



Visoka tehnička škola Niš

Studijski program: Komunikacione tehnologije

Predmet: **Elektronska merna instrumentacija - EMI**

Prof. dr Zoran Veličković, dipl. inž. el.

2019/2020.



Prof. dr Zoran Veličković, dipl. inž. el.

Elektronska merna instrumentacija

 Uvod u metrologiju: značaj merenja i merne metode

(1)



Sadržaj

- ▶ Uvod
 - ▶ Predispitne obaveze
 - ▶ Način polaganja ispita
- ▶ Uvod u metrologiju
 - ▶ Uloga i značaj merenja
 - ▶ Istorijski aspekt merenja
 - ▶ Metrologija
 - ▶ Podela metrologije
- ▶ Merna sledivost i etaloni
 - ▶ Merna nesigurnost
- ▶ Merne metode
 - ▶ Tačnost mernih metoda
 - ▶ Tačnost/preciznost

Osnovne informacije o predmetu

- ▶ KURIKULUM:
 - ▶ Predavanja: 2 časa
 - ▶ Laboratorijske vežbe: 2 časa.
 - ▶ Auditivne vežbe: 1 čas
- ▶ Predavanja su obavezna!
- ▶ Laboratorijske vežbe su obavezne!
- ▶ Kako do OBAVEZNIH 30 bodova?
 - ▶ Predispitne obaveze.
 - ▶ Ispitne obaveze.
- ▶ Način polaganja ispita.
 - ▶ Predispitne obaveze + KOLOKVIJUMI + Ispit = max 100 bodova.
 - ▶ $\max(10 + 20) + (20 + 20) = \max 70$ bodova u toku semestra.
 - ▶ Max 30 bodova na Ispitu.

Izvod iz programa

► PREMET IZUČAVANJA:

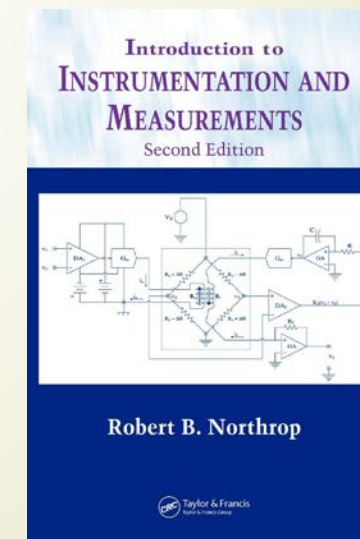
- Merne metode i teorija grešaka merenja
- Arhitektura i principi rada elektronskih mernih instrumenata
- Savremeni elektronski merni instrumenti i sistemi.

► TEME KOJE SE OBRAĐUJU:

- Značaj merenja. Metrologija. Fizičke veličine i sistemi jedinica.
- Međunarodni sistem jedinica.
- Račun grešaka. Apsolutna i relativna greška. Tačnost i preciznost.
- Elektronski merni instrumenti. Analogni i digitalni elektronski merni instrumenti. Komparacija karakteristika.
- Merni pojačavači.
- Analogni i digitalni elektronski voltmetri.
- Voltmetri naizmeničnog napona. Merni ispravljači sa diodama.
- Voltmetri naizmeničnog napona. Merni ispravljači sa diodama.
- Katodna cev. Analogni osciloskop. Digitalni osciloskop. Merne sonde.
- Merni izvori naizmeničnog napona.
- Elektronski brojači.
- Analizatori signala.
- Računarski upravljani test sistemi.
- Instrumentacione magistrale.
- Merenje i upravljanje korišćenjem Interneta.

Literatura

- Z. Veličković: "Elektronska merna instrumentacija", predavanja, Niš 2020.
- Z. Veličković: "Elektronska merna instrumentacija : Praktikum laboratorijskih vežbi", Niš 2018.
- R. Northrop, „Introduction on Instrumentation and Measurements“, CRC Press, 2005.
- V. Radenković: "Elektronska merna instrumentacija", SX print, Niš 2004.
- I. Bagarić: "Metrologija električnih veličina", Nauka, Beograd, 1996.
- <http://www.vtsnis.edu.rs>
- Preporučeni Web sadržaji

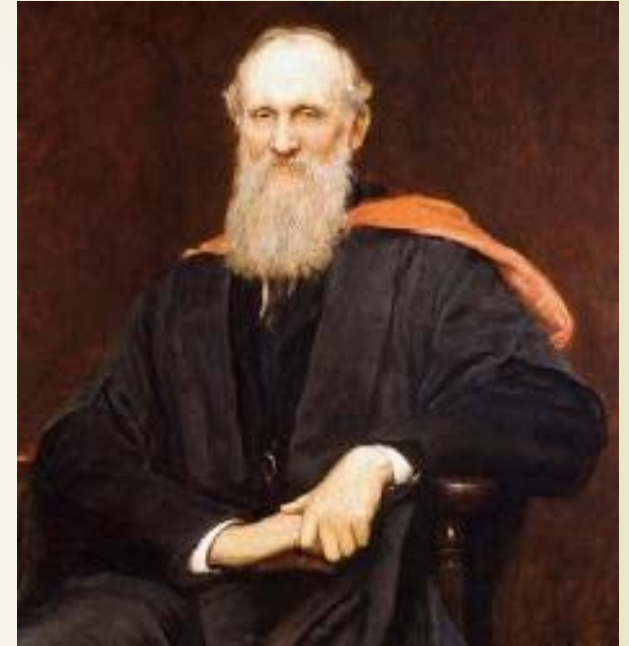


Uloga i značaj merenja (1)

- ▶ MERENJA prate čoveka gotovo u svim delatnostima, a posebno su dobila na značaju kada se razvila trgovina.
 - ▶ Koliko puta ste danas pogledali na sat?
 - ▶ Da li ste već dobili račune za električnu energiju, vodu, telefon, ... ?
 - ▶ Da li su buka ili elektromagnetna radijacija kojoj ste izloženi štetne?
 - ▶ Da li je kvalitet namernica zadovoljavajući?
- ▶ ELEKTRIČNA MERENJA predstavljaju posebnu granu metrologije koja se bavi merenjem električnih veličina (napona, struje, snage, ...).
- ▶ Za nas je posebno značajna grana metrologije koja se bavi merenjem NEELEKTRIČNIH VELIČINA - električnim putem (neelektrična veličina se najpre pretvara u električni napon).
- ▶ MERENJA U ELEKTRONICI su se razvijala uporedo sa napretkom elektrotehnike i elektronike jer su nova otkrića omogućila razvoj NOVIH INSTRUMENATA i METODA merenja.

Uloga i značaj merenja – Lord Kelvin

- ▶ LORD KELVIN (1824-1907), je ovako opisao značaj i ulogu merenja:
- ▶ *“When you can measure what you are speaking about, and express it in numbers, you know something about it, when you cannot express it in numbers, your knowledge is of a meager and unsatisfactory kind; it may be the beginning of knowledge, but you have scarcely, in your thoughts advanced to the stage of science.”*
- ▶ “Kada izmerite ono o čemu govorite i izrazite to BROJEVIMA onda o tome nešto znate, ali ako to ne možete iskazati brojno, vaše znanje o tome je OSKUDNO i NEDOVOLJNO ...” .



WILLIAM THOMSON -
Baron Lord Kelvin
1824-1907

Uloga i značaj merenja - Grejs Hoper

- ▶ GRACE HOPPER (1906-1992), matematičar i informatičar, je ovako opisala značaj i ulogu merenja:
- ▶ *"One accurate measurement is worth a thousand expert opinions ... Measurement is the most important aspect of Performance Engineering ... Performance engineering requires lot of discipline and a methodical approach".*
- ▶ "Jedno pouzdano merenje vredi kao hiljadu mišljenja eksperata" ... Merenje je najvažniji aspekt inženjerskog učinka... Inženjerski rad zahteva puno discipline i metodičkog pristupa.



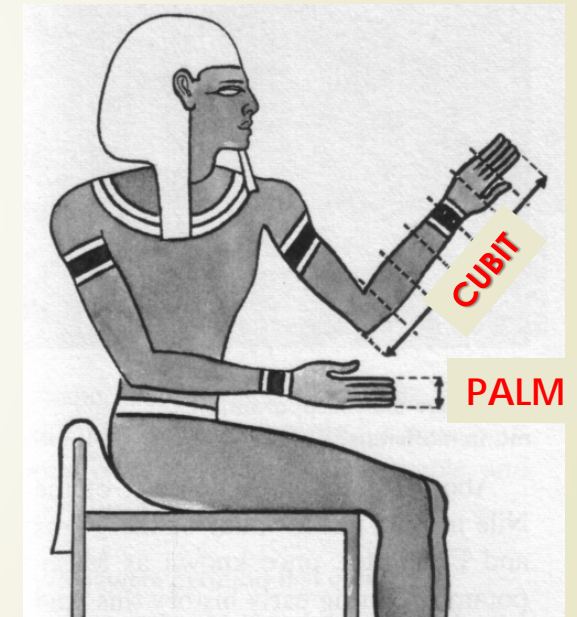
GRACE HOPPER
1906-1992

Istorijski aspekt merenja

- U starom Egiptu, oko 3000 godina pre n. e., je bila ozakonjena **SMRTNA KAZNA** za građevinare kraljevih palata i hramova, koji bi zaboravili svakog punog meseca da **KALIBRIŠU** merila dužina!



CUBIT, staro-egipatsko merilo dužine (oko 52 cm)
Royal cubit = 7 šaka (engl. *palm*) = 28 prstiju
cubit = 6 šaka = 24 prsta



- KALIBRACIJA** je skup operacija kojima se pod određenim uslovima utvrđuje ODNOS između vrednosti veličina koje pokazuje neko merilo i odgovarajuće vrednosti koju predstavlja MATERIJALIZOVANA MERA realizovana ETALONIMA.

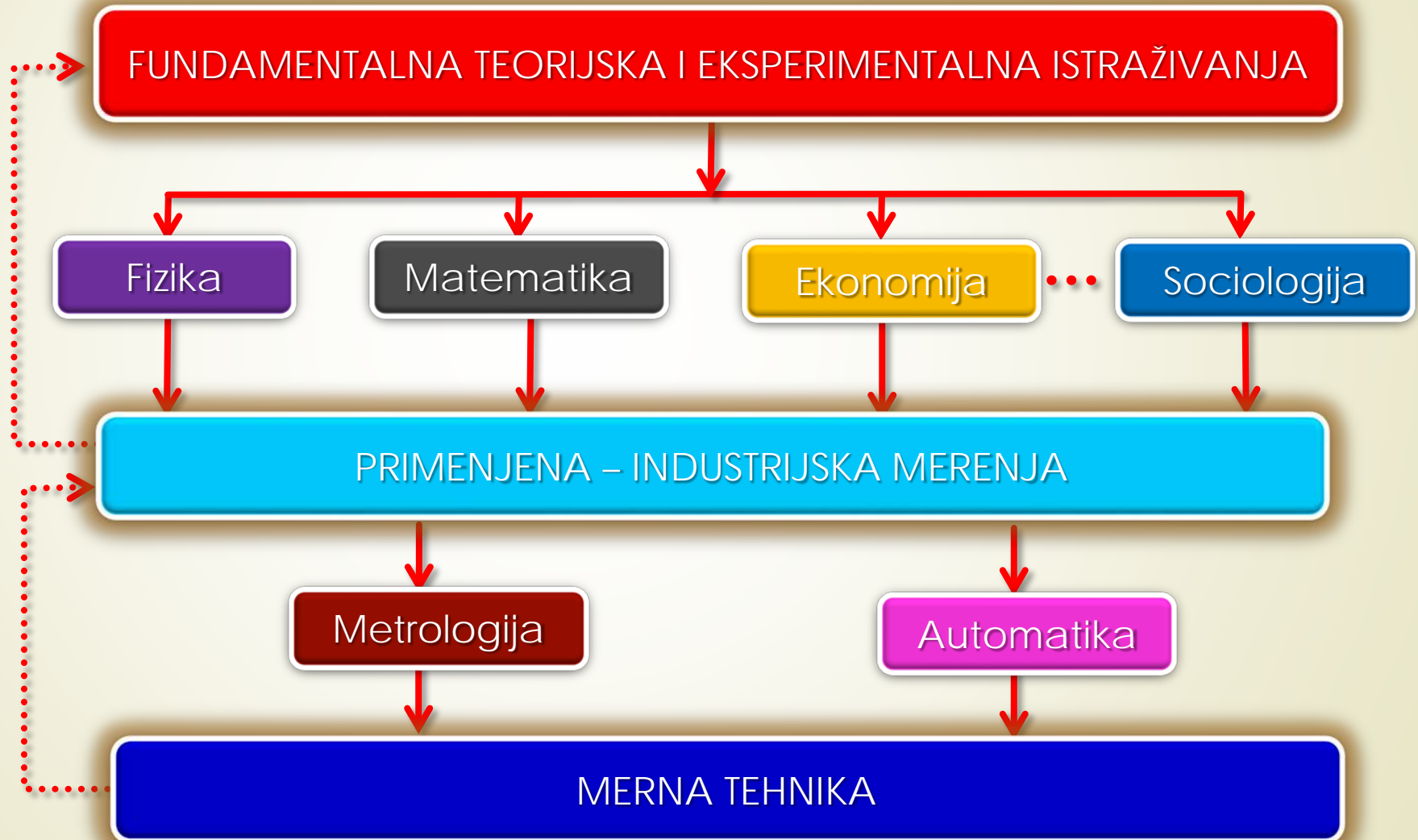
Metrologija - nauka o merenju

- ▶ Pod **MERENJEM** se podrazumeva **SKUP EKSPERIMENTALNIH POSTUPAKA** koji imaju za cilj **ODREĐIVANJE VREDNOSTI** neke fizičke veličine.
- ▶ Vrednost fizičke veličine koja je dobijena **MERENJEM** predstavlja **REZULTAT MERENJA**.
- ▶ **NAUKA O MERENJU** je poznata pod nazivom **METROLOGIJA** (grčki *metron* — mera, i *logos* - učenje) a obuhvata:
 - ▶ Metode merenja,
 - ▶ Sredstva za merenje,
 - ▶ Procenu tačnosti merenja.
- ▶ Generalno, metrologija se prema oblasti izučavanja može podeliti na:
 - ▶ Naučnu (ili teorijsku),
 - ▶ Primenjenu (ili industrijsku) i
 - ▶ Zakonsku (ili legalnu).

Podela metrologije

- ▶ **NAUČNA METROLOGIJA** objedinjuje:
 - ▶ Fundamentalna teorijska i eksperimentalna istraživanja,
 - ▶ Razvoj sistema jedinica (više na sledećem predavanju),
 - ▶ Razvoj REFERENTNIH VELIČINA i ETALONA koji predstavljaju **MATERIJALIZOVANU MERU**, **MERNI INSTRUMENT** ili **MERNI SISTEM** dizajniran da definiše, ostvaruje, čuva i reprodukuje mernu vrednost koja se poređenjem **MOŽE PRENETI** na druga merila.
- ▶ **PRIMENJENA (INDUSTRIJSKA) METROLOGIJA** obuhvata sva merenja koja su od neposrednog značaja za obezbeđenje propisanog **TEHNOLOŠKOG PROCESA PROIZVODNJE** i **KVALITETA** proizvedenih roba i pruženih usluga.
- ▶ **ZAKONSKOM (LEGALNOM) METROLOGIJOM** se bave posebne strukovne državne institucije pod neposrednom ingerencijom svojih **VLADA** kao i **MEĐUNARODNE INSTITUCIJE** u okviru **METARSKÉ KONVENCIJE** (kasnije nešto više) koje imaju za cilj **HARMONIZACIJU AKTIVNOSTI** u metrologiji na širem regionalnom i/ili međunarodnom planu.

Odnos naučne i primenjene metrologije

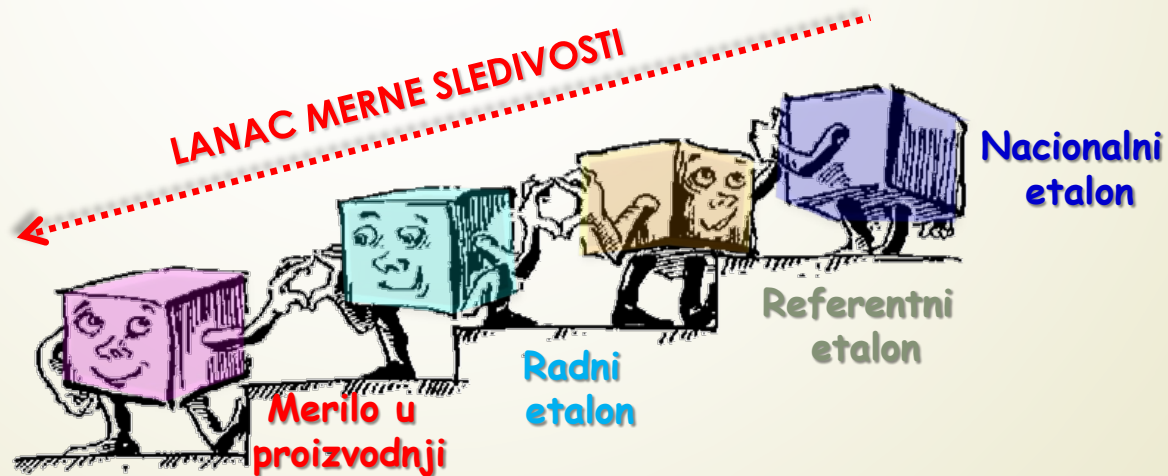


Etaloni

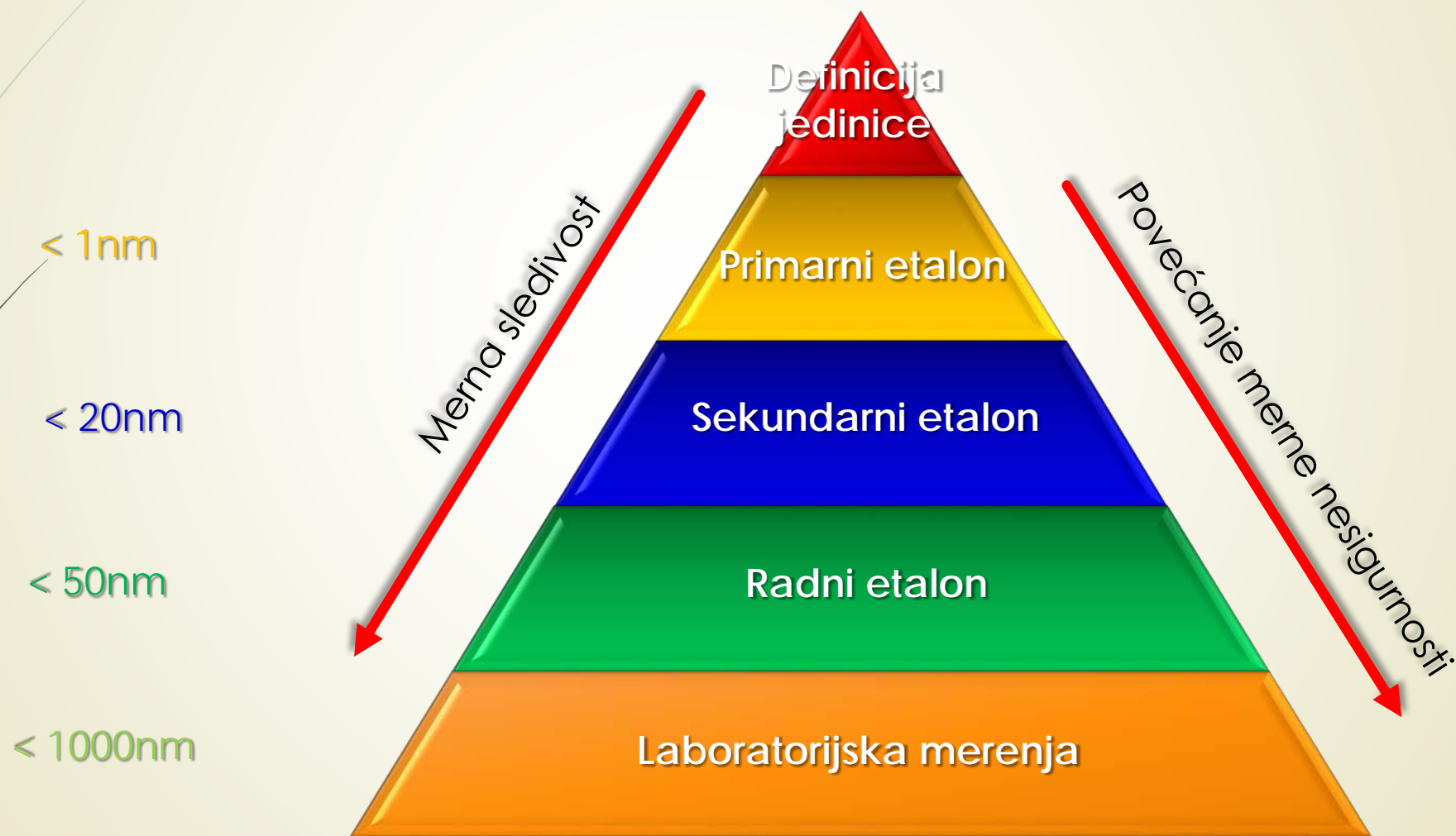
- ▶ **ETALONI** (engl. *standards*) su **MERNA SREDSTVA** koja predstavljaju **MAKSIMALNO TAČNU** određenu vrednost posmatrane veličine.
- ▶ Uobičajena je podela etalona na:
 - ▶ **PRIMARNE** etalone;
 - ▶ **SEKUNDARNE** etalone;
 - ▶ **REFERENTNE** etalone;
 - ▶ **RADNE** etalone.
- ▶ **PRIMARNI ETALONI** poseduju najviša metrološka svojstva.
- ▶ Primarni etaloni se **NIKADA** ne upotrebljavaju direktno, osim za poređenje sa sekundarnim etalomom.
- ▶ **REFERENTNI ETALON** je sekundarni etalon sa kojim se upoređuju etaloni niže tačnosti.
- ▶ **RADNI ETALON** je dobijen poređenjem sa referentnim etalomom.
- ▶ Etaloni takođe, mogu biti:
 - ▶ **MEĐUNARODNI** i
 - ▶ **NACIONALNI**.

Merna sledivost (1)

- **MERNA SLEDIVOST** (engl. *traceability*) je osobina merenja koja definiše kako se rezultat merenja **MOŽE DOVESTI U VEZU** sa utvrđenim referencama (obično nacionalnim ili međunarodnim etalonima) preko jednog **NEPREKIDNOG LANCA KOMPARACIJA** veličina sa **UTVRĐENIM** mernim nesigurnostima.
- **MERNA SLEDIVOST** obezbeđuje **UPOREDIVOST REZULTATA** merenja, a realizuje se procesom **ETALONIRANJA** u kome se određuju karakteristike merila, mernog sistema ili referentnog materijala neposrednim poređenjem pokazivanja merila sa vrednošću etalona.



Merna sledivost - dužina



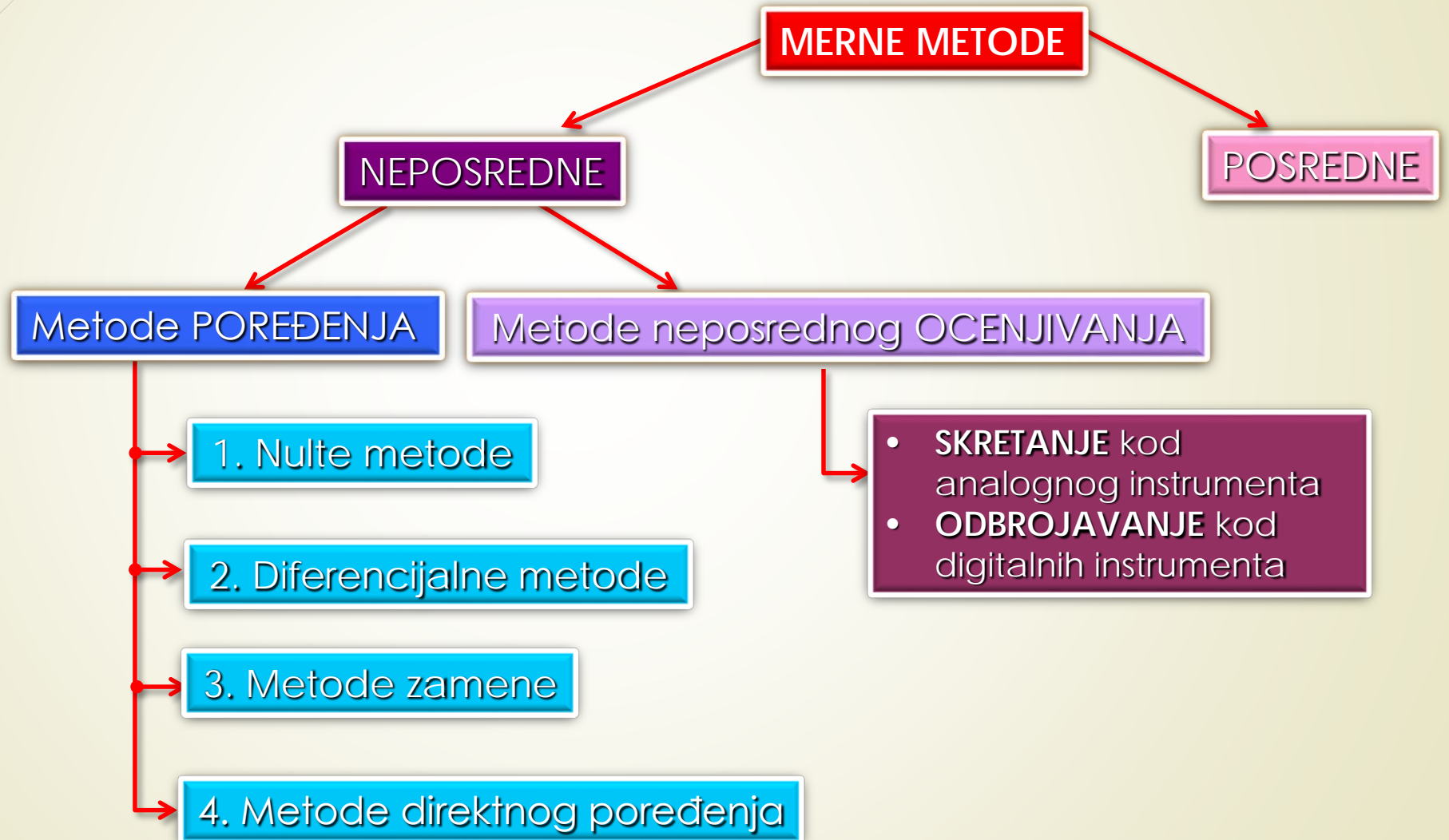
Merna nesigurnost

- **MERNA NESIGURNOST** (engl. *uncertainty of measurement*) je parametar merenja koji je direktno povezan sa mernim rezultatom, a označava RASIPANJE MERNIH VREDNOSTI, koje se mogu pripisati merenoj veličini (primer: standardna devijacija).
- Merni rezultat kome nije **PRIDRUŽEN PARAMETAR MERNE NESIGURNOSTI** se mora smatrati NEPOTPUNIM!
- Procena merne nesigurnosti se može obaviti na dva načina (Tip A i Tip B):
 - **Tip A** - Procena merne nesigurnosti se obavlja pomoću STATISTIČKIH METODA kao što su srednja vrednost, standardna devijacija, standardna devijacija srednje vrednosti, ... (na sledećem predavanju nešto više).
 - **Tip B** - Procena merne nesigurnosti se obavlja pomoću drugih metoda: na osnovu kalibrisanih vrednosti etalona, dugotrajne stabilnosti etalona, vrednosti prethodnih merenja (iskustava), vrednosti iz literature, vrednosti zbog uticaja uticajnih veličina, ponašanjem upotrebljenih materiala i instrumenata, ...
- Svi doprinosi merne nesigurnosti se obrađuju **STATISTIČKIM METODAMA!**

Merne metode

- ▶ Pod **MERENJEM** se podrazumeva **SKUP EKSPERIMENTALNIH POSTUPAKA** koji imaju za cilj određivanje vrednosti jedne fizičke veličine.
- ▶ Pod **MERNOM METODOM** se podrazumeva **ODREĐENI SKUP EKSPERIMENTALNIH POSTUPAKA** koji su preduzeti radi određivanja vrednosti neke fizičke veličine.
- ▶ U zavisnosti od **skupa eksperimentalnih postupaka** mogu se razlikovati **NEKOLIKO KLASA** mernih metoda.
- ▶ U zavisnosti od **NAČINA** određivanja brojne vrednosti, merne metode se dele na:
 - ▶ **NEPOSREDNE** (ili direktne) i
 - ▶ **POSREDNE** (ili indirektne) metode merenja.

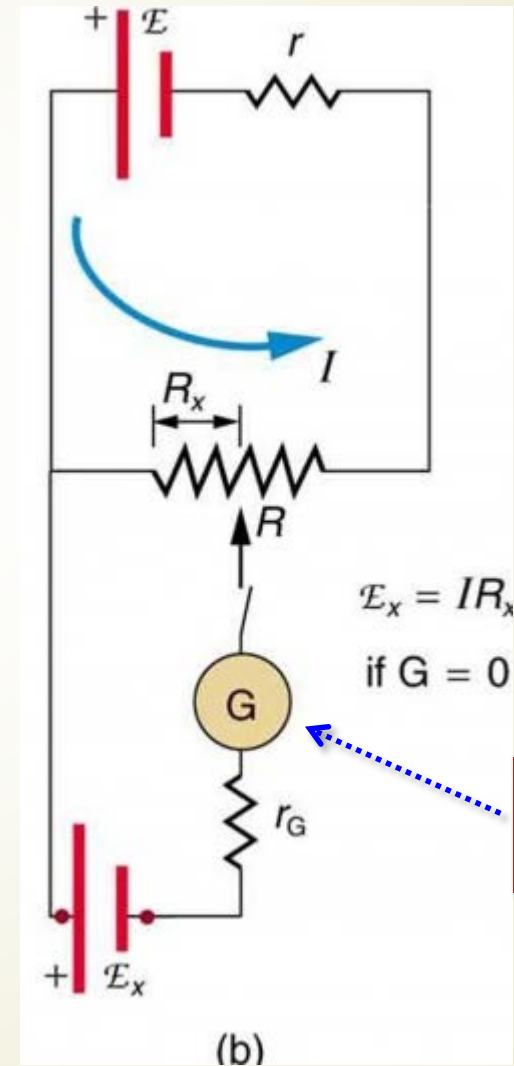
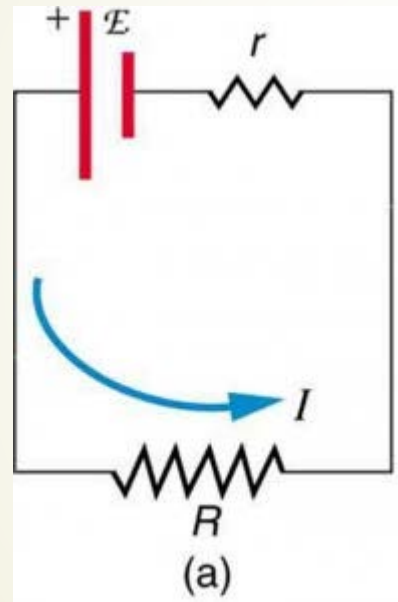
Podela mernih metoda



Nulte metode (1)

- ▶ Kod **NULTIH MERNIH METODA** upoređuje se količina merene veličine sa **TAČNO POZNATOM** količinom iste veličine (kod neposrednih - direktnih metoda) ili neke druge veličine (kod posrednih – indirektnih metoda).
 - ▶ Pri postignutoj ravnoteži kazaljka mernog (indikatora) instrumenta pokazuje **NULU** (otuda i naziv metode).
 - ▶ Kod ove metode tačnost merenja zavisi od **OSETIJIVOSTI** korišćenog instrumenta.
- ▶ **Tipičan primer** primene nulte metode je merenje:
 - ▶ **OTPORNOSTI**, induktivnosti i kapacitivnosti formiranjem **ELEKTRIČNIH MOSTOVA**;
 - ▶ **STRUJE I NAPONA KOMPENZACIONOM** metodom.
- ▶ **DIFERENCIJALNE METODE** merenja sastoje se u tome što se količina merene veličine upoređuje sa njom **BLISKOM** referentnom količinom **ISTE VELIČINE**, a dobijena **RAZLIKA** se dalje registruje na prikladan način.

Nulte metode



Indikator nule NI
(engl. *Null Indicator*)

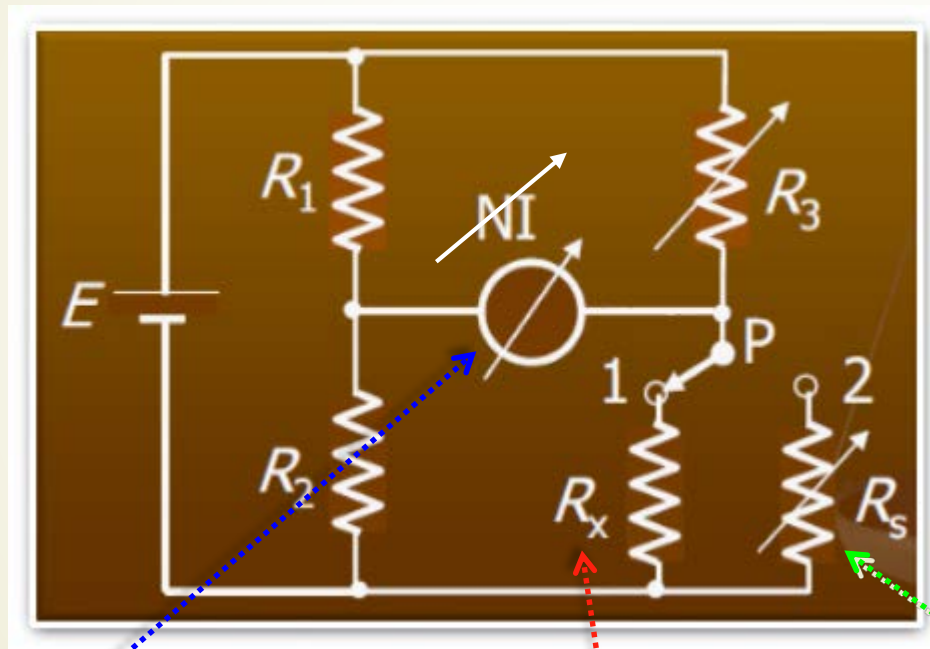
Metode zamene (1)

- ▶ **METODA ZAMENE** (ili supstitucije) sastoji se u tome da POKAZIVANJE INDIKATORSKOG instrumenta BUDE ISTO i to:
 - ▶ Kada se meri količina merene veličine,
 - ▶ Kada se umesto merene veličine u mernom kolu koristi tačno poznata količina merene veličine (etalon).
- ▶ Ova metoda se koristi na primer pri PRECIZNOM MERENJU otpornosti, induktivnosti i kapacitivnosti ili energije.
- ▶ Metode **DIREKTOG POREĐENJA** se u najvećoj meri koriste da bi se proverila tačnost nekog mernog instrumenta i to upoređenjem njegovog pokazivanja sa pokazivanjem instrumenta ETALONA.
- ▶ Tako, može da se proveriti na primer tačnost pokazivanja brojila električne energije ako uporedo povežemo etalon i brojilo.

Metode zamene - određivanje otpora

- Određivanje nepoznatog otpora METODOM ZAMENE (supstitucije)

Wheatston-ov most



$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_3$$

$$R_S = \frac{R_2}{R_1} R_3$$

$$R_S = R_X$$

Indikator nule

Nepoznati otpor

Poznati otpor

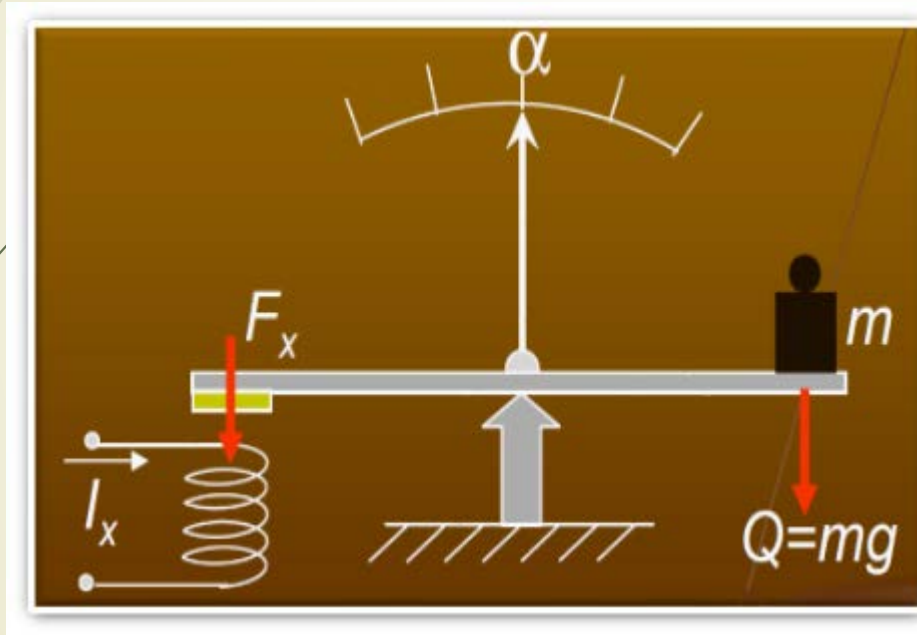
Indirektna merenja

- ▶ **POSREDNA** (INDIREKTNA) MERENJA se koriste za određivanje brojne vrednosti veličina koje se DIREKTNO NE MOGU POREDITI sa njihovom jedinicom (primer: ubrzanje).
- ▶ Kod **INDIREKTOG MERENJA** se prvo odrede brojne vrednosti veličina koje UČESTVUJU u određenoj fizičkoj pojavi, a koje su posredstvom FIZIČKOG ZAKONA povezane sa veličinom čija brojna vrednost se želi odrediti.
- ▶ Zatim se, korišćenjem određene matematičke relacije, **RAČUNSKIM PUTEM** dolazi do brojne vrednosti veličine čija se vrednost želi odrediti
- ▶ Primer **POSREDNOG MERENJA** bi bilo merenje otpornosti, neposrednim merenjem NAPONA i STRUJE i korišćenjem OMOVOG obrasca:

$$R = \frac{U}{I}$$

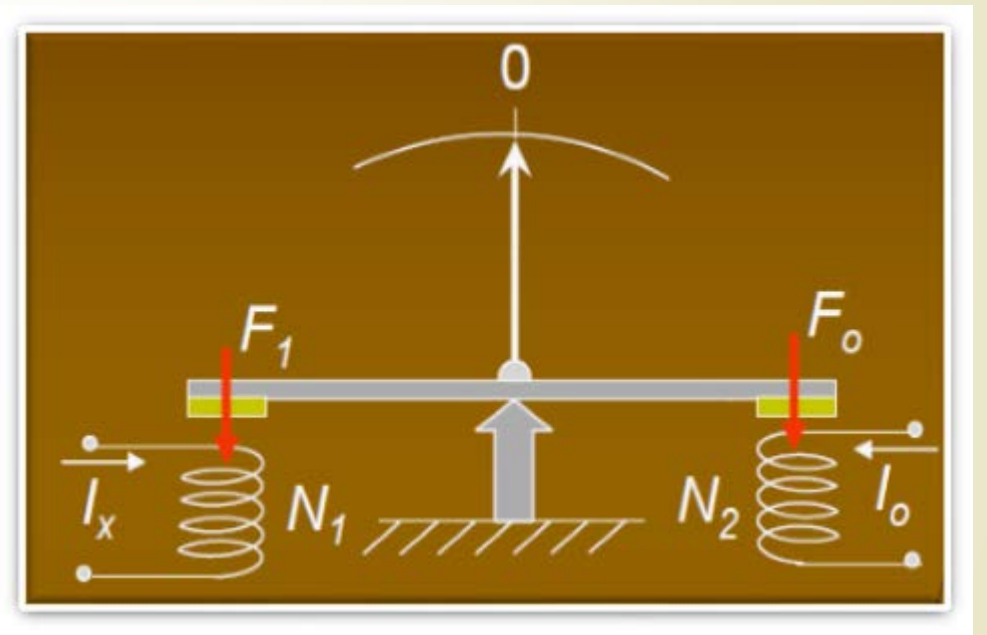
Primer: indirektna/direktna merjenja

- ▶ Određivanje NEPOZNATE MASE indirektnom metodom



INDIREKTNA metoda:
Strujna vaga

$$F_x = I_x LB$$



DIREKTNA metoda:
Strujna vaga

$$F_x = mg$$

Tačnost mernih metoda

- Zbog svoje **jednostavnosti**, pri praktičnom merenju **NAJVIŠE SE KORISTE** metode **NEPOSREDNOG OCENJIVANJA**.
- U odnosu na metodu neposrednog ocenjivanja, metode **POREĐENJA**, obezbeđuju **TAČNIJE REZULTATE** merenja na račun svoje složenosti.
- Metode **POREĐENJA** se prvenstveno koriste u **LABORATORIJSKOM** radu.
- U praksi često dolazi do **POGREŠNOG INTERPRETIRANJA** nekih osnovnih pojmova vezanih za **TAČNOST**, odnosno, **PRECIZNOST** mernih metoda i samih merenja.
- Pogledajmo **DEFINICIJE** nekoliko najznačajnijih pojmova vezanih za merenja u pogledu **TAČNOST**, odnosno, **PRECIZNOSTI**.
- Za studente Strukovnih studija je izuzetno važno da jasno naprave **RAZLIKU** između pojma **TAČNOSTI** i pojma **PRECIZNOSTI**.

Definicija tačnosti

- ▶ **TAČNOST** predstavlja STEPEN ODSUPANJA očitavanja instrumenta od PRAVE VREDNOSTI merene veličine.
- ▶ Tačnost se odnosi na **STEPEN PRIBLIŽNOSTI** ili **SAGLASNOSTI PRAVE VREDNOSTI** veličine i vrednosti te veličine dobijene merenjem.
- ▶ **GREŠKA MERENJA** je **ODSTUPANJE OD PRAVE VREDNOSTI** merene veličine.

Definicija preciznosti, osetljivosti i rezolucije

- **PRECIZNOST** je **MERA REPRODUKTIVNOSTI** merenja jedne fizičke veličine.
- **PRECIZNOST** je mera stepena međusobne razlike **UZASTOPNIH MERENJA** fiksne vrednosti neke veličine.
- Preciznost se odnosi na **STEPEN** ili **RASIPANJA REZULTATA** merenja u okviru **GRUPE MERENJA** ili **INSTRUMENATA**.
- **OSETLJIVOST** predstavlja odnos izlaznog signala ili odziv instrumenta prema promeni ulazne ili merene promenljive.
- **REZOLUCIJA** predstavlja najmanju promenu merene veličine pri kojoj postoji **UOČLJIV ODZIV** instrumenta.

Definicija preciznosti

