

INSTITUTT FOR MATERIALTEKNOLOGI

TMT4171 - INNFORING I MATERIALVITENSKAP

laboratorieforsøk 4

Forfatter:
Birkeland, Robin Eriksen

November, 2020

1 Innledning

Denne labrapporten går over et forsøk der vi tester slagseigheten til konstruksjonstål (S235). Vi testet både varmebehandlet stål, og ikke varmebehandlet stål, over en rekke forskjellige temperaturer. Fra resultatene så trakk vi konklusjonen at det varmebehandlede stålet gikk fra å få duktile brudd, til sprøe brudd ved temperaturer under -40°C , mens prøvene som ikke var varmebehandlet fikk en overgang fra duktile brudd til sprøe brudd ved en temperatur under -60°C .

Vi gjorde også et forsøk med strekkprøving, der vi testet ut aluminium, mot aluminium som var valset til henholdsvis 30% og 80% CW. Resultatene vi fikk da var at e-modulen til aluminium økte proporsjonalt med % CW valset, og bruddforlengelsen var omvent proporsjonalt med % CW valset.

Innhold

1 Innledning	i
Figurer	ii
Tabeller	ii
2 Teori	1
2.1 Charpy testing	1
2.1.1 Charpy-testen	1
2.1.2 Bruddtyper	1
2.2 Strekktesting	2
3 Fremgangsmåte	2
3.1 Charpytesting	2
3.2 Strekkprøving	3
4 Resultater	4
4.1 Charpytesting	4
4.2 Strekkprøving	5
5 Diskusjon	7
5.1 Charpy-test	7
5.2 Strekkprøving	7
6 Konklusjon	7
6.1 Charpy-test	7
6.2 Strekkprøving	8
Appendix	10

A	Python kode for plottene	10
---	------------------------------------	----

Figurer

1	Illustrasjon av en Charpy test	1
2	Et eksempel på en spenning-tøyningskurve	2
3	Plot av resultatene fra Charpytestene	5
4	Spennings-tøyningskurve for prøve 1, 4 og 5.	5
5	Spennings-tøyningskurve for prøve 4 og 5.	6

Tabeller

1	Resultatene fra Charpytesten	4
2	Målte lengder fra strekktesten	6
3	Mekaniske egenskaper for prøvene	6

2 Teori

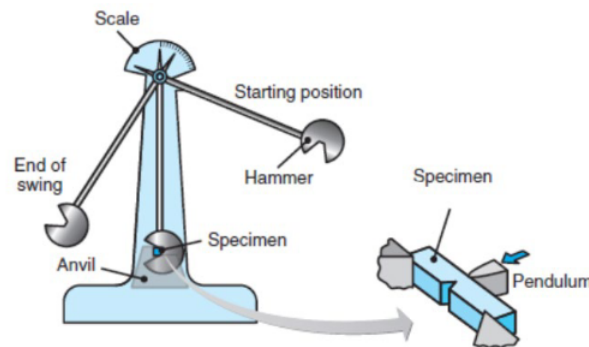
2.1 Charpy testing

2.1.1 Charpy-testen

Hensikten med en Charpy test er å måle slagseigheten til et materiale. Testen foregår ved at en tung pendel heises opp til en gitt høyde, før den blir sluppet og treffer testmaterialet i bunnen av pendelbevegelsen. Testmaterialet vil vanligvis være formet som et rektangulært prisme, med et V-formet hakk der pendelen vil treffe. Ved sammenstøttet mellom pendelen og testmaterialet, så vil testmaterialet absorbere energi, før pendelen igjen fortsetter pendelbevegelsen. I fysikken så har vi fra bevaringslovene om energi, at energi aldri blir borte, men kan gå fra en form til en annen, vi kan dermed regne oss frem til hvor mye energi testmaterialet absorberte ved å benytte formelen

$$\Delta E_p = E_{absorbert}$$

Der ΔE_p er forskjellen i den potensielle energien til pendelen, fra starttidspunktet, til pendelen når sitt høyeste punkt etter sammenstøttet, og $E_{absorbert}$ er energien testmaterialet absorberte i sammenstøttet. En illustrasjon av Charpy testen er gitt i figur 1.



Figur 1:
Hentet fra labheftet[1]

2.1.2 Bruddtyper

En av de primære resultatene vi kan teste for i en Charpy-test, er om bruddet som oppstår i materialet går fra sprø brudd over til duktile brudd når temperaturen endres. Disse forekommer ofte samtidig. Vi deler bruddtypene inn i skjærbrudd, kløvningsbrudd og utmattingsbrudd.

Et skjærbrudd er et duktilt brudd som kommer av skjærspenningen.

Et kløvningsbrudd er et sprøbrudd, og kan deles opp i to underkategorier, interkrystallinsk og transkrystallinsk. I et interkrystallinsk brudd så vil bruddet følge korngrensene, mens i et interkrystallinsk brudd så vil bruddet gå på tvers av korngrensene.

Et utmattingsbrudd vil først skje ved at det oppstår en mikroskopisk flytting langs glideplanet i kornstrukturen, denne vil etterhvert utvikle seg videre og bli større, helt til den når kritisk størrelse, og det blir et brudd.[2]

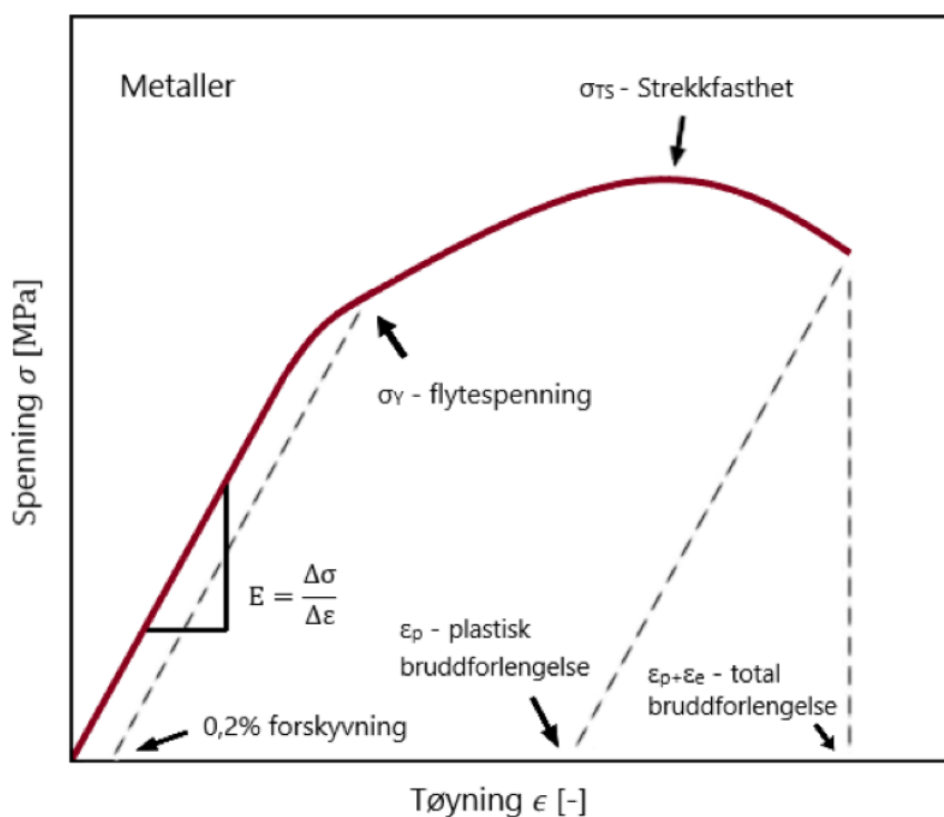
2.2 Strekktesting

Før en strekktest benyttes, så måles dimensjonene til prøvematerialet. Når målingene er unnagjort og strekktesten starter, så strekkes en prøve samtidig som prøvelengden, og kraften påført prøven, blir målt kontinuerlig. Testen er ferdig når det blir et brudd i prøven, og målingene avsluttes. Ved hjelp av likning 1 og 2, så kan henholdsvis stress og tøying på prøven regnes ut.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$

Ved å benytte likning 1 og likning 2, blir det mulig å lage en spenning-tøyningskurve for prøven. En slik kurve gir mye informasjon om prøven og det blir dermed mulig å finne blandt annet e-modul, flytespenningen, total bruddforlengelse og plastisk bruddforlengelse. Et eksempel på en slik kurve er gitt i figur 2. [1]



Figur 2: Et eksempel på en spenning-tøyningskurve
Hentet fra labheftet[1]

3 Fremgangsmåte

3.1 Charpytesting

Prøvene som ble testet i Charpytesteren var av typen konstruksjonsstål (S235). Det ble testet med ikke-varmebehandlet stål ved romtemperatur, varmebehandlet stål ved romtemperatur og det ble gjort flere tester med ikke-varmebehandlet stål med temperaturer som varierte fra -60°C til 80°C .

De prøvene med høy temperatur, ble varmet opp ved at de ble lagt i oppvarmet vann, mens prøvene med en lav temperatur ble avkjølt ved at de ble lagt i en blanding av avkjølt etanol, og flytende nitrogen. Blandingsforholdet mellom etanol og flytende nitrogen varierte fra prøve til prøve, og ulike blandinger ga forskjellige temperaturer. Temperaturene ble målt med et termometer, og vi antok at prøven ville få tilnærmet samme temperatur som vannet, eller som blandingen mellom etanol og flytende nitrogen, etter å ha gitt den tilstrekkelig tid til å enten varmes opp eller avkjøles.

Vi undersøkte en prøve om gangen, og etter prøven hadde nådd ønsket temperatur, brukte vi en spesialtang og plasserte den inn i Charpytesteren. Når prøven var satt på plass, så startet vi charpytesten, og maskinen regnet ut energien som ble absorbert av prøven. Resultatet ble skrevet ned. Denne prosessen ble gjentatt for alle prøvene vi testet.

3.2 Strekkprøving

Prøvene vi testet var materiale vi fikk utlevert i laboratorieforsøk 2, prøve 4 var vallset til 30% CW og prøve 5 var valset til 80% CW. Disse var maskinert til strekkstaver. Prøvene hadde lengderetning parallelt med valseretning.

Før prøvene ble montert på maskinen, ble lengden, bredden og tykkelsen målt ved hjelp av et skyvelære. Deretter ble prøven montert på strekkmaskinen og det ble satt på et ekstensometer. Strekkmaskinen ble så startet, og den strakk så prøven med en konstant fart på 2 mm/min. Strekkmaskinen loggførte kraften som måtte til for å holde den konstante strekkfarten på 2 mm/min.

Når det ble et brudd i testmaterialet, ble strekktesten avsluttet, og lengden til staven ble så målt på nytt. Deretter ble bruddforlengelsen [%] beregnet, og sammenlignet med bruddforlengelsen funnet fra spenning-tøyningskurven.

4 Resultater

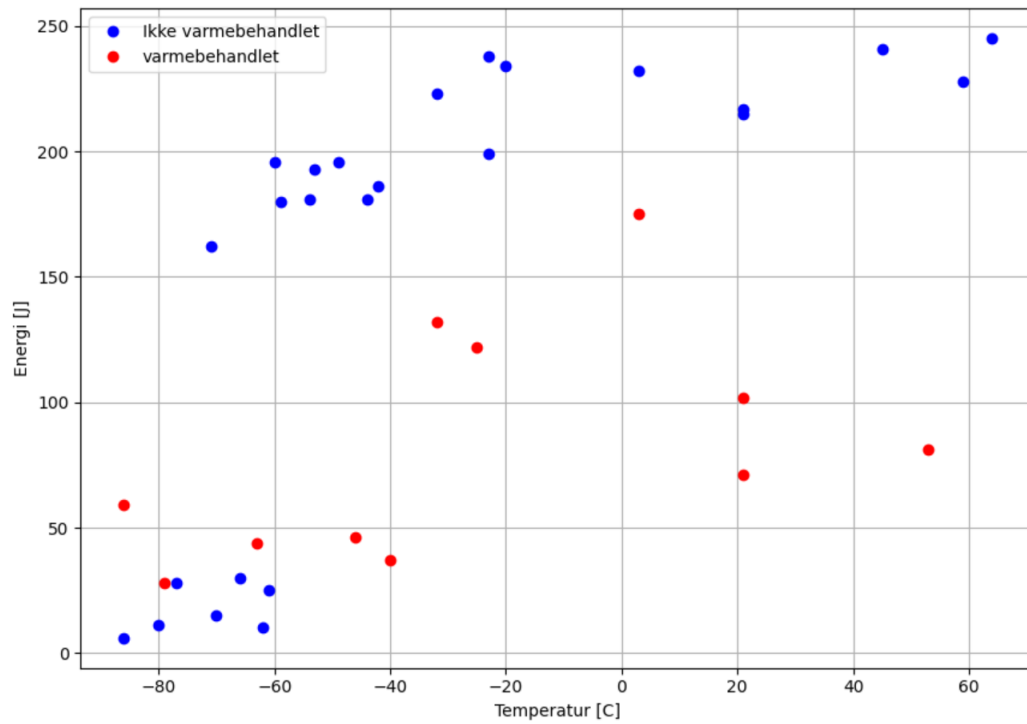
4.1 Charpytesting

Resultatene fra Charpytestene er gitt i tabell 1.

Stål S235JR		Varmebehandlet stål	
Temperatur [°C]	Energi [J]	Temperatur [°C]	Energi [J]
-83	6	-86	59
-80	11	-79	28
-77	28	-63	44
-71	162	-46	46
-70	15	-40	37
-66	30	-32	132
-62	10	-25	122
-61	25	3	175
-60	196	21	71
-59	180	21	102
-54	181	53	81
-53	193		
-49	196		
-44	181		
-42	186		
-32	223		
-23	238		
-23	199		
-20	234		
3	232		
21	215		
21	217		
45	241		
59	228		
64	245		

Tabell 1: Resultatene fra Charpytesten

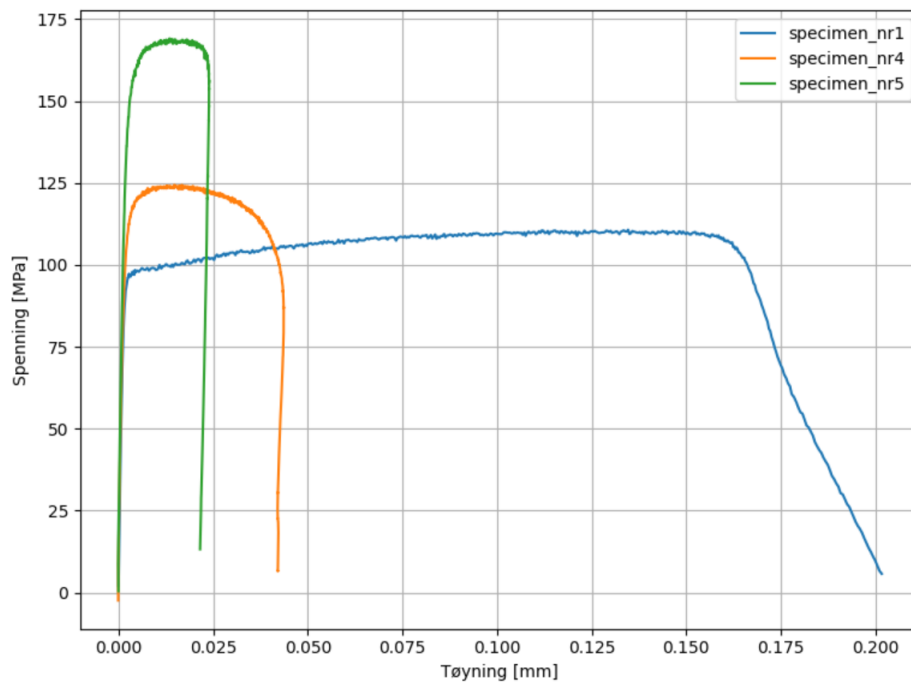
Ut ifra resultatene gitt i tabell 1, så kan vi lage et plot som i figur 3. Python koden brukt for å plote figur 3, er gitt i Appendix A.



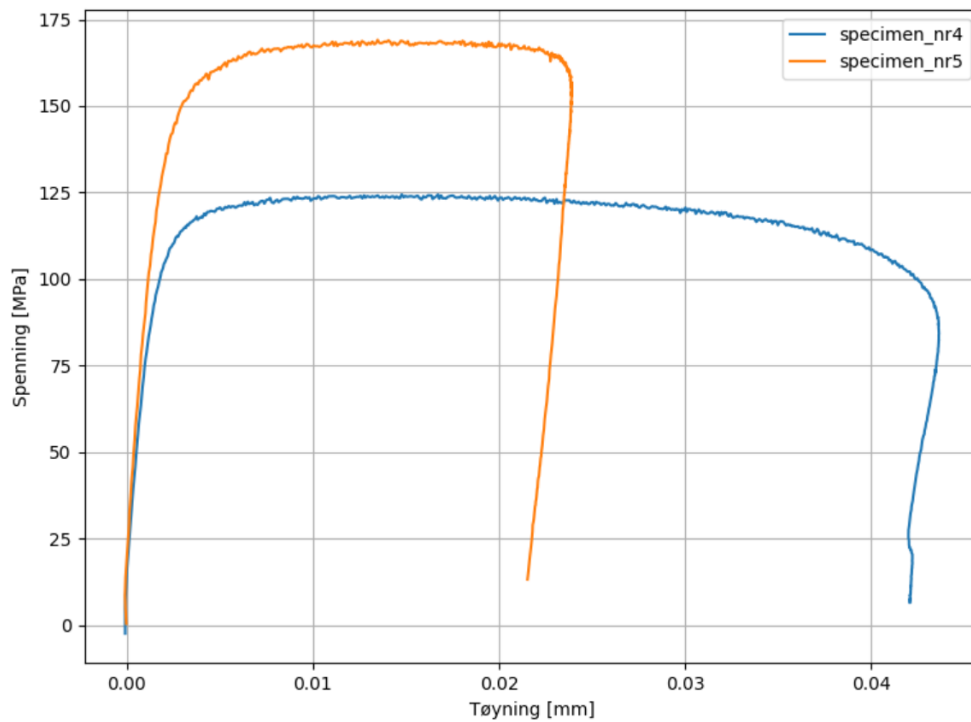
Figur 3: Plot av resultatene fra Charpytestene

4.2 Strekkprøving

I figur 5, og figur 4, har vi spennings-tøyningskurven vi fikk for henholdsvis prøve nummer 4 og 5, og for prøve nummer 1, 4 og 5. Koden for å plote disse figurene kan finnes i appendix A.



Figur 4: Spennings-tøyningskurve for prøve 1, 4 og 5.



Figur 5: Spennings-tøyningskurve for prøve 4 og 5.

I tabell 2, så har vi de fysiske målingene før og etter strekktesten, mens i tabell 3, har vi noen avleste verdier fra spennings-tøyningskurvene vi fikk.

Prøve	stav 1 (Utg.)	Prøve 4	Prøve 5
Startlengde ekstensiometer	Ikke målt	25.00 mm	25.00 mm
Lengde etter brudd	-	25.46 mm	25.76 mm
Bruddforlengelse	-	1.84%	3.04%

Tabell 2: Målte lengder fra strekktesten

Prøve	Strekkfasthet	Flytespenning	E-modul	Bruddforlengelse målt	Bruddforlengelse avlest
Prøve 1	110.7 MPa	95 GPa	427 GPa		0.16 mm
Prøve 4	124.4 MPa	120 GPa	516 GPa	0.46 mm	0.042 mm
Prøve 5	169.1 MPa	160 GPa	625 GPa	0.76 mm	0.024 mm

Tabell 3: Mekaniske egenskaper for prøvene

5 Diskusjon

5.1 Charpy-test

Etter et gjennomført forsøk og en ploting av resultatene, som vist i figur 3, så ser vi et klart skille mellom energien absorbert for den ikke varmebehandlede prøven av typen (S235), omkring -60°C . For den varmebehandlede stålprøven så vi et tilsvarende skille rundt -40°C , men det var vanskelig å se en trend etter for slagseigheten over -40°C på grunn av få målinger som varierte mye fra hverandre.

Potensielle feilkilder kan ha oppstått under flere deler av forsøket. Tiden det tok fra prøven ble tatt ut av kjølemediet, eller det varme vannet, til Charpy-testen ble startet, varrierte fra forsøk til forsøk. For de prøvene med en temperatur langt over, eller langt under romtemperatur, så vil temperaturen for prøven endre seg raskt i forhold til de vi målte ved start. Dette kan være en av grunnene til at vi har resultater som avviker med trenden i figur 3, eller at to prøver med samme temperatur fikk store avvik fra hverandre når vi målte slagseigheten. En annen menneskelig feilkilde kan være at prøvene ikke ble lagt likt inn i testmaskinen. I tillegg til de menneskelige feilene, så tar heller ikke testmaskinen hensyn til den kinetiske energien prøven overført til prøven etter sammenstøttet.

5.2 Strekkprøving

Når vi ser på resultatene i tabell 3, så ser vi at den avleste bruddforlengelsen avviker betydelig fra den målte bruddforlengelsen. En mulig forklaring på dette kan være en dårlig tolkning av spennings-tøyningskurven, eller så kan selve spennings-tøyningskurven gitt i figur 4 og figur 5 være feil. Hvis sistnevnte er tilfellet, så kan det også påvirke pålitligheten for de andre verdiene i tabell 3.

I tabell 3, så har vi skrevet opp E-modulen for de forskjellige prøvene. E-modulen finnes ved tangenten til den første rette stigningen i spennings-tøyningskurven, som vist i figur 2. Det viste seg at det var problematisk å måle denne presist. Ved ren avlesning av figur 4 og figur 5, så var det vanskelig å få et presist estimat. Derimot med en utregning der dataene i Excel dokumentet ble benyttet, viste tangenten å endre seg betydelig mye avhengig av hvor stor avstand det var mellom start og sluttverdiene vi brukte for å regne ut $\Delta\epsilon$ og $\Delta\sigma$. Linja som ble benyttet for utregningen av E-modulen var heller ikke helt rett, så resultatet varierte stort avhengig av hvor på linja tangenten ble målt.

6 Konklusjon

6.1 Charpy-test

Vi kan konkludere med at resultatene stemte med det vi kunne forvente fra teorien. Det ikke varmebehandlede stålet gikk fra å få duktile brudd, over til sprøe brudd ved en temperatur under -60°C . Det varmebehandlede stålet gikk fra duktile brudd over til sprøe brudd ved en temperatur under -40°C . Sammenligner vi det varmebehandlede stålet, med det som ikke ble varmebehandlet, så ser vi at stålet som ikke var varmebehandlet hadde en betydelig høyere slagseighet når temperaturen var over -60°C , men når temperaturen var under -60°C , så vi at det varmebehandlede stålet hadde en høyere slagseighet, selv om forskjellen ikke var stor.

Det var få målinger over -40°C av det varmebehandlede stålet, og de målingene vi hadde viste ingen klar trend. Det kan derfor være lurt å gjennomføre en ny test med flere prøver.

6.2 Strekkprøving

For dette forsøket så vi at de valsete prøven, 4 og 5, hadde en høyere E-modul enn utgangsprøven. Vi la også merke til at prøve 5 som var valset til 80% CW, hadde en høyere E-modul enn prøve 4 som var valset til 30% CW. Vi observerte også at utgangsprøven kunne strekkes betydelig lenger enn prøve 4, som igjen kunne strekkes lenger enn prøve 5. Vi kan da konkludere med at det er en direkte sammenheng mellom hvor mye en prøve er valset, og E-modulen, og bruddforlengelsen til prøven.

Som en oppfølging til forsøket med strekkprøvingen, så kan det være lurt å se på beregningene, eller gå over forsøket på nytt for å unngå å få så store avvik vi fikk, mellom målt og avlest bruddforlengelse, gitt i tabell 3.

Referanser

- [1] *TMT4171 Innføring i materialvitenskap Labhefte - Høst 2020*. NTNU. 2020, s. 10–12.
- [2] JR. William D. Callister og David G. Rethwisch. *Callister's Materials Science and Engineering*. 10. utg. Wiley, 2020. ISBN: 978-1-119-45391-8.

Appendix

-

A Python kode for plottene

```
1 import openpyxl
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4 class Strekktest:
5     def __init__(self, start, stopp, name_excel_file, sheet_name):
6         self.start = start
7         self.stopp = stopp
8         self.name_excel_file = name_excel_file
9         self.sheet_name = sheet_name
10
11     def get_data(self):
12         xlsx_file = self.name_excel_file
13
14         book = openpyxl.load_workbook(xlsx_file)
15         sheet = book[self.sheet_name]
16
17         cells = sheet[self.start:self.stopp]
18         data_results = [[] for i in range(len(cells[0]))]
19         for i in cells:
20             for j in range(len(i)):
21                 data_results[j].append(i[j].value)
22
23         return data_results
24
25     def plot_data(self, x, y, x_label, y_label, label_name, show_grid = True,
26                  show_graph = False):
27         #tar listen fra get_data(), og plotter grafen med punktene gitt av
28         #posisjonene
29         # (get_data()[x], get_data()[y])
30         list_data = self.get_data()
31         plt.plot(list_data[x], list_data[y], label = label_name)
32         plt.legend()
33         plt.xlabel(x_label)
34         plt.ylabel(y_label)
35
36         if show_grid == True:
37             plt.grid()
38
39         if show_graph == True:
40             plt.show()
41
42 specimen_nr1 = Strekktest('A7', 'F576', 'strekking nov 2020_1.xlsx', '1b')
43 specimen_nr4 = Strekktest('A585', 'F1274', 'strekking nov 2020_1.xlsx', '1b')
44 specimen_nr5 = Strekktest('A1284', 'F1772', 'strekking nov 2020_1.xlsx', '1b')
45
46 specimen_nr1.plot_data(4,2, 'Toyning [mm]', 'Spenning [MPa]', 'specimen_nr1')
47 specimen_nr4.plot_data(4,2, 'Toyning [mm]', 'Spenning [MPa]', 'specimen_nr4')
48 specimen_nr5.plot_data(4,2, 'Toyning [mm]', 'Spenning [MPa]', 'specimen_nr5')
49 plt.show()
```

Listing 1: Graph_Plotter_strekktest.py

```

1 import openpyxl
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4
5 Charpy_results = [[],[]] #[[temp], [joule]]
6 Charpy_results_varmebehandlet = [[],[]] #[[temp], [joule]]
7
8 # Setting the path to the xlsx file:
9 xlsx_file = 'Charpytest_resultater.xlsx'
10
11 book = openpyxl.load_workbook(xlsx_file)
12
13 sheet = book.active
14
15 cells = sheet['A2': 'B26']
16
17 for c1, c2 in cells:
18     #print("{0:8} {1:8}".format(c1.value, c2.value))
19     Charpy_results[0].append(c1.value)
20     Charpy_results[1].append(c2.value)
21
22 cells_varmebehandlet = sheet['D2': 'E12']
23 for c1, c2 in cells_varmebehandlet:
24     print("{0:8} {1:8}".format(c1.value, c2.value))
25     Charpy_results_varmebehandlet[0].append(c1.value)
26     Charpy_results_varmebehandlet[1].append(c2.value)
27
28
29
30 plt.plot(Charpy_results[0], Charpy_results[1], "bo", \
31 label = 'Ikke varmebehandlet')
32
33 plt.plot(Charpy_results_varmebehandlet[0], Charpy_results_varmebehandlet[1], \
34 'ro', label = 'varmebehandlet')
35
36 plt.xlabel("Temperatur")
37 plt.ylabel("Joule")
38 plt.grid()
39 plt.legend()
40 plt.show()

```

Listing 2: Graph_plotter_charpytest.py

Koden gitt i Listing 1 og 2, sammen med dataen som ble brukt for å plotte grafene, kan lastes ned fra https://github.com/Robbir99/TMT4171_mattek_Lab4