim. till stopp av tåget a) i ex. 4 — — 6. Totala klotstrycket pr fordon är för lokomotivet 30 ton, för tendern 20 ton och för vagnarna 20 ton. Vagnantalet sättes till 12. Samtliga bromsar förutsätts vara fullt effektiva.

Tågvikten är enligt det föregående $120 + 12 \cdot 30 = 480$ ton, bromstrycket $30 + 20 + 12 \cdot 20 = 290$ ton, P blir i medeltal $290 : 480 \approx 0,6$.

Beräkningen, analog med den föregående, giver följande slutvärden:

$$\begin{aligned} t &= t_n + \dots + t_1 &= 0,406 \text{ min.} \\ V_m &= V_m t_n + \dots + V_m t_1 &= 20,610 \text{ km/60} \\ S &= 20,610 : 60 &= 0,344 \text{ km.} \end{aligned}$$

Ex. 8.

För $P = 0,4$, μ enl. tab. IX och W_2 enl. tab. VII₁ erhålles:

$V_b - V_a$	90--80	80--70	70--60	60--50	50--40	40--30	30--20	20--10	10--0	90--0
V_m	85	75	65	55	45	35	25	15	5	50,6
μ	130	135	142	150	159	170	185	237	350	
W_2	5,0	4,4	3,8	3,3	2,9	2,5	2,2	1,9	1,7	
$0,4\mu + W_2$	57,0	58,4	60,6	63,3	66,5	70,5	76,2	96,7	141,7	
$t_n - t_1$	0,083	0,081	0,078	0,075	0,071	0,067	0,062	0,049	0,033	0,599
$V_m t_n - V_m t_1$	7,055	6,075	5,070	4,125	3,195	2,345	1,550	0,735	0,165	30,315

$$t = 0,599 \text{ min.}$$

$$V_m = 30,315 : 0,599 = 50,6 \text{ km/tim.}$$

$$t' = 0,599 (90 - 50,6) : 90 = 0,262 \text{ min.}$$

$$S = 0,599 \cdot 50,6 : 60 = 30,315 : 60 = 0,505 \text{ km.}$$

Å bilagan 5 beteckna c den beräknade och d den sannolika retardationskurvan.

Ex. 10. Beräkna den sannolika, totala bränsleförbrukningen för det till exemplen valda lokomotivet vid nedan angivna tjänstgöring:

1. En uppeeldning till fullt ångtryck, 13 at abs., från en vattentemperatur, som i fem fall av sex är 93° och i det sjätte, efter spolning av pannan, 10° . Pannans vattenrum är 6,8 kbm, ångrummets innehåll kan försummas.

Pannvattnets medeltemperatur före påeldningen blir $(5 \cdot 93 + 10) : 6 = 79^\circ$ och i' således 79 WE. Enligt ekv. 36 och tab. X erhålles häræfter

$$\text{BRt} = 1000 \cdot 6,8 \cdot 0,874 (193,6 - 79) : (0,6 \cdot 7500) = 151 \text{ kg.}$$

2. Lokomotivet står varje tjänstedygn i beredskap — reserv — sammanlagt 4 timmar i stall. Rostytan är $3,2 \text{ m}^2$.

Bränsleförbrukningen blir enligt avd. VI₂

$$\text{BRt} = 5 \cdot 3,2 \cdot 4 = 64 \text{ kg.}$$

3. Lokomotivet skall varje tjänstgöringsdygn framföra följande tågpar med grundhastigheten 90 km/tim. :

från station A till B och åter, $2 \cdot 41 \text{ km}$, 3 vagnar å 30 ton,

» » B » C » » , $2 \cdot 123 \text{ »}$, 12 » » 35 » .

Tågen A—B—A stanna sex gånger vid tre mellanstationer, 0 min. uppehåll, uppehållen vid B för byte av tåg äro 7 resp. 15 min., tågen B—C—B stanna vid två större mellanstationer fyra gånger med uppehåll sammanlagt 12 min. Tågen skola sakta till 20 km/tim. för svängbroar, å A—B en gång och å B—C—B tre gånger. Stigningarna ha, reducerade till 10, 8 och 5 ‰ , sammanlagt följande längder i km:

10	8	5	S:a	Stign. ‰	S:a	5	8	10
5,20	3,67	3,17	12,04	A—B—A	9,66	0,86	1,77	7,03
7,50	1,37	12,97	21,84	B—C—B	26,41	11,27	2,42	12,72

Förekommande kurvor med $R < 600$ meter.

å linjen A—B:

en med $R = 300$ m och $L = 0,04$ km, $V = 60$ km/tim.,
 två » » = 450 » » » = 0,34 » sammanlagt, » = 75 km/tim.,
 åtta » » = 450 » » » = 1,28 » » , fördelade på en längd
 2,56 km, som i sin helhet passeras med $V = 75$ km/tim.

å linjen B—C:

fyra med $R = 300$ m och $L = 1,34$ km sammanlagt, $V = 60$ km/tim.,
 fyra » » = 450 » » » = 0,92 » » , » = 75 » .

Kurvor omedelbart invid station, där tågen stanna, äro ej medtagna. Mellanstationer få passeras med grundhastigheten.

Tågen A—B—A.

Sättes försöksvis $B = 400$ kg/m²tim. vid acceleration, erhålles efter beräkning enligt avd. V:

0 — — V_1 km.	t min.	S km	V_1 — — V km	t min.	S km
0 — — 20	0,20	0,03	0 — — 90	2,31	2,36
0 — — 60	0,92	0,56	20 — — 90	2,11	2,33
0 — — 75	1,45	1,15	60 — — 90	1,39	1,80
			75 — — 90	0,86	1,21

$$\Sigma t = 8 \cdot 2,31 + 2,11 + 2 \cdot 1,39 + 6 \cdot 0,86 = 28,5 \text{ min.}$$

$$\Sigma S = 8 \cdot 2,36 + 2,33 + 2 \cdot 1,80 + 6 \cdot 1,21 = 32,1 \text{ km.}$$

$$BRt = 400 \cdot 3,2 \cdot 28,5 : 60 = 608 \text{ kg.}$$

Retardationstider och -vägar kunna bestämmas mera summariskt med användande av räknresultaten i ex. 8. De nio saktningarna motsvara ungefär 3 stopp. $B \approx 20$ kg/m²tim.

$$\begin{aligned}\Sigma t &= (8 + 3) \cdot 0,6 &= 6,6 \text{ min.} \\ \Sigma S &= (8 + 3) \cdot 0,5 &= 5,5 \text{ km} \\ \text{BRt} &= 20 \cdot 3,2 \cdot 6,6 : 60 &= 7 \text{ kg.}\end{aligned}$$

Å rak, horisontell bana erfordras enligt ekv. 22 och tab. VII₁ en dragkraft

$$Z = 8,16 \cdot 120 + 5,38 \cdot 90 = 1463 \text{ kg.}$$

Vid den motsvarande rostansträngningen måste lokomotivet köras med reducerat ånginströmningstryck, cylinderfyllningen ε blir således den minsta tillämpliga, 15 %, och maskineriets verkningsgrad, tab. V, $\eta = 0,856$.

I ordning bestämmes härefter:

$$\text{Ekv. 15, ex. 2. } Z = 1283 \cdot 0,856 p_m = 1463$$

$$p_m = 1463 : 1098 = 1,33 \text{ at}$$

$$\text{» 13. } n = 90 : (0,06 \pi \cdot 1,89) = 253$$

$$\text{Tab. II. } f_m \text{ för } \varepsilon = 0,15 \text{ och } n = 253 = 0,249$$

$$\text{Ekv. 6. } 1,33 = 0,249 \cdot 1,083 (p - 1)$$

$$p = (1,33 + 0,270) : 0,270 = 5,93 \text{ at.}$$

$$\text{Tab. IV. } U' \text{ för } \varepsilon = 0,15 \text{ och } n = 253 = 0,182 \text{ kbm.}$$

$$\text{Avd. I, ekv. 12. } u_4 H_x = 60 \cdot 0,98 \cdot 0,196 \cdot 0,660 \cdot 2 \cdot 3 \cdot$$

$$\cdot 253 \cdot 0,182 : 0,93 = \overline{2258} \text{ kbm.}$$

Den motsvarande ångvolymen av panntrycket $p = 13$ at abs. blir

$$u_4 H_x = 2258 (5,93 : 13)^{0,769} = 1235 \text{ kbm.}$$

Vid $B = 400 \text{ kg/m}^2 \text{tim.}$ är, ex. 1, $u_4 H_x = 1880 \text{ kbm}$ och för $V = 90 \text{ km}$, bil. 2, $Z = 2730 \text{ kg}$. Enligt avd. VI blir

$$400 \cdot 1235 : 1880 > B > 400 \cdot 1463 : 2730 \text{ och}$$

$$B'' = (263 + 214) : 2 = 239 \text{ kg.}$$

Beräknas ångvolymen för denna rostansträngning, jfr ekv. 1
— — 3 och ex. 1, erhålles

$$(u_4 H_x)'' = 0,201 \cdot 5725 = 1150 \text{ kbm}$$

och slutligen, ekv. 37,

$$B = 239 \cdot 1235 : 1150 = 257 \text{ kg.}$$

Väglängd, tid och bränsleförbrukning å rak, horisontell
bana för $V = 90 \text{ km/tim.}$ bliva

$$S = 2 \cdot 41 - 32,1 - 5,5 - 24,08 - 19,32 - \\ - 0,08 - 0,68 - 5,12 = - 4,9 \text{ km}$$

$$t = - 60 \cdot 4,9 : 90 = - 3,3 \text{ min.}$$

$$\text{BRt} = - 257 \cdot 3,2 \cdot 3,3 : 60 \approx - 45 \text{ kg.}$$

I kurvorna blir den behövlige dragkraften, ekv. 22, tab.
VII₁ och VIII,

$$R = 300, V = 60, Z = (5,37 + 2,65) \cdot 120 + (3,58 + \\ + 2,65) \cdot 90 = 1523 \text{ kg.}$$

$$R = 450, V = 75, Z = (6,65 + 1,65) \cdot 120 + (4,41 + \\ + 1,65) \cdot 90 = 1541 \text{ »}$$

$$R = 0, V = 75, Z = 6,65 \cdot 120 + 4,41 \cdot 90 = 1195 \text{ »}$$

Den korta 300 m-kurvan kan sammanföras med 450 m-kurvorna
och dragkraften blir då i genomsnitt

$$Z = [(0,08 + 0,68 + 2,56) \cdot 1541 + 2,56 \cdot 1195] : 5,88 = 1390 \text{ kg.}$$

Efter beräkning av motsvarande ångvolym, jfr ovan, samt av
ångvolym och dragkraft för $B = 200 \text{ kg}$ och $V = 75 \text{ km/tim.}$
erhålles

$$200 \cdot 1390 : 1307 > B > 200 \cdot 1004 : 963,$$

$$B = (213 + 209) : 2 \approx 211 \text{ kg.}$$

Väg, tid och bränsleförbrukning bliva

$$\begin{aligned}
 S, \text{ se ovan,} & \qquad \qquad \qquad \overline{\infty} 5,9 \text{ km} \\
 t = 5,9 \cdot 60 : 75 & \qquad \qquad \qquad = 4,7 \text{ min.} \\
 BRt = 211 \cdot 3,2 \cdot 4,7 : 60 & \qquad \qquad \qquad = \qquad \qquad \qquad 53 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

I stigningarna sättes rostansträngningen lämpligen lika med vid acceleration, $B = 400 \text{ kg/m}^2\text{tim.}$, och av G_2 -kurvorna, ekv. 26 resp. ex. 3, bestämmas korta stycken inom det ifrågakommande hastighetsområdet, här för

$$\begin{aligned}
 s = 10, V = 60 \text{ --- } 80 \quad | \quad s = 8, V = 70 \text{ --- } 90 \\
 s = 5, V = 80 \text{ --- } 100.
 \end{aligned}$$

Hastigheterna bliva för $G_2 = 90$ ton resp. 77, 83 och 94 ∞ 90 km/tim.

$s \text{ } ^0/_{00}$	10	8	5	Summa
$S \text{ km } \infty$	12,2	5,5	4,0	21,7
$V \text{ km/tim.}$	77	83	90	
$t = 60 \text{ S} : V \text{ min.}$	9,5	4,0	2,7	16,2

$$BRt = 400 \cdot 3,2 \cdot 16,2 : 60 = 346 \text{ kg.}$$

I lutningarna blir, ekv. 22, tab. VII, för $V = 90 \text{ km/tim.}$ och resp.

$$\begin{aligned}
 s = -10 \text{ } ^0/_{00}, Z &= (8,16 - 10) \cdot 120 + (5,38 - 10) \cdot 90 = -637 \text{ kg} \\
 s = -8 \text{ } \gg, Z &= (8,16 - 8) \cdot 120 + (5,38 - 8) \cdot 90 = -217 \text{ } \gg, \\
 s = -5 \text{ } \gg, Z &= (8,16 - 5) \cdot 120 + (5,38 - 5) \cdot 90 = +413 \text{ } \gg.
 \end{aligned}$$

I de förra beräknas endast den bränsleförbrukning, som erfordras för vidmakthållandet av förbränningen och alstrandet av ånga till hjälpapparaterna m. m.

$$\begin{aligned}
 B \overline{\infty} 10 + 0,07 \cdot 257 & \qquad \qquad \qquad \overline{\infty} 28 \text{ kg.} \\
 t = 60 (12,2 + 5,5) : 90 & \qquad \qquad \qquad = 11,8 \text{ min.} \\
 BRt = 28 \cdot 3,2 \cdot 11,8 : 60 & \qquad \qquad \qquad \overline{\infty} \qquad \qquad \qquad 18 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

I lutningarna $s = -5 \text{ } ^0/_{00}$ måste en del av lokomotivets dragkraft tagas i anspråk för innehållandet av hastigheten. Rostansträngningen bestämmas på samma sätt som å horisontell bana, se ovan, men kommer här att ligga nedanför formlernas tillämpningsområde och räkneresultatet blir därför osäkert.

$$\begin{aligned}
 B &= 135 \text{ kg.} \\
 t &= 60 \cdot 4,0 : 90 &= 2,7 \text{ min.} \\
 BRt &= 135 \cdot 3,2 \cdot 2,7 : 60 &\overline{\infty} \quad 19 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

Summa bränsleförbrukning å A—B—A

$$\Sigma BRt = 608 + 7 - 45 + 53 + 346 + 18 + 19 \overline{\infty} \quad 1006 \text{ kg.}$$

Tågen B—C—B.

Vid acceleration $B = 500 \text{ kg/m}^2\text{tim.}$, jfr ex. 5 b)

$0 - - V_1 \text{ km}$	$t \text{ min.}$	$S \text{ km}$	$V_1 - - V \text{ km}$	$t \text{ min.}$	$S \text{ km}$
$0 - - 20$	$0,54$	$0,09$	$0 - - 90$	$7,08$	$7,59$
$0 - - 60$	$2,35$	$1,41$	$20 - - 90$	$6,54$	$7,50$
$0 - - 75$	$3,90$	$3,16$	$60 - - 90$	$4,73$	$6,18$
			$75 - - 90$	$3,18$	$4,43$

$$\Sigma t = 6 \cdot 7,08 + 3 \cdot 6,54 + 8 \cdot 4,73 + 8 \cdot 3,18 = 125,4 \text{ min.}$$

$$\Sigma S = 6 \cdot 7,59 + 3 \cdot 7,50 + 8 \cdot 6,18 + 8 \cdot 4,43 = 152,9 \text{ km.}$$

$$BRt = 500 \cdot 3,2 \cdot 125,4 : 60 = 3344 \text{ kg.}$$

Retardation. 19 saktningar = 7 stöpp.

$$\Sigma t = (6 + 7) \cdot 0,6 = 7,8 \text{ min.}$$

$$\Sigma S = (6 + 7) \cdot 0,5 = 6,5 \text{ km.}$$

$$BRt = 20 \cdot 3,2 \cdot 7,8 : 60 = 8 \text{ kg.}$$

Å rak horisontell bana blir dragkraften vid $V = 90 \text{ km/tim.}$,
ekv. 22 och 19 b,

$$Z = 8,16 \cdot 120 + 4,46 \cdot 420 = 2852 \text{ kg.}$$

Enligt bilagan 2 är för $V = 90 \text{ km/tim.}$ vid $B = 500 \text{ kg.}$
 $Z = 3580 \text{ kg}$ och vid $B = 400 \text{ kg}$ $Z = 2730 \text{ kg}$. Proportioneras resp. interpoleras mellan dessa värden, erhålles

$$\begin{aligned}
 400 \cdot 2852 : 2730 > B > 400 + (500 - 400)(2852 - 2730) : \\
 : (3580 - 2730) \overline{\infty} 418 > B > 414 \text{ och } B \overline{\infty} 416 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

Väg, tid och bränsleförbrukning:

$$\begin{aligned}
 S &= 2 \cdot 123 - 152,9 - 6,5 - 43,68 - 52,82 - 2,68 - 1,84 \overline{\infty} \\
 & \qquad \qquad \qquad \overline{\infty} - 14,4 \text{ km} \\
 t &= 60 \cdot 14,4 : 90 \qquad \qquad \qquad \overline{\infty} - 9,6 \text{ min.} \\
 BRt &= 416 \cdot 3,2 \cdot 9,6 : 60 \qquad \qquad \overline{\infty} - 213 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

I kurvorna blir dragkraften, ekv. 22, tab. VII₁, VIII och ex. 3,

$$\begin{aligned}
 R &= 300, V = 60, Z = (5,37 + 2,65) \cdot 120 + (3,08 + \\
 & \qquad \qquad \qquad + 2,65) \cdot 420 \qquad \qquad \qquad = 3369 \text{ kg.} \\
 R &= 450, V = 75, Z = (6,65 + 1,65) \cdot 120 + (3,73 + \\
 & \qquad \qquad \qquad + 1,65) \cdot 420 \qquad \qquad \qquad = 3256 \text{ » .}
 \end{aligned}$$

Enligt bilagan 1 är vid $B = 400$ kg och $V = 60$ km $Z = 4380$ kg resp. vid $V = 75$ km $Z = 3460$ kg och enligt beräkning blir vid $B = 300$ kg för $V = 60$ km $Z = 3108$ kg.

$$\begin{aligned}
 300 \cdot 3369 : 3108 > B > 300 + (400 - 300)(3369 - 3108) : \\
 (4380 - 3108) = 325 > B > 321 \text{ och } B &= 323 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S, \text{ se terränguppgifterna, } 2 \cdot 1,34 \overline{\infty} &= 2,7 \text{ km} \\
 t = 60 \cdot 2,7 : 60 &= 2,7 \text{ min.} \\
 BRt = 323 \cdot 3,2 \cdot 2,7 : 60 &= 47 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

För $R = 450$ m och $V = 75$ km blir med tillräcklig noggrannhet

$$\begin{aligned}
 B &= 400 \cdot 3256 : 3460 &= 376 \text{ kg} \\
 S &= 2 \cdot 0,92 &\overline{\infty} 1,8 \text{ km} \\
 t &= 60 \cdot 1,8 : 75 &= 1,4 \text{ min.} \\
 BRt &= 376 \cdot 3,2 \cdot 1,4 : 60 &= 28 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

I stigningarna erhållas hastigheterna för $B = 500$ kg och $G_2 = 420$ ton direkt från bilagan 3, jfr ex. 4:

$$s = 10, V \overline{\infty} 43 \quad | \quad s = 8, V \overline{\infty} 50 \quad | \quad s = 5, V = 65.$$

$$s = 10 \text{ ‰}:$$

$$\begin{aligned} S &= 7,50 + 12,72 & \bar{S} &= 20,2 \text{ km} \\ t &= 60 \cdot 20,2 : 43 & &= 28,2 \text{ min.} \\ \text{BRt} &= 500 \cdot 3,2 \cdot 28,2 : 60 & &= 752 \text{ kg.} \end{aligned}$$

$$s = 8 \text{ ‰}:$$

$$\begin{aligned} S &= 1,37 + 2,42 & \bar{S} &= 3,8 \text{ km} \\ t &= 60 \cdot 3,8 : 50 & &= 4,6 \text{ min.} \\ \text{BRt} &= 500 \cdot 3,2 \cdot 4,6 : 60 & &= 123 \text{ kg.} \end{aligned}$$

$$s = 5 \text{ ‰}:$$

$$\begin{aligned} S &= 12,97 + 11,27 & \bar{S} &= 24,2 \text{ km} \\ t &= 60 \cdot 24,2 : 65 & &= 22,3 \text{ min.} \\ \text{BRt} &= 500 \cdot 3,2 \cdot 22,3 : 60 & &= 595 \text{ kg.} \end{aligned}$$

I lutningarna beräknas enligt ekv. 22, tab. VII₁ och ex. 3 följande dragkrafter för $V = 90 \text{ km/tim}$:

$$s = -10 \text{ ‰}, Z = (8,16 - 10) \cdot 120 + (4,46 - 10) \cdot 420 = -2548 \text{ kg}$$

$$s = -8 \text{ ‰}, Z = (8,16 - 8) \cdot 120 + (4,46 - 8) \cdot 420 = -1468 \text{ kg}$$

$$s = -5 \text{ ‰}, Z = (8,16 - 5) \cdot 120 + (4,46 - 5) \cdot 420 = +152 \text{ kg.}$$

För $s = -8$ och -10 ‰ :

$$\begin{aligned} B &= 10 + 0,07 \cdot 416 & &= 39 \text{ kg} \\ S, \text{ se ovan, } &20,2 + 3,8 & &= 24 \text{ km} \\ t &= 60 \cdot 24 : 90 & &= 16 \text{ min.} \\ \text{BRt} &= 39 \cdot 3,2 \cdot 16 : 60 & &= 33 \text{ kg.} \end{aligned}$$

$s = -5 \text{ ‰}$. Det beräknade, kontinuerliga dragkraftstillskottet till tyngdkraftens komponent ersättes med ett större, verkande under kortare väg. Sättes $B = 135 \text{ kg.}$, blir $Z = 413 \text{ kg.}$, jfr bestämningen för A-B-A, och vidare

$$S' \approx 24,2 \cdot 152 : 413 = 8,9 \text{ i stället för verklig, } 24,2 \text{ km}$$

$$t = 60 \cdot 8,9 : 90 = 5,9 \text{ » » » » , } 16,1 \text{ min.}$$

$$\text{BRt} = 135 \cdot 3,2 \cdot 5,9 : 60 = 42 \text{ kg.}$$

Under stationsuppehållen å B—C—B:

$$\text{B} = 25 \text{ kg.}$$

$$t, \text{ se uppgifterna,} = 12 \text{ min.}$$

$$\text{BRt} = 25 \cdot 3,2 \cdot 12 : 60 = 16 \text{ kg.}$$

Summa bränsleförbrukning å B—C—B:

$$\Sigma \text{BRt} = 3344 + 8 - 213 + 47 + 28 + 752 +$$

$$+ 123 + 595 + 33 + 42 + 16 = 4775 \text{ kg.}$$

4. Lokomotivet tillryggalägger varje tjänstedygn vägen från stall till station och åter vid A och C. Väglängden är i båda fallen 1,5 km. Vid A skall lokomotivet ändra rörelseriktning mellan stallet och stationen. Terrängen är plan med $\frac{1}{5}$ av vägen i 250 m kurvor, resten rakspår. Medelhastigheten kan sättas till $\approx 20 \text{ km/tim.}$, t således $60 \cdot 6 : 20 = 18 \text{ min.}$

Lokomotivet skall accelerera, vid A 4 gånger, tillfyllest för framförandet av det hela sträckan, vid C 2 gånger, icke fullt tillräckligt, upprundad därför till 3, summa 7 accelerationer. Väljes rostansträngningen $B = 200 \text{ kg/m}^2\text{tim.}$ och sättes i beräkningen gångmotståndet $= W_1 + 0,2 W_3$ samt sluthastigheten $= 40 \text{ km/tim.}$, så bliva accelerationstid och bränsleförbrukning $t = 7 \cdot 0,39 = 2,7 \text{ min.}$ resp. $\text{BRt} = 200 \cdot 3,2 \cdot 2,7 : 60 \approx 29 \text{ kg}$, motsvarande på 18 min. rostansträngningen $B = 200 \cdot 2,7 : 18 = 30 \text{ kg/m}^2\text{tim.}$ Således

$$\text{BRt} = 30 \cdot 3,2 \cdot 18 : 60 = 29 \text{ kg.}$$

5. Vagnsväxling förekommer icke under turerna.

6. För uppehållen i B, sammanlagt 22 min., med förflyttning av lokomotivet från det ena tåget till det andra och ånghållning till hjälppapparater resp. tågvärmning under återstående tiden, blir rostansträngningen ungefär densamma som vid stationsuppehållen, $25 \text{ kg/m}^2\text{tim.}$

$$t = 22 \text{ min.}$$

$$\text{BRt} = 25 \cdot 3,2 \cdot 22 : 60 = 29 \text{ kg.}$$

Före avgången från A resp. C beräknas en väntetid av 2 · 10 min., inberäknat förspänning av lokomotivet. Ångförbrukningen härför och till hjälpapparaterna m. m. blir pr tidsenhet nära lika med den föregående.

$$\text{BRt} = 25 \cdot 3,2 \cdot 20 : 60 = 27 \text{ kg.}$$

Total bränsleförbrukning:

i tågen A—B—A enligt 3	1006 kg
» » B—C—B » »	4775 »
å stationen B » 6	29 »
utom tåg tjänsten enl. 1, 2, 4 och 6, $151 + 64 + 29 + 27 = 271$	»
	Summa 6081 »

Ex. 11. Beräkna:

1. Bränsleförbrukningen för tågen A-B-A i föregående exempel för en grundhastighet av 70 km/tim. och en rostansträngning av 300 kg/m²tim. under acceleration resp. i de stigningar, där den är tillämplig utan överskridande av grundhastigheten.

2. De ungefärliga, totala gångtiderna för tågen A-B-A, B-C-B och A-C-A enligt ex. 10 och 11.

3. Tidsförlusten för tågen A-B-A vid grundhastighetens nedsättning från 90 till 70 km/tim.

4. Bränsleförbrukningen i kg pr 100 vagnaxelkilometer — vxkm — för tågen A-B-A, B-C-B och A-C-A enligt ex. 10 och 11. Samtliga vagnar äro 4-axliga.

5. Årstidens inverkan på bränsleförbrukningen för ettdera av tågparen A-C-A.

1. Bränsleförbrukningen å A-B-A, jfr ex. 10.

Acceleration. $B = 300 \text{ kg/m}^2\text{tim.}$

$$\Sigma t = 8 \cdot 1,76 + 1,56 + 2 \cdot 0,57 = 16,8 \text{ min.}$$

$$\Sigma S = 8 \cdot 1,38 + 1,33 + 2 \cdot 0,62 = 13,6 \text{ km}$$

$$\text{BRt} = 300 \cdot 3,2 \cdot 16,8 : 60 = 269 \text{ kg.}$$

Retardation. 8 + 1 stopp. $B = 20 \text{ kg/m}^2\text{tim.}$

$$\Sigma t = 9 \cdot 0,44 = 4,0 \text{ min.}$$

$$\Sigma S = 9 \cdot 0,29 = 2,6 \text{ km}$$

$$\text{BRt} = 20 \cdot 3,2 \cdot 4,0 : 60 = 4 \text{ kg.}$$

Å rak, horisontell bana och i kurvor med $R > 600 \text{ m.}$
Beräkningen av B giver $182 \text{ kg/m}^2\text{tim.}$

$$\begin{aligned} \Sigma S &= 2 \cdot 41 - 13,6 - 2,6 - 24,08 - 19,32 - \\ &\quad - 0,08 - 0,68 - 2,56 = 19,1 \text{ km} \end{aligned}$$

$$t = 60 \cdot 19,1 : 70 = 16,4 \text{ min.}$$

$$\text{BRt} = 182 \cdot 3,2 \cdot 16,4 : 60 = 159 \text{ kg.}$$

I kurvor med $R < 600 \text{ m.}$ $B \approx 204 \text{ kg/m}^2\text{tim.}$

$$\Sigma S = 60 \cdot 3,3 : 70 = 3,3 \text{ km}$$

$$t = 60 \cdot 3,3 : 70 = 2,8 \text{ min.}$$

$$\text{BRt} = 204 \cdot 3,2 \cdot 2,8 : 60 = 30 \text{ kg.}$$

I stigningarna:

$$s = 10 \text{ ‰}, \quad B = 300 \text{ kg/m}^2\text{tim.}, \quad V = 60 \text{ km/tim.}$$

$$\Sigma S = 60 \cdot 12,2 : 70 = 12,2 \text{ km}$$

$$t = 60 \cdot 12,2 : 60 = 12,2 \text{ min.}$$

$$\text{BRt} = 300 \cdot 3,2 \cdot 12,2 : 60 = 195 \text{ kg.}$$

$$\begin{aligned}
 s &= 8 \text{ ‰}, \quad B = 300 \text{ kg/m}^2\text{tim.}, \quad V = 66 \text{ km/tim.} \\
 \Sigma S &= 5,5 \text{ km} \\
 t &= 60 \cdot 5,5 : 66 = 5,0 \text{ min.} \\
 \text{BRt} &= 300 \cdot 3,2 \cdot 5,0 : 60 = 80 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= 5 \text{ ‰}, \quad V = 70 \text{ km/tim.} \quad \text{Beräknad } B = 265 \text{ kg/m}^2\text{tim.} \\
 \Sigma S &= 4,0 \text{ km} \\
 t &= 60 \cdot 4,0 : 70 = 3,4 \text{ min.} \\
 \text{BRt} &= 265 \cdot 3,2 \cdot 3,4 : 60 = 48 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

I lutningarna:

$$\begin{aligned}
 s &= -10 \text{ och } -8 \text{ ‰}, \quad V = 70 \text{ km/tim.} \quad Z \text{ negativ.} \\
 B &\approx 10 + 0,07 \cdot 182 = 23 \text{ kg} \\
 \Sigma S &= 12,2 + 5,5 = 17,7 \text{ km} \\
 t &= 60 \cdot 17,7 : 70 = 15,2 \text{ min.} \\
 \text{BRt} &= 23 \cdot 3,2 \cdot 15,2 : 60 = 19 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= -5 \text{ ‰}, \quad V = 70 \text{ km/tim.} \quad \text{Beräknad } Z = +65 \text{ kg.} \\
 B &= 10 + (0,07 + 0,10) \cdot 182 = 41 \text{ kg} \\
 \Sigma S &= 4,0 \text{ km} \\
 t &= 60 \cdot 4,0 : 70 = 3,4 \text{ min.} \\
 \text{BRt} &= 41 \cdot 3,2 \cdot 3,4 : 60 = 7 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

Bränsleförbrukningen å A-B-A blir

$$\Sigma \text{BRt} = 269 + 4 + 159 + 30 + 195 + 80 + 48 + 19 + 7 = 811 \text{ kg.}$$

2. Gångtiderna.

För upprundning av gångtiderna mellan stationsuppehållen till hela minuter och för förtidigt inledd bromsning till stopp tillägges 0,5 + 0,25 min. pr stopp. I tiderna för A-B-A och B-C-B inberäknas stationsuppehållen. De gångtider, som er-

hållas ur de föregående beräkningarna, bliva approximativa. Den slutliga bestämningen av tabelltiderna kan icke grundas på de summariska terränguppgifterna i ex. 10.

Ex. 10.

$$\text{A-B-A. } \Sigma t = 28,5 + 6,6 - 3,3 + 4,7 + 16,2 + 11,8 + 2,7 + 8 \cdot 0,75 \quad \overline{=} 73 \text{ min.}$$

$$\text{Uppehåll i B, } \Sigma t = 22 \text{ »}$$

$$\text{B-C-B. } \Sigma t = 125,4 + 7,8 - 9,6 + 2,7 + 1,4 + 28,2 + 4,6 + 22,3 + 16,0 + 16,1 + 12,0 + 6 \cdot 0,75 = 231 \text{ min.}$$

Ex. 11.

$$\text{A-B-A. } \Sigma t = 16,8 + 4,0 + 16,4 + 2,8 + 12,2 + 5,0 + 3,4 + 15,2 + 3,4 + 8 \cdot 0,75 \quad \overline{=} 85 \text{ min.}$$

3. *Tidsförlusten* å A-B-A, 82 km, vid körning med grundhastigheten 70 i st. f. 90 km/tim. och en motsvarande nedsättning av rostansträngningen under accelerationer resp. i stigningar, blir således

$$85 - 73 = 12 \text{ min.}$$

4. *Bränsleförbrukningen pr 100 vagnaxelkm:*

$$\text{Vxkm å A-B-A} = 3 \cdot 4 \cdot 82 = 984$$

$$\text{» » B-C-B} = 12 \cdot 4 \cdot 246 = 11808$$

$$\text{» » A-C-A} = 12792.$$

Fördelas bränsleförbrukningen utom tåg tjänsten och vid uppehållen i B, 271 + 29 kg, efter vxkm-talen, falla på A-B-A 23 och på B-C-B 277 kg.

Totala förbrukningen blir i kg	ex. 10	ex. 10 & 11
å A-B-A BRt + 23	1029	834
» B-C-B BRt + 277	5052	5052
» A-C-A BRt	6081	5886
och förbrukningen i kg pr 100 vxkm		
å A-B-A	105	85
» B-C-B	43	43
» A-C-A	48	46

allt i genomsnitt pr år.

5. Årstidens inverkan på bränsleförbrukningen.

Väljes A-C-A med förbrukningstal 5886 och 46 kg till exempel, varierar förbrukningen enligt avd. VI från i januari högst $1,14 \cdot 5886 \approx 6710$ kg till i juli lägst $0,86 \cdot 5886 \approx 5062$ kg, motsvarande resp. 52 och 40 kg pr 100 vagnaxelkilometer.

Ex. 12. Beräkna ångförbrukningen resp. bränsleförbrukningen i kg per indikerad hästkraft och timme för det ifrågakvarande lokomotivet vid $n = 60, 90, 120$ etc. hjulvarv pr minut och $B = 400$ resp. 500 kg/m²tim.

Den genererade ångmängden vid $B = 400$ resp. 500 kg/m² tim. är enligt ex. 1

$$H_x = 8830 \text{ resp. } 10630 \text{ kg/tim.}$$

Frånräknas ångan till tågvärmningen, beräknad till 4 % enligt avd. I, blir lokomotivets egen ångförbrukning

$$0,96 H_x = 8480 \text{ resp. } 10200 \text{ kg.}$$

Enligt ekv. 14 b och ex. 2 är, uttryckt i hkr,

$$Z_0 = 1283 p_m V : 270 = 4,75 p_m V.$$

Med användande av de tidigare beräknade värdena å V och p_m , jfr ex. 2, erhålles följande sammanställning, i vilken även värdena å ε intagas till jämförelse och vari de sökta ångvikterna betecknas med $\approx H_x : Z_0$:

n	60	90	120	150	180	210	240	270	300
V	21,4	32,0	42,7	53,4	64,1	74,8	85,4	96,1	106,8
B = 400 kg									
ε	0,555	0,357	0,260	0,205	0,168	0,142	0,125	0,113	—
ε_r	»	»	»	»	»	0,150	0,150	0,150	—
p_m	8,81	6,45	5,14	4,29	3,71	3,15	2,66	2,28	—
Z_0	896	980	1043	1088	1130	1119	1079	1041	—
$\approx H_x : Z_0$	9,46	8,65	8,13	7,79	7,50	7,58	7,86	8,15	—
B = 500 kg									
ε	0,695	0,452	0,331	0,261	0,216	0,183	0,161	0,145	0,132
ε_r	»	»	»	»	»	»	»	0,150	0,150
p_m	9,98	7,38	5,88	4,94	4,25	3,74	3,39	3,05	2,69
Z_0	1014	1122	1193	1253	1294	1329	1375	1392	1365
$\approx H_x : Z_0$	10,06	9,09	8,55	8,14	7,88	7,67	7,42	7,33	7,47

Arbetet pr viktsenhet ånga blir i båda fallen störst, då expansionen är den största möjliga, här då cylinderfyllningen $\varepsilon = 15\%$ kan hållas vid fullt öppen regulator. Förlägges minsta tillämplade skalafyllningen högre än 15% , såsom ofta sker i verkligheten, få de gynnsammaste hastigheterna motsvarande lägre värden.

Totala bränsleförbrukningen pr timme är

$$BR = 1280 \text{ resp. } 1600 \text{ kg.}$$

Även här avdrages 4% för tågvärmingen, således

$$0,96 BR = 1229 \text{ resp. } 1536 \text{ kg.}$$

Bränsleförbrukningen pr indikerad hästkraft och timme, $\alpha BR : Z_0$, blir:

n	60	90	120	150	180	210	240	270	300
B = 400 kg									
$\alpha BR : Z_0$	1,37	1,25	1,18	1,13	1,09	1,10	1,14	1,18	—
B = 500 kg									
$\alpha BR : Z_0$	1,51	1,37	1,29	1,23	1,19	1,16	1,12	1,10	1,13

TAB. I.

Specifik volym u_3 resp. u_4 kbm/kg av mättad resp. överhettad vattenånga.

p at.abs.	Mättad ånga		Överhettad ånga. Volym u_4 vid $t_4 =$							
	t_3	u_3	260°	280°	300°	320°	340°	360°	380°	400°
10	179,0	0,199	0,243	0,254	0,264	0,274	0,284	0,294	0,304	0,314
11	183,2	0,181	0,220	0,230	0,239	0,249	0,258	0,267	0,276	0,285
12	187,1	0,167	0,201	0,210	0,219	0,228	0,236	0,244	0,253	0,261
13	190,7	0,154	0,185	0,194	0,202	0,210	0,217	0,225	0,233	0,240
14	194,1	0,144	0,172	0,179	0,187	0,194	0,202	0,209	0,216	0,223
15	197,4	0,135	0,160	0,167	0,174	0,181	0,188	0,195	0,201	0,208
16	200,4	0,126	0,149	0,156	0,163	0,169	0,176	0,182	0,188	0,195

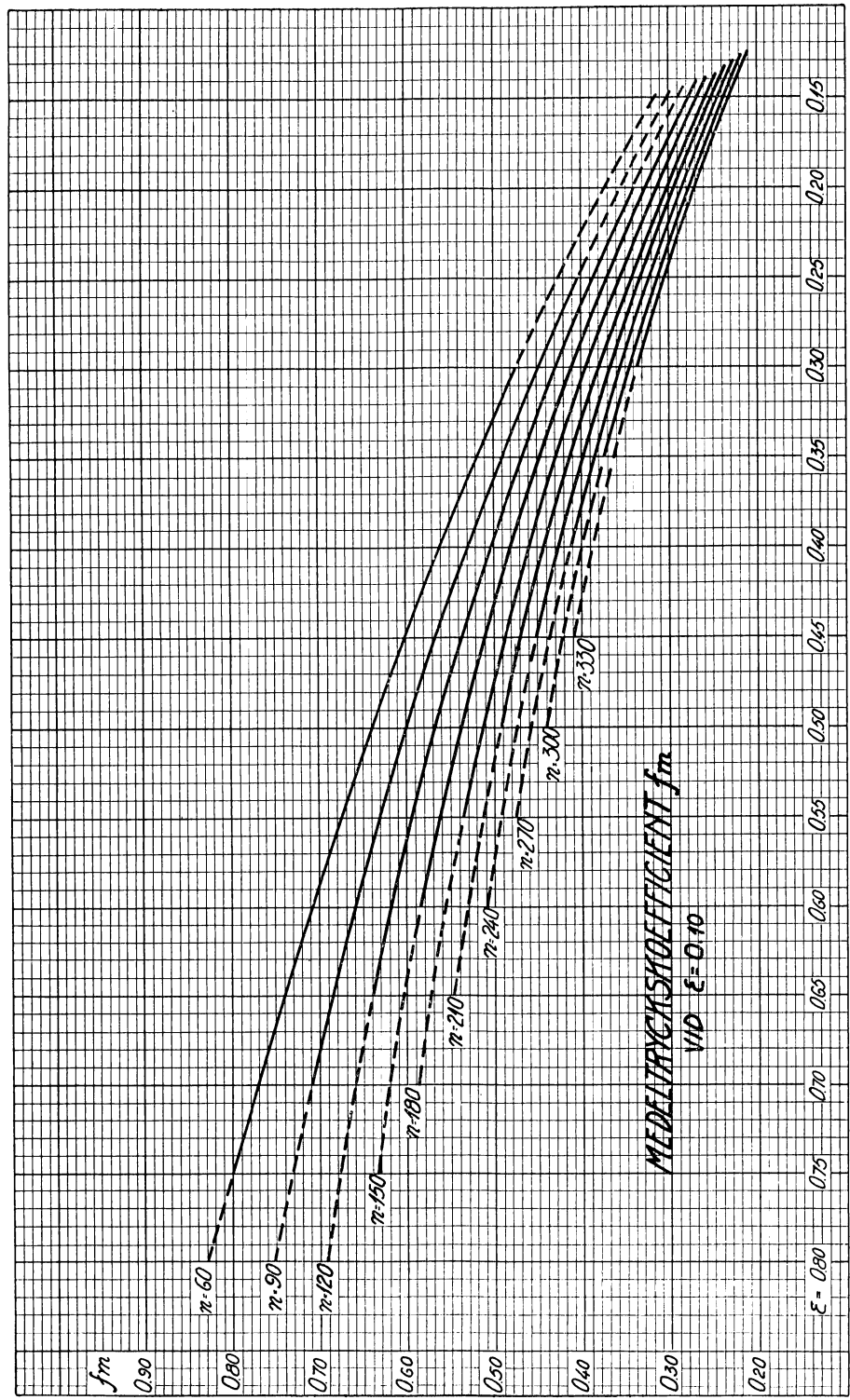
TAB. II.

Medeltryckskoefficient f_m

vid $\varepsilon_0 = 0,10$ och p 11 — 15 at. abs.

ε	f_m för n =									
	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
0,80	0,828	0,751	0,692	—	—	—	—	—	—	—
0,75	0,798	0,730	0,677	0,634	—	—	—	—	—	—
0,70	0,769	0,708	0,660	0,620	0,587	—	—	—	—	—
0,65	0,740	0,685	0,640	0,604	0,573	0,546	—	—	—	—
0,60	0,707	0,658	0,618	0,584	0,556	0,531	0,509	—	—	—
0,55	0,674	0,630	0,594	0,563	0,536	0,513	0,493	0,475	—	—
0,50	0,638	0,599	0,566	0,538	0,513	0,492	0,473	0,457	0,441	—
0,45	0,601	0,566	0,536	0,511	0,488	0,469	0,452	0,436	0,422	0,409
0,40	0,561	0,530	0,503	0,480	0,460	0,443	0,427	0,412	0,399	0,388
0,35	0,518	0,491	0,467	0,447	0,429	0,413	0,398	0,385	0,374	0,363
0,30	0,473	0,449	0,429	0,410	0,394	0,380	0,368	0,356	0,345	0,336
0,25	0,425	0,404	0,386	0,370	0,356	0,344	0,333	0,323	0,313	0,305
0,20	0,372	0,355	0,340	0,327	0,315	0,304	0,294	0,286	0,278	0,270
0,15	0,316	0,302	0,290	0,278	0,269	0,260	0,252	0,245	0,238	0,232

TAB. II A



MEDELTRYCKSKOEFFICIENT f_m
 VID $\epsilon = 0.10$

TAB. III₁.

Faktor 1,083 (p - 1).

p	10	11	12	13	14	15	16
1,083 (p - 1)	9,75	10,83	11,91	13,00	14,08	15,16	16,25

TAB. III₂.Faktor (U₁ : U_r)^{1,3} till p.

U ₁ :U _r	00	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0,6	—	0,526	0,537	0,548	0,560	0,571	0,583	0,594	0,606	0,617
0,7	0,629	0,641	0,652	0,664	0,676	0,688	0,700	0,712	0,724	0,736
0,8	0,748	0,760	0,773	0,785	0,797	0,810	0,822	0,834	0,847	0,859
0,9	0,872	0,885	0,897	0,910	0,923	0,936	0,948	0,961	0,974	0,987

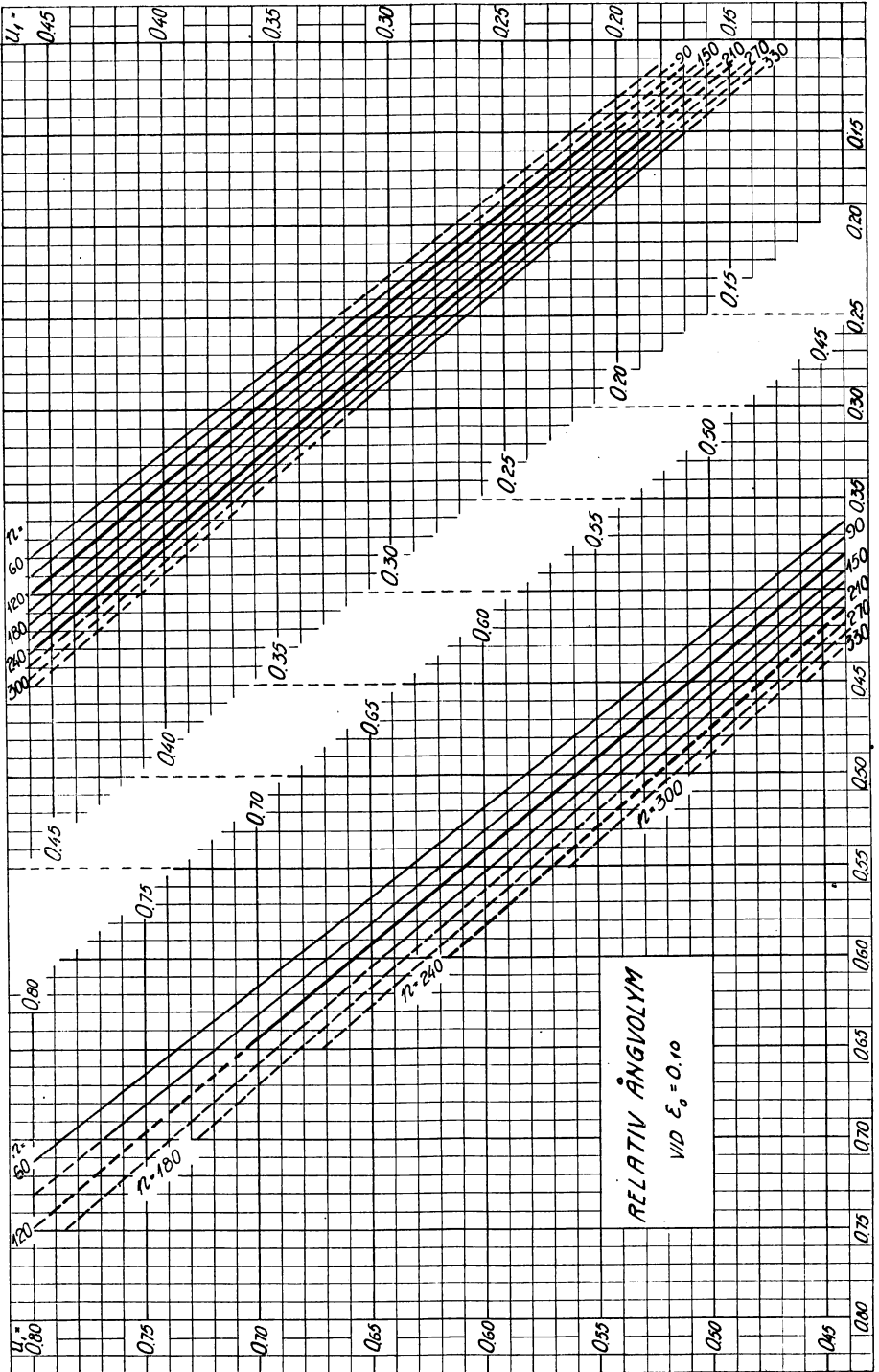
TAB. IV.

Relativ ångvolym U₁ vid ε₀ = 0,10

ε = 0,80 — — 0,15 och p = 11 — — 15 at abs.

ε	U ₁ för n =									
	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
0,80	0,892	0,868	0,849	—	—	—	—	—	—	—
0,75	0,840	0,819	0,802	0,787	—	—	—	—	—	—
0,70	0,788	0,769	0,754	0,740	0,728	—	—	—	—	—
0,65	0,737	0,720	0,706	0,693	0,682	0,672	—	—	—	—
0,60	0,685	0,670	0,657	0,646	0,635	0,626	0,617	—	—	—
0,55	0,634	0,620	0,608	0,598	0,588	0,579	0,571	0,563	—	—
0,50	0,582	0,570	0,559	0,549	0,540	0,532	0,524	0,517	0,510	—
0,45	0,531	0,520	0,510	0,501	0,492	0,484	0,477	0,470	0,464	0,458
0,40	0,480	0,469	0,460	0,451	0,444	0,436	0,429	0,423	0,417	0,411
0,35	0,428	0,419	0,410	0,402	0,395	0,388	0,381	0,375	0,369	0,363
0,30	0,376	0,367	0,359	0,352	0,345	0,339	0,333	0,327	0,321	0,316
0,25	0,324	0,316	0,309	0,302	0,295	0,289	0,283	0,278	0,273	0,267
0,20	0,272	0,264	0,258	0,251	0,245	0,239	0,234	0,229	0,224	0,219
0,15	0,219	0,212	0,206	0,200	0,195	0,189	0,184	0,179	0,174	0,169

TAB. IV A



TAB. V.

Verkningsgrad $\eta = 0,95 - 0,25 (1 - \varepsilon)^6$.

ε	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
η	0,950	0,950	0,950	0,950	0,949	0,948	0,946
ε	0,45	0,40	0,38	0,36	0,34	0,32	0,30
η	0,943	0,938	0,936	0,933	0,929	0,925	0,921
ε	0,28	0,26	0,24	0,22	0,20	0,19	0,18
η	0,915	0,909	0,902	0,894	0,884	0,879	0,874
ε	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11
η	0,868	0,862	0,856	0,849	0,842	0,834	0,826

TAB. VI.

Gångmotståndet för vagnar å rak, horisontell bana
enligt Frank, uttryckt i kg/ton.

$$W_2 = 2,5 + m V^2$$

Vagnståg av följande slag	Ung. vikt pr vagn ton	Värde å m
Boggivagnar	30	0,0003
Personvagnar, 2 axl.	15	0,0004
Lastade öppna godsvagnar	15	0,00027
» täckta »	18	0,00033
Tomma » »	8	0,00055
» öppna »	5	0,00187
Omväxlande täckta och öppna godsvagnar, hälften halvlastade, hälften tomma	11,5	0,0005

TAB. VII.

Gångmotstånden W_1 för viss lokomotivtyp, W_2 för vagnar och skillnaden däremellan $W_1 - W_2$, hänfödda till rak, horisontell bana och uttryckta i kg/ton.

$$W_1 = 2,6 + 0,015 V + 0,00052 V^2 \quad W_2 = 1,6 + 0,015 V + 0,0003 V^2$$

$$W_1 - W_2 = 1,0 + 0,00022 V^2$$

VII₁.

V	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
W_1	2,69	2,80	2,94	3,11	3,30	3,52	3,76	4,03	4,33	4,65
W_2	1,68	1,78	1,89	2,02	2,16	2,32	2,49	2,68	2,88	3,10
$W_1 - W_2$	1,01	1,02	1,05	1,09	1,14	1,20	1,27	1,35	1,45	1,55

V	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
W_1	5,00	5,37	5,77	6,20	6,65	7,13	7,63	8,16	8,72	9,30
W_2	3,33	3,58	3,84	4,12	4,41	4,72	5,04	5,38	5,73	6,10
$W_1 - W_2$	1,67	1,79	1,93	2,08	2,24	2,41	2,59	2,78	2,99	3,20

VII₂.

V	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5
W_2	1,64	1,73	1,83	1,95	2,09	2,24	2,40	2,58	2,78	2,99

V	52,5	57,5	62,5	67,5	72,5	77,5	82,5	87,5	92,5	97,5
W_2	3,21	3,45	3,71	3,98	4,26	4,56	4,88	5,21	5,55	5,91

TAB. VIII.

Kurv motstånd i kg/ton

$$W_4 = 650 : (r - 55)$$

r	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
W_4	9,29	6,84	5,42	4,48	3,82	3,33	2,95	2,65	2,41	2,20

r	375	400	425	450	475	500	525	550	575	600
W_4	2,03	1,88	1,76	1,65	1,55	1,46	1,38	1,31	1,25	1,19

r	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
W_4	1,09	1,01	0,94	0,87	0,82	0,77	0,73	0,69	0,65	0,62

r	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100
W_4	0,57	0,52	0,48	0,45	0,42	0,40	0,37	0,35	0,33	0,32

TAB. IX.

Koefficient för friktion mellan bromsblock och hjulringar i kg/ton.

V	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
μ	350	293	237	200	185	177	170	164	159	154

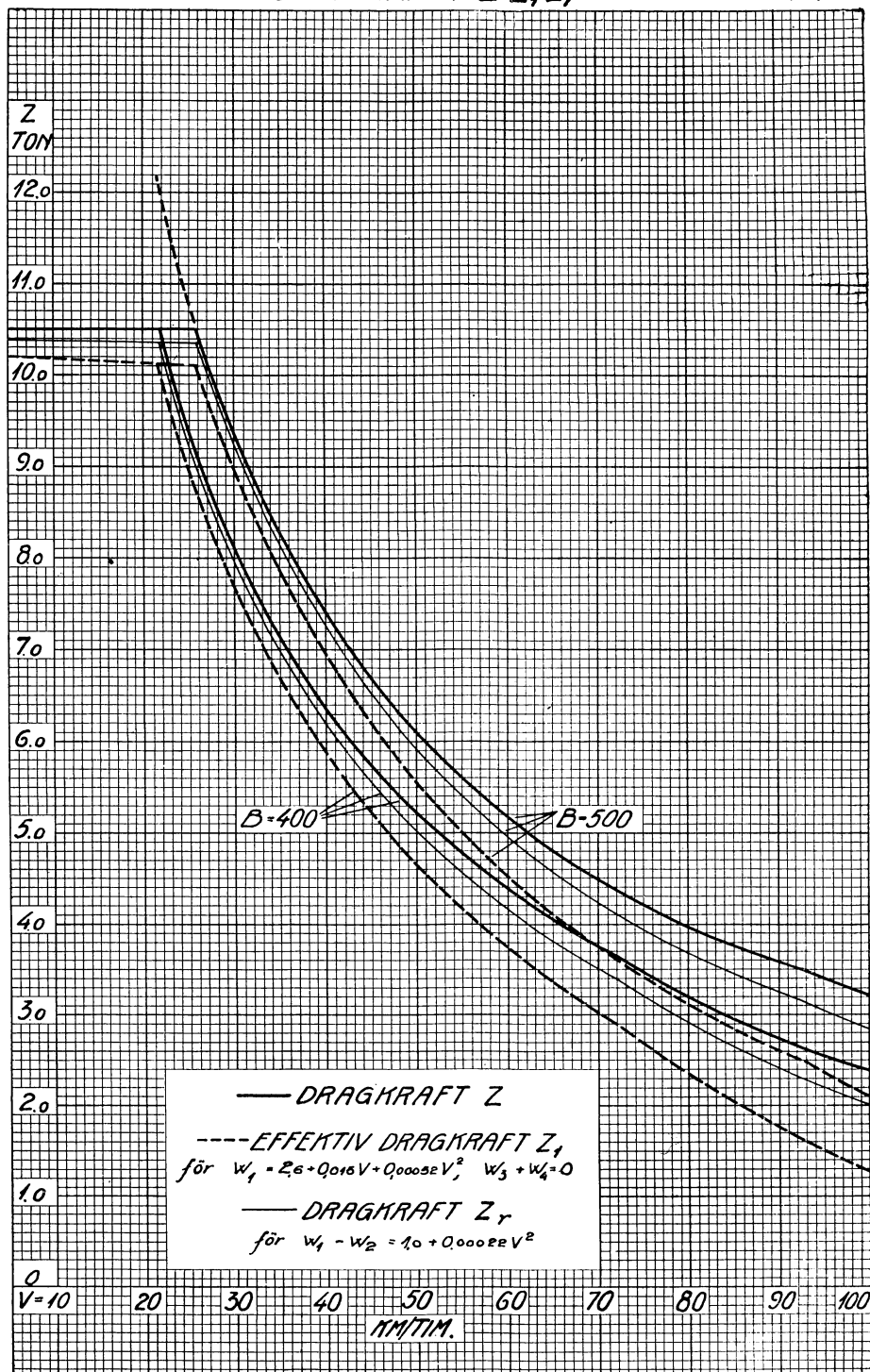
V	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
μ	150	146	142	139	135	132	130	127	125	122

TAB. X.

Temperatur, specifik vikt och värmeinhåll hos ångpannevatten resp. mättad ånga vid trycket
p at abs.

p at abs.	—	—	—	—	—	1	2	3	4	5
t_s °C	0	20	40	60	80	99,1	119,6	132,9	142,9	151,1
γ' kg/kbdm	1,000	0,998	0,992	0,983	0,972	0,959	0,944	0,933	0,924	0,916
γ'' kg/kbm	—	—	—	—	—	0,579	1,107	1,618	2,120	2,614
i' WE/kg	0	20	40	60	80	99,1	119,9	133,4	143,7	152,2
i'' »	—	—	—	—	—	639,0	646,9	651,6	654,9	657,3

p	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
t_s	158,1	164,2	169,6	174,5	179,0	183,2	187,1	190,7	194,1	197,4	200,4
γ'	0,909	0,903	0,898	0,893	0,888	0,883	0,878	0,874	0,870	0,866	0,862
γ''	3,104	3,591	4,075	4,556	5,037	5,516	5,996	6,474	6,952	7,431	7,909
i'	159,4	165,7	171,4	176,6	181,3	185,7	189,8	193,6	197,3	200,7	204,0
i''	659,3	660,9	662,3	663,4	664,4	665,2	665,9	666,6	667,0	667,4	667,8



BIL. 2.

B = 500, s = 10 ‰, W₃ = 10.

V	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Z	10500	10500	9380	7410	6100	5170	4490	3970	3580	3220
120 (W ₁ -W ₂)	122	131	144	162	186	215	250	289	334	384
Z _r	10378	10369	9236	7248	5914	4955	4240	3681	3246	2836
W ₂ +W ₃	11,78	12,02	12,32	12,68	13,10	13,58	14,12	14,72	15,38	16,10
G ₁ +G ₂	881	863	750	572	451	365	300	250	211	176
G ₁	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
G ₂	761	743	630	452	331	245	180	130	91	56

B = 500, s = 8 ‰, W₃ = 8.

Z _r	.....	9236	7248	5914	4955	4240	3681	3246	2836
W ₂ +W ₃	.....	10,32	10,68	11,10	11,58	12,12	12,72	13,38	14,10
G ₁ +G ₂	.....	895	679	533	428	350	289	243	201
G ₁	.....	120	120	120	120	120	120	120	120
G ₂	.....	775	559	413	308	230	169	123	81

B = 500, s = 5 ‰, W₃ = 5.

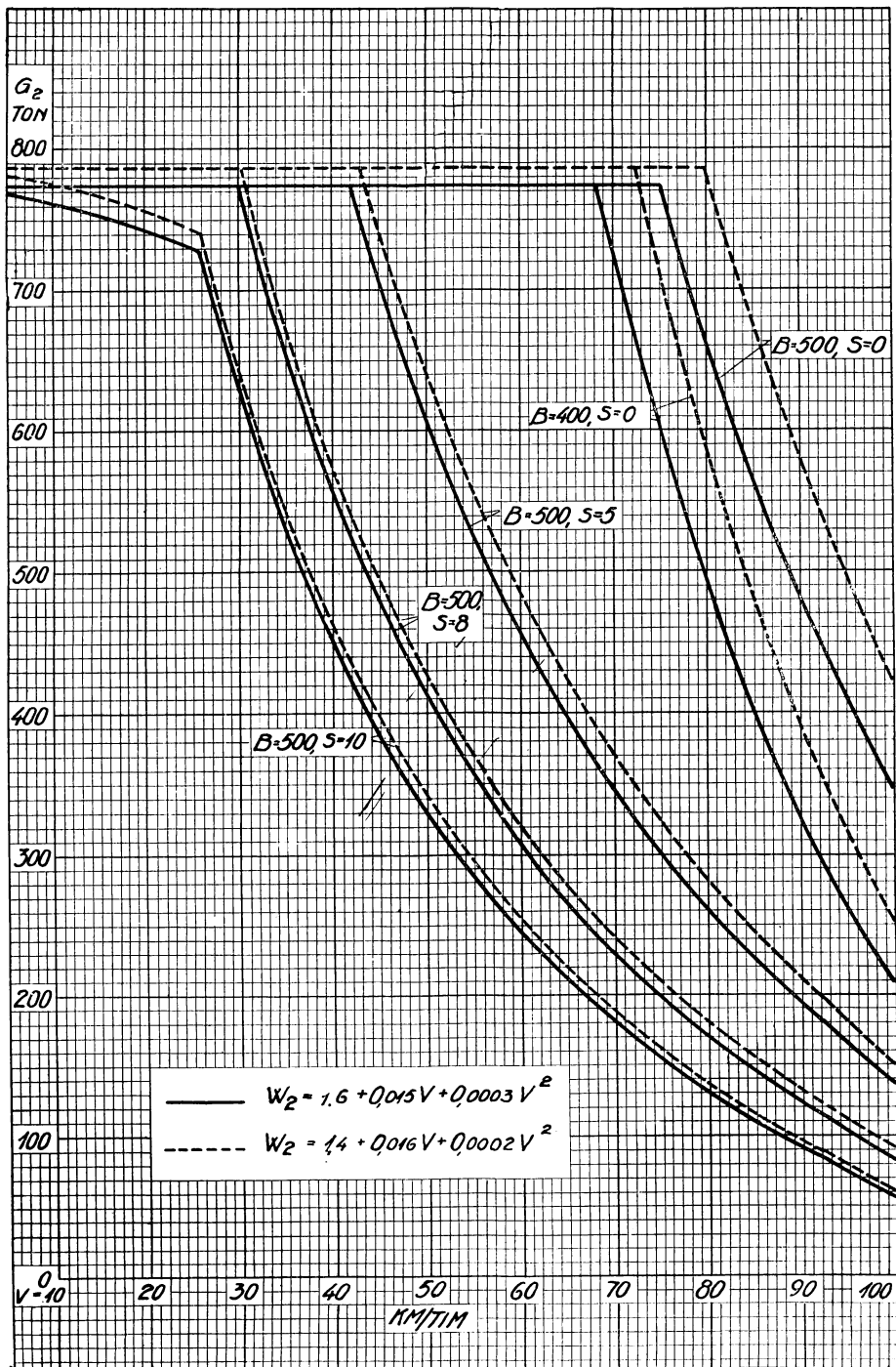
Z _r	.....	7248	5914	4955	4240	3681	3246	2836
W ₂ +W ₃	.....	7,68	8,10	8,58	9,12	9,72	10,38	11,10
G ₁ +G ₂	.....	944	730	578	465	379	313	255
G ₁	.....	120	120	120	120	120	120	120
G ₂	.....	824	610	458	345	259	193	135

B = 500, s = 0 ‰, W₃ = 0.

Z _r	.....	4240	3681	3246	2836
W ₂ +W ₃	.....	4,12	4,72	5,38	6,10
G ₁ +G ₂	.....	1029	780	603	465
G ₁	.....	120	120	120	120
G ₂	.....	909	660	483	345

B = 400, s = 0 ‰, W₃ = 0.

V	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Z	10500	10500	8120	6350	5200	4380	3750	3190	2730	2380
120 (W ₁ -W ₂)	122	131	144	162	186	215	250	289	334	384
Z _r	10378	10369	7976	6188	5014	4165	3500	2901	2396	1996
W ₂ +W ₃	.....	.....	.....	.....	3,10	3,58	4,12	4,72	5,38	6,10
G ₂ +G ₃	.....	.....	.....	.....	1617	1163	850	615	445	327
G ₁	.....	.....	.....	.....	120	120	120	120	120	120
G ₂	.....	.....	.....	.....	1497	1043	730	495	325	207



$V_a - - V_b$	0 - - 10	10 - - 20	20 - - 30	30 - - 40	40 - - 50	50 - - 60	60 - - 70	70 - - 75	75 - - 80	80 - - 85	85 - - 90	0 - - 90
V_m	5	15	25	35	45	55	65	72,5	77,5	82,5	87,5	64,8
Medeltunga personvagnar.												
W_2	1,68	1,89	2,16	2,49	2,88	3,33	3,84	4,26	4,56	4,88	5,21	
$113,3 (V_b^2 - V_a^2) : V_m$	2266	2266	2266	2266	2266	2266	2266	1133	1133	1133	1133	
Z_r	10380	10370	10360	8140	6520	5400	4570	4080	3800	3560	3340	
$480 W_2$	806	907	1037	1195	1382	1598	1843	2045	2189	2342	2501	
$Z_r - 480 W_2$	9574	9463	9323	6945	5138	3802	2727	2035	1611	1218	839	
$t_1 - - t_n$	0,24	0,24	0,24	0,33	0,44	0,60	0,83	0,56	0,70	0,93	1,35	6,46
$V_{mt1} - - V_{mnt}$	1,20	3,60	6,00	11,55	19,80	33,00	53,95	40,60	54,25	76,73	118,13	418,81
Boggivagnar med bälgar.												
$t_1 - - t_n$	0,27	0,27	0,27	0,37	0,50	0,67	0,93	0,62	0,77	1,01	1,40	7,08
$V_{mt1} - - V_{mnt}$	1,35	4,05	6,75	12,95	22,50	36,85	60,45	44,95	59,68	83,33	122,50	455,36

V km/tim.

Medeltunga personvagnar.

$$418,81 : 6,46 = 64,8$$

Boggivagnar med bälgar.

$$455,36 : 7,08 = 64,3$$

a b ACCELERATIONS- och c d RETARDATIONS KURVOR.

