



DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET
BACHELOROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering:

Byggingeniør: Bachelorstudium i
ingeniørfag/ Konstruksjonsteknikk

Vårsemesteret, 2022

Åpen

Forfattere:

Wais, Osman Abdullahi Osman

Bushra, Mohammed Mohyealdeen

Fagansvarlig: Siriwardane, C. Sudath

Veileder(e): Thorakaas, Johan Andreas Håland

Tittel på bacheloroppgaven: Oppførsel til S355 stål i reduserte temperaturer

Engelsk tittel: Behaviour of S355 steel in reduced temperature

Studiepoeng: 20

Emneord: S355 stål, strekkprøve,
strekkfasthet

Yield strenght, S355, Steel, tensile test,
tensile strength.

Sidetall: 28

+ vedlegg/annet: 5

Stavanger 01.06.22

FORORD

Vi vil takke Gud først og fremst for mulighetene. Så våre foreldre.

Vi vil gjerne takke ansatte på Labratoriet ved Universitet som har vært til stor hjelp da situasjonen ikke var helt god. Tusen takk til Sudath C. Siriwardane for god oppfølging og tilgjengelighet. En stor takk til Ingeniør Johan A. Thor kaas som hjalp oss med bruk av programmer og maskiner på labben.

En stor takk til min bestemor Xawa Kilwe som har vært med meg hele mitt liv, men som dessverre gikk bort på grunn av corona viruset, mens jeg skrev oppgaven. Du vil aldri bli glemt Ayeeyo.

Sammendrag

I denne oppgaven skal vi se på egenskapene til stål under belastning og i variert temperatur. Stålet vi har valgt å fokusere på er S355. Stålet er rustfritt og har gått igjennom en kjemisk reaksjon der det har blitt tilsatt kjemiske stoffer for å styrke stålet ønskelig. Vi tester i tre forskjellige temperaturer for å se avvik og se om stålet reagerer anderledes dersom omstendighetene forandrer seg. Vi tar testen som strekkprøver, der maskinen drar testen fra hverandre til det blir brudd. Og grafen forteller oss hvor mye trykk som må til før det blir brudd. Vi kommer også til se e-modulus, strekkfasthet og avkastingstyrke. Vi benytter oss av et programvare som heter BlueHill for å utføre strekkprøvene.

Det er utrolig interessant hva vi kan få til med maskinene tilgjengelige ved universitet I Stavanger. Vi har vært så heldig og hatt mulighet til benytte oss av CNC-Lathe maskinen Okuma GENOS 300-e som vi brukte til utforme prøvene våre, dette var stor maskin og håndtere. Til strekkprøven brukte vi Instron 250 KN. På grunn av mangel tidligere forskning på det vi skriver, var vi nødt til forholde oss hovedsaklig til standard NS-ISO 6892-3-2015 og NS-ISO 6892-1-2009. Standardene var veldig hjelpsomme sammen med Eurokode del 3:1-4. Vi fikk inntrykk av at begge var konkrete og var ikke krevende og følge. Det har vært bade lærerikt og ikke minst gøy og være fører av maskinen, men også interessant å se hvordan resultatene henger sammen.

Innholdsfortegnelse

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET	i
Sammendrag	iii
Tabelliste	v
Figurliste	v
Symbol og forklaring	vi
1. Innledning.....	8
2. Teori	9
2.1 High strenght low-alloy.....	9
2.3 Karbon	10
2.4 Nitrogen	11
2.5 Stål i kalde omgivelser	11
3. Eksperiment.....	13
3.1. Test Standarder.....	13
3.2. Material	13
3.3 Dimensjoner	14
3.4 Forberedelse til testing.....	15
3.5 Metode	16
3.6 Strekkprøve	17
4. Variasjon av Stress under Belastning	19
4.1 Variasjon av temperatur under Belastning.....	20
4.2 Mekaniske egenskaper.....	22
4.2.1 Avkastningsstyrke:.....	22
4.2.2 Deformasjon:.....	23
4.2.3 Plast deformasjon:.....	23
5. Sammenligning og Diskusjon	25
6. Konklusjon	29
Referanser	30

Tabelliste

Tabell 1 Kjemiske sammensetning av S355	14
Tabell 2 valgte Dimensjoner.....	14
Tabell 3 vi måler diameter til prøvene.	15
Tabell 4 Resultater fra laboratoriet.....	24
Tabell 5 Gjennomsnitt av respektive temperaturer .(Antall gunstige/antall mulig)	25

Figurliste

Figur 1 fareskiltene for Nitrogen.....	11
Figur 2 Testen inn i maskin Okuma GENOS L300-e. her skal den utformes til strekkprøven. .	15
Figur 3 Nitrogen beholder.....	17
Figur 4 vi måler diameter til prøvene.	17
Figur 5 : Rødt er øvre grep, Blått: nedre grep og Svart: ekstensometer.....	18
Figur 6 Stress-belastningsvariasjon av 5 prøver testet i -50 C ⁰ grader.....	19
Figur 7 Stress-belastningsvariasjon av 5 prøver testet i -25 C ⁰ grader.....	20
Figur 8 Stress-belastningsvariasjon av 5 prøver testet i 25 C ⁰ grader.....	20
Figur 9 Temperatur-belastningsvariasjon av 5 prøver testet i -50 C ⁰ grader	21
Figur 10 Temperatur-belastningsvariasjon av 5 prøver testet i -25 C ⁰ grader.	21
Figur 11 Temperatur-belastningsvariasjon av 5 prøver testet i 25 C ⁰ grader.....	22
Figur 12	22
Figur 13	23
Figur 14	24
Figur 15 e-modulus/Temperatur. vi kan her se fra 25 grader til -25 minker e-modulesen fra 0% til (-7%), og fra -25 til -50 grader minker den til (- 14 %)	26
Figur 16 R _{eH} /Temperatur	26
Figur 17 R _{el} /Temperatur: det er økning.....	27
Figur 18 R _p /Temperatur: vi har en økning her. (merk at -50<25).	27
Figur 19 R _m / Temperatur: her ser vi Strekkfastheten øker mest for temperaturen (-25), med 5 % økning.....	28
Figur 20 Stress ved brudd/ Temperatur	28

Symbol og forklaring.

Stress:

Stress (σ) er gjennomsnittlig stress i strekkprøven. Det oppnås ved å dele lasten (F) med det opprinnelige tverrsnittsområdet (A_0)

$$\sigma = F/A_0.$$

Belasting (strain):

Belastingen (e) er den gjennomsnittlige belasting som oppnås ved å dele endring av lengden (ΔL) på prøvens opprinnelige lengde (L).

$$e = \Delta L/L.$$

Elastisk modulus.

Er en mekanisk egenskap som måler strekk av et fast materiale når det blir belastet. Dette bestemmes ved hjelp av formelen nedenfor:

$$E = s/e.$$

Avkastningsstyrke (Yield strenght):

Den er bedre kjent som Yield strength fra skole bøkene og er en konstant som representerer maksimal elastisk oppførsel.

Øvre flytegrense (ReH)

Henviser til NS-En ISO 6892-3:2015: 10.4.2.1

Nedre flytegrense (ReL):

Henviser til NS-En ISO 6892-3:2015: 10.4.2.2

strekkfasthet (Rm):

henviser til NS-ISO 6892-3:2015:10.3.4

0,2 % proof strenght (Rp):

Henviser til NS-En ISO 6892-3:2015: 10.4.2.3

Stress ved brudd:

$$\sigma = F/A.$$

Der F = kraften maskinen bruker på dra testen fra hverandre.

Temperaturer:

Vi benytter oss av 3 temperaturer (-50), (-25) og 25 grader. Og all temperatur er gitt i Celsius.

d_0 = original diameter av parallele lengde

d_1 = metrisk ISO-tråd

L_0 = original målelengde

L_c = parallell lengde ($L_c \geq L_0 + d_0$)

L_t = total lengde av testen

r = radius overgang

1. Innledning.

Stål er noe vi mennesker har lært oss å utnytte gjennom historien, både på godt og vondt. Det mindre gode er våpen som pistoler, kanoner og sverd som vi bruker til å ødelegge. Og vi har blitt flinkere til å lage dem, der både kvalitet og kvantitet har økt drastisk. Det gode der imot er husly som holder både vind og storm langt unna eller store konstruksjoner der mange mennesker kan møtes og dele kunnskap og mye mer, eller bruer for å knytte byer og kulturer sammen. Det er også takket være stål vi har klart å lette fra bakken og utfordre til og med gravitasjon. Det er utrolig mye vi har fått til i senere tid takket være stål, eller kanskje takket være oss selv som er i stand til å forandre på egenskapene til stålet slik at det gagnar oss mer.

I denne oppgaven skal vi finne ut av hva som skjer med stål under lav temperatur. Vi har valgt å bruke Nitrogen for å fryse ned testene våre. nitrogen er god til å holde på temperatur, og ved å benytte oss av det sparte vi mer tid på enn dersom vi hadde gått for vannbad for eksempel.

Stålet S355 er et konstruksjonsstål (rustfritt stål) som er mikrolegert. Mikrolegert stål er stål som inneholder legeringselementer, mer om det i High Steel Low-Alloy kapitlet nedenfor. Rustfritt stål er ikke utfordrende å vedlikeholde heller ei å bruke i konstruksjon, det er derfor det i senere tid har blitt veldig populært å bruke. Vi skal også se på stress og belastning av stålet S355 i forskjellige temperaturer, dette gjør vi ved hjelp av strekkprøver. Der vi strekker stålet til brudd.

Det er svært viktig å vite om egenskapene til et material for å konstruere gode og stabile bygninger som har god duktilitet, men som også kan stå lenge. Stålets egenskaper er også avhengig av miljøet rundt selve konstruksjonen. *Denne typen stål kan imidlertid ikke benyttes i alle typer miljø, og spesielt eksponering for klorider vil bryte ned det beskyttende sjiktet av rust slik at korrosjonshastigheten øker* (Knudsen). Det å være nøyaktig er derfor av stor betydning her fordi en liten feil kan bli til en veldig stor senere i prosessen.

2. Teori

Som nevnt tidligere så takker vi ikke stålet simpelthen fordi det eksisterer, men heller kanskje oss selv som er i stand til utnytte det til det fulleste. Fordi det er egenskapene til stålet som er interessant. Stål S355 kommer i mange varianter som er designet for egne bruksområder, stålet vi har bestilt er **S355J2 + AR**.

Der:

- *S står for strukturell stål*
- *J2 står for stålets forventede bruksvilkår*
- *AR står for «As Rolled» (sylinderformet)*
- *355 er ståltypen*

(Fimreite)

Tilbake til egenskapene til stål. Stål er duktilt, tåler mye og det håndterer korrosjon bra. Stål tåler også både ekstreme høye og lave temperaturer, det er nettopp derfor det er etterspurt av mange industrier. Problemet er bare at all slags stål ikke passer til alle miljøer. Været og hvor i verden du befinner deg har mye og si. Det har seg slik at korrosjonshastigheten kan øke ved at stålet er i et feil miljø, og korrosjonshastighet økt er noe vi absolutt vil unngå. Fordi korrosjon er oppløsning av metalliske materialer (Haarberg, 2022) dette kan medføre rust som da igjen svekker stålet.

For eksempel:

Bil A står i en parkeringsplass.

Bil B står i en garasje.

Bil A er mer utsatt for høy korrosjon enn bil B. Grunnen for dette er i følge: **Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner - Del 1-4: Konstruksjoner av rustfritt stål:** Fordi det dannes kjemisk reaksjon mellom stålet, Oksygen og fuktighet. Og bil B er gjerne mer skjermet for oksygen og delvis fra fuktighet.

2.1 High strenght low-alloy

«High-strength, low-alloy (HSLA) steels, or microalloyed steels, are aimed to provide better mechanical properties»

(Skobir)

HSLA-Steels kommer fra engelsken og er forkortelse for *high strength Low Alloy-steels*. Som Danijela Skobir nevner i rapporten sin, så er HSLA- stål stål som man har forandret egenskapene til slik at det for eksempel blir mer robust. Skobir beskrev det: *De er designet for å oppfylle spesifikke mekaniske egenskaper, som for eksempel gi en avkastningsstyrke som er større enn 275 MPa.*

Det stilles ellers tre hovedkrav for HSLA-stål:

1. *Høy avkastning styrke*
2. *Lav effekt overgangs temperatur*
3. *god sveisbarhet*

(Skobir)

Det som blir gjort på en mer detaljert måte er at man faktisk endrer på de kjemiske komposisjonene til materialet. Dette gjøres ved å tilsette liten andel legeringsmidler. De vanligste legerings midlene man bruker er Niob, Aluminium, Titan og vanadium for HSLA-stål. HSLA stål gjør det mulig å designe lette, tynne og enklere strukturer (Seitl Stanislav). Det er altså en god balanse av styrke, formbarhet, duktilitet og seighet man vil ha når det gjelder å få best stål mulig.

Som vi også nevnte tidligere så er det utrolig viktig for firmaer og i industrier generelt at varene man bestiller er gode og at prisen komplimenterer varene. Man kjøper gjerne mye på en gang når man først skal handle stål for et bygg. Derfor er det viktig å velge riktig stål for konstruksjonen og da må miljø, temperatur, tid og belastning tas i betraktning.

Kvalifisering av stål forenklet kan se slik ut:

- *Karbon stål*
- *Lav karbon stål*
- *Rustfrie stål*
- *Verktøys stål*

(Fimreite)

2.3 Karbon

I følge Det store Norske leksikon påstår Jan Ketil Solberg at alle typer stål består av karbon, ca 2 vektprosent. Videre sier han: Man pleier å gå ut ifra at karbon øker stålets hardhet og styrke, men reduserer duktilitet og bruddseighet (Jan Ketil Solberg). Det var Engelsk mannen Harry Brearley om først oppfant det rustfrie stålet tilbake i 1913 (Jan Ketil Solberg). Han legerte jern med 12.8 prosent krom og det han fant var banebrytende stål som hadde god mostand mot korrosjon og rust.

2.4 Nitrogen

Vi benytter oss av sikkerhetsdatabladet for informasjon hentet for nitrogen (Nippon Gas, The Gas professionals, 2013). Nitrogen er et grunnstoff som har et kokepunkt på -196 celsius og frysepunkt -210 celsius. Det er derfor vi har valgt å bruke det i vår oppgave fordi det også holder på temperatur slik at vi kan få ønskelig temperatur. Nitrogen vi benyttet oss av var nedkjølt og flytende, og er farlig å berøre uten beskyttelse, fordi man kan ende med alvorlige frostskafer. Flytende Nitrogen er både fargeløs og luktfri. (Nippon Gas, The Gas professionals, 2013).



GHS04
Advarsel
H281 - Inneholder nedkjølt gass; kan forårsake alvorlig forfrysninger.



Ikke-brannfarlige, ikke-giftige gasser.

FIGUR 1 FARESKILTENE FOR NITROGEN. (NIPPON GAS, THE GAS PROFESSIONALS, 2013).

2.5 Stål i kalde omgivelser

Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjon- del 1-4 er tilgjengelig på Standard.no, sier noe om rustfritt stål:

«Rustfritt stål er generelt svært motstandsdyktig mot korrosjon, og de vil fungere tilfredsstillende i de fleste miljøer. Grensen for korrosjonsbestandighet for et gitt rustfritt stål avhenger av legeringselementene, noe som betyr at hver klasse har en litt annen respons når den utsettes for en etsende miljø. Det er derfor nødvendig med forsiktighet for å velge den mest hensiktsmessige karakteren av rustfritt stål for en gitt applikasjon» (CEN, 2006)

Dette ser vi også stemmer overens med våre resultater, henviser til kapittel 5. Sammenligning og diskusjon.

Josip Brnic og kollegaene hans ved Rijek Universitet har også testet stål s355 med både forhøyet og redusert temperatur. De har fokusert mer på creep og uniaxial stress ved temperaturene. Og det de fant ut av var at jo kaldere det blir desto større blir strekkfastheten. De har også brukt temperaturer som er enda lavere enn våres. De har valgt å bruke flere punkter enn hva vi har, det vil si der vi har tre forskjellige temperaturer og gå ut

i fra, så har testet i fem forskjellige temperaturer(0, -10,-30,-50,-70 °Cgrader). Dette gjør grafen¹ deres enkel og fin å lese fra.

Det er også en mann ved navnet Sri Sritharan, enviromental engineering PHD. Han skal også ha sett på oppførsel til stål under redusert temperatur. Sritharan valgte flere punkter, altså flere temperaturer å gå ut ifra. I hans besvarelse påstår Sritharan at: Stålet opplevde en økning i utbytte og strekkfasthet på 5.1 to 6.3 % når Temperaturen blir redusert fra 20 °C til (-40°C) (Sritharan, 2012).Han finner videre ut at disse økningene ikke er lineære. Det skal også merkes at han bruker anderledes stål enn hva vi har. Stålet er ASTM Grad 420(60) mild stålförsterkning, men det han påstår er aldeles ikke feil, fordi vi vil være vitne til at det faktisk er sant, ut i fra resultatene under.

¹ Mer informasjon om Josip Brnic tester (JOSIP BRNIC*, 2009)

3. Eksperiment

I dette kapitlet skal vi forberede og utføre tester. Vi skal blant annet benytte oss av forskjellige maskiner til å utforme og utføre testene. Vi følger her også Standardene NS-ISO 6892-1-2009 og NS-ISO 6892-3-2015 til punkt og prikke. Ettersom testen har blitt utformet ved hjelp av CNC-Lathe maskin, setter vi gang med strekkprøver.

Trinn og beskrivelser for å starte testen:

- Etter at du har kommet inn i laboratoriet, må du ta på deg sikkerhetsbriller, hodesett og briller.
- Lese og forstå trinnene i testen vår og under utfallet av testen.
- Les egenskapene og risikoen for å arbeide med nitrogengass på (Nippon Gases REF: YPX098B)
- Fyller ut TN-SIKKER JOBBANALYSE SJA -SKJEMA) og forstå det
- Rengjøring av arbeidsområdet

3.1. Test Standarder

Vi deler testen i flere mindre deler. Hvor mange deler vi skal ha fant vi ut slik:

Siden vår total lengde av hele testen er lik 216.48mm, så vet vi at om vi deler det på lengden av hele stålet har vi : $6000/216.48 = 27$. 27 er alle tester vi kan ta, men vi trenger egentlig 15 av de 27. Altså 5 tester per temperatur.

Vi har benyttet oss Standardene 1. EN-ISO 6892-1-2009 og 2. NS-ISO 6892-3-2015.

Standarden **NS-ISO 6892-3-2015 Metallisk materialer strekkprøving Del 3: Metode for prøving ved lav temperatur** ble brukt som forberedelses verktøy. Her bestemte vi lengde av prøvene, vi bestemte hvilken metode vi skulle bruke ved hjelp av standarden. Når vi brukte denne standarden var det fordi vi holdt på med negative temperaturer.

Standard **EN-ISO 6892-1-2009: Metallisk materialer strekkprøving Del 1: metode for prøving i rom temperatur** ble også hyppig benyttet. Denne standarden brukte vi mer under selve strekkprøvingen og hjalp oss velge rett mekaniske egenskap ved romtemperatur.

3.2. Material

S355 tilhører HSLA (høy styrke lav strukturelt stål), tilhørende Standard EN10025. Dette er lavkarbonstål med opptil 1.5 vektprosent mangan og gjerne med da tilsetning i små mengder

elementer som for eksempel Niob og Titan (Jan Ketil Solberg). Vi tilsetter Mangan for øke stålets styrke og det gir økt seighet. Slike stål har en strekkfasthet på 450 til 650 MPa og blir brukt til for eksempel broer, skip, biler og store konstruksjoner som skyskrapere. (Jan Ketil Solberg). Vi har valgt å benytte oss av stålet: **S355J2+AR** se tabell 1.

TABELL 1 KJEMISKE SAMMENSETNING AV S355

S355J2+AR	C (%)	Si(%)	Cu(%)	Mo(%)	Ni(%)	V(%)	Nb(%)	Ti(%)	Al(%)	P(%)	S(%)
	0.11	0.23	1.06	0.02	0.11	0.050	0.0011	0.0013	0.0022	0.014	0.018

3.3 Dimensjoner

lengden av grepet ende var originalt 12 mm, men vi ville at grepet ende skulle være lengere slik at maskin får et bedre grep. Vi justerte derfor på $h_{\min}=12$ slik at vi har $h_{\text{justert}}=70$.

TABELL 2 VALGTE DIMENSJONER

d_0	L_0	d_1	r_{\min}	$H_{\text{justert}}/h_{\min}$	L_{\min}	L_{tmin}
10	50	M16	8	70/12	60	97

Betydning:

d_0 = original diameter av parallell lengde

L_0 = original målelengde

d_1 = metrisk ISO-tråd

r_{\min} = radius overgang

h_{\min} = lengden av grepet ende

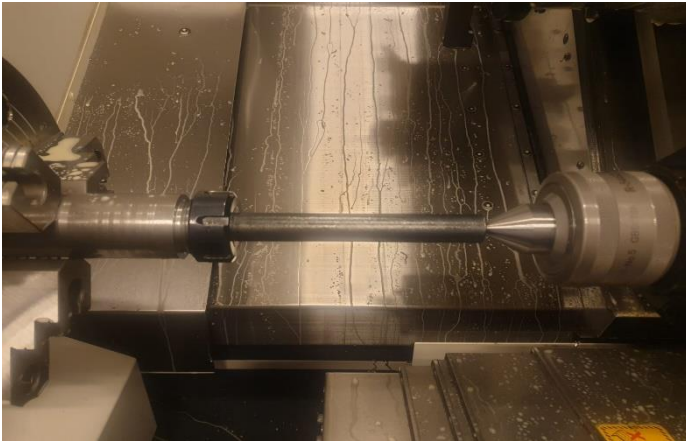
h_{justert} = lengden av grepet ende justert

L_{\min} = parallell lengde ($L_c \geq L_0 + d_0$)

L_{tmin} = total lengde av testen

3.4 Forberedelse til testing

forberedelser skjer i henhold til NS-ISO 6892-3-2015. I dette tilfelle ble testen utført på en CNC Lathe maskin med navn Okuma GENOS L300-e. Maskinen utformer testen vår slik det er beskrevet i standard 6892-3, men det er vi som må plote inn dimensjoner. Se figur 2



FIGUR 2 TESTEN INN I MASKIN OKUMA GENOS L300-E. HER SKAL DEN UTFORMES TIL STREKKPRØVEN.

Mens kjøleenheten kjøler seg ned, tar vi igjen målingene av prøvene for å oppdage eventuelle feil som oppstod mens de ble utformet på CNC maskinen. Ved hjelp av Mikrometeret: Yato YT-72303 oppdaget vi avvik på 0.1 til 0.3mm i diameter som vist i tabell 3. Merk her at det er 10 mm vi satt som inn i maskinen, detter er ikke stort nok avvik til påvirke prøvene våre.

Tabell 3 vi måler diameter til prøvene etter CNC maskinen

Tabell G.5	Test ved - 50 C	Test ved - 25 C	Test ved 25 C
PrøveNR.			
1.	9,99 mm	9,99 mm	9,89 mm
2.	9,99 mm	9,99 mm	997 mm
3.	999 mm	998 mm	9,96 mm
4.	999 mm	997 mm	10 mm
5.	9,97 mm	9,99 mm	9,97 mm

3.5 Metode

Vi ønsker å observere og teste strekkfastheten: elastisk oppførsel av prøven (stress- og belastningskurver). Duktiliteten til stålet i redusert temperatur ved romtemperatur 25, (-25) og (-50).

For det bestemte vi oss for følgende:

NS-EN ISO 6892-3:2015 (10.2.2.2) Le basert på romtemperatur (metode 1):

Ekstensometeret stilles inn på teststykket ved romtemperatur med nominell målerlengde. Utvidelsene målt ved testtemperatur og prosentforlengelsen beregnes med målelengden ved romtemperatur. Den termiske forlengelsen vurderes ikke.

vi har valgt metod i henhold til NS-EN ISO 6892-3:2015 10.3 testrate basert på belastningskontroll (metode A):

10.3.2 Strekkhastighet for bestemmelse av øvre utbyttstyrke (ReH) eller bevisstyrkeegenskaper (proof strength = $R_p=0.02\%$) ved hjelp av

- Vi benytter oss av Range 2: $eL_c = 0.00025 \cdot 1/S$ (samme som 0.015 1/min), relative tolerance $\pm 20\%$

- 10.3.3 Belastningshastighet for fastsettelse av lavere avkastningsstyrke (ReL) og forlengelse av prosentpoeng (Ae) om nødvendig.

Vi benytter oss av Range 2: $eL_c = 0.00025 \cdot 1/S$ (samme som 0.015 1/min), relative tolerance $\pm 20\%$

- 10.3.4 Flekkfrekvens for fastsettelse av strekkfasthet (Rm) prosentforlengelse etter brudd (A), prosentvis reduksjonsområde (Z), og om nødvendig prosentvis totalforlengelse ved maksimal kraft (Agt), prosentvis plastforlengelse ved maksimal kraft (Ag). (Standard Norge og Standard online AS, 2015)

Bruker her: Range 4: $eL_c = 0.0067 \cdot 1/S$ (samme som 0.4 1/min), relative tolerance $\pm 20\%$

Dette er retnings linjene til standarden ISO 6892-3 og ISO 6892-1.

Bestemmelse eller beregning av egenskapene vil bli gjort i henhold til ISO 6892-1.

- ISO 6892-3:2015: 10.2.3: Testen skal avkjøles til T (temperatur) og at T skal opprettholdes i minst 10 minutter (bløtleggingstid).
- Vi vil teste 5 prøver for hver temperatur og ta gjennomsnittet av dem.

² R_p er 0.02 % her fordi vi har en ikke-lineær oppførsel fra materialet. Dette kan man se ut ifra grafen.

3.6 Strekkprøve

Vi sjekker om alle forberedelse stemmer overens med standarden før vi starter på selve testen. Ved å bruke BlueHill programvare satt vi inn belastnings rekkevidde ifølge Iso 6892-3-2015, A224³. Og koblet ekstensometer til PC-en. Så fikk vi flytende Nitrogen i beholder (se figur 5) og koblet til kjøleenheten (se figur 4) ved hjelp av en tube.



**FIGUR 4 VI MÅLER DIAMETER
TIL PRØVENE.**



FIGUR 3 NITROGEN BEHOLDER

Vi har koblet kjøleenheten til strekkmaskin og ved hjelp av ekstern enhet kan vi kontrollere temperaturen vi har. Vi begynner med (-50) C for første fem prøver og (-25)C for de neste fem prøvene også 25 C for vår siste fem i rom temperatur.

Med hjelp av den vedlagte innretning til maskinen (styrespake) kan vi senke eller heve det øvre grepet. Vi løfter det øverste grepet opp for å sette prøven på plass, har strammer vi til. Også setter vi ned det øvre grepet, slik at prøven går inn i hullet til det nedre grepet. Henviser til bildet under (figur 5.). Ekstensometeret legges inn i midten av selve testen etter at alt er strammet og på plass.

Nå fyller vi inn Dimensjoner i Bluehill programvare. Her endre vi verdiene i henhold til hvert eksemplars dimensjoner og temperatur. Vi setter så belastning maskinen utøver mellom 1 til 2 KN før vi trykker på startknappen, og da testen er i gang.

³ A224 forteller om «Områder» (Range) som vi har brukt ifølge Iso 6892-3: 2015, (10.3.2, 10.3.3, og 10.3.4.).



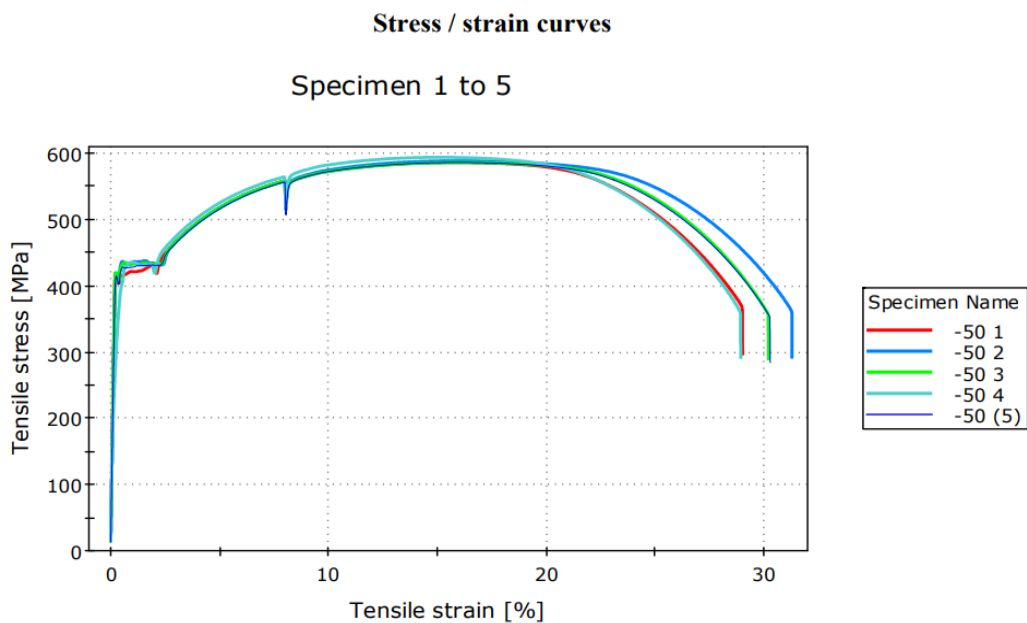
FIGUR 5 : RØDT ER ØVRE GREP, BLÅTT: NEDRE GREP OG SVART: EKSTENSOMETER

Når vi trykker på startknappen, vises en melding som sier at en nedtelling for soaking time (bløtleggings tid) har startet. Etter at testen startet, og vi kan se det øvre grepet bevege seg opp og strekke prøven til den når et punkt der testen vil stoppe og programmet vil gi en ny melding om at vi kan ta ut ekstensometeret, noe vi gjør ved å åpne kjøleenheten og fjerner den. Testen vil fortsette til det blir brudd.

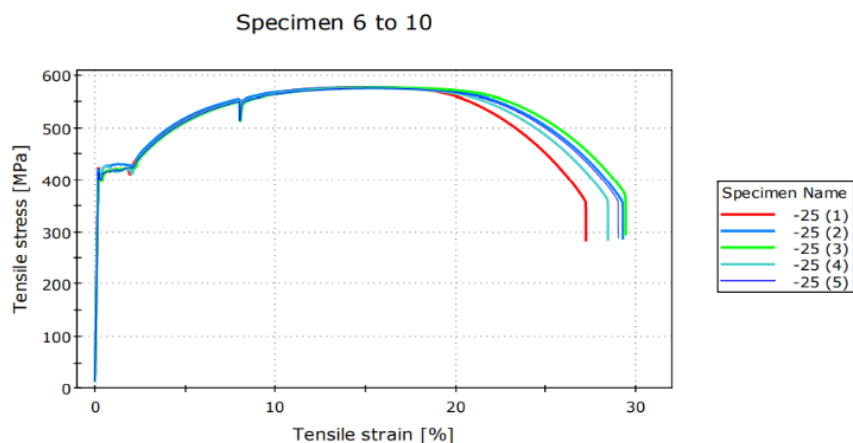
4. Variasjon av Stress under Belasting

Vi skal her se på resultater både i form av graf og tabell. Det vil bli gitt kommentar på grafene og resultat generelt. Diskusjon og konklusjon kommer i de kommende kapitlene, her vi vil bare se på resultatene og prøve å forstå dem.

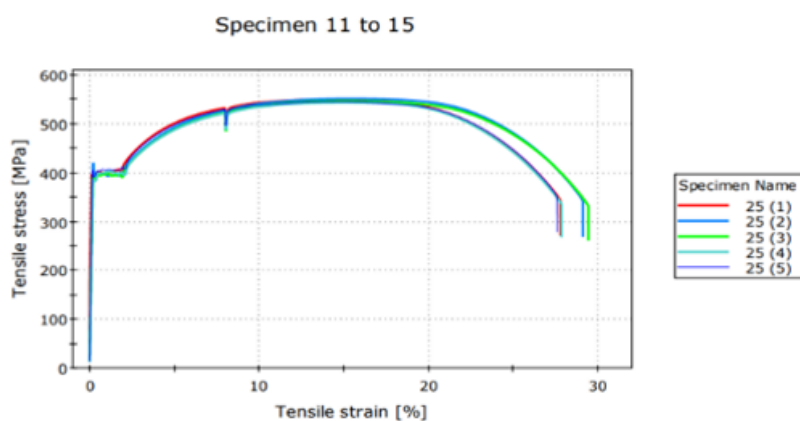
Stress /Strain (belasting) forteller oss om hvordan stress forandrer seg jo mer strain (belastning) øker. De forskjellige fargene er antall prøver som ble tatt i sin respektive temperatur. Vi har valgt å kalle testene for temperaturen den blir testet i for eksempel: temperatur (-50) C⁰ grader heter bare -50. Belastningen (strain) er gitt i prosent og stress er gitt ved MPa (trykk). Se figur 6.



FIGUR 6 STRESS-BELASTNINGSVARIASJON AV 5 PRØVER TESTET I -50 C⁰ GRADER



FIGUR 7 STRESS-BELASTNINGSVARIASJON AV 5 PRØVER TESTET I -25 C⁰ GRADER



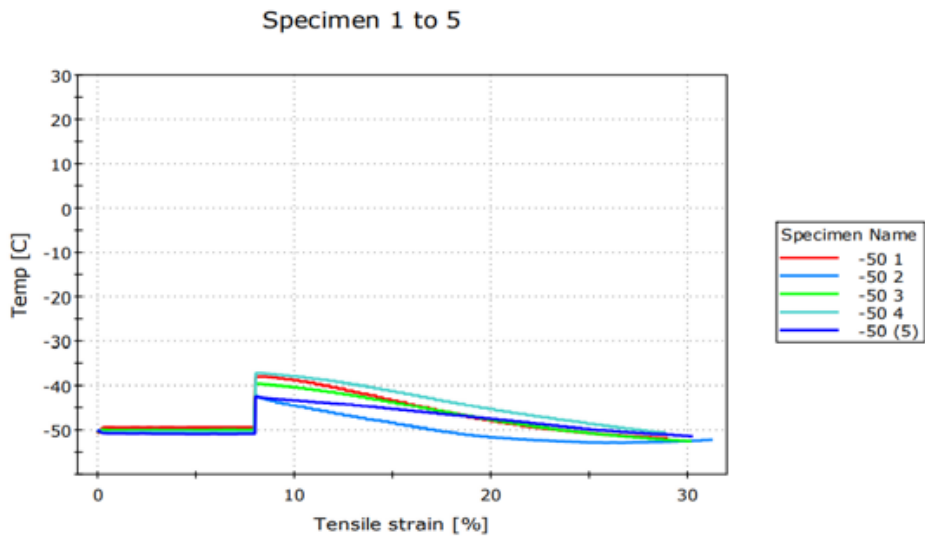
FIGUR 8 STRESS-BELASTNINGSVARIASJON AV 5 PRØVER TESTET I 25 C⁰ GRADER.

4.1 Variasjon av temperatur under Belasting

Ut i fra grafen ser vi at alle testene som ble tatt holder seg på samme temperatur og oppfører seg likt til vi når ca 8% tensile strain (se figur 9). Og da blir det mer variasjon i grafen. Det er ikke store temperatur endringer og testen gikk som forventet. Dette har med at maskinen ble åpnet og lukket på annerledes måte. Når vi for eksempel testet i romtemperatur så kan vi se at grafene ikke blir påvirket i like store grad, dette skyldes det ikke har noe å si hvor lenge døra er åpen, fordi det er lik temperatur. se figur 11.

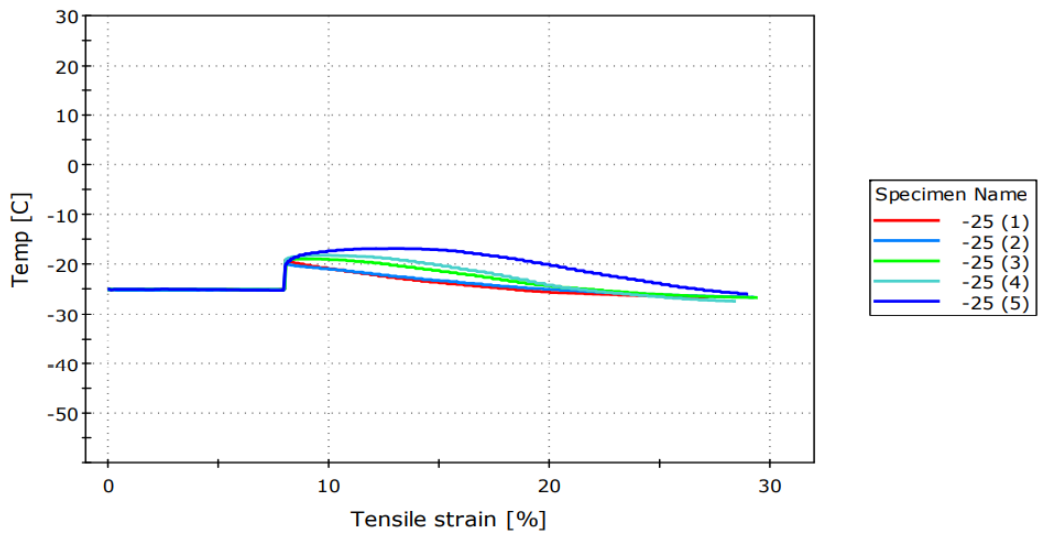
Temperature / strain curves

Graph 2

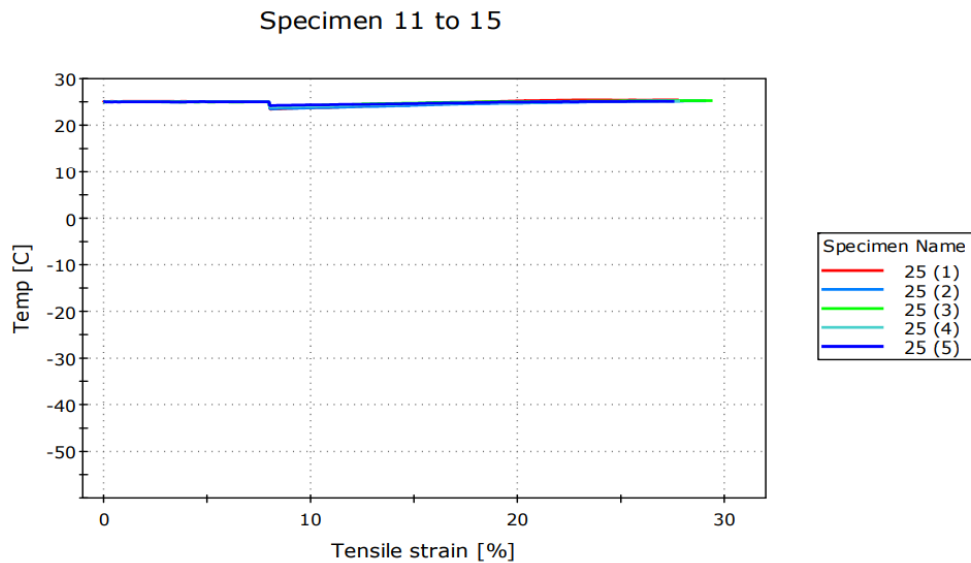


FIGUR 9 TEMPERATUR-BELASTNINGSVARIASJON AV 5 PRØVER TESTET I -50 C^0 GRADER

Specimen 6 to 10



FIGUR 10 TEMPERATUR-BELASTNINGSVARIASJON AV 5 PRØVER TESTET I -25 C^0 GRADER.



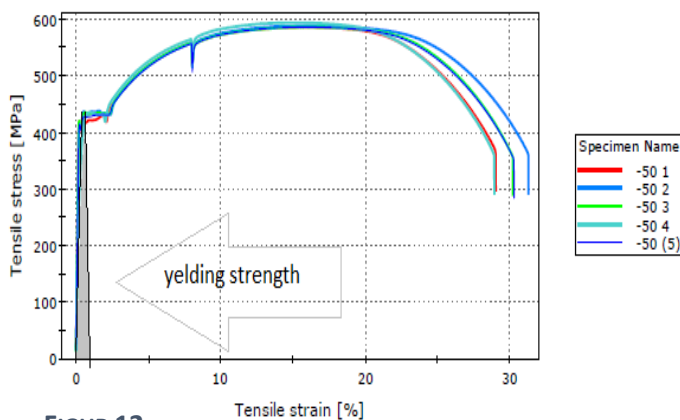
FIGUR 11 TEMPERATUR-BELASTNINGSVARIASJON AV 5 PRØVER TESTET I 25 C⁰ GRADER.

Vi kan se her at det er veldig lite variasjon og alle testene som ble tatt er veldig like. Grunne er fordi temperaturen blir nesten ikke påvirket verken når vi tar ekstensometeret ut eller når vi starter på en ny test.

4.2 Mekaniske egenskaper

4.2.1 Avkastningsstyrke:

I begynnelsen av testen vår så har metallet en elastisk oppførsel, merket med grått, se figur 12, hvis vi stoppet testen, vil prøven gå tilbake til sin opprinnelige lengde. Den kan beregnes ved hjelp av Modulus av elastisitet E.



FIGUR 12

$$E = s / e$$

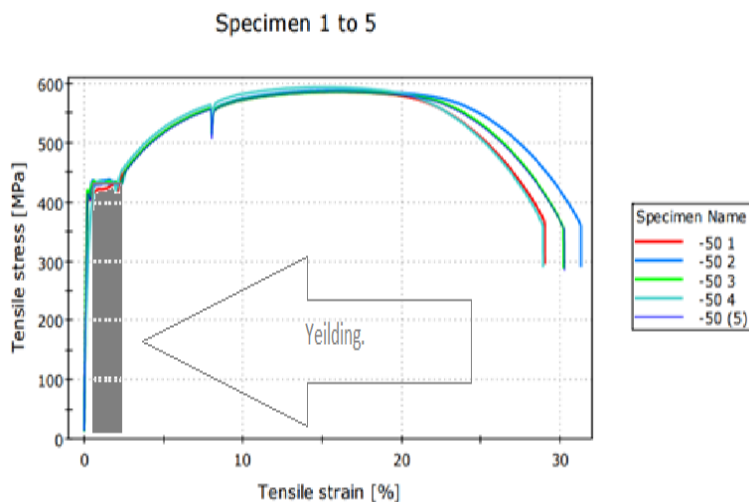
[stress σ = kraft på tverrsnittsområde.

Flekk ϵ =endring i opprinnelig lengde.]

Merk: Vi brukte 0,2% offset-metoden i Blue Hill program Fordi for noen materialer er ikke overgangen fra elastisk til plastisk deformasjon så tydelig.

4.2.2 Deformasjon:

I dette stadiet av testen **deformeres** prøven permanent. Noe som betyr at hvis vi slipper prøven, vil den ikke gå tilbake til den opprinnelige lengden, og vi kan se at hvis vi holder samme strekkspenning (rundt 430-440 MPa) ser vi strekkfasthetshastigheten endrer fra rundt 1% til 3%. Det betyr at prøven har forlenget med en eventuell økning av stress. Innhentet resultat kan ses på Tabell 4.

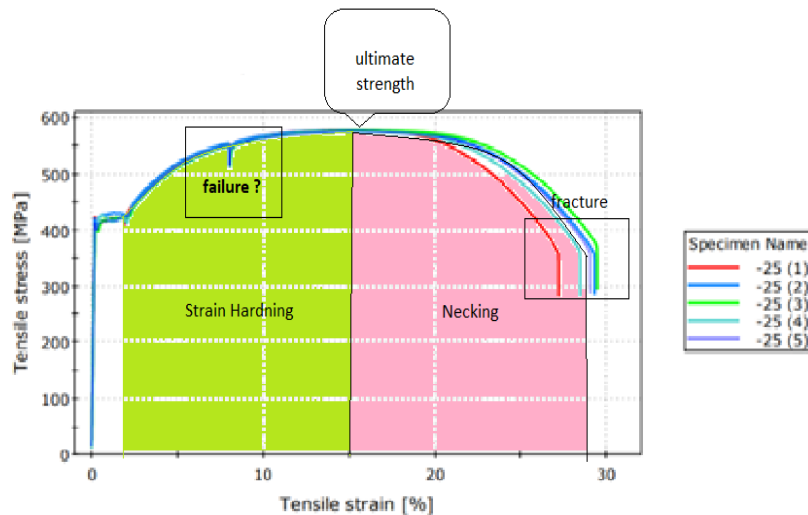


FIGUR 13

4.2.3 Plast deformasjon:

I denne delen av testen kan deformasjonen deles på to deler. Vårt fokus er «Necking». I dette stadiet så vi at den midterste delen av prøven begynte å stivne og bli tynnere etter at den nådde den ultimate styrken (ULS), og dette fenomenet heter Necking. Se figur 14.

Der det er står «failure?» på grafen (figur 14) er på grunn av åpning og lukking av kjøleenheten. Det tar noe tid å ta ut testen for også sette inn en ny. Og da får vi noe avvik på temperatur, men siden det ikke påvirker testen bemerkelsesverdig så ser vi bort i fra det lille duppet på grafen.



FIGUR 14

TABELL 4 RESULTATER FRA LABORATORIET.

Results

	Specimen	E [GPa]	ReH [MPa]	ReL [MPa]	Rp0.2 [MPa]	Rm [MPa]	Stress at Break [MPa]	NPE at Rm [%]	NPE at break [%]	Maximum temp [C]	Minimum temp [C]
1	-50 1	207.8	421.6	403.7	403.3	586.1	371.2	15.54	28.72	-37.9	-51.6
2	-50 2	203.0	414.6	407.3	413.4	588.5	364.4	15.77	30.99	-41.8	-52.6
3	-50 3	205.4	422.2	405.8	408.7	586.0	360.9	15.77	29.91	-39.4	-52.3
4	-50 4	92.54	436.1	431.1	408.4	594.0	363.4	14.47	28.42	-37.0	-50.40
5	-50 (5)	203.3	415.4	403.1	404.3	586.1	356.4	15.65	29.98	-42.2	-51.2
6	-25 (1)	221.5	426.1	402.5	402.3	577.4	361.0	14.58	26.95	-19.0	-26.5
7	-25 (2)	224.7	-----	-----	412.8	577.2	360.3	14.86	29.00	-19.8	-26.5
8	-25 (3)	203.7	409.1	397.2	397.2	576.8	373.0	15.67	29.15	-18.8	-26.6
9	-25 (4)	207.0	-----	-----	411.2	575.1	364.3	14.97	28.16	-18.1	-27.3
10	-25 (5)	208.2	414.9	400.9	402.3	575.2	363.2	15.14	28.73	-16.8	-25.9
11	25 (1)	305.0	398.6	386.7	386.5	549.6	346.2	14.00	27.57	25.4	23.4
12	25 (2)	201.6	421.0	394.2	391.3	551.5	347.3	15.18	28.82	25.2	23.5
13	25 (3)	204.0	395.5	391.7	386.3	546.7	335.4	14.90	29.16	25.3	23.9
14	25 (4)	202.6	387.7	381.9	386.2	543.9	339.8	14.66	27.57	25.2	23.9
15	25 (5)	232.7	406.6	392.4	395.2	544.8	354.9	14.21	27.32	25.1	24.2

Ut i fra Resultat vi sitter igjen med kan vi tydelig se at det er noe forandring ved strekkfasthet og e modulus. Det er disse to vi er interessert og vi ser det er økning hos begge parametrene, se tabell 4.

5. Sammenligning og Diskusjon

Oppgaven var krevende når det gjaldt å forske på faglig litteratur. Det har ikke blitt forsket mye på akkurat det tema vi har valgt som er oppførsel til stål under lav temperatur. Vi er de første som skriver om emne på Universitetet i Stavanger. For metode og utførelse har vi fulgt standard NS-ISO 6892-3-2015 og EN-ISO 6892-1-2009 slavisk. Og vi har ikke hatt noe vanskeligheter med å følge dem.

Det vi observerer fra grafene er at jo kaldere stålet er dess mer stress må det til for å nå brudd. Dette ser vi som toppunkt i grafene, som Ultimate Limit State (ULS).

Siden vi har utført testen fem ganger i tre forskjellige temperaturer, tok vi gjennomsnittet av hver testgruppe, så resultatet er blir ryddigere.

TABELL 5 GJENNOMSNIITT AV RESPEKTIVE TEMPERATURER .(ANTALL GUNSTIGE/ANTALL MULIG)

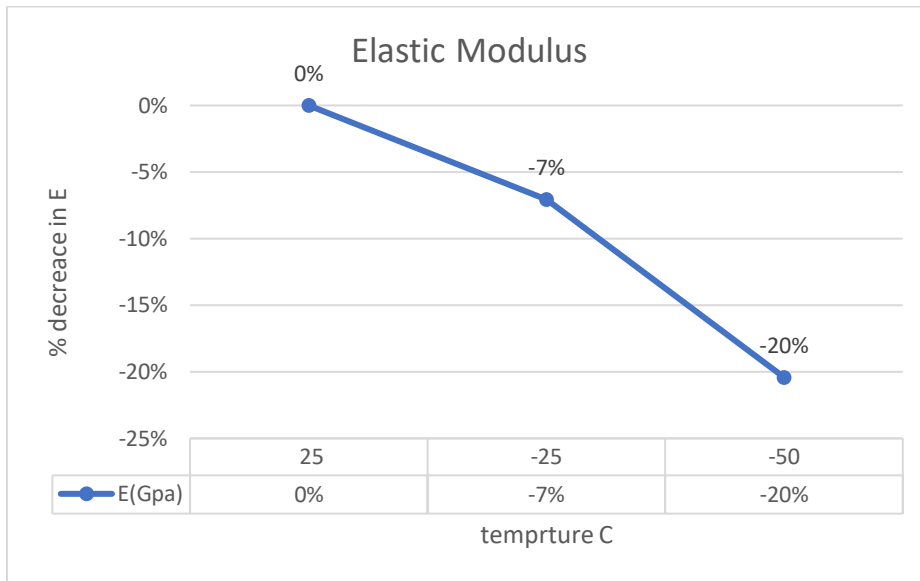
Specimen	E(Gpa)	ReH [MPa]	ReL [MPa]	Rp0.2	Rm	Stress at Break [MPa]	NPE at Rm [%]	NPE at break [%]	Maximum temp [C]	Minimum temp [C]
				[MPa]	[MPa]					
Avg (1-5)	182,408	421,98	403,7	407,62	588,14	363,26	15,422	29,604	-39,66	-51,62
-50C										
Avg (6-10)	213,02	417,06	400,06	405,16	576,34	364,36	15,044	28,398	-18,5	-26,38
-25C										
Avg (10-15)	229,18	401,88	389,38	389,1	547,3	360,72	14,59	28,088	25,24	23,78
25 C										
	E(Gpa)	ReH [MPa]	ReL [MPa]	Rp0.2	Rm	Stress at Break [MPa]		temp		
25	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %		25		
25 til -25	-7 %	4 %	3 %	4 %	5 %	1 %		-25		
-25 til -50	-20 %	5 %	4 %	5 %	7 %	1 %		-50		

Grafene under som er vist i figur 15 til figur 21 kan og ses på tabell 5 utregnet i prosent. Det er denne tabellen grafene under bygges på.

Eksempel: vi ser at e-modulen er 0%, -7% og -20% kan ses på figur 15. hver respektive kolonne har altså sin graf som en forklaring.

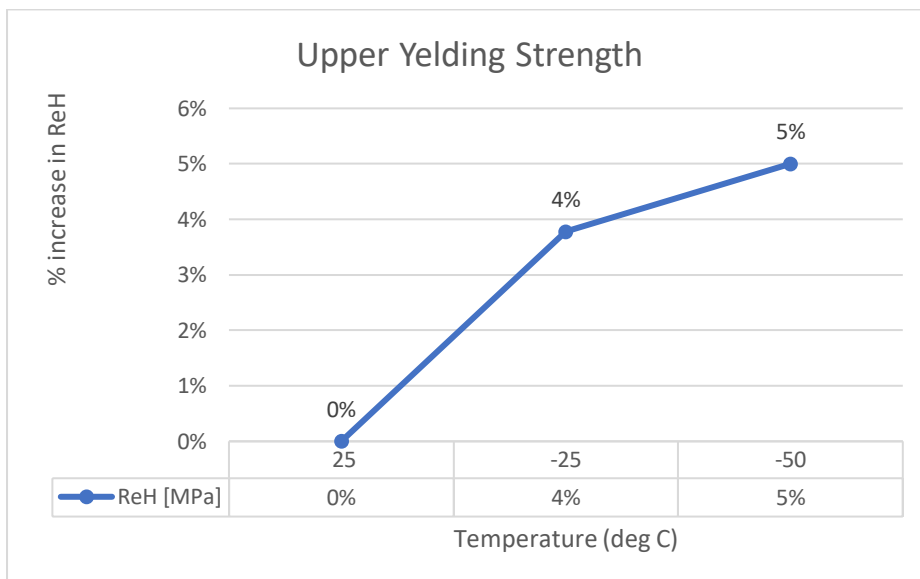
Vi kan lese ut fra tabellen at det for eksempel er en økning på 7 % på e modulusen vår. Det samme kan vi se på figur 15. Hver respektive kolonne har altså sin graf som en forklaring.

Elastic Modulus:



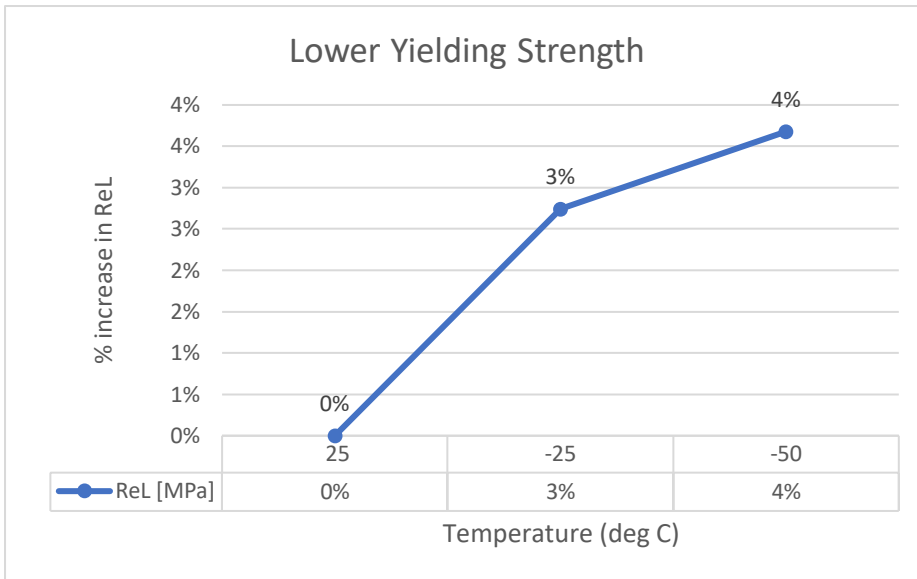
FIGUR 15 E-MODULUS/TEMPERATUR. VI KAN HER SE FRA 25 GRADER TIL -25 MINKER E-MODULESEN FRA 0% TIL (-7%), OG FRA -25 TIL -50 GRADER MINKER DEN TIL (- 20 %)

Upper Yield Strength:



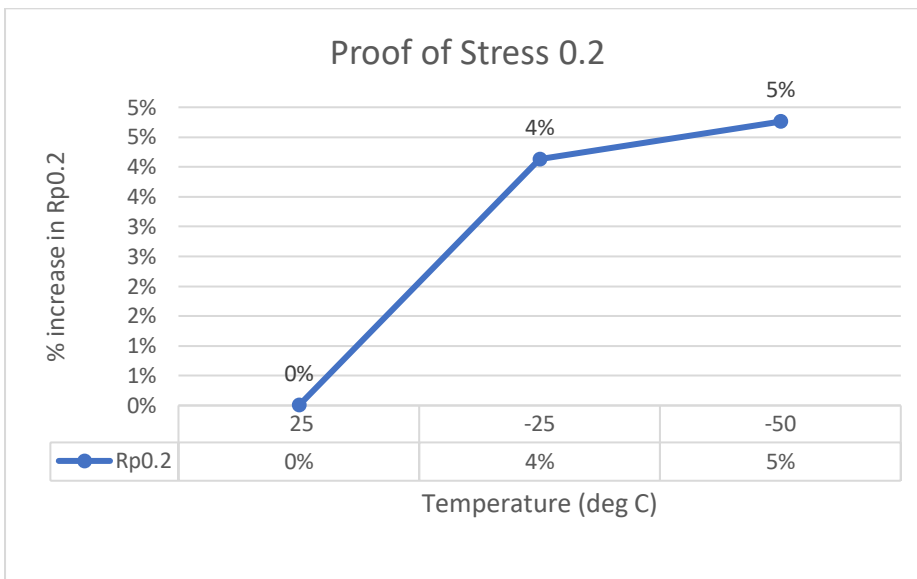
FIGUR 16 UPPER YIELD STRENGTH/TEMPERATUR

Lower Yield strength:



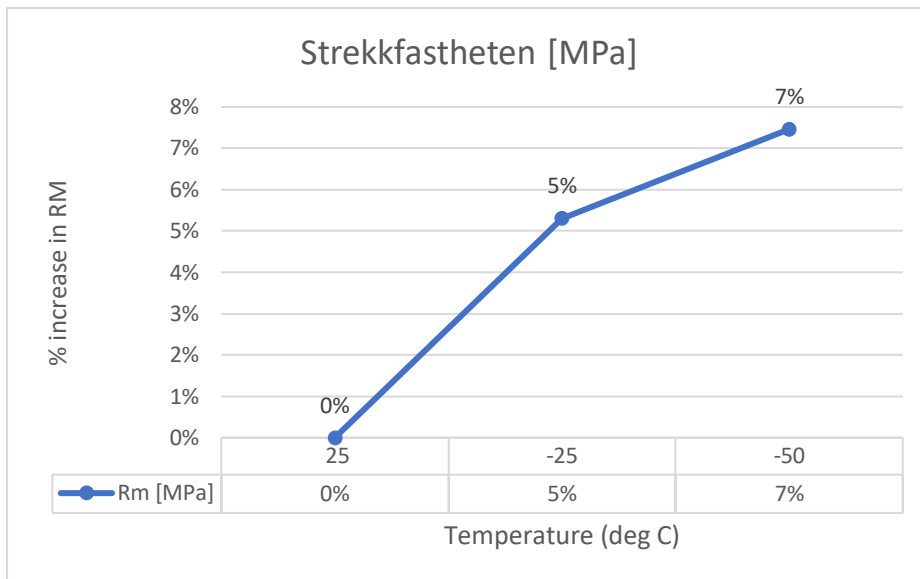
FIGUR 17 LOWER YIELD STRENGTH /TEMPERATUR

Proof strenght:



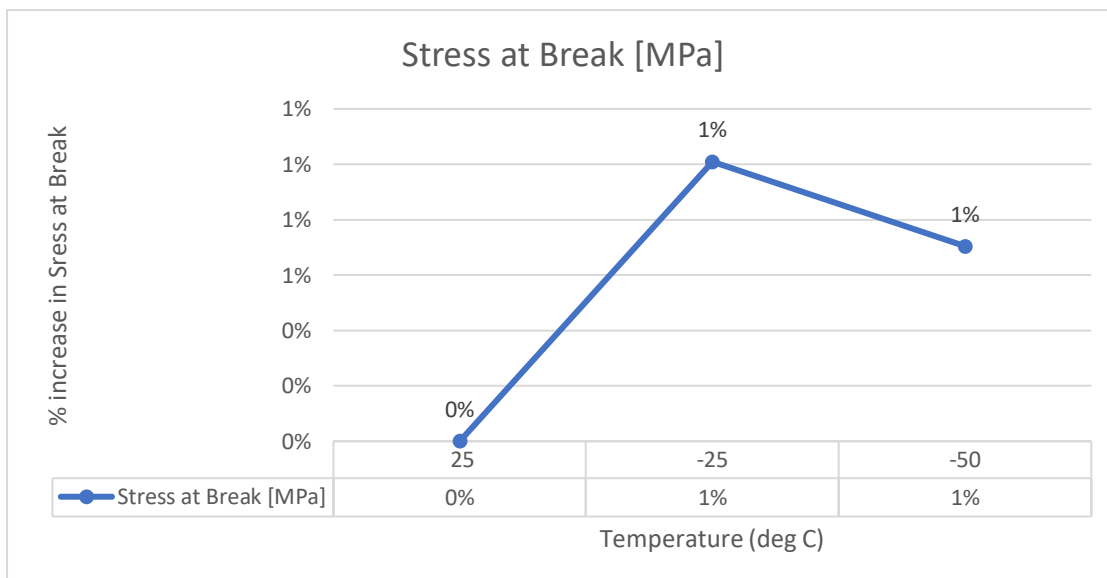
FIGUR 18 PROOF STRENGTH/TEMPERATUR: VI HAR EN ØKNING HER. (MERK AT -50<25).

Strekfasthet:



FIGUR 19 STREKKFASTHET/ TEMPERATUR: HER SER VI STREKKFASTHETEN ØKER MEST FOR TEMPERATUREN (-25), MED 5 % ØKNING

Stress/spenning ved brudd:



FIGUR 20 STRESS VED BRUDD/ TEMPERATUR

6. Konklusjon

I denne oppgaven har vi sett på oppførselen til stål under lav temperatur. Vi har også utført strekktester ved å påføre belastning. Det har vært spesielt vanskelig å finne godt forarbeid om akkurat dette emne. Så vi har ikke hatt så mye å gå ut i fra når det gjelder pålitelig litteratur. Istedet fant vi ut at standardene var veldig informasjons rike og besvarte de mest nødvendige spørsmålene.

Observert

- I bløtleggingstiden var det noen endringer i avlesningen på lastene, og dette var på grunn av at stålet krympet (ble mindre) på grunn av kulden.
- Mens vi tok ekstensometeret, så vi et betydelig fall på spenningsstrekkkurven (Stress) som kan forklares med temperatur fall i det døra åpnes.
- I Norge vet vi det kan bli kaldt om vinteren og da kan vi gå opp i mot -30 C^0 , hvis ikke kaldere, og da er det viktig å vite hvor mye kulde det spesifikke stålet man ønsker tåler og ikke minst hvor mye stress må til før brudd. Vi finner ut av hvordan stålet oppfører seg i (-50) , (-25) til 25 C^0 grader under belastning, og der ser vi at forlengelsen NPE ved brudd og strekkfastheten R_m har marginale forandringer og minker dess høyere temperaturen øker.

Vi kan her også gjøre antagelser med disse resultatene, og disse antagelsen kan få oss på rett vei. Det er det forskning handler om. Det at noe ikke fungert bra er også et svar. Hvis vi for eksempel sier at våre resultater viser en eksponentiell økning mellom temperaturene. Så er det mulig å anta den samme eksponentielle økningen ved mer ekstreme temperaturer. Med mindre noe annet er spesifisert.

Av resultat og observasjon foreslår vi å bruke høyere temperatur for å se større forandringer. For eksempel $(-100)\text{ C}$ grader eller mer. Fra denne grafen kan vi se specimens styrke har redusert, noe som betyr at S355 + Aj vil være dårlig for strukturapplikasjoner i kald fordringshaver Det er fullt mulig å bruke vår metode med bare enda lavere temperatur. Vi foreslår at man har fler punkter. Vi hadde tre forskjellige temperaturer som punktene våre, men dersom man for eksempel tester i flere tester men i mindre temperaturintervall får man gjerne en finere funksjon. Stålet har totalt sett vist vanlig oppførsel for sin respektive ståltipe.

REFERANSER

- CEN. (2006). *Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-4: General rules* . Brussel: EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION.
- Fimreite, H. (2020, 06 18). *korrosjonskartlegging av gatelysmaster*. Trondheim: NTNU.
- Haarberg, G. M. (2022, 05 10). *store norske leksikon*. From snl.no: <https://snl.no/korrosjon>
- ISO . (2009). *metallic materials - Tensile testing- Part 1: Method of the test at room temperture*. Brussel: CEN.
- Jan Ketil Solberg, N. C.-n. (2022, 05 03). Stål. *Stål og andre jernlegeringer*, p. 24.
- JOSIP BRNIC*, M. C. (2009). *Behaviour of S 355JO steel subjected to uniaxial stress at lowered and elevated temperatures and creep*. Rijeka: Faculty of Engineering, University of Rijek.
- Knudsen, O. Ø. (01.12.2021). *Rusttrege stål. Korrosjonshastighet i ulike miljøer*. Trondheim: Statens vegvesen.
- Nippon Gas, The Gas professionals. (2013). Nitrogen (nedkjølt, flytende). *Sikkerhetsdatablade*, 10.
- Seitl Stanislav, M. P. (2018). *Comparison of the Fatigue Crack Propagation Rates in S355 JO and S355 J2 Steel Grades*. Brno: Trans Tech Publications.
- Skobir, D. A. (2011). *HIGH-STRENGTH LOW-ALLOY*. Slovenia: Institute of Metals and Technology.
- Sritharan, S. (2012). *Effects of Cold Temperature and Strain Rate on the Stress-Strain Behavior of ASTM A706 Grade 420(60) steel reinforcement*. Iowa: JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING.
- Standard Norge og Standard online AS. (2015). *Metalliske materialer Strekkprøving Del 3: Metode for prøving ved lav temperatur*. Brussels: Standard Norge.