

Vaja 3: Merilni lističi

Matej Bažec

6. november 2015

Povzetek

Obravnavali bomo merjenje deformacije s pomočjo merilnih lističev. Začeli bomo s splošnim opisom in teoretično obravnavo, nadaljevali pa bomo z različnimi tipi in oblikami lističev, kdaj jih uporabljamo in na kakšen način. Delali bomo tudi kalibracijo torzijske deformacije nosilca, določili ničelni odmik in preverili linearno odzivnost.

1 Uvod

Deformacije togih teles so težko merljive, saj so tipično relativno majhne in jih je težko opazovati. Večina materialov je namreč relativno togih in potrebuje veliko silo, da se znatno deformira. Izjema so elastični materiali kot so guma, kavčuk, sintetični elastomeri . . . Pretežno so to polimerni materiali. Kljub temu je v strojništvu, gradbeništvu in tehniki nasploh težnja, da te majhne deformacije izmerimo. To lahko naredimo s pomočjo merilnih lističev.

1.1 Osnova merilnih lističev

Merilni lističi so tanke plast iz mehansko mehke izolacijske folije na katere je nanešena tanka plast prevodnika v vijugastih vzorcih (glej sliko 1). Če se vzorec deformira v vzdolžni smeri, se dolžina vodnika efektivno poveča. Pri relativni vzdolžni deformaciji ϵ_x (razmerje med spremembo dolžine in dolžino telesa) deluje na listič mehanska napetost σ (razmerje med raztežno ali potisno silo in presekom vodnika), ki je enaka

$$\sigma = E\epsilon_x, \quad (1)$$

kjer je E Youngov modul.[2, 4] Poleg vzdolžne deformacije, se bosta v pravokotnih smereh pojavili prečni deformaciji ϵ_y in ϵ_z , ki sta pri izotropnih materialih enaki in sta

$$\epsilon_y = \epsilon_z = -\nu\epsilon_x, \quad (2)$$

kjer je ν Poissonovo število. Negativen predznak je zato, ker se pri raztezanju telo skrči v prečni smeri. Dolžina prevodnika na lističu L se bo torej podaljšala za ϵ_x . Poleg tega se bo presek relativno zmanjšal za

$$\frac{\Delta A}{A} = \epsilon_y + \epsilon_z = -2\nu\epsilon_x. \quad (3)$$

Poskusi izpeljati zgornjo zvezo (namig: zanemari produkt $\epsilon_y\epsilon_z$). Upornost lističa je enaka

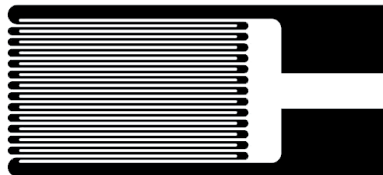
$$R = \rho L/A, \quad (4)$$

kjer je ρ specifična upornost prevodnega materiala, s katerega je narejen vzorec na lističu. Relativna sprememba upornosti bo potemtakem

$$\frac{\Delta R}{R} = \epsilon_x + 2\nu\epsilon_x = (1 + 2\nu)\epsilon_x. \quad (5)$$

V zgornji enačbi smo zanemarili spremembo specifične upornosti pri raztezanju in krčenju, kar ni vedno povsem upravičeno, a vendarle nam relacija jasno pokaže, da je

Merilni listič se pri deformaciji tudi sam raztegne, zaradi česar se mu poveča upornost.



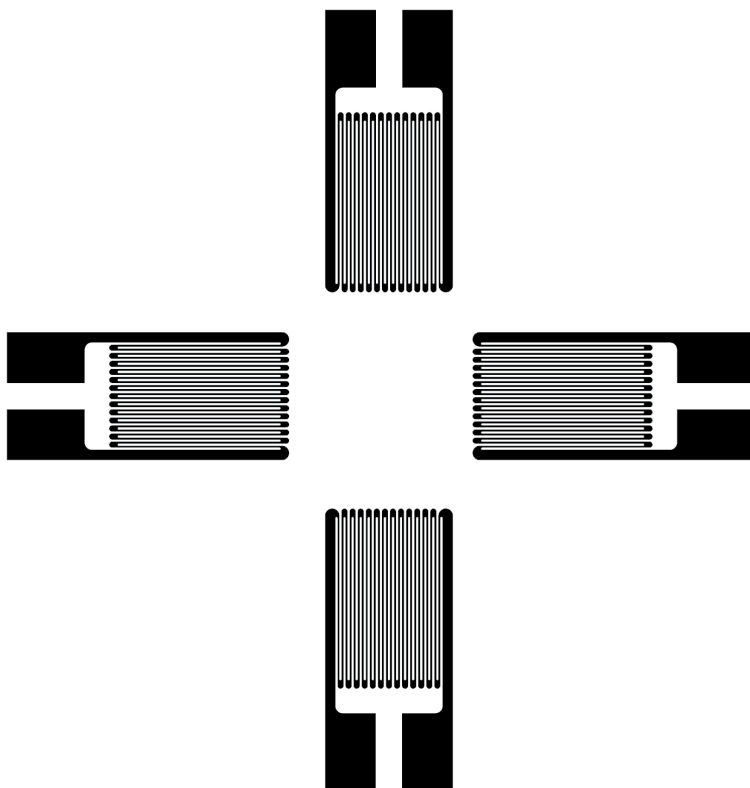
Slika 1: Tipičen vzorec na preprostem merilnem lističu. Upornost se mu bo spremenila le pri deformaciji v vzdolžni smeri, medtem ko deformacija v prečni smeri nanjo ne bo imela vpliva.

relativna sprememba upornosti istega velikostnega razreda kot relativna deformacija. To pa pomeni, da bodo spremembe upornosti zelo majhne in jih ne bomo mogli izmeriti direktno. Uporabiti bomo morali vezavo v mostičke.

2 Namestitev merilnih lističev

Poudariti je treba, da se dolžina prevodne poti in posledično tudi upornost skoraj nič ne spremenita, če listič deformiramo v prečni smeri. To lahko izkoristimo za meritev splošne deformacije. Deformacija je namreč simetrična tenzorska količina, kar pomeni, da ima 6 neodvisnih parametrov.[1] To pomeni, da moramo namestiti lističev prilagoditi deformaciji, ki jo želimo opazovati. Ogledali si bomo nekaj osnovnih možnih namestitev.

2.1 Razteg in potisk



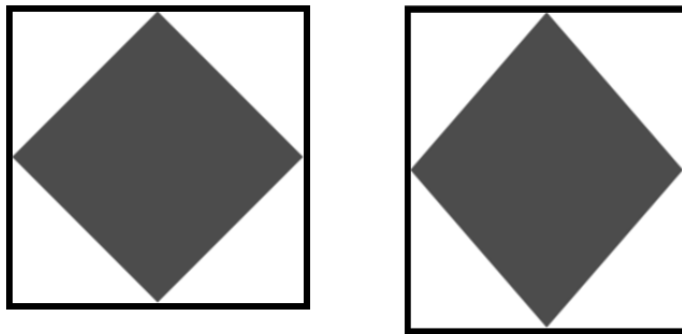
Slika 2: Postavitev merilnih lističev pri merjenju raztega (ali potiska) v navpični smeri. Navpična lističa se bosta raztegovala, vodoravna pa krčila. Zato bomo lističe vezali v poln mostiček.

Pri merjenju raztega in potistka izkoristimo dejstvo, da se v prečni smeri telo

deformira obratno (skrči pri raztegu in podaljša pri potisku). Deformacija sicer ne bo ista kot v smeri mehanske napetosti, bo pa primerljiva in enaka produktu deformacije v vzdolžni smeri s Poissonovim številom ν . To lahko izkoristimo in povečamo občutljivost mostička z vezavo v poln mostiček. Ker deformacija ni enaka, tudi mostiček ne bo 4-krat občutljivejši od četrtrinskega, ampak samo za faktor $2(1 + \nu)$. Zahtevnejši bralec lahko poskuša zvezo izpeljati sam na podoben način, kot smo izpeljali napetost na polnem mostičku.

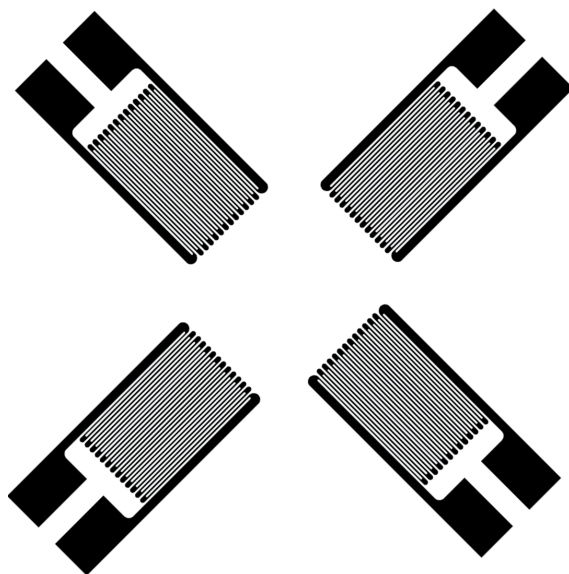
Na sliki 2 nariši povezave štirih lističev v poln mostiček skupaj s postavitvijo napetostnega izvora in voltmetra.

2.2 Strižna deformacija



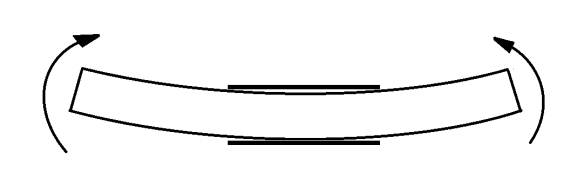
Slika 3: Pri natezni deformaciji se včrtani kvader deformira strižno.

Pri meritvi strižne deformacije se upremo na povezavo med raztežno in strižno deformacijo, ki sta med seboj povezani. To najlepše vidimo, če raztegnemo kvader (slika 3). Del kvadra, ki je na sliki označen s sivo barvo se bo pri tem deformiral strižno (glej npr. [2]). Seveda velja tudi obratni razmislek. Pri strižni deformaciji se bo včrtani kvader deformiral raztežno-potisno. To pomeni, da bomo morali postaviti merilne lističe podobno kot pri raztegu, le da jih bomo zavrteli za 45° .



Slika 4: Postavitev merilnih lističev pri merjenju striga v navpični ali vodoravni smeri.

2.3 Upogibna deformacija



Slika 5: Pri upogibu postavimo en listič na zgornjo stran, enega pa na spodnjo. Zgornji se bo krčil, spodnji pa raztegoval.

Upogib merimo tako, da postavimo en listič na zgornjo stran ploskve ali palice, enega pa na spodnjo. Ker se bosta deformirala v nasprotni smeri ampak za isto vrednost, ju lahko vežemo v polovičen mostiček. Občutljivost lahko še povečamo, če dodamo še en par lističev in jih vežemo v poln mostiček.

Nariši upognjeno palico in optimalno postavitev štirih lističev. Nariši tudi njihovo medsebojno povezavo vključno z napajanjem in voltmetrom.

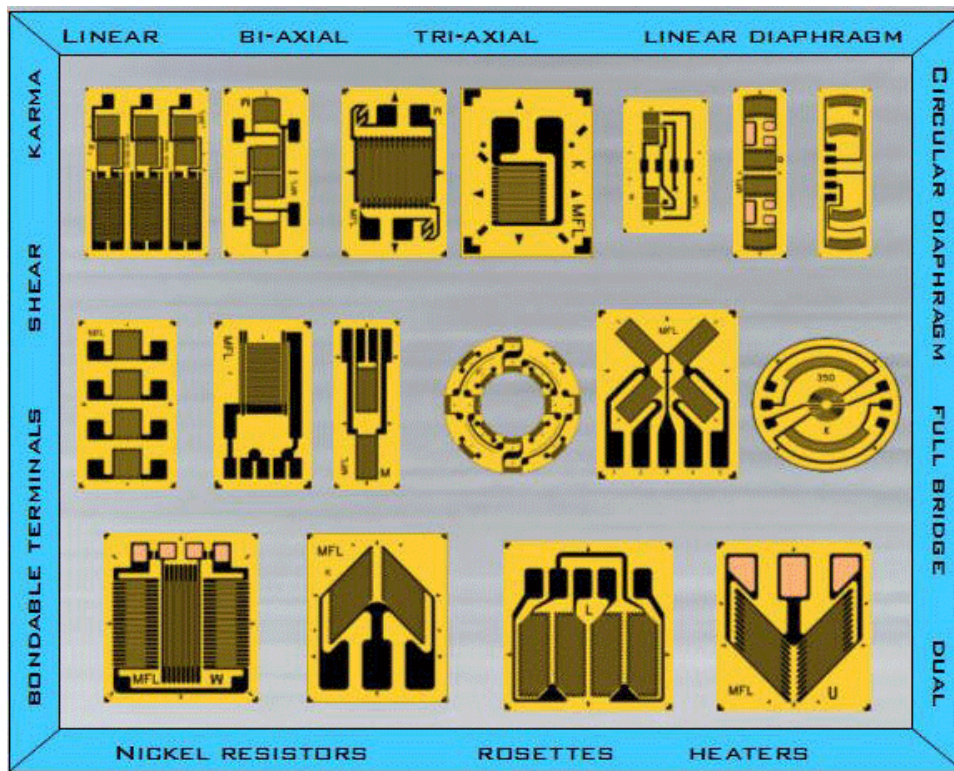
3 Merjenje v praksi

V praksi vedno poskušamo sestaviti poln mostiček, če le prostor dopušča. Občutljivost pri tem ni edini razlog. Zelo pomemben razlog je tudi temperaturna kompenzacija. Upornost se lističem na žalost ne spreminja le zaradi deformacije, ampak tudi zaradi temperaturnih sprememb. Prednost uporabe polnega mostička je v tem, da se vsem štirim lističem spremeni enako in se zaradi tega efekt kompenzira.

V večini primerov se nam niti ni treba obremenjevati zaradi pravilne postavitve lističev, saj jih po navadi dobimo že v kompletu. Nanj priklopimo le napetostni izvor in voltmeter (največkrat kar instrumentacijski ojačevalnik). Na sliki 6 lahko vidimo nekaj primerov, ki jih oglašuje komercialni proizvajalec. Tipično so opremljeni z različnimi oznakami, ki nakazujejo pravilno orientacijo pri postavitvi merilnih lističev.

Pomemben praktični vidik meritve deformacij je tudi nanašanje lističa na površino. Pri tem je treba biti še posebej pozoren, da lističa ne prenapnemo že pri samem lepljenju. Zato se moramo dosledno držati navodil proizvajalca. Kljub temu se prednapetosti ne moremo povsem izogniti. Zaradi tega dobimo nek odmik (offset) pri ničelni obremenitvi.

Ni pa to edini razlog, zakaj do odmika pride. Lahko ga povzroči tudi končna prevodnost povezav, če uporabljamo predolge in pretanke žice za vezavo med lističi.



Slika 6: Primer prenestavljenih vezav z merilnimi lističi. Poleg kontaktov in prevo-
dnih poti so tudi oznake, ki lajšajo pravilno postavitev.

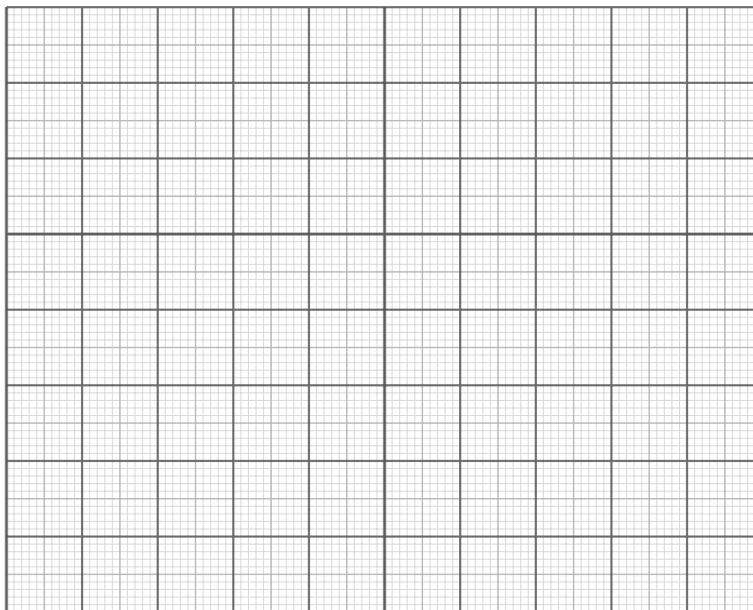
4 Meritev torzijske deformacije nosilca

Delali bomo kalibracijo torzijske deformacije nosilca. Razmisli kam in kako bi po-
stavili merilne lističe.

Skiciraj postavitev merilnih lističev na nosilcu in povezavo med njimi.

Pomeri deformacijo pri različnih obremenitvah in ročicah, izračunaj na-
vor in rezultate zabeleži v tabelo. Nariši graf odvisnosti napetosti od
navora.

m[kg]	r[m]	M[Nm]	U[mV]



Literatura

- [1] L. D. Landau in E. M. Lifshitz. *Theory of Elasticity*. Course of Theoretical Physics. Pergamon Press, Oxford, 1959.
- [2] J. Strnad. *Fizika 1. del*. DMFA, Ljubljana, 1991.
- [3] M. Valič. *Fizikalne meritve*.
- [4] M. Škerlj. *Mehanika - Trdnost*. Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1988.