

System Johansson

*Med det mått I mäten, skall Eder mätet varda.
Dessa ord ur Matteus evangelium 7:2 är som ett ledmotiv
för C E Johanssons insats inom mättekniken, som renderade
honom epitetet världens mest noggranne man.*

C E Johansson 1864—1943

Om Carl Edvard Johanssons liv och verk finns en rikt illustrerad biografi,* utgiven av AB C E Johansson i Eskilstuna. Boken distribuerades som gåva till viktigare bibliotek samt till industriföretag och kunder till bolaget. Biografen har således inte förekommit i bokhandeln men kan lånas från bibliotek av den som önskar veta mera om "måttens mästare" än vad som ryms i en artikel i KOSMOS.

Vid författandet av biografen hade jag förmånen att ha obegränsad tillgång till hans efterlämnade mycket omfattande korrespondens, hans genom åren noggrant förda dagböcker och hans anteckningar och funderingar i mättekniska ämnen m m. Bolagets dåvarande direktör, C E Johanssons svärson Rudolf Domellöf, liksom gamla medarbetare till C E Johansson bistod med uppgifter, såvida dessa inte var sekretessbelagda.

I korthet skall här nämnas några data ur C E Johanssons karriär från verkstadsgolvet till berömmelsens höjder.

Hans fader var hemmansägare och sågverksförman, händig och uppfinningsrik, vilket även hans son Carl Edvard visade sig vara redan som pojke. 1880-talet var emigrationens tid. Carl Edvards äldre broder Arvid hade emigrerat till Amerika, dit även Carl Edvard begav sig 1882. Efter två slitsamma år i USA och Canada återvände han till hemlandet. Han hade hunnit med att studera vid Gustavus Adolphus College, S:t Peter, Minnesota. Han sökte sig till industristaden Eskilstuna och började där som arbetare vid E V Beronius Mekaniska Verkstad. Samtidigt var han elev vid Eskilstuna Tekniska Söndags- och Aftonskola till i maj 1888, då han försedd med utmärkta avgångsbetyg efter en praktikanttid antogs som besiktningsrustmästarelev vid Carl Gustafs Stads Gevärsfaktori, där han arbetade som besiktningsrustmästare 1890—1914. Under sitt rutinarbete med kontroll och besiktningar av vapen och vapendelar vid

* C E Johansson 1864—1943. Måttens mästare. Av Torsten Althin. Stockholm 1947. (På engelska 1948.)

Gevärsfaktoriet stod det klart för honom att en viktig delprocess i en lång tillverkningskedja borde och kunde väsentligt förändras. Därför gav han sig i kast med att förnya och fullända instrument och metoder inom precisionsmätningstekniken, en fundamental men tidigare försummad förutsättning för den mekaniska verkstadsindustrins tillverkning av utbytbara delar i vapen, maskiner och vetenskapliga instrument. Från 1894 och under återstoden av sitt liv ägnade han sina krafter åt detta område, övervann svårigheter av allehanda slag och vann med envishet förståelse i alla industriländer för sina ideer och arbetsmetoder.

Kombinationsmåttsetsen

Under de första fem åren av 1890-talet utförde C E Johansson tusentals kontrollmätningar av gevärssdelar med tillhjälp av olika mätverktyg och mängder av passbitar (Fig 1). Han fann de använda metoderna och hjälpmedlen otillfredsställande och satte upp för sig följande riktlinjer för ett nytt mätsystem med passbitar. Resultatet blev i sinom tid vad han kallade Universalkombinationsmåttsetsen.

Riktlinjerna var:

1. Inom ett visst mätområde skulle alla måttvärden kunna omedelbart erhållas i oavbruten följd med intervaller motsvarande en viss bråkdel av måttenheten.
2. Alla måttvärden skulle erhållas av fasta mått, som bildar ett självständigt helt vart för sig. Måttsetsen skulle sålunda äga det ställbara mätverktygets (tex mikrometerns) mångfald i måttvärden och det fasta måttets (normalmåttets) tillförlitlighet, eller med andra ord vara ett mätinstrument vilket samtidigt gav ställbara måttvärden och utgjorde standardmått för dessa.
3. Måttsetsen skulle vara självkontrollerbar, så att man utan annat hjälpmedel än måttsetsen själv kunde kontrollera att samtliga dess måttvärden var korrekta inom viss fastställd noggrannhetsgrad.

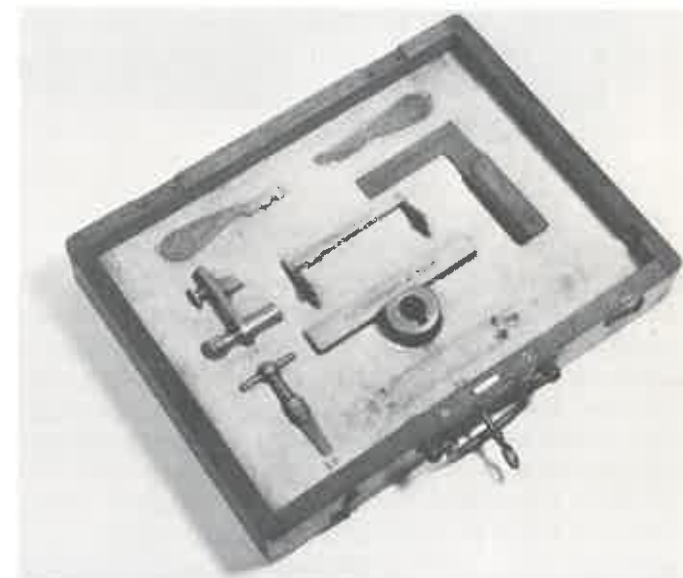
För att uppnå dessa så att säga matematiska krav fann C E Johansson det lämpligt att göra ett antal passbitar ordnade i serier. Som exempel kan vi välja följande måttsets med 102 passbitar. Den innehåller passbitar med följande mått:

- 1:a serien 1,01; 1,02 ... 1,49 mm (49 st).
 2:a serien 0,50; 1; 1,50 ... 24; 24,50 mm (49 st).
 3:dje serien 25; 50; 75 och 100 mm (4 st).

Den första serien uppdelar alltså den andra seriens måttintervall, 0,5 mm, i hundra delar millimeter, under det att den andra serien indelar den tredje seriens måttintervall, 25 mm, i halva millimeter. Vilket som helst måttvärde i hundra delar millimeter, liggande mellan två mått i andra eller tredje



Figur 1 Parallelepipediska mätblock, passbitar av stål, en för varje måttvärde, som förekom vid vapenfabriker vid tillverkningen av vissa delar till gevär. Dessa passbitar och stickmått är de äldsta bevarade från Gevärsfaktoriet i Eskilstuna och torde vara från tiden omkring 1890. (Ovan). Instrument använda vid besiktning av 1867/89 års gevär. (Till höger).

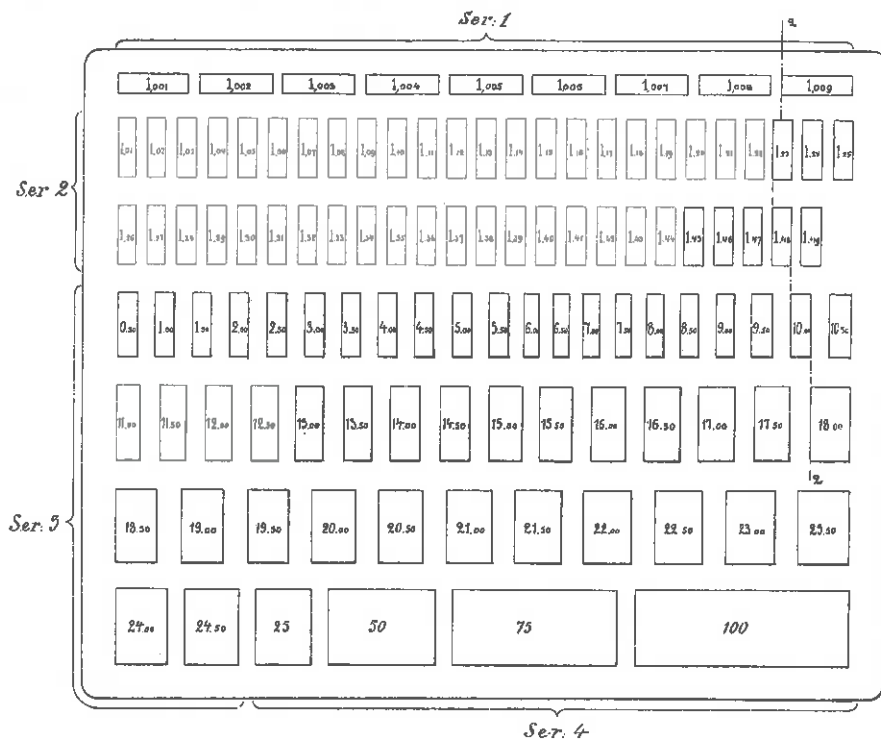


Samtliga bilder ingår i biografien över C E Johansson. Fotografier från Tekniska Museets i Stockholm arkiv.

serien, kan erhållas genom att till ifrågakvarande mått i dessa serier lägga ett måttstycke (passbit) ur den första serien, vilket i sig innehåller den behövliga hundra delar millimeter.

Om till dessa 102 passbitar läggs i måttssystemet ännu en passbit på 1,005 mm kan inom måttsetsens mätområde alla måttvärden erhållas med en differens av fem tusendels millimeter. I princip på samma sätt tillverkades måttsets

Fig. 1.



Figur 2 Principen för C E Johanssons "Måttsats för precisionsmättagning". Beviljades patent i Sverige från den 2 maj 1901.

med större eller mindre antal passbitar för millimeter eller tum (Fig 2).

De parallelepipediska stålbitar som användes vid Faktoriets vid mitten av 1890-talet hade en tjocklek av 10 mm. C E Johansson valde att göra sina kombinationspassbitar 9 mm tjocka för de större passbitarna och 9 mm breda för de mindre bitarna. Orsaken till detta var att bitarna skulle bli lättare men ändå tillräckligt breda för att kunna stå stabilt på ett underlag.

Varje passbit i en måttsats har två motstående ytor, mätytorna, noggrant planparallella och justerade vid $+20^{\circ}\text{C}$ för måttvärdet, instämplat på varje passbit. Att undersöka mätytornas planhet och parallellism, ävensom att vid passbitarnas framställning, med största grad av noggrannhet mäta avståndet mellan mätytorna mötte under de första åren mycket stora svårigheter med de instrument C E Johansson hade till sitt förfogande. Noggrannhetsgraden vågade han inte ange mer än till tusendelar av millimetern. Först år 1906 hade han konstruerat ett precisionsinstrument, med vars hjälp avläsningar av måttvärden i en tiotusendels millimeter, ja, till och med bråkdelar härav kunde utföras.

Fig. 2

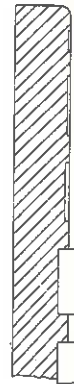
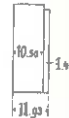


Fig. 3



Figur 3 "Viktprov". År 1917 kunde demonstreras sammanhäftningsförmåga mellan två passbitar. Den motsvarade ett tryck av ca 33 atmosfärer. Kontaktytan mellan bitarna var $3,15\text{ cm}^2$ och belastningen 100 kg.



Till jämförelse kan vi välja ett människohår. Det är fem hundra millimeter tjockt, således mycket grovt i förhållande till de små mått vilka C E Johansson arbetade med.

Genom den specialbehandling som mätytorna genomgick uppnåddes att två passbitar, som på rätt sätt bringas i kontakt med varandra, häftar tillsammans, ett fenomen som uppmärksammades redan vid de först tillverkade passbitarna, ehuru den kraft med vilken de sammanhäftade icke då var så stor som den visade sig bli allteftersom behandlingsmetoderna av mätytorna under årens lopp förfinades. Genom belastningsprov kan adhesionskraften fastställas (Fig 3).

Utan att närmare spekulera över sammanhäftningens orsak arbetade C E Johansson vidare. En av grundpelarna i det mätsystem han byggde upp var just att hans bitar kunde bringas att häfta vid varandra, varigenom större noggrannhet erhöles. Dessutom blev de sammanlagda bitarna enklare att handskas med i praktiken. Det bör här inskjutas att stålpassbitarna icke får vara magnetiska.

Progressiv tolerans

Vid sitt arbete med passbitarna under de första åren av detta sekel fördes C E Johanssons tankar in på de svagheter som vidlådde dåtidens toleranssystem.

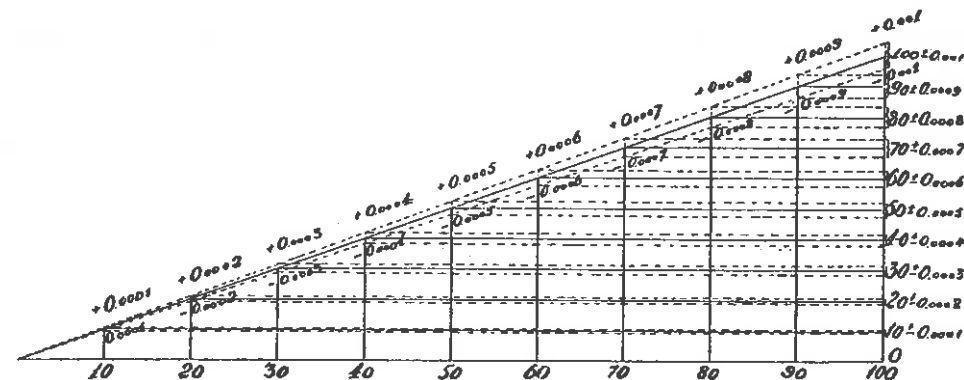
Om ett standardmått, oavsett längden, anges hålla sitt exakta mått på 0,001 mm när, så är detta främst ur tillverkningsynpunkt oriktigt, emedan det är en ganska lätt sak att med tillhjälp av en någorlunda säker mätmaskin framställa ett standardmått av tex 10 mm storlek med en tolerans av $\pm 0,001$ mm. Däremot är injustering av ett ändmått av tex en meters längd till samma noggrannhetsgrad oerhört mycket svårare. Svårigheten hänför sig främst till materialets volymförändring vid temperaturväxlingen. Genom beräkningar fann C E Johansson att om stålets utvidgningskoefficient (0,000 010 6) för enkelhetens skull sattes till en hundratusendel, så förlänger sig ett 100 mm normalmått vid uppvärmning omkring en tusendels millimeter för varje grad Celsius. Däremot förändras ett mått på 10 mm endast en tiotusendels millimeter och en mätbit på en millimeter förändras endast en hundratusendels millimeter. Går man än längre finner man att ett mått på en meter förändras sig en hundradels millimeter för varje grads temperaturförhöjning.

Om därför ett mått på en meter är injusterat till sitt rätta värde behövs det endast en tiondels grads temperaturförändring för att den tillåtna toleransen av en tusendels millimeter redan genom temperaturhöjningen är uttagen. Till detta kom att C E Johansson fann att samma höga noggrannhet hos såväl ett större som ett mindre mått var överflödig, ty redan mätverktygets egen vikt inverkar ofördelaktigt på den fina känsel i handen som är nödvändig vid exakta måtttagningar. Ständigt hade han de praktiska synpunkterna aktuella för sig. Han hade måtttagningar inom verkstadsindustrin främst i sina tankar, men även på mätningar av mera vetenskaplig art kom han att få ett avgörande inflytande.

Beträffande materialiserade längdmått av vad slag de vara må fann han att det oegentliga i den konstanta, för alla storlekar lika toleransen, låg däri att de mindre måtten aldrig med tillförlitlighet kunde beräknas vara jämna bråkdelar av de större måtten.

Icke minst vid konstruerandet av kombinationsmåttssystemet framgick orimligheten av att använda konstant tolerans. C E Johansson var tvungen att bryta mot då rådande praxis så att den oundvikliga toleransen ordnades på ett systematiskt sätt. Han kom då fram till vad han kallade *progressiv tolerans*, en idé som patenterades från den 25 november 1907.

Hans idé var att vid satser av mätverktyg skulle de i satserna ingående måtten tillverkas inom sina egna toleranser, som i storlek likformigt tilltar i samma proportion



Figur 4 Diagram för att åskådliggöra "Mått med progressiv tolerans" enligt patent beviljat i Sverige den 25 november 1907. Patentanspråket hade följande lydelse: Vid måttssystem och satser av mätverktyg eller måttstycken den anordningen, att de i satserna ingående enskilda måtten äro tillverkade inom sina egna toleranser, hvilka i storlek likformigt tilltaga, ökande i samma proportion som måtten tilltaga i längd.

som måtten tilltar i längd (Fig 4). Den progressiva toleransen kan givetvis göras större eller mindre, grövre eller finare allt efter de krav som uppställs. Som norm under den första tiden uppställde C E Johansson att vid måttstandards och noggranna arbeten användes en toleranskoefficient som i det närmaste överensstämde med stålets utvidgningskoefficient, 0,000 01 av måttets längd. Därigenom kunde toleransen för ett visst mått med lätthet uträknas och det sökta värdet hållas i minnet.

C E Johansson hade genom sina arbeten redan förut kunnat anknyta sitt måttssystem *dels till det vetenskapligt definierade metersystemet i Paris, dels på ett naturligt sätt till de fysikaliska egenskaperna hos det material, stål, i vilket hans passbitar utfördes*. Denna kombination av två idéer var grunden till den framgång hans passbitar och mått-system fick såväl i vetenskapliga kretsar som bland den industriella verksamhetens män.

Innebörden av den progressiva toleransens betydelse vid kombinationsmåttssatsen har han själv uttryckt på följande sätt: "Då två eller flera kombinationer av vissa mått sammanläggs kommer även det därvid erhållna kombinationsmättet att ligga inom den från början för detta mått bestämda toleransen."

Huvudbetingelserna för att detta skulle bli möjligt var att de enskilda passbitarnas mätytor var så vitt tekniskt möjligt absolut *plana ytor, inbördes absolut parallella samt tillförlitliga med avseende på måttvärdet*. Det var förenat med oerhörda svårigheter att uppfylla dessa villkor. Det lyckades C E Johansson att komma därefter tack vare speciella anordningar för bearbetning och justering av de glashårda ytorna på passbitarna, särskilda metoder för stålets omsorgsfulla behandling såväl före som efter härdningen samt

genom ytterst fina mätinstrument, som gav korrekta utslag vid uppmätningarna. Den precision som härigenom uppnåddes överträffade allt vad som tidigare presterats.

Tum och temperatur

Först sedan vi i Sverige år 1878 och därefter under en viss övergångstid börjat använda decimalsystemet vid våra mått samt gått med på att för längdmått använda metern som grundmått bringades reda i det mycket komplicerade system för mått, mål och vikt, som vi haft intill nämnda tidpunkt.

Om det således vid tiden omkring sekelskiftet, då C E Johansson framträdde med sina måttsatser, rådde en relativt stor enhetlighet i sättet att mäta blev det dock han som införde precisionen inom mättekniken och ordnade överensstämmelse mellan de i praktiken använda måtten och arkivmetern i Paris. Det fanns dock ännu ett likartat problem att lösa och även här har C E Johansson gjort en insats. Problemet gällde relationen mellan måttvärdet på en tum i Storbritannien och i USA och dessa måttvärdens förhållande till arkivmetern samt problemet att bringa överensstämmelse mellan de något olika tummåtten i de anglosaxiska länderna.

C E Johansson angrep inom sitt område dessa problem målmedvetet redan 1906. Det tog en tid av nära 30 år innan enighet och officiell överensstämmelse uppnåddes.

När han skulle leverera passbitar i engelsk tum för marknaden i Storbritannien hade han att utgå ifrån att standard för det engelska tummättet var Imperial Standard Yard, en metallprototyp med två ingraverade streck mellan vilka avståndet vid 62°F (=16 2/3°C) skall vara en yard (36 tum). År 1895 hade längdenheterna i detta måttssystem jämförts med den franska arkivmetern och man hade då kunnat beräkna att en engelsk tum var lika med 25,399 977 7 mm, dvs i det närmaste 25,4 mm. Den noggranne C E Johansson utgick från de måttvärden i millimeter som han erhållit från Bureau International och använde den angivna noggranna ekvivalenten mellan tum och millimeter, när han år 1906 tillverkade passbitar i 4 tum, 2 tum och 1 tum längder, vilka sändes för kontroll och uppmätning hos The National Physical Laboratory i England. Efter de resultat som därvid erhöles tillverkades samma år en måttsats innehållande 81 passbitar i fyra serier med intervaller 0,0001 tum, 0,001 tum, 0,05 tum och 1 tum. Med dessas tillhjälp kunde erhållas 100 000 kombinationer med en tiotusendels tums differens i löpande följd från 0,2—10,2 tum. Därmed var inom Johanssons system även den engelska tummen förankrad vid det internationella metersystemet.

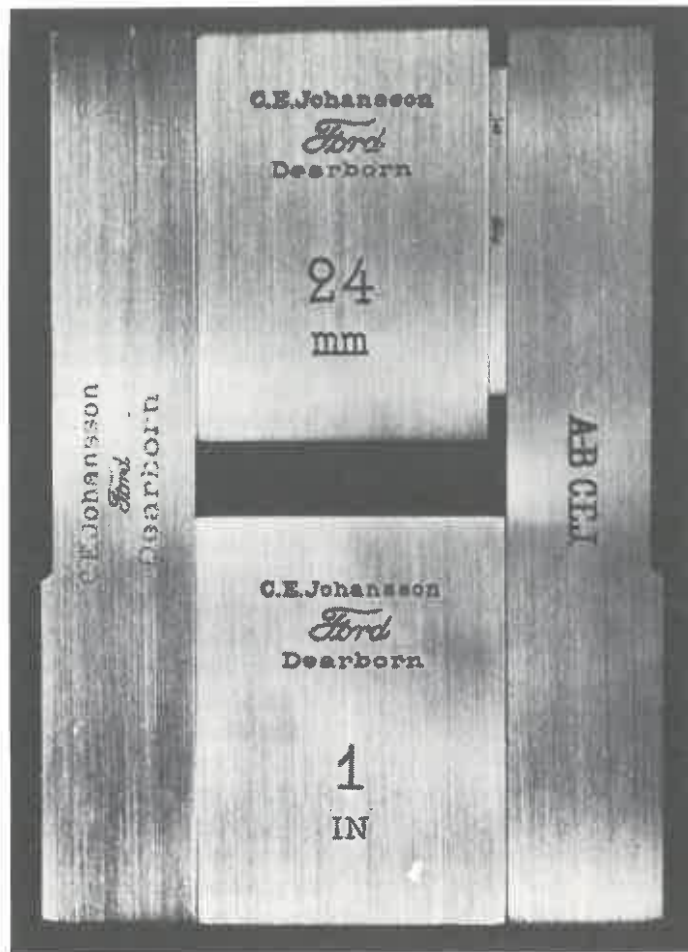
I USA var på den tiden en tum i måttvärde icke detsamma som en tum i England. Mättemperaturen för standardmått var i England 62°F. I USA hade genom en kongressakt av år

1866 bestämts att relationstalet mellan meter och tum skulle vara $1\text{ m} = 39,37\text{ tum}$, vilket motsvarar ett måttvärde på den amerikanska tummen av 25,400 050 8 mm. En passbit av en amerikansk tums längd skulle ha detta måttvärde vid 68°F (=20°C). Skillnaden vid samma temperatur mellan de bägge tummåtten var ungefär en tusendels millimeter, vilket i och för sig icke var mycket, men en alltför stor skillnad för att man skulle kunna bortse från den vid mätning av större mått. Det brast således i överensstämmelse mellan tummåtten på ömse sidor av Atlanten, och inte ens mättemperaturen var densamma.

I maj 1926 uttalade sig Bureau of Standards i Washington i den viktiga och sedan länge dryftade frågan och rekommenderade att en yard skulle definieras i ljusvågor samt att förhållandet skulle vara $1\text{ yard} = 0,9144\text{ meter}$. Likaså rekommenderades att en inch skulle vara lika med 25,4 mm. Denna relation hade man enligt Bureau of Standards sedan länge använt såväl i England som i USA i praktiken, ehuru relationen icke var internationellt fastställd. Den 20 april hölls en allmän standardiseringskongress med representanter för olika länder, däribland även Sverige, och vid denna kongress röstade man för att de nämnda relationerna skulle antas officiellt för att få fram uniformitet inom industrin. Det råder intet tvivel om att orsaken till att man vid kongressen kunde säga att man "sedan länge" använt måttet $1\text{ tum} = 25,4\text{ mm}$ är att hänföra till Johanssons måttsatser. Ett viktigt framsteg var att USA:s krigsindustri från 1915 uteslutande använde Johanssons passbitar i tum vid krigsmaterieltillverkningen. C E Johansson hade sedan 1912 gjort sina passbitar för Amerika med relationstalet $1\text{ tum} = 25,4\text{ mm}$ vid en temperatur av 20°C, och övriga passbitar i samma system hade gjorts i relation till detta.

En rekommendation från ett lands kontrollbyrå och en enda kongress räckte dock inte till. Intresse stod mot intresse i olika länder och även i samma land.

Engelsmännen var villiga att acceptera det nämnda relationstalet mellan tum och meter och likaså Bureau of Standards. Däremot ansåg American Institute of Weights and Measures att tummättet genom kongressbeslut av år 1866 ej fick fattas som ett erkännande av att amerikanska tummättet var exakt bestämt i förhållande till arkivmetern, utan att tummättet var så bestämt att en meter hade en annan storlek i USA än den internationella metern. Det sistnämnda institutet var villigt att anta relationstalet endast under förutsättning av att meterns mått ändrades. Stridens vågor gick mycket höga vid kongresser och sammanträden och i den tekniska fackpressen. Det gjordes gällande att om Bureau of Standards och standardiseringsmännens förslag skulle gå igenom så skulle detta betyda nära nog en katastrof för den amerikanska industrin därför att verktyg till ett värde av miljarder dollars skulle vara oanvändbara, då dessa verktyg tillverkats efter annat måttssystem än det föreslagna



Figur 5 Demonstration av relationen mellan tum och millimeter (1 tum = 25,4 mm) utförd med passbitar och måttskänklar tillverkade i USA och i Sverige.

och följt det då sextio år gamla kongressbeslutets bestämmelser. Att riva upp ett gammalt kongressbeslut för att få en lagändring till stånd ansågs icke vara lämpligt. För den skull tillsattes en internationell kommitté, som fick i uppdrag att göra upp förslag till norm för den tekniska måttenheten.

I denna kommitté var C E Johansson självskrivnen ledamot. All diskussion hade ganska snart upphört. Orsaken befanns vara att USA:s industri helt enkelt sedan 1923 praktiskt taget uteslutande använde måttsatser med C E Johanssons passbitar i tum och att han vid dessa utgått från 1 tum = 25,4 mm. All diskussion, allt hårklyveri i juridiska frågor var överflödig. I oktober 1932 var kommittén färdig att officiellt godkänna just denna relation, vilket beslut bekräftades av American Standards Association i mars 1933. I beslutet ingick även att +20°C fastställdes som den internationellt erkända uppmätningstemperaturen. I England hade mot-

svarande frågor tidigare behandlats och godkänts och således var man framme vid det åtråvärda målet.

Några år efteråt har C E Johansson själv på ett uttrycksfullt sätt sammanfattat vad han ansåg vara den förnämsta vinsten av den enighet som efter åratals diskussion äntligen uppnåddes. Han anknuter främst till temperaturfrågan och framhåller att genom den internationella överenskommelsen om en uppmätningstemperatur av +20°C har vunnits:

1. Den högsta möjliga precision av måttvärden i millimeter och tum.
2. Toleranssystemets fulländning.
3. Internationellt förvandlingstal mellan tum och millimeter (25,4).
4. Möjligheten att framställa fullt utbytbara mekaniska produkter inom verkstadsindustrin.

Det vore en överdrift att säga att han ensam åstadkommit denna grad av uniformitet. Ingen kan dock bestrida att C E Johansson genom sitt systematiska tänkande och verkstadsmässigt riktiga handlande har oerhört aktivt bidragit till att ge alla dem i olika länder som deltagit i diskussioner och i handling en fast plattform att stå på, när det gällt ett begränsat, men mycket betydelsefullt område av internationellt samarbete.

Framgång och besvikelser

En genom åren nedsatt hörsel gjorde att C E Johansson drog sig inom sig själv och därför av många ansågs vara kärv och otillgänglig. Han var inte de många ordens man utan vann vetenskapsmäns och teknikers uppskattning genom det sätt på vilket han — liksom hans språkkunniga försäljare — demonstrerade mättonens vida användningsområde i praktiken liksom deras ur fysikalisk synpunkt förbluffande egenskaper, som gav förut inte uppnådda resultat. Efter första världskrigets slut, då hans industriföretag i Eskilstuna, grundat år 1911, utsatts för börsspekulationer, gled ledningen för detta ur hans händer till hans stora besvikelse. Han sålde sin andel och med samma sega tåga som förut började han på nytt i USA vid 55 års ålder. Besvikelser sparades honom inte heller där, men sedan han engagerats av sin vän Henry Ford, som under 1920-talet införde System Johansson vid masstillverkning av bilar, återvann han sin position. Hans företag i Eskilstuna kunde rekonstrueras och dit återvände C E Johansson efter 17 år i USA.

Under sin levnad hedrades han med många utmärkelser, medaljer, ordnar, hedersdoktorat och ledamotskap av lärda samfund. Måttjohansson, som han oftast benämndes, slutade sina dagar den 30 september 1943, en månad före det att han ur Kronprins Gustaf Adolfs hand skulle fått mottaga Ingenjörsvetenskapsakademiens stora guldmedalj.

Denna överlämnades till hans maka, som i begynnelsen av hans arbete med passbitar praktiskt deltagit i det som kom att bli System Johansson.

TORSTEN ALTHIN, fil dr h c, tekn dr h c, lärare i teknikhistoria vid Kungl Tekniska Högskolan.