



**Aalto-yliopisto**  
Kemian tekniikan  
korkeakoulu

CHEM-A1410 Materiaalitieteen Perusteet

## **Metallilangan murtolujuuden ja elastisen nauhan kimmokertoimen määrittäminen digitaalisella vaa'alla**

**Maisa Materiaalitieteilijä, 43210A**

**Työ suoritettu X.X.2020**

**Selostus jätetty X.X.2020**

## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	1
2	Työn kuvaus.....	1
3	Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset.....	4
4	Lähdeluettelo .....	5

# 1 Johdanto

Murtolujuus ja kimmokerroin ovat materiaalien keskeisiä mekaanisia ominaisuuksia. Murtolujuus määrää materiaalin maksimaalisen jännityksen siedon vetävässä jännityksessä. Metallit ovat lujia materiaaleille ja murtolujuudet metalleille ovat materiaalista riippuen luokkaa 100 MPa – 1000 MPa, esim. kuparin murtolujuus on noin 200 MPa [1]. Tästä syystä metalleja käytetään usein rakenteiden kannattelevina osina. Murtolujuudet riippuvat materiaalin lisäksi myös voimakkaasti materiaalin mikrorakenteesta.

Kimmokerroin kuvaa sitä kuinka paljon materiaali venyy elastisesti tietyllä jännityksellä. Kumi on tyypillinen elastinen materiaali jonka venymät voivat olla useita satoja prosentteja. Kumin kimmokertoimet riippuvat merkittävästi kumin laadusta. Lujittamattoman luonnonkumin kimmokerroin on usein suuruusluokkaa 1 MPa [2]. Tämä poikkeaa merkittävästi metallien kimmokertoimista jotka ovat useita kertaluokkia suurempia. Elastisuuden vuoksi kumeja käytetäänkin esim. tiivisteissä, kiinnikkeissä ja kuntoiluvälineissä.

Murtolujuus ja kimmokerroin mitataan yleensä vetokoneella tehdyllä vetokokeella. Vetokoe vaatii kuitenkin standardisoidun muotoisen vetosauvan jota ei aina ole helposti saatavilla. Tässä työssä tutkitaan kuparin murtolujuuden ja lateksi kumin kimmokertoimen määrittämistä vetokokeella ilman käytettävissä olevaa vetokonetta. Tarkoituksena on tarkastella ovatko saadut arvot järkeviä ja kuinka luotettava käsin tehty mittaus on.

## 2 Työn kuvaus

Työssä mitattavat näytteet olivat halkaisijaltaan 0.3 mm oleva hopeoitu kuparilanka (tuotekoodi 51736, Sinelli Oy) ja lateksista tehty kuminen jumppanauha (Gymstick miniband light (apricot) ja Gymstick miniband strong (lavender)). Jumppanauhojen dimensiot olivat valmistajan tietojen mukaan [3]: pituus 25 cm, leveys 5cm leveys ja

paksuus 0,1 cm oranssille light nauhalle ja pituus 25 cm, leveys 5 cm ja paksuus 0.2 cm violetille strong nauhalle. Näytteisiin kohdistuva voima mitattiin digitaalisella vaa'alla 0.1kg tarkkuudella. Jumppanauhan pituuden muutos mitattiin viivoittimella max 30cm asti.

Kuparilangan murtolujuuden mittaamiseksi langasta tehtiin umpisolmulla lenkki, jonka toinen pää kiinnitettiin vaakaan ja toinen pää kiinnitettiin paikalleen. Solmukohta laitettiin suoraan kontaktiin vaa'an koukun kanssa, jotta näyte ei murtuisi solmukohdasta. Murtumiseen vaadittava voima mitattiin kasvattamalla käytettyä (manuaalista) voimaa kunnes lanka murtuu. Tämä mittaus toistettiin **N kertaa ja murtolujuus esitetään N mittauksen perusteella** laskettuna muodossa keskiarvo  $\pm$  keskihajonta.

Kuminauhan kimmokerroin mitattiin kiinnittämällä kuminauhojen toinen pää vaakaan ja toinen pää kiinnitettiin paikoilleen. **Kerro tähän miten toteutit mittauksen työparisi kanssa, mitattiinko venymää voiman funktiona vai toisinpäin ja millä inkrementteillä mitattiin ja mikä oli maksimi venymä johon asti venytettiin.** Mittaus toistettiin kolme kertaa molemmille jumppanauhoille (oranssi ja violetti)

Kappaleeseen kohdistuva jännitys laskettiin kaavalla (1)

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A}, \quad (1)$$

jossa  $\sigma$  on jännitys, F kappaleen poikkipinta-alaan A kohdistuva voima, A on poikkipinta-ala, johon voima kohdistuu, m on massa ja g gravitaatiovakio 9.81 m/s<sup>2</sup>.

Kuminauhan venymä laskettiin kaavalla (2)

$$\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0}, \quad (2)$$

jossa  $\varepsilon$  on venymä,  $l_0$  kuminauhan alkuperäinen pituus ja  $(l-l_0)$  kuminauhan pituuden muutos.

Kimmokerroin E määritellään kaavalla (3)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}. \quad (3)$$

Kuminauhan kimmokerroin määritettiin kaavan (3) perusteella lasketuista jännitys-venymä datan lineaarisesta osasta pienimmän neliösumman lineaarisovituksella.

## Tulokset

Kuparilangan murtamiseen vaadittava voima ja siitä kaavalla (1) laskettu murtamiseen vaadittava jännitys eli murtolujuus esitetään Taulukossa 1.

*Taulukko 1. Kuparilangan murtolujuus. Eli Exceliä tai muuta softaa apuna käyttäen (tai käsin laskien jos niin haluat) laita mittaustulokset ja niistä lasketut murtolujuudet tähän taulukkoon järkevällä tarkkuudella. Voit tehdä taulukon excelissäkin ja yrittää importata wordiin.*

Mittaus	Voima	Murtolujuus
#	N	MPa
1	arvo 1	arvo 2
2..etc		

Mittaustulosten perusteella kuparin murtolujuudeksi saatiin  $X \pm Y$ .

Jumppanauhojen kimmokertoimien määrittämiseksi mitattiin jännitys-venymä käyrät, jotka on esitetty Kuvassa 1.

Tähän laita Excelillä (tai muulla softalla) tehty kuvaaja datasta ja PNS lineaarisovituksesta. Laita kuvaajaan näkyviin **kaikki** mittapisteet ja **yksi** pienimmän neliösumman sovitus joka kattaa datapisteet joiden alueella data mielestäsi noudattaa lineaarista riippuvuutta. Tämä lineaarinen alue saattaa olla koko data tai sitten ainoastaan pienemmillä venymillä arvoon X asti.

Määritä kimmokerroin tämän lineaarisen sovituksen suoran kulmakertoimesta. Kulmakertainen saa suoraan Excelistä (sovitus on jo määrittänyt sen).

*Kuva 1. Kumisen jumppanauhan jännitys-venymä käyrä ja kimmokertoimen määrittäminen lineaarisovituksella. a) Gymstick miniband light, b) Gymstick miniband strong*

Selitä tähän yhdellä tai useammalla lauseella miten päädyit käyttämään venymän väliä 0-X lineaarisena alueena. (X voi olla suurin mitaamasi venymän arvo tai jos mielestäsi lineaarisuus alkaa taantumaan ennen tätä arvoa niin sitten X on isoin arvo jolla lineaarisuus pätee).

Pienimmän neliösumman lineaarisovituksella kimmokertoimeksi määritettiin X, ja sovituksen tarkkuutta kuvaava  $R^2$  parametri oli Z.

### 3 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Kuparilangan murtolujuudeksi saatiin X yksinkertaisella käsin tehdyllä mittauksella pohjautuen digitaaliseen vaakaan. Murtolujuuden arvo vertaile ja arvioi miten vertautuu kirjallisuustuloksiin, tarvitset referenssiarvolle kirjallisuusviitteen (mutta tässä ekassa työssä löydät sen introsta eli voit käyttää samaa viitettä). Parilla lauseella pohdi oliko murtolujuus oikeaa luokkaa, isompi vai pienempi ja keksitkö jotain selkeää syytä miksi?

Lateksista tehtyjen jumppanauhojen kimmokertoimiksi saatiin digitaaliseen vaakaan pohjautuvalla mittauksella Y ja Z. 1. Vertaa miten mitaamasi tulokset osuvat/eivät osu yhteen valmistajan antamiin tietoihin venymän ja voiman suhteesta (löydät ne viitteestä 3). Joudut todennäköisesti ekstrapoloimaan 100% venymään vaadittavan voiman. 2. Päättelä ovatko molemmat jumppanauhat tehty täsmälleen samasta kumista perustuen mitaamaasi kimmokertoimeen.

Tulosten perusteella voidaan päätellä, että ilman vetokonetta mitattavat mekaaniset ominaisuudet ovat... tähän omat johtopäätöksesi joissa palataan työn kokonaisuuden tarkasteluun ja alkuperäiseen kysymykseen ("Tässä työssä tutkitaan kuparin murtolujuuden ja lateksi kumin kimmokertoimen määrittämistä vetokokeella ilman

käytettävissä olevaa vetokonetta. Tarkoituksena on tarkastella ovatko saadut arvot järkeviä ja kuinka luotettava käsin tehty mittaus on.”) . Osoittaako data että aivan toivottomia, eli kaukana referenssiarvoista ja suuret virherajat (virherajat siis murtolujuudelle keskihajonnan suhde keskiarvoon, ja kimmokertoimelle  $R^2$  arvo). Jos tulokset toiselle tai molemmille mittauksille sisältävät merkittävää epävarmuutta, arvioi suurimpia tekijöitä epävarmuudelle.

#### 4 Lähdeluettelo

[1] Shen, Y.F., Lu L., Lu Q.H., Jin Z. H., Lu K. Scripta Materialia, 52, (2005). 989-994

[2] Granta EduPack 2020, Granta Design, viitattu 15.9.2020

[3] <https://www.gymstick.fi/mini-band.html>, viitattu 15.9.2020