



A C A D E M I A R O M Â N Ă

Comitetul Român de Istoria și Filosofia Științei și Tehnicii

– Divizia de Istoria Științei –

STUDII ȘI COMUNICĂRI/DIS

Vol. XVI/2023

Editura MEGA

ISTORIA KILOGRAMULUI, PROTOTIP NAȚIONAL APARTINÂND ROMÂNIEI

Adriana VÂLCU¹, Adela CĂLIN²

adivaro@yahoo.com, adelacln@yahoo.com

ABSTRACT: The date of November 16, 2018 is considered a turning point for humanity, considering that on this day, in Versailles, a group of 60 countries signed for redefining four of the basic SI units (Kilogram, Kelvin, Ampere and Mole) depending on universal constants (the other three SI units were already defined). The new definitions of the four units entered into force on May 20, 2019, the same day that the World Metrology Day is celebrated. Even though the definition of the kilogram has been changed, at the moment, in many countries, the national standards of 1 kg of platinum-iridium are still used as a starting point in the expression of mass unit. In the first part of the current work, we describe the stages that led to the creation of the International Prototype Kilogram (Big K or IPK) and of the fourty platinum-iridium standards, after which we present the history of the National Prototype Kilogram No. 2 belonging to Romania – NPK – (from the moment of its creation until now).

KEYWORDS: International Prototype of the Kilogram, National Prototype of the Kilogram, Platinum-Iridium, new definition of the kilogram.

Introducere

Noua definiție a kilogramului care a intrat în vigoare la 20 mai 2019 este de o importanță deosebită deoarece va deschide calea către îmbunătățiri considerabile ale exactității măsurărilor.

Efectul acestei schimbări nu va fi resimțit în viața majorității oamenilor – un kilogram de fructe cântărit înainte de redefinire va fi și după redefinire tot un kilogram de fructe – dar diferența va fi simțită în special de metrologi și de cei care își desfășoară activitatea în cercetare. Chiar dacă a continua definirea unității de masă folosind un obiect realizat în secolul al XIX-lea a fost considerată „scandaloasă” [5], nu putem să nu apreciem

¹ Dr. inginer, C.S. III, Societatea Română de Măsurări, absolventă a cursului „Inițiere în Istoria și Filosofia Științei și Tehnicii”, organizat de CRIFST, Academia Română, 2023.

² Inginer chimist, Drd., UMF Timișoara.

faptul că atât definiția, cât și etalonul „au reușit împreună”: au rezistat extraordinarei evoluții care a avut loc în știință și tehnologie în timpul secolului al XX-lea și începutului secolului al XXI-lea. Principalul avantaj al definiției anterioare a fost simplitatea acesteia, fiind ușor de înțeles de toată lumea [11].

Deși kilogramul a fost redefinit, în momentul de față, în multe țări, etaloanele naționale de 1 kg din platină – iridiu încă mai sunt utilizate ca punct de plecare în lucrările de diseminare a unității de masă.

Capitolul 1. Istoria Kilogramului Prototip Internațional și a celor 40 etaloane din platină

1.1 Crearea Prototipului Internațional

Odată cu legea adoptată de către Adunarea Constituantă Franceză la 1 august 1793 se stabilește uniformitatea măsurilor și greutateilor pe întreg teritoriul Republicii [8].

Unitatea de măsură pentru lungime a fost definită (la propunerea academicianului Borda) ca fiind „a 10 milioane parte” din sfertul unui meridian terestru. Această unitate s-a numit „metru” cu multiplii (din limba greacă) și submultiplii (din limba latină) în sistem zecimal. De aici decurgea unitatea de volum (litru) ca fiind cantitatea de lichid cuprinsă în interiorul unui cub cu latura de un decimetru.

Unitatea de masă se definea ca fiind greutatea unui lichid conținut într-o unitate de volum. Dar se pune problema ce fel de lichid? Pentru a realiza cu ușurință acest etalon, lichidul trebuia să fie unul universal, pur sau purificabil, accesibil pentru toată lumea și ale cărei proprietăți să fie cunoscute. Unul singur a răspuns la toate aceste criterii: apa.

Deci unitatea de măsură pentru masă se definea ca fiind greutatea unui decimetru cub de apă distilată, Fig. 1. Evitând referința la temperatură, întrucât ca orice corp, apa se dilată la căldură și se contractă la frig (cu excepția fazei de gheață, când își mărește volumul față de faza lichidă, dar îi scade densitatea), s-a decis ca definiția unității de masă să fie următoarea: „unitatea de masă este greutatea unui decimetru cub de apă distilată la densitatea sa maximă”. Acest maxim de densitate este atins la temperatura de 4°C [8].

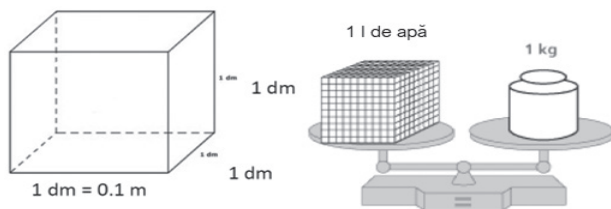


Fig. nr. 1 – Masa unui decimetru cub de apă distilată [13].

Odată cu legea dată în anul 1795, la 7 aprilie, apărea pentru prima oară noțiunea de kilogram, multiplu al gramului, iar la 10 decembrie 1799, kilogramul se definea printr-un cilindru de platină ce „materializa” masa unui decimetru cub de apă distilată la 4°C. Între timp, etaloanele reprezentative ale metrului și kilogramului, (fabricate de Jannety către anul 1795), Fig. nr. 2, sunt prezentate corpului legislativ (la 22 iunie 1799) și depuse în aceeași zi la Arhivele Franței, fiind închise într-un dulap de fier până în zilele noastre.

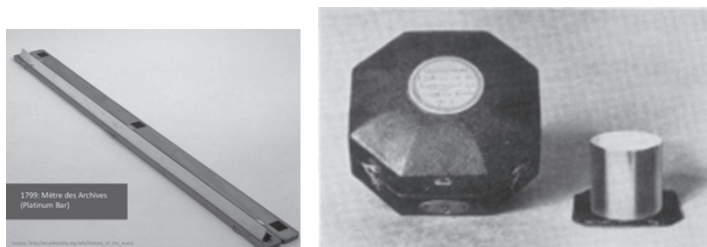


Fig. nr. 2 – Metrul și kilogramul de la Arhivele Franței [13].

Cele două etaloane erau adoptate oficial ca etaloane franceze, dar din punct de vedere internațional nu aveau nici un statut bine definit.

Diverse țări din Europa aveau etaloane de 1 kg derivate într-un mod neoficial din kilogramul Arhivelor. Acestea erau fabricate din materiale diverse și construite de persoane diferite, de exemplu: Austria și Prusia aveau câte un kilogram din platină construit de Froment (Franța); Elveția avea un kilogram din platină fabricat de Collot (Franța); Rusia un kilogram din cuarț construit de Stern iar Norvegia un kilogram din alamă aurită construit de Repsold [9].

Problema unui sistem universal de măsuri a fost pusă mai accentuat

de către Conferința Geodezică Europeană, care în anul 1867 a propus efectuarea unei comparări internaționale a etaloanelor, ca urmare a dificultăților întâmpinate pentru racordarea măsurărilor lor la frontiere. În plus, era necesară îmbunătățirea uniformității etaloanelor nu numai pentru lungimi cât și pentru mase. Acest fapt este confirmat prin faptul că atunci când a fost creat, BIPM (Biroul Internațional de Măsuri și Greutăți) a primit o serie de cereri de etalonări de mase, eliberând circa 71 de certificate în decursul a șase ani și numai 51 pentru etaloanele de lungime [9].

Dar nu numai Conferința Geodezică a avut un rol important în favoarea stabilirii unei comisii internaționale, cât și Academia de Științe din Paris și Saint Petersburg care au cerut guvernelor lor să ia poziție în acest sens. Noua comisie avea sarcina de a construi un nou etalon al metrului, cât mai apropiat de cel al Arhivelor [9].

Întrucât obiectivul principal privea metrul, comisia s-a numit Comisia Internațională a Metrului (CIM). Printre cei care au făcut parte din această comisie s-au numărat savanți celebri cum ar fi Fizeau sau Sainte Claire Deville.

Comisia Internațională a Metrului a ținut prima sa reuniune în luna august 1870, abordând rapid problemele legate de kilogram, întrucât se știa că masa Kilogramului de la Arhive nu era egală exact cu masa unui decimetru cub de apă pură la densitatea sa maximă [8].

În același timp, copii ale Kilogramului și Metrului de la Arhive fuseseră deja distribuite în diferite țări care adoptaseră sistemul metric. Astfel, printr-o decizie a majorității Comisiei, s-a hotărât adoptarea unui etalon internațional al kilogramului constituit dintr-un etalon material având aceeași masă cu cel de la Arhive.

Problema care se punea era de a stabili materialul din care trebuia confecționat noul etalon al metrului, un rol important în acest sens avându-l savantul Sainte Claire Deville, care a pledat pentru folosirea metalelor sau aliajelor.

Astfel, fierul și argintul au fost eliminate pentru motivul că se deteriorau ușor, oțelul pentru că era considerat instabil, cuprul pentru că este prea moale, alama și bronzul pentru că aveau un coeficient de dilatare mult diferit de cel al platinei, iridiul din cauza dificultăților de topire și evitare a bulelor de aer [8].

Chiar dacă platina pură avea inconvenientul că este prea moale și ca atare deformabilă, aliajele sale au fost studiate. Astfel, datorită diferenței

de densitate, aliajele de platină cu cupru, aur sau argint au fost eliminate întrucât se stratificau [9].

Secțiunea franceză a Comisiei a venit cu propunerea folosirii unui aliaj de platină cu 10% iridiu (material deja studiat de Fizeau), comparabil cu metalul folosit pentru Metrul de la Arhive.

În timp ce secțiunea franceză a CIM pleda pentru un etalon din metal, alte țări își exprimau opinia în favoarea unui etalon din „cristal”, propunând un cristal natural de cuarț. Acesta putea fi considerat ca un etalon natural, în timp ce un etalon din platină putea fi considerat un obiect artificial.

Printre dezavantajele folosirii cristalului de cuarț se numărau: fragilitatea, o conductivitate termică scăzută, inexistența unora de dimensiuni mari, o posibilă încărcare cu sarcini electrostatice datorată proprietăților sale de izolanț cât și diferența de volum față de cea a platinei [9]. Cristalul de cuarț avea și avantaje cum ar fi duritatea sau obținerea unei bune calități a suprafeței. În final a învins propunerea făcută privind folosirea unui aliaj de platină cu iridiu.

Chiar dacă s-au înregistrat progrese importante în metalurgia platinei exista și aici o serie de probleme cum ar fi puritatea (importantă pentru rezistența la coroziune și pentru maleabilitatea metalului) precum și lipsa unei cavități (importantă pentru evitarea porilor și a variațiilor de masă sau volum datorate degazării).

Probleme ar fi existat de asemenea și în ceea ce privește topirea și turnarea unui lingou mult mai mare (250 kg) din care urmau să se construiască toate prototipurile metrului și kilogramului. Comisiei Internaționale a Metrului (secțiunea franceză) i s-a încredințat misiunea de turnare a acestui lingou care s-a efectuat în anul 1874 la CNAM (Conservatoire Nationale des Arts et Metieres).

Aliajul, cunoscut sub denumirea de „aliajul Conservatorului” a fost ulterior respins de către CIPM (Comitetul Internațional de Măsurii și Greutăți) ca urmare a caracteristicilor nesatisfăcătoare obținute [9]. Imediat, Sainte-Claire Deville și Debray au reușit să elaboreze un aliaj de platină cu 10% iridiu, care prezenta o duritate superioară platinei pure și care păstra celelalte proprietăți necesare: rezistența la coroziune, densitate mare, o bună conductivitate termică și electrică, susceptibilitate magnetică scăzută. În Fig. nr. 3 sunt prezentate coperta și pagina de deschidere a uneia dintre lucrările lui Deville și Debray despre metalurgia obiectelor din platină, unde este oferită o descriere detaliată a experimentelor lor.

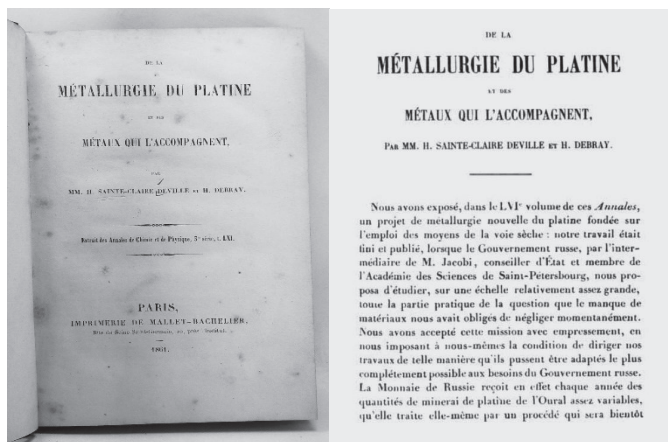


Fig. nr. 3 – Lucrarea lui Deville și Debray privind metalurgia Platinei [12], [15].

Aliajul cu 10% iridiu a fost definitiv adoptat datorită succesului înregistrat de societatea „Johnson – Matthey and Co” în reproducerea procedurii de elaborare al lui Sainte-Claire Deville la scară industrială.

În anul 1878, societatea „Johnson-Matthey and Co” primește comanda de a fabrica trei cilindrii din aliajul de platină (90%) și iridiu (10%). Cu această ocazie, o comisie mixtă a fost creată pentru a supraveghea această fabricație și de a le compara cu Kilogramul de la Arhive. După ce puritatea aliajului a fost controlată de către Sainte-Claire Deville și Stas, cei trei cilindrii, care au primit denumirea de KI, KII și KIII, au fost livrați (în anul 1879), iar densitatea lor a fost determinată înainte de a verifica absența cavitațiilor. Au fost apoi lustruite și ajustate de către Collot, care era un fabricant renumit de greutate și balanțe.

În final, cei trei cilindrii au fost comparați (înainte și după curățare) cu Kilogramul Arhivelor, cu ajutorul unei balanțe construite special de Collot [9]. După ajustări și cântăriri suplimentare, Comisia a ajuns la concluzia că masa în vid a lui KIII este identică cu cea a Kilogramului de la Arhive (în limitele de incertitudine cu care volumul celui din urmă era cunoscut la acea vreme). Din acest motiv, KIII a fost ales ca prototip internațional al kilogramului în anul 1883, printr-o decizie adoptată de către CIPM. Chiar dacă nu poartă nici o inscripție, începând cu această dată, în toate documentele, kilogramul prototip internațional este identificat cu litera $\mathcal{K}$ (numit și marele K sau IPK).

1.2 Realizarea celor 40 de etaloane din platină

În anul 1882, guvernul francez comandă firmei Johnson – Matthey să realizeze 30 de prototipuri de un metru și 40 de cilindrii, din care o parte să fie copii oficiale ale kilogramului prototip, iar altele prototipuri naționale (pentru țările semnatare ale Convenției Metrului).

În octombrie 1884, cilindrii au fost livrați BIPM-ului pentru a putea fi lustruiți și ajustați de Collot (în limitele de ± 1 mg față de prototipul internațional), după ce a fost determinată densitatea lor. O parte dintre acestea au prezentat defecte, cum ar fi goluri sau o densitate scăzută, motiv pentru care au fost retopite, fiind apoi supuse la o forjare până ce densitatea lor a ajuns la 21,5 g/cm³. Fiecare dintre cele 40 de prototipuri a fost numărat consecutiv, pe una din fațete fiind inscripționat numărul respectiv. Aproximativ 30 dintre acestea au fost selectate din lot în anul 1889 și distribuite țărilor semnatare ale Convenției Metrului [9].

1.3 „Sanționarea” prototipurilor

În anul 1889, prima Conferință Generală de Măsuri și Greutăți (CGPM), prezidată de Președintele Academiei de Științe a avut loc la Paris în luna septembrie. Cu mândrie, președintele CIPM, generalul spaniol Ibañez, membru al CIM, anunța că prototipurile internaționale ale metrului și kilogramului s-au născut și, în limitele de exactitate pe care știința din acea perioadă le permitea, erau considerate reproduceri identice ale etaloanelor de la Arhive [9], reprezentând cele două unități de bază ale Sistemului Metric. În același timp el a adăugat că țările semnatare ale Convenției Metrului vor primi prototipuri identice ale metrului și kilogramului, diferențele dintre kilogramele prototip nedepășind câteva zecimi de miligram. Conferința a sancționat (aprobat) faptul că prototipul kilogramului, va fi considerat din acel moment unitatea de masă, specificându-se următoarele: „Acest prototip va fi considerat de acum încolo ca fiind unitatea de masă” [7].

Distribuirea prototipurilor naționale (care au fost sancționate cu aceeași ocazie) către statele semnatare s-a făcut prin tragere la sorți, România obținând prototipul cu seria „2”.

În anul 1901, cu ocazia celei de a treia CGPM, într-o declarație care avea drept scop înlăturarea ambiguității ce exista privind folosirea în mod curent a termenului de „greutate”, s-a căzut de acord asupra următoarei

formulări: „Kilogramul (kg) este unitatea de masă. El este egal cu masa Kilogramului Prototip Internațional”.

1.4 Stadiul actual privind Kilogramul Prototip Internațional

Prototipul Internațional constă dintr-un obiect confecționat dintr-un aliaj din platină-iridiu având diametrul egal cu înălțimea (39 mm), Fig. nr. 4.

IPK și cele șase copii ale sale (*temoins*) sunt depozitate la BIPM într-un seif monitorizat din punct de vedere al condițiilor de mediu, în subsolul Pavillonului de Breteuil al BIPM din Saint-Cloud. Accesul la *IPK* și la copii este rar și este posibil numai cu autorizarea CIPM, iar pentru a deschide seiful sunt necesare trei chei controlate independent.

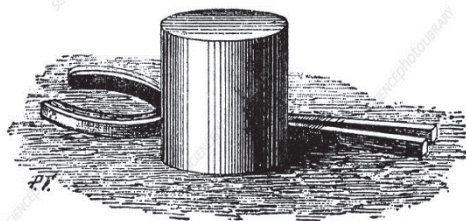


Fig. nr. 4 – Kilogramul Prototip Internațional [13], [14].

După trecerea în revistă a rezultatelor diferitelor experimente de realizare, Comitetul Consultativ pentru Masă și Mărimi Derivate (CCM) a decis în 2017 ca diseminarea unității de masă să fie coordonată inițial la nivel internațional, bazându-se pe așa-numita „Valoare de Consens”, până când dispersia dintre valorile realizate de INM/ID-urile individuale devine compatibilă cu incertitudinile acestora (valoarea consensuală este considerată ca o medie convenită la nivel internațional a realizării kilogramului). Ultima actualizare a valorii de consens a intrat în vigoare la 1.03.2023.

Capitolul 2. Istoria Kilogramul Prototip Național Nr. 2

Kilogramul Prototip Național (*NPK*), Fig. nr. 5, este copia nr. 2 a *IPK*, servind și în momentul de față ca element de referință pentru atribuirea

valorii tuturor celorlalte etaloane de masă din România, asigurându-se astfel uniformitatea măsurărilor de masă din țara noastră.

NPK se păstrează într-un suport metalic, Fig. 6, sprijinindu-se la partea inferioară direct pe o piele de căprioară care căptușește postamentul și este fixat în acest suport prin trei șuruburi laterale și unul frontal care asigură imobilizarea acestuia în suport; șuruburile sunt prevăzute la extremități cu piele de căprioară. Suportul metalic împreună cu un capac cu filet asigură închiderea prototipului. Întreg acest ansamblu este închis într-o cutie din lemn, capitonată cu pluș. Această casetă este păstrată într-o casă de fier.

Scoaterea etalonului din casa de fier împreună cu cutia din lemn se face numai cu ocazia comparării acestuia cu etaloanele de referință de 1 kg ale I.N.M (Institutul Național de Metrologie) și de asemenea când este trimis la BIPM pentru comparațiile periodice. Manevrarea acestui etalon se efectuează numai cu ajutorul unui clește special, căptușit cu piele de căprioară. În perioadele dintre intercomparări este interzis accesul la prototip.

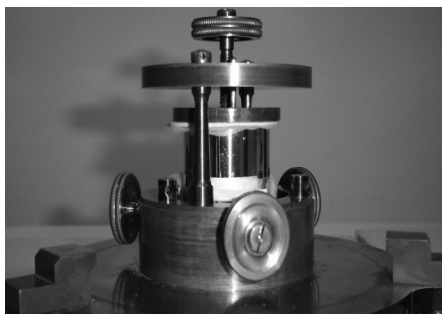


Fig. nr. 5 – Kilogramul Prototip Național Fig. nr. 6 –
NPK fixat în dispozitivul său de transport

Kilogramul Prototip Național Nr. 2 a fost obținut prin tragere la sorți în anul 1889 și primit în anul 1891. Acesta este păstrat de Institutul Național de Metrologie și servește ca referință pentru întreaga activitate de transmitere a unității de masă în România.

Prototipul național a fost furnizat la 24 iulie 1886 de casa „Johnson Matthey et Cie” din Londra, sub formă de cilindru brut și a fost construit

de M. Collot la Paris. După realizare a urmat operația de spălare la 7 septembrie 1886, o comparare la 8 septembrie 1886 și o a doua spălare la 17 noiembrie 1886.

După aceste operații, *NPK* Nr. 2 a fost retopit și furnizat în 19 noiembrie 1887. A urmat apoi operația de spălare la 18 februarie 1888 și o comparare la 20 februarie 1888.

În anul 1889 este atribuită următoarea valoare a masei kilogramului prototip [1]:

$$1 \text{ kg} - 0,953 \text{ mg}$$

După atribuirea valorii, în urma primei Conferințe Generale de Măsură și Greutăți (1889) s-a făcut tragerea la sorți între statele care au cerut obținerea unui prototip. Dintre prototipurile care au rămas, numărul 2 a fost achiziționat de România în 1891.

Pe parcursul „vieții sale”, *NPK* a fost etalonat de șase ori la BIPM, astfel: trei „verificări periodice” au avut loc între anii 1899–1911, 1939–1953, 1988–1992 și trei etalonări suplimentare în 1976, 2005 și 2013.

În anul 2015, ca urmare a unei campanii extraordinare de etalonare, valoarea masei și incertitudinii prototipului au fost modificate în funcție de corecțiile care au fost aplicate lui *IPK*.

2.1 Prima verificare periodică a prototipurilor naționale la care a participat NPK

Prima comparare a prototipurilor a fost efectuată de J.R.Benoit și P.Chappuis între anii 1899–1911, fără participarea prototipului internațional, în locul acestuia fiind utilizate prototipurile nr. 9 și 31 aparținând BIPM. Comparările au fost efectuate pe balanța Rueprecht nr.1 aparținând BIPM.

La această verificare periodică, prototipului nr. 2 i s-a atribuit valoarea [1]:

$$1 \text{ kg} - 0,952 \text{ mg}$$

În Fig. nr. 7 este prezentat modelul de balanță pe care au fost efectuate măsurările, iar în Fig. 8 este prezentat dispozitivul de citire a indicațiilor de la distanță, prin lunetă.

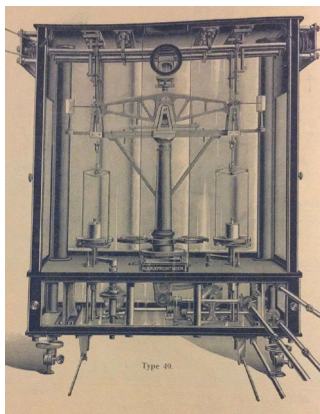


Fig. nr. 7 – Balanța Rueprecht [10]

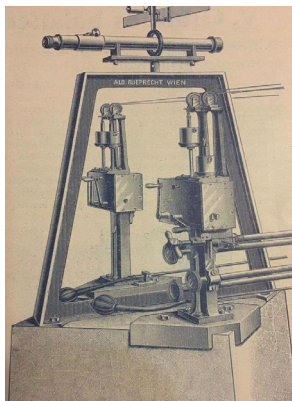


Fig. nr. 8 – Dispozitivul de citire a indicațiilor [10]

2.2 A doua verificare periodică a prototipurilor naționale la care a participat NPK

A doua verificare periodică a început în anul 1939, a fost întreruptă de cel de-al Doilea Război Mondial și reluată în totalitate începând din anul 1946. Kilogramul prototip național împreună cu prototipurile nr. 44 și nr. 48 au fost grupate într-o intercomparare cu doi din martorii prototipului internațional și anume: K1 și 32. Lucrările s-au definitivat în anul 1953, iar rezultatele finale au fost prezentate la a 10-a Conferință Generală de Măsuri și Greutăți în anul 1954.

În urma acestei verificări periodice s-a consemnat următoarea valoare pentru NPK [1]:

$$1 \text{ kg} - 0,992 \text{ mg}$$

2.3 Prima verificare suplimentară a prototipului național

În anul 1976, kilogramul prototip nr. 2 a fost trimis la BIPM pentru o comparație suplimentară, unde a fost comparat cu prototipurile nr. 9, 31 și C aparținând BIPM și kilogramul nr. 63 neatribuit până la acea dată.

Înainte de operația de curățare și spălare s-a eliberat o notă de BIPM în care se indică pentru kilogramul prototip național valoarea [2]:

$$1 \text{ kg} - 1,009 \text{ mg}$$

După operația de curățire și spălare s-a efectuat compararea cu prototipurile de lucru nr. 9 și nr.31, kilogramul nr. 42 aparținând BIPM și kilogramul nr. 63 (neatribuit), obținându-se valoarea [2]:

$$1 \text{ kg} - 1,044 \text{ mg}$$

2.4 A treia verificare periodică a prototipurilor naționale la care a participat NPK

A treia verificare periodică a prototipurilor naționale a fost stabilită de cea de-a 18-a Conferință Generală de Măsură și Greutăți prin Rezoluția nr.1 din anul 1987. Ea a început în toamna anului 1988 și s-a finalizat în toamna anului 1992. Cu această ocazie toate țările având cel puțin un prototip de platină iridiu au răspuns favorabil la cererea BIPM de a trimite prototipul lor național.

La intercomparare au participat 34 de etaloane care au fost repartizate în 4 grupe denumite: G1...G4 (România făcând parte din Grupa 4).

Prototipul internațional a fost comparat cu cei șase martori ai săi și cu patru prototipuri de lucru aparținând BIPM. Doi din cei șase martori au fost aleși pentru comparările cu prototipurile naționale repartizate în cele 4 grupe.

Din ansamblul comparațiilor s-a calculat valoarea masei fiecărui prototip în parte prin metoda celor mai mici pătrate. La această verificare periodică, masa prototipului aparținând României a fost următoarea [3]:

$$1 \text{ kg} - 1,127 \text{ mg}$$

Incertitudinea compusă u_c ($k = 1$) a valorii masei acestui prototip este de 0,0023 mg (cu douăsprezece grade de libertate). Ea a fost stabilită în conformitate cu „Ghidul pentru exprimarea incertitudinii de măsurare” [6].

2.5 A doua verificare suplimentară a prototipului național

Ca urmare a sugestiei făcută în anul 2005 de institutul danez de metrologie, prototipul național a fost trimis la BIPM, în cadrul unei comparații suplimentare, obținându-se valoarea:

$$1 \text{ kg} - 1,117 \text{ mg}$$

Incertitudinea standard compusă, u_c (cu $k = 1$) a valorii masei

prototipului a fost de 0,005 mg și a fost stabilită în conformitate cu „Ghidul pentru exprimarea incertitudinii de măsurare” [6].

Volumul la 0°C al prototipului național a fost același cu cel utilizat anterior și anume:

$$V_{p_2} = 46,4136 \text{ cm}^3$$

Coeficientul de dilatare cubică utilizat pentru a calcula volumul prototipului la temperatura de comparare, în scara internațională de temperatură din 1990 a fost următorul (coeficientul mediu între 0°C și t_{90}):

$$\alpha = (25,869 + 0,00565 t_{90}) 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Corecțiile datorate forței ascensionale a aerului au fost calculate cu ajutorul „Formulei pentru determinarea masei volumice a aerului umed (1981)”.

După sosirea de la BIPM, etalonul național a fost utilizat în anul 2006 pentru atribuirea valorii masei etaloanelor de referință de 1 kg, în cadrul temei de cercetare: „Lucrări de întreținere a etaloanelor naționale, primare și de referință de masă”.

2.6 A treia verificare suplimentară a prototipului național

În anul 2013 etalonul național de 1 kg a participat la o comparare suplimentară la BIPM, în urma căreia s-a eliberat un certificat de etalonare [4].

Masa prototipului s-a obținut în urma comparărilor efectuate cu ajutorul balanței Metrotec, utilizând etaloanele de lucru ale BIPM nr. 63 și 91.

Etalonul național a fost supus unei operații de spălare și curățare în data de 1 octombrie 2012, utilizând metoda BIPM. Masa prototipului înainte de curățare-spălare, conform [4] a fost următoarea:

$$1 \text{ kg} - 1,086 \text{ mg}$$

În final, masa prototipului național nr. 2 rezultată din măsurările efectuate în perioada 23–26 aprilie 2013, a fost următoarea:

$$1 \text{ kg} - 1,114 \text{ mg}$$

cu incertitudinea standard $u_c = 0,007 \text{ mg}$, pentru $k = 1$

Volumul la 0°C al prototipului a fost același cu cel utilizat anterior și anume:

$$V_{p_2} = 46,413 \text{ 6 cm}^3$$

Coeficientul de dilatare cubică utilizat pentru a calcula volumul prototipului la temperatura de comparare, în scara internațională de temperatură din 1990 a fost următorul (coeficientul mediu între 0°C și t_{90}):

$$\alpha = (25,869 + 0,005 \text{ 65 } t_{90}) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

În tabelul nr. 1 se poate observa evoluția etalonului național în raport cu prototipul internațional, cu martorii săi sau alte prototipuri de lucru ale BIPM în perioada 1889 – 2015.

Tabelul nr. 1 – Evoluția Kilogramului Prototip Național nr. 2 în perioada 1889–2015

Etalon de referință	Anul determinării masei	Masa		Variația masei față de anul 1889	Observații
		Înainte de curățare și spălare	După curățare și spălare		
-	1889/1891	-	1kg – 0,953mg	-	Anul sancționării ca prototip
9 și 31(BIPM)	1913	-	1kg – 0,952mg	+0,001mg	Prima verificare periodică
K1; 32(BIPM); 44 (Australia); 48 (neatribuit)	1946/1953	-	1kg – 0,992mg	-0,039mg	A doua verificare periodică
9; 31 și C (BIPM)	1976	1kg – 1,009mg	-	-0,056 mg	Verificare suplimentară
9; 31 și 42 (BIPM); 63 (neatribuit)	1976	-	1kg – 1,044mg	-0,091mg	Verificare suplimentară

2 prototipuri din Pt-Ir (BIPM)	1992	1 kg – 1,068 mg		-0,115 mg	A treia verificare periodică
8 (41) și 32 (BIPM)	1992	-	1 kg – 1,127 mg	-0,174 mg	A treia verificare periodică
63 și 42 (BIPM)	2005	1 kg – 1,117 mg	-	-0,164 mg	Verificare suplimentară
Nr. 63, 91 și 42	2013	1 kg – 1,086 mg	1 kg – 1,114 mg	-0,161 mg	Verificare suplimentară
Etaloane de lucru ale BIPM	2015	1 kg – 1,150 mg	-	-0,197 mg	Campanie de etalonare extraordinară

Din ianuarie 2014 până în ianuarie 2015 la BIPM a fost efectuată o campanie extraordinară de etalonare, la care a fost utilizat *IPK*. În urma acestei campanii, s-a ajuns la concluzia că rezultatele obținute pentru setul de etaloane de lucru BIPM indică existența unui *offset* față de *IPK* de 35 μg pe o perioadă de 22 de ani. Prin urmare, Comitetul consultativ pentru masă și mărimi corelate (CCM) a recomandat ca toate rezultatele obținute la etalonările prototipurilor naționale și ale altor etaloane de masă emise de BIPM în perioada 2003–2013 să fie corectate cu această valoare.

Ca urmare, valoarea masei și incertitudinii prototipului național au fost modificate în funcție de corecțiile care au fost aplicate lui *IPK*, rezultând următoarea valoare:

$$1 \text{ kg} - 1,150 \text{ mg}$$

cu incertitudinea standard $u_c = 0,006 \text{ mg}$, pentru $k = 1$

Din Tabelul nr. 1 și graficul din Fig. nr. 9, se poate determina de asemenea și efectul curățării-spălării asupra masei kilogramului prototip național, comparând masa lui înainte de curățare-spălare cu cea determinată ulterior.

Graficul privind evoluția masei prototipului național pentru perioada 1889–2015 este reprezentat în Fig. nr. 9.

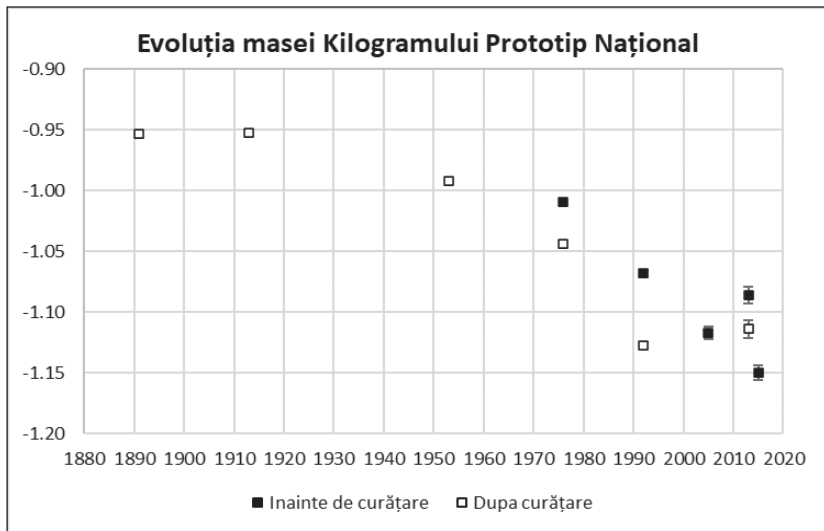


Fig. nr. 9 – Evoluția masei Kilogramului Prototip Național

2.7 Comentarii privind variația masei în timp a Kilogramului Prototip Național

Așa cum rezultă din lucrările publicate de BIPM încă din perioada atestării, prototipul național nr. 2 a înregistrat de la data creării o continuă scădere a masei sale, el fiind considerat ca având cele mai accentuate variații de masă [1]. Cu toate că o anumită scădere în timp a masei este o caracteristică generală a tuturor etaloanelor de masă și implicit a prototipurilor din platină iridiată, se poate aprecia că în cazul prototipului nostru național, suntem în prezența unei variații mai rapide care se datorează în parte și condițiilor vitrege pe care le-a suportat etalonul în perioada cuprinzând cele două războaie mondiale, când, împreună cu o parte din tezaurul național a fost păstrat în afara granițelor țării.

S-a putut constata de asemenea influența retopirii asupra variabilității etalonului, nefiind exclus ca, așa cum rezultă din lucrările BIPM [1], kilogramul prototip național nr. 2 să fi fost confundat cu unul din cele 5 etaloane (nr. 7, nr. 9, nr. 31, nr. 35, nr. 36) care au fost retopite în aceeași perioadă cu etalonul nostru național.

Din toate comparările la care a participat *NPK* (dintre care 3 verificări periodice internaționale) se pot trage următoarele concluzii:

– încă din perioada atestării și până la ultima verificare periodică, NPK a înregistrat o continuă scădere a masei sale;

– cu ocazia ultimei verificări periodice internaționale s-a putut constata că masa prototipului a depășit limita de „ $1 \text{ kg} \pm 1 \text{ mg}$ ” fixată de Prima Conferință Generală de Măsură și Greutăți din anul 1889, acest fapt datorându-se fie unei uzuri mai rapide cauzate de condițiile vitrege în care a fost păstrat etalonul în perioada celui de al Doilea Război Mondial, fie unei contaminări ireversibile ale suprafeței, fie altor factori necunoscuți până în prezent.

Menționăm că încă de la construcție, kilogramul a avut o valoare a masei de $1 \text{ kg} - 0,953 \text{ mg}$, foarte apropiată de limita de $1 \text{ kg} - 1 \text{ mg}$.

Cu toate acestea, NPK nr. 2 a fost inclus în comparațiile celei de-a treia verificări periodice internaționale precum și în următoarele lucrări de comparare cu etaloanele de referință de 1 kg ale României.

Concluzii

Referitor la noua definiție a unității de masă, probabil că toți ne punem următoarea întrebare: ne va afecta acest lucru la nivel personal?

„Nu cred că redefinirea ne va afecta într-un mod major; diferența nu va fi evidentă. Putem cântări lucrurile la fel ca de obicei, fără să ne facem griji că obținem mai puțin sau mai mult în citirile făcute pe balanță”, a spus dr. Mary Jacqueline Romero, fizician de la Școala de Matematică și Fizică de la Universitatea din Queensland.

Un alt fizician, Dr. Eliezer Estrecho afirma, referitor la noua definiție a kilogramului, următoarele: „Este o veste bună că, deși definiția a ceva ce folosim zilnic s-a schimbat, viața noastră de zi cu zi rămâne neschimbată. Redefinirea kilogramului este un efort global [...] această nouă definiție a kilogramului, împreună cu restul unităților SI, va dura probabil pentru totdeauna.”

Redefinirea a permis ca masa să fie realizată direct la orice valoare și în alte locații decât BIPM, folosind un comparator de masă adecvat. Dacă până acum, IPK era folosit în exclusivitate pentru transmiterea unității de masă la nivel mondial, în momentul de față, cu noua definiție, pot fi utilizate ca etaloane primare și alte greutăți cu valori nominale diferite.

Pentru a obține coerență cu valoarea de consens din 2023, toate INM-urile ar trebui să reducă valoarea masei prototipurilor naționale cu $7 \mu\text{g}$ -bazată pe IPK- sau cu $5 \mu\text{g}$ în raport cu valoarea de consens din 2021. De

asemena, se recomandă tuturor INM-urilor să menționeze clar pe certificatele lor trasabilitatea la valoarea de consens obținută în 2023.

Bibliografie:

- [1] ***, Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), 1898 – *Travaux et Memoires du BIPM*, Tome IX, Tome 22–1966.
- [2] ***, Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), 1976 – *Certificate N° 15 du kilogramme prototype N° 2*.
- [3] ***, Bureau International des Poids et Mesures, 1993 – *Certificate N° 6 of mass prototype N° 2 belonging to Romania*.
- [4] ***, Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), 2013 – *Certificate N° 68 of mass prototype N° 2 belonging to Romania*.
- [5] Greenfieldboyce N., 2018 – *Say Au revoir to that hunk of metal in France that has defined the kilogram*. Morning Edition.
- [6] ***, Guide to the expression of uncertainty in measurement, 1995.
- [7] Jabbour Z.J., 1999 – *The Kilogram: last remaining artifact*, NCSL Workshop & Symposium
- [8] Meury P.A, 2005 – *Alliages metalliques pour l'etalon de masse de la Balance du Watt et des References Standards*, HAL Opens Science.
- [9] Plassa M, 1996 – *Le prototype international du kilogramme. Un étalon réussi. Histoire de son choix et de sa réalisation*, Bulletin du BNM, 104.
- [10] Rueprecht & Fils, 1904 – *Catalogue de Balances et de poids de précision pour usages scientifiques et techniques*.
- [11] Vâlcu Adriana, 2022 – *An alternative approach for dissemination of mass unit, following the new definition of the Kilogram*, Volumul 29, Metrology and Measurement Systems.

Surse internet:

- [12] <https://www.abebooks.co.uk/m%C3%A9tallurgie-platine-m%C3%A9taux-l'accompagne-Sainte-Claire-Deville-Henri/16404494043/bd>
- [13] <https://www.bipm.org/documents/20126/43974406/Presentation-CGPM26%20Phillips.pdf/fo0752ad-7cd6-b210-b8ab-771e6a764516>
- [14] <https://www.sciencemag.com/media/811022/view-international-prototype-kilogram-1875>
- [15] <https://technology.matthey.com/article/25/3/121-128/>