

Kan loktåg användas i lokaltrafik?

Tomas Larsson

-e:/Järnväg/Motorvagnståg-

Innehållsförteckning

Inledning	3
SJ	3
Tunga motorvagnståg	4
Lätta motorvagnståg	9
Kan loktåg ersätta motorvagnståg?	10
Beräkning av medelhastighet	12
Maximal dragkraft	12
Gångmotstånd	13
Maximal driftbroms	15
Sammanfattning acceleration och inbromsning	15
Komfortkrav	15
Slutsats	17

Kan loktåg användas i lokaltågstrafik?



Bild 1 Ett elektriskt allround- lokomotiv av typen Rc vid Nyköpings centralstation. Artikeln visar att konventionella loktåg även är lämpliga för lokaltågstrafik. De främsta fördelarna med loktåg är betydligt lägre investeringskostnader samt ökad kollisionssäkerhet. Lokomotivet väger cirka 78 ton men kan barlastas till 90 ton, vilket ökar den maximala dragkraften. Ett barlastat lokomotiv lämpar sig även för lokaltågstrafik.
Foto: Författaren, Nyköping, juli 2005

Inledning

Sedan decennier används motorvagnståg för lokal- och regionaltågstrafik i vårt land. Motorvagnar har flera fördelar jämfört med loktåg och generellt kan nämnas lägre axellast samt snabbare acceleration. Den främsta nackdelen med motorvagnståg är högre totalkostnader då den spridda drivutrustningen är dyra i inköp och underhåll. För några år till exempel beställde SJ en ny serie regionaltåg (littera X4) där varje motorvagn i genomsnitt väger cirka 60 ton. Under 2001 beställde SJ ännu en serie regionaltåg (littera X40) med en tomvikt på hela 70 ton per motorvagn. Varje X40- vagn kostade i genomsnitt över 22 mkr (prisnivå 2000).

Även kollisionssäkerheten är sämre då lokets deformationszon saknas. Ett annat problem som uppmärksammas allt mer är de kraftiga magnetfält som passagerarna utsätts för i inne i elektriska dragfordon (motorvagnar).

I denna artikel skall vi studera möjligheterna att i vissa fall använda loktåg istället för motorvagnståg i lokaltrafik, då de förra är billigare och lättare.

SJ

Inom SJ har utvecklingen av motorvagnar pågått under en lång tid. SJ har konsekvent i uttalanden lyft fram fördelarna med sammanhållna motorvagnståg. Viktiga argument har varit låg axellast och snabba vändningar vid säckstationer (ingen rundgång av loket). Under slutet av 60-talet behövde SJ nya fjärrtåg för huvudlinjerna men med tiden blev det allt mer uppenbart att det inte var självklart att motorvagnståg var lösningen. Frågan fördes till sin spets långt senare då SJ under 1986 gjorde en helomvändning vid valet av nästa generation fjärrtåg. SJ valde då att gå in för tunga loktåg av typen X2000, precis som tidigare fjärrtåg.

Parallellt med utvecklingen av tåg för huvudlinjer var en stor del av det svenska järnvägsnätet redan under 50-talet nedläggningshotat. Landets totala persontransportarbete växte visserligen mycket snabbt men det var biltrafiken som expanderade. För järnvägstrafiken var busstrafiken ett stort hot då den kunde hålla lägre kostnadsnivåer än tågtrafiken, om än på olika villkor.

Med denna problembild som bakgrund är det intressant att studera de tre utvecklingslinjer inom valet av fordon som SJ har följt sedan 40-talet:

- tunga loktåg för regional- och fjärrtrafik på huvudlinjer (t ex X2000 eller Rc-lok och personvagnar)
- tunga motorvagnståg för lokal och regional trafik på huvudlinjer (t ex X10 eller Y2)
- lätta motorvagnståg för regionaltrafik på såväl sido- som huvudlinjer (t ex X9, X20 och X21)

Vad gäller motorvagnar var det främst tunga motorvagnståg (med en specifik tomvikt på mer än 1,5 ton per meter) som SJ valde att satsa på. Redan under början av 60- talet upphörde serieleveranserna av lätta motorvagnståg. Men till skillnad mot huvudlinjerna behövdes små och lätta tågsätt för sidolinjerna.

Tunga motorvagnståg

Under 60- talet påbörjades utbyggnaden av lokaltågtrafiken i Stockholm-området. De nya lokaltågen skulle samsas på samma spår som fjärrtågen. Stationsavstånden var korta (till exempel Stockholm C- Södertälje S i genomsnitt cirka 3,5 km) varför snabb acceleration och inbromsning var viktigt för att tågen skulle passa in i trafikrytmen. En ny generation motorvagnståg behövdes då lokaltågen var föråldrade.

Till att börja med beställdes ett mindre antal trevagnars motorvagnssätt med beteckningen X6. Tåget hade en manövernagn i vardera änden och mittvagnen utgjorde drivenheten. Denna var utrustad med såväl strömavtagare som reglerutrustning och drivmotorer (d v s samma konfiguration som X5- tåget). Motorvagnen (X6-M) blev förhållandevis tung med sina 65 ton, tyngre än det då det moderna Rapid-loket. X6- tåget påminde om tunnelbanevagnar med fjärrstyrda entrédörrar och centralkoppel. Till och med färgen skiljde sig markant då vagnarna var målade i ljusgrått och vinrött. Senare beställdes ett stort antal tvådelade motorvagnssätt med beteckningen X1. De nya X1- vagnarna blev ännu mer avvikande från SJ:s övriga persontågsflotta då de hade tre breda entrédörrar per sida medan X6 endast hade två. Liksom X6 utrustades X1 med centralkoppel av typ Scharfenberg men genomgångsdörren i förarhytten slopades. Vagnarna målades utvändigt i en elegant blå färg, men den kanske ur teknisk synpunkt största nyheten var den mjuka tyristorstyrningen av motorena, passagerarna märkte knappast när tåget började att rulla.



Bild 2 Det elektriska motorvagnståget X1. Tågsättet är konstruerat för lokaltågstrafik och sth 120 km/h. Ett X1- tågsätt (=2 vagnar) kostar cirka 11 mkr (prisnivå 2000), och har en tomvikt på drygt 77 ton.
Foto: författaren, Sundbyberg rangerbangård, september 2003

De svenskkonstruerade X1-tågen hade dock svårigheter att klara de svenska klimatförhållandena. Ett problem var att snö sögs in i luftintagen (luftintagen var placerade i plattformshöjd), smälte och rann ner i elutrustningen. Det blev kortslutning och tågen slutade att fungera. Vid sträng kyla förekom snöfall inne i vagnarna. Ett annat problem var att vagnarna isolerats med asbest, vilket gjorde att de med hänsyn till passagerarnas hälsa senare fick saneras i en isolerad högriskanläggning strax norr om Stockholm. Ett annat, nyligen uppmärksammat, hälsoproblem är de kraftiga magnetfält som passagerarna utsätts för från drivmotorerna.

Under 70- talet var behovet av nya dieseldrivna motorvagnar stort. De gamla dieseldrivna motorvagnarna från 50- talet började att närma sig slutet av sin livslängd och en ny motorvagn beställdes från italienska Fiat. Denna fick beteckningen Y1. Av sysselsättningspolitiska skäl lades en stor del av tillverkningen till Statsföretag i Kalmar (Kalmar Verkstad AB, KVAB). Y1:an hade mycket goda gångegenskaper på gamla skarvspår, men det var trångt mellan stolarna. Senare modifierades sätena varvid komforten förbättrades. Y1:an används i vitt skilda miljöer, allt från arktiskt klimat i norr (Inlandsbanan) ner till slättlandskapen i Småland och Skåne.

Under slutet av 70-talet var behovet av nya elektriska lokal- och regionalstågsvagnar stort. Förutom i Stockholmsregionen behövdes nya vagnar i Göteborgsregionen och i Skåne. Vis av erfarenheterna med X1 beställdes nya tåg med beteckningen X10. X10-tågen påminde om de gamla X1-tågen men vissa utvändiga skillnader fanns, bland annat var fronten kilformad (minskar anhopningen av snö) och en del av vägpartierna var släta. Invändigt var Stockholm-vagnarnas väggar målade i orange färg och sätena var av mörkbrun galon. Tryckluftutrustningen för bromsarna hade flyttats in i ett separat rum i vagnen men tyvärr försvann därför sex stycken sittplatser från varje vagn. De viktigaste framstegen med den nya generationen var ökad vintertålighet och en ny generation spårvänliga boggier (s k mjuka boggier). Trots att X10- tågen är luftfjädrade är gången stötig, något som förstärktes av att de nya stolarna nästan saknade stoppning.

		differens		
Beteckning	X1	X10		
Start leverans	1967	1979		(X10 till Skåne)
Lös	49.550 mm	49.870 mm	+0,6 %	
Sth	120 km/h	140 km/h		
Tomvikt	77,4 t	100,0 t	+29,2 %	
Antal säten	196 pl	184 pl	-6 %	
Specifik tomvikt	1,56 t/m	2,01 t/m	+28,8 %	
Bruttovikt	93,1 t	114,7 t		80 kg/sittplats
Kontinuerlig effekt	1.120 kW	1.280 kW	+14 %	
Specifik effekt	10,3 kW/t	9,7 kW/t	-5,9 %	
Investerings kostn (2000)	11,3 mkr	24,6 mkr	+118 %	
Inv kostnad per sittplats	58 tkr/pl	134 tkr/pl	+131 %	
Specifik investeringskostn	146 kr/kg	246 kr/kg	+ 68 %	
Tomvikt per sittplats	390 kg/pl	540 kg/pl	+38,5 %	
Klimatanläggning	nej	=>		
Handikappvänligt insteg	nej	=>		

Tabell 1 Utvecklingen av elektriska lokaltågsmotorvagnar i Stockholmsregionen, typerna X1 och X10. Observera att sätena i X1 och X10 är extremt trånga (2 + 3 i bredd, 80 cm stolavstånd), varför antalet inte är direkt jämförbart med andra tåg. Dessutom saknas WC.
Källa: "Svenska lok och motorvagnar"

Som framgår av tabell 1 är det främst vikt-/ kostnadsutvecklingen som är bekymrande. Eftersom antalet sätene dessutom reducerades så ökade den specifika tomvikten per säte med nästan 40 procent.



Bild 3 Det elektriska motorvagnståget X14 med en något annorlunda färgsättning. Motorvagnstypen baserar sig på motorvagnståget X10, som började att rulla i Skåne under slutet av 70-talet och senare har satts i trafik även i Stockholms- och Göteborgsregionen. Ett X10- tågsätt (=2 vagnar) kostar cirka 25 mkr (prisnivå 2000). **Jämfört med sin föregångare (X1) har X10 cirka 38 % högre tomvikt per sittplats och en investeringskostnad som är hela 138 % högre per sittplats.**
 Foto: författaren, Linköping oktober 2003

Under början av 80- talet gick en ny nedläggningsvåg genom det svenska järnvägsnätet. Visserligen hade ett större antal dieselmotorvagnar av typen Y1 redan satts i trafik men såväl denna som de elektriska motorvagnarna tillhörde en föråldrad generation. En Y1- vagn har en tomvikt kring 40 ton och det var många gånger svårt för järnvägen att hävda sig mot busstrafiken. Det var uppenbart att en ny generation regional-/lokaltågsvagnar med bättre drifekonomi och högre komfort behövdes, såväl en dieseldriven som en eldriven version. Dessutom motiverade inte alltid trafikunderlaget att operatören satte in rälsbussar med 76 säten (en landsvägsbuss har cirka 40-45 säten). Flera förslag lades fram av landets tågverkare (bland annat den elektriska Asea- rälsbussen LST och Statsföretags dieseldrivna motorvagnståg Y2), men det stannade vid diskussioner.

Under slutet av 80- talet lade regeringen fram en trafikpolitisk proposition som bland annat innebar satsningar på den spårburna regionaltrafiken. Upprustade regionaltågslinjer i Småland, Skåne och Blekinge (Kustpilen) samt Östergötland och Västergötland innebar behov av nya tåg. Då Kustpilen-tågen delvis skulle trafikera oelektrifierade banor innebar det att tågen måste utrustas med dieselmotorer. Däremot var linjerna i Västergötland och Östergötland elektrifierade vilket möjliggjorde användandet av elektriska tåg.

Under 90- talet blev det återigen uppenbart att nya lokal- och regionaltågsvagnar behövdes. De gamla X1-vagnarna skulle inom något decennium närma sig slutet av sin livslängd, och satsningarna på nya regionaltågslinjer ökade behovet av nya tåg. En del av de nya regionaltågsvagnarna, som numera rullar ibland annat i Östergötland och Västergötland, baserade sig på X10-tågen. Utvändigt kändes regionaltågen igen på den nya färgsättningen. Invändigt utrustades vagnarna med bekvämare säten. Det började dock bli uppenbart att X10- familjen, som i grunden baserade sig på sextiotalkonstruktioner, inte var lämpade att bygga vidare på. Aerodynamiken var inte bra, fjädringen var stötig, elmotorerna krävde underhåll och vagnkonstruktörerna hade inte utnyttjat full vagnlängd. Rullstolsbundna resenärer kunde inte ens komma in i vagnen. Dessutom var X10- vagnens formgivning under all kritik (korrugerad stålplåt på utsidan, stora elaggregat som hängde på tak och under golvet, oinklätt underrede etc).

Under slutet av 90-talet startade leveranserna av det nya regionaltåget Regina. Utvändigt har detta en mycket tilltalande formgivning med strömlinjeformad kaross och släta yttertor. Tyvärr blev de nya Regina-tågen extremt tunga med en tjänstevikt kring 60 ton per vagn. Axellasten är nästan lika hög som hos ett Rc-lok. Dessutom fick Regina- tågen kritik på grund av dålig sittkomfort (liksom hos Y1 och X31) och nivåskillnad mellan plattform och vagnolv (svårt för resenär i rullstol eller med barnvagn att komma ombord).

En vidareutvecklad variant, benämnd X53, förstärktes med en mellanvagn av släpvagnstyp (littera UB53) med hela 107 säten. **Dålig sittkomfort och bristen på handikappvänlighet har varit ett ständigt återkommande tema för SJ:s motorvagnar.**



Bild 4 Det eldrivna motorvagnståget "Regina". Tågsättet har en modern formgivning men varje vagn har en tjänstevikt kring 60 ton, vilket till och med 2001 var ett SJ- rekord vad gäller specifik vikt (2,23 ton per meter, senare har motorvagnståget X40 tagit över den föga avundsvärda titeln). **Vagnen väger mer än en tyngre stridsvagn!**
Foto: författaren, Linköping, oktober 2003

Under 90- talet kompletterades den gamla stambanan mellan Stockholm och Rosersberg med ett nytt dubbelspår samt en anslutande slinga, den så kallade Arlanda-banan. Sträckan mellan Arlanda flygplats och Stockholm city är cirka 4 mil lång och såväl fjärrtåg som flygpendel samsas i höga farter på fyrspårsbanans ytterspår. För pendeltrafiken mellan Stockholm city och Arlanda flygplats anskaffades ett snabbt, fyrvagnars motorvagnståg från GEC Alstom. Det nya tågsättet fick beteckningen X3 och har sth 200 km/h.



Bild 5 Motorvagnståget X3 på väg ut ur Solna- tunneln på väg mot Arlanda flygplats. Till skillnad mot andra svenska motorvagnståg har X3 handikappvänliga insteg då plattform och vagnkorg ligger i samma nivå (likt passagerarflygplan samt tunnelbanevagnar).
Foto: författaren, Solna lokaltågstation, juni 2003

Slutligen skall även nämnas två stora beställningar av motorvagnar till SJ och SL (Stockholm). Under 2001 beställdes 43 stycken tågsätt av typen X40 för regionaltrafik främst i Mälardalen. Motorvagnarna i tvåvagnarssättet har två plan ("dubbeldäckare") och **varje vagn har en tjänstevikt av 70 ton, ett rekord för svenska motorvagnar.**

Under våren 2002 beställde SL 55 stycken tågsätt där varje tågsätt består av 6 stycken sammankopplade vagnar. Tågsättets längd motsvarar 2 stycken X1- tågsätt (å 2 vagnar, => totalt 4 vagnar) och har en tjänstevikt på modiga 206 ton. Leveransstart sker under 2005 och såväl X40 som X60 tillverkas till större delen nere i Centraleuropa.

	X10	X60	diff
Beteckning	X10	X60	
Start leverans	1979	2005	
Lös	199.480 mm	214.000 mm	
Sth	140 km/h	160 km/h	
Tomvikt	400 t	412 t	
Antal säten	736 pl	748 pl	
Specifik tomvikt	2,01 t/m	1,93 t/m	-4%
Bruttovikt	458,9 t	471,8 t	
Kontinuerlig effekt	5.120 kW	6.000 kW	
Specifik effekt	9,7 kW/t	12,7 kW/t	+31%
Pris (2000)	98,4 mkr	130 mkr	
Specifik investeringskost	134 tkr/pl	174 tkr/pl	+30%
Tomvikt per sittplats	543 kg/pl	551 kg/pl	+1%
Klimatanläggning	nej	ja	
Handikappvänligt insteg	nej	ja	

Tabell 2 Jämförelse nyckeltal motorvagnstågen X10 och X60

Av ovanstående tabell framgår bland annat att investeringskostnaden per sittplats räknat har stigit med cirka 30% men då har vi i gengäld fått både handikappvänliga insteg och klimatanläggning. Men studerar vi denna utveckling på lite längre sikt och även inkluderar X1-tågen, som började att levereras 1967, finner vi följande utveckling:

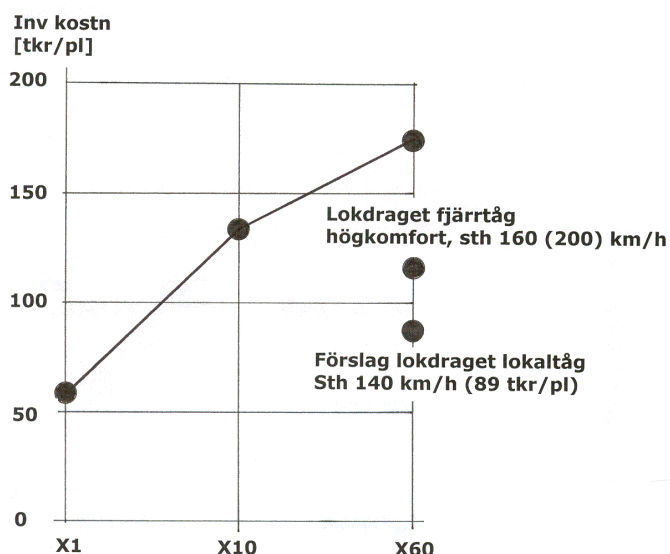


Fig 1 Utvecklingen av investeringskostnad per sittplats hos tre generationen lokaltåg i Stockholmsregionen. Källa: författaren, med prisuppgifter från SJ- Nytt och Ny Teknik

Om vi även tar med i beräkningen att sittkomforten i de tre tågen är relativt begränsad (5 säten i bredd, stolavstånd neråt 80 cm, hård stoppning) framstår investeringskostnaden speciellt i den senaste generationen tåg som hög. **Faktum är att investeringskostnaden för en sittplats i ett exklusivt tyskt IC- tåg för 200 km/h med vilfåtöljer är lägre än för ett motsvarande X60- tåg.** Det är uppenbart att operatören skulle vinna på ett billigare alternativ, om än med något lägre genomsnittshastighet.

Lätta motorvagnståg

De nämnda motorvagnstågen har en sak gemensamt, nämligen den höga vikten. Ett X6- tågsätt (som sattes i trafik under början av 60- talet) har en specifik vikt på cirka 2 ton per meter och motorvagnen i detta tåg (X6-M) väger nästan lika mycket som ett fyraxligt linjelokomotiv. Redan under 30-talet var det uppenbart att det inte gick att använda sådana kolosser på trafiksvaga linjer varför en ny generation lättviktsmotorvagnar, även kallade rälsbussar, togs fram. Det finns till och med exempel på hur man utgått ifrån landsvägsbussar och bytt ut gummihjulen till järnvägshjul. Nackdelarna med dessa senare konstruktioner var dock flera och som exempel kan nämnas stötig gång samt usel kollisionssäkerhet.

Under 50-talet lanserades en rad svenska diesel- och elmotorvagnar med en specifik tjänstevikt kring ett ton per meter eller lite drygt hälften mot vad dagens tunga motorvagnar (X4, X10, X31 etc) väger. Kulmen inom lättbyggnadstekniken nåddes under mitten av 50- talet då det cirka 65 meter långa, elektriska motorvagnståget X20 lanserades med en specifik tjänstevikt på endast drygt ett ton per meter. **Faktum är att sedan femtiotalet har aldrig motorvagnar med så låg specifik vikt satts i trafik i Sverige.** Nedan visas data för de två dieselmotorvagnarna Y6 och Y7, som bägge lanserades under femtiotalet. Lagg märke till den specifika tjänstevikten på endast lite drygt ett ton per meter samt korgbredden på hela 310 cm (de extremt breda personvagnarna som levererades till SJ under sextiotalet hade en korgbredd på 315 cm).

Beteckning	Y6	Y7
Första tillverkningsår	1953	1957
Största tillåtna hastighet	115 km/h	=>
Längd över stötytor	17.550 mm	=>
Korglängd	16.550 mm	=>
Korgbredd	3.100 mm	=>
Tjänstevikt	18,5 t	=>
Dieselmotoreffekt	145 kW	=>
Specifik tjänstevikt	1,05 t/m	=>
Specifik effekt (1)	6,4 kW/t	6,5 kW/t
Antal säten	53 pl	47 pl

(1)= effekt mätt på dieselmotoraxeln

Tabell 3 Översikt dieselmotorvagnar hos SJ som började att levereras under femtiotalet
Källa: "Rälsbussar och släpvagnar vid Statens Järnvägar", 1984

Under slutet av 80- talet diskuterades de höga tjänstevikterna för moderna, svenska motorvagnståg. En stor del av intresset fokuserades på vagnkorgens vikt och alternativa material såsom lättmetall och plastkompositer diskuterades. Dilemmat för en spårfordonskonstruktör är att en konventionell, diesel driven motorvagn med längden 25 meter väger omkring 45 ton. Vagnkorgen väger dock endast cirka 8- 10 ton, resten utgörs av boggier, motorer och övrig utrustning. Även om man halverar korgvikten så resulterar det totalt sett endast i några få procent viktreducering.

Kan loktåg ersätta motorvagnståg ?



Bild 6 Ett danskt regionaltåg med ett dieselelektriskt lokomotiv av typen ME. DSB använder sedan flera decennier loktåg i sina regionaltrafik.
Foto: foto: René Strandbygaard/ DSB

Inledningsfrågan var om loktåg kan användas i större utsträckning istället för motorvagnståg i lokaltågstrafik. Ett konventionellt åttavagnars motorvagnståg för lokaltrafik kostar i inköp cirka 100 mkr medan ett motsvarande loktåg, där loket endast används för lokaltrafik, kostar cirka 60 mkr.

Analyserar vi kostnaderna närmare finner vi att ett masstillverkat, fyraxligt ellokomotiv av typen Rc5 kostar cirka 12 mkr. Antar vi vidare att vi kan hyra ut lokomotivet nattetid till gods- och sovvagnståg minskar investeringskostnaderna för lokaltrafikens del till cirka 9 mkr. Vidare kostar en lokaltågsvagn cirka 6 mkr och en motorvagn cirka 12,5 mkr. Om lokomotivet nattetid även används för att dra godståg eller sovvagnståg sjunker investeringskostnaden för lokaltrafikoperatören till omkring 57 mkr. **Räknat per sittplats reduceras investeringskostnaden från 169 tusen kronor till 89 tusen kronor i loktågsalternativet** (se separat specifikation i bilaga). Vi finner då att loktågen ur investeringssynpunkt är ekonomiskt intressanta redan vid mindre vagnantal.

Utgångspunkten för en tågoperatör är att hålla en så hög medelhastighet som möjligt, vilket sänker den specifika transportkostnaden (=”fler platsmil per timme”). Dessutom ökar det järnvägens konkurrenskraft då fler blir intresserade av tågresa vid kortare restider. Vid långdistanstrafik med få uppehåll är snabb acceleration och inbromsning inte så viktiga eftersom dessa faser endast utgör en bråkdel av den totala restiden. Då stationsavståndet krymper representerar de emellertid en allt större del av den totala restiden. **Ju kortare accelerations- och inbromsningsfaser, desto högre medelhastighet.**

Snabb acceleration och inbromsning erhålls genom hög drag- respektive bromskraft i förhållande till tågets totala bruttovikt. Resonemanget är giltigt för både motorvagns- och loktåg. För nödsituationer krävs dessutom särskilt snabb inbromsning vilket innebär att samtliga hjulaxlar kräver någon typ av högeffektiv friktionsbroms (skiv- och eventuellt magnetsknebroms).

Det mest optimala ur accelerationssynpunkt är motorvagnståg där alla axlarna är drivna. Tyvärr tenderar sådana motorvagnståg att bli mycket dyra i inköp och drift. Om drivmassan koncentreras till ett lokomotiv kan totalkostnaderna sänkas avsevärt. Å andra sidan kan då inte hela tågets tyngd utnyttjas för acceleration. **Det gäller att finna en kostnadspunkt som är en avvägning mellan acceptabel medelhastighet och låga totalkostnader.** Nedan redovisas en översikt av den relativa andelen av den totala tågvikten som vilar på drivaxlarna för några svenska, elektriska persontåg.

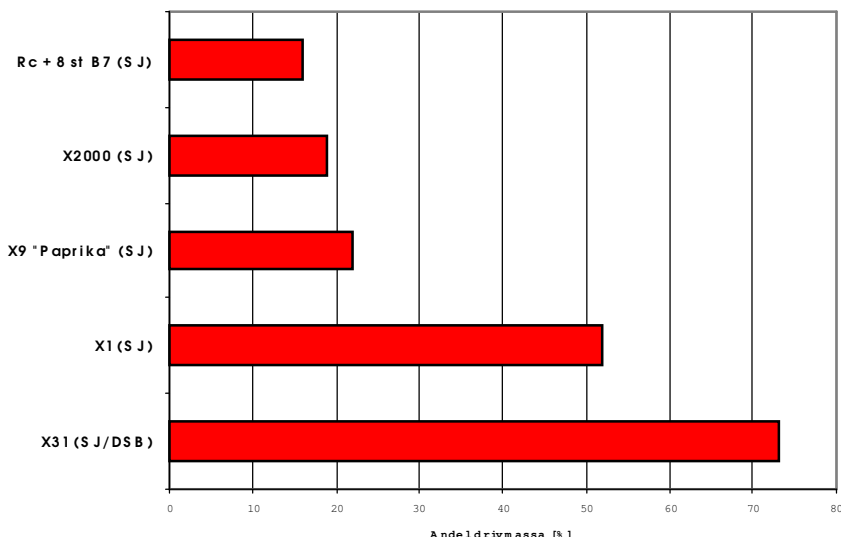


Diagram 1 Översikt den relativa andelen av tågets totala tyngd som vilar på drivaxlar. Alternativen "Rc + 8 st B7" samt X2000 är loktåg, resten är motorvagnståg.
Källare: författaren, med data från "Svenska lok och motorvagnar"

Låt oss jämföra medelhastigheten för eldrivna loktåg och motorvagnståg i lokaltrafik. Antag att vi vill jämföra accelerationsförmågan för ett konventionellt motorvagnståg och en ny generation lätta loktåg. Vi väljer följande alternativ:

	0-alternativ		Differens	
Typ	motorvagnståg	loktåg		
Antal lokomotiv	---	1 st		eldrivet
Antal vagnar	8 st	=>		
Antal drivaxlar	16 st	4 st		
Lös	211.200 mm	233.200 mm	+10,4%	
Sth	140 km/h	=>		
Max startdragkraft	522 kN (5)	204 kN (5)	-61%	
Största axellast	16,6 t	22,5 t	+35,5%	
Tomvikt vagnenhet	50 t	20 t		
Lokvikt	---	90 t		
Tomvikt	400 t	250 t	-37%	
Effektiv sittplatslängd (3)	148 m	160 m	+8,1%	
Antal sittplatser (4)	592 pl	640 pl	+8,1%	
Bruttovikt (2)	451 t	290 t		
Andel drivmassa av max bruttov	59 %	31 %		
Specifik vikt	1,89 t/m	1,33 t/m	-30%	tomvikt
Max effekt	4.800 kW	3.600 kW		
Specifik effekt (bruttovikt)	10,8 kW/t	12,4 kW/t	+15%	max effekt

(1)= mätt från innervägg- innervägg utrymme för sittplatser

(2)= varje passagerare antages väga 80 kg

(3)= antag 80 % av "passagerarutrymmeslängd", vid motorvagnar försvinner 1,5 meter per vagn för förarhytt

(4)= stolavstånd 100 cm, 2 + 2 i bredd

(5)= antag våta räler (slirning)

Tabell 4 Jämförelse eldrivna motorvagnståg och förslag loktåg för lokaltrafik.
Källa: Författaren

I tabell 7 framgår att loktåget både har en lägre specifik tomvikt (-30 %) och högre specifik effekt (+15 %) än det konventionella motorvagnståget. Dragkraften i loktåget kommer från ett konventionellt, fyraxligt ellok med vikten 90 ton och vagnarna är av lättviktstyp.

Beräkning av medelhastighet

För att beräkna accelerations- och retardationstiden för ett tågsätt används den grundläggande formeln:

$$a = \frac{F_{\text{NETTO}}}{m} \text{ där}$$

a = acceleration [m/s²]
 F_{NETTO} = dragkraft [kN]
 m = tågvikt [t]

Tågens vikt vet vi, men vi behöver även veta bruttodragkraften och den kraft som bromsar tågsätten, gångmotståndet. Det är endast nettokraften som kan tillgodoräknas för acceleration, d v s ”F_{NETTO}”. Då dragkraften och gångmotståndet ändrar sig med avseende på hastigheten måste vi dela upp beräkningen i intervall, lämpligen 10 km/h- intervall.

Första steget i beräkningen är att beräkna bruttodragkraften med avseende på hastigheten.

Maximal dragkraft

Vid låga farter begränsar vidhäftningen mellan hjul och räl den maximala dragkraften. Maximala dragkraften vid fuktiga räler (risk för slirning) beräknas med formeln:

$$F_{\text{MAX}} = m_{\text{ADH}} * 0,70 * \left(\frac{9.000}{v + 42} + 116 \right) \text{ där}$$

F_{MAX} = max dragkraft [kN]
 m_{ADH} = adhesionsvikt [t]
 v = hastighet [km/h]

Källa: ”Grundlagen für das Entwerfen elektrischer Triebfahrzeuge”, Elektrische Bahnen, 1941

Vid högre hastigheter blir fordonets effekt begränsande för dragkraften. Maximala dragkraften beräknas enligt formeln:

$$F_{\text{MAX}} = \frac{P * 3,6}{v} \text{ där}$$

F_{MAX} = max dragkraft [kN]
 P = effekt [kW]
 v = hastighet [km/h]

Vi ritat ett fart- dragkraft- diagram för de två tågen:

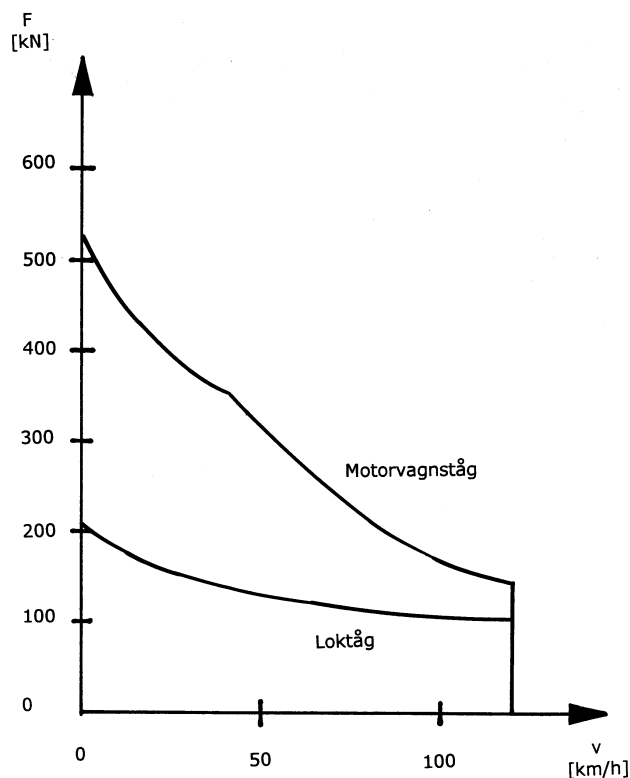


Fig 2 Maximal dragkraft vid våta räler, exklusive gångmotstånd. Observera den övre kurvans brytning vid ~40 km/h på grund av övergången från friktionsbegränsning hjul-räl till effektbegränsning. Hos loktåget begränsar dock hela tiden friktionen den maximala dragkraften, trots att loktåget har en avsevärt lägre toppeffekt (3.600 kW) än motorvagnståget (4.800 kW).
Källa: författaren

Gångmotstånd

Andra steget är att beräkna tågens gångmotstånd. Det finns flera teorier hur gångmotståndet kan beräknas. En välkänd formel är Sauthoff- formeln. Sauthoff- formeln för motorvagnståg behandlas utförligt i artikeln "Voruntersuchungen zum elektrischen Zugbetrieb auf Fernschnellbahnen" ("Förundersökning av elektrisk tågdrift för fjärrsnabbtågsbanor" av Hans Kother) i tidskriften "Elektrische Bahnen", mars 1942. Formlerna för loktågsalternativet, som också baserar sig på Sauthoff- formeln, är hämtade från den något senare artikeln "Vergleich der Zugwiderstandsformeln europäischer und aussereuropäischer Eisenbahnen" ("En jämförelse av europeiska och utomeuropeiska järnvägars gångmotståndsformler"), nr 2 1988 i samma tidskrift. Vi väljer att i nedan visa endast beräkningar av gångmotståndet vid hastigheten 120 km/h.

Den generella formeln för beräkning av **gångmotstånd för motorvagnståg** (exklusive strömvtagare) med kortkoppel och aerodynamisk vagnkorg ("abgerundeter Wagenkasten") lyder enligt följande:

$$R_{TW} = (C_A * G_A + C_{3A} * A_A * \left(\frac{v + 15}{10}\right)^2 + n * C_n * G_n + C_{3n} * A_n * \left(\frac{v + 15}{10}\right)^2) * 0,0098 \text{ där}$$

- R_{TW} = sökt (gångmotstånd motorvagnståg, uttryckt i kN)
 C_A = 2,0 kg/t (rullmotstånd första motorvagnen, uppmätt av tyska statsjärnvägen DRG)
 G_A = 56,4 t (bruttovikt första motorvagnen)
 C_{3A} = 0,30 (första motorvagnens luftmotståndskoefficient.)
 A_A = 11 m² (tvärsnittsytta första motorvagnen)
 v = 120 km/h
 n = 7 st (antal påhängsvagnar)
 C_n = 2,0 kg/t (rullmotstånd påhängsvagn)
 G_n = 56,4 t (bruttovikt påhängsvagn)
 C_{3n} = 0,60 (påhängsvagnarnas totala luftmotståndskoefficient)
 A_n = 11 m² (tvärsnittsytta påhängsvagn)

Vi sätter in värdena i formeln ovan för ett åttavagnars konventionellt motorvagnståg enligt följande:

$$(2,0 * 56,4 + 0,30 * 11 * \left(\frac{120 + 15}{10}\right)^2 + 7 * 2,0 * 56,4 + 0,60 * 11 * \left(\frac{120 + 15}{10}\right)^2) * 0,0098 = \underline{\underline{26,5 \text{ kN}}}$$

Vi måste även lägga till luftmotståndet för strömvagnarna:

$$R_{ST} = n_{ST} * C_{ST} * \left(\frac{v + 15}{10}\right)^2 * 0,0098 \text{ där}$$

- R_{ST} = sökt (totalt luftmotstånd strömvagnare i kN)
 n_{ST} = 4 st (antal strömvagnare motorvagnstågsätt)
 C_{ST} = 0,23 (koefficient aerodynamisk strömvagnare)
 v = 120 km/h

Sätter vi in angivna värden erhåller vi ett luftmotstånd för de 4 strömvagnarna enligt följande:

$$4 * 0,23 * \left(\frac{120 + 15}{10}\right)^2 * 0,0098 = \underline{\underline{1,6 \text{ kN}}}$$

Värdena för motorvagnarna och strömvagnarna summeras, det vill säga 26,5 + 1,6 = 28,1 kN.

Formeln för gångmotstånd hos lokatåg består av två delformler, en för lokomotivet och en för vagnarna.

I **lokformeln** (där även strömvagnarna ingår) använder vi formeln för den tyska statsjärnvägens fyraxliga ellokomotiv E 120:

$$R_L = (4,2 * G_L + 7,35 * (v * 0,1)^2) * 0,0098 \text{ där}$$

- R_L = sökt (gångmotstånd lokomotiv, uttrycks i kN)
 G_L = 90 t (lokets vikt)
 v = 120 km/h

Sätter vi in angivna värden erhåller vi ett gångmotstånd på 14,1 kN för 90 ton lokomotivet vid 120 km/h.

Motsvarande **personvagnsformel** lyder enligt följande:

$$R_w = ((1,9 + 0,0025 * v) * G_w + 0,48 * (n + 2,7) * 1,45 * \left(\frac{v + 15}{10}\right)^2) * 0,0098 \text{ där}$$

- R_w = sökt (gångmotstånd personvagnar, uttryckt i kN)
 v = 120 km/h
 G_w = 200 t (bruttovikt personvagn á 25 ton)
 n = 8 st (antal personvagnar)

Sätter vi in angivna värden krävs en total dragkraft av 17,6 kN vid hastigheten 120 km/h, vilket tillsammans med lokomotivet blir 31,7 kN.

Maximal driftbroms

Vid normal driftbroms har antagits en genomsnittretardation av $0,50 \text{ m/s}^2$ (intervallet $300 \Rightarrow 0 \text{ km/h}$), vilket motsvarar bromskurva 6 för signalsystemet hos den tyska statsjärnvägen ("die programmierte LZB-Sollbromskurve für Betriebsbremsung").

Sammanfattning acceleration och inbromsning

Vi kan nu med hjälp av en persondator och ett enklare kalkylprogram (t ex Excel) lätt beräkna förbrukad tid och tillryggalagd sträcka per 10 km/h-intervall och sedan ackumulera dessa värden stegvis. Vi kan sedan grafiskt visa hastigheten med avseende på sträckan mellan två stationer.

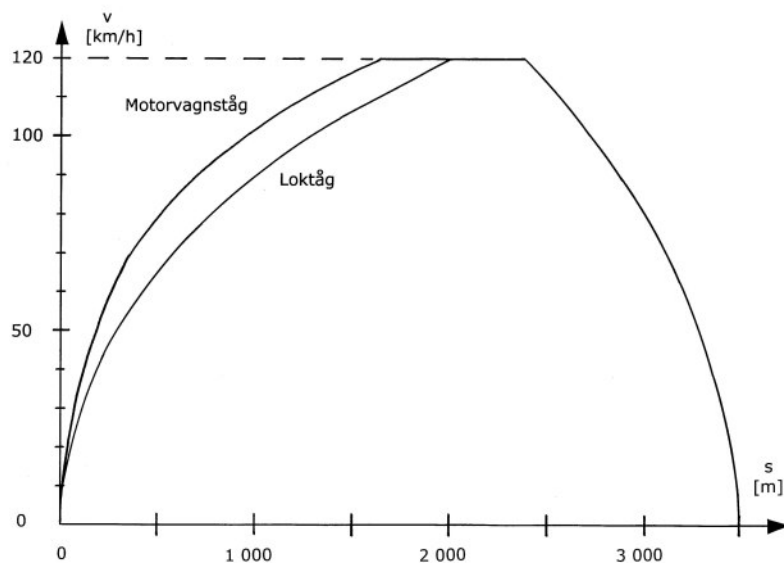


Fig 3 Erforderliga sträckor för acceleration och inbromsning av motorvagnståg och loktåg vid stationsavståndet 3.500 meter (typiskt medelavstånd stationer i t ex Stockholmsregionen) och sth 120 km/h. Medelhastigheten (inklusive 30 sekunders stationsuppehåll) är 74 km/h för loktåget och 80 km/h för motorvagnståget, det vill säga en skillnad på endast 8 %. Observera att de bägge tågen följer samma inbromsningskurva.
Källa: författaren

Komfortkrav

Viktigt för resenären är komforten. Ljus, klimat, bullernivå, formgivning och inte minst sittkomfort påverkar de alla komforten. Under senare decennier har dessutom resenärer med speciella krav hamnat i fokus. Exempel på resenärer med speciella krav är barnfamiljer och personer med någon form av handikapp.

Lösningen på dessa problem är följande:

- * plattform och vagnsolv i samma nivå (likt tunnelbanan och Arlandapendeln i Stockholm)
- * inga lutningar hos plattform, förutom för vattenavrinning in mot plattformsmitt (golvränna)
- belysning insteg/plattform
- aktiv luftfjädring i vagn som automatiskt kompenserar för nivåskillnader vagnsolv - plattform
- förlängda slipers som ligger dikt an mot plattformsvägg (hindrar att spåret hamnar för nära plattform)
- utfällbar klaff mellan insteg och plattformskant

Även sittkomforten är av stor betydelse. I figur 4 nedan visas dels ett säte hos en lokaltågsvagn av typen X1 dels ett förslag till nytt säte för nästa generation lokal- och regionalågsvagnar.

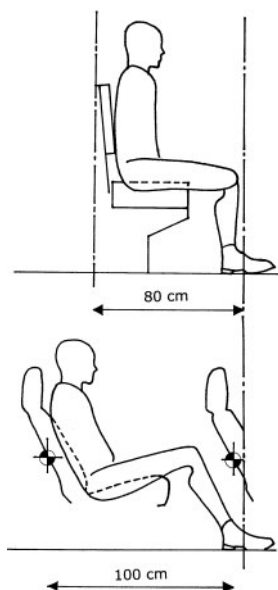


Fig 4 Sittkomforten hos dagens lokaltågsvagnar (typ X1) samt ett förslag för nästa generation lokaltågsvagnar. Observera att referensmätningarna är något olika i de två fallen. En lämplig sätestyp är den som används av flygbussarna på motorvägssträckan Stockholm city- Arlanda.
 Källa: författaren

Skillnaderna mellan de bägge sätena är stora. Sätena hos ett X1-tåg har ett stolavstånd på endast cirka 80 cm (samt 2 + 3 i bredd) och sätena är placerade i motsittning. Ryggstödet är nästan rätvinkligt mot sittdynan och stopningen i ryggdynan är minimal. I det föreslagna sätet har ryggstödet vinkel ökat till 25 grader (ställbart) samtidigt som sittdynan har vinklats vilket ökar sittkomforten. På grund av ryggstödet lutning ökar kraven på stolavstånd från dagens 80 cm till cirka 100 cm. Dessutom är stolarna i det senare alternativet placerade i medsittning, precis som hos flygplan och bussar. Vidare bör antalet säten i bredd begränsas till 2 + 2. Vid en korgbredd av 325 cm (väggjocklek 10 cm och mittgång 45 cm) vilket innebär att varje passagerare har en sida fri samtidigt som stolarna får bredden 65 cm (bra vid tjocka ytterkläder). Viktigt ur konstruktionssynpunkt är att passagerarna hamnar cirka 25 cm djupare, vilket påverkar valet av fönsterhöjd.

Entrédörrarnas placering, antal och utformning är av stor betydelse. Vid regionaltågsvagnar, där omsättningen av passagerare per tidsenhet är högre än hos fjärrtåg, är utgångarna vanligen orienterade mot mitten. Dörrarna är ofta även bredare hos regionaltågsvagnar än hos fjärrtågsvagnar. Vid lokaltågstrafik är ofta antalet dörrar tre stycken per sida och av bred typ (1,20..1,40 meter).

I framtiden bör ett av målen vara att alla passagerare skall få en sittplats (jämför med flyget). Kombinerat med färre stolar (ökat stolavstånd och endast 2 + 2 stolar i bredd) samt golv och plattform i samma nivå minskar belastningen på utgångarna. Därför torde två utgångar per vagnsida med extra breda enkeldörrar räcka. Det norska flygpendeltågets (littera 71) planlösning är på denna punkt en god förebild.

Moderna klimatanläggningar minskar dessa problem. Om återcirkulation i framtiden skall användas krävs rening med högeffektiva så kallade HEPA- filter. Inom flyget används redan sådana moderna ventilationsanläggningar.

Slutsats

Artikeln har belyst möjligheterna att använda loktåg istället för motorvagnståg i lokal- och regionalståg.

Genomgången av motorvagnståg visar att tomvikten för dessa, och då speciellt hos den senaste generationen, är anmärkningsvärt hög. En personvagn i motorvagnståget X40 har en tjänstevikt kring 70 ton (motsvarande specifika vikten 2,54 t/m), vilket är i närheten av vad Rc-lokomotiv väger. Vi fann även att fortsättningen av utvecklingen av den svenska generationen lätta motorvagnståg från 50-talet (t ex X20, Y6 och Y7) avslutades på ett tidigt stadium. Detta är anmärkningsvärt, då 50-talets lättviktståg hade en specifik tomvikt på endast lite drygt 1 ton per meter. Sedan dess har den specifika tomvikten blivit allt högre, från cirka 1,5 ton per meter för lokaltåget X1 (60-talet) till över 2,0 ton per meter för lokaltåget X10 (70-talet). Då antalet säten dessutom reducerades från X1-tåget till X10-tåget motsvarar det per sittplats en ökning av tomvikten med nästan 40 %!

Det som är betydelsefullt för snabb acceleration och retardation är hög drag- och bromskraft i förhållande till tågsättets totala bruttovikt. Detta ökar medelhastigheten. Konstruktörerna av motorvagnståg för lokaltågstrafik har därför valt att försöka få så många hjulaxlar drivna som möjligt, vilket dock innebär en konflikt med kravet på låga kostnader. En kompromiss för de svenska motorvagnstågen för lokaltrafik har varit att drygt 50 % av tyngden vilar på drivaxlarna. Detta är speciellt viktigt vid låga farter (upp till ungefär 50-70 km/h) eftersom det inte är tågets maximala effekt som begränsar dragkraften utan vidhäftningen mellan räl och hjul. Hos loktåg vilar dock en betydligt mindre del av tyngden på drivaxlar. För ett åttavagnars konventionellt loktåg (1 st Rc-lokomotiv och 8 st B7-vagnar) vilar endast 15 % av tyngden på lokomotivets drivaxlar, vilket gör att det tar betydligt längre tid att accelerera.

I det tidigare räkneexemplet jämfördes medelhastigheten för ett konventionellt åttavagnars lokaltåg av motorvagnstyp med en ny generation lokdragna lokaltåg av lättviktstyp. I det senare fallet har lättviktsvagnar med tomvikten 20 ton och ett något tyngre fyraxligt lokomotiv med vikten 90 ton förutsatts. Detta ger en betydligt högre andel av tågets totala tyngd som vilar på drivaxlarna, hela 31 %. Loktåget har en specifik effekt som är 15 % högre än motorvagnståget. Genom detta blir loktågets medelhastighet endast cirka 8 % lägre än motorvagnståget vid stationsavståndet 3,5 km.

I framtiden bör även större uppmärksamhet riktas mot komfortområdet. Några av de viktigaste områdena är större stolutrymme, bättre ergonomisk utformning av säten, vagnolv och plattform i samma nivå samt effektiva klimatanläggningar. Av säkerhets- och komfortskäl (jämför med flyget) bör dimensioneringen av sittplatsutbudet utgå ifrån att samtliga passagerare är garanterade en sittplats.

Dagens motorvagnståg är dyra och konkurrensen från biltrafiken är hård. Det enklaste sättet för järnvägen att snabbt öka sina marknadsandelar är radikalt sänka biljettpriser. Detta i sin tur ställer höga krav på billigare fordon. Artikeln visar att investeringskostnaden per sittplats för ett lokaltåg kan reduceras från 169 tusen kronor till 89 tusen kronor om operatörerna går över till en ny generation loktåg.

Tomas Larsson

Specifikation

Investeringskostnader

4-axligt ellok, sth 140 km/h, 3.600 kW	12 mkr
personvagn, sth 140 km/h, AC	6 mkr
2-vagnars motorvagnståg, sth 140 km/h, 1.200 kW, ej AC	25 mkr
8 motorvagnar	<u>100 mkr</u>
lok + 8 vagnar	60 mkr
75/25 % ⇔ P/G lok + 8 vagnar	<u>57 mkr</u>
sittplatsinvestering loktåg	=> 57 mkr/640 pl = <u>89 tkr/pl</u>
” motorvagnståg	=> 100 mkr/592 pl = <u>169 tkr/pl</u>

Lästips

”Vergleich zwischen Lokomotiv- und Triebwagenbetrieb im elektrischen Fernschnellverkehr”, Elektrische Bahnen, november 1937

„Voruntersuchungen zum elektrischen Zugbetrieb auf Fernschnellbahnen“, Elektrische Bahnen, mars 1942

”Grundlagen für das Entwerfen elektrischer Triebfahrzeuge”, Elektrische Bahnen, 1941