

BILAGA 1

DATAMASKINPROGRAM FÖR GÅNGTIDSBERÄKNINGAR

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

A. PROGRAMMET FÖR BERÄKNING AV STÖRSTA TILLÅTNA HASTIGHETEN	1:2
A. 1 PRINCIP	1:2
A. 2 INDATA	1:3
A. 3 UTFÖRANDE	1:3
A. 4 RESULTAT	1:4
B. PROGRAMMET FÖR BERÄKNING AV GÅNGTIDER	1:4
B. 1 PRINCIP	1:4
B. 2 INDATA	1:5
B. 3 UTFÖRANDE	1:5
B. 4 RESULTAT	1:10

DATAMASKINPROGRAM FÖR GÅNGTIDSBERÄKNINGAR
av Eva Westerberg, SJ

I ett program skrivet 1964 beräknas den tid det tar att köra ett tåg mellan två punkter med hjälp av data om tåget såsom dragkraft, vikt och luftmotstånd och om banan t ex lutning och kurvradie. Som data för banan anges i detta program också största tillåtna hastighet (sth) i varje punkt. Denna är motiverad dels av kurvradier och rälsförhöjningar och dels av andra förhållanden som broar, växlar m m. Sth är beräknad för konventionella tåg och tillåter en sidkraftsvinkel på 3° . För att kunna användas för körning av tåg med lutande vagnskorg kompletterades programmet 1968 med ett annat. I det beräknas nya sth-värden med hjälp av övriga data om banan samt uppgifter om största tillåtna sidkraftsvinkel, största retardation m m.

Det förra programmet skrevs ursprungligen i Fortran II för en IBM 7090-maskin men har omarbetats till Fortran IV och IBM 360/50. Det senare programmet är skrivet i PL/I för IBM 360/50.

A PROGRAMMET FÖR BERÄKNING AV STÖRSTA TILLÅTNA HASTIGHETEN

A.1 Princip

Största tillåtna hastigheten i en kurva med radien R, då max sidkraftvinkeln är Φ , beräknas ur formeln

$$\text{sth} = \sqrt{\Phi \cdot R \cdot g + h \cdot R \cdot g / s}, \text{ där } \\ h = \text{Min} (h_{\text{max}}, k \cdot s \cdot V_N^2 / R \cdot g)$$

V_N = nominell hastighet för banavsnittet, d v s den hastighet för vilken kurvans rälsförhöjning dimensionerats

h_{max} = maximal rälsförhöjning för banavsnittet

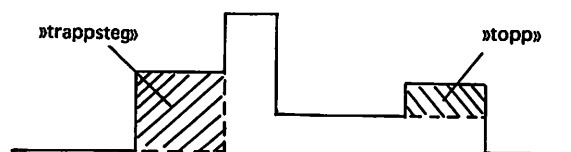
Φ = sidkraftsvinkel, d v s största tillåtna vinkel mellan kraftresultanten och ett längdsnitt vinkelrätt mot spåret

k = korrigeringskonstant som för $V_N > 80$ km/h normalt sättes till 0,678 för SJ-nätet

s = spårvidden

R = kurvradien

g = jordaccelerationen



Det framräknade värdet på sth avrundas på önskat sätt. Dessutom sker en strykning av alltför korta hastighetsavsnitt. Principen är därvid, att tidsvinsten av att behålla en "topp" eller ett "trappsteg" i hastighetsprofilen skall minst uppgå till en viss specificerad tid, $T_{\min}$.

A.2 Indata

Som indata till detta program lämnas linjedatakort för banavsnittet på samma sätt som till programmet för beräkning av gångtider (se under B.2 nedan). Dessutom lämnas i ett kort information om tågtypen, i ett annat om bandelen och ett tredje anger sth, som motiveras av annat än kurvradien. Kort 1 innehåller sålunda Φ och $T_{\min}$ (se A.1) samt $V_{\max}$, ΔV och r (se A.3). I kort 2 finns V_N och $h_{\max}$ (se A.1).

A.3 Utförande

För varje punkt på banan där kurvradien ändras, beräknas sth enligt formeln i A.1. Värdet avrundas till närmast lägre heltalsmultipel av ΔV . Dessutom ersätts värden större än $V_{\max}$ med $V_{\max}$. Obligatoriska hastighetsangivelser, som angivits i kort 3 (A.2), lägges också in. Den så erhållna följderna av sth-värden med motsvarande metertal kan kallas den råa hastighetsprofilen. För varje "topp" resp "trappsteg" på denna profil beräknas den vinst i gångtid man gör genom att följa den. Därvid försummas tågets längd så att accelerationen omedelbart kan påbörjas vid en ökning i sth. Vidare antas acceleration och retardation vara lika stora och konstant lika med r . Om gångtidsvinsten är mindre än $T_{\min}$ så stryks "toppen" resp "trappsteget". Man betraktar ett avsnitt fram till nästa minimipunkt på profilen. Först studeras maximipunkten. Om den stryks, söks ny maximipunkt ut tills man träffar en, som är värd att spara. Därefter studeras trappstegen successivt bakåt och framåt längs banan. När avsnittet färdigbehandlats, sökes nästa minimipunkt upp o s v. Den så erhållna utjämnade hastighetsprofilen användes för att stansa ut nya sth-data till gångtidsprogrammet.

A.4 Resultat

Programmet stansar ut en ny bunt linjedatakort, färdig att använda i programmet för beräkning av gångtiderna. Tidigare sth-värden har där ersatts med dem, som beräknats med hänsyn till de önskemål man uttryckt i indatakortet. Dessutom kan man få den råa och den utjämnade hastighetsprofilen utritade bredvid varandra av radskrivaren. Man får då ange den skalfaktor man önskar i figuren.

B PROGRAMMET FÖR BERÄKNING AV GÅNGTIDER

B.1 Princip

Banavsnittet delas upp i små delar Δs av önskad längd. För varje sådan del beräknas tågets högsta möjliga hastighet med hänsyn till sth och hastigheten vid början av sträckan samt till tågets prestanda och banans beskaffenhet. Därvid användes följande formler:

Luftmotstånd

$$D_L = 1/2 \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot C_D ,$$

där ρ = luftens täthet ($1,29 \text{ kg/m}^3$),

v = tåghastigheten i m/s,

A = tågets frontarea i m^2

och $C_D = 0,40 + n \cdot (0,02 + 1 \cdot 0,0040)$,

där n = antalet mellanvagnar

och 1 = längden hos en mellanvagn i m.

Rullmotstånd

$$D_R = Q_s (C_1 + C_2 \cdot v),$$

där Q_s = tågets statiska vikt,

$C_1 = 0,019 \text{ N/kg}$

och $C_2 = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$.

Gångmotstånd i kurvor och stigningar

$$D_G = Q_s \cdot g (i_v + i_k),$$

där g = jordaccelerationen ($9,81 \text{ m/s}^2$),

i_v = promillevärdet i bråkdelen för verkliga stigningen

och i_k = ekvivalenta promillevärdet för kurvan

$$i_k = 0,650 / (R - 35),$$

där R är kurvradien i m.

Totala tågmotståndet

Efter insättning av konstanternas värden får formeln för tågmotståndet

Z i Newton följande utseende:

$$\begin{aligned} Z = & 0,645 \cdot v^2 \cdot A (0,40 + n(0,02 + 1 \cdot 0,0040) + \\ & + Q_s (0,019 + 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot v + 9,81 (i_v + i_k)). \end{aligned}$$

B.2 Indata

Erforderliga indata kan delas upp i styrdata, tågdata och linjedata.

Styrdatakortet innehåller uppgifter om körningen, antal tåg och stationshåll och utskrifternas omfattning.

Tågdatakortet innehåller identifikation av tåget, uppgifter om statisk och dynamisk tågvikt, frontyta, antal vagnar, retardationen på horisontell bana, tåglängd, steglängd, och önskad noggrannhet i beräkningen samt största tillåtna hastighet för tåget. Dessutom anges dragkraftskurvan med fem punkter.

Linjedatakortet innehåller, förutom stationssignaturer, en förteckning över stigningar och lutningar samt kurvradier jämte motsvarande metermarkeringar, ev linjeförkortningar eller -förlängningar och sth-värden jämte motsvarande metermarkeringar.

B.3 Utförande

Programmet är uppdelat i två delar, en för kontroll av data och en för beräkning av gångtider.

Kontrolldelen läser först in alla värden. Därvid kontrolleras att materialet ej är för stort utan ryms i det reserverade utrymmet. Om något värde överskrids, avbryts körningen. Om inget fel har hittats, övergår programmet till att kontrollera värdenas rimlighet. För varje påträffat fel

Bilaga 1:6

skrivs ett meddelande och beräkningen utförs inte för avsnittet. Påträffas inga fel sparas data undan på ett magnetband och programmet fortsätter med beräkningsdelen.

Beräkningsdelen arbetar i stora drag enligt följande modell:

A Läs in styrdata

Om första siffran = 9: Avsluta körningen

Eljest: Gå till B

B Läs in tågdata

C Sätt stationshållsindex $X = 1$

Läs in linje- och sth-data för stationshåll 1

D Läs in linje- och sth-data för stationshåll nr $(X + 1)$

E Iordningställ data för gångtidsberäkningen för samtliga tåg på stationshåll nr X

F Sätt tågindex $Y = 1$

G Bestäm genom stegvis beräkning och ackumulering samtliga gångtidsvärden för tåg nr Y på stationshåll nr X

H Om $Y =$ antalet tåg: Gå till J

Eljest: Öka Y med 1 och gå till G

J Om $X =$ antalet stationshåll: Gå till K

Om $X + 1 =$ antalet stationshåll: Öka X med 1 och gå till E

Om $X + 1 <$ antalet stationshåll: Öka X med 1 och gå till D

K Skriv ut gångtidstabellen

Gå till A

Som framgår av det ovanstående måste före iordningställande av data för beräkningen på t ex stationshåll nr 1 inläsas linje- och sth-data för både stationshåll nr 1 och 2. Anledningen härtill är

dels att man vid en hastighetsnedsättning i början av stationshåll nr 2 kan få påbörja retardation genom bromsning i slutet av stationshåll nr 1, dels att man vid en höjning av sth i slutet av stationshåll nr 1 kan få höja hastigheten först då tågets främre del befinner sig en bit in på stationshåll nr 2.

Ifråga om dataprepareringen (punkt E ovan) före själva gångtidsberäkningen kan vidare följande detaljer noteras.

Samtliga metermarkeringar omräknas - med beaktande av eventuella linjeförkortningar eller -förlängningar - så att de för varje stationshåll anges från 0 i stigande följd i färdriktningen.

Metermarkeringarna korrigeras för sth så att vid en höjning av sth, flyttas metermarkeringen för denna höjning en sträcka framåt i färdriktningen, som är lika med tåglängden. Hela tåget måste ju ha passerat den ursprungliga markeringen innan hastigheten får ökas. I de fall en sådan flyttning leder över till nästa stationshåll, noteras detta särskilt och beaktas vid beräkningen för detta senare stationshåll.

I punkt E ovan genomsökes även ovannämnda serier och om ett där angivet sth-värde är större än sth-värdet för tåget, sättes ifrågavarande sth-värde för linjen = sth-värdet för tåget. Därefter minskas samtliga sth-värden för linjen med produkten av reduktionsfaktorn och resp sth-värde.

Förekommande kurvradier omvandlas till ur tågmotståndssynpunkt ekvivalenta stigningsvärden, och dessa sammanslås med de verkliga stigningarna eller lutningarna till nya ‰ -tal, vilka alltså representerar både stignings- och kurvmotstånd. (Se avsnitt B.1.)

De punkter (metermarkeringar) bestämmes, där retardation genom bromsning måste påbörjas, om tåget framföres med sth. Detta är aktuellt dels vid stopp på station, dels vid hastighetsnedsättningar.

Ifråga om själva beräkningen (punkt G ovan) kan följande framhållas:

Tågets massa förutsättes vara koncentrerad till en punkt. Detta ger en väsentlig förenkling av beräkningarna utan att försämra noggrannheten så mycket att försämringen blir av praktisk betydelse. Beräkningen utföres som ovan nämnts stegvis, där varje steg utgör ett i förhållande till stationshållets längd litet vägelement. För varje sådant element beräknas i regel två värden på tågets hastighet vid utgången från elementet. I början av stationshålllet anger dessa båda värden hastigheten vid start från, resp passage av stationen. Normalt når startkurvan efter ett antal steg upp till passagekurvan och de båda hastighetsvärdena blir då lika. Starttillägget kan då bestämmas som skillnaden mellan tidsåtgången enligt startkurvan och tidsåtgången enligt passagekurvan.

I slutet av stationshålllet skiljs de båda kurvorna åter åt och man beräknar en hastighetskurva för stopp på stationen och en för passage av stationen. Sedan tåget nått fram till stationen, kan bromstillägget bestämmas som

skillnaden mellan tidsåtgången enligt stoppkurvan och tidsåtgången enligt passagekurvan.

Passertiden slutligen erhålles som tidsåtgången för hela stationshållat vid passage av första stationen och passage av andra stationen.

Man beräknar alltså i ett dylikt normalfall tre gångtidsvärden, nämligen starttillägg, passertid och bromstillägg. I undantagsfall låter sig emellertid starttillägget och bromstillägget ej entydigt definieras. Detta inträffar då start-stoppskurvan ej når upp till passage-passage-kurvan. Då beräknas i stället fyra gångtidsvärden, vilka i tur och ordning anger tidsåtgången

från start på första stationen till passage av den andra,

"	passage av	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	stopp på	"
resp							
från start på	"	"	"	"	"	"	"

Om man alltså i resultatutskriften har fyra gångtidsvärden angivna för ett stationshåll, är dessa fyra värden beräknade på detta sätt.

I övrigt gäller ifråga om beräkningsgången följande:

Först bestämmes längden på vägelementet Δs . Δs sättes då preliminärt = den i tågdatakortet angivna steglängden.

Därefter undersökes om man med denna steglängd skulle passera en punkt, där linje- eller sth-data ändras eller där retardation eventuellt skall påbörjas. Är detta fallet, reduceras steglängden (så att ovannämnda punkt sammanfaller med stegets slutpunkt), eljest bibehålles det preliminära värdet på Δs .

Vidare anges om tåget befinner sig inom område, där retardation är aktuell, varvid om det gäller retardation till stopp variabeln K1 sättes = -1 och om det gäller retardation till lägre sth variabeln K2 sättes = -1. I övriga fall är K1 och K2 båda = 0.

Om både K1 och K2 är = 0, har tåget frihet att accelerera till sth. För den vid tågets ingång i Δs gällande hastigheten v_i (m/s) bestämmes då först tillgänglig dragkraft F (newton) enl ekvationen för dragkraftskurvan. Vidare sättes $v_1 = v_i$ och tågmotståndet Z beräknas enl formel i avsnitt B. 1.

Sluthastigheten (v_2) vid tågets utträde ur Δs beräknas sedan enl ekv

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + 2 \cdot \Delta s \cdot \frac{F-Z}{Q_D}} \text{ (m/s), där}$$

Q_D = tågets dynamiska vikt i kg.

Detta värde på v_2 jämföres med tidigare värde på sluthastigheten (v_s) och om skillnaden är mindre än produkten av noggrannhetsfaktorn α och v_s , accepteras det nya värdet som rätt sluthastighet och v_s sättes = v_2 .

Är emellertid absolutvärdet $|v_2 - v_s|$ större än $\alpha \cdot v_s$, sättes $v_s = v_2$ och $v_1 = 1/2 \cdot (v_i + v_s)$ och med denna medelhastighet som utgångspunkt bestämmes nya värden på dragkraften F och tågmotståndet Z , varefter nytt värde på sluthastigheten beräknas, o s v tills man får ett tillräckligt noggrant värde på denna sluthastighet.

Om tåget nått sth, undersökes om den tillgängliga dragkraften är minst lika stor som tågmotståndet. Är detta fallet, bestämmes Δs som den återstående vägsträckan fram till nästa punkt där linje- eller sth-data ändras eller där område för retardation börjar. Över denna sträcka hålles sth konstant.

Är emellertid tågmotståndet större än dragkraften, fortsättes med beräkning i korta steg och nästa Δs -värde bestämmes som tidigare.

Efter varje avslutad hastighetsberäkning för ett vägelement Δs beräknas tidsåtgången Δt enl ekv

$$\Delta t = \frac{2 \cdot \Delta s}{v_i + v_s}$$

Δt -värdet ackumuleras till ett gångtidsvärde, som är 0 vid stationshållets början.

Om K_1 eller K_2 är = -1, befinner sig tåget inom område för retardation. Då beräknas först hastighetsvärdet enl retardationskurvan (v_{r2}) för vägelementets slutpunkt enl ekv

$$v_{r2} = \sqrt{v_{r1}^2 - 2 \cdot \Delta s \cdot r}, \text{ där}$$

v_{r1} är hastighetsvärdet enl retardationskurvan för vägelementets startpunkt och r är retardationen, vilken bestämmes enl ekv

$$r = r_o + \frac{Q_s \cdot 9,81 (i_v + i_k)}{Q_D}$$

där r_o = retardationen ($i \text{ m/s}^2$) på horisontell bana.

Därefter undersökes om tågets hastighet vid ingången till Δs ligger på retardationskurvan, dvs om $v_i = v_{r1}$. Är detta fallet, lägges sluthastigheten också på retardationskurvan och man sätter $v_s = v_{r2}$. I övriga fall tillåtes tåget accelerera, varvid beräkningen utföres som ovan.

I vissa fall måste ytterligare korrigering av vägelementet Δs utföras. Detta inträffar om tågets hastighet vid utgången ur Δs skulle överstiga hastigheten enl retardationskurvan eller skulle överstiga sth. Δs minskas då så att sluthastigheten v_s fås att överensstämja med hastigheten enl retardationskurvan v_{r2} resp med sth.

B.4 Resultat

Programmet skriver ut resultatet i en gångtidstabell för varje tåg, som deltagit i körningen. Där anges för varje stationshåll passertid samt start- och stopptillägg. I förekommande fall (se B.3) anges i stället tider för start - passage, passage - passage, passage - stopp, start - stopp. Man kan också få en utskrift av medelhastighet och kontrollhastighet för varje stationshåll och tåg. Här innebär kontrollhastighet den medelhastighet tåget skulle erhållit, om det hade oändligt hög acceleration och retardation. Dessutom finns möjlighet att få en detaljerad utskrift av beräkningsresultaten steg för steg.

BILAGA 2

GÅNGTIDSBERÄKNINGAR

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

A. ALLMÄNT	2:2
B. PRELIMINÄRA BERÄKNINGAR	2:2
C. DEFINITIVA BERÄKNINGAR	2:3
FÖRTECKNING ÖVER TABELLER	2:5
TABELLER 1 - 22	2:7-2:34

GÅNGTIDSBERÄKNINGAR

A. Allmänt

För ett antal bandelar på SJ huvudlinjer har gjorts en serie gångtidsberäkningar för att utröna hur gångtiden påverkas av olika maximi-hastigheter (sth), motoreffekt (dragkraftkurva), retardation och hastighet i kurvor. Genom att luta vagnskorgen inåt i kurvorna är det möjligt att öka hastigheten utöver gällande normer.

Vagnslutningens inverkan på gångtiden har undersökts för ett antal sidkraftvinklar $\Phi = 3, 6, 9, 12$ och 15° , i några fall 24° . Sidkraftvinkeln har definierats som den vinkel vagnskorgen måste luta utöver befintlig rälsförhöjning för att centrifugalkraftens inverkan på passagerarna helt skall kompenseras. Enligt SJ normer tillåts en sidacceleration på $0,05\text{ g}$ (knappast märkbart för passagerarna). Detta värde motsvarar 3° , varför det i verkligheten räcker att luta vagnen med en vinkel, som med 3° understiger den angivna sidkraftvinkeln.

Vid gångtidsberäkningarna användes ett fiktivt motorvagnssätt med följande data:

Antal vagnar (inkl motorvagnar)	4 st
Tåglängd	91 m
Längd hos mellanvagn	23 m
Statisk tågvikt	150 ton
Dynamisk tågvikt	162 ton
Tågets frontyta	10 m^2

B. Preliminära beräkningar

I en första serie beräkningar för linjen Stockholm - Göteborg prövades ett flertal kombinationer av de nämnda fyra parametrarna. Tre olika dragkraftskurvor har använts, varvid antagits ett linjärt samband mellan dragkraft och hastighet. Kurvorna definieras av nedanstående sammanställning.

Loktyp	Hastighet km/h	Dragkraft kN	Hastighet km/h	Dragkraft kN	Effekt kW (hk)
TU 24	0	63,8	200	31,6	1750(2400)
TU 30	0	63,8	200	39,8	2200(3000)
TU 40	0	94,2	225	47,2	3000(4000)

Av tabell 1 - 3 framgår att för den tågtyp det här är fråga om med relativt stora avstånd mellan uppehållsstationerna spelar valet av retardationsnivå liten roll för gångtiden. Däremot är sidkraftvinkeln av utslagsgivande betydelse. Motoreffekten har måttlig inverkan.

C. Definitiva beräkningar

Vid de fortsatta beräkningarna har endast använts retardationen $0,9 \text{ m/sek.}^2$. Största tillåtna hastighet för tåget har varierats i steg om 30 km/h från 100 till 250 km/h . Dragkraften har varierats och de använda dragkraftskurvorna framgår av fig 1. Nedanstående sammanställning ger kompletterande data för kurvorna.

Nr	Beteckning	Max. effekt kW (hk)	Anmärkning
1,2,3	2 * X1	3.100 (4.200)	dragkraft motsvarande 2 motorvagnar typ X1 växlade för 320, 250 resp 190 km/h vid max. varvtal
4	1 * X1	1.550 (2.100)	dragkraft motsvarande 1 motorvagn typ X1 växlade för 190 km/h vid max. varvtal
5	DG 12	2.500 (3.400)	} ideella kurvor för diesel- eller gasturbindrift med variabel utväxling och motsvarande 12 resp 8 motorer à 375 hk med 75 % transmissionsverkningsgrad
6	DG 8	1.670 (2.270)	

Max. effekt och dragkraft förutsätts uppmätta vid hjulen.

De erhållna resultaten är sammanställda i tabell 4 - 22.

I tabellerna har använts följande stationssignaturer:

A	Alingsås	G	Göteborg
Av	Alvesta	Gä	Gävle
Bst	Bastuträsk	H	Hallsberg
Bdc	Boden	Hd	Halmstad
Bn	Bollnäs	Hkl	Hudiksvall
Cst	Stockholm C	Hm	Hässleholm
E	Eslöv	Hr	Herrljunga
Ep	Enköping	Hsd	Härnösand
Et	Eskilstuna	Jn	Järna
F	Falköping	K	Katrineholm

Kbä	Kolbäck	Shm	Söderhamn
Kän	Kungsängen	Sk	Skövde
Le	Luleå	Suc	Sundsvall
Lp	Linköping	Tns	Tranås
Ls	Ljusdal	U	Uppsala
Lsl	Långsele	Uå	Umeå
M	Malmö	Vb	Varberg
Msl	Mellansel	Vns	Vännäs
My	Mjölby	Vå	Västerås
N	Nässjö	Åg	Ånge
Nk	Nyköping	Åks	Åkers styckebruk
Nr	Norrköping	Ä	Ängelholm
Ob	Ockelbo	Äy	Älvsbyn
Ses	Södertälje S	Ös	Östersund

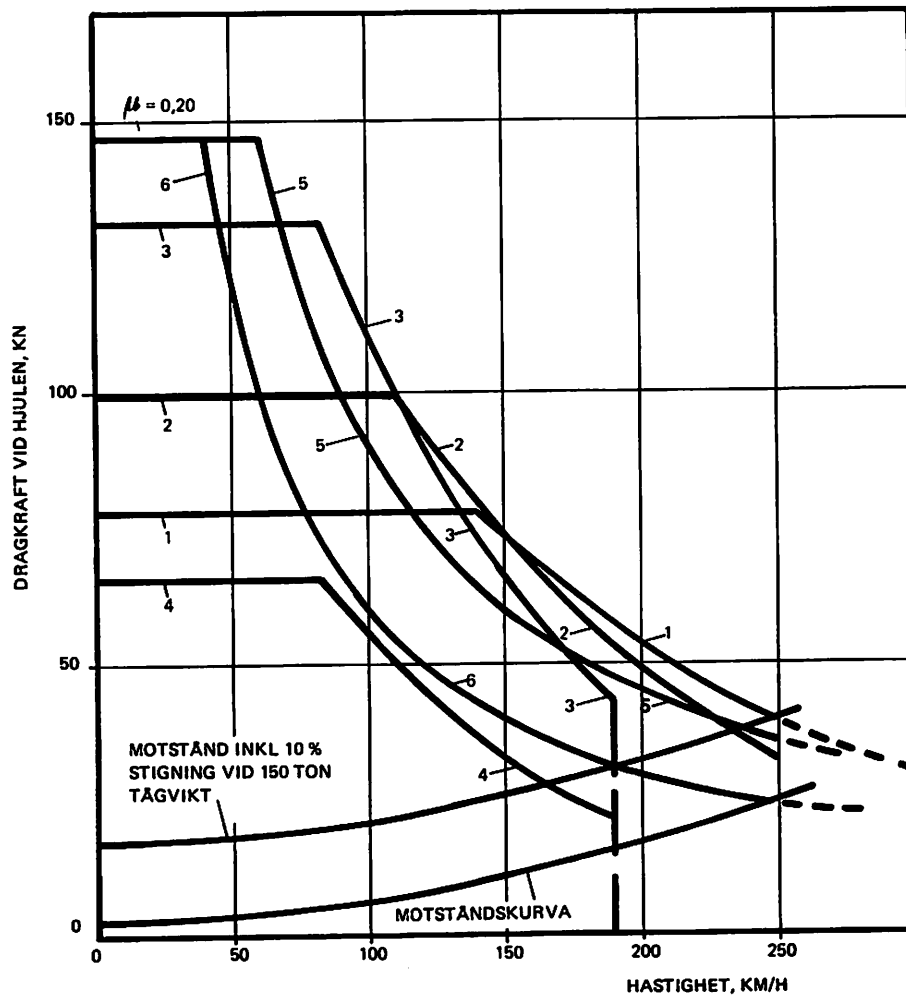


Fig 1
Dragkrafts- och motståndskurvor

FÖRTECKNING ÖVER TABELLER

Tabell nr	Sträcka	Innehåll	Dragkraftskurva enl avsnitt
1, 2	Cst - G	Gångtider och medelhastigheter vid olika dragkraft, sidkraftvinkel och retardation	B
3	Cst - G	Restid och resehastighet vid olika antal stopp under vägen	B
4	Cst - G	Gångtider och medelhastigheter vid olika dragkraft och sidkraftvinkel	C
5	Cst - Et - - Vå - Cst	Gångtider samt start- och stopptillägg vid olika dragkraft och sidkraftvinklar	C
6	Cst - Et - - Vå - Cst	Sammanfattning av gångtider och medelhastigheter vid sidkraftvinklarna 3° och 15°, jämfört med tdt 168	C
7	Cst - G, Cst - Et - - Vå - Cst	Sammanfattning av restider vid sth 220 km/h och 15° sidkraftvinkel. Jämförelse med dagens loktåg	C
8	Cst - G, Cst - Et - - Vå - Cst	Dito vid sth 160 km/h	C
9	Cst - M (Cst-K-N) (Cst-Nk-N) (N-M)	Gångtider samt start- och stopptillägg vid olika dragkraft och sidkraftvinklar	C
10	Cst - M	Sammanfattning av gångtider och medelhastigheter vid olika sth vid sidkraftvinkeln 15°	C

Tabell nr	Sträcka	Innehåll	Dragkraftskurva enl avsnitt
11	Cst - M	Sammanfattning av gångtider vid sth 220 km/h och 15° sidkraftvinkel. Jämförelse med dagens tåg	C
12	Cst - M	Dito vid sth 160 km/h	C
13	G - M	Gångtider samt start- och stopptillägg vid olika dragkraft och sidkraftvinklar	C
14	G - M	Sammanfattning av gångtider och medelhastigheter vid olika sth vid sidkraftvinkeln 15°	C
15	Cst - Gä - - Suc - Lsl	Gångtider samt start- och stopptillägg vid olika dragkraft och sidkraftvinklar	C
16	Cst - Gä - - Åg - Lsl	"	C
17	Lsl - Bdn - - Le	"	C
18	Suc - Ös, Cst - Ös, Cst - Uå	"	C
19	Cst - Gä - - Suc - Le	Sammanfattning av gångtider och medelhastigheter vid olika sth vid sidkraftvinkeln 15°	C
20	Cst - Gä - - Åg - Le	"	C
21	Cst - Le	Sammanfattning av restider vid sth 220 km/h och 15° sidkraftvinkel. Jämförelse med dagens tåg	C
22	Cst - Le	Dito vid sth 160 km/h	C

Gångtider m m Stockholm - Göteborg. Max,hast 200 km/tim. Inkl 3 % gångtidsreserv.

Loktyp	m/s ²	Φ	Cst - Jn 46 719 km		Jn - H 150 814 km		H - A 212 953 km		Jn - A 363 767 km		A - G 45 019 km		Cst - G 455 505 km	
			Tid min	Medel hast	Tid min	Medel hast	Tid min	Medel hast	Tid min	Medel hast	Tid min	Medel hast	Tid min	Medel hast
TU24 01	0,7	9	22,6	124,0	53,0	170,7	70,4	181,5	123,4	176,9	20,5	131,8	166,5	164,1
TU24 02	0,7	11	21,7	129,2	51,2	176,7	69,1	184,9	120,3	181,4	19,2	140,7	161,2	169,5
TU24 03	0,7	13	20,9	134,1	50,4	179,5	68,8	185,7	119,2	183,1	18,3	147,6	158,4	172,5
TU24 04	0,9	9	22,6	124,0	52,8	171,4	70,3	181,8	123,1	177,3	20,3	133,1	166,0	164,7
TU24 05	0,9	11	21,7	129,2	51,1	177,1	69,1	184,9	120,2	181,6	19,1	141,4	161,0	169,8
TU24 06	1,1	9	22,6	124,0	52,7	171,7	70,3	181,8	123,0	177,5	20,3	133,1	165,9	164,7
TU30 07	0,7	9	22,3	125,7	52,3	173,0	69,8	183,1	122,1	178,8	20,4	132,4	164,8	165,8
TU30 08	0,7	11	21,6	129,8	50,9	177,8	68,4	186,8	119,3	183,0	19,0	142,2	159,9	170,9
TU30 09	0,7	13	20,6	136,1	49,5	182,8	68,0	187,9	117,5	185,7	18,2	148,4	156,3	174,9
TU30 10	0,9	11	21,6	129,8	50,8	178,1	68,3	187,1	119,1	183,2	18,9	142,9	159,6	171,2

Medelhast i km/h

Gångtider m m Stockholm - Göteborg. ~~Med 3 % gångtidreserv.~~

Bil 2:8
Tabell 2

Loktyp	km/h	a m/s ²	Φ	Cst - Jn 46,719 km		Jn - H 150,814 km		H - A 212,953 km		Jn - A 363,767 km		A - G 45,019 km		Cst - G 455,505 km	
				Tid min	Medel- hast	Tid min	Medel- hast	Tid min	Medel- hast	Tid min	Medel- hast	Tid min	Medel- hast	Tid min	Medel- hast
TU24 01	200	1,1	13	20,80	134,77	49,69	182,10	68,41	186,77	118,10	184,81	18,12	149,07	157,02	174,06
TU24 02	200	2,0	13	20,77	134,96	49,54	182,66	68,39	186,83	117,93	185,08	17,97	150,31	156,67	174,45
TU24 03	200	2,0	9	22,42	125,03	52,88	171,12	70,25	181,88	123,13	177,26	20,21	133,65	165,76	164,88
TU24 04	200	2,0	3	27,43	102,19	66,04	137,02	81,77	156,26	147,81	147,66	22,08	122,33	197,32	138,51
TU24 05	200	0,7	3	27,57	101,67	66,53	136,01	82,25	155,35	148,78	146,70	22,40	120,59	198,75	137,51
TU40 ^x 06	200	0,7	3	26,97	103,94	64,91	139,41	79,42	160,88	144,33	151,22	22,18	121,78	193,48	141,26
TU40 ^x 07	200	1,1	3	26,86	104,36	64,49	140,31	78,95	161,84	143,44	152,16	21,99	122,83	192,29	142,13
TU40 ^x 08	200	2,0	3	26,76	104,75	64,17	141,01	78,62	162,52	142,79	152,85	21,81	123,85	191,36	142,82
TU40 ^x 09	230	0,7	3	26,97	103,94	64,88	139,47	77,87	164,08	142,75	152,90	22,18	121,78	191,90	142,42
TU40 ^x 10	230	2,0	3	26,76	104,75	64,11	141,15	76,94	166,07	141,05	154,74	21,81	123,85	189,62	144,13
TU40 ^x 11	230	0,7	9	21,75	128,88	51,20	176,74	64,55	197,94	115,75	188,56	20,17	133,92	157,67	173,34
TU40 ^x 12	230	2,0	9	21,53	130,20	50,63	178,72	64,23	198,93	114,86	190,02	19,69	137,18	156,08	175,10
TU40 ^x 13	230	0,7	13	19,94	140,58	46,65	193,97	60,89	209,84	107,54	202,96	17,92	150,73	145,40	187,97
TU40 ^x 14	230	2,0	13	19,77	141,79	46,10	196,29	60,73	210,39	106,83	204,31	17,47	154,62	144,07	189,70

x) = Rätlinjig momentkurva med 9,6 Mp vid V = 0 km/h och
4,8 Mp vid V = 225 km/h.

Medelhast i km/h

Gångtider m m Stockholm - Göteborg. Max. hast. 200 km/tim. Inkl 3 % gångtidsreserv.

1 stopp = H, 3 stopp = K, H, F, 5 stopp = Ses, H, Sk, F, Hr, 7 stopp = Ses, K, H, Sk, F, Hr, A

Tågtyp	a m/s ²	Φ	Non stop		1 stopp			3 stopp			5 stopp			7 stopp		
			Restid	Resehastighet	Restid	Därav stopp-tlg	Resehastighet	Restid	Därav stopp-tlg	Resehastighet	Restid	Därav stopp-tlg	Resehastighet	Restid	Därav stopp-tlg	Resehastighet
Tu 24 01	0.7	9	166,5	164,1	167,6	1,1	163,1	168,8	3,3	161,9	175,1	8,6	156,1	177,4	10,9	154,1
Tu 24 02	0.7	11	161,2	169,5	162,3	1,1	168,4	164,5	3,3	166,1	169,8	8,6	161,0	172,2	11,0	158,7
Tu 24 03	0.7	13	158,4	172,5	159,2	0,8	171,7	161,4	2,9	169,3	166,8	8,4	163,9	169,3	10,9	161,4
Tu 24 04	0.9	9	166,0	164,7	167,0	1,0	163,7	169,1	3,1	161,6	174,1	8,1	157,0	176,3	10,3	155,0
Tu 24 05	0.9	11	161,0	169,8	162,0	1,0	168,7	164,1	3,1	166,5	169,3	8,3	161,4	171,6	10,6	159,3
Tu 24 06	1.1	9	165,9	164,7	166,8	0,9	163,9	168,7	2,8	162,0	173,6	7,7	157,4	175,7	9,8	155,6
Tu 30 07	0.7	9	164,8	165,8	166,0	1,2	164,7	168,2	3,4	162,5	173,4	8,6	157,6	175,7	10,9	155,6
Tu 30 08	0.7	11	159,9	170,9	161,1	1,2	169,6	163,4	3,5	167,3	168,5	8,6	162,2	171,0	11,1	159,8
Tu 30 09	0.7	13	156,3	174,9	157,1	0,8	174,0	159,3	3,0	171,6	164,5	8,2	166,1	166,9	10,6	163,8
Tu 30 10	0.9	11	159,6	171,2	160,7	1,1	170,1	162,8	3,2	167,9	167,5	7,9	163,2	169,8	10,2	161,0

Restid och stopptillägg i min

Resehastighet i km/h

Gångtider m m Stockholm - Göteborg 27/11 68

Motorvagnståg, 4 vagnar, 91 m, 250 passagerare, bruttovikt 150 ton

Ø grader	Sth km/h	Drag- kraft	Drag- krafts- kurva	Cst - Jn 46,719 km		Jn - A 363,767 km		A - G 45,019 km		Cst - G 455,505 km	
				Tid, min	Medelhast	Tid, min	Medelhast	Tid, min	Medelhast	Tid, min	Medelhast
15	250	2•X1	1	18,8	149	99,5	219	16,7	162	135,0	202
		2•X1	2	18,7	150	99,8	218	16,7	162	135,2	202
		DG 12	5	18,7	150	100,4	217	16,8	161	135,9	201
	220	2•X1	1	18,8	149	104,7	208	16,7	162	140,2	195
		2•X1	2	18,7	150	104,6	209	16,8	161	140,1	195
		DG 12	5	18,7	150	105,0	208	16,8	161	140,5	195
	190	2•X1	2	18,7	150	117,6	186	17,0	159	153,3	178
		2•X1	3	18,7	150	117,6	186	17,0	159	153,3	178
		DG 12	5	18,8	149	117,8	185	17,1	158	153,7	178
	160	2•X1	2	19,5	144	138,1	158	18,0	150	175,6	156
		2•X1	3	19,5	144	138,0	158	18,0	150	175,5	156
		DG 8	6	19,8	142	138,7	157	18,0	150	176,5	155
	130	2•X1	3	22,8	123	168,7	129	21,7	124	213,2	128
		1•X1	4	23,1	121	169,0	129	21,7	124	213,8	128
		DG 8	6	23,0	122	168,9	129	21,7	124	213,6	128
12	250	2•X1	1	19,6	143	103,9	210	17,7	153	141,2	194
		2•X1	2	19,5	144	104,2	209	17,7	153	141,4	193
		DG 12	5	19,6	143	104,8	208	17,8	152	142,2	192
	220	2•X1	1	19,6	143	107,5	203	17,7	153	144,8	189
		2•X1	2	19,5	144	107,5	203	17,7	153	144,7	189
		DG 12	5	19,6	143	108,0	202	17,8	152	145,4	188
	190	2•X1	2	19,5	144	117,6	186	17,8	152	154,9	176
		2•X1	3	19,5	144	117,6	186	17,9	151	155,0	176
		DG 12	5	19,6	143	117,9	185	17,9	151	155,4	176

Bil 2:10
Tabell 4

Ø grader	Sth km/h	Drag- kraft	Drag- krafts- kurva	Cst - Jn 46,719 km		Jn - A 363,767 km		A - G 45,019 km		Cst - G 455,505 km	
				Tid, min	Medelhast	Tid, min	Medelhast	Tid, min	Medelhast	Tid, min	Medelhast
12	160	2•X1	2	20,0	140	138,1	158	18,6	145	176,7	157
		2•X1	3	20,0	140	138,0	158	18,6	145	176,6	155
		DG 8	6	20,3	138	138,7	157	18,7	144	177,7	154
	130	2•X1	3	22,8	123	168,7	129	21,7	125	213,2	128
		1•X1	4	23,1	121	169,0	129	21,7	125	213,8	128
		DG 8	6	23,0	122	168,9	129	21,7	125	213,6	128
	250	2•X1	1	21,0	133	110,5	198	19,3	140	150,8	181
		2•X1	2	20,9	134	110,9	197	19,3	140	151,1	181
		DG 12	5	20,9	134	111,7	195	19,3	140	151,9	180
	220	2•X1	1	21,0	133	113,1	193	19,3	140	153,4	178
		2•X1	2	20,9	134	113,2	193	19,3	140	153,4	178
		DG 12	5	20,9	134	113,8	192	19,3	140	154,0	178
9	190	2•X1	2	20,9	134	120,1	182	19,3	140	160,3	171
		2•X1	3	20,8	135	120,2	182	19,3	140	160,3	171
		DG 12	5	20,9	134	120,4	181	19,4	139	160,7	170
	160	2•X1	2	21,1	133	138,1	158	19,8	136	179,0	153
		2•X1	3	21,1	133	138,1	158	19,8	136	179,0	153
		DG 8	6	21,5	130	138,7	157	19,9	136	180,1	152
	130	2•X1	3	22,9	122	168,7	129	21,8	124	213,4	128
		1•X1	4	23,2	121	169,0	129	21,8	124	214,0	128
		DG 8	6	23,1	121	168,9	129	21,8	124	213,8	128
	250	2•X1	1	22,9	122	120,1	182	21,4	126	164,4	166
		2•X1	2	22,8	123	120,4	181	21,3	127	164,5	166
		DG 12	5	22,9	122	121,5	180	21,4	126	165,8	165

Φ grader	Sth km/h	Drag- kraft	Drag- krafts- kurva	Cst - Jn 46,719 km		Jn - A 363,767 km		A - G 45,019 km		Cst - G 455,505 km	
				Tid, min	Medelhast	Tid, min	Medelhast	Tid, min	Medelhast	Tid, min	Medelhast
6	220	2•X1	1	22,9	122	121,9	179	21,4	126	166,2	164
		2•X1	2	22,8	123	122,0	179	21,3	127	166,1	165
		DG 12	5	22,9	122	122,9	178	21,4	126	167,2	164
	190	2•X1	2	22,8	123	126,6	172	21,3	127	170,7	160
		2•X1	3	22,8	123	126,9	172	21,4	126	171,1	160
		DG 12	5	22,9	122	127,1	172	21,4	126	171,4	160
	160	2•X1	2	22,9	122	139,1	157	21,5	126	183,5	149
		2•X1	3	22,8	123	139,1	157	21,5	126	183,4	149
		DG 8	6	23,3	120	139,7	156	21,7	125	184,7	148
	130	2•X1	3	23,7	118	168,7	129	22,7	119	215,1	127
		1•X1	4	24,0	117	169,0	129	22,7	119	215,7	127
		DG 8	6	23,9	117	168,9	129	22,7	119	215,5	127
	250	2•X1	1	26,4	106	137,5	159	25,0	108	188,9	145
		2•X1	2	26,3	107	137,6	159	25,0	108	188,9	145
		DG 12	5	26,3	107	138,7	157	25,0	108	190,0	144
3	220	2•X1	1	26,4	106	138,6	157	25,0	108	190,0	144
		2•X1	2	26,3	107	138,6	157	25,0	108	189,9	144
		DG 12	5	26,3	107	139,7	156	25,0	108	191,0	143
	190	2•X1	2	26,3	107	141,2	155	25,0	108	192,5	142
		2•X1	3	26,2	107	141,6	154	25,0	108	192,8	142
		DG 12	5	26,3	107	142,0	154	25,0	108	193,3	141
	250										

Φ grader	Sth km/h	Drag- kraft	Drag- krafts- kurva	Cst - Jn 46,719 km		Jn - A 363,767 km		A - G 45,019 km		Cst - G 455,505 km	
				Tid, min	Medelhast	Tid, min	Medelhast	Tid, min	Medelhast	Tid, min	Medelhast
3	160	2•X1	2	26,3	107	148,8	147	25,0	108	200,1	137
		2•X1	3	26,2	107	148,8	147	25,0	108	200,0	137
		DG 8	6	26,6	105	150,1	145	25,2	107	201,9	135
	130	2•X1	3	26,4	106	168,8	129	25,3	107	220,5	124
		1•X1	4	26,8	105	169,0	129	25,5	106	221,3	124
		DG 8	6	26,7	105	169,0	129	25,4	106	221,1	124

Gångtider Stockholm-Eskilstuna-Västerås-Stockholm

Metervagnståg, 4 vagnar, 91 m, 250 passagerare, bruttevikt 150 ton

Bil 2:14
Tabell 5

Φ	Sth km/h	Drag- kraft	1)	Cst-Ses 35,018 km		Ses-Aks 39,036 km		Aks-Et 41,953 km		Et-KbÅ 29,291 km		KbÅ-Vå 19,182 km		Vå-Ep 37,610 km		Ep-Kån 45,450 km		Kån-Cst 27,550 km		Cst- Cst	Cst- Et	Vå- Cst
				Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	275,1 km 3)	116,0 km 3)	110,6 km 3)
				5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
24	220	2•X1	2	12,9	0,5	14,8	0,7	14,7	0,6	12,8	0,6	5,4	1,6	12,7	1,4	14,3	1,4	10,9	0,8	106,1	44,2	41,5
	190	2•X1	2	13,4	0,5	15,0	0,7	14,9	0,6	13,0	0,6	6,1	1,3	13,6	1,4	15,5	1,0	11,3	0,8	109,7	45,1	43,6
	190	1•X1	4	14,0	0,4	15,7	1,0	15,9	0,7	14,4	0,6	6,1	2,0	14,3	1,9	16,2	2,0	11,8	0,9	117,9	47,7	47,1
	160	2•X1	3	14,9	0,4	15,8	0,5	16,3	0,5	13,6	0,5	7,2	0,9	15,4	0,9	17,7	0,9	12,2	0,6	118,3	48,4	47,7
	130	2•X1	3	17,4	0,4	18,6	0,5	19,6	0,4	15,3	0,4	8,8	0,7	18,4	0,7	21,2	0,7	14,1	0,5	137,7	56,9	55,6
	130	1•X1	4	17,7	0,4	18,6	0,8	19,9	0,6	15,8	0,5	8,8	1,1	18,7	0,7	21,4	1,1	14,2	1,0	141,3	58,0	57,1
	100	2•X1	3	21,7	0,4	23,9	0,4	25,3	0,4	18,8	0,4	11,5	0,6	23,3	0,6	27,4	0,6	17,6	0,4	173,3	72,1	69,9
15	220	2•X1	2	14,2	0,5	17,1	0,6	16,8	0,6	13,3	0,5	5,8	1,2	13,6	1,1	15,4	1,4	12,0	0,7	114,8	49,8	44,2
	190	2•X1	2	14,3	0,5	17,1	0,6	16,8	0,6	13,5	0,5	6,2	1,1	14,1	1,2	16,3	1,2	12,1	0,7	116,8	49,9	45,6
	190	1•X1	4	14,9	0,4	17,6	0,8	17,8	0,7	14,6	0,5	6,3	1,8	15,1	1,6	17,1	1,8	12,6	1,1	124,7	52,2	49,3
	160	2•X1	3	15,0	0,4	17,4	0,5	17,3	0,5	13,9	0,4	7,2	0,9	15,5	0,9	18,1	0,9	12,6	0,5	122,0	51,1	48,5
	130	2•X1	3	17,4	0,4	19,1	0,5	19,7	0,4	15,4	0,4	8,9	0,7	18,4	0,7	21,4	0,7	14,1	0,5	138,7	57,5	55,8
	130	1•X1	4	17,7	0,4	19,1	0,8	20,0	0,6	15,8	0,5	8,9	1,1	18,7	1,2	21,5	1,1	14,3	1,0	142,7	58,6	57,8
	100	2•X1	3	21,7	0,4	23,9	0,4	25,3	0,4	18,8	0,4	11,5	0,6	23,4	0,6	27,4	0,6	17,4	0,4	173,2	72,1	69,8
12	220	2•X1	2	14,8	0,5	18,1	0,6	18,0	0,5	13,9	0,5	6,2	1,1	14,1	1,1	16,0	1,3	12,6	0,6	119,9	52,5	45,7
	190	2•X1	2	14,9	0,5	18,1	0,6	18,1	0,5	14,0	0,5	6,4	1,1	14,5	1,1	16,8	1,1	12,6	0,6	121,4	52,7	46,7
	190	1•X1	4	15,5	0,4	18,7	0,8	18,8	0,6	15,0	0,5	6,6	1,6	15,7	1,5	17,7	1,7	13,1	1,0	129,2	54,8	50,7
	160	2•X1	3	15,3	0,4	18,3	0,5	18,2	0,4	14,3	0,4	7,2	0,9	15,6	0,8	18,5	0,8	13,1	0,5	125,2	53,1	49,3
	130	2•X1	3	17,4	0,4	19,5	0,5	19,8	0,4	15,5	0,4	8,8	0,7	18,4	0,7	21,6	0,7	14,3	0,5	139,6	58,0	56,2
	130	1•X1	4	17,7	0,4	19,6	0,7	20,2	0,6	15,9	0,5	8,8	1,1	18,7	1,2	21,7	1,1	14,4	0,9	143,5	59,2	58,0
	100	2•X1	3	21,7	0,4	23,9	0,4	25,3	0,4	18,8	0,4	11,5	0,6	23,3	0,6	27,4	0,6	17,6	0,4	173,3	72,1	69,9
9	220	2•X1	2	15,7	0,5	19,7	0,6	19,4	0,5	14,5	0,5	6,6	0,9	14,7	1,0	17,0	1,3	13,4	0,6	126,9	56,4	48,0
	190	2•X1	2	15,7	0,5	19,7	0,6	19,4	0,5	14,6	0,5	6,8	0,9	15,0	1,1	17,6	1,1	13,4	0,6	128,0	56,4	48,8
	190	1•X1	4	16,4	0,4	20,2	0,8	20,2	0,6	15,4	0,5	7,0	1,3	16,3	1,4	18,6	1,7	13,8	0,9	135,5	58,6	52,7
	160	2•X1	3	16,0	0,4	19,7	0,5	19,6	0,4	14,9	0,4	7,4	0,7	16,0	0,8	19,1	0,8	13,6	0,5	130,8	56,6	50,8
	130	2•X1	3	17,5	0,4	20,5	0,5	20,5	0,4	15,8	0,4	8,9	0,7	18,5	0,7	21,9	0,7	14,6	0,5	142,5	59,8	56,9
	130	1•X1	4	17,7	0,4	20,7	0,7	20,9	0,6	16,2	0,5	8,9	1,1	18,8	1,2	22,0	1,1	14,7	0,9	146,4	61,0	58,7
	100	2•X1	3	21,7	0,4	24,1	0,4	25,4	0,4	18,8	0,4	11,5	0,6	23,4	0,6	27,4	0,6	17,5	0,4	173,6	72,4	69,9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
6	220	2•X1	2	17,1	0,5	21,9	0,5	21,4	0,5	15,8	0,5	7,3	0,8	15,7	0,9	18,3	1,2	14,7	0,5	137,6	61,9	51,3
	190	2•X1	2	17,1	0,5	21,9	0,5	21,4	0,5	15,8	0,5	7,4	0,8	15,9	0,9	18,7	1,1	14,7	0,5	138,2	61,9	51,8
	190	1•X1	4	17,7	0,4	22,2	0,7	22,1	0,6	16,4	0,5	7,7	1,1	17,4	1,2	19,6	1,6	15,0	0,7	144,9	63,7	55,5
	160	2•X1	3	17,1	0,4	21,9	0,4	21,3	0,4	16,0	0,4	7,8	0,7	16,8	0,7	19,7	0,8	14,7	0,4	139,5	61,5	53,1
	130	2•X1	3	18,0	0,4	22,1	0,4	22,0	0,4	16,6	0,4	8,9	0,7	18,7	0,6	22,3	0,7	15,3	0,4	147,9	63,3	58,0
	130	1•X1	4	18,3	0,4	22,5	0,7	22,3	0,6	17,0	0,5	9,0	1,1	19,1	1,0	22,5	1,1	15,4	0,7	152,2	64,8	59,8
	100	2•X1	3	21,7	0,4	24,5	0,4	25,5	0,4	18,9	0,4	11,5	0,6	23,3	0,6	27,7	0,6	17,6	0,4	174,5	72,9	70,2
3	220	2•X1	2	19,2	0,4	25,5	0,4	25,3	0,5	18,2	0,5	8,5	0,7	17,7	0,8	21,2	1,0	16,5	0,5	156,9	71,3	57,7
	190	2•X1	2	19,2	0,4	25,5	0,4	25,3	0,5	18,2	0,5	8,5	0,7	17,7	0,8	21,3	1,0	16,5	0,5	157,0	71,3	57,8
	190	1•X1	4	19,6	0,4	25,8	0,6	25,7	0,5	18,5	0,4	9,0	1,0	19,0	1,0	22,3	1,3	16,8	0,7	162,6	72,6	61,1
	160	2•X1	3	19,1	0,3	25,4	0,4	25,2	0,4	18,1	0,4	8,7	0,6	18,0	0,7	21,9	0,8	16,5	0,4	156,9	70,8	58,3
	130	2•X1	3	19,4	0,3	25,5	0,4	25,3	0,4	18,4	0,4	9,4	0,6	19,6	0,6	23,8	0,7	16,7	0,4	161,9	71,3	61,8
	130	1•X1	4	19,7	0,4	25,8	0,6	25,7	0,5	18,7	0,4	9,5	1,0	20,0	0,9	24,0	1,0	16,9	0,7	165,8	72,7	63,5
	100	2•X1	3	21,8	0,3	26,4	0,4	26,6	0,3	19,6	0,4	11,5	0,6	23,6	0,6	28,2	0,6	18,2	0,4	179,5	75,8	71,6

- 1) Dragkraftkurva nr
2) Start- och stopptillägg, min
3) Gångtider inkl. start- och stopptillägg, min

Cst =	Stockholm C	Kbä =	Kelbäck
Ses =	Södertälje S	Vå =	Västerås C
Åks =	Åkers styckebruk	Ep =	Enköping
Et =	Eskilstuna C	Kän =	Kungsängen

Gångtider¹⁾ och medelhastigheter vid olika sth och säkrastvinklarna 15° och 3°
för sträckan Stockholm - Eskilstuna - Västerås - Stockholm jämte delsträckor

Bil 2:16
Tabell 6

Sträcka	Ban- längd	$\Phi = 15^\circ$								$\Phi = 3^\circ$								Tid 168	
		Sth km/h								Sth km/h								Sth km/h	
		190	160	130	100	190	160	130	100	190	160	130	100	190	160	130	100	110/100/90	
		Gångtid min				Medelhast km/h				Gångtid min				Medelhast km/h				tdt tid 2)	me- del- hast
Cst-Ses	35,0	14,8	15,4	17,8	22,1	142	137	118	95	19,6	19,4	19,7	22,1	107	108	107	95	27	78
Ses-Åks	39,0	17,7	17,9	19,6	24,3	132	131	119	96	25,9	25,8	25,9	26,8	91	91	91	87	39	60
Åks-Et	42,0	17,4	17,8	20,1	25,7	145	142	126	98	25,8	25,6	25,7	26,9	98	99	98	94	39	65
Et-Kbä	29,3	14,0	14,3	15,8	19,2	125	123	111	92	18,7	18,5	18,8	20,0	94	95	93	89	27	65
Kbä-Vå	19,2	7,3	8,1	9,6	12,1	157	142	120	95	9,2	9,3	10,0	12,1	125	124	115	95	15	77
Vå-Ep	37,6	15,3	16,4	19,1	24,0	148	138	118	94	18,5	18,7	20,2	24,2	122	121	112	93	28	81
Ep-Kän	45,4	17,5	19,0	22,1	28,0	155	143	123	97	22,3	22,7	24,5	28,8	122	120	111	95	32	85
Kän-Cst	27,6	12,8	13,1	14,6	17,8	129	126	114	93	17,0	16,9	17,1	18,6	97	98	97	89	25	66
Cst-Et-Vå-Cst	275,1	116,8	122,0	138,7	173,2	142	136	119	95	157,0	156,9	161,9	179,5	105	105	102	92	232	71
Cst-Et	116,0	49,9	51,1	57,5	72,1	140	136	121	97	71,3	70,8	71,3	75,8	98	99	98	92	105	66
Cst-Vå-Et	159,1	66,9	70,8	81,2	101,1	143	135	119	96	85,7	86,1	90,6	103,7	113	112	107	92	127	76
Cst-Vå	110,6	45,6	48,5	55,8	69,8	145	137	119	95	57,8	58,3	61,8	71,6	115	114	107	92	85	78
Cst-Et-Vå	164,5	71,2	73,5	82,9	103,4	138	134	119	95	99,2	98,6	100,1	107,9	99	100	99	92	147	67

1) Gångtider med start- och stopptillägg men utan tillägg för gångtidsreserv

2) Tidtabellstider med uppehållen frånådragna

Gångtider för avancerat motorvagnståg för max 220 km/h (vagnslutning 12°) jämfört med dagens loktåg.

Sträcka Stockholm - Göteborg; Stockholm - Eskilstuna - Västerås - Stockholm

Sträcka	Banlängd km		Motorvagnståg för max 220 km/h				Loktåg tdt 168	
			Gångtid ¹⁾ tim:min		Gångtid inkl 4 % gångtidstillägg		Restid ²⁾ tim:min	
	Mellan resp station	Akkumul från Cst	Mellan resp station	Akkumul från Cst	Mellan resp station	Akkumul från Cst	Mellan resp station	Akkumul från Cst
Cst-Ses	36	36	0:15	0:15	0:15	0:15	0:27	0:27
Ses-K	98	134	0:30	0:45	0:31	0:46	0:50	1:17
K-H	65	199	0:20	1:05	0:21	1:07	0:33	1:50
H-Sk	114	313	0:34	1:39	0:35	1:42	1:00	2:50
Sk-F	30	343	0:10	1:49	0:10	1:52	0:18	3:08
F-Hr	34	377	0:11	2:00	0:11	2:03	0:18	3:26
Hr-A	35	412	0:11	2:11	0:11	2:14	0:18	3:44
A-G	45	457	0:18	2:29	0:19	2:33	0:31	4:15
<u>Direkttåg</u>								
Cst-H	199		1:03		1:05		1:50	
Cst-G	457		2:20		2:26		4:10	
Cst-Ses	36	36	0:15	0:15	0:15	0:15	0:27	0:27
Ses-Et	81	117	0:35	0:50	0:36	0:51	1:17	1:44
Et-Vå	48	165	0:20	1:10	0:21	1:12	0:42	2:26
Vå-Ep	38	203	0:15	1:25	0:15	1:27	0:28	2:54
Ep-Cst	73	276	0:28	1:53	0:29	1:56	0:57	3:51
<u>Direkttåg</u>								
Cst-Et	117		0:49		0:51		1:45	
Cst-Vå	111		0:42		0:44		1:25	

1) Gångtider med start- och stopptillägg

2) Tidtabellstider med uppehållen frändragna

Den totala restiden erhålles genom att tiden för resandeutbyte tillägges.

Gångtider för avancerat motorvagnståg för max 160 km/h
vagnslutning 12°) jämfört med dagens loktåg.

Sträcka Stockholm - Göteborg; Stockholm - Eskilstuna - Västerås -
Stockholm

Sträcka	Banlängd km		Motorvagnståg för max 160 km/h				Loktåg tdt 168	
			Gångtid ¹⁾ tim:min		Gångtid inkl 4 % gångtidstillägg		Restid ²⁾ tim:min	
	Mellan resp station	Akkumul från Cst	Mellan resp station	Akkumul från Cst	Mellan resp station	Akkumul från Cst	Mellan resp station	Akkumul från Cst
Cst-Ses	36	36	0:16	0:16	0:17	0:17	0:27	0:27
Ses-K	98	134	0:38	0:54	0:40	0:57	0:50	1:17
K-H	65	199	0:26	1:20	0:27	1:24	0:33	1:50
H-Sk	114	313	0:44	2:04	0:46	2:10	1:00	2:50
Sk-F	30	343	0:13	2:17	0:14	2:24	0:18	3:08
F-Hr	34	377	0:14	2:31	0:15	2:39	0:18	3:26
Hr-A	35	412	0:14	2:45	0:15	2:54	0:18	3:44
A-G	45	457	0:19	3:04	0:20	3:14	0:31	4:15
<u>Direktståg</u>								
Cst-H	199		1:22		1:25		1:50	
Cst-G	457		2:56		3:03		4:10	
Cst-Ses	36	36	0:16	0:16	0:17	0:17	0:27	0:27
Ses-Et	81	117	0:36	0:52	0:37	0:54	1:17	1:44
Et-Vå	48	165	0:22	1:14	0:23	1:17	0:42	2:26
Vå-Ep	38	203	0:16	1:30	0:17	1:34	0:28	2:54
Ep-Cst	73	276	0:32	2:02	0:33	2:07	0:57	3:51
<u>Direktståg</u>								
Cst-Et	117		0:50		0:52		1:45	
Cst-Vå	111		0:47		0:49		1:25	

1) Gångtider med start- och stopptillägg

2) Tidtabellstider med uppehållen frändragna

Den totala restiden erhålles genom att tiden för resande-
utbyte tilläggas.

Gångtider Stockholm - Katrineholm - Nässjö

Motorvagnståg, 4 vagnar, 91 m, 250 passagerare, bruttovikt 150 ton

Φ	Sth km/h	Drag- kraft	1)	Cst-Ses 36.184 km		Ses-K 97.750 km		K-Nr 48.254 km		Nr-Lp 46.436 km		Lp-My 32.348 km		My-Tns 36.537 km		Tns-N 52.064 km		Cst-(K)-Nr 182.188 km direkttåg		Nr-N 167.385 km direkttåg	
				Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)
15	250	2•X1	1	14,4	0,5	28,6	0,9	14,8	0,7	16,4	0,7	9,2	1,2	10,8	1,4	15,6	1,3	57,8	0,5	52,0	0,6
	220	"	2	14,4	0,5	28,9	0,8	15,0	0,7	16,6	0,6	9,8	1,1	10,8	1,2	15,9	1,0	58,3	0,5	53,1	0,5
	190	"	2	14,4	0,5	31,7	0,8	16,3	0,7	17,2	0,6	10,7	1,1	11,7	1,2	17,2	1,0	62,4	0,5	56,8	0,5
	160	"	3	15,0	0,4	36,9	0,6	18,7	0,6	18,8	0,5	12,1	0,9	13,6	0,9	19,9	0,7	70,6	0,4	64,4	0,4
	130	"	3	17,4	0,4	45,1	0,6	22,6	0,6	22,2	0,5	14,9	0,7	16,8	0,7	24,3	0,6	85,1	0,4	78,2	0,4
9	250	2•X1	1	15,9	0,4	33,5	0,8	16,8	0,7	18,3	0,6	10,2	1,0	12,6	1,1	18,0	1,0	66,2	0,5	59,1	0,6
	220	"	2	15,8	0,5	33,6	0,7	16,8	0,6	18,2	0,5	10,5	0,8	12,6	1,0	18,0	0,8	66,2	0,5	59,3	0,5
	190	"	2	15,8	0,5	33,9	0,7	17,4	0,6	18,4	0,5	11,1	0,8	12,7	1,0	18,3	0,8	67,1	0,5	60,5	0,5
	160	"	3	16,0	0,4	37,5	0,6	19,2	0,5	19,5	0,4	12,4	0,7	13,8	0,8	20,2	0,7	72,7	0,4	65,9	0,4
	130	"	3	17,5	0,4	45,1	0,6	22,8	0,5	22,3	0,4	14,9	0,7	16,8	0,7	24,3	0,6	85,4	0,4	78,3	0,4
3	250	2•X1	1	19,9	0,4	43,9	0,7	22,0	0,6	23,0	0,6	12,3	0,8	16,7	0,9	23,2	0,8	85,8	0,4	75,2	0,6
	220	"	2	19,8	0,4	43,9	0,6	22,0	0,5	22,9	0,5	12,5	0,7	16,7	0,8	23,2	0,7	85,7	0,4	75,3	0,5
	190	"	2	19,8	0,4	43,9	0,6	22,0	0,5	22,9	0,5	12,9	0,7	16,7	0,8	23,2	0,7	85,7	0,4	75,7	0,5
	160	"	3	19,7	0,3	44,2	0,5	22,0	0,4	23,1	0,4	13,8	0,6	16,7	0,7	23,4	0,5	85,9	0,3	77,0	0,4
	130	"	3	19,8	0,3	46,3	0,5	23,6	0,4	23,9	0,4	15,4	0,6	17,0	0,7	24,8	0,5	89,7	0,3	81,1	0,4

- 1) Dragkraftskurva, nr
2) Start- och stopptillägg, min

Gångtider Stockholm - Nyköping - Nässjö

Motorvagnståg, 4 vagnar, 91 m, 250 passagerare, bruttovikt 150 ton

Bl 2:20
Tabell 9

Φ	Sth km/h	Drag- kraft	1)	Cst-Ses 36.184 km		Ses-Nk 68.694 km		Nk-Nr 59.502 km		Nr-Lp 46.436 km		Lp-My 32.348 km		My-Tns 36.537 km		Tns-N 52.064 km		Cst-(Nk)-Nr 164.380 km direkttåg		Nr-N 167.385 km direkttåg	
				Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)
15	250	2•X1	1	14,4	0,5	27,0	1,1	20,6	1,3	16,4	0,7	9,2	1,2	10,8	1,4	15,6	1,3	62,0	0,5	52,0	0,6
	220	"	2	14,4	0,5	26,9	1,0	20,7	1,0	16,6	0,6	9,8	1,1	10,8	1,2	15,9	1,0	62,0	0,5	53,1	0,5
	190	"	2	14,4	0,5	26,9	1,0	21,2	1,0	17,2	0,6	10,7	1,1	11,7	1,2	17,2	1,0	62,5	0,5	56,8	0,5
	160	"	3	15,0	0,4	27,6	0,8	22,7	0,8	18,8	0,5	12,1	0,9	13,6	0,9	19,9	0,7	65,3	0,4	64,4	0,4
	130	"	3	17,4	0,4	33,0	0,7	27,5	0,7	22,2	0,5	14,9	0,7	16,8	0,7	24,3	0,6	77,9	0,4	78,2	0,4
9	250	2•X1	1	15,9	0,4	31,2	0,9	23,8	1,0	18,3	0,6	10,2	1,0	12,6	1,1	18,0	1,0	70,9	0,5	59,1	0,6
	220	"	2	15,8	0,5	31,1	0,8	23,8	0,9	18,2	0,5	10,5	0,8	12,6	1,0	18,0	0,8	70,7	0,5	59,3	0,5
	190	"	2	15,8	0,5	31,1	0,8	24,2	0,9	18,4	0,5	11,1	0,8	12,7	1,0	18,3	0,8	71,1	0,5	60,5	0,5
	160	"	3	16,0	0,4	31,1	0,7	25,0	0,7	19,5	0,4	12,4	0,7	13,8	0,8	20,2	0,7	72,1	0,4	65,9	0,4
	130	"	3	17,5	0,4	33,1	1,0	27,7	0,7	22,3	0,4	14,9	0,7	16,8	0,7	24,3	0,6	78,3	0,4	78,3	0,4
3	250	2•X1	1	19,9	0,4	40,4	0,8	31,6	0,7	23,0	0,6	12,3	0,8	16,7	0,9	23,2	0,8	91,9	0,4	75,2	0,6
	220	"	2	19,8	0,4	40,4	0,7	31,6	0,6	22,9	0,5	12,5	0,7	16,7	0,8	23,2	0,7	91,8	0,4	75,3	0,5
	190	"	2	19,8	0,4	40,4	0,7	31,6	0,6	22,9	0,5	12,9	0,7	16,7	0,8	23,2	0,7	91,8	0,4	75,7	0,5
	160	"	3	19,7	0,3	40,4	0,6	31,6	0,5	23,1	0,4	13,8	0,6	16,7	0,7	23,4	0,5	91,7	0,3	77,0	0,4
	130	"	3	19,8	0,3	40,5	0,6	32,4	0,5	23,9	0,4	15,4	0,6	17,0	0,7	24,8	0,5	91,7	0,3	81,1	0,4

1) Dragkraftskurva, nr

2) Start- och stopptillägg, min

Gångtider Nässjö - Malmö

Motorvagnståg, 4 vagnar, 91 m, 250 passagerare, bruttovikt 150 ton

Ø	Sth km/h	Drag- kraft	1)	N-Av 86.891 km		Av-Hm 99.080 km		Hm-E 49.370 km		E-M 33.868 km		N-M 269.209 km direkttåg		Cst-(Nk)-M 600.974 km direkttåg		Cst-(K)-M 618.782 km direkttåg	
				Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)
15	250	2•X1	1	22,4	0,9	26,0	0,9	12,4	1,9	11,0	1,3	71,8	0,8	185,8	0,3	181,6	0,3
	220	"	2	24,9	0,7	28,4	0,9	13,4	1,6	11,4	1,0	78,1	0,6	193,2	0,3	189,5	0,3
	190	"	2	28,5	0,7	32,2	0,8	15,6	1,3	12,2	0,9	88,5	0,6	207,8	0,3	207,7	0,3
	160	"	3	33,3	0,5	37,5	0,6	18,6	0,9	14,0	0,6	103,4	0,4	233,1	0,2	238,4	0,2
	130	"	3	40,5	0,5	45,7	0,5	22,8	0,7	16,7	0,5	125,7	0,4	281,8	0,2	289,0	0,2
9	250	2•X1	1	23,3	0,8	26,6	0,8	14,1	1,5	12,2	1,1	76,2	0,7	206,2	0,3	201,5	0,3
	220	"	2	25,0	0,7	28,7	0,8	14,5	1,4	12,3	0,9	80,5	0,6	210,5	0,3	206,0	0,3
	190	"	2	28,6	1,0	32,2	0,8	15,7	1,2	12,8	0,8	89,3	0,6	220,9	0,3	216,9	0,3
	160	"	3	33,3	0,5	37,5	0,6	18,6	0,9	14,2	0,6	103,6	0,4	241,6	0,2	242,2	0,2
	130	"	3	40,5	0,5	45,7	0,5	22,8	0,7	16,8	0,5	125,8	0,4	282,4	0,2	289,5	0,2
3	250	"	1	31,2	0,7	33,4	0,7	19,3	1,1	14,6	0,8	98,5	0,6	265,6	0,3	259,5	0,3
	220	"	2	31,4	0,6	33,5	0,7	19,3	0,9	14,6	0,6	98,8	0,5	265,9	0,3	259,8	0,3
	190	"	2	31,5	0,6	34,6	1,2	19,3	0,9	14,8	0,6	100,2	0,5	267,7	0,3	261,6	0,3
	160	"	3	33,7	0,5	37,7	0,9	19,7	0,8	15,5	0,5	106,6	0,4	275,3	0,2	269,5	0,2
	130	"	3	40,6	0,5	45,9	0,5	22,8	0,7	17,1	0,5	126,4	0,4	300,2	0,2	297,2	0,2

1) Dragkraftskurva, nr

2) Start- och stopptillägg, min

Gångtider m m Stockholm - Malmö

Motorvagnståg, 4 vagnar, 91 m, 250 passagerare, bruttovikt 150 ton,
dragkraft 2·X1, dragkraftskurva 2, vagnslutning 12°

S t r ä c k a	Banlängd km	2) 130 km/h		2) 160 km/h		2) 190 km/h		2) 220 km/h		2) 250 km/h	
		Gångtid min 1)	Medel- hast	Gångtid min 1)	Medel- hast	Gångtid min 1)	Medel- hast	Gångtid min 1)	Medel- hast	Gångtid min 1)	Medel- hast
Cst - Ses	36.184	17,8	122	15,4	141	14,9	146	14,9	146	14,9	146
Ses - Nk	68.694	33,7	122	28,4	145	27,9	148	27,9	148	28,1	147
Nk - Nr	59.502	28,2	127	23,5	152	22,2	161	21,7	165	21,9	163
Ses - K	97.750	45,7	128	37,5	156	32,5	181	29,7	198	29,5	199
K - Nr	48.254	23,2	125	19,5	149	17,0	170	15,7	184	15,5	187
Nr - Lp	46.436	22,7	123	19,3	144	17,8	157	17,2	162	17,1	163
Lp - My	32.348	15,6	124	13,0	149	11,8	165	10,9	178	10,4	187
My - Tns	36.537	17,5	125	14,5	151	12,9	170	12,0	183	12,2	180
Tns - N	52.064	24,9	126	20,6	152	18,2	172	16,9	185	16,9	185
N - Av	86.891	41,0	127	33,8	154	29,2	179	25,6	204	23,3	224
Av - Hm	99.080	46,2	129	38,1	156	33,0	180	29,3	203	26,9	221
Hm - E	49.370	23,5	126	19,5	152	16,9	175	15,0	198	14,3	207
E - M	33.868	17,2	118	14,6	139	13,1	155	12,4	164	12,3	165
<u>Direktåg</u>											
Cst-Nk-Nr	164.380	78,3	126	65,7	150	63,0	157	62,5	158	62,5	158
Cst-K-Nr	182.188	85,5	128	71,0	154	62,9	174	58,8	186	58,3	188
Cst-K-N	349.573	164,1	128	135,8	154	120,2	175	112,4	187	110,9	189
Cst-Nk-M	600.974	282,0	128	233,3	155	208,1	173	193,5	186	186,1	194
Cst-K-M	618.782	289,2	128	238,6	156	208,0	179	189,8	196	181,9	204

- 1) inkl start- och stopptillägg
2) sth km/h

Gångtider för avancerat motorvagnståg för max 220 km/h (vagnslutning 12°) jämfört med dagens loktåg.

Sträcka Stockholm - Malmö.

Sträcka	Banlängd km		Motorvagnståg för max 220 km/h				Loktåg tdt 168	
			Gångtid ¹⁾ tim:min		Gångtid inkl 4 % gångtidstillägg		Restid ²⁾ tim:min	
	Mellan resp station	Akkumul från Cst	Mellan resp station	Akkumul från Cst	Mellan resp station	Akkumul från Cst	Mellan resp station	Akkumul från Cst
Cst-Ses	36	36	0:15	0:15	0:15	0:15	0:27	0:27
Ses-Nk	69	105	0:29	0:44	0:30	0:45	0:45	1:12
Nk-Nr	59	164	0:22	1:06	0:23	1:08	0:43	1:55
Nr-Lp	46	210	0:17	1:23	0:18	1:26	0:29	2:24
Lp-My	32	242	0:11	1:34	0:11	1:37	0:20	2:44
My-Tns	37	279	0:12	1:46	0:12	1:49	0:21	3:05
Tns-N	52	331	0:17	2:03	0:18	2:07	0:29	3:34
N-Av	87	418	0:26	2:29	0:27	2:34	0:45	4:19
Av-Hm	98	516	0:29	2:58	0:30	3:04	0:51	5:10
Hm-M	83	599	0:26	3:24	0:27	3:31	0:50	6:00
<u>Direktståg</u>								
Cst-Nr	164		1:04		1:06		1:55	
Cst-Lp	210		1:20		1:23		2:24	
Cst-N	331		1:57		2:01		3:34	
Cst-M	599		3:15		3:22		6:00	

1) Gångtider med start- och stopptillägg

2) Tidtabellstider med uppehållen frändragna

Den totala restiden erhålles genom att tiden för resandeutbyte tillägges.

Gångtider för avancerat motorvagnståg för max 160 km/h
(vagnslutning 12⁰) jämfört med dagens loktåg.
Sträcka Stockholm - Malmö.

Sträcka	Banlängd km		Motorvagnståg för max 160 km/h				Loktåg tdt 168	
			Gångtid ¹⁾ tim:min		Gångtid inkl 4 % gångtidstillägg		Restid ²⁾ tim:min	
	Mellan resp station	Akkumul från Cst	Mellan resp station	Akkumul från Cst	Mellan resp station	Akkumul från Cst	Mellan resp station	Akkumul från Cst
Cst-Ses	36	36	0:16	0:16	0:17	0:17	0:27	0:27
Ses-Nk	69	105	0:29	0:45	0:30	0:47	0:45	1:12
Nk-Nr	59	164	0:24	1:09	0:25	1:12	0:43	1:55
Nr-Lp	46	210	0:19	1:28	0:20	1:32	0:29	2:24
Lp-My	32	242	0:13	1:41	0:14	1:46	0:20	2:44
My-Tns	37	279	0:15	1:56	0:16	2:02	0:21	3:05
Tns-N	52	331	0:21	2:17	0:22	2:24	0:29	3:34
N-Av	87	418	0:34	2:51	0:35	2:59	0:45	4:19
Av-Hm	98	516	0:38	3:29	0:40	3:39	0:51	5:10
Hm-M	83	599	0:33	4:02	0:34	4:13	0:50	6:00
Direktståg								
Cst-Nr	164		1:07		1:10		1:55	
Cst-Lp	210		1:25		1:28		2:24	
Cst-N	331		2:11		2:16		3:34	
Cst-M	599		3:55		4:04		6:00	

1) Gångtider med start- och stopptillägg

2) Tidtabellstider med uppehållen frändragna

Den totala restiden erhålles genom att tiden för resande-
utbyte tillägges.

Gångtider Göteborg - Malmö

Motorvagnståg, 4 vagnar, 91 m, 250 passagerare, bruttovikt 150 ton

Φ	Sth km/h	Drag- kraft	1)	G - Vb 77.158 km		Vb - Hd 74.436 km		Hd - Å 65.327 km		Å - M 85.871 km		G - M 302.792 km direkttåg	
				Gångtid min	2)	Gångtid min	2)	Gångtid min	2)	Gångtid min	2)	Gångtid min	2)
15	250	2•X1	1	25,2	0,6	24,8	0,9	24,5	0,4	29,3	0,3	103,8	0,3
	220	"	2	25,6	0,6	25,1	0,8	24,6	0,4	29,6	0,3	104,9	0,3
	190	"	2	27,2	0,6	26,4	0,8	25,4	0,4	31,0	0,3	110,0	0,3
	160	"	3	30,4	0,5	29,5	0,6	27,3	0,3	34,6	0,2	121,4	0,2
	130	"	3	36,4	0,4	35,0	0,5	31,3	0,3	41,2	0,2	143,9	0,2
9	250	2•X1	1	28,4	0,5	27,1	0,8	27,3	0,4	32,1	0,3	115,1	0,3
	220	"	2	28,5	0,5	27,4	0,6	27,2	0,4	32,1	0,3	115,4	0,3
	190	"	2	29,3	0,5	28,4	0,6	27,6	0,4	33,1	0,3	118,4	0,3
	160	"	3	31,5	0,4	30,9	0,5	29,1	0,3	35,7	0,2	127,2	0,2
	130	"	3	36,7	0,4	35,5	0,5	32,5	0,3	41,6	0,2	146,3	0,2
3	250	2•X1	1	35,1	0,4	32,9	0,6	33,4	0,4	39,1	0,3	140,5	0,3
	220	"	2	34,8	0,4	32,8	0,5	33,1	0,4	39,0	0,3	139,7	0,3
	190	"	2	34,9	0,4	33,0	0,5	33,2	0,4	39,2	0,3	140,3	0,3
	160	"	3	35,5	0,3	34,3	0,4	33,9	0,3	40,1	0,2	143,8	0,2
	130	"	3	38,7	0,3	37,5	0,4	36,1	0,3	44,0	0,2	156,3	0,2

1) Dragkraftskurva, nr

2) Start- och stopptillägg, min.

Gångtider Göteborg - Malmö

Motorvagnståg, 4 vagnar, 91 m, 250 passagerare, bruttovikt 150 ton,
dragkraft 2·X1, dragkraftskurva 2, vagnlutning 12°

Sträcka	Banlängd km	2) 130		2) 160		2) 190		2) 220		2) 250	
		Gångtid min 1)	Medel- hast	Gångtid min 1)	Medel- hast	Gångtid min 1)	Medel- hast	Gångtid min 1)	Medel- hast	Gångtid min 1)	Medel- hast
G - Vb	77.158	36,8	126	30,9	150	27,8	167	26,2	177	25,8	179
Vb - Hd	74.436	35,5	126	30,1	148	27,2	164	25,9	172	25,7	174
Hd - Ä	65.327	31,6	124	27,6	142	25,8	152	25,0	157	24,9	157
Ä - M	85.871	41,4	124	34,8	148	31,3	165	29,9	172	29,6	174
<u>Direktståg</u>											
G - M	302.792	144,1	126	121,6	149	110,3	165	105,2	173	104,1	175

1) inkl start- och stopptillägg

2) sth km/h

Gångtider Stockholm - Gävle - Sundsvall - Långsele

Motorvagnståg, 4 vagnar, 91 m, 250 passagerare, bruttovikt 150 ton

Φ	Sth km/h	Drag- kraft	1)	Cst-Gä 180.204 km		Gä-Shm 83.478 km		Shm-Hkl 61.717 km		Hkl-Suc 87.824 km		Suc-Hsd 67.380 km		Hsd-Lsl 115.820 km		Gä-(Suc)-Lsl 416.219 km direkttåg		Gä-(Ag)-Lsl 429.401 km direkttåg		Cst-Suc 413.223 km direkttåg	
				Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)
15	220	2•X1	2	56,4	0,4	29,5	0,9	23,7	1,2	34,9	0,6	29,9	0,5	48,9	0,9	166,9	0,8	155,1	0,8	144,5	0,8
	190	2•X1	2	61,4	0,4	29,8	0,9	23,7	1,2	34,9	0,6	29,9	0,5	49,0	0,9	167,3	0,8	156,3	0,8	149,8	0,8
	190	1•X1	4	63,3	0,4	30,9	1,2	24,2	1,7	35,5	1,0	30,8	0,5	50,8	1,3	172,2	1,1	161,3	1,1	153,9	1,1
	160	2•X1	3	70,4	0,3	32,2	0,8	24,4	0,9	35,4	0,5	30,1	0,4	49,7	0,7	171,8	0,7	166,6	0,7	162,4	0,5
	130	2•X1	3	85,3	0,3	38,6	0,7	28,5	0,7	40,8	0,5	31,8	0,4	54,9	0,7	194,6	1,0	200,2	1,0	193,2	0,5
	130	1•X1	4	85,8	0,4	38,7	1,0	28,5	1,2	40,9	0,9	32,0	0,5	55,0	1,2	195,1	1,2	200,6	1,2	193,9	1,0
	100	2•X1	3	109,6	0,3	50,0	0,6	37,0	0,6	53,0	0,4	40,6	0,4	69,5	0,5	250,1	0,5	258,8	0,5	249,6	0,4
9	220	2•X1	2	61,9	0,4	34,1	0,7	27,6	1,0	40,5	0,5	34,9	0,5	57,7	0,7	194,8	0,6	181,9	0,6	164,1	0,7
	190	2•X1	2	64,4	0,4	34,1	0,7	27,6	1,0	40,5	0,5	34,9	0,5	57,7	0,7	194,8	0,6	181,9	0,6	166,6	0,7
	190	1•X1	4	67,0	0,4	35,3	0,9	28,1	1,3	41,4	0,8	35,4	0,5	59,3	1,0	199,5	0,8	186,2	0,8	171,8	0,9
	160	2•X1	3	71,6	0,3	35,0	0,6	27,7	0,8	40,8	0,4	34,9	0,4	57,7	0,6	196,1	0,5	184,3	0,5	175,1	0,5
	130	2•X1	3	85,4	0,3	39,1	0,6	29,1	0,7	42,3	0,4	35,4	0,4	60,0	0,6	205,9	0,5	202,7	0,5	195,9	0,4
	130	1•X1	4	85,9	0,4	39,2	0,9	29,2	1,2	42,4	0,8	35,7	0,5	60,6	1,0	207,1	0,5	203,2	0,5	196,7	0,9
	100	2•X1	3	109,6	0,3	50,1	0,6	37,0	0,6	53,1	0,4	40,7	0,4	69,8	0,6	250,7	0,5	258,9	0,5	249,8	0,4
3	220	2•X1	2	78,3	0,4	44,8	0,7	36,2	0,8	52,9	0,4	45,4	0,4	76,9	0,6	256,2	0,6	239,8	0,6	212,2	0,5
	190	2•X1	2	78,7	0,4	44,8	0,7	36,2	0,8	52,9	0,3	45,4	0,4	76,9	0,6	256,2	0,6	239,8	0,6	212,6	0,5
	190	1•X1	4	81,4	0,4	45,3	0,8	36,4	1,0	53,4	0,6	45,8	0,4	77,9	0,8	258,8	0,7	242,4	0,7	216,5	0,7
	160	2•X1	3	80,5	0,3	44,7	0,6	36,2	0,6	52,9	0,3	45,4	0,3	76,7	0,5	255,9	0,5	239,8	0,5	214,4	0,3
	130	2•X1	3	88,2	0,3	45,3	0,6	36,2	0,6	53,2	0,3	45,6	0,3	76,9	0,5	257,2	0,5	241,3	0,5	222,9	0,3
	130	1•X1	4	88,7	0,4	45,6	0,8	36,4	1,0	53,6	0,6	45,8	0,4	78,0	0,8	259,4	0,7	243,1	0,7	224,3	0,7
	100	2•X1	3	109,7	0,3	51,1	0,6	38,0	0,5	55,2	0,3	46,4	0,3	79,2	0,5	269,9	0,5	263,5	0,5	254,0	0,3

- 1) Dragkraftkurva, nr
2) Start- och stopptillägg, min

Gångtider Stockholm - Gävle - Ånge - Långsele

Motorvagnståg, 4 vagnar, 91 m, 250 passagerare, bruttovikt 150 ton

Bil 2:28
Tabell 16

Φ	Sth km/h	Drag- kraft	1)	Cst-U 65.880 km		U-Gä 114.324 km		Gä-Ob 38.401 km		Ob-Bn 60.295 km		Bn-Ls 63.012 km		Ls-Åg 106.227 km		Åg-Lsl 161.466 km		Cst-(Gä)-Åg 448.139 km direkttåg	
				Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)
15	220	2•X1	2	20,4	0,7	36,0	0,4	15,3	0,7	20,0	1,5	21,6	1,2	36,9	0,8	61,3	0,4	150,2	0,3
	190	2•X1	2	22,9	0,7	38,5	0,4	15,3	0,7	20,4	1,4	21,7	1,2	37,5	0,8	61,4	0,4	156,3	0,3
	190	1•X1	4	23,5	0,7	39,8	0,4	16,0	1,0	21,2	2,1	22,5	1,8	38,1	1,1	63,5	0,4	161,1	0,3
	160	2•X1	3	26,5	0,5	43,9	0,3	15,8	0,6	22,6	0,9	23,8	0,9	40,5	0,6	63,9	0,3	173,1	0,2
	130	2•X1	3	31,9	0,4	53,4	0,3	18,2	0,6	27,9	0,7	29,2	0,7	49,2	0,5	75,7	0,3	209,8	0,2
	130	1•X1	4	32,1	0,5	53,7	0,4	18,3	1,0	27,9	1,2	29,2	1,2	49,2	0,9	76,0	0,4	210,4	0,3
	100	2•X1	3	40,6	0,4	69,0	0,3	23,2	0,5	36,1	0,6	37,8	0,6	64,0	0,4	97,7	0,3	270,7	0,2
9	220	2•X1	2	21,8	0,7	40,1	0,4	17,9	0,6	23,2	1,1	25,1	1,0	43,6	0,6	72,1	0,4	171,7	0,3
	190	2•X1	2	23,1	0,7	41,3	0,4	17,9	0,6	23,2	1,1	25,1	1,0	43,6	0,6	72,1	0,4	174,2	0,3
	190	1•X1	4	23,6	0,7	43,4	0,4	18,3	0,6	24,0	1,5	26,0	1,4	44,5	0,9	73,4	0,4	179,8	0,3
	160	2•X1	3	26,6	0,5	45,0	0,3	17,9	0,5	24,1	0,9	25,8	0,8	44,1	0,5	72,4	0,3	183,5	0,2
	130	2•X1	3	31,9	0,4	53,5	0,3	18,9	0,5	27,9	0,7	29,3	0,7	49,4	0,5	77,2	0,3	210,9	0,2
	130	1•X1	4	32,1	0,5	53,8	0,4	19,0	0,8	27,9	1,2	29,3	1,2	49,4	0,9	77,6	0,4	211,5	0,3
	100	2•X1	3	40,6	0,4	69,0	0,3	23,3	0,3	36,1	0,6	37,8	0,6	64,0	0,4	97,7	0,3	270,8	0,2
3	220	2•X1	2	27,4	0,8	50,9	0,4	23,3	0,6	30,3	0,8	33,9	0,8	57,4	0,5	94,9	0,4	223,2	0,3
	190	2•X1	2	27,6	0,7	51,1	0,4	23,3	0,6	30,3	0,8	33,9	0,8	57,4	0,5	94,9	0,4	223,6	0,3
	190	1•X1	4	28,3	0,7	53,1	0,4	23,6	0,7	30,7	1,1	34,3	1,0	57,9	0,7	95,9	0,4	227,9	0,3
	160	2•X1	3	28,5	0,4	52,0	0,3	23,3	0,5	30,3	0,7	33,9	0,7	57,4	0,4	94,9	0,3	225,4	0,2
	130	2•X1	3	32,1	0,4	56,1	0,3	23,4	0,5	30,7	0,7	34,1	0,6	57,8	0,4	95,3	0,3	234,2	0,2
	130	1•X1	4	32,2	0,5	56,5	0,4	23,6	0,7	31,0	1,1	34,4	1,0	58,0	0,7	96,1	0,4	235,7	0,3
	100	2•X1	3	40,6	0,4	69,1	0,3	24,4	0,5	36,1	0,6	38,0	0,5	64,5	0,4	100,5	0,3	272,7	0,2

1) Dragkraftkurva, nr

2) Start- och stopptillägg, min

Gångtider Långsele - Boden - Luleå

Motorvagnståg, 4 vagnar, 91 m, 250 passagerare, bruttovikt 150 ton

Φ	Sth km/h	Drag- kraft	1)	Lsl-Msl 91.050 km		Msl-Vns 120.255 km		Vns-Bst 111.252 km		Bst-Åy 129.693 km		Åy-Bdn 46.389 km		Bdn-Le 35.619 km		Cst-(Åg)-Bdn 1108.244 km direkttåg		Cst-(Suo)-Bdn 1095.062 km direkttåg	
				Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	3)
15	220	2•X1	2	39,7	0,7	50,7	0,8	41,8	1,3	47,3	0,9	16,8	1,0	11,5	1,3	404,8	0,6	416,6	9,9
	190	2•X1	2	39,7	0,7	50,7	0,8	41,8	1,2	47,7	0,9	17,2	1,0	11,9	1,2	414,8	0,6	425,8	9,8
	190	1•X1	4	40,5	0,8	52,4	1,1	43,1	1,6	49,6	1,3	17,6	1,3	12,2	1,9	427,8	0,6	438,7	12,9
	160	2•X1	3	39,7	0,6	51,4	0,7	43,4	0,9	50,2	0,8	18,4	0,8	13,5	0,9	440,1	0,5	445,3	7,9
	130	2•X1	3	43,2	0,5	55,9	0,7	51,2	0,7	59,9	0,7	21,4	0,7	16,4	0,7	517,1	0,4	511,5	7,0
	130	1•X1	4	43,3	0,7	56,0	1,1	51,2	1,1	60,0	1,1	21,4	1,2	16,4	1,1	518,3	0,5	512,8	10,9
	100	2•X1	3	54,9	0,5	71,7	0,6	66,7	0,6	77,8	0,3	27,9	0,6	21,4	0,6	667,4	0,4	658,7	5,8
9	220	2•X1	2	45,9	0,6	59,7	0,7	49,3	1,1	55,3	0,8	19,1	0,8	13,6	1,0	473,1	0,5	486,0	8,5
	190	2•X1	2	45,9	0,6	59,7	0,7	49,3	1,1	55,5	0,8	19,2	0,8	13,7	1,0	475,9	0,5	488,8	8,5
	190	1•X1	4	46,3	0,7	61,1	0,8	50,5	1,4	57,1	1,0	19,9	1,1	14,4	1,4	488,1	0,5	501,4	10,6
	160	2•X1	3	45,9	0,5	59,8	0,6	49,5	0,9	56,2	0,7	19,9	0,7	14,4	0,8	487,2	0,4	499,0	7,0
	130	2•X1	3	46,5	0,5	61,1	0,6	52,2	0,7	60,8	0,6	22,0	0,7	16,6	0,7	530,7	0,4	533,9	6,5
	130	1•X1	4	46,8	0,7	61,6	0,9	52,4	1,1	60,9	0,9	22,2	1,1	16,6	1,1	533,0	0,5	536,9	10,0
	100	2•X1	3	55,0	0,5	71,9	0,6	66,7	0,6	77,8	0,6	27,9	0,6	21,4	0,0	667,8	0,4	659,6	6,2
3	220	2•X1	2	60,4	0,5	78,6	0,6	66,7	0,9	74,3	0,7	25,8	0,6	18,8	0,8	623,9	0,4	640,3	7,3
	190	2•X1	2	60,4	0,5	78,6	0,6	66,7	0,9	74,3	0,7	25,8	0,6	18,8	0,8	624,3	0,4	640,7	7,1
	190	1•X1	4	60,8	0,6	78,9	0,7	67,2	1,1	75,5	0,8	26,2	0,8	19,5	1,1	632,5	0,4	648,9	9,4
	160	2•X1	3	60,2	0,4	78,5	0,5	66,8	0,7	74,7	0,6	25,8	0,5	19,1	0,7	626,3	0,3	642,4	5,8
	130	2•X1	3	60,2	0,4	78,6	0,5	67,2	0,7	75,5	0,6	26,4	0,5	19,9	0,6	637,4	0,3	653,3	5,7
	130	1•X1	4	60,8	0,6	78,9	0,7	67,4	1,0	76,1	0,8	26,7	0,8	20,1	1,0	641,7	0,4	658,0	8,7
	100	2•X1	3	60,9	0,4	79,9	0,5	69,4	0,6	80,5	0,6	29,0	0,5	22,2	0,5	692,9	0,3	699,3	5,5

- 1) Dragkraftkurva, nr
2) Start- och stopptillägg, min
3) 12 st start- och stopptillägg, min

Gångtider Sundsvall - Östersund, Stockholm - Östersund, Stockholm - Umeå

Motorvagnståg, 4 vagnar, 91 m, 250 passagerare, bruttovikt 150 ton

Bil 2:30
Tabell 18

Φ	Sth km/h	Drag kraft	1)	Suc-Åg 94.507 km		Åg-Ös 101.676 km		Suc-Ös 196.183 km direkttag		Cst-Suc-Ös 609.406 km direkttag		Cst-Åg-Ös 549.815 km direkttag		Vns-Uå 30.960 km		Cst-Åg-Uå 690.404 km direkttag		Cst-Suc-Uå 655.488 km direkttag	
				Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)	Gång- tid min	2)
15	220	2•X1	2	38,3	1,0	36,9	1,1	75,2	1,1	219,7	0,7	187,3	0,7	13,3	0,6	253,9	0,6	327,0	0,6
	190	"	2	38,4	1,0	37,2	1,1	75,6	1,1	225,4	0,7	193,6	0,7	13,3	0,6	260,0	0,6	332,4	0,6
	190	1•X1	4	39,9	1,3	38,4	1,6	78,3	1,4	232,2	0,7	200,0	0,7	13,9	0,6	267,9	0,6	342,3	0,6
	160	2•X1	3	39,8	0,8	39,5	0,9	79,3	0,8	241,7	0,5	212,6	0,5	13,6	0,5	277,8	0,5	346,9	0,5
	130	"	3	45,1	0,7	47,0	0,7	92,1	0,7	285,3	0,4	256,8	0,4	15,2	0,4	324,1	0,4	394,2	0,4
	130	1•X1	4	45,3	1,1	47,0	1,2	92,3	1,1	286,2	0,5	257,4	0,5	15,4	0,5	325,1	0,5	395,6	0,5
	100	2•X1	3	56,9	0,6	61,0	0,6	117,9	0,6	367,5	0,4	331,7	0,4	19,3	0,4	416,6	0,4	505,6	0,4
9	220	2•X1	2	44,6	0,8	43,3	0,9	87,9	0,9	252,0	0,6	215,1	0,6	15,3	0,5	292,6	0,5	377,6	0,5
	190	"	2	44,6	0,8	43,4	0,9	88,0	0,9	254,6	0,6	217,7	0,6	15,3	0,5	295,1	0,5	380,1	0,5
	190	1•X1	4	45,8	1,1	44,4	1,2	90,2	1,2	262,0	0,6	224,6	0,6	15,9	0,5	303,1	0,5	389,8	0,5
	160	2•X1	3	44,9	0,6	44,0	0,8	88,9	0,7	264,0	0,5	227,6	0,5	15,5	0,4	304,7	0,4	388,9	0,4
	130	"	3	47,4	0,6	48,3	0,7	95,7	0,6	291,6	0,4	259,2	0,4	16,2	0,4	334,7	0,4	415,1	0,4
	130	1•X1	4	47,8	1,0	48,4	1,1	96,2	1,0	292,9	0,5	259,9	0,5	16,4	0,5	336,3	0,5	417,8	0,5
	100	2•X1	3	57,4	0,5	61,0	0,6	118,4	0,6	368,2	0,4	331,8	0,4	19,3	0,4	417,0	0,4	506,5	0,4
3	220	2•X1	2	59,2	0,6	56,5	0,7	115,7	0,6	327,9	0,5	279,7	0,5	19,6	0,4	381,8	0,4	493,1	0,4
	190	"	2	59,2	0,6	56,5	0,7	115,7	0,6	328,3	0,5	280,1	0,5	19,6	0,4	382,2	0,4	493,5	0,4
	190	1•X1	4	59,8	0,8	57,1	0,9	116,9	0,8	333,4	0,5	285,1	0,5	20,1	0,4	387,7	0,4	500,0	0,4
	160	2•X1	3	59,1	0,5	56,5	0,6	115,6	0,5	330,0	0,4	282,0	0,4	19,7	0,4	383,8	0,4	494,9	0,4
	130	"	3	59,2	0,5	57,0	0,6	116,2	0,5	339,1	0,4	291,2	0,4	20,1	0,4	393,1	0,4	504,3	0,4
	130	1•X1	4	59,9	0,8	57,4	0,9	117,3	0,8	341,6	0,5	293,3	0,5	20,3	0,4	395,7	0,4	508,1	0,4
	100	2•X1	3	62,0	0,5	62,5	0,6	124,5	0,5	378,5	0,4	335,2	0,4	21,1	0,3	434,6	0,3	541,5	0,3

1) Dragkraftskurva, nr

2) Start- och stopptillägg, min

Gångtider m m Stockholm - Luleå över Sundsvall

Motorvagnståg, 4 vagnar, 91 m, 250 passagerare, bruttovikt 150 ton,
dragkraft 2•X1, dragkraftskurva 2, vagnslutning 12°

S t r ä c k a	Banlängd km	2) 100 km/h		2) 130 km/h		2) 160 km/h		2) 190 km/h		2) 220 km/h	
		Gångtid min 1)	Medel- hast	Gångtid min 1)	Medel- hast	Gångtid min 1)	Medel- hast	Gångtid min 1)	Medel- hast	Gångtid min 1)	Medel- hast
Cst - U	65.880	41,0	96	32,3	122	27,0	146	23,6	157	21,1	187
U - Gä	114.324	69,3	99	53,7	129	44,2	156	38,9	177	36,4	190
Gä - Shm	83.478	50,6	99	39,3	127	33,0	152	30,7	163	30,4	165
Shm - Hkl	61.717	37,6	98	29,3	126	25,3	146	24,9	149	24,9	149
Hkl - Suc	87.824	53,4	99	41,3	128	35,9	147	35,5	148	35,5	148
Suc - Hsd	67.380	41,0	99	32,2	126	30,5	133	30,4	133	30,4	133
Hsd - Lsl	115.820	70,0	99	55,6	125	50,4	138	49,9	139	49,8	140
Lsl - Msl	91.050	55,4	99	43,7	125	40,3	136	40,4	135	40,4	135
Msl - Vns	120.255	72,3	100	56,6	127	52,1	138	51,5	140	51,5	140
Vns - Bst	111.252	67,3	99	51,9	129	44,3	151	43,0	155	43,1	155
Bst - Äy	129.693	78,1	100	60,6	128	51,0	153	48,6	160	48,2	161
Äy - Bdn	46.389	28,5	98	22,1	126	19,2	145	18,2	153	17,8	156
Bdn - Le	35.619	22,0	97	17,1	125	14,4	148	13,1	163	12,8	167
<u>Direktståg</u>											
Cst - Suc	413.223	250,0	99	193,7	128	162,9	152	150,6	165	145,3	171
Cst - Suc - Le	1130.681	686,5	99	535,6	127	467,6	145	448,7	151	439,3	154

- 1) inkl start- och stopptillägg
2) sth km/h

Gångtider m m Stockholm - Luleå över Ånge

Motorvagnståg, 4 vagnar, 91 m, 250 passagerare, bruttovikt 150 ton,
dragkraft 2*X1, dragkraftskurva 2, vagnslutning 12°

S t r ä c k a	Banlängd km	2) 100 km/h		2) 130 km/h		2) 160 km/h		2) 190 km/h		2) 220 km/h	
		Gångtid min 1)	Medel- hast	Gångtid min 1)	Medel- hast	Gångtid min 1)	Medel- hast	Gångtid min 1)	Medel- hast	Gångtid min 1)	Medel- hast
Cst - U	65.880	41,0	96	32,3	122	27,0	146	23,6	157	21,1	187
U - Gä	114.324	69,3	99	53,7	129	44,2	156	38,9	177	36,4	190
Gä - Ob	38.401	23,7	97	18,8	123	16,4	141	16,0	144	16,0	144
Ob - Bn	60.295	36,7	99	28,6	127	23,5	154	21,8	166	21,5	168
Bn - Ls	63.012	38,4	99	29,9	126	24,7	153	22,9	165	22,8	166
Ls - Åg	106.227	64,8	98	49,7	128	41,1	155	38,3	166	37,7	169
Åg - Lsl	161.466	98,0	99	76,0	128	64,2	151	61,8	157	61,7	157
Lsl - Msl	91.050	55,4	99	43,7	125	40,3	136	40,4	135	40,4	135
Ms1 - Vns	120.255	72,3	100	56,6	127	52,1	138	51,5	140	51,5	140
Vns - Bst	111.252	67,3	99	51,9	129	44,3	151	43,0	155	43,1	155
Bst - Äy	129.693	78,1	100	60,6	128	51,0	153	48,6	160	48,2	161
Äy - Bdn	46.389	28,5	98	22,1	126	19,2	145	18,2	153	17,8	156
Bdn - Le	35.619	22,0	97	17,1	125	14,4	148	13,1	163	12,8	167
<u>Direktståg</u>											
Cst - Åg	448.139	270,9	99	210,0	128	173,3	155	156,6	172	150,5	179
Cst - Åg - Le	1143.863	689,8	100	534,6	128	455,0	151	428,5	160	418,2	164

1) inkl start- och stopptillägg

2) sth km/h

Gångtider för avancerat motorvagnståg för max 220 km/h (vagnslutning 12°) jämfört med dagens loktåg.

Sträcka Stockholm - Luleå.

Sträcka	Banlängd km		Motorvagnståg för max 220 km/h				Loktåg tdt 168	
			Gångtid ¹⁾ tim:min		Gångtid inkl 4 % gångtidstillägg		Restid ²⁾ tim:min	
	Mellan resp station	Akkumul från Cst	Mellan resp station	Akkumul från Cst	Mellan resp station	Akkumul från Cst	Mellan resp station	Akkumul från Cst
Cst-U	66	66	0:21	0:21	0:22	0:22	0:53	0:53
U-Gä	114	180	0:36	0:57	0:38	1:00	1:14	2:07
Gä-Shm	84	264	0:31	1:28	0:32	1:32	0:57	3:04
Shm-Hkl	61	325	0:25	1:53	0:26	1:58	0:44	3:48
Hkl-Suc	88	413	0:36	2:29	0:37	2:35	1:05	4:53
Suc-Hsd	68	481	0:30	2:59	0:31	3:06	0:59	5:52
Hsd-Lsl	115	596	0:50	3:49	0:52	3:58	1:51	7:43
Lsl-Msl	91	687	0:40	4:29	0:42	4:40	1:13	8:56
Msl-Vns	120	807	0:52	5:21	0:54	5:34	1:35	10:31
Vns-Bst	111	918	0:43	6:04	0:45	6:19	1:31	12:02
Bst-Äy	130	1048	0:48	6:52	0:50	7:09	1:44	13:46
Äy-Bdn	46	1094	0:18	7:10	0:19	7:28	0:38	14:24
Bdn-Le	36	1130	0:13	7:23	0:13	7:41	0:31	14:55
<u>Direkttåg</u>								
Cst-Gä	180		0:56		0:59		2:07	
Cst-Suc	413		2:25		2:31		4:53	
Cst-Uå	838		5:28		5:41		11:02	
Cst-Le	1130		7:13		7:31		14:55	

1) Gångtider med start- och stopptillägg

2) Tidtabellstider med uppehållen frändragna

Den totala restiden erhålles genom att tiden för resandeutbyte tillägges.

Gångtider för avancerat motorvagnståg för max 160 km/h
(vagnslutning 12°) jämfört med dagens loktåg.
Sträcka Stockholm - Luleå.

Sträcka	Banlängd km		Motorvagnståg för max 160 km/h				Loktåg tåt 168	
			Gångtid ¹⁾ tim:min		Gångtid inkl 4 % gångtidstillägg		Restid ²⁾ tim:min	
	Mellan resp station	Akkumul från Cst	Mellan resp station	Akkumul från Cst	Mellan resp station	Akkumul från Cst	Mellan resp station	Akkumul från Cst
Cst-U	66	66	0:27	0:27	0:28	0:28	0:53	0:53
U-Gä	114	180	0:44	1:11	0:46	1:14	1:14	2:07
Gä-Shm	84	264	0:33	1:44	0:34	1:48	0:57	3:04
Shm-Hkl	61	325	0:25	2:09	0:26	2:14	0:44	3:48
Hkl-Suc	88	413	0:36	2:45	0:37	2:51	1:05	4:53
Suc-Hsd	68	481	0:31	3:16	0:32	3:23	0:59	5:52
Hsd-Lsl	115	596	0:51	4:07	0:53	4:16	1:51	7:43
Lsl-Msl	91	687	0:40	2:47	0:42	4:58	1:13	8:56
Msl-Vns	120	807	0:52	5:39	0:54	5:52	1:35	10:31
Vns-Bst	111	918	0:44	6:23	0:46	6:38	1:31	12:02
Bst-Äy	130	1048	0:51	7:14	0:53	7:31	1:44	13:46
Äy-Bdn	46	1094	0:19	7:33	0:20	7:51	0:38	14:24
Bdn-Le	36	1130	0:14	7:47	0:15	8:06	0:31	14:55
<u>Direktståg</u>								
Cst-Gä	180		1:11		1:14		2:07	
Cst-Suc	413		2:43		2:50		4:53	
Cst-Uå	838		5:47		6:01		11:02	
Cst-Le	1130		7:40		7:58		14:55	

1) Gångtider med start- och stopptillägg

2) Tidtabellstider med uppehållen frändragna

Den totala restiden erhålles genom att tiden för resande-
utbyte tilläggas.

BILAGA 3

GÅNGMOTSTÅND FÖR SNABBTÅG

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	
PRELIMINÄR UTREDNING	3:2
FÖRUTSÄTTNING	3:2
GÅNGMOTSTÅND	3:2
RULLMOTSTÅND	3:2
LUFTMOTSTÅND	3:3
TOTALMOTSTÅND	3:5
REKOMMENDATION	3:5
REFERENSER	3:6
FIGUR	3:6

GÅNGMOTSTÅND FÖR SNABBTÅG

av B. Koch SAAB

Preliminär utredning

Med hänsyn till behovet av tillförlitliga formler för beräkning av totala gångmotståndet hos snabbgående tåg har viss begränsad litteraturgenomgång utförts och funna uttryck för beräkningen av gångmotstånd studerats. En bedömning av tillämpbarheten hos formlerna har gjorts, och till slut göres en sammanställning av (tillsvidare) rekommenderade formler.

Förutsättning

Ett väl strömlinjeformat tåg utan strömvtagare förutsättes. Axeltrycket antas ≤ 10 ton. Samma typ av axlar med liten lagerfriktion antas i hela tåget inklusive motorvagnar. Traktionssystemen antas inkludera eventuell växel till drivaxlar, vars motstånd därför ej inräknas i gångmotståndet (den påverkar istället traktionssystemets verkningsgrad).

Ett tågs totala traktionseffektbehov härrör från
gångmotstånd på horisontell (rak eller krökt) bana
stigningsmotstånd
accelerationsmotstånd

Här kommer endast gångmotstånd på horisontell bana att beaktas.

Gångmotstånd

Den rullande materielens gångmotstånd sammansättes av
rullmotstånd och
luftmotstånd

Rullmotstånd

Rak horisontell bana

Rullmotståndet sammansättes av lagerfriktioner, rullningsmotstånd och flänsfriktion. Någon på detta stadium praktiskt användbar analys av de olika motståndsdelarnas beroende av lagertyp, temperatur, lagertryck, hjultryck, flänskontakt, tågastighet och luftinpumpning mellan hjul och räls har ej återfunnits i litteraturen.

Följande uttryck är tillämpliga för motorvagnståg där $F_{Rr} [\text{kp}]$ = rullmotstånd, $V [\text{km/h}]$ = tåghastighet, $Q [\text{ton}]$ = tågvikt och n = antal axlar

$$\begin{aligned} \text{Davis}^1): \quad F_{Rr} &= \left[29 n + \left(1,3 + \frac{0,45 V}{10 \cdot 1,61} \right) \frac{Q}{0,907} \right] 0,453 \\ &= 13,1 n + (0,65 + 0,014 V) Q \end{aligned}$$

$$\text{NTL:} \quad F_{Rr} = (1,2 + 0,022 V) Q$$

$$\text{Sauthoff:} \quad F_{Rr} = (1,9 + 0,007^*) V) Q$$

*) 2-axlig vagn

$$\text{Frank:} \quad F_r = \left[2,5 + 1,42 \cdot \left(\frac{V}{100} \right)^2 \right] Q$$

Krökt bana

$$\text{Koranyi:} \quad F_{Rk} = \frac{4584 \cdot 0,305 \cdot 0,453}{R} Q = \frac{633}{R} Q$$

$$\text{SJ: Ma} \quad F_{Rk} = \frac{650}{R-55} Q \quad R [\text{m}]$$

Luftmotstånd

Luftmotståndet kan för ett tåg sättas proportionellt mot V^2 för den övre delen av aktuellt Reynolds-talsområde, där luftmotståndet är av betydelse. Det allmänna uttrycket för luftmotståndet lyder

$$F_L = \rho \frac{V^2}{2} A C_D$$

$$\begin{aligned} \text{med} \quad \rho &= 1,25 \text{ kg/m}^3 \\ V &[\text{km/h}] \\ A &[\text{ref area i m}^2] \\ F_L &[\text{kp}] \end{aligned}$$

erhålles

$$F_L = \frac{1,25}{2 \cdot 9,81} \frac{V^2}{3,6^2} A C_D = \frac{V^2}{204} A C_D$$

$$\approx 0,5 A C_D \left(\frac{V}{10} \right)^2 = 50 A C_D \left(\frac{V}{100} \right)^2$$

Som referensarean A tages i allmänhet tågets frontarea ($\sim 10 \text{ m}^2$)

Värdet av motståndskoefficienten C_D beror av tågets strömlinjeform (inklusive utformning av hjulsatser) och längd.

1) Se referensförteckning

Bilaga 3:4

Luftmotståndet sammansättes av friktionsmotstånd och tryckmotstånd. Friktionsmotståndet uppstår vid luftens strömning utefter tågets stora yttre ytor. Tryckmotståndet uppträder som en tryckförlust i avlösningsområden nedströms omströmmade hinder såsom hjulställsdelar, mellanrum mellan vagnar, fönsterramar, ventilatorer och efter sista vagnen. För ett tåg av viss typ med två eller flera vagnar torde det totala motståndet kunna skrivas på följande sätt

$$C_D = C_{D_F} + n \left(C_{D_P} + l C'_{D_M} \right) + C_{D_S}$$

där

C_{D_F} och C_{D_S} är motståndskoefficienten för första resp sista (motor)-vagnen i närvaro av efterföljande respektive framförvarande vagn(ar)

n = antalet vagnar mellan första och sista

l = längden av en mellanvagn

C_{D_P} = tryckmotståndet hos övergång mellan två vagnar

C'_{D_M} = motståndskoefficient/m av mellanvagn

För strömlinjeformat tåg torde kunna sättas

$$C_{D_F} + C_{D_S} = 0,40$$

$$C_{D_P} = 0,02$$

För C'_{D_M} härledes följande värde ur det rimliga värdet för vagnytans friktionskoefficient $C_f = 0,0030$. Med hänsyn till använda referensytor gäller

$$C'_{D_M} l = C_f \frac{2(b+h)l}{b \cdot h}$$

där b = bredd, h = höjd och l = längd av vagn med $b = h = 3$ m

$$C'_{D_M} = C_f \cdot 1,33 \text{ eller } C'_{D_M} = 0,0040$$

Således bör som ett genomsnitt för ett strömlinjeformat tåg C_D få följande värde

$$C_D = 0,40 + n(0,02 + 1 \cdot 0,0040) \quad (1)$$

För NTL användes uttrycket

$$C_D = 0,2 + L \cdot 0,0040 \quad (2)$$

där L = tågets totala längd

Koranyi anger för låg (l) mellan (m) och hög (h) grad av strömlinjeform

$$C_{D_l} = 0,46 + n \cdot 0,104 \quad C_{D_m} = 0,31 + n \cdot 0,092$$

och $C_{D_h} = 0,195 + n \cdot 0,085$ där n = antalet vagnar

För APT-projektet bestående av totalt 8 vagnar och längden 152 m har ur RWG June 7 1968 erhållits

$$C_D \approx 0,99$$

Med (1) erhålles

$$C_D = 0,40 + 6 (0,02 + 20 \cdot 0,0040) = 1,00$$

Med (2) erhålles

$$C_D = 0,2 + 152 \cdot 0,0040 = 0,81$$

Totalmotstånd

Summan av rull- och luftmotstånd ger det totala gångmotståndet.

Giovanardi har angivit ett sammanfattande uttryck för hela gångmotståndet:

$$F_T = \left[2,2 + 3 \left(\frac{V}{100} \right)^2 \right] Q_S$$

Rekommendation

I diagram på nästa sida har de studerade formelsambanden återgivits grafiskt.

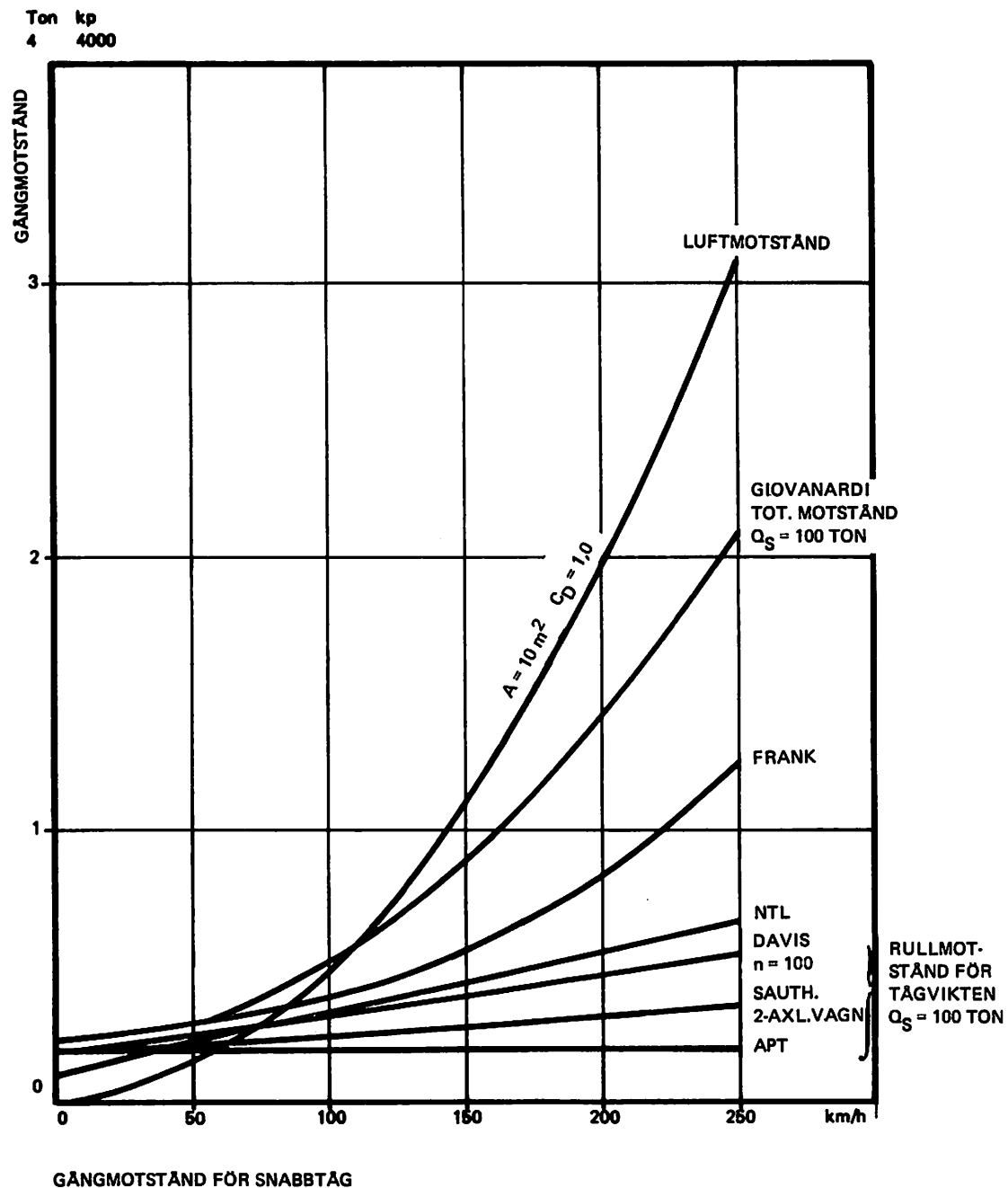
Giovanardis formel måste förkastas, då den tydligen är en erfarenhetsmässig sammanfattning av vissa tågtyper och inte tillåter de detaljerade beräkningar, som önskas vid jämförelse av olika snabbtågsprojekt.

Av rullmotståndssambanden torde sanningen ligga mellan det av NTL och APT använda och Sauthoffs för 2-axliga vagnar rekommenderas. Franks uttryck måste således förkastas.

För luftmotståndsberäkningar rekommenderas formel (1) på sid 3:4 med angivna värden på ingående konstanter, till dess säkrare värden kan erhållas.

Referenser

1. Davis: Energy requirements high-speed trains RWG July 1 1966
2. NTL: Aerodynamic dray of trains JNR. RTR1 Quarterly rep 4 (1968) 8
3. Sauthoff: Beräkning av tågmotstånd. SJ: Ma
4. Frank: Datamaskinprogram för banberäkning av gångtider för tåg. SJ: Ma reg nr 19
5. Koranyi: Se 1
6. Giovanardi: High-Speed Symposium, Wien 1968



BILAGA 4

LUFTMOTSTÅNDETS NEGATIVA OCH POSITIVA INVERKAN PÅ SNABBGÅENDE TÅG

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANDRAG	4:2
0 ALLMÄNT	4:3
1 LUFTMOTSTÅNDETS KARAKTÄR	4:3
2 FRIKTIONSMOTSTÅND	4:4
3 FORMMOTSTÅND	4:5
4 YTOJÄMNHETSMOTSTÅND	4:6
5 KYL- OCH VENTILATIONSMOTSTÅND	4:7
6 MÖJLIGHETEN ATT ANVÄNDA LUFTBROMSAR PÅ SNABBGÅENDE TÅG	4:7
7 RIMLIG AERODYNAMISK MÅLSÄTTNING FÖR SNABB- GÅENDE TÅG SAMT FÖRSLAG TILL VIDARE UTVECK- LINGSARBETE	4:7
REFERENSER	4:9
FIGURER	4:10-18

LUFTMOTSTÅNDETS NEGATIVA OCH POSITIVA INVERKAN
PÅ SNABBGAENDE TÅG

av A. Hasselrot och Y. Sedin SAAB

SAMMANDRAG:

Avsikten med denna rapport är i huvudsak att ge en uppfattning om luftmotståndets betydelse för gångmotståndet hos snabbgående tåg samt att ge rimliga storleksordningar på bromseffekter vid eventuell tillämpning av luftbromsar på tåg.

Om tåg av nuvarande aerodynamisk standard skall drivas i hastigheter på 200-250 km/h åtgår för enbart luftmotståndets övervinnande en effekt av ca 4-5 000 hp. Med en lämplig aerodynamisk målsättning innefattande olika aerodynamiska förbättringar bör luftmotståndets effektförbrukning kunna minskas till ca hälften d v s 2-2 500 hp.

Luftbromsar visar sig vara mycket effektfulla i fartområdet 150-250 km/h, där de totala luftmotståndet inklusive luftbromsar kan svara för ca 25-50 % av den erforderliga bromseffekten för ett 160 ton tåg vid 0,1 g retardation.

Det vidare utvecklingsarbete, som kan rekommenderas, är bl a vindtunnelundersökningar på tåg rörande detaljer som frontutformning, inklädnad av underrede, eliminering av vagnspel, interferenseffekter mellan markplan, underrede och hjul. Beträffande luftbromsar så måste ett grundläggande vindtunnelarbete utföras, då detta är helt nytt för tågtillämpningar.

0 ALLMÄNT

På grund av den korta tid som har stått till buds samt avsaknaden av ett konkret projekt har syftet med denna rapport inskränkts till storleksuppskattningar på totala luftmotståndet för tåg och att med denna information föreslå fortsatt utvecklingsarbete. Det har även ansetts vara på sin plats att informera om luftmotståndets fysikaliska karaktär och uppdelning på olika komponenter. Vidare har vissa storleksuppskattningar på möjliga uppnåeliga bromseffekter med luftbromsar utförts.

Beträffande en del sifferexempel som är hämtade ur tåglitteraturen så bör dessa tagas med en viss reservation, då det i flera fall har varit svårt att kontrollera tillförlitligheten i data. I några fall har egna beräkningar utförts.

Av de valda sifferexemplen kan det tyckas att motståndseffekten av exempelvis smärre ytojämnheter är ganska ringa. Man bör emellertid hålla i minnet att några sådana småposter ganska snart summerar sig till större, varvid deras inverkan på den skadliga effekten blir starkt märkbar, då denna ökar med kuben på hastigheten.

Förutsättningarna för tåget i de egna beräkningarna har genomgående varit:

2 lok, 4 vagnar (utan strömvtagare)

Längd per lok eller vagn 20 m

Nominell max frontarea 10 m^2

Vikt 160 ton

Hastighetsregister 0-250 km/h

Luftmotståndskoefficient $C_D = 0,8$

Luftmotståndskoefficient med luftbromsar $C_D = 3,0$

1 LUFTMOTSTÅNDETS KARAKTÄR

Luftmotståndet kan uppdelas enligt följande:

- a) Friktionsmotstånd
- b) Formmotstånd
- c) Ytojämnhetsmotstånd
- d) Kyl- och ventilationsmotstånd

Dessa bidrag diskuteras närmare under motsvarande rubriker.

Bilaga 4:4

Såväl totalmotståndet som dess delbidrag varierar kvadratisk med hastigheten. Detta gör det möjligt att uttrycka motståndet i dimensionslös form enligt nedan:

$$C_D = \frac{D}{qA} \text{ (motståndskoefficient)}$$

$$q = 1/2 \rho \cdot V^2$$

med D = luftmotstånd N

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

V = hastighet m/s

$$q = \text{dynamiskt tryck } \text{N/m}^2$$

A = referensarea (t ex frontarean) m^2

Effekten för att övervinna luftmotståndet erhålles ur: $P = D \cdot V \approx V^3$.

Experimentellt kan man mäta luftmotståndet på två sätt, nämligen vindtunnel- och fullskaleprov. Det förstnämnda provsättet ger möjlighet att enkelt prova olika tågkonfigurationer. Problem uppstår dock när mätvärden överföres till full-skala, vilket beror på skillnad hos Reynolds tal, Re . Detta, som är dimensionslöst, definieras som:

$$Re = \frac{V \cdot l}{\nu}$$

V = hastighet m/s

l = tåglängd m

ν = kinematisk viskositet m^2/s

Detta problem upphör vid fullskaleprov, men istället tillkommer svårigheter att särskilja luftmotståndet från annat gångmotstånd, t ex rullmotståndet.

Innan motståndsbidragen diskuteras kan det vara av intresse att veta det ungefärliga totala luftmotståndet i det valda tågexemplet. Enl ref 1 erhålles med formel 1: $C_D = 0,8$. Luftmotstånd och erforderlig effekt för detta tåg finns uppritade på diagramblad 8 och 9. Ett tåg med dagens konventionella aerodynamiska utformning torde ligga i klassen $C_D \sim 1,5-2,0$, varför det valda tågexemplet får betraktas som aerodynamiskt väl utformat.

2 FRIKTIONSMOTSTÅND (IDEALA LUFTMOTSTÅNDET)

Friktionsmotstånd är det motstånd, som uppstår vid luftströmning parallellt med en yta, d v s i det aktuella fallet tågets sidor och tak. Friktionen skapar ett gränsskikt, d v s ett område där hastigheten växer från värdet noll vid ytan till friströms-hastigheten ett stycke från ytan. Gränsskiktet ökar i tjocklek i nedströmsriktningen, vilket innebär att det lokala friktionsmotståndet minskar i denna riktning. Friktionsmotståndet inklusive gränsskik-

tets inverkan på detsamma kan korreleras med Reynolds tal. Härav framgår problemet att överföra vindtunneldata till fullskala (se föregående punkt). Gränsskiktet har stor betydelse för uppskattning av motstånd hos ojämnheter i ytan.

Motståndskoefficienten p_g a friktion för tågexemplet kan lätt uppskattas. Betrakta då tåget som en stav med kvadratisk tvärsnitt, där ändarnas inverkan försummas och lufthastigheten på tågets undersida antages vara $\sim 10\%$ större än friströmshastigheten. Vid 250 km/h blir denna koefficient 0,27. Detta värde är det ideala luftmotståndet, ifall alla ytojämnheter, vagnspel etc eliminerades och front- och aktermotståndet reducerades till noll.

Korrugering av lok och vagnsidor medför en ökning av den luftbestruckna ytan och följaktligen även friktionsmotståndet. En vagn med 32 längsgående korrugeringar av höjden 15 mm och bredden 60 mm gav vid mätning enl ref 2 en motståndsökning på 12,3 kp vid 125 mile/h. Omräknat till 250 km/h innebär det 19 kp. Erforderlig effekttökning blir då 17,7 hk/vagn.

3 FORMMOTSTÅND

Tvåra formändringar i kombination med stora hastigheter orsakar virvlar och avlösta områden, vilket innebär ökning av motståndet. På dagens tåg råder sådana områden huvudsakligen vid front, akter, vagnspel, underrede och strömvatagare.

Frontmotståndet beror endast på nosformen medan aktermotståndet också beror på tåglängden, vilket kan förklaras av variation hos gränsskiktstjockleken. Turbulensen i aktern medför att motståndet ej blir så beroende av formen i detta parti. Skall två lok användas i ett tåg, så bör formen i första hand bestämmas med hänsyn till frontmotståndet. Vid rimlig strömlinjeform kan C_D för fronten, baserad på frontarean, nedbringas till 0,21 enl ref.3. Luftmotståndet torde vara något lägre för aktern än för fronten. Tvärt avhuggen front ger ett värde på ca 0,64.

Vagnspelets inverkan på motståndet visas i diagram 1, som är hämtat ur ref 2. Motståndsökningen blir om $b = t = 1$ m 33 kp. Omräknat till 250 km/h är den 51 kp. Effektbehovet per vagn blir 48 hk.

Beträffande vagnspelets effekt vid sidvind så ökar motståndet starkt med ökad snedanblåsning. Minskas spelet till noll blir motståndet nästan oberoende av sidanblåsning, se ref 4. Detta sker till priset av ökad sidkraft.

Vindtunnelprov på vagnar med och utan otäckta hjulboggier har visat en motståndsskillnad på 131 kp vid 125 miles/h. Noggrann utformning av ett ej heltäckt underrede inklusive hjulboggier skulle kunna reducera denna motståndsskillnad med 60 kp. Detta enl ref 2. Omräknat till 250 km/h blir redueringen 93 kp och motsvarande effektvinst 87 hk per vagn.

4 YTOJÄMNHETSMOTSTÅND

Som hjälp vid bedömning av motstånd hos ytojämnheter, såsom diverse skarvar, nitar och ventilationsanordningar och andra utstickande detaljer, presenteras några två- och tredimensionella profilformer och deras motståndskoefficienter, diagram 2, 3 och 4 resp 5. Dessa värden gäller för ett effektivt dynamiskt tryck, q_{eff} , som är en funktion av gränsskiktstjockleken, δ , och ojämnhetens höjd, h . Diagram 6 visar gränsskiktstjockleken för en jämn yta versus läget från framkanten. Med hjälp av h/δ erhålles q_{eff}/q ur diagram 7, där q är dynamiskt tryck i friströmmen.

Exempel:

Fönsterskarvar:

Profil 1 på diagramblad 2 ger $C_D = 0,70$. Antag 20 fönster per vagn för tågexemplet, fönsterhöjden 0,8 m och fönsterdjupet 1 cm. Den sammanlagda fönsterhöjden är då ca 100 m. För hela tåget gäller per 100 m skarv:

$$\frac{q_{eff}}{q} \text{ (medel)} = 0,25$$

$$q_{eff} = 0,25 \cdot \frac{1}{2} V^2 = 765 \text{ N/m}^2$$

$$A = 100 \cdot 0,01 + 1 \text{ m}^2$$

$$D = q_{eff} \cdot A \cdot C_D = 534 \text{ N} = 54,5 \text{ kp}$$

$$P = D \cdot V = 37\,400 = 51 \text{ hk (effektbehovet)}$$

Nitar:

För halvklotsformiga nitar gäller $C_D = 0,32$. Koefficienten varierar emellertid med Reynolds tal, definierat på nitdiametern. Det angivna värdet är det maximala, vilket är fallet för nitdiametern i följande exempel. Betrakta en nitdiameter på 1 cm och höjd på 0,5 cm. För denna höjd blir (q_{eff}/q) medel = 0,20. För 10 000 nitar blir motståndet enl följande:

$$q_{eff} = 0,20 \cdot \frac{1}{2} V^2 = 613 \text{ N/m}^2$$

$$A = 10\,000 \cdot \frac{\pi}{4} d^2 = 0,786 \text{ m}^2$$

$$D = q_{eff} \cdot A \cdot C_D = 154 \text{ N} = 15,7 \text{ kp}$$

$$P = D \cdot V = 10\,800 \text{ W} = 14,7 \text{ hk}$$

Det skall påpekas att gränsskiktet får ett annat utseende efter en störning från en ytojämnhet, varför diagram 6 endast gäller för en glatt yta. Vidare kan sägas att kravet på ytfinhet är störst i främre delen av tåget, eftersom gränsskiktet är tunt och ostört på denna del.

5 KYL- OCH VENTILATIONSMOTSTÅND

Minskningen av hastigheten i friströmmen till den som råder i ett luftintag eller luftutsläpp ger upphov till ett impulsmotstånd. Eftersom det saknas uppgift om erforderliga massflöden så kan luftmotståndet p g a kyl- och ventilationsanordningar ej uppskattas här. Skall ett intag användas inom ett stort fartområde, måste man tänka på intagsläpparnas utformning, ty avlösningar kan inverka menligt på funktionen. Utformningen av luftkanalerna är också viktig, detta för att hålla tryckförlusterna nere.

6 MÖJLIGHETEN ATT ANVÄNDA LUFTBROMSAR PÅ SNABBGÅENDE TÅG

På grund av begränsat utrymme till hinder utefter banvallen samt aerodynamisk interferens mellan flera luftbromsanordningar torde man med synlighet kunna uppnå en total motståndskoefficient större än $C_D = 3,0$ baserad på tågets nominella frontarea. Det är på nuvarande stadium mycket svårt att exakt kunna uttala sig om hur sådana luftbromsar skall se ut eller placeras, då endast ett aerodynamiskt utvecklingsarbete i vindtunnel kan utvisa detta.

Diagram 8 och 9 visar bromskraft resp effekt för tåget i exemplet, med och utan luftbromsar. I diagrammen har också inlagts motsvarande kurvor, som skall ge retardationen 0,1 g. Härav framgår vid höga farter att om luftbromsar används, så skulle den erforderliga mekaniska effekten nedbringas till ungefär hälften av det värde, då enbart mekanisk bromsning tillgripes. Detta skulle innebära ett minskat problem med värmeutveckling i hjulbromsarna.

Några säkerhetsproblem kan antydast. Luftbromsar kan skapa problem med stabiliteten, om periodisk avlösning uppstår p g a snedanblåsning e d. Emellertid behöver detta problem ej nödvändigtvis vara större än det betrodynamiska stabilitet vid hjulbromsning. Den avlänkade luftströmmen från luftbromsarna kan beroende på dess riktning orsaka extra krafter på byggnader och andra föremål utefter banvallen och genom interferens även påverka tåget självt.

7 RIMLIG AERODYNAMISK MÅLSÄTTNING FÖR SNABBGÅENDE TÅG SAMT FÖRSLAG TILL VIDARE UTVECKLINGSARBETE

Beträffande dagens tåg så torde flertalet av dessa ha en motståndskoefficient liggande inom klassen $C_D \sim 1,50-2,00$ baserad på frontarean. Genom förbättrad utformning av front- och akterparti, underrede, vagnspel samt ytojämnheter och utstickande detaljer bör rimliga storleksordningar på motståndsvinster enligt nedanstående tabell kunna göras.

Bilaga 4:8

Förbättrad utformning av (detalj)	ΔC_D	Effektvinster vid $V=250 \text{ km/h}$, $A=10 \text{ m}^2$
Front- och akterparti	0,2 -0,5	560-1420 hp
Underrede	0,2 -0,5	560-1420 hp
Vagnspel (eliminering av)	0,10-0,15	280- 420 hp
Ytojämnheter	0,05-0,10	140- 280 hp

De högsta siffrorna förutsätter därvid ett nuvarande referenstag i motståndsklassen $C_D \sim 2,00$ och de lägsta ett tåg i klassen $C_D \sim 1,50$.

Den absoluta nedre gränsen för totala tågmotståndet är friktionsmotståndet enbart, vilket ger $C_D \sim 0,20-0,30$. Att för totalmotståndskoefficienten komma ens i närheten av friktionsmotståndet är praktiskt omöjligt. Även om man antar det möjligt att nå dubbla friktionsmotståndet d v s $C_D \sim 0,40-0,60$ kan detta uppfyllas endast med ett mycket omfattande aerodynamiskt utvecklingsarbete, som förmodligen leder till en ganska extrem tåg-utformning och stora krav på gångmiljön. En mera realistisk målsättning, som dock även denna kräver ett visst mått av aerodynamiskt utvecklingsarbete, torde vara ett tåg i motståndsklassen $C_D \sim 0,8-1,0$. Ett sådant tåg bör ha en väl utformad front, inklätt underrede, eliminerat vagnspel samt väl utformat skal utan störande ytojämnheter. Ur aerodynamisk synpunkt är det gynnsamt om man slipper strömtagare, som dels ger upphov till ett relativt stort luftmotstånd och dels vid höga farter kan uppleva ett instabilt svängningstillstånd orsakat av samspelet mellan aerodynamiska, mekaniska och elastiska krafter.

Beträffande användandet av luftbromsar så tycks dessa kunna ge en mycket god bromseffekt i fartområdet 150-250 km/h, där luftbromseffekten upptar ca 25-50 % av den erforderliga bromseffekten. Detta gäller under förutsättning att en totalmotståndskoefficient om $C_D \sim 2,5-3,0$ kan realiseras med luftbromsar, vilket verkar rimligt med hänsyn till kraven på lastprofiler och närhet till föremål utefter banvallen. Då tillämpningen av luftbromsar på tåg synbarligen är helt ny kan man ej på förhand ange någon definitiv lösningsprincip, då denna måste bli resultat av ett utvecklingsarbete i vindtunnel. Eventuellt kan någon form av gränsskiktskontroll eller ren sugning tillämpas för luftbromsarna, varvid en del av tågets motoreffekt kan tagas i anspråk vid inbromsning.

De teoretiska eller semiempiriska beräkningsmodeller för kalkylering av luftmotståndet på tåg som i huvudsak finns i äldre litteratur torde inte vara till fyllest vid luftmotståndsoptimering av snabbgående tåg. Vindtunnelarbete är därför att rekommendera, då man i vindtunnel mäter motståndet direkt samt lätt växlar eller modifierar tågmodell. Om möjlighet finns bör även någon form av referensprov i full skala utföras för att klargöra Reynolds tal - effekternas betydelse relativt vindtunnelproven. I vindtunnel är

det lämpligt att studera saker som frontutformning, vagnspel, underrede och interferens mellan markplan och underrede samt hjul. Vidare bör olika principlösningar för luftbromsanordningar studeras.

REFERENSER

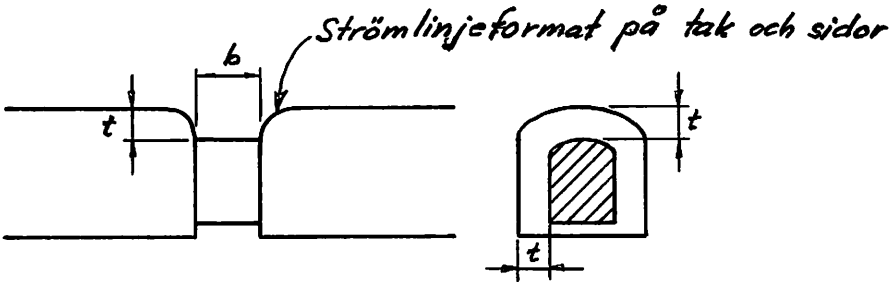
- 1 B. Koch Gångmotstånd för snabbtåg.
Preliminär utredning.
YK/C04.00.68:326 (SAAB)
- 2 Air Resistance of Fast Passenger Trains.
The Railway Gazette, Sept. 15, 1967.
- 3 T. Hara Die Aerodynamik des schnellfahrenden Zuges.
M. Kawaguti Monthly Bulletin of the International Railway
G. Fukuchi Congress Association, 1968.
A. Yamamoto No. 1, 2.
- 4 F.C. Johansen The Air Resistance of Passenger Trains.
Proc. Inst. Mech. Eng. Vol. 134 1936.
- 5 S. Hoerner Fluid-Dynamic Drag.
1965
- 6 G. Franzon Motstånd p g a ytojämnheter
LET-0-13 (SAAB).
- 7 A.J. Lipetz Air Resistance of Railroad Equipment.
Trans. ASME 1938.



Diagramblad 1

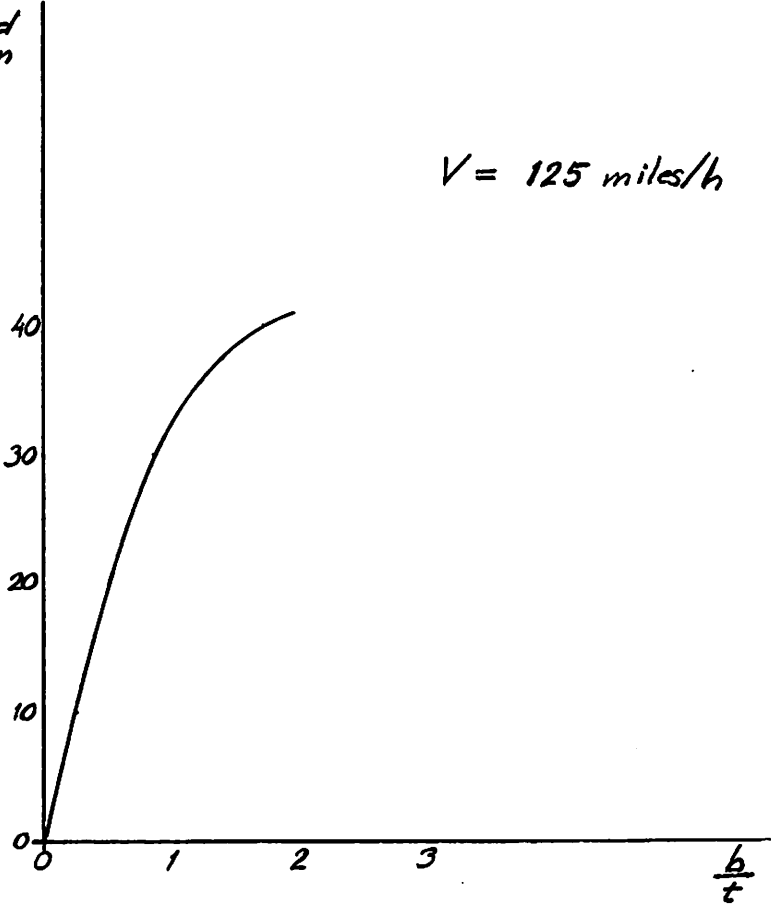
Reg. nr
L-0-1 B163

Avser Luftmotstånd för vagnspel Ref. 2	Datum	Bearbetad / datum, sign.
	Utfördad	Kontrollerad / datum, sign.
	Godkänd	Sida 11.



Motstånd
per vagn
kp

$V = 125 \text{ miles/h}$





Reg. nr

Diagramblad 2

L-0-1 B163

Avser

*Tvådimensionella
ytojämnheter
Ref. 5*

Datum

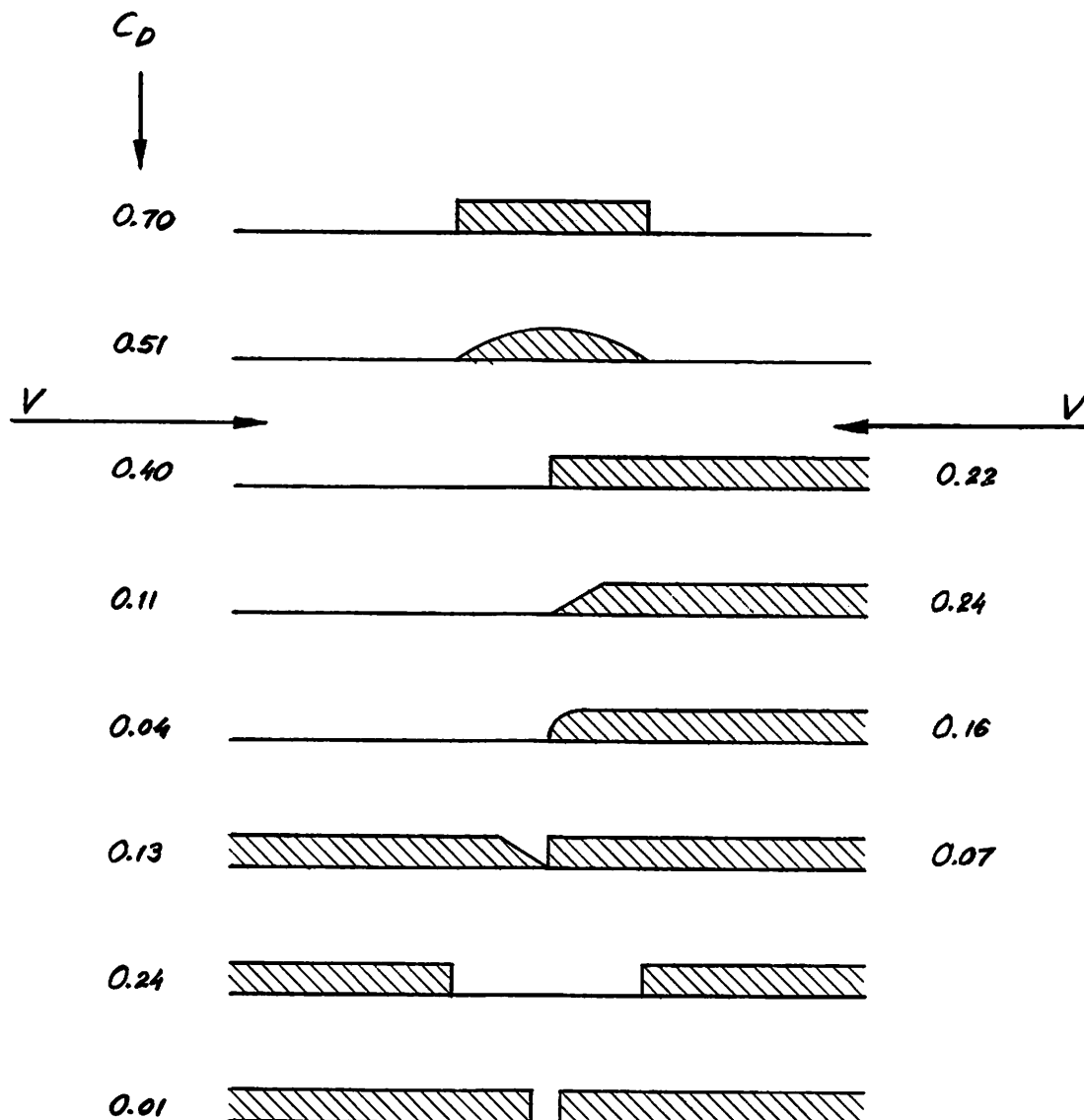
Bearbetad / datum, sign.

Utfördad

Kontrollerad / datum, sign.

Godkänd

Sida 12.



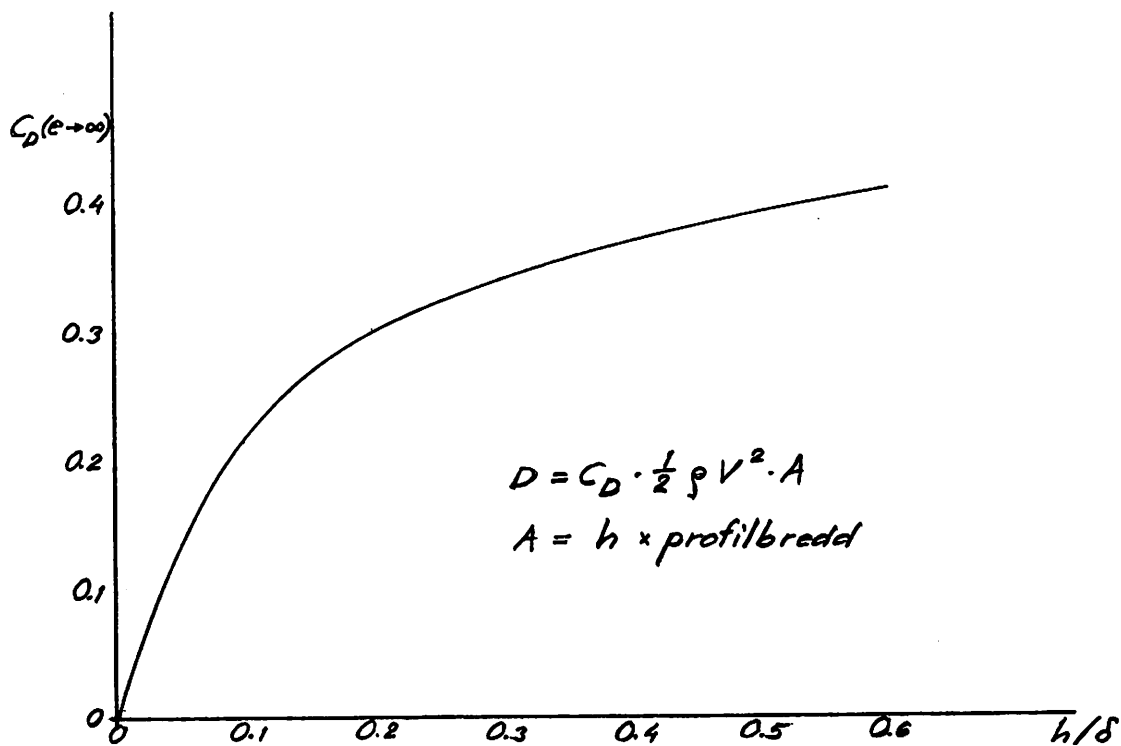
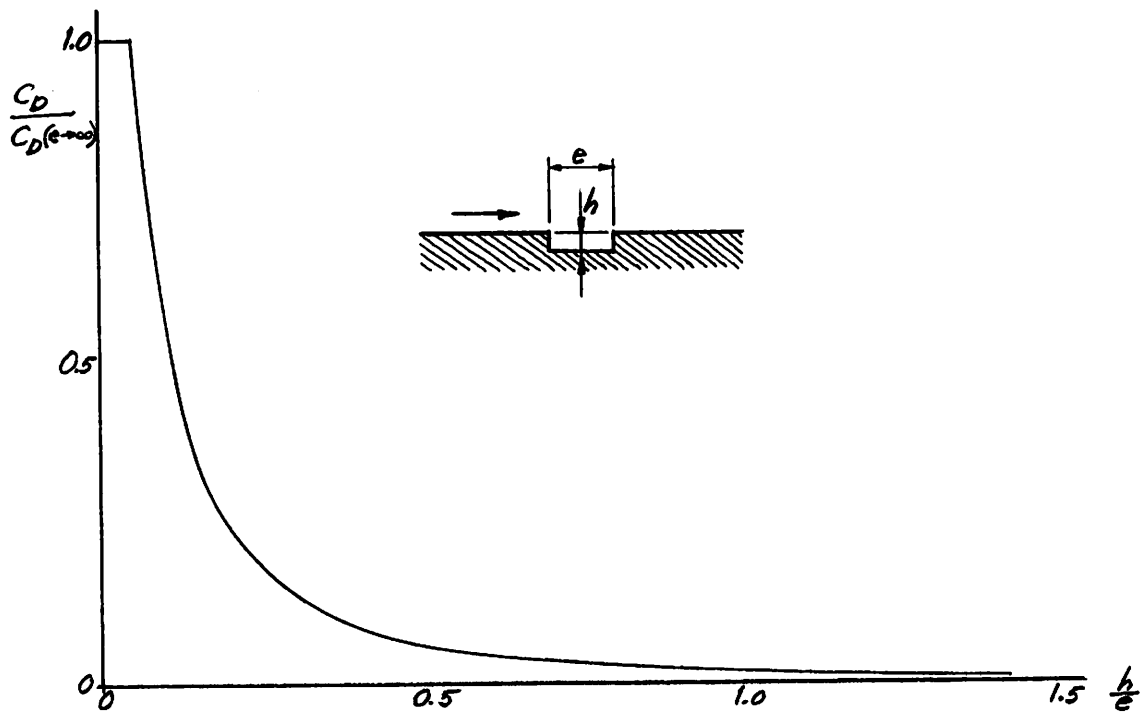
Observera de olika anblåsningensriktningarna!

Motståndet erhålles ur $D = C_D \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 \cdot A$

där A = profilhöjd x profilbredd



Avser	Tvådimensionella ytojämnheter		Datum	Bearbetad / datum, sign.
	Ref 6		Utfördad	Kontrollerad / datum, sign.
			Godkänd	Sida 13.





Reg. nr

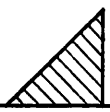
Diagramblad 4 L-0-1 B163

Avser <i>Trädimensionella ytjämnheter</i> <i>Ref. 5</i>	Datum	Bearbetad / datum, sign.
	Utfördad	Kontrollerad / datum, sign.
	Godkänd	Sida 14.

C_D



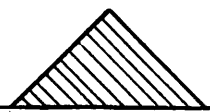
1.03



V



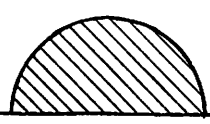
1.00



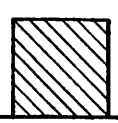
1.28



0.80^x



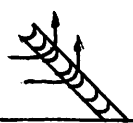
1.20



1.25



2.0

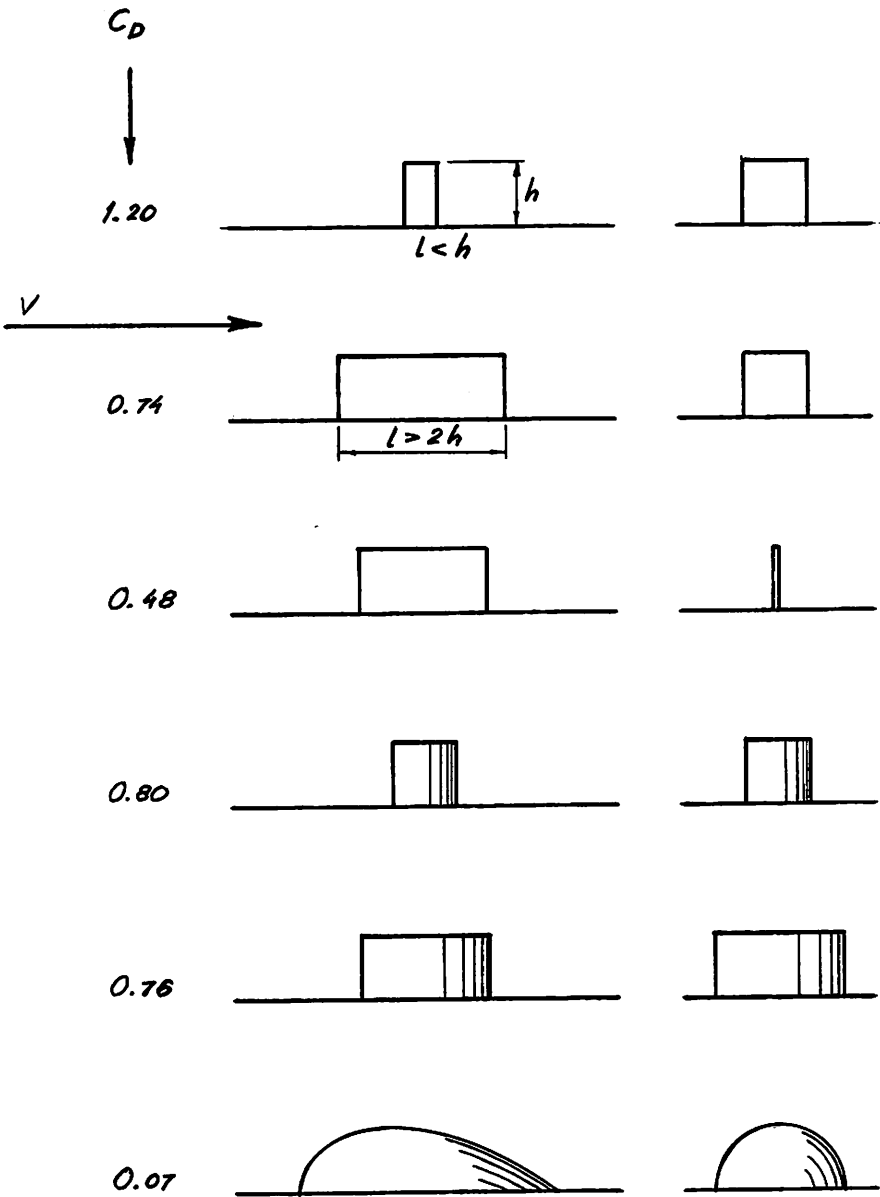


Ledskenegitter

x) Varierar med Re

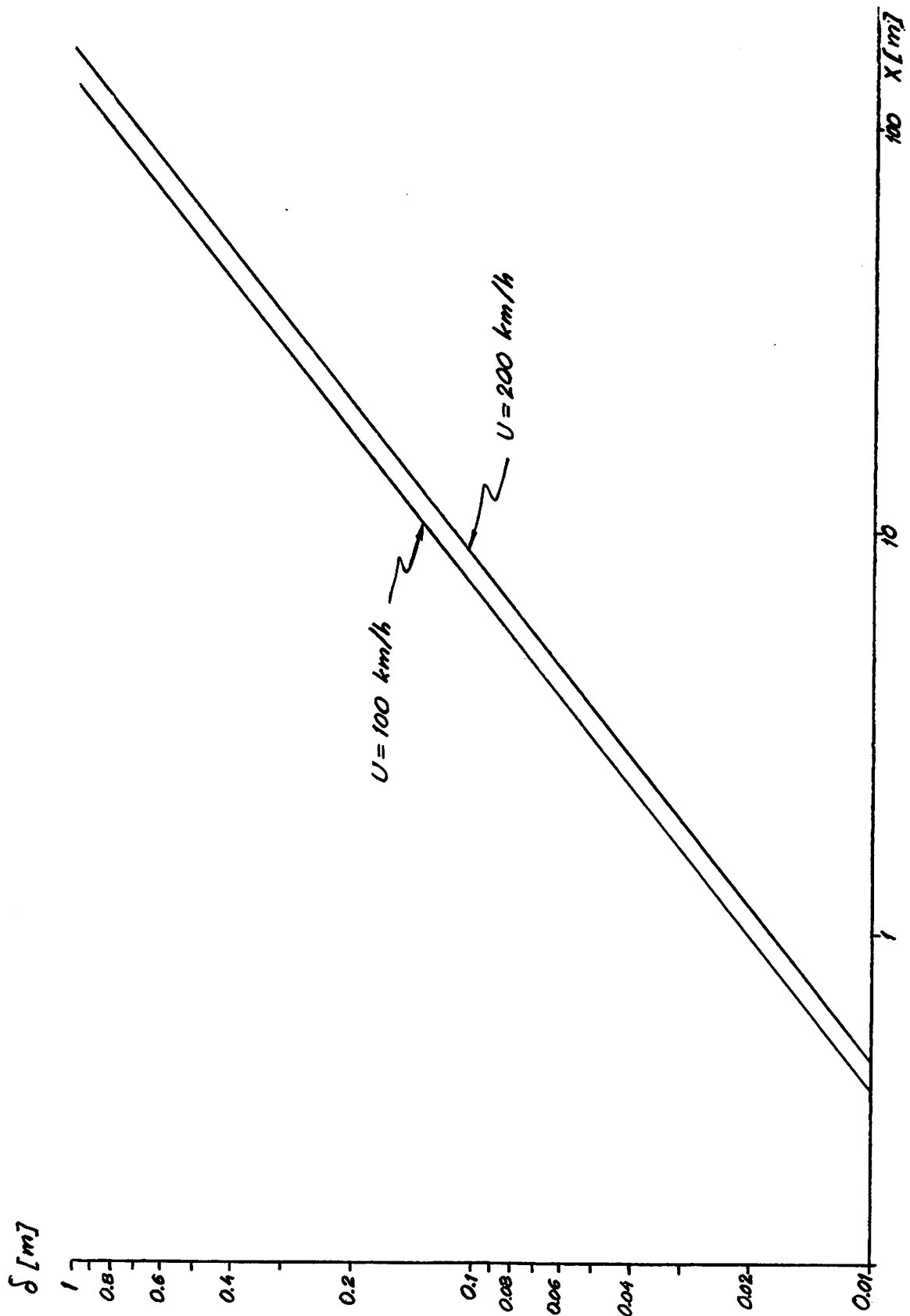


AVSST <i>Tredimensionella ytojämnheter Ref. 6</i>	Datum	Bearbetad / datum, sign.
	Utfördad	Kontrollerad / datum, sign.
	Godkänd	Sida 15.



$$D = C_D \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 \cdot A$$

$A = \text{frontalarea}$



Diagramblad 6

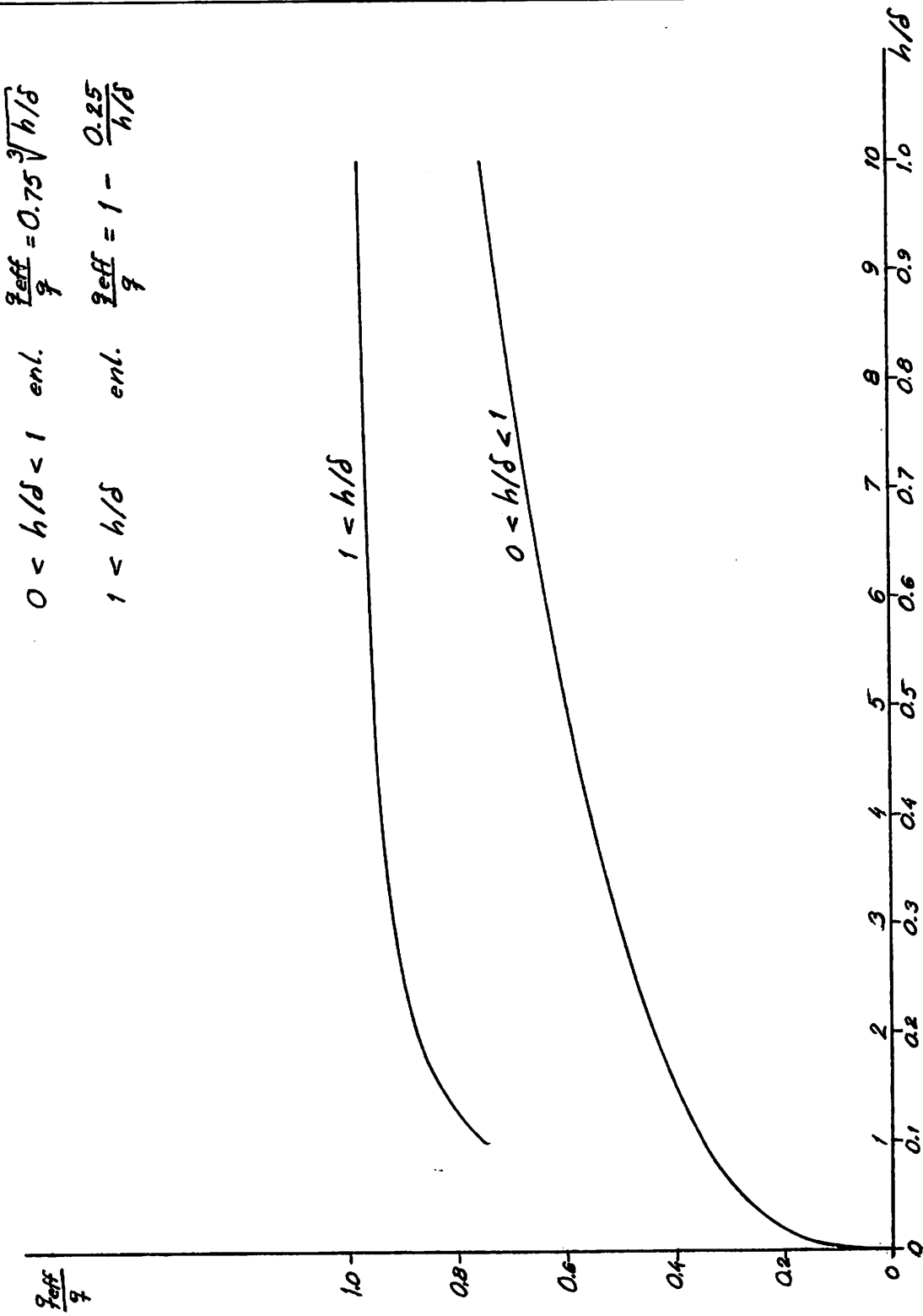
Gränsskiktstjocklek s. f. a.
avstånd från framkanten



Diagramblad 7

Reg. nr
L-0-1 B163

Avsör $\frac{q_{eff}}{q} \left(\frac{h}{\delta} \right)$ Ref. 5	Datum	Bearbetad / datum, sign.
	Uttärdad	Kontrollerad / datum, sign.
	Godkänd	Sida 17.





Diagramblad 8

Reg. nr

L-0-1 B163

Avser

Luftmotstånd
med och utan luftbromsar

Datum

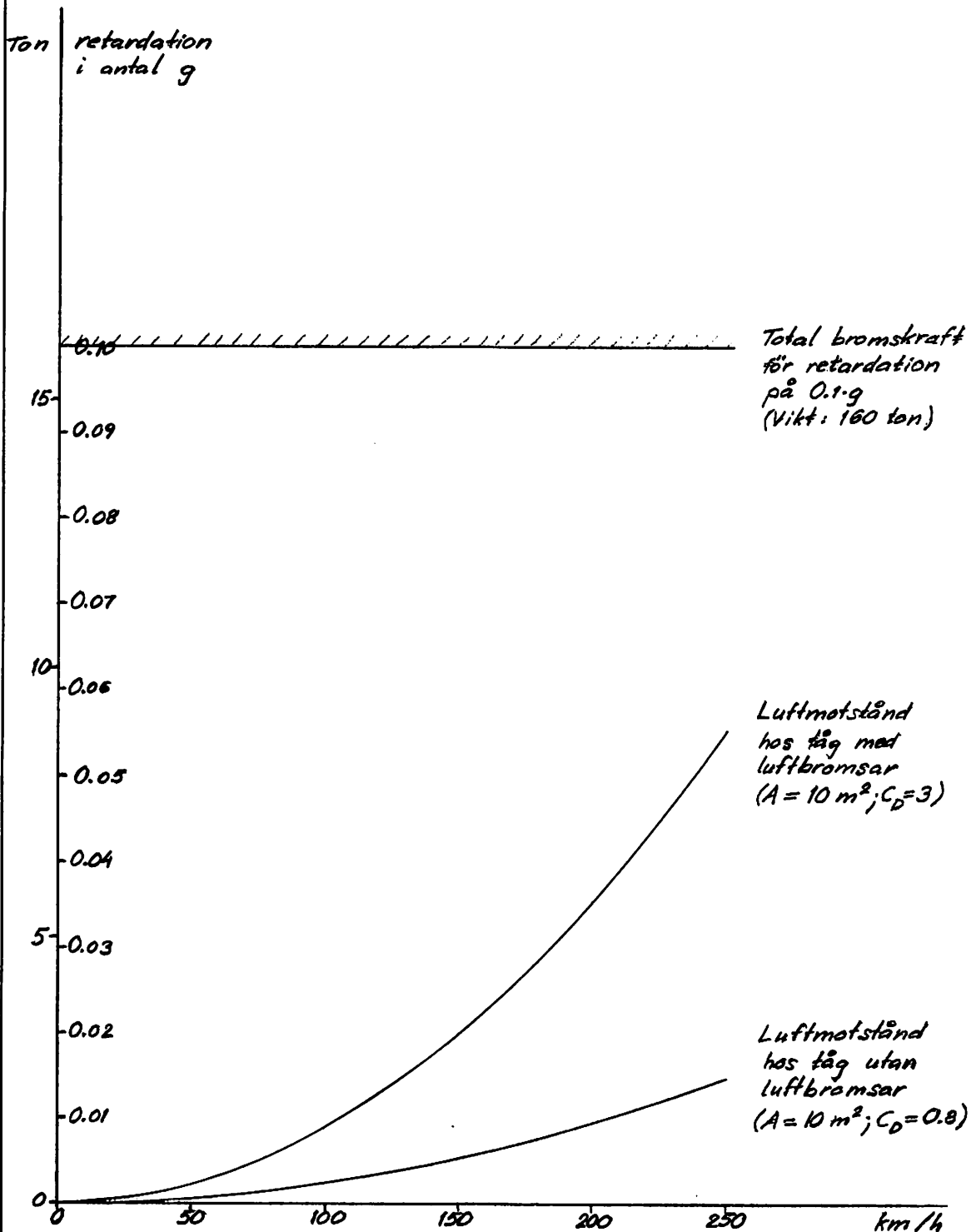
Bearbetad / datum, sign.

Utfördad

Kontrollerad / datum, sign.

Godkänd

Sida 18.

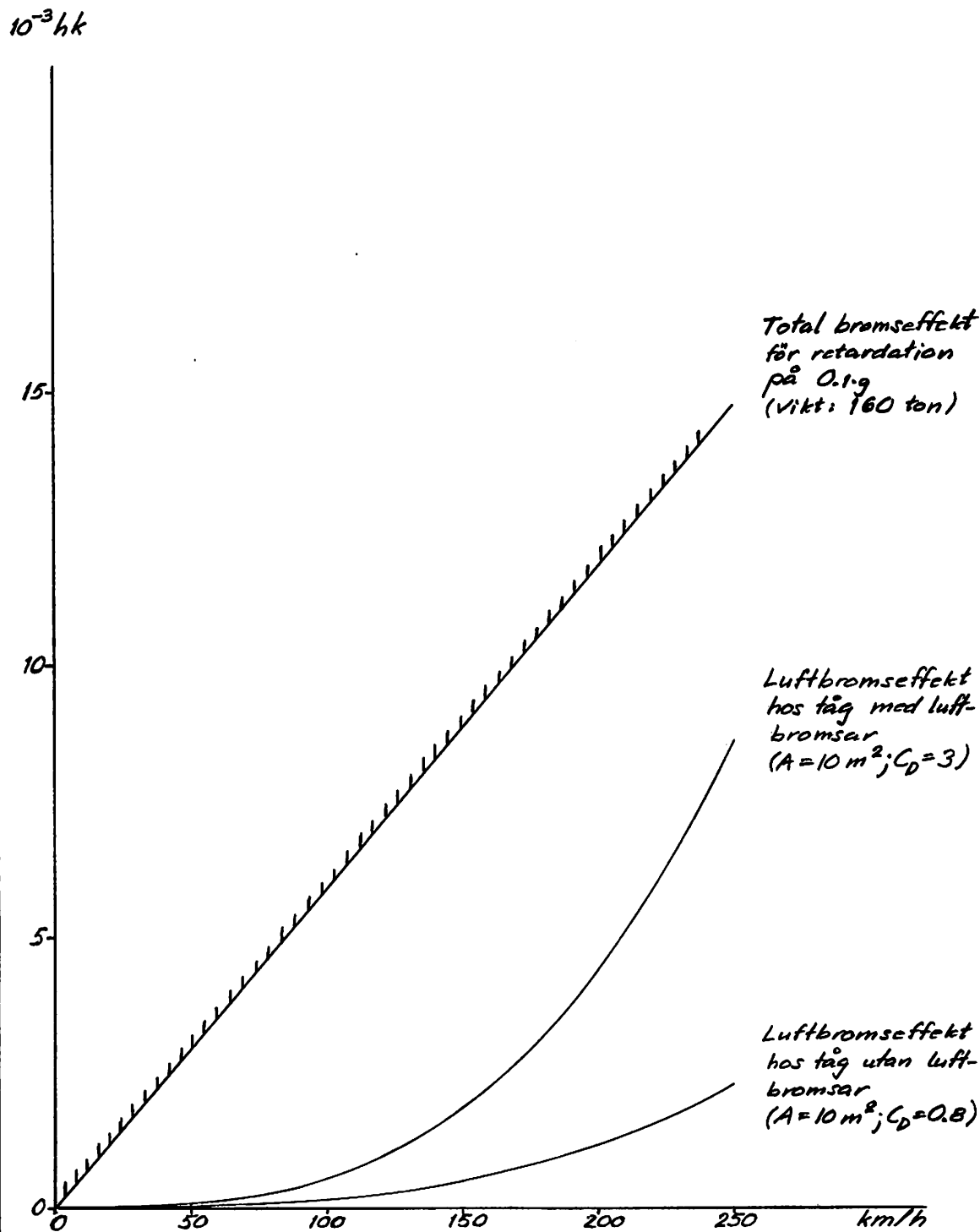




Diagramblad 9

Reg. nr
L-0-1 B163

Avser Luftbromseffekt med och utan luftbromsar	Datum	Bearbetad / datum, sign.
	Utfördad	Kontrollerad / datum, sign.
	Godkänd	Sida 19.



BILAGA 5

VARFÖR MINSKAR ADHESIONS- KOEFFICIENTEN VID ÖKAD HASTIGHET?

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

VAD SKER I KONTAKTYTAN MELLAN HJUL OCH RÄL?	5:3
VILKA KRAFTER UPPTRÄDER I KONTAKTYTAN VID BROMSNING?	5:4
HUR SER SAMBANDET MELLAN BROMSKRAFT OCH SLIP UT?	5:7
VILKET SAMBAND RÅDER MELLAN HASTIGHET OCH ADHESIONSKOEFFICIENT?	5:8
HUR PÅVERKAS ADHESIONSKOEFFICIENTEN AV FRÄM- MANDE ÄMNEN I KONTAKTYTAN?	5:9
HAR TÅGETS DYNAMISKA EGENSKAPER NÅGON INVERKAN?	5:10
HAR VI BESVARAT RUBRIKENS FRÅGA?	5:11
REFERENSER	5:12

VARFÖR MINSKAR ADHESIONSKOEFFICIENTEN VID ÖKAD HASTIGHET?

av Lars Sjöstedt

Adhensionsfrågorna har alltsedan järnvägens barndom tilldragit sig starkt intresse. Det är naturligt eftersom det är adhesionen, som avgör hur stor dragkraft som kan tas ur ett lok med given vikt, och som därmed blir dimensionerande för de stigningar som kan tolereras längs banan. Därför har också de studier och undersökningar av adhesion, som utförts, i stor utsträckning kommit att kretsas kring möjligheterna att konstruktivt utforma lokomotiv, så att största möjliga dragkraft kan tas ut under skilda driftförhållanden.

Under senare år har, i samband med planer på väsentligt högre tåg hastigheter än dagens, adhesionsproblemen vid bromsning fått lika stor aktualitet. Ett besvärande faktum, som man länge känt till, är att den maximalt uttagbara bromskraften tenderar att minska vid ökande hastighet, vilket ytterligare ökar de långa bromssträckor, som orsakas av den höga hastigheten i sig. Av uppenbara skäl vill man hålla bromssträckorna så korta som möjligt, vilket ger upphov till frågan, om denna minskning av uttagbar bromskraft är en naturlag eller om den går att motverka genom ändrad konstruktion av tåget.



Fig 1

Illustration av begreppen adhesion och friktion

Innan vi gör ett försök att se närmare på denna ytterst komplicerade fråga, kanske begreppen adhesion och friktion bör kommenteras något. Adhesion betyder vidhäftning, och adhesionskraften är alltså den kraft, som utbildas i gränsskiktet mellan två kroppar och förhindrar deras rörelse i förhållande till varandra. I vänstra delen av fig 1 är således den yttre kraften F och adhesionskraften F_1 motriktade och lika stora. Om F ökas tillräckligt mycket når F_1 ett gränsvärde $F_{1 \text{ max}}$ och om F ökar ytterligare inträffar glidning. Den kraft F_2 , som strävar efter att bromsa glidningen, bör rätteligen kallas friktionskraft, eftersom friktion ju betyder nötning eller glidning. F_2 beror av normalkraften N enligt formeln $F_2 = \mu N$, där friktionskoefficienten μ varierar med glidhastigheten v_g men som regel brukar anses vara oberoende av N . För den maximalt uttagbara adhesionskraften gäller sambandet $F_{1 \text{ max}} = \alpha \cdot N$, där α är adhe-

sionskoefficienten. Friktionskoefficienten μ är oftast mindre än adhesionskoefficienten α såsom angivits i fig 2, vilket är orsaken till att ett ryck lätt uppstår, när ett föremål sätts i rörelse.



Fig 2

Principiellt samband mellan friktionskoefficient μ och glidhastighet v_g

I praktiken skiljer man inte så noga mellan adhesion och friktion. Adhesionskoefficienten kallas ibland något oegentligt för vilofriktionskoefficienten (eller enbart friktionskoefficient) och ges samma beteckning som friktionskoefficienten i snävare bemärkelse, vilket i stället kallas glidfriktionskoefficient. Inom järnvägstekniken har adhesion (adhesionsgräns, uttagbar adhesion, adhesionskoefficient) kommit att betyda kvoten mellan maximalt uttagbar dragkraft och den totala statiska axellasten för alla drivna hjulpar tillsammans på ett lok, eller kvoten mellan maximal bromskraft och totala statiska axellasten för alla bromsade hjulpar tillsammans på ett tåg. I fortsättningen kommer begreppen adhesion och friktion att användas i den ovannämnda trängre betydelsen. För att inte bryta mot praxis kan vi dock kalla kvoten mellan maximalt uttagbar bromskraft och vertikal last för ett hjul eller hjulpar för adhesionskoefficient och ge den beteckningen ν .

VAD SKER I KONTAKTYTAN MELLAN HJUL OCH RÄL?

Spänningsfördelningen i kontaktytan mellan två elastiska kroppar studerades först av Hertz och efter honom kallas kontaktytan mellan hjul och räl den Hertziska ytan. Om hjul och räl kan approximeras med cylindriska ytor blir kontaktytan ellipsformad. Med normalkraften N mellan hjul och räl, som båda antas vara av stål, hjulradien 60 cm och krökningsradien 40 cm hos rälshuvudet får ellipsens halvaxlar a och b i fig 3 enligt Kraft (1, sid 59) följande värden:

N	a	b	$\sigma_z \text{ max}$
Mp	cm	cm	Mp/cm ²
10	0,77	0,59	10,5
5	0,61	0,47	8,3

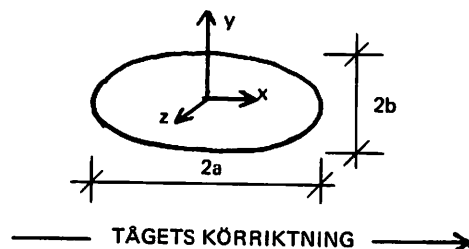


Fig 3

Kontaktytan mellan hjul och räl

Bilaga 5:4

Ytans storlek varierar ganska långsamt med normalkraften N eftersom halvaxlarna a och b är proportionella mot $\sqrt[3]{N}$. Yttrycket σ_z varierar enligt formeln

$$\sigma_z = \frac{3N}{2\pi ab} \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}}$$

Maximala yttrycket blir $\sigma_{z \max} = 1,5 \frac{N}{\pi ab} = \text{konst.} \sqrt[3]{N}$. De siffror som angivits för $\sigma_{z \max}$ i ovanstående sifferexempel ligger emellertid långt över elasticitetsgränsen för stål. Man måste alltså åtminstone vid låga tåghastigheter räkna med plastiska deformationer av materialet, vilket gör att förutsättningarna för den Hertziska teorin ej är uppfyllda. Deformationerna börjar strax under ytan, där de största skjuvspänningarna uppträder och leder till att yttrycket i själva verket blir jämnare fördelat än vad formeln ovan anger. Denna plastiska omformningsprocess eller kallhamring kan med tiden leda till att material rivs loss från ytan, varför ett visst slitage uppträder även utan bromsning. Vid högre hastigheter uppträder emellertid ej säkert några kvarstående deformationer, eftersom sträckgränsen för ferritiska stål av här ifrågakommande typ är starkt hastighetskänslig.

VILKA KRAFTER UPPTRÄDER I KONTAKTYTAN VID BROMSNING?

På grund av elasticiteten hos hjul och räl kommer vid bromsning de tangentiella krafterna mellan hjul och räl ej att fördelas jämnt över kontaktytan. Man kan lätt visa, att inom den främre delen av kontaktytan sker ingen relativ rörelse mellan hjul och räl. Denna del av kontaktytan kallas därför adhesionsområdet och har i fig 4 återgivits streckad med beteckningen A. I den bakre delen av kontaktytan sker däremot en sådan rörelse. Denna del kallas därför glidningsområdet och har i fig 4 betecknats med G.

Låt oss se närmare på förloppet, när det bromsade hjulet rullar längs rälen. Genom inverkan av den totala bromskraften R , som överförs från räl till hjul uppstår en spänning σ_x i perifer led i hjulkransen. Den är positiv i den sektor av hjulet som ligger närmast före kontaktytan, varför denna del av hjulet utsätts för töjning. I stället sker en komprimering av hjulkransen närmast bakom kontaktytan. I rälen sker på motsvarande sätt en komprimering omedelbart före kontaktytan och en töjning efter denna.

Betrakta nu en kort sträcka A_1A_2 på hjulperiferin i främre delen av kontaktytan och motsvarande sträcka B_1B_2 på rälen. När hjulet roterar, flyttar sig de båda sträckorna bakåt i förhållande till kontaktytan. A_1A_2 kommer därvid att vilja förkortas, eftersom den rör sig i riktning mot avta-

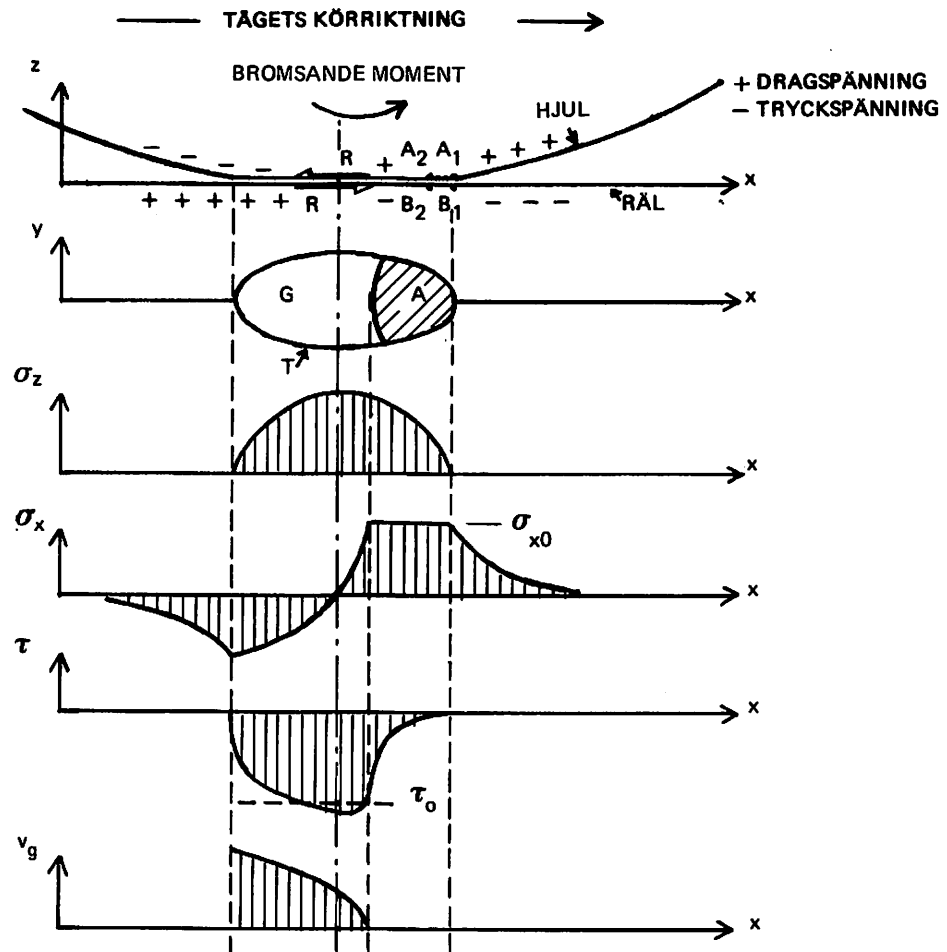


Fig 4

Schematiskt diagram över spänningar i kontaktytan för ett bromsat hjul.
Jfr Kraft (1, sid 69)

gande σ_x . B_1B_2 strävar däremot efter att förlängas, varför en skjuvspänning uppstår i kontaktytan mellan A_1A_2 och B_1B_2 . När denna blivit tillräckligt stor, börjar punkten A_2 glida i förhållande till B_2 och denna glidning fortgår sedan med växande hastighet över återstoden av kontaktytan. Ingen glidning kan inträffa framför adhesionsområdet, ty antag att punkterna A_2 och B_2 befinner sig inom adhesionsområdet och således i vila relativt varandra. På grund av den ovannämnda strävan hos sträckorna A_1A_2 och B_1B_2 att förkortas respektive förlängas måste en sådan glidning bestå i att punkten A_1 förflyttas åt vänster i förhållande till B_1 och en sådan glidningsriktning är inte konsistent med den pålagda bromskraftens riktning. Jfr Ollerton (2, sid 167).

Den totala bromskraften kan erhållas genom att integrera skjuvspänningen τ över kontaktytan:

$$-R = \int_T \tau \, dT = \int_A \tau \, dA + \int_G \tau \, dG$$

Det skulle nu ligga närmast till hands att tro att största bidraget till R kommer från adhesionsområdet, eftersom adhesionskoefficienten är större än friktionskoefficienten. Adhensionsområdet kan emellertid inte överföra några nämnvärda skjuvspänningar, eftersom ytorna är skjuvspänningsfria när de först gör kontakt med varandra, och ingen relativ rörelse sker inom adhesionsområdet. Bromskraften är alltså till övervägande del en friktionskraft.

I fig 4 har inritats kurvor som ger en uppfattning om hur normalkraften σ_z , den perifera spänningen σ_x , skjuvspänningen τ och glidhastigheten v_g varierar över kontaktytan.

På grund av töjningarna i hjul och räl kommer ett bromsat hjul att rulla långsammare än ett obromsat hjul vid samma tåghastighet. Skillnaden mellan rotationshastigheterna ω_1 och ω_2 för det obromsade respektive bromsade hjulet, dividerad med ω_1 kallas slip och ges här beteckningen s . Inom adhesionsområdet, där en ren rullning försiggår, uppträder hjulet som om dess radie ökats till $r(1 + \epsilon_A)$, där ϵ_A är töjningen i perifer led för adhesionsdelen av kontaktytan. Rälen uppför sig i stället som om den vore kortare. Om hjul och räl har samma elasticitetsegenskaper får vi

$$s = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} = \frac{\frac{v}{r} - \frac{v(1 - \epsilon_A)}{r(1 + \epsilon_A)}}{\frac{v}{r}} = \frac{2 \cdot \epsilon_A}{1 + \epsilon_A} \approx 2 \epsilon_A$$

Om det bromsande momentet på hjulet ökas, växer slippet. Samtidigt krymper adhesionsområdet. I det ögonblick adhesionsområdet försvinner kan antas att största möjliga bromskraft överföres från räl till hjul. Ökas det bromsande momentet ytterligare låser sig snabbt hjulet, eftersom enligt fig 1 friktionskraften minskar när hjulets glidhastighet ökar.

Kraft (1, sid 70) anger att om tvärkontraktionen försummas gäller för det optimala slippet s_{opt} approximativt

$$s_{opt} = 2 \epsilon_{max} = \frac{2 \sigma_{xo max}}{E} = \frac{4 \tau_o}{E} = \frac{4 R}{\pi a b E}$$

där E är elasticitetsmodulen för materialet i hjul och räl, σ_{xo} och τ_o förklaras i fig 4 och index max anger maximivärden. För den största glidhastigheten v_{gmax} , som uppträder vid bakre kanten av kontaktytan, gäller likaledes approximativt $v_{gmax} = 2 v_{s_{opt}}$.

Med samma förutsättningar som tidigare, d v s hjulradien 60 cm, krökningens radien 40 cm hos räls huvudet, 5 tons hjullast och elasticitetsmodulen $2,2 \cdot 10^3 \text{ Mp/cm}^2$ erhålles $s_{\text{opt}} = 0,4 \%$ och således fås exempelvis $v_{\text{gmax}} = 1,6 \text{ km/h}$ vid tåg hastigheten 200 km/h.

HUR SER SAMBANDET MELLAN BROMSKRAFT OCH SLIP UT?

Så långt kan framställningen anses ge en någorlunda sann bild av verkligheten. I fortsättningen blir den emellertid mera spekulativ, eftersom de resultat och samband som återges i olika tidskriftsartiklar ofta är starkt motstridiga. Kraft (1, sid 70) utgår ifrån att största bromskraft erhålles i det ögonblick adhesionsområdet försvinner, såsom angivits i föregående stycke. Han antar vidare, att friktionskoefficientens beroende av glidhastigheten kan approximeras av uttrycket

$$\mu = 0,4 \left(1 - 0,5 e^{-\frac{v_1}{v} \ln 2} - 0,5 e^{-\frac{v_2}{v} \ln 2} \right)$$

där "halvvärdesglidhastigheterna" är $v_1 = 0,2 \text{ m/sek}$ och $v_2 = 10 \text{ m/sek}$. Den andra termen avses representera den rent molekylära friktionen i kontaktytan och den tredje de plastiska deformationerna av ojämnheter i kontaktytan. Han påstår, att modellen väl approximerar empiriska data från andra författare och beräknar därefter adhesionskoefficienten ν som funktion av tåg hastigheten, vilket blir en tämligen linjär funktion, som från $\nu = 0,4$ vid $v = 0 \text{ km/h}$ avtar till $\nu = 0,3$ vid $v = 240 \text{ km/h}$.

Enligt flera andra författare uppnås emellertid inte maximal bromskraft förrän vid avsevärt större slip eller omkring 3 %. Fig 5 har hämtats ur en artikel av Moser (3, bild 2), som i sin tur åberopar schweiziska mätningar. Vad som i figuren betecknats mikroslip motsvarar det intervall, för vilket ett adhesionsområde existerar i kontaktytan. Figuren gäller slip vid acceleration av ett lok. Vid bromsning gäller enligt Tross (4, sid 7) en annan kurva som återgivits i fig 6.

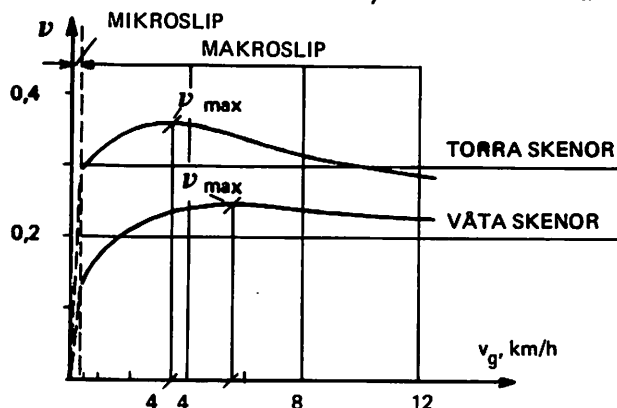


Fig 5

Sambandet mellan adhesionskoefficient ν och glidhastighet v_g vid acceleration. Medelvärden, uppmätta vid tåg hastigheten $v = 40 \text{ km/h}$

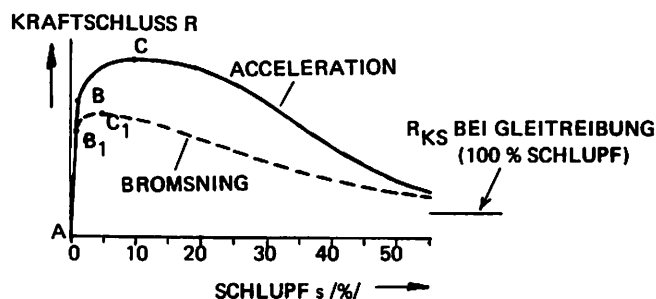


Fig 6

Schematiskt samband mellan bromskraft R och slip s vid acceleration och bromsning

Existensen av ett maximum i makroslipområdet kan ges en enkel och plausibel förklaring. För att två ytor skall kunna glida över varandra, måste de ojämnheter som griper in i varandra jämnas ut. Detta skulle kunna tänkas ske elastiskt, men vi har redan konstaterat att kontakttrycket är så stort att en ytterligare elastisk sammanpressning av delar av kontaktytan ej är möjlig. Kvar står då två möjligheter - antingen bryts ojämnheterna loss genom sprödbrott eller också sker plastiska deformationer i en viss zon i kontaktytan. Sprödbrott inträffar genom att enskilda atomer i ett visst snitt tillföres så stor svängningsenergi att de frigör sig ur gittret, d v s förgasas. Med de egenskaper stål har, inträffar dock detta ej normalt. I stället sker glidningar längs vissa plan i metallen, i första hand där s k dislokationer redan tidigare försvagat metallen. Glidningen sker genom att atomerna i planet rycks loss ur sina lägen för att omedelbart därefter rekristallisera i intilliggande positioner i kristallgittret. Detta omformningsarbete kräver att energi tillföres, vilket sker när slippet ökar. Ju större slip, desto större del av hjulets och rälen totala kontaktytor får metallisk kontakt med varandra. Ökningen i friktionsyta motverkas emellertid av att stegringen av temperaturen i kontaktytan minskar den atomära friktionen i de ytor, som i slutskedet kommer att glida över varandra.

VILKET SAMBAND RÅDER MELLAN HASTIGHET OCH ADHESIONS-KOEFFICIENT?

Om nyssnämnda modell är rimlig kan också ges en förklaring till varför adhesionskoefficienten ν minskar vid ökande tåghastighet. Hela förloppet sker då snabbare, och på grund av den begränsade värmeledningsförmågan kommer de plastiska deformationerna att utsträckas till ett tunnare skikt, vilket minskar den resulterande friktionsytan, samtidigt som den atomära friktionen minskar på grund av ökad temperatur i kontaktytan. Några empiriska data, som renodlar detta samband, har tyvärr ej påträffats i litteraturen.

De mätningar som gjorts har oftast avsett accelerationsförmågan hos lok, vilket som nämnts inte säkert ger samma resultat som vid bromsning. Bromsundersökningar har utförts antingen genom inbromsning av hela fordon, varvid konstruktion av hjulupphängning och bromssystem påverkat resultatet, eller i provmaskin, då emellertid kvarstående uppvärmning i den del av maskinen som representerar rälen kan ha bidragit till bristande realism i proven. Fig 7 som hämtats ur en uppsats av Lucas och Robertson (5, sid 62) gäller visserligen för ett lok under acceleration, men kan ändå ge en uppfattning om hur snabbt adhesionskoefficienten avtar med tåghastigheten i det nedre hastighetsregistret.

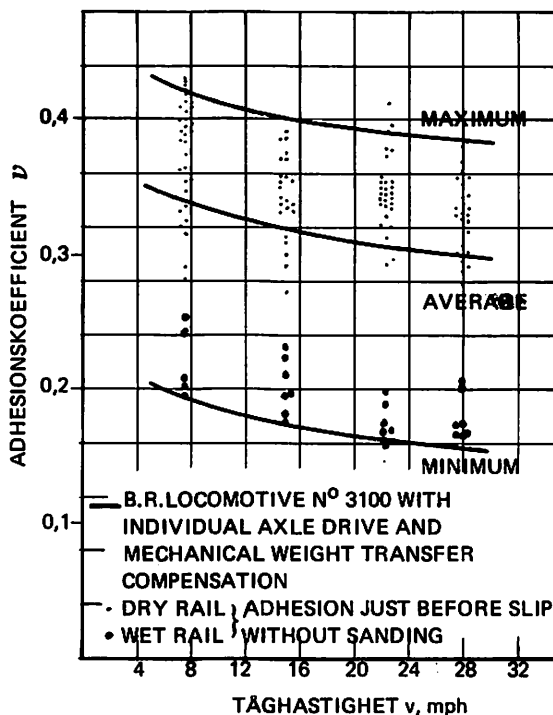


Fig 7

Engelska mätdata för sambandet mellan tåghastighet v och adhesionskoefficient μ

HUR PÅVERKAS ADHESIONSKOEFFICIENTEN AV FRÄMMANDE ÄMNEN I KONTAKTYTAN?

Hittills har vi i diskussion förutsatt att hjulets och rälets kontaktyta är torra och fria från föroreningar. Om rälen är våt, sjunker erfarenhetsmässigt bromsförmågan (jfr fig 5 och 7, som dock båda gäller för acceleration). Förklaringen som följer är hypotetisk. Närvaron av vätskeansamlingar i rälets överyta ger en ökad bärighet åt rälets kontaktyta i den meningen att avståndet mellan hjul och räl ökar något. Därigenom minskas behovet av plastisk omformning av ojämnheter i hjul och räl och således behöver inte så stor energimängd tillföras för detta. Då dessutom den metalliska beröringsytan mellan hjul och räl blir mindre, minskar friktionen eftersom vattnet inte förmår överföra några nämnvärda skjuvkrafter. Visserligen räcker det optimala slippet mer än väl för att koka bort vattnet, men samtidigt höjs vattnets kokpunkt så kraftigt på grund av det stora kontaktrycket, att förångningen av vattnet inte torde ske förrän efter att hjulet passerat. Den resulterande sänkningen av bromsförmågan blir troligen beroende av rälytans struktur, vilket kan förklara att uppgifterna om dess storlek varierar. Beroendet av tåghastigheten kan dock som fig 7 visar förväntas vara ungefär detsamma som för torr räl.

Olja och andra organiska ämnen eliminerar friktionen på samma sätt som vatten genom sin bristande förmåga att överföra skjuvkrafter. Genom att dessa ämnens bärighet är större och dessutom kokpunkten ligger högre än för vatten är deras inverkan större och bromsförmågan kan därför ned-sättas till mycket låga värden. Som motåtgärd kan man välja mellan att försöka avlägsna föroreningar på något sätt eller att tillgripa sandning. Den senare metoden innebär att man tillför ett tillräckligt antal partiklar av sådan storlek och hårdhet att de kan förmedla det plastiska omformningsarbetet mellan hjul och räl, trots att dessa inte får metallisk beröring med varandra. Ett flertal studier av olika ämnens friktionshämmande effekt har genomförts, liksom undersökningar av sandningens inverkan, dock utan att beroendet av tåghastigheten klargjorts, vilket i dessa fall är komplicerat.

HAR TÅGETS DYNAMISKA EGENSKAPER NÅGON INVERKAN?

Ett flertal faktorer som sammanhänger med tågets dynamiska egenskaper kan tänkas ha en reducerande inverkan på adhesionskoefficienten vid höga hastigheter. Dit hör variationerna i normalkraften mellan hjul och räl, som accentueras om spåret är dåligt. Enligt engelska erfarenheter kan förekomma att ett hjul vid höga hastigheter är helt avlastat, d v s svävar fritt i luften, under mer än 20 % av tiden. Resonansfrekvensen för hjulupphängningen ligger normalt omkring några svängningar per sekund. Det är alltså inte orimligt att anta att en axel under 0,25 sek är avlastad med genomsnittligt 25 % av medelaxellasten. Antag att tåghastigheten är 180 km/h. Om axellasten är 11 ton och axelns dynamiska tillskottsvikt är 500 kg, vilket är typiska värden för en modern svensk personvagn, kommer en helt avlastad hjulaxel att bromsas till stillastående på knappt 0,6 sek, om den pålagda bromskraften i bromsarna motsvarar en bromsförmåga av $\nu = 0,4$. Det innebär med de givna förutsättningarna att slippet kommer att momentant ökas med upp till 10 %. En jämförelse med fig 6 visar att detta måste leda till en minskning av den genomsnittliga adhesionskoefficienten. Under belastningstopparna ökar kontakttrycket så mycket, att de plastiska deformationerna kan bli betydande. Det är troligt att det plastiska omformningsarbetet, som utförs av dessa stora normalkrafter, bidrar till att minska behovet att tillföra bromsenergi för det ovannämnda i bromsförloppet ingående plastiska omformningsarbetet. En minskning av friktionskraften skulle i så fall även här bli följden. Storleken av en eventuell sådan effekt är dock svår att uttala sig om utan experimentell prövning. I fig 8 återges de hypotetiska förändringar av friktionskraften, som följer av det förda resonemanget. Den streckade kurvan anger den bromskraft R_0 som skulle erhållits om adhesionskoefficienten hela tiden hade varit konstant och lika med adhesionskoefficienten vid frånvaro av dynamiska variationer i normalkraften N . Den heldragna kurvan är verklig bromskraft R .

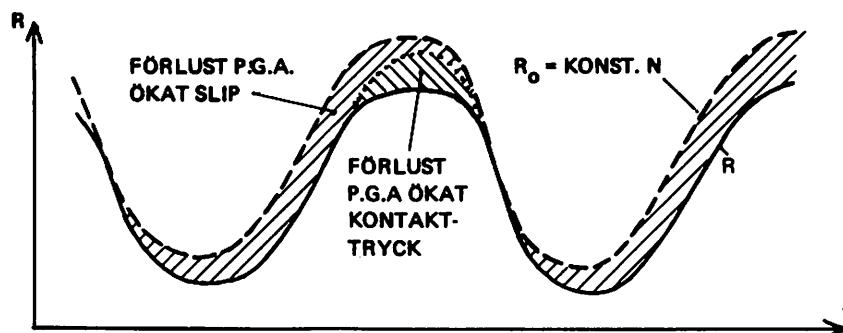


Fig 8

Bromskraft R som funktion av tiden vid varierande normalkraft N .

En annan faktor, vars inverkan också är svårbedömbär är hjulens konicitet. Speciellt när ett hjul löper på gränsen till flänskontakt, bildar kontaktytan en ganska stor vinkel med spårplanet. Det innebär att en viss rotation framtvingas i kontaktytan vid sidan av den rena rullningen även utan bromsning. När hjulet bromsas leder detta till att olika delar av kontaktytan får varierande glidhastighet. Variationerna är dock små jämfört med den optimala glidhastigheten och torde därför inte sänka den nyttiggjorda friktionskraften nämnvärt. Av större betydelse är säkerligen den ökning av kontaktrycket som blir följden, när kontaktytan flyttas mot räls huvudets innerkant där krökningsradien är liten.

Andra glidrörelser uppträder i kontaktytan om axeln i ett stelt hjulpar snedställes, eller om de båda hjulen får olika rullningsradier eller rullvägar som följd av sidförskjutning av axeln resp gång i kurva. Uppträder flänskontakt medför vidare skillnaden i rullningsradie mellan de båda kontaktytorna att glidhastigheterna i dessa ej blir lika stora. Visserligen är samtliga dessa glidrörelser långsammare än den optimala glidhastigheten, men sammantagna påverkar de ändå i mer eller mindre hög grad adhesionskoefficienten inte minst genom att de ökade variationerna i för bromsning tillgänglig friktionskraft höjer risken att ett hjulpar låser sig, vilket medför att den maximala bromsförmågan inte kan utnyttjas, såvida inte varje axel övervakas av ett antilåsningssystem.

HAR VI BESVARAT RUBRIKENS FRÅGA?

Tyvärr måste vi konstatera att den lämnade framställningen och den bakomliggande litteraturen inte ger någon entydig och klar förklaring till varför bromsförmågan avtar med hastigheten. Långt mindre har minskningen med någon säkerhet kunnat kvantifieras. Härför krävs vidgade metallografiska studier av förloppet i kontaktytan samt noggrannare mätningar i full skala. Ett intensivt forskningsarbete pågår dock på ett flertal håll och man kan räkna med en betydligt större klarhet beträffande de förlopp, som utspelas i kontaktytan mellan hjul och räl.

REFERENSER

- 1 Karl Kraft, Der Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf den Haftwert zwischen Rad und Schiene, Archiv für Eisenbahntechnik, Dezember 1967. S. 58 - 78.
- 2 E. Ollerton, Stresses in the Contact Zone. Adhesion. Proc. 1963-64, Vol. 178. Part 3 E. The inst. of Mech. Eng., London, s. 161 - 171.
- 3 Rudolf Moser, Massnahmen in der elektrischen Triebfahrzeugausrüstung zur bestmöglichen Ausnützung der Adhäsion zwischen Rad und Schiene. Glasers Annalen. 92. 7/8. Juli-August 1968, S. 208 - 218.
- 4 Arnold Tross, Die Mechanismen von Reibung und Verschleiss im Lichte einer neuen, submikroskopisch und energetisch aufgebauten Festigkeitshypothese. Schmiertechnik, 13, 6, 1966, S. 327 - 338.
- 5 H.W. Lucas and A.S. Robertson, Control of Tractive Effort on Electric Traction. Adhesion. Proc. 1963-64. Vol. 178, Part 3 E. The Inst. of Mech. Eng., London, s. 60 - 74.

BILAGA 6

APT - PROJEKTET

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. HUVUDDRAG OCH TIDPLAN	6:2
2. SPÄRFRÅGOR	6:4
3. HJULUPPHÄNGNING OCH DYNAMISKA PROBLEM	6:5
4. VAGNSLUTNINGSSYSTEM FÖR KURVGÅNG	6:7
5. TRAKTIONSUTRUSTNING	6:9
6. BROMSFRÅGOR	6:9
7. ADHESIONSPROBLEM	6:9

APT-PROJEKTET

1. HUVUDDRAG OCH TIDPLAN

Vid British Railways Research Center i Derby har man sedan några år gjort omfattande studier med beräkningar och försök av möjligheten att köra fort på järnväg. Utvecklingsarbetet har resulterat i ett projekt benämnt Advanced Passenger Train (APT). Målsättningen för detta projekt är att skapa ett motorvagnståg för maximihastigheten 250 km/h med möjlighet till hög hastighet i kurvor, hög acceleration och stor komfort på befintligt spår av god standard samt spår- och fordonsslitage som blir mindre än för dagens expresståg.

Dessa egenskaper erhålles genom

- ett upphängningssystem med goda dynamiska egenskaper, som ger stabil gång utan flänskontakt
- en "sliten" hjulprofil som ger lågt hjulslitage och god styrning
- låg axellast och liten ofjädrad massa
- ett aktivt system för lutning av vagnarna i kurvor
- kombinerad hydrodynamisk broms och skivbroms, som ger lika korta bromssträckor som dagens expresståg och vid nödbromsning stannar tåget på 1 100 m
- fordon utförda i en lätt skalkonstruktion.

En modell av tåget framgår av fig. 1 och motorvagn jämte del av första och andraklassvagn visas i fig 2.

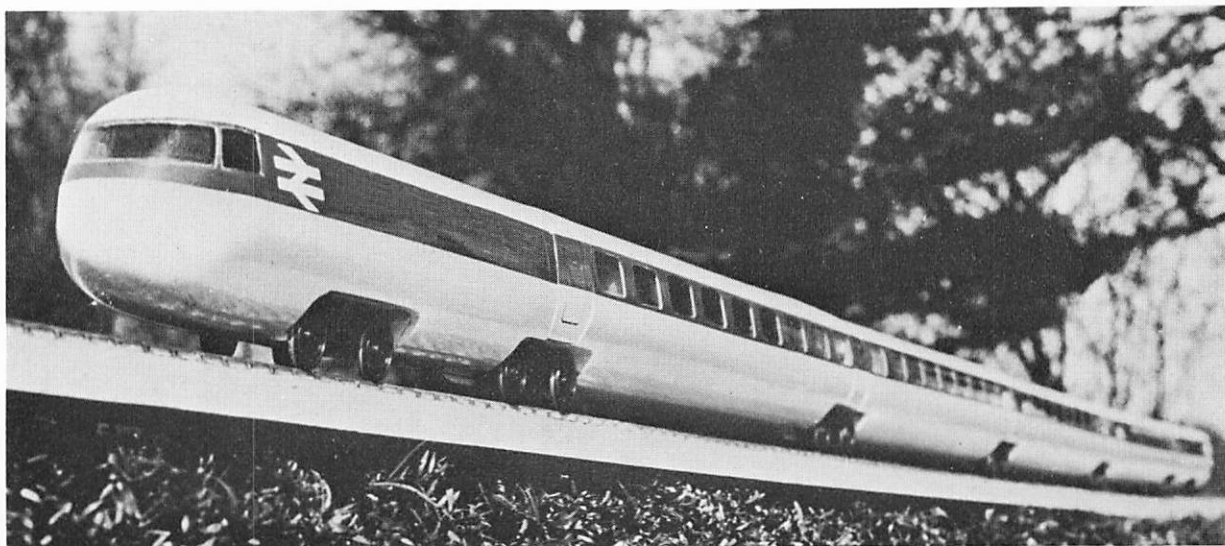
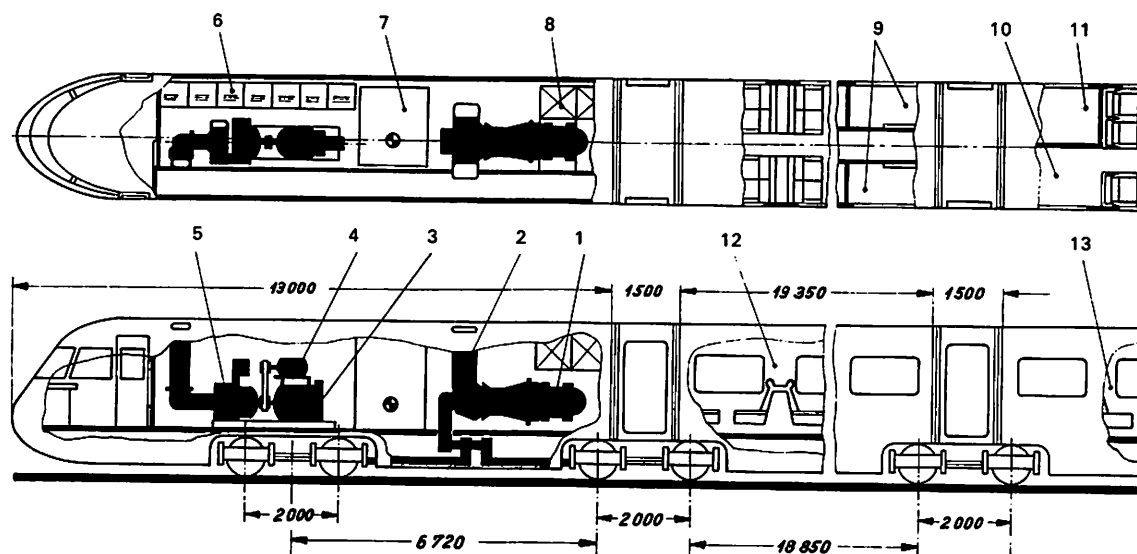


Fig 1

Modell av APT



- | | |
|--------------------|-----------------------|
| 1 = Traktionsmotor | 7 = Bränsletank |
| 2 = Utblåsning | 8 = Filter |
| 3 = Generator | 9 = Toalett |
| 4 = Kompressor | 10 = Reseffektutrymme |
| 5 = Hjälpmaskineri | 11 = Pentry |
| 6 = Batterier | 12 = 1 klass |
| | 13 = 2 klass |

Fig 2

Motorvagn jämte del av första och andraklassvagn

Man är beredd satsa ett omfattande utvecklingsarbete, då man anser att huvudorsakerna till att tidigare försök att bygga snabba tåg ofta helt eller delvis misslyckats är underskattningar av tid och kostnader, för små satsningar på grundläggande arbete och bristande förståelse för det dynamiska förloppet under körning. Sammanlagt räknar man med att under en 5-årsperiod satsa £ 5 milj, vilket inkluderar två prototypåtg. I förstone ämnar man inom två år bygga ofullständigt utrustade vagnar för dynamiska test på ett särskilt iordningställt provspår, varav två motorvagnar och två släpvagnar. De båda prototyperna beräknas vara färdiga år 1973 och full drift upptas under 1974 med möjligen upp till 20 tågsätt. Varje tåg om 8 passagerarvagnar och 2 motorvagnar beräknas kosta £ 0,5 milj. Två tåg skall kunna sammankopplas. The Ministry of Transport och British Railways finansierar gemensamt forskningsprogrammet.

Inom BR har man gjort en ekonomisk studie av snabb passagerartrafik på järnväg. En jämförelse mellan konventionella tåg på förbättrat spår och nyutvecklat på befintligt spår visade, att det senare alternativet var ekonomiskt fördelaktigast. Man kunde också visa, att ökningen i hastighet skapar nya signifikanta intäkter. Vissa data antyder, att passagerarvolymen växer kvadratisk med hastigheten, även om lokala faktorer starkt inverkar.

Särkostnaderna (kostnader för kapital, drift och underhåll) för tåg anses ej behöva bli större per platskm än för konventionella tåg. Orsaken är huvudsakligen den förbättrade utnyttjningen till följd av högre hastigheter. Man räknar dessutom med att kunna ge tåget en hög driftsäkerhet och genom ett långt drivet utbytessystem begränsa driftavbrotten huvudsakligen till nätter och söndagar. På grund av de stora fasta kostnaderna av samkostnadskarakter spelar mindre variationer i särkostnaderna liten roll, medan den väntande trafikökningen mycket gynnsamt påverkar passagerartrafikens lönsamhet.

2. SPÅRFRÅGOR

Som del i APT-projektet har utförts en kartläggning av spårets oregelbundenhet och andra faktorer på huvudlinjerna. Längs dessa har utvalts 25 delsträckor, för vilka spårets karaktäristiska detaljstuderats. Huvudintresset är att skapa ett mått på spårets ojämnhet i någon mening. För att beskriva spårets rymdkurva används de fyra spårkoordinaterna x , y , z och θ , där x är spårets koordinat i längsriktningen och y , z och θ anger spårläget i punkten x , $d v s$ skillnaden mellan den verkliga kurva som spåret beskriver i rymden och den ideala, tänkta rymdkurvan enligt fig 3.

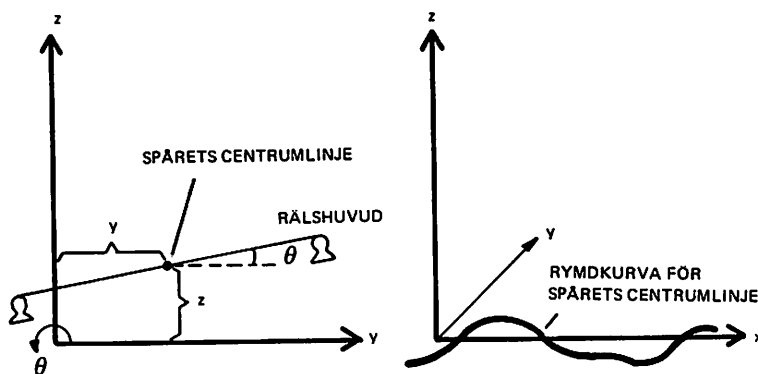


Fig 3

Koordinatsystem för beskrivning av spårets rymdkurva

$y = z = \theta = 0$ representerar således det ideala spåret. För bestämning av spårläget används en specialkonstruerad treaxlig mätvagn med avståndet 150 fot mellan de yttre axlarna. Två av axlarna är placerade endast 2,5 fot från varandra och en av dessa tjänstgör som mätaxel, för vilken uppmäts de tre avvikelserna Δy , Δz och $\Delta \theta$ hos spårkoordinaterna i förhållande till den referensram som bildas av de båda övriga axlarna. Mätningarna utförs som regel på ett spår belastat med 12 tons axellast. De tre avvikelserna registreras ej kontinuerligt utan uppmäts och stansas på hållremsa i punkter med inbördes avstånd 2,5 fot (snabb mätning) eller 1,25 fot (långsam mätning) längs spåret. Ur dessa observationer skulle kunna utföras en rekonstruktion av spårlägets rymdkurva. Normalt görs dock ingen sådan rekonstruktion utan i stället genomförs direkt en spektralanalys av den tidsserie som var och en av de tre datamängderna representerar. Därvid erhålles ett effektspektrum, som sedan används för att generera den stokastiska insignalen till dynamiska modeller av olika upphängningssystem.

I viss utsträckning har även framtagits effektspektra för produkten av två av de tre variablerna, y , z och θ . Resultaten antyder att dessa korskorrelationsfrekvenser har liten betydelse.

Spektralanalysmetoden anses vara den bästa när spårregelbundenheterna uppträder slumpmässigt, d v s i första hand på helsvetsat rakspår. Vid skenskarvar uppträder karaktäristiska nedböjningar, varför en skarv kan betraktas som en isolerad oregelbundenhet. I en separat engelsk undersökning uppmättes dessa nedböjningar längs sträckor med skenskarvar, vilket gav ett histogram över den statistiska frekvensen av nedböjningar av viss storlek. Som typiskt värde kan nämnas att en nedböjning överstigande 0,8 tum (2 cm), mätt över en spännvidd av 20 fot, förekommer några gånger per hundra engelska mil.

I kartläggningen av huvudlinjerna ingår också räkning av antalet kurvor med olika radier och kontroll av deras rälsförhöjningar samt en mera detaljerad analys av övergångskurvornas längd och form. För att veta vilka variationer i effektiv hjulkonicitet som APT-tåget måste dimensioneras för uppmätes även variationerna i spårvidd och rälsprofil.

3. HJULUPPHÄNGNING OCH DYNAMISKA PROBLEM

Man lägger största vikt vid de fordonsdynamiska problemen och en stor kvalificerad forskargrupp har därför i flera år arbetat med stabilitet, uppträdande vid kurvgång och reaktioner från oregelbundenheter i spåret.

Studier av olika utformningar av boggier ledde så småningom till att boggin övergavs och man började i stället intressera sig för enkelaxlar. Den speciella konfiguration, som valts för APT kan sägas vara en kombination av båda. Den har boggins alla fördelar ifråga om uppträdande under kurvgång med flänskontakt men också enkelaxelns fördelar avseende stabilitet. Axlarna är bortsett från vissa förbindningar helt fria i förhållande till varandra. Den första av främre motorvagnens tre axlar styr i princip återstoden av tåget. Den tänks i första hand odriven även om som alternativ skymtat ett system med hydraulisk transmission, där en viss del av dragkraften läggs på denna axel. Motorvagnens båda främre axlar har exakt samma upphängningssystem som övriga axelpar.

I huvudsak möjliggöres stabil gång av stelheten i upphängningen av axlarna. Ett önskemål är att utforma upphängningssystemet så, att hjulparens sidoflyttningar blir små och ligger inom de marginaler som bestämmes av flänsarna. Man har utvecklat en teori, som visar att med rimliga värden på hjulens effektiva konicitet, (definition, se sid 81) är det möjligt att erhålla en sådan stabil gång utan flänskontakt.

Höga kritiska hastigheter kan erhållas genom att öka stelheten i upphängningen, vilket emellertid inte rimmar med önskemålen om goda kurvegenskaper. Stelheten i en boggi anses i allmänhet vara för stor. Genom att för en tvåaxlig vagn välja lämpligt värde på stelheten i axelupphängningen i längsriktningen och övriga parametrar, kan man erhålla ett sambandenligt fig 4.

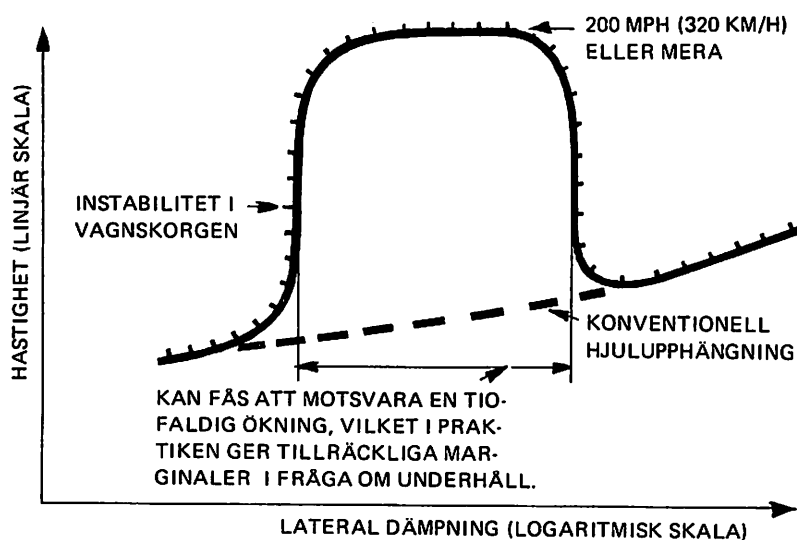


Fig 4

Principiellt samband mellan lateral dämpning och hastighet för ett fordon av APT-typ

En tvåaxlig vagn med de egenskaper diagrammet återger anses vara överlägsen den boggiförsedda vagnen. Ett alternativ skulle vara att utforma boggin själv i enlighet med de nya principerna för tvåaxliga vagnar och sedan använda en mycket lös koppling mellan vagnskorgen och boggierna. Detta alternativ har dock övergivits, därför att boggierna skulle ha blivit alltför tunga.

En ökad vagnslängd betyder bättre stabilitet. Samtidigt uppstår emellertid bl a viktsproblem, eftersom det är nödvändigt att vagnskorgen göres mycket stel, särskilt i lateral led.

Eftersom hjulens effektiva konicitet är en viktig parameter i den dynamiska modell man arbetar med, är det viktigt att den effektiva koniciteten inte ändras på en vagn som varit i drift under viss tid. Engelsmännen utgår därför från den genom slitage naturligt uppkomna profilen. Man har genom talrika mätningar funnit att denna tenderar att få samma utseende för hela vagnparken men dock varierar svagt mellan olika länder.

Strävan att hålla den effektiva koniciteten vid ett fixerat värde omöjliggöres genom de variationer i spårvidd som förekommer längs banan och som förändrar den effektiva koniciteten. Hjulupphängningen måste därför utformas så, att stabilitet erhålles för ett intervall av värden på den effektiva koniciteten. En rak profil med konicitet i området 1:20 till 1:40 skulle ej ge tillräckligt stort återförande moment, vilket emellertid uppnås med den krökta profil, som det slitna hjulet har. Man räknar med att en hjulupphängning baserad på dessa principer klarar kurvor med radier ner till ca 650 m utan flänskontakt. I skarpare kurvor övertas styrningen av flänsarna, och den yttre hjulflänsen kvarstår i kontakt med rälen genom hela kurvan.

Grundläggande förutsättning för APT-tåget var som nämnts att det ej fick orsaka ett ökat banunderhåll. Ökade hastigheter ger ökade belastningar som växer minst proportionellt med hastigheten och ibland snabbare. Tåget utformas därför med lägsta möjliga ofjädrade vikt - 800 kg per hjulpar är övre gräns. Högsta axellast för någon axel blir 11 ton. Detta anses utgöra garanti för att påfrestningarna på spåret vid 150 mph ej blir större än från ett vanligt lokomotiv vid 100 mph. För hjuldiametern har man gått ned till 750 mm.

4. VAGNSLUTNINGSSYSTEM FÖR KURVGÅNG

Ett aktivt pendelsystem för vagnskorgen har valts av flera orsaker, främst därför att ett passivt system skulle kräva en alltför drastisk beskärning av vagnskorgens dimensioner med hänsyn till lastprofilen. Ett aktivt system kan ges bättre prestanda i övergångskurvor genom att man mera fritt förfogar över olika parametervärden. Likaså blir tyngdpunktens läge av mindre

betydelse, vilket ger en friare utformning av vagnskorgens konstruktion. Systemet är hydrauliskt och är ett proportionellt system med avkänning av lateral acceleration separat för varje vagn. En gemensam insignal skulle ge olämpliga hopfasningar mellan vagnskorgens egenrörelse och reglersystemet, eftersom vagnarna är tämligen fritt rörliga i förhållande till varandra. Vissa former av instabilitet måste ändå tas hänsyn till. Önskvärt är ett förhållandevis snabbt stegsvar med minsta möjliga översläng. Regleringssystemet betraktas ej som tekniskt avancerat och prestandakraven är lägre än dem som gäller för många flygplanssystem. 0,08 g är den max. sidaccelerationen en passagerare skall få utsättas för. Tåget är väsentligt lägre än ett konventionellt tåg (ca 1 fots skillnad). Fig. 5 och 6 visar i princip vagnskorg och lutningsdon.

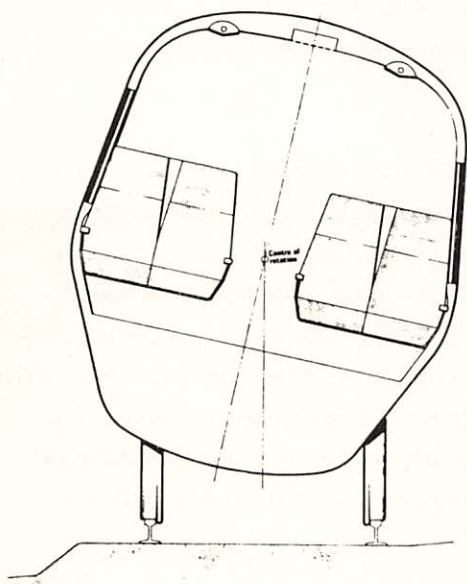


Fig 5
Sektion genom vagnskorg

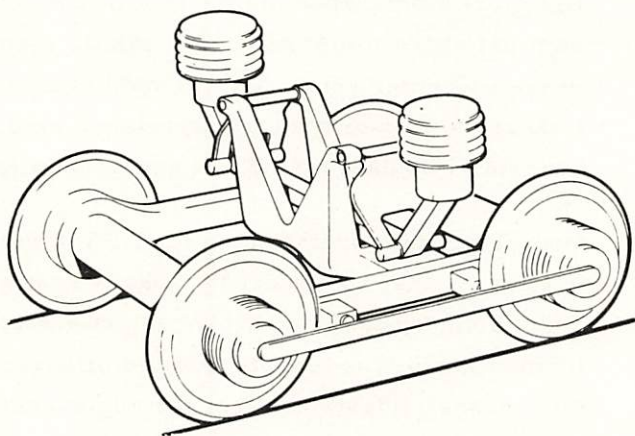


Fig 6
Boggi utrustad med vagnslutningsanordning

Beträffande övergångskurvor accepteras den situation som råder, vilket i vissa fall betyder att övergångskurvan begränsar hastigheten i kurvan. Den största lutningsvinkel som avses användas är 9° även om systemet konstrueras för max. 12° . Användning av större vinklar än 9° skulle dels medföra att övergångskurvorna bleve dimensionerande i ett större antal fall, dels medföra att adhesionen ej alltid räckte för gång genom kurvor utan flänskontakt. Vinkeln 9° kräver en friktionskoefficient av ca $\mu = 0,2$. Ur säkerhetssynpunkt får ingen urspåringsrisk föreligga även om pendelsystemet skulle upphöra att fungera.

5. TRAKTIONSUTRUSTNING

En betydelsefull ekonomisk faktor är ett högt värde på kvoten mellan effekt och vikt, vilket lättast nås genom användning av lätta vagnskonstruktioner. En skalkonstruktionsprincip likartad flygets avses tillämpas. Rolls Royce DART gasturbin torde ej längre vara aktuell. Ett antal gasturbiner och lätta dieslar för lastbilar (Leyland-Ford-GM) i effektområdet 350 - 400 hk befinner sig under utveckling. Dessa väntas bli både billigare och bränslesnålare än nuvarande motorer och kan därför innebära en billigare lösning av framdrivningsproblemet. Fyra av dessa avses användas i varje ändvagn av tåget, vilket betyder två motorer per driven axel och sammanlagt ca 3000 hk i tåget. Det stora antalet motorer beräknas ge hög driftsäkerhet, då bortfall av någon motor endast obetydligt påverkar tågets prestanda. Tidtabellerna kommer att läggas så att tåget klarar dessa med endast tre motorer per motorvagn i drift. En eldriven version av tåget kommer också att utvecklas för användning på det elektrifierade linjenätet. Ingen av de båda framdrivningsmetoderna tros komma att bjuda några allvarliga tekniska problem.

6. BROMSFRÅGOR

Hydrokinetiska bromsar avses användas för APT-tåget med insprutning av vatten, som kan förvaras och kylas på vagnskorgen, vilket ger viktbesparingar. De kan dock endast användas ned till en viss hastighet, under vilken vanliga friktionsbromsar övertar bromsarbetet. Det dubbla bromssystemet gör att signalavstånden kan utnyttjas effektivare. Hjulåsningssdetektering kommer att användas. Största retardation i normal drift kommer att vara 0,15 g, vilket dock ej är termiskt betingat utan valts med hänsyn till passagerarnas bekvämlighet. Vid en avsevärd ökning av retardationen måste även påfrestningarna i spåret beaktas. Vid nödbromsning räknar man med 0,3 g.

7. ADHESIONSPROBLEM

De höga hastigheterna fordrar god adhesion för såväl framdrivning som bromsning. Helt självklart har man därför ägnat detta problem ingående studium. Vid mätningar har det visat sig svårt att finna platser med låg adhesion. Mätningarna har mestadels givit $\mu = 0,2 - 0,25$.

$\mu = 0,28$ är det lägsta värde som uppmäts på ett spår helt fritt från oljeföroreningar. Londondistriktet vid BR prövar för närvarande en metod att bespruta flänsarna med en smal oljestråle i syfte att minska flänsslitage och på de sträckor där sådana tåg framföres och olja således lätt hamnar även på rälsens översida, sjunker adhesionen ofta under $\mu = 0,2$. Parallellt härmed drivs program för att avolja lokomotiv med användning av detergenter. Det är ej möjligt att redovisa fördelningar av adhesionsnivån längs linjerna förrän mera omfattande mätningar utförts. Av intresse är naturligtvis över

hur långa sträckor nedsättningar av adhesionen förekommer, om vilket man ingenting vet. Man anser ändock att läget är ganska tillfredsställande. Dock undersöks olika metoder att förbättra adhesionen.

Av speciellt intresse är den vid BR utvecklade plasmafacklan (plasma torch). Den består av en elektrisk ljusbåge i en gas som under tryck blåses mot rälshuvudet och ger upphov till en flamma med en temperatur överstigande $10\,000^{\circ}\text{C}$. Facklan monteras på en vagn som köres längs spåret. Facklan måste naturligtvis släckas så fort vagnen stannats, eljest smältes rälen ner. En fackla täcker en bredd av 0,75 cm och eftersom det är önskvärt att behandla en ca 3 cm bred remsa längs rälshuvudet, skulle krävas 4 sinsemellan sidoförskjutna facklor för vardera rälen. För att prövas två förskjutna facklor. Effektbehovet är 20 kW per fackla vid 10 mph, som är den högsta hastighet som hittills uppnåtts. Goda resultat har erhållits vid 5 mph. Effektbehovet tenderar öka med roten ur hastigheten. Behandlingsresultatet förefaller enligt laboratorieprov ha livslängden av ca 24 tim. Det kvarstår i det närmaste oförändrat 2-3 timmar och trappar sedan successivt av. I första hand tänker man sig köra med specialtåg kanske en eller två gånger om dagen i stället för att förse varje tåg med plasmafackla. För att spara effekt övervägs att pröva fotocellstyrning av facklan, som då endast skulle behandla mörkare partier av den avsökta ytan.

Den engelska ansatsen att skapa ett tåg för höga hastigheter är mycket lovande. Studier av dynamiska modeller i datamaskin tillsammans med praktiska prov har givit en god teoretisk grund för det fortsatta arbetet. Hittills har rullningsprov utförts för en vagn, men laboratoriet byggs nu ut för att klara APT-utvecklingen med bl a en provbänk, som kan klara minst två APT-vagnar.