

**UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA MATEMATIKO IN FIZIKO
ODDELEK ZA FIZIKO**

STANDARDI

Seminar pri Izbranih poglavjih iz uporabne fizike

Mentor:
doc. dr. Primož Ziherl

Rok Mezgec

17. 5. 2007

Povzetek

V seminarski nalogi povzamemo definicije standardiziranega mednarodnega sistema osnovnih enot in njihovo zgodovino ter opišemo kako so materializirane za praktično uporabo. Navedemo, kje v Sloveniji hranimo etalone vseh osnovnih enot, opišemo njihovo sestavo, delovanje in način sledenja natančnosti njihovega kopiranja za različne primere uporabe.

1. Uvod

Standardi so po definiciji za državo obvezni predpisi za mere in kakovosti izdelkov. Standard, ki je predpis za mere, imenujemo Mednarodni sistem enot (Système International d'Unités) ali skrajšano SI. Enote v Mednarodnem sistemu enot določijo na konferencah, ki jih organizira mednarodni urad za uteži in mere (Bureau International des Poids et Mèures) s sedežem v Sèvresu blizu Pariza. Sistem je izšel iz Meterske konvencije, ki jo je leta 1875 podpisalo 17 držav in osnovalo mednarodni urad za uteži in mere. Svoje sedanje ime je Mednarodni sistem enot dobil leta 1960 na 11. generalni konferenci za uteži in mere. Na priporočilo generalne konference je večina držav podpisnic mednarodni sistem (z manjšimi spremembami) sprejela v svoje zakonodaje [2,3]. Mednarodni sistem enot definira osnovne enote SI, izpeljane enote SI ter predpone SI. Poleg tega določa tudi enote, ki so še sprejemljive za uporabo s sistemom enot SI in enote, katerih uporaba s sistemom enot SI ni sprejemljiva (prepovedana). V Jugoslaviji je mednarodni sistem enot stopil v veljavo s 1. januarjem 1981, ko je stopil v veljavo Zakon o merskih enotah in merilih (Ur. list SFRJ št. 13, 2. 4. 1976) in velja še danes. Osnovne enote mednarodnega sistema enot (SI - Système International) so predstavljene v tabeli 1 [1].

Fizikalna količina	Oznaka	Ime osnovne enote SI	Oznaka enote SI
dolžina	l	meter	m
masa	m	kilogram	kg
čas	t	sekunda	s
električni tok	I	amper	A
temperatura	T	kelvin	K
množina snovi	n	mol	mol
svetilnost	I_s	candela	cd

Tabela 1: Osnovne enote mednarodnega sistema enot SI. Vir: [1].

2. Definicije osnovnih enot SI

2.1 Meter

Meter (oznaka m) je osnovna enota SI za merjenje dolžine, ki jo svetloba prepotuje v vakuumu v 1/299.792.458 sekunde [2].

Meter je leta 1791 določila Francoska akademija znanosti (Académie des sciences) kot eno desetmilijoninko razdalje na površini Zemlje med njenim polom in ekvatorjem, potegnjene po poldnevniku skozi Pariz. 7. aprila 1795 je Francija sprejela meter kot uradno dolžinsko mero. Ta prvi prototipni meter pa je bil za približno 0,2 milimetra prekratek zaradi neupoštevanja sploščenosti Zemlje zaradi rotacije, vseeno pa je postal standard. Leta 1889 so izdelali nov prameter iz zlitine 90 % platine in 10 % iridija in meter določili kot njegovo dolžino pri 0 °C. Prameter hranijo v Sèvresu [3]. Vse do leta 1960 je bil meter definiran z prametrom, definicijo pa so spreminjali vsakih nekaj desetletij. Primer etalonske kopije prametra je prikazan na sliki 1. Od leta 1960 do 1983 je bil meter

definiran kot $1,650,763.73$ valovnih dolžin sevanja kriptona ^{86}Kr iz stanja $2p^{10}$ v $5d^5$. Od leta 1983 pa je v uporabi današnja definicija. [4]



Slika 1: Etalonska kopija prametra. Vir: [4].

2.2 Kilogram

Kilogram (oznaka kg) je osnovna enota SI mase, enaka masi prakilograma, izdelanega iz zlitine platine in iridija, shranjenega v Uradu za uteži in mere v Sèvresu pri Parizu. Etalonska kopija prakilograma je prikazana na sliki 2 in 3 [2].

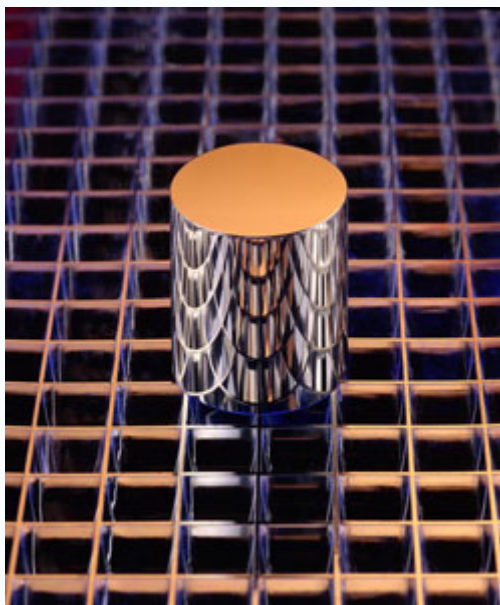
Zgodovinsko izhaja kilogram želeli iz mase kubičnega decimetra vode. Leta 1889 je 1. mednarodna generalna konferenca za uteži in mere v Parizu uzakonila prototipni prakilogram in določila, da je kilogram enota mase, enaka masi prakilograma. Masa prakilograma ustreza masi kubičnega decimetra (litra) vode pri $277,13\text{ K}$, $3,98\text{ °C}$ [1]

Predloga za novo definicijo kilograma, ki ne bi bila definirana s prakilogramom sta tale:

- Kilogram je masa točno $6.0221415 \times 10^{26} / 12$ nevezanih atomov ogljika 12 v osnovnem stanju.
- Kilogram je masa, ki se giblje s pospeškom z natančno $2 \times 10^{-7}\text{ m/s}^2$, če jo izpostavimo sili med dvema ravnima neskončnima vzporednima vodnikoma z zanemarljivim presekom, ki sta natančno 1 meter narazen in po katerih se pretaka tok s točno $6.241.509.479.607.717.888$ osnovnih nabojev na sekundo [2].



Slika 2: Prakilogram iz Sèvresa. Vir: [2].



Slika 3: Etalonska kopija prakilograma, konkreten primer etalona iz ZDA. Vir: [4].

2.3 Sekunda

Sekunda (oznaka s) je osnovna enota SI časa, enaka trajanju 9.192.631.770 nihajev valovanja, ki ga odda atom cezija 133 pri prehodu med nivojema hiperfinega razcepa osnovnega stanja [2]. Do leta 1660 je bila sekunda definirana kot 1/86400 povprečnega sončnega dneva. Leta 1660 je Royal Society v Londonu predlagalo definicijo sekunde kot nihaj nekega »pranihala«, ki so ga pa naredili šele leta 1790 na dogovorjeni geografski širini 45° v Franciji [5]. Leta 1956 so to slabo definirano mero ponovno ovrednotili z mednarodnim dogovorom: sekunda je 1/31556925,9747 delček tropskega leta 0. Januarja 1900 ob 12 h. Ta definicija je veljala do leta 1967. Od takrat dalje velja današnja moderna inačica.

2.4 Amper

Amper (oznaka A) je osnovna enota SI za električni tok. Definiran je bil leta 1948 z definicijo: en meter dolga odseka dveh neskončno dolgih paralelnih vodnikov z zanemarljivo majhnim krožnim premerom, med katerima je razdalja enega metra in po vsakem od katerih teče istosmerni tok jakosti enega ampera, delujeta drug na drugega s silo 2×10^{-7} N [2]. Pred letom 1948 je bil Amper definiran v nenatančnih enotah elektrolitskega nalaganja srebra [6].

2.5 Kelvin

Kelvin (oznaka K) je osnovna enota SI termodinamične temperature, enaka 1/273,16 delu termodinamične temperature trojne točke vode [2]. Definirana je bila leta 1954. Pred tem je bila v uporabi od leta 1848 definicija iz članka lorda Kelvina [7], ki pravi, da je ena »stopinja« enaka 0.00366 delež intervala od absolutne ničle do ledišča vode.

2.6 Mol

Mol (oznaka mol) je osnovna enota SI množine snovi, ki vsebuje toliko osnovnih delov snovi, kolikor atomov vsebuje 0,012 kilograma izotopa ogljika ^{12}C [2]. Pri uporabi te količine je vedno treba navesti, za kakšne osnovne dele snovi gre: atome, molekule, ione, elektrone, druge delce, ali določene skupine teh delcev. V 12 g ogljika ^{12}C je $6,02 \cdot 10^{23}$ atomov ogljika. Ta moderna definicija je bila sprejeta leta 1959. Pred tem mol ni bil dobro definiran, večinoma je bila v uporabi podobna definicija s kisikovimi atomi [3]

2.7 Candela

Candela [kandela] (oznaka cd) je osnovna enota SI svetilnosti v fiziološkem merilu, enaka svetilnosti, ki jo v dani smeri izseva izvor enobarvnega valovanja s frekvenco 540×10^{12} Hz, ki v vsak steradian prostorskega kota izseva 1/683 W moči v fizikalnem merilu [2]. Definirana je bila leta 1979. Pred tem je bila od leta 1948 v uporabi netočna definicija Candela je svetilnost v pravokotni smeri iz 1/600.000 kvadratnega metra črnega telesa pri temperaturi ledišča platine pri tlaku 101.325 Pa. Še pred tem dogovorom pa v svetu ni bilo mednarodno dogovorjene enote za svetilnost [3]

3. Etaloni

Etalon je opredmetena mera, merilni instrument, referenčni material ali merilni sistem, katerega namen je, da definira, realizira, ohranja ali reproducira neko enoto ali eno ali več vrednosti veličine, tako da služi kot referenca [8].

V Republiki Sloveniji nam delo z etaloni določata dva zakona:

- Zakon o meroslovju (Uradni list RS, št. 26/05) in
- Pravilnik o nacionalnih etaloni (Uradni list RS, št. 69/02).

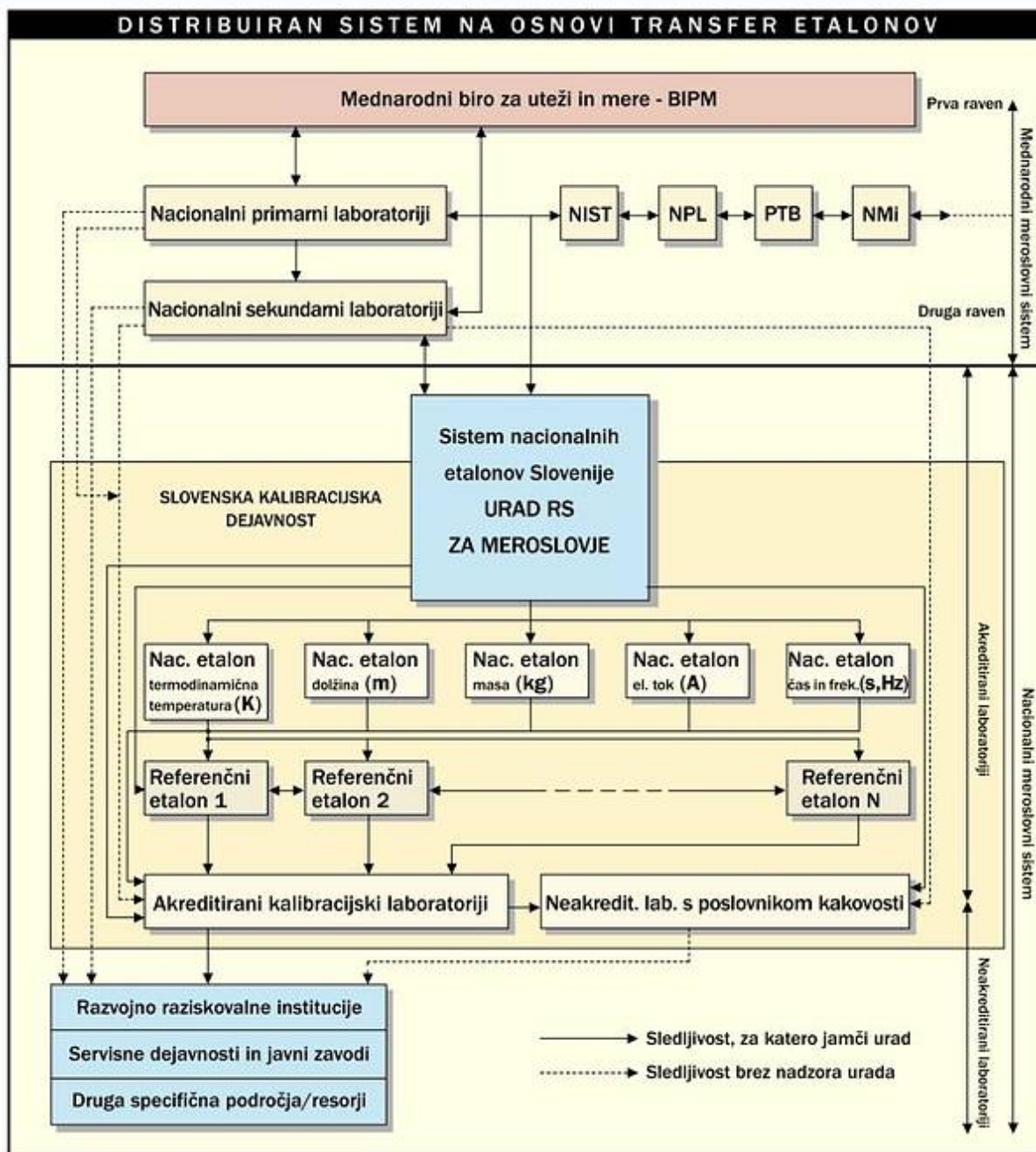
Poleg Urada RS za meroslovje, ki je primarno odgovoren za nacionalne etalone, lahko le-te vzdržujejo tudi druge pravne osebe. Ti zagotavljajo merilno sledljivost fizikalnih veličin na mednarodno raven in prenos vrednosti na etalone nižje hierarhične ravni v Sloveniji.

Etalone osnovnih fizikalnih količin hranijo v Sloveniji na lokacijah, navedenih v tabeli 2. Shema sledljivosti etalonov in umerjanja kopij je prikazana na naslednji strani (slika 4).

Masa	Urad RS za meroslovje, Sektor za maso in prostornino (SMP)
Termodinamična temperatura	Univerza v Ljubljani, Fakultete za elektrotehniko, Laboratorij za metrologijo in kakovost (LMK)
Dolžina	Univerza v Mariboru, Fakultete za strojništvo, Laboratorij za tehnološke meritve (LTM)
Električni tok	Slovenski inštitut za kakovost in meroslovje (SIQ), Preskusne in merilne tehnologije, Področje meroslovja
Čas in frekvenca	Slovenski inštitut za kakovost in meroslovje (SIQ), Preskusne in merilne tehnologije, Področje meroslovja.
Množina snovi	Urad RS za meroslovje, Sektor za plemenite kovine
	Kemijski inštitut Ljubljana, Laboratorij za kemijo, biologijo in tehnologijo vod

Tabela 2: Lokacije etalonov osnovnih fizikalnih količin v Sloveniji. Vir: [8].

Med etaloni mora obstajati zakonsko predpisana sledljivost. Sledljivost je lastnost meritvenega rezultata ali vrednosti etalona, ki omogoča navezavo na navedene reference, ponavadi nacionalne ali mednarodne etalone, skozi neprekinjeno verigo primerjav, ki imajo znano merilno negotovost. Sledljivost je prikazana v shemah sledljivosti, merilna negotovost kopij raste od vrha proti dnu. Prenose med etaloni opravljajo Akreditirani kalibracijski laboratoriji, ki so od Urada RS za meroslovje prejeli licenco in za merilno negotovost takšnih kopij jamči Urad in neakreditirani laboratoriji s poslovnikom kakovosti, katere urad ne nadzoruje.

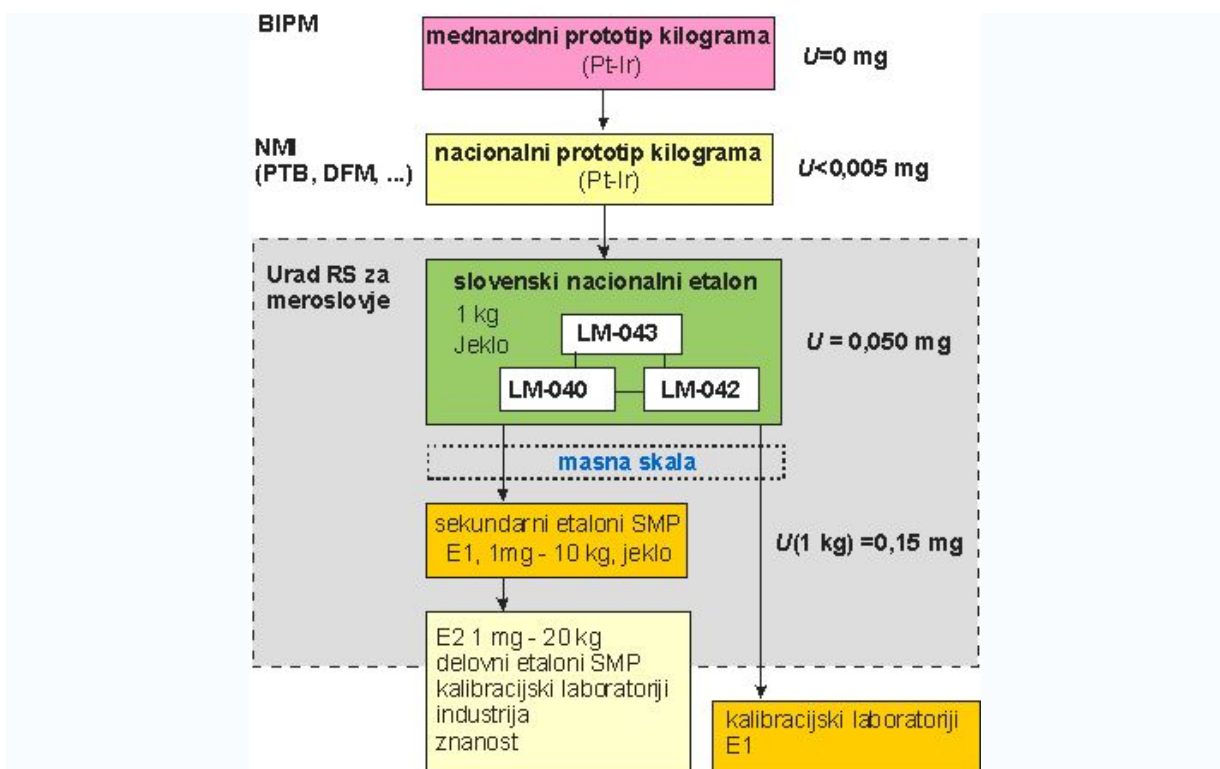


Slika 4: Shema sledljivosti etalonov v Sloveniji. Vir: [8].

3.1 Nacionalni etalon za maso

Nacionalni etalon za maso se hrani v okviru Sektorja za maso in prostornino na Uradu RS za meroslovje [8].

Laboratorij zagotavlja sledljivost nacionalnemu etalonu za maso prek izmenične kalibracije treh kilogramskih uteži iz nerjavečega jekla izbranim na evropskem nacionalnem meroslovnem inštitutu, ki ima ustrezne kalibracijske zmogljivosti (CMC). Merilna negotovost kalibracije je največ 0,050 mg. Prek take kalibracije so naši etaloni sledljivi do mednarodnega prototipa kilograma, ki ga hrani BIPM v Parizu. Prenos vrednosti nacionalnega etalona na nižje hierarhične ravni v Sloveniji temelji na primerjalnem merjenju uteži, kar se izvaja na eni od petih komparatorskih tehtnic. Komparatorske tehtnice delujejo na principu vgrajenih protiuteži in z elektromagnetnim kompenzacijskim sistemom. Razlike med silami, ki jih povzročajo različne mase, so merjene kot razlika v električnem toku, ki je sorazmeren sili teže uteži. Vrednost slovenskih tehtnic znaša okoli 40.000 €, nahaja pa se na Uradu RS za meroslovje. Sledljivost etalona je prikazana na sliki 5.



Slika 5: Sledljivost nacionalnega etalona za maso. U je dovoljena merilna negotovost kopije. Vir: [8].

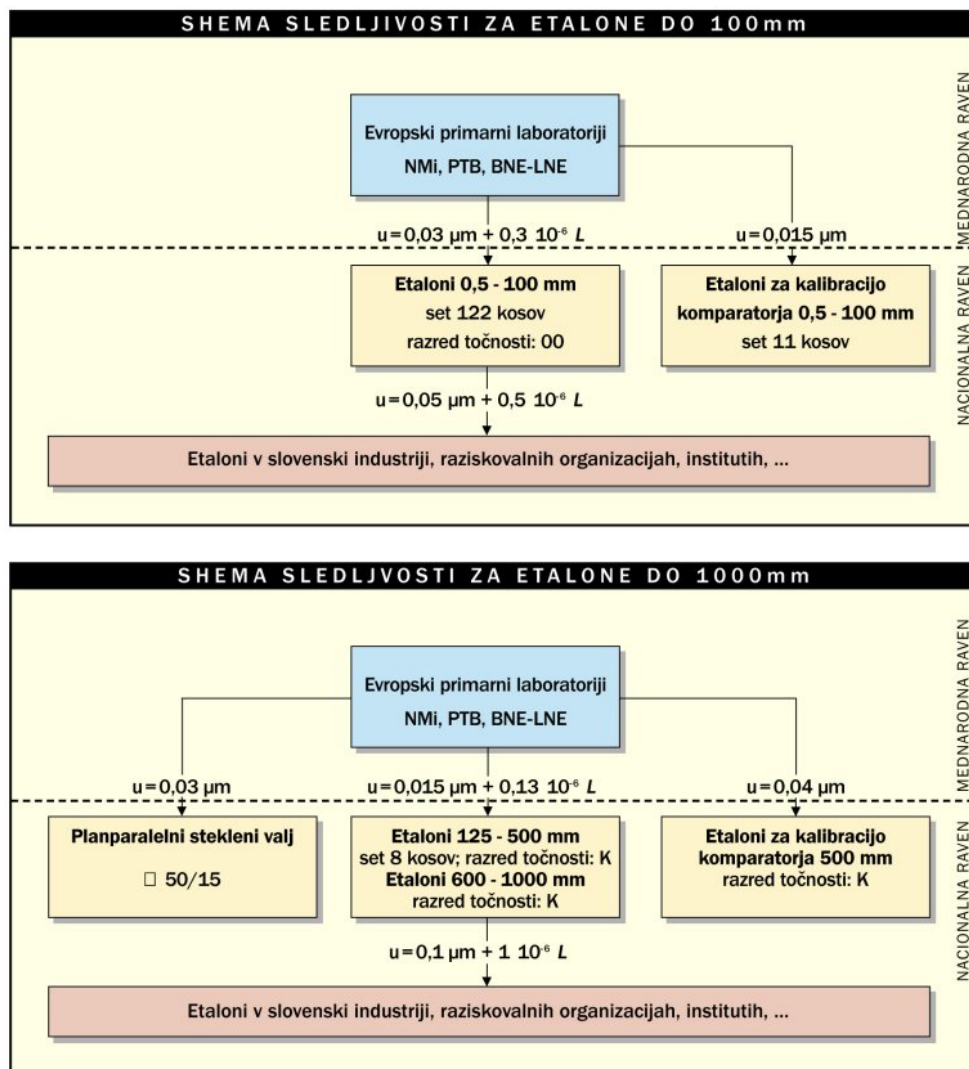
Nacionalni etalon za maso predstavljata dve garnituri uteži točnostnega razreda E1 z masami od 1 mg do 10 kg, in sicer: (1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500) mg, (1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500) g ter (1, 2, 5, 10) kg. Merilne negotovosti se gibljejo od 0,0006 mg za utež 1 mg do 1,5 mg za utež 10 kg, relativna merilna negotovost v območju od 100 g do 10 kg pa znaša 0,15 ppm. Uteži so glede na imensko maso ali iz nerjavnega jekla ali iz aluminija ali iz zlitine medenine in niklja. Oblika, gostota, hrapavost in magnetičnost so v mejah, ki jih za uteži točnostnega razreda E1 predpisuje mednarodno priporočilo OIML 111. Garnituri uteži sta v uporabi izmenično po eno leto, rekalibracijski interval za posamezni set pa je dve leti. Etaloni so sledljivi na primarni etalon mase na mednarodni ravni. Kalibracija teh uteži se v tuji instituciji izvede tako, da se s primarnim kilogramskim etalonom izvede diseminacija (prenos natančnosti na kopijo etalona z akreditiranim postopkom) mase 1 kg na set uteži od 1 mg do 10 kg z negotovostjo, enako največ 1/10 največjih dopustnih pogreškov za točnostni razred E1, nato pa je slovenski nacionalni etalon kalibriran po neposredni primerjalni metodi [8].

3.2 Nacionalni etalon za dolžino

Nacionalni etalon za dolžino se nahaja v laboratorija za tehnološke meritve na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru v okviru Inštituta za proizvodnjo [9].

Sledljivost nacionalnega etalona za dolžino zagotavlja v primarnem laboratoriju Nederlands Meetinstituut na Nizozemskem (laserski interferometer), v primarnem laboratoriju Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) v Nemčiji (dolgi etaloni do 1000 mm) in v nacionalnem laboratoriju BNM-LNE v Franciji (kratki etaloni do 100 mm). Zaradi zmanjšanja merilne negotovosti pa laboratorij sodeluje tudi v mednarodnih melaboratorijskih primerjavah.

Prenos vrednosti nacionalnega etalona na nižje hierarhične ravni v Sloveniji se izvaja s primerjalnim merilnim instrumentom (komparatorjem). Dolžina kalibriranega etalona (planparalelno končno merilo oz. kladica) se primerja z dolžino referenčnega etalona, ki je sledljiv na primarni etalon dolžine (mednarodna raven). Primerjalna merilna instrumenta (komparator do 100 mm in komparator do 1.000 mm) delujeta na principu diferencialnega merjenja odstopkov z dvema induktivnima tipaloma z ločljivostjo 0,01 μm . Sledljivost etalona je prikazana na sliki 6.



Slika 6: Sledljivost nacionalnega etalona za dolžino. Vir: [8].

Etalon sestavljajo:

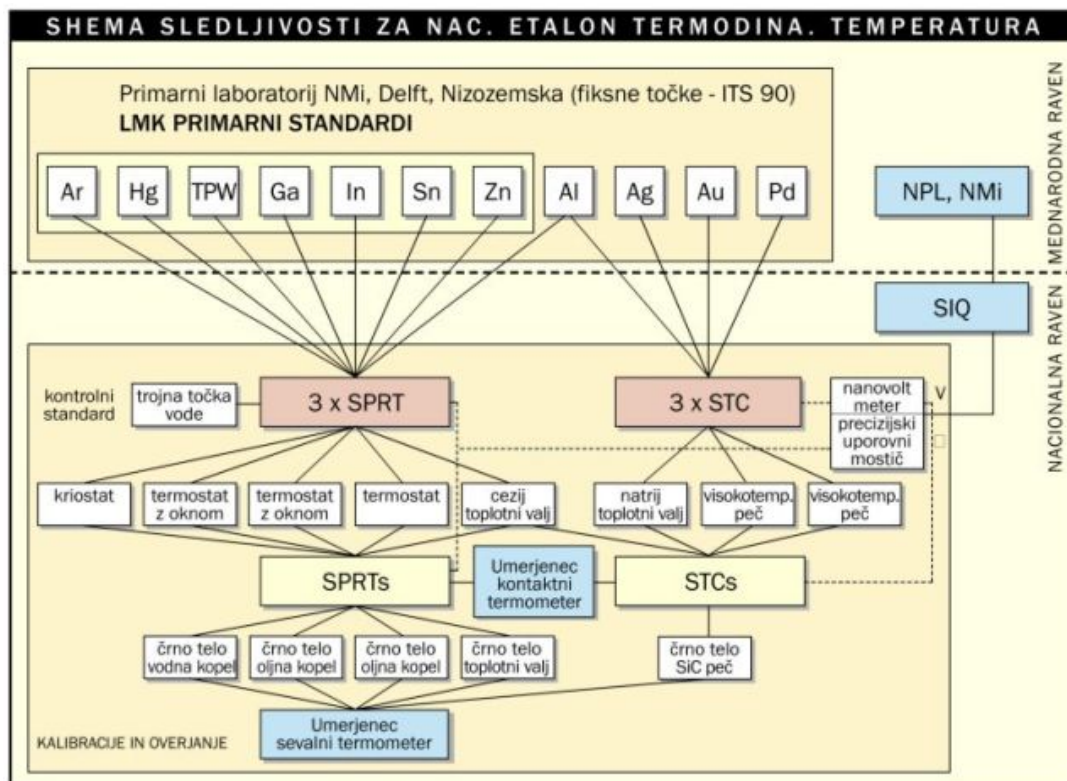
- set 122 kosov planparalelnih končnih meril dolžin od 0,5 do 100 mm. Merila so jeklena z linearno temperaturno razteznostjo $\alpha = 11,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$,
- set 8 kosov planparalelnih končnih meril dolžin od 125 do 500 mm. Merila so jeklena z linearno temperaturno razteznostjo $\alpha = 11,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$,
- planparalelna končna merila dolžin 600 mm, 700 mm, 800 mm, 900 mm in 1000 mm kakovostnega razreda K. Merila so jeklena z linearno temperaturno razteznostjo $\alpha = 11,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

K dodatni opremi sodi komparator za prenos mer do 100 mm, komparator za prenos mer do 1000 mm, planparalelni stekleni valj za kontrolo ravnosti merilnih površin na etalonih in set posebnih etalonov (11 kosov) ter dodatni etalon 500 mm za kalibracijo komparatorja. [8]

3.3 Nacionalni etalon za termodinamično temperaturo

Nosilec nacionalnega etalona za temperaturo je Laboratorij za metrologijo in kakovost v okviru Univerze v Ljubljani - Fakultete za elektrotehniko [10]

Sledljivost nacionalnega etalona za termodinamično temperaturo zagotavlja v primarnem laboratoriju Nederlands Meetinstituut - Van Swinden Laboratorium na Nizozemskem, ki ima fiksne točke v skladu z mednarodno temperaturno lestvico ITS-90. Za kontrolo stabilnosti nacionalnih etalonov (platinastih uporovnih termometrov) se vsake tri mesece izmeri njihova vrednost upornosti v trojni točki vode, ki je osnovna fiksna točka mednarodne temperaturne lestvice ITS-90. Prav tako se vrednost upornosti v trojni točki vode izmeri pred in po vsakim transportom nacionalnih etalonov in po njem. Sledljivost etalona je prikazana na sliki 7.



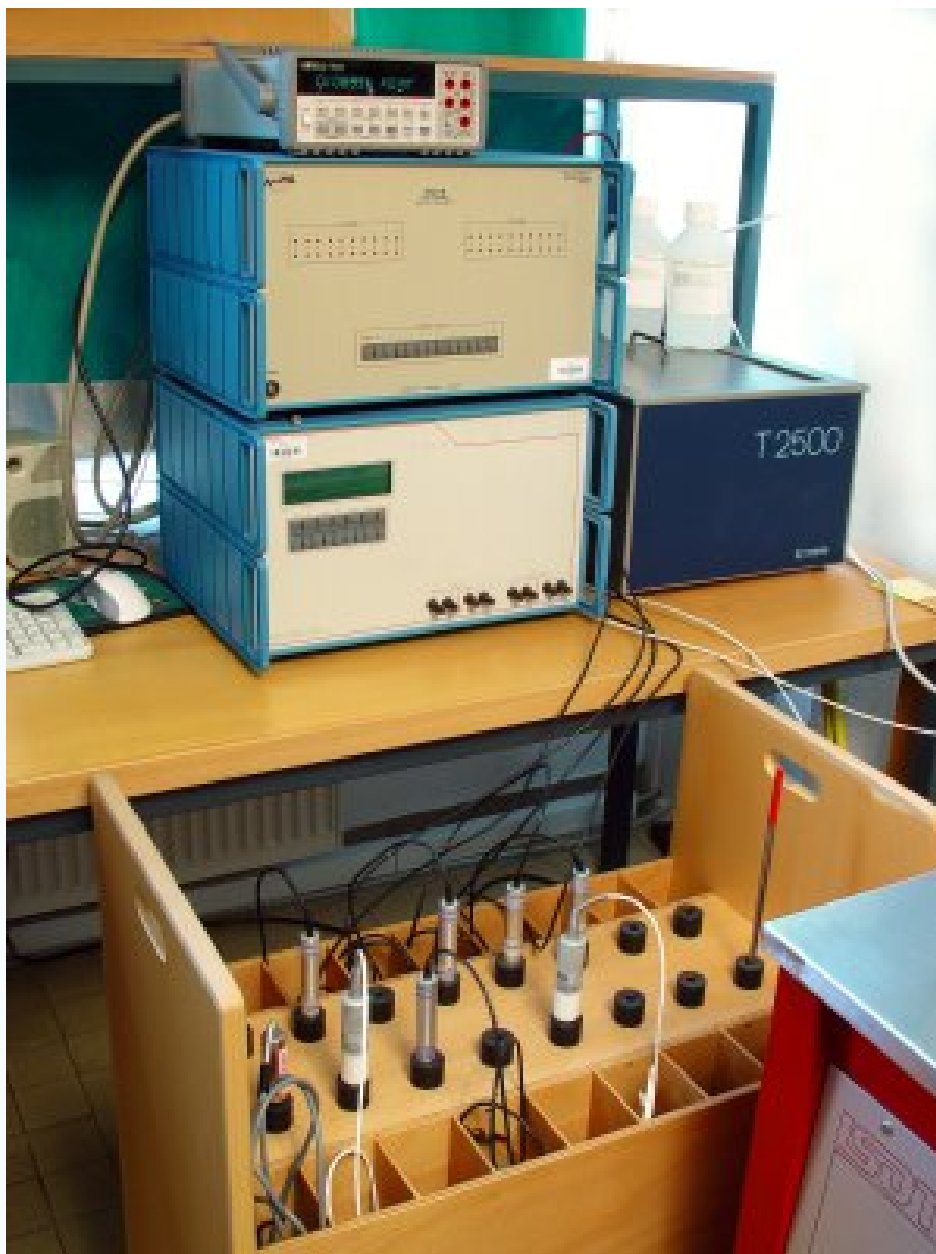
Slika 7: Sledljivost nacionalnega etalona za termodinamično temperaturo. Vir: [8].

Osnovo etalonskega sistema sestavljata dva seta etalonskih termometrov, in sicer set treh standardnih platinastih uporovnih termometrov ter set treh termočlenov. Območje od -189 do 660 °C zajemajo platinasti uporovni termometri, katerih merilni princip temelji na merjenju upornosti v odvisnosti od temperature. Upornost se meri bodisi s pomočjo izmeničnega uporovnega mostiča, ki ima vgrajene etalonske upore, ali pa enosmernega uporovnega mostiča, ki ima zunanje etalonske upore. Območje od 660 do 1500 °C zajemajo termočleni, katerih merilni princip temelji na merjenju termonapetosti v odvisnosti od temperature. Termonapetost se meri s pomočjo nanovoltmetra. Oprema je prikazana na slikah 8 in 9.

Zaradi narave primerjalnih kalibracij je prenos vrednosti na delovne etalone mogoč le v precizijskih kalibracijskih kopelih in pečeh, ki imajo zelo dobro stabilnost in homogeno temperaturno polje, pač glede na področje, ki ga posamezna kalibracijska kopel ali peč zajema. Vseh kopeli ali peči je 12, pri čemer se področja prekrivajo, skupaj pa zajemajo temperaturno območje -98 do 1500 °C. Etalonski standardni platinasti uporovni termometri so umerjeni v fiksni točki med -189 in 660 °C, medtem ko so etalonski termočleni umerjeni prav tako v fiksni točki v območju med 660 in 1553 °C [8].



Slika 8: Aparature za vzdrževanje reference temperature. Vir: [10]

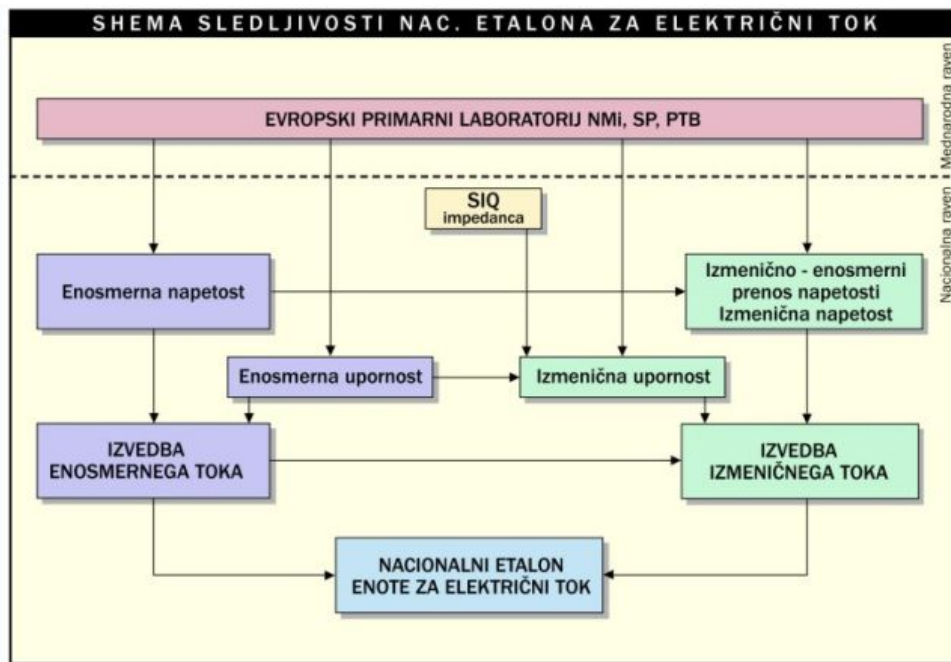


Slika 9: Aparature za vzdrževanje reference temperature. Vir: [10]

3.4 Nacionalni etalon za električni tok

Nacionalni etalon za električni tok se nahaja na Slovenskem inštitutu za kakovost in meroslovje (SIQ) [11].

SIQ trenutno zagotavlja sledljivost etalonov, ki so podlaga za realizacijo nacionalnega etalona za električni tok: etalona za enosmerno napetost in etalonov enosmerne upornosti v primarnem laboratoriju Nederlands Meetinstituut (NMI) na Nizozemskem, etalonov izmenične napetosti in etalonskih izmenično/enosmerne souporov v primarnem laboratoriju Sveriges Provnings-och Forskningsinstitut (SP) na Švedskem in v primarnem laboratoriju Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) v Nemčiji. Sledljivost etalona je prikazana na sliki 10.



Slika 10: Sledljivost nacionalnega etalona za električni tok. Vir: [8].

Nacionalni etalon za električni tok je izveden posredno preko izvedbe etalonov za enosmerno napetost, enosmerno upornost, izmenično/enosmerni prenos (AC/DC transfer) in izmeničnih souporov.

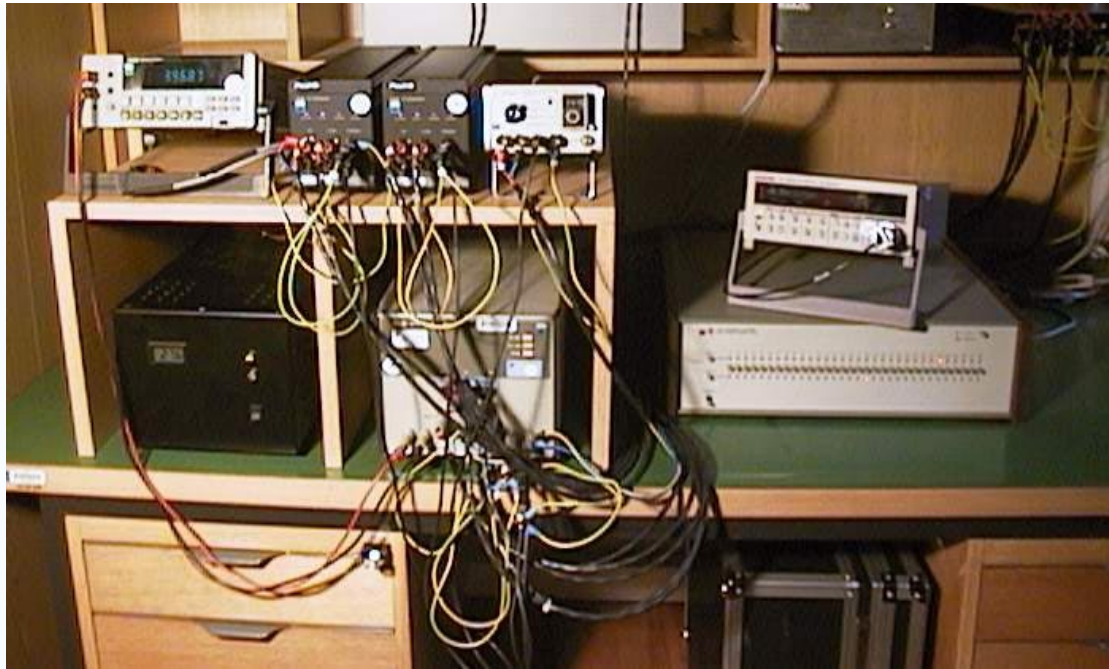
V enosmernem področju od 100 nA do 20 A se enota električnega toka realizira z merjenjem padca napetosti na enosmernem uporju.

- Enosmerna napetost zajema 10 dekadnih velikostnih razredov od 1 μV do 10 kV. Vse vrednosti so izvedene iz referenčne vrednosti 10 V, določene z referenčno skupino štirih polprevodniških napetostnih etalonov.
- Enosmerna upornost je vzpostavljena z referenčno skupino treh etalonskih uporov z vrednostjo 10 k. Iz te vrednosti so s skaliranjem z uporovnimi mostiči različnih vrst izvedene vse dekadne vrednosti od 0,1 m do 100 T, kar ustreza 18 dekadnim velikostnim razredom.

V frekvenčnem razponu 20 Hz do 10 kHz in tokovnem razponu 100 μA do 10 A je etalon enote električnega toka izveden z uporabo souporov v kombinaciji s termalnimi napetostnimi pretvorniki.

- Izmenična napetost je določena na osnovi znane enosmerne napetosti in ovrednotenih etalonov izmenično/enosmernega prenosa 2mV do 1000 V.
- Izmenično upornost predstavlja skupina etalonskih izmenično/enosmernih souporov 100 μA do 10 A [8].

Oprema je prikazana na slikah 11 in 12.



Slika 11: Aparature za vzdrževanje reference enosmernega toka. Vir: [11]

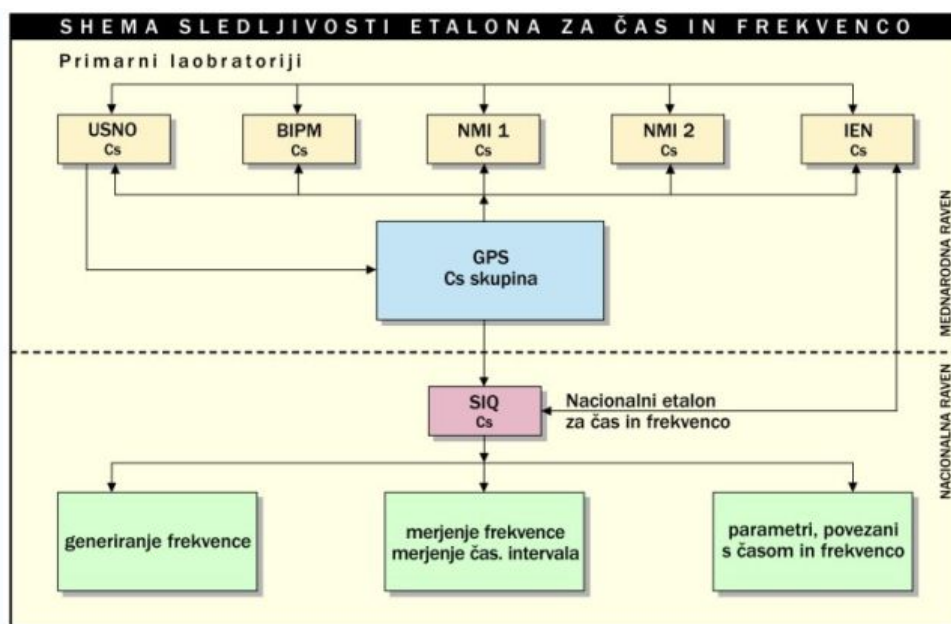


Slika 12: Aparature za vzdrževanje reference izmeničnega toka. Vir: [11].

3.5 Nacionalni etalon za čas in frekvenco

Nacionalni etalon za čas in frekvenco se nahaja na Slovenskem inštitutu za kakovost in meroslovje (SIQ) [11].

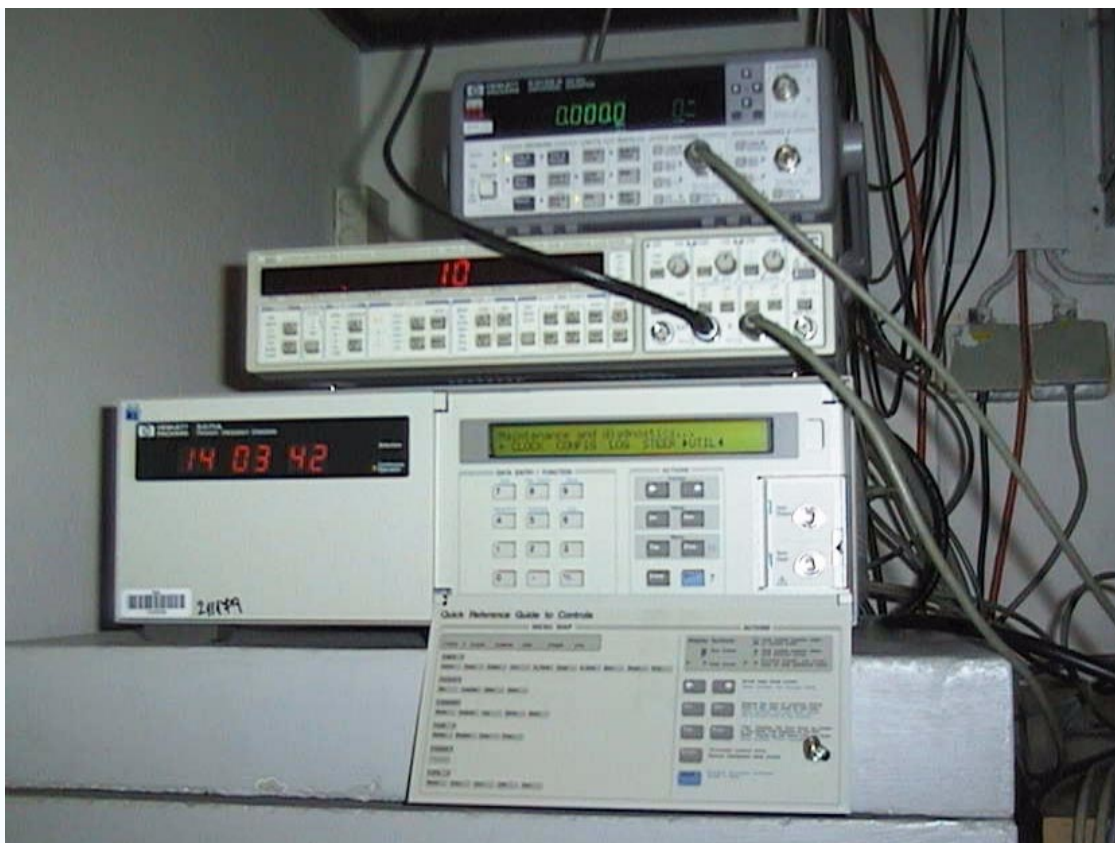
SIQ zagotavlja sledljivost etalona, ki je podlaga za realizacijo nacionalnega etalona za čas in frekvenco, z meritvami časovnih signalov iz sistema GPS s ustreznim sprejemnikom in števcem časovnih intervalov. Odmike referenčnih oscilatorjev v satelitih sistema GPS stalno korigira ameriški vojaški observatorij (USNO), ki njihove dejanske vrednosti poleg ameriškega nacionalnega meroslovnega inštituta (NIST) in mednarodnega urada za uteži in mere (BIPM) tudi objavlja na spletnih straneh. Rezultate meritev SIQ nadzira tudi italijanski nacionalni meroslovni inštitut IEN. S tem je zagotovljena sledljivost na mednarodno raven. Sledljivost etalona je prikazana na sliki 13.



Slika 13: Sledljivost nacionalnega etalona za čas in frekvenco. Vir: [8].

Nacionalni etalon za čas in frekvenco je izveden kot komercialni cezijev oscilator, čigar frekvenca je razdeljena tako, da ima izhodni signal obliko impulzov s periodo 1 sekunde. Perioda izhodnih impulzov predstavlja realizacijo enote časovnega intervala (sekunda), frekvenca oscilatorja (5 MHz ali 10 MHz) pa realizacijo frekvence.

Impulzi periode 1 sekunde se nenehno primerjajo z impulzi periode ene sekunde iz satelitskega sprejemnika signalov sistema za globalno pozicioniranje (GPS). Meritve se izvajajo ob vsaki polni uri tako, da se vzame po 1000 vzorcev in se določi srednja vrednost časovnega intervala med signalom iz sprejemnika GPS in etalona enote za čas in frekvenco. Merilni rezultati se vsake tri mesece ovrednotijo tudi v tujem nacionalnem laboratoriju (IEN, Italija). Tako je vrednost enote časa (časovnega intervala) in frekvence vedno določena in zagotovljena sledljivost na mednarodno raven [8]. Oprema je prikazana na sliki 14.



Slika 14: Naprave za vzdrževanje reference časa. Vir: [11].

3.6 Nacionalni etalon za množino snovi

Nacionalna etalona za množino snovi sta dva, in sicer:

Prvi je nacionalni etalon enote za množino snovi - mol za področje preskušanja zlitin plemenitih kovin na Uradu RS za meroslovje, Sektorju za plemenite kovine [8]. Sektor za plemenite kovine izvaja predvsem meritve masnega deleža zlata in srebra v zlitinah plemenitih kovin na način in z metodami, so navedene v tabeli 3, sledljivost pa je prikazana na sliki 15 na naslednji strani.

Metoda	Standard	Material	Območje merjenja	Razširjena merilna negotovost
Določanje zlata v zlatih zlitinah za nakit – Kupelacija (fire assay)	ISO 11426:1999 (razen 7.3 in 7.5)	Zlate zlitine	Vsebnost Au od 333 % do 990 %	$\pm 0,5 \%$
Določanje srebra v srebrnih zlitinah za nakit – Volumetrična (potenciometrična) metoda z uporabo natrijevega klorida in kalijevega klorida	ISO 13756:1997	Srebrne zlitine	Vsebnost Ag od 800 % do 999 %	$\pm 3,2 \%$

Tabela 3: Merilne zmogljivosti Sektorja za plemenite kovine. Vir: [8].

Shema sledljivosti merjenja masnega deleža zlata v zlitinah plemenitih kovin s kupelacijo

merilna negotovost (M.U.)	material	inštitucija	meritev
M.U. za vsak posamezen CRM	NIST-SRM Ag Pd Cu Zn Mg	National Institute of Standards (NIST)	Izdelava CRM ter določitev masnega deleža posameznih kovin, po možnosti s primarnimi metodami merjenja.
Λ	↓ ↓ ↓ ↓ ↓		
M.U. za Au 999.9% vključuje merilno negotovost vseh uporabljenih CRM-jev	Au 999.9%	Sigma-Aldrich	Merjenje masnega deleža Au v Au 999.9% z ICP-AES preko merjenja vsebnosti sledov kovin z uporabo odgovarjajočih NIST-ovih CRM.
Λ	↓		
M.U. za kupelacijo vključuje tudi merilno negotovost za Au 999.9%	Au zlitina - vzorec	Urad RS za meroslovje (MIRS)	Merjenje masnega deleža Au v vzorcu s kupelacijo preko določitve izkoristka z Au 999.9%.

Shema sledljivosti merjenja masnega deleža srebra v zlitinah plemenitih kovin s potenciometrično titracijo

merilna negotovost (M.U.)	material	inštitucija	meritev
M.U. za vsak posamezen CRM	NIST-SRM za Cu, Fe, Zn, Pb, Na, Ca, Pt, Ti, Mg, Cd	National Institute of Standards (NIST)	Izdelava CRM-jev. Določitev masnega deleža kovin v posameznih CRM, po možnosti s primarnimi metodami merjenja.
Λ	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓		
M.U. za Ag 999.9% vključuje merilno negotovost vseh uporabljenih CRM-jev	Ag 999.9%	Sigma-Aldrich	Merjenje masnega deleža Ag v Ag 999.9% z ICP-AES preko merjenja vsebnosti sledov kovin, z uporabo odgovarjajočih NIST-ovih CRM.
Λ	↓		
M.U. za potenc.titracijo vključuje merilno negotovost za Ag 999.9%	Ag zlitina - vzorec	Urad RS za meroslovje (MIRS)	Merjenje masnega deleža Ag v vzorcu s potenc.titracijo preko določitve korekcijskega faktorja z Ag 999.9%.

Slika 15 Sledljivost nacionalnega etalona enote za množino snovi - mol za področje preskušanja zlitin plemenitih kovin. Vir: [8].

Drugi nacionalni etalon enote za množino snovi-mol za področje varovanja okolja je na Kemijskem inštitutu Ljubljana v Laboratoriju za kemijo, biologijo in tehnologijo vod [12].

Kemijski inštitut, Laboratorij za kemijo, biologijo in tehnologijo vod izvaja merjenja amonijevega dušika, dušika po Kjeldahlu [13], fosfata, klorida, nitrata in pH v odpadni in površinski vodi z metodami, v območjih merjenja in z merilno negotovostjo, ki so navedeni v tabeli 4.

Analit (v odpadni in površinski vodi)	Metoda	Standard	Območje merjenja	Razširjena merilna negotovost
NH ₄ ⁺ -N	Kvaliteta vode – Določanje amoniaka – metoda destilacije in titracije	SIST ISO 5664 (1996)	>0,2 mg/l	1,2 %
NK _j	Kvaliteta vode – Določanje Kjeldahl dušika – Metoda po mineralizaciji s selenom	SIST EN 25663 (1996)	>0,3 mg/l	1,2 %
PO ₄ ³⁻ -Cl-NO ₃ ⁻	Kvaliteta vode – Določanje raztopljenih anionov s tekočinsko kromatografijo ionov	SIST EN ISO 10304 (1998)	>0,5 mg/l	2,8 %
pH	Kvaliteta vode – Določanje pH	SIST ISO 10523 (1996)	3-10	0,8 %

Tabela 4: Merilne zmogljivosti laboratorija za kemijo, biologijo in tehnologijo vod. Vir: [8].

3.7 Primeri nekaterih slovenskih referenčnih etalonov

V Sloveniji imamo še nekaj referenčnih etalonov izpeljanih enot SI, predstavljenih s spodnjim fotografskim materialom.



Slika 16: Naprava za vzdrževanje reference vlage. Vir: [11].



Slika 17: Naprave za vzdrževanje referenčnega izvora sevanja z ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{241}Am in 160 kV katodno cevjo. Vir: [14].



Slika 18: Naprava za merjenje sevanja z referenčnimi ionizacijskimi celicami in elektrometri. Vir: [14].



Slika 19: Naprave za vzdrževanje reference tlaka: 2 tlačni tehtnici, Kvarčni Bourdonov manometer, Kapacitivni membranski vakuummeter, Viskoznostni vakuummeter z lebdečo kroglico. Vir: [15].

4. Zaključek

Sistem SI nam definira vse osnovne fizikalne količine, potrebne za uporabo v teoriji in praksi. Vse osnovne fizikalne količine razen kilograma so dobro definirane, obstajajo pa tudi načrti, kako bi kilogram definirali bolj univerzalno kot le s prakilogramom.

V Sloveniji hranimo etalone za vse osnovne fizikalne količine ter tudi zajeten delež etalonov izpeljanih količin kot so zvočni tlak, kapacitivnost, slabljenje, VF moč, VF slabljenje, gostota magnetnega pretoka (vse v Slovenskem inštitutu za kakovost in meroslovje), tlak (Inštitut za kovinske materiale in tehnologije), sila, trdota (oboje v Zavodu za gradbeništvo Slovenije), osvetljenost (Iskra MIS), ekvivalentna doza ionizirajočega sevanja (Institut "Jožef Stefan"), in relativna vlažnost (Fakulteta za elektrotehniko). Zaenkrat še nimamo banke etalonov na enotni lokaciji prav tako pa ni znano, da bi bila takšna banka načrtovana v bližnji prihodnosti. Vsi slovenski etaloni so redno kalibrirani in preverjeni s strani mednarodnih organizacij odgovornih za standardizacijo.

5. Viri

[1] <http://sl.wikipedia.org/wiki/>

[2] <http://www.bipm.org/en/si/>

[3] <http://en.wikipedia.org/wiki/>

[4] <http://www.mel.nist.gov/>

[5] <http://www.roma1.infn.it/~dagos/history/sm/node3.html>

[6] R. B. Northrop, *Introduction to Instrumentation and Measurements* (CRC Press, Storrs, Connecticut, ZDA, 1997).

[7] Lord Kelvin, (Phil. Mag., oktober 1848, stran 100)

[8] <http://www.mirs.gov.si/>

[9] <http://www.fs.uni-mb.si/>

[10] <http://lmk.fe.uni-lj.si/>

[11] <http://www.siq.si/>

[12] <http://www.ki.si/>

[13] J. B. Cohen, *Practical Organic Chemistry* (Macmillan, London, 1910)

[14] <http://www.ijs.si/>

[15] <http://www.imt.si/>