

KRAFTEKONOMI VID OLIKA TRAFIKMEDEL.

Föredrag av direktör *H. Ångström*,
Uppsala spårvägar.

Sedan urminnes tider har människan drömt om den självgående vagnen. Uppfinnandet av ångvagnen, som konstruerades i praktiskt användbar form av Cugnot 1769, möjliggjorde drömmens förverkligande såtillvida, att icke levande kraft erfordrades för vagnens framdrivande. Senare tider ha medfört nya uppfinningar inom kraftmaskintekniken och man skiljer numera på grund av drivkraftens art mellan ång-, elektriskt och explosionsmotordrivna vagnar. Som den bensinmotordrivna automobilens uppfinnare räknas tysken G. Daimler 1885. Den första elektriska spårvägen (fig. 1) byggdes av Siemens & Halske 1879.

Ovannämnda kraftvagnar ha senare utvecklats och förbättrats oberoende av varandra och, så snart de trätt i transportindustriens tjänst, ha ingenjörernas arbete här inriktats på att fullända resp. konstruktioner så att minsta möjliga kraftåtgång och kraftkostnad uppstod. Det är frågan om denna kraftåtgång eller rättare, drivmedelskostnad, huvudsakligen inom lokaltransportindustrien, som jag avser att närmare gå in på och för vilken fråga jag tror mig kunna påräkna intresse, enär ju kraftkostnaden är av största betydelse för ett trafikföretags driftekonomi.

Jag skall emellertid icke trötta åhörarna med att i detalj redogöra för de konstruktiva förbättringar, som utförts å de olika kraftmaski-



Fig. 1.

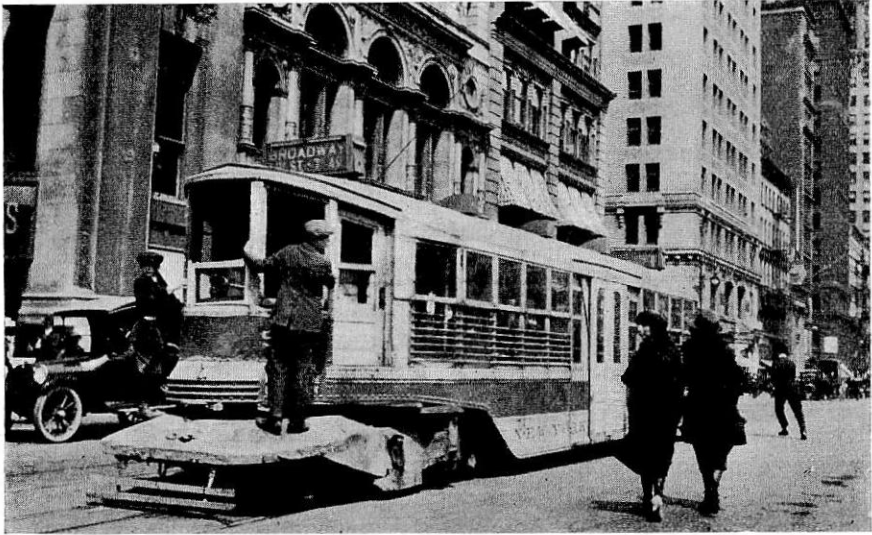


Fig. 2.

nerna och som lett fram till nuvarande kraftåtgång, vid resp. trafikmedel. Min redogörelse avser huvudsakligen att söka återspegla drivmedelskostnaden av i dag vid likartade förhållanden vid olika förvaltningar och jag skall samtidigt peka på några av de åtgärder, som man kommer att vidtaga under de närmaste åren för att ytterligare sänka dessa kostnader.

De åtgärder, som successivt vidtagas eller vidtagits för att minska kraftåtgången vid *elektrisk spårvägsdrift*, kan i korthet sammanfattas i följande. Hastigtgående lyftkylda motorer med låg dödvikt har införts. Vikten pr hästkraft har härvid kunnat nedbringas till omkring 8 à 10 kg. pr hk. mot tidigare 40 à 50 kg. Vagnvikten har i vissa fall minskats, så att man numera vid hög hastighet och masstransport kan räkna med en dödvikt pr trafikant av 130 kg. mot tidigare 250 kg. och därutöver. Motorer och axeltappar ha försetts med rullager. Regenerering av bromsenergien har bl. a. försöksvis utförts vid A.-B. Stockholms spårvägar. Hjulringarnas svarvingsprofil och skenprofilerna ha förbättrats. Hållplatsavstånden ha ökats. Kontaktledningsspänningen har höjts. En viktig faktor är även, att anläggnings- och driftkostnaden för omformnings- eller likriktaremaskineri, som erfordras för råkraftens förädling, högst avsevärt nedbringats, vilket i sin tur återverkar på kraftpriset för spårvägsdriften. En stor del av ovanstående moderniseringar å det rullande materialet inom spårvägsdriften har delvis haft till förebild den konstruktiva utformningen av automobilen där, närmast på grund av kraftkostnadens storlek, dödvikten pr trafikant nedbringats så mycket som möjligt.

Som parallell till fig. 1 visar fig. 2 en relativt modern spårvagn med maximitruck delvis byggd av aluminium, med lågt vagnsolv. På denna vagnstyp har tillämpats de flesta av ovan framförda synpunkter och vagnkonstruktionen medger även som synes tillämpning av lägsta möjliga »transportavgifter».

De undersökningar och överläggningar, som föregå de åtgärder som anses lämpliga att vidtaga för att nedbringa drivmedelskostnaden, basera sig i regel på en analys av gångmotståndet (fig. 3). I detta fall är totala kraftåtgången 45 Wh. pr tonkm. och utgör här totala gång-

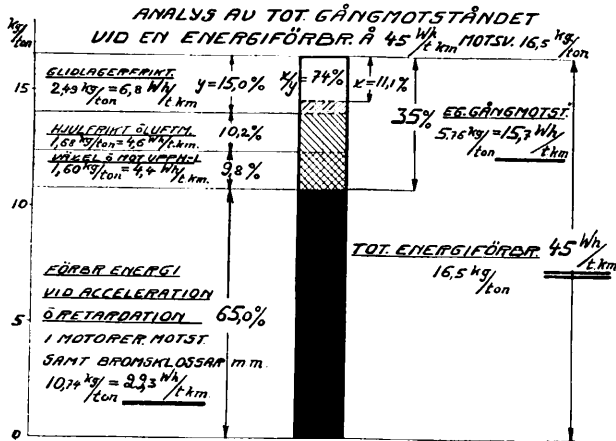


Fig. 3.

motståndet 5,76 kg. pr ton eller 15,7 Wh. pr tonkm., motsvarande 35 % av totala kraftåtgången. Av den totala energiåtgången förbrukas 65 % för acceleration och retardation (i motorer, motstånd samt bromsklotsar m. m.) motsvarande 10,74 kg. pr ton eller 29,3 Wh. pr tonkm. Gångmotståndet 5,76 kg. pr ton eller 15,7 Wh. pr tonkm. bör jämföras med lägsta gångmotståndet 10,7 kg. pr ton vid automobil drift (se fig. 10).

Inom bussdriften bestå motsvarande åtgärder av: genomgående låg vikt å samtliga maskinelement genom användning av högvärdigt specialstål i kraftöverförande delar samt aluminium och aluminiumlegeringar å skyddande och bärande delar, övergång från massivgummitill ballongringar å hjulen, samtliga lagers inbyggnad med rull- och kullager ävensom införandet av cirkulationssmörjning m. m. Motorvikten har reducerats från 80 kg. pr hk år 1893 till endast omkring 5 kg. och därunder pr hk och verkningsgraden har höjts så att bensinåtgången endast utgör omkring 250 gr. pr hktimme vid kontinuerlig drift motsvarande omkring 25 % verkningsgrad. Man har även beaktat fördelen av ett riktigt blandningsförhållande mellan tyngre och mera

flyktiga bensinsorter alltefter yttertemperaturens beskaffenhet. Genom införandet av Hesselmannsmotorn har professor *Hubendick* visat, att vid användning av galisol med ett effektivt värmevärde å 10.190 v.e./kg., utgör bränslebesparingen i volym räknat 20 å 25 %. Vid en bränslekostnad av 12 öre/lit. för galisol och 27 öre pr liter för bensinen uppges besparingen i kostnad till 62 å 68 %. Genom *Hesselmannska* uppfinningen synes sålunda den vanliga explosionsmotorn ha bringats upp i närheten av Dieselmotorn med en oljeförbrukning av *endast omkring 200 gr. pr hk och timme*. Dessa besparingssiffror torde dock i prak-

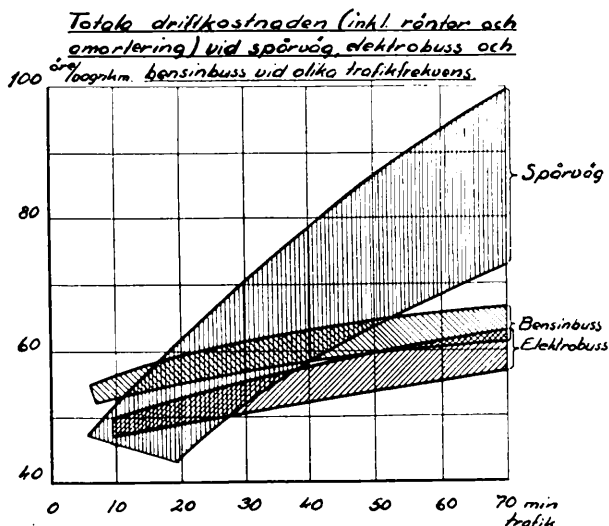


Fig. 4.

tiken få modifieras något vid bussdrift. Världsproduktionen av bränsle och olja för automobildrift rör sig också f. n. omkring 11 miljarder kronor pr år, varför anledning finnes förmoda att vid allmännare övergång till råolja en prisreglering kommer att inträffa å denna vara. Vid *elektrobussdrift* har i största möjliga omfattning tillämpats samma kraftbesparande åtgärder, som vid bussdrift.

Här är icke platsen att närmare ingå på förbättringarna av *ångvagnarnas konstruktion* i ändamål att sänka kraftkostnaden. Vare nog sagt att genom *Ljungströmska* turbinloket och genom moderna ånglokomotiv ernås en kraftbesparing, vars ekonomiska värde bäst belyses genom förhållandet att 1 kilowattimme, uppmätt å 3-fassidan vid strömintaget till omformarestationerna numera anses motsvara 1,2 kilogram kol i ånglokomotiven. Nämda värde gäller givetvis icke för närtrafik med korta hållplatsavstånd, där kolåtgången blir proportionsvis avsevärt större. Det kraftpris, som man vid ifrågavarande jämförelse får räkna med, utgör 2.8 öre pr kilowattimme, vilket mot-

svarar det pris som debiteras S. J. I detta samband torde vara av intresse, att nämna något om de *dieselektriska* loken, vilka erbjuda stora fördelar framför äldre lokomotiv. Drivmedelskostnaden har här nedbringats till 0,105 öre pr tonkm. totalvikt. Som jämförelse må nämnas att motsvarande kostnad vid *elektrisk järnvägsdrift* rör sig omkring 0,08 öre pr tonkm.

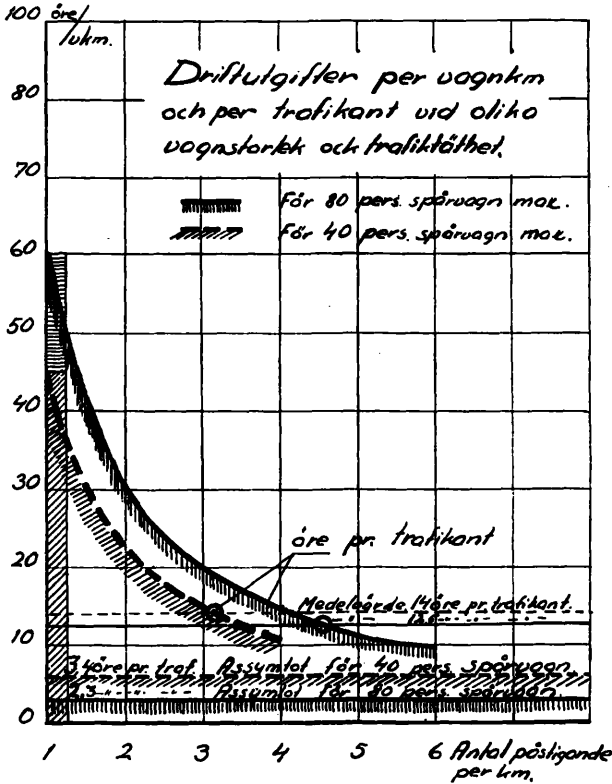


Fig. 5.

För att kunna ge en riktig bild av *drivmedelskostnadens* storlek i förhållande till de *totala driftkostnaderna*, har jag utbildat vidstående diagram (fig. 4) utvisande de totala driftkostnaderna pr vagnkm. med samma trafikcapacitet pr vagn och vid olika trafikmedel, spårväg, bensinbuss och elektrobuss. Dessa kostnader för de olika trafikmedlen varierar mellan tvänne gränser, beroende på olika driftförhållanden. Av dessa driftkostnader, utgör drivmedelskostnaden för spårvägar omkring 10 % och för bensin- och elektrobussar omkring 15 %. Vi se även härav, att vid en viss bestämd trafikfrekvens och under vissa tekniska förutsättningar, kan driftkostnaden vid spårvägs- och bussdrift bli densamma räknat pr vagnkm. I ett sådant fall kan en regle-

ring uppåt eller nedåt i kraftkostnaden bli avgörande för vilket slag av trafikmedel, som skall väljas. I det följande diagrammet (fig. 5) visar jag driftkostnadens variation vid olika vagnstorlek med olika trafikfrekvens. I detta fallet blir variationerna i kostnad pr vagnkm. 30 % under det att motsvarande kostnad pr trafikant endast utgör 12 % då medelreslängden antages vara densamma. I praktiken varierar förhållandet mellan driftkostnaden pr vagnkm. vid sex typiska

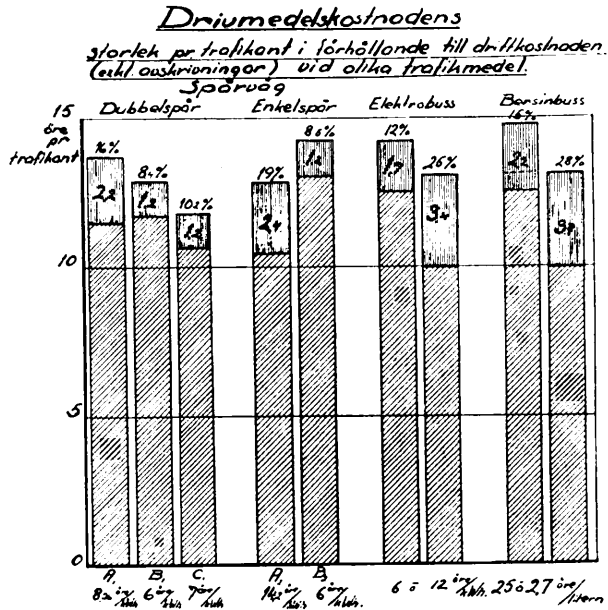


Fig. 6.

inomstadsspårvägar med upp till 140 % under det att variationerna i driftkostnaden pr trafikant endast utgör 13 %. Detta förhållande gör att jag i en jämförande sammanställning (fig. 6) begagnar mig av driftkostnad och drivmedelskostnad pr trafikant, varigenom jämförelsen blir mera överskådlig. I detta diagram har icke medräknats avskrivningskostnaden pr trafikant, vilken kostnad vid bussdrift och tät trafikfrekvens håller sig omkring 1 å 2 öre högre pr trafikant än vid spårvägsdrift. Av detta diagram framgår vidare att drivmedelskostnaden vid dubbelspårig spårväg varierar mellan 10.2 och 16 %, vid enkelspårig spårväg mellan 8.5 och 19 %, vid elektrobuss mellan 12 och 25 % samt vid bensinbuss mellan 15 och 25 % av totala driftskostnaderna. Av diagrammet (se fig. 7) framgår det märkliga förhållandet att drivmedelskostnaden pr trafikant vid icke mindre än 5 typiska inomstadsspårvägar är praktiskt taget densamma eller 1.2 öre. Kraftkostnaden vid dessa spårvägar varierar mellan 6 å 7 öre pr kWh.

Vid tre spårvägar med någotsånär jämförbara kraftkostnader (8 à 8.7 öre pr kWh) varierar motsvarande kostnaden pr trafikant mellan 1,8 och 2,2 öre. Orsaken till den högre kraftkostnaden vid dessa tre spårvägar i jämförelse med de övriga fem beror, bortsett från den högre kraftkostnaden, huvudsakligen på ogynnsammare driftförhållanden. Vid tvenne spårvägar med exceptionellt höga kraftkostnader, resp. 12 och 14,2 öre pr kWh, utgör drivmedelskostnaden 2,3 och 2,4 öre pr trafikant. Elektrobussens drivmedelskostnad håller sig vid 1,7 och 3,4 öre pr trafikant vid en kostnad å resp. 6 och 12 öre pr kWh. Mot-

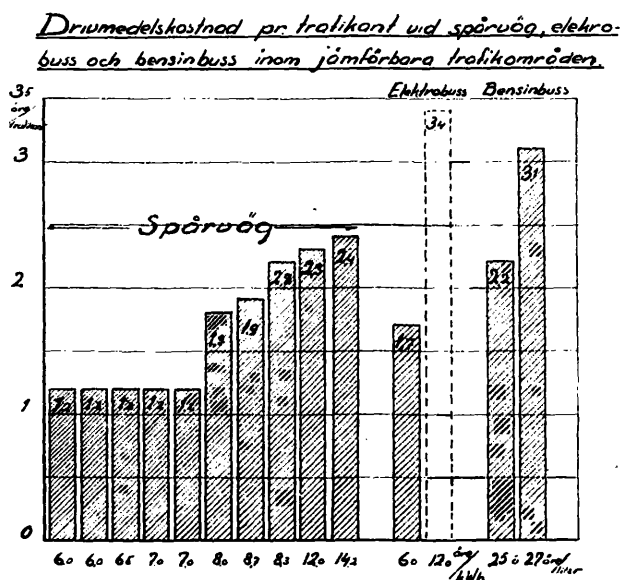


Fig. 7.

svarande kostnader vid ett par busslinjer i inomstadstrafik varierar mellan 2,2 och 3,1 öre pr trafikant.

Då det stundom kan vara av stor betydelse att närmare känna till *kostnaden pr tonkm.*, vilket strängt taget är ett bättre matematiskt jämförelsetal, har jag uppgjort ett diagram, där drivmedelskostnaden vid olika trafikmedel uttryckes i öre pr tonkm (fig. 8). Av denna jämförelse framgår att vid ett kraftpris å 7 à 8 öre pr kWh, blir kraftkostnaden vid spårvägsdrift pr bruttotonkm. omkring 0,5 öre. Vid smalspårig elektrisk förortsbanetrafik med relativt täta hållplatsavstånd och ett pris av 6 öre pr kWh, utgör kraftåtgången 0,41 öre, vid elektrobuss (»Trolley-») med ett kraftpris av 5 öre pr kWh utgör kostnaden 0,8 öre och slutligen utgör kostnaden pr bruttotonkm. vid tung godstrafik med järnväg endast 0,08 öre pr tonkm. vid ett växelströmspris å 3 öre pr kWh. Denna jämförelse är mycket intressant, då den återspeglar lokaltrafikens proportionsvis stora kraft-

Bensinförbrukning vid olika
vägbeläggningar

Enligt prof. Ames vid Iowa
varierar bensinförbrukningen
vid olika vägbeläggningar och
samma körhastighet mellan
1 och 1,50

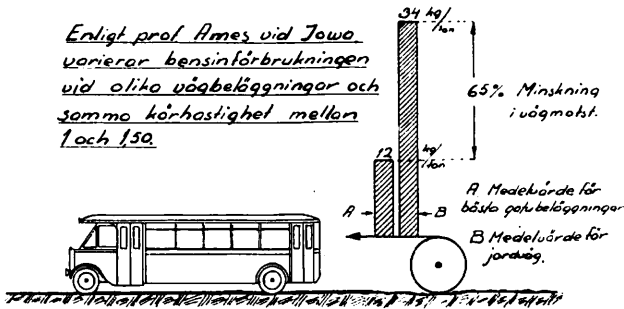


Fig. 9.

Vägmotståndet
vid
olika gatubeläggningar

Tabell I.

enl. Agricultural Eng. Department, Kalifornien

Gatubeläggning	Vägmotståndet	
	kg. pr ton vagnvikt	Wh pr tonkm
Betonggata, jämn	12,5	34,1
Betong med $\frac{1}{2}$ asfallbeläggning	22,9	60,4
Vattenbunden makadamgata, god	29,2	79,6
Bitumenbunden — — — — —, ny	35,5	97,0
Grusväg, fast, förstklassig	37,4	102,0
Jordväg med 4-5cm dammbelägg.	45,1	123,0
Jordväg, frocktslämmig därunder fast	99,0	270,0
Grusväg lös, icke packad	119,0	323,0

Tabell II

enl. utrullningsförsök i Upsala

Gatubeläggning	Vägmotståndet	
	kg. pr ton vagnvikt	Wh pr tonkm
Sandstoft, jämn	10,7	29,2
Tuktad stengata	14,0	38,2
Fältsten	16,9	46,1
Grusväg, fast, god	25,5	69,6

Fig. 10.

lämnats av kapten C. Florman i A.-B. Aerotransport rörande drivmedelskostnaden pr trafikant å sträckan Malmö—Amsterdam och Stockholm—Helsingfors. Nämnade jämförelse har gjorts för att visa, att såväl lokaltransporten som lufttransporten i genomsnitt besväras av stor dödvikt pr trafikant. I här berörda fall kommer i genomsnitt 675 kg. dödvikt pr trafikant vid bensinbussdrift, 800 kg. vid elektro-

bussdrift, 1,300 kg. vid elektrisk spårvägsdrift samt slutligen 775 à 900 kg. vid ovannämnda luftlinjer. Dessa jämförelsetal få sålunda betraktas som medeltal, vilka givetvis skifta vid olika trafikförhållanden såsom vid spets- och tongångstrafik, men siffrorna äro värdefulla för att i stort kunna bedöma de möjligheter, som finnas rörande minskning av driftkostnaderna. I detta samband torde det vara av vikt att påpeka, att vid en ekonomisk jämförelse olika transportmedel emellan icke får bortses från hastigheten, som exempelvis vid flyg-

Kraftkostnad
vid
olika trafikmedel







Trafikmedel	Kraftkostnad i öre		Kraftpris
	pr. tonkm	pr. personkm	
Spårväg 	0,45 öre	0,6 öre	7 öre/kWh
Bensinbuss 	1,2 öre	0,9 öre	26 öre/kWh
Elektrobuss 	0,8 öre	0,7 öre	5-8 öre/kWh
Elektriskt passagerertåg  smalspår	0,4 öre	0,57 öre	6 öre/kWh
Elektriskt gods-tåg  normalspår	0,98 öre	—	3 öre/kWh
Flygmaskin 	8,3 öre	8,1 öre	Bensin 21 öre/kWh
	8,4 öre	7,1 öre	Olja 30 öre/kWh

Fig. 11.

ning blir 2 à 4 ggr större än de hastigheter, som hitintills förekomma vid lokaltransportindustrin.

De ovan anförda uppgifterna rörande kraftförbrukningen vid olika spårvägs- och bussföretag äro att betrakta som medelvärden för ett flertal linjer och härav kan icke någon generell slutsats dragas rörande de fall, då det ena trafikmedlet, med hänsyn till kraftkostnaden, bör föredragas framför det andra. Spårvägslinjer i inomstadstrafik framdragna med ett otal kurvor och med talrika komplicerade växelkomplex ersättas med fördel av busslinjer och å andra sidan kan en väl upparbetad busslinje, som upprätthåller trafik å en förort med fördel ersättas av en snabbgående spårväg. Anmärkningsvärt är de betydande variationerna i kraftpriset vid olika trafikföretag. I samband med de stora vattenkraftcentralernas utvidgade samarbete synes emellertid starka skäl tala för att ett mera enhetligt kraftpris inom snar framtid kommer att införas.

Det kraftekonomiska intresset bland lokaltrafikens män av i dag är säkerligen lika stor som vid spårvägstrafikens begynnelse. De försök, som bl. a. utförts vid A.-B. Stockholms spårvägar, borge för riktigheten härav. Resultaten av dessa försök och av gångna års ansträngningar, som möjliggjort en drivmedelskostnad vid elektrisk järnvägsdrift av endast 0.08 öre pr tonkm. visa vägen för nya ansträngningar till ytterligare förbilligande av motsvarande kostnad vid de lokala kommunikationerna. Härvid kräves otvivelaktigt i större städer att lokaltransporten spjälkas i en långsamtgående trafik i gatuplanet med små hållplatsavstånd och en mera snabbgående eventuellt underjordisk trafik med större hållplatsavstånd för ytterområdenas trafikbehov.

Diskussionsinlägg:

På fråga av *Direktör A. R. Angelo*. Hellerup, lämnade *Direktör Ångström* följande upplysningar:

Till grund för den beräknade medelkraftkostnaden pr trafikant ligger de av mig insamlade uppgifterna från olika spårvägsförvaltningar rörande antalet tonkm. levande och död vikt. Vid järnvägsförvaltningar beräknas den levande vikten direkt genom resp. biljetter. Vid spårvägsförvaltningar ställer sig saken något svårare och kräves härvid att känna till medelreslängden pr passagerare, vilken vid svenska spårvägar och inom jämförbara zonområden i medeltal utgör 2,5 upp till 3 km. pr trafikant. Av de insamlade uppgifterna framgår vidare, att i genomsnitt under ett helt år endast omkring 25 % av spårvagnarnas platser äro upptagna. Tillämpat på det av *Direktör Angelo* angivna exemplet med en kraftkostnad av 5 öre pr bankilometer och 50 platser blir kraftkostnaden pr disponibel platskilometer 0,1 öre och utgör sålunda, vid en utnyttjning av sittplatserna med i genomsnitt 25 %, kraftkostnaden 0,4 öre pr personkilometer såsom jag angav i mitt föredrag.