

# KÖRNING OCH BROMSNING AV SPÅRVAGNAR.

Föredrag av verkstadsingenjör *F. Karlson*,  
AB Stockholms Spårvägar.

Spårvagnarnas uppgift har alltsedan deras tillkomst varit att bereda den stora allmänheten ett snabbt, säkert och billigt trafikmedel. I och med utvecklingen av de konkurrerande trafikmedlen, bussar och bilar, ha även kraven på spårvagnarna ökat i hög grad. Dels måste de tillgodose passagerarnas krav på snabba och bekväma resor och dels måste deras hastighet smidigt kunna anpassas efter den omgivande gatutrafiken.

I båda fallen är igångsättnings- och bromsningsegenskaperna av stor betydelse. Med hänsyn till de resandes välbefinnande och till vagnmaterielens bestånd är det icke endast accelerationens och retardationens storlek, som är utslagsgivande, utan även hur start- och bromsförloppen inledas och avslutas. Enligt utomlands utförda försök kan en acceleration eller retardation av upp till  $2 \text{ m/sek}^2$  fördragas även av stående passagerare, under förutsättning att variationerna i accelerationen respektive retardationen äro tillräckligt små.

Vid spårvagnsdrift med tågsätt bestående av en motorvagn och en släpvagn torde accelerationen vid mindre gott väglag med hänsyn till adhesionen mellan motorvagnens hjul och rälsen knappast kunna överstiga  $1 \text{ m/sek}^2$ . Vid ensamgående motorvagnar som t. ex. den amerikanska PCC-vagnen har man använt sig av en acceleration av ca  $2 \text{ m/sek}^2$ . Bild 1 visar de karakteristiska kurvorna för en tänkt idealisk igångsättning.

För att få en uppfattning om det största värde accelerationen får ha i första startögonblicket, för att den icke skall uppfattas som ett ryck, ha vi gjort några försök vid Stockholms Spårvägar, varvid vi kommo till den uppfattningen, att accelerationen icke bör överstiga  $0,35\text{--}0,40 \text{ m/sek}^2$ . Den bör sedan så snabbt som möjligt men utan ryck ökas till det lämpliga maximivärdet. Om ökningen sker stegvis, vilket ju är det vanligaste, bör denna icke överstiga det nyssnämnda värdet  $0,4 \text{ m/sek}^2$  pr kontrollersteg eller i medeltal  $1 \text{ m/sek}^3$ . Accelerationen bör därefter hållas så konstant som möjligt, d. v. s. så länge motordragkraften tillåter, för att sedan sjunka i proportion till motorernas dragkraftskaraktistik.

Igångsättningen sker ju i regel på så sätt, att motorerna anslutas till kontaktledningsspänningen i serie med ett motstånd, som bestämmer motorströmmens storlek. I den mån hastigheten stiger, sjunker

motorströmmen, men återföres till lämpligt värde genom urkoppling av en del av motståndet. Motorströmmen blir därför aldrig fullt konstant under pådragsperioden utan varierar inom vissa gränser, vilkas avstånd är beroende av antalet motståndssteg.

Med äldre kontrollerutrustningar, där antalet motståndssteg är t. ex. 9, bli strömvariationerna ganska stora och således medelvärdet avsevärt lägre än toppvärdet. I sådana fall torde det knappast vara möjligt att vid släpvagnsdrift uppnå högre medelacceleration än 0,5—0,8 m/sek<sup>2</sup>. Man har icke heller råd att kosta på några regleringssteg för själva inledningen, utan accelerationen får vanligen direkt anta ett värde av 1 m/sek<sup>2</sup>, ibland t. o. m. något mera. Ju större antal regleringssteg man väljer t. ex. genom införande av flerstegskontroller med ca 20 steg eller kommutatorreglering med 50 steg eller mera, desto närmare kommer man den idealiska starten. Härvid förutsättes att manövreringen av pådraget sker på rätt sätt. Vid de hittills mest använda utrustningarna är man i detta avseende helt beroende av förarens skicklighet. Vid tunnelbanor med från start till start likartade yttre driftförhållanden kan med fördel pådraget göras helt automatiskt. Vid spårvagnar för gatutrafik, där hänsyn måste tagas såväl till den övriga gatutrafiken som till de växlande adhesions- och lutningsförhållandena, måste det däremot kunna överlåtas åt förarens omdöme att bestämma startförloppet. För att emellertid möjliggöra en snabb igångsättning utan risk för slirning eller häftiga ryck och oberoende av förarens skicklighet synes det vara en god lösning, att låta startförloppet ske med automatiskt begränsad hastighet i en takt, som motsvarar de gynnsammaste startförhållandena. Om så erfordras, bör vid start i stigningar eller med tungt tåg uppkopplingshastigheten automatiskt minskas genom inverkan av den större motorströmmen. Den automatiska övervakningen av startförloppet träder i funktion, endast om föraren försöker starta för hastigt. Vid långsammare vridning på kontrollerveven bör uppkopplingen däremot ske i exakt samma takt, som veven flyttas, varigenom föraren har fullständig frihet att avpassa körningen efter de yttre trafikförhållandena. Frånslagning av motorströmmen bör likaså ske direkt genom återförande av kontrollerhandtaget till noll-läget utan fördröjning eller förmedling av någon särskild apparatur.

För att närmare belysa accelerationens betydelse återger bild 2 två färdiagram, det ena med en genomsnittlig begynnelseacceleration av 1 m/sek<sup>2</sup>, det andra med 0,5 m/sek<sup>2</sup>. Tågsättet består i båda fallen av motorvagn och släpvagn, som fullsatta tillsammans väga 47 ton. Motorvagnen, som väger 27 ton inkl. last, har 4 motorer à 60 kW timeffekt. Hållplatsavståndet förutsättes vara 400 m och motorströmmen antages tillkopplad ända tills bromsningen börjar. Bromsretardationen är i båda fallen förutsatt vara 1,5 m/sek<sup>2</sup>. På bilden har även inlagts den från nätet uttagna strömstyrkan. Det har vidare

förutsatts att motorerna varit fördelade i 2 grupper, som vid starten först seriekopplats sedan parallellkopplats.

Genom planimetrering av strömkurvorna finner man, att energiförbrukningen i första fallet är 2,6 kWh mot 2,5 kWh i det senare under det körtiden är 45 sek resp. 51 sek.

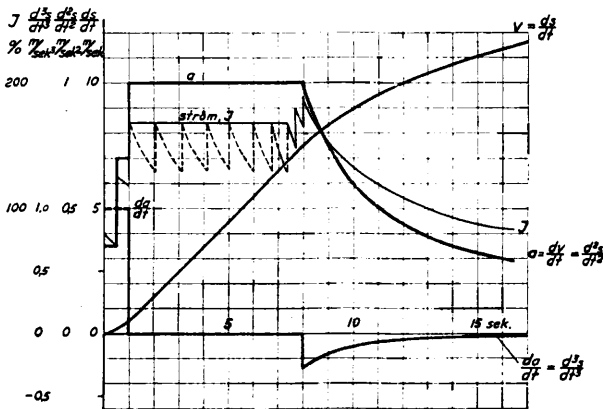


Bild 1. Kurvor för en idealisk start.

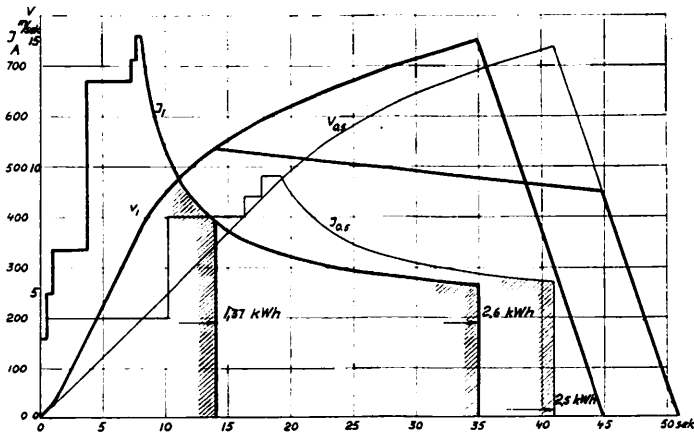


Bild 2. Färdiagram med olika startacceleration (1 resp. 0,5 m/sek<sup>2</sup>).

Fördelen av den högre accelerationen med hänsyn till tidsvinsten är således påtaglig. Någon större ökning av strömförbrukningen har den ej medfört.

Om vid ett annat tillfälle tidsvinsten är av underordnad betydelse, bör i alla fall den högre accelerationen utnyttjas för att snabbt få upp tåget i hastighet, varefter motorströmmen brytes, och tåget får löpa ut så länge som möjligt, varefter bromsning sker. I detta fall

blir vid samma körtid som i fall 2 — 51 sek — energiförbrukningen endast 1,4 kWh samtidigt som bromsar och motorer sparas. Maximihastigheten och tågets levande kraft bli mindre, vilket ju är en fördel ur säkerhetssynpunkt. I verkligheten bli ju förhållandena ej så enkla som nyss skiserats. Även om kostnaden för energiförbrukningen är av underordnad betydelse, bör dock vid utbildningen av förare nyssberörda synpunkt framhållas, så att den högre accelerationens fördelar i möjligaste mån utnyttjas. Det bör dock även framhållas, att ehuru energiförbrukningen blir mindre vid ökad acceleration, blir toppeffekten större. Detta är av en viss betydelse med hänsyn till matningen på en viss linjesektion, om efter ett strömavbrott flera tåg på sektionen starta samtidigt.

För att få ett stickprov på hur olika körsätt i praktiken påverka körtid och strömförbrukning kördes samma sträcka, Sundbybergsgränsen—Haga Södra, och åter två gånger, varvid föraren ena gången skulle köra ordinärt och andra gången så fort som möjligt. Vid provet användes en ensam 2-axlig motorvagn. Hela sträckan är 8 480 m och uppehåll gjordes sammanlagt 17 gånger pr tur. Efter frånräkning av tiden för uppehållen utgjorde den verkliga körtiden i första fallet 19 min. 48 sek. i senare fallet 16 min. 49 sek. Energiförbrukningen var i första fallet 10,4 kWh, i senare fallet 12 kWh. Mot en tidsvinst av 15 % svarade således en energiförlust av 15,4 %.

Bild 3 visar erhållna kördiagram för ett och samma hållplatsavstånd under båda dessa turer, varav framgår, att såväl medelaccelerationen som medelhastigheten varit betydligt lägre vid den s. k. normala körningen, ehuru begynnelseaccelerationen och topphastigheten i båda fallen varit lika.

Om den större accelerationen utnyttjats helt även vid den normala körningen, vilket mycket väl kunnat ske utan risk för beskyllning för vårdslös framfart, och om en längre utlöpningstid använts, hade säkerligen strömförbrukningen blivit mindre, utan att körtiden hade behövt bli längre.

I likhet med en hög acceleration vid igångsättningen bidrar även en kraftig retardation vid bromsningen till att förkorta körtiden. Ju kraftigare retardationen är, desto längre sträcka kan man hålla hög hastighet. Förutsättningen, för att man skall kunna helt utnyttja detta förhållande, är då givetvis, att bromsen är absolut tillförlitlig. Då någon sådan broms knappast torde existera, måste man ur säkerhetssynpunkt ha dels en reservbroms och dels en säkerhetsmarginal på bromssträckan för oförutsedda förändringar i väglaget t. ex. olja eller löv på rälsen.

Reservbromsen bör helst vara effektivare än den vanliga driftbromsen, om man skall kunna påräkna att stanna i närheten av den avsedda platsen, ifall driftbromsen skulle mankera.

Det kan vara av intresse att undersöka, i vad mån några av de hittills mest använda bromssystemen motsvara detta önskemål.

Den vanligaste driftbromsen på spårvagnar torde vara den elektriska motståndsbromsen, där motorvagnarna bromsas medelst motorerna arbetande som självmagnetiserade seriegeneratorer, under det

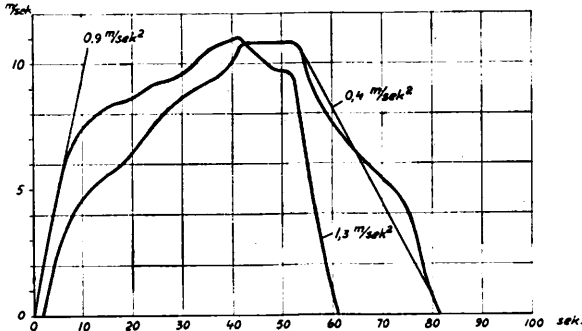


Bild 3. I drift registrerade färdiagram för ett och samma hållplatsavstånd vid ensamgående motorvagn under normal resp. starkt forcerad körning.

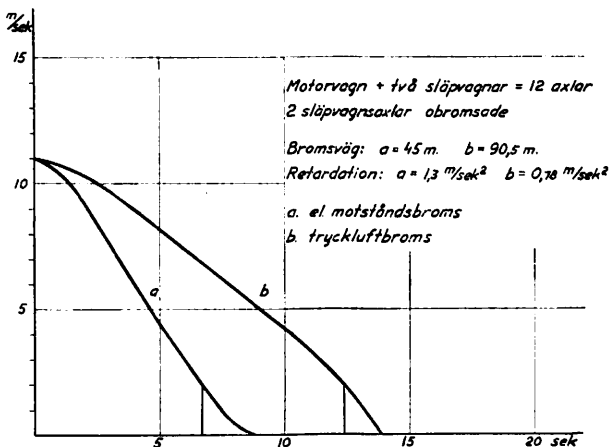


Bild 4. I drift registrerade bromsförlopp vid elektrisk motståndsbroms resp. tryckluftbroms.

att eventuella släpvagnar bromsas med elektromagnetiska skivbromsar eller solenoidmanövrerade tång- eller klotsbromsar. Den elektriska bromsen ger vid hastigheter över ca 5 km/tim och skickligt handhavande från förarens sida den största bromsverkan, som över huvud taget kan begäras av en broms, vilken ytterst är beroende av adhesionen mellan hjul och skena. Vid hastigheter under 5 km/tim sjunker dess bromsverkan hastigt till noll, varför den ej kan bringa tåget till

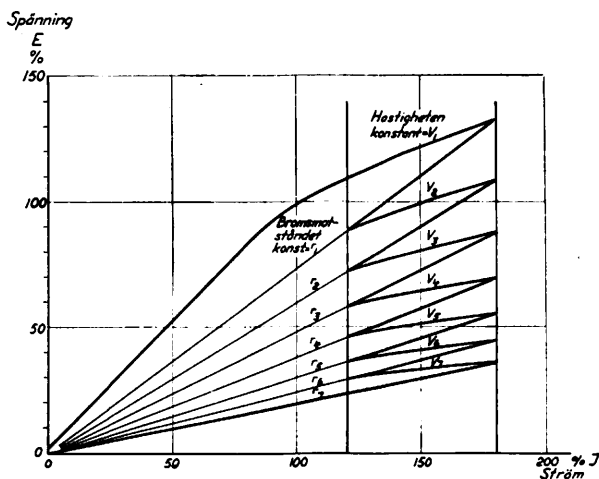
fullständigt stillastående och ej heller kvarhålla tåget i en lutning. Den måste därför alltid kompletteras med en annan broms, vanligen en rent handmanövrerad broms eller tryckluftbroms.

Handbromsen är enkel till sin konstruktion och därigenom driftsäker, men har den olägenheten att den endast verkar på motorvagnen. Dess effektivitet blir därför vid släpvagnsdrift betydligt underlägsen den elektriska bromsen, som verkar på samtliga axlar i tåget. Därtill kommer att handbromsen för sin ansättning behöver relativt lång tid och ganska stor kroppslig ansträngning från förarens sida. Vanligen behöva därvid båda händerna användas, varför det ofta är svårt att samtidigt verkställa sandning.

På grund av handbromsens ofullkomlighet kan man ej helt utnyttja den elektriska bromsens effektivitet, utan man måste i stället avpassa körningen så, att man kan beräkna ha tåget i sin hand, även om den elektriska bromsen skulle strejka. Detta medför stränga föreskrifter om hastighetsbegränsning i alla större lutningar, vilket innebär, att lutningarna utgöra ett av de största hindren för en hög resehastighet.

Tryckluftbromsen är betydligt effektivare än handbromsen, genom att den verkar på samtliga hjul i tåget. Ansättningen sker utan ansträngning med ett enkelt handgrepp, och samtidigt kan sandning ske med hjälp av tryckluften. På grund av risk för fastlåsning av hjulen med åtföljande plattslitning kan dock tryckluftbromsen icke göras lika effektiv som den elektriska motståndsbromsen, enär bromskraften måste begränsas till ett värde, som svarar mot adhesionen vid tom vagn. Med den elektriska bromsen kunna däremot aldrig motorvagnshjulen låsas helt fast. Vid alltför kraftig bromsning kan visserligen slirning inträffa, men då sjunker genast motormomentet, och ett visst mellanstillstånd mellan rullning och glidning inställer sig. Vid elektrisk bromsning av släpvagnarna förefinnes däremot en viss risk för låsning av hjulen. Genom att den elektriska bromskraften på släpvagnarna är indirekt beroende av adhesionsförhållandena på motorvagnen, regleras dock även släpvagnsbromsen i viss mån automatiskt. Säkerhetsmarginalen för slirning kan därför göras mindre. Man bör endast se till, att släpvagnsbromsarna bli justerade, så att slirning inträffar något tidigare på motorvagnen än på släpvagnarna. Bild 4 visar resultatet av utförda bromsprov dels med elektrisk motståndsbroms, dels med tryckluftbroms på ett tågsätt bestående av motorvagn och två släpvagnar. Bromsvägen blev i förra fallet 45 m i senare fallet 90 m. Begynnelsehastigheten var i båda fallen ca 40 km/tim. Vid lägre begynnelshastigheter blir skillnaden i bromsväg mindre och vid ca 7 km/tim bli bromsvägarna lika eller ca 1,5 m. Då tryckluftbroms användes, måste denna lossas något mot slutet av bromsningen, enär eljest ett kraftigt ryck uppstår i själva stoppgonblicket.

Om man använder sig av tryckluftbromsen som driftbroms och nöjer sig med den retardation,  $0,7-0,8 \text{ m/sek}^2$ , som denna broms kan ge, samt vid sidan därav använder den elektriska bromsen som re-



Bld 5. Seriergeneratorkaraktistik vid elektrisk motståndsbroms.

#### Bromskurvor

1. 40% magnetisering  $R_y 1,115 \text{ s/motor}$
2. 70% " " " "
3. 100% magnetisering  $R_y 1,115 \text{ s/motor}$
4. " " "  $0,485 \text{ "}$

Timeffekt: 68kW, 930 2340 r/m, 700/2V, 220 A

Hjuldiameter: 700 mm.

Utväxling: 1:4,38

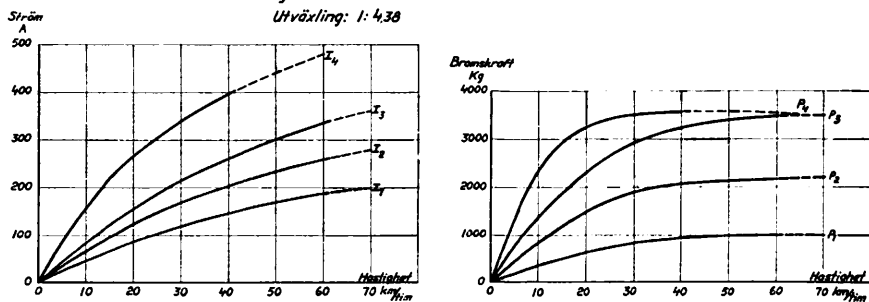


Bild 6. Bromskurvor för motorvagn med fyra separatmagnetiserade motorer med motverkande serielindning.

servbroms t. ex. vid uppdykande hinder, torde man ha ett bromssystem, som är tillfredsställande ur säkerhetssynpunkt. Däremot torde ett sådant system knappast vara tillräckligt för att tillfredsställa nutida fordringar ifråga om hög resehastighet och god anpassning till övrig gatutrafik.

Då någon möjlighet att öka adhesionen mellan hjul och skena

knappast finnes, återstår endast att använda den elektriska bromsen som driftbroms, vilken vid lämpligt utförande torde kunna ge en retardation av ca  $1,5 \text{ m/sek}^2$ , samt att anordna en reservbroms, som ger minst samma bromsverkan. Som reservbroms kan lämpligen användas tryckluftbroms eller annan därmed likvärdig mekanisk broms tillsammans med elektromagnetiska skenbromsar, vilka böra matas från accumulatorbatterier i varje vagn.

Vid den hittills mest använda elektriska motståndsbromsen arbeta motorerna som rena seriegeneratorer. Som framgår av bild 5 är bromsmomentet starkt beroende av såväl tågastigheten som belastningsmotståndets storlek. Det fordras därför en viss skicklighet av föraren att avpassa motståndet efter hastigheten, så att den eftersträvade bromseffekten erhålles.

Likaväl som man eftersträvar att göra igångsättningen i viss mån oberoende av förarens skicklighet, vore det önskvärt att kunna göra bromsningen automatiskt reglerad. De nyssnämnda egenskaperna hos seriegeneratoren göra det emellertid svårt att åstadkomma en enkel automatisk anordning. Förser man däremot motorerna med en separatmatad fältlindning och en svag motverkande serielindning, erhålles för varje värde på belastningsmotståndet och separatmagnetiseringen ett tämligen konstant bromsmoment inom en stor del av hastighetsområdet. De karakteristiska kurvorna framgå av bild 6. Även med ett ganska litet antal regleringssteg kan föraren alltid lätt välja ut ett, som passar med hänsyn till de yttre förhållandena. Någon risk för att bromsströmmen skall åka upp i ett för högt värde på grund av en oförsiktig manöver föreligger icke. Denna konstanta bromsverkan erhålles emellertid endast på motorvagnen under det att släpvagnsbromsarna, som matas av motorströmmen, i likhet med denna få en starkt fallande karakteristik.

Man kan med denna utföringsform av den elektriska bromsen icke påräkna samma effektivitet och samma konstanta retardation, som då man har motorerna arbetande som seriegeneratorer. Redan då hastigheten gått ned till 20 km/tim är bromsverkan ungefär lika med den mekaniska bromsens, varför denna då bör tillsättas. Härvid bör den elektriska bromsen urkopplas, för att icke deras sammanlagda moment skall bli så stort att hjulen låsas.

Beträffande anordnandet av spårvagnarnas manöverorgan kan generellt sägas, att dessa böra utföras och placeras så, att manövringsättet blir så naturligt och bekvämt som möjligt. Om såsom vanligt igångsättning och driftsbromsning sker medelst samma kontrollerhandtag genom vridning åt olika håll, bör reservbromsen manövreras med ett särskilt handtag. Så snart detta handtag användes, bör motorströmmen brytas, varigenom under alla förhållanden bromsning erhålles, om t. ex. föraren i en kritisk situation skulle föra kontrollerveven på fart i stället för broms.

För att erhålla de eftersträfvade värdena på acceleration och retardation är det nödvändigt att vid slirigt väglag tillgripa sandning. Denna bör kunna ske vid normal körning och bromsning framför tågsättets främsta hjulpar med ett särskilt handtag eller pedal. Vid nödbromsning bör sandning ske framför varje boggie i hela tågsättet medelst reservbromshandtaget, så snart detta ställes i nödbromsläge.

Beträffande själva körningens utförande, kan sammanfattningsvis följande framhållas.

1) Igångsättning och bromsning bör ske så snabbt som möjligt med lämplig inledning och avslutning.

2) Bromsning bör dock inledas i så god tid, att betryggande marginal i bromsväg står till förfogande om slirningsrisk förefinnes.

3) Största möjliga utlöppningstid bör användas i de fall, då körtiden medger detta.

4) Upptäckes ett hinder i trafiken, t. ex. ett framförvarande tåg vid en hållplats, bör hastigheten nedbringas i god tid genom utlöppning eller måttlig bromsning. Hindret hinner då kanske avlägsnas, innan man kommer dit, och ett onödigt stopp undviks, varigenom ström och tid sparas.

Beaktandet av de anförda synpunkterna i fråga om vagnarnas start- och bromsanordningar samt förarnas utbildning är ett viktigt led i strävandena att åstadkomma snabba, säkra och billiga spårvägsresor.

---