

## LABORATION I HÅLLFASTHETSLÄRA AK1

Laborationer i hållfasthetslära är obligatoriska moment. I AK1M sker laborationer vid två stationer och arbetet genomförs med fyra teknologer i varje grupp, vilka tillsammans lämnar in en lab-rapport. Laborationstiden är 2 timmar.

Teckning för laborationerna görs på de listor som anslagits på avdelningen för Hållfasthetsläras anslagstavla i foajen i M-huset. Teckningslistorna anslås i början av andra kursvecka. Teckningen är givetvis bindande. Om tecknad laborationstid inte utnyttjas, kan något nytt laborationstillfälle under innevarande läsår inte garanteras. Lokal: Samling vid Hållfasthetsläras laboratorium, rum M2384. Detta är beläget i M-husets laboratedel rakt under datorsalen Emma, 2:a våningen.

Du ska ha läst denna laborationshandledning innan du kommer till laborationen, annars får du ej laborera. Bearbetning av mätresultaten och redovisning kan normalt utföras under laborationstiden. Vid tidsbrist kan inlämning av lab-rapport göras i efterhand. Laborationshandledningarna innehåller inga förtryckta protokoll för ifyllning av mätresultat. Det ingår i laborationen att göra sina egna protokoll. Lab-rapporten skall lämnas i trälådan utanför hållfasthetsläras expedition på 5:e våningen senast 1 vecka efter lab-tillfället. För att erhålla slutbetyg ska laborationen vara rättad och godkänd innan början av tentamensveckan.

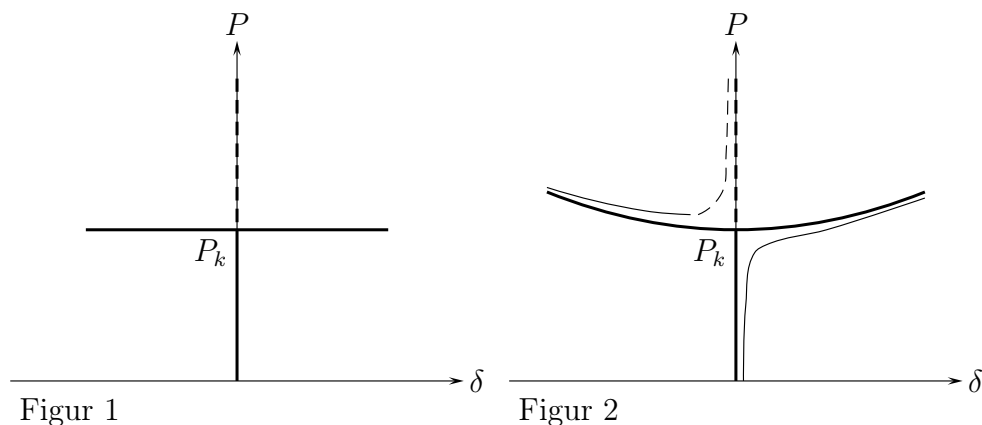
För frågor, kontakta någon av avdelningens lärare eller expeditionen på 5:e våningen.

Anteckna som stöd för minnet tiden för ditt laborationstillfälle här:

## Stabilitet

Vid statiska hållfasthetsproblem måste de statiska jämviktsvillkoren uppfyllas. I regel kan detta ske endast på ett sätt, dvs det finns ett entydigt samband mellan last och deformation. Ibland existerar mer än en jämviktsform, och man måste undersöka vilken jämviktsform som är stabil. Vid tryckbelastning av en perfekt rak sträva gäller att den raka formen är stabil så länge kraften understiger ett visst värde (knäckkraften) och instabil då belastningen överstiger detta värde. När tryckkraften överstiger knäckkraften existerar två stabila utböjningsformer och en instabil. Fenomenet att ett stabilt jämviktsläge övergår i två vid ökande last kallas för bifurkation.

I AK1M undersöks egenskaperna hos den raka strävan med en matematisk modell som visar att knäckkraften existerar och att strävans utböjning är obestämd då tryckkraften är lika med knäckkraften. Sambandet illustreras i Fig 1. Heldragna linjer anger stabila jämviktslägen och den streckade anger instabila.



När  $P \geq P_k$  ( $P_k =$  knäcklasten) ger en noggrannare analys - där hänsyn tas till stora deformationer - följande samband mellan tryckkraft och mittutböjningen hos en sträva belastad enligt Eulers knäckningsfall nr 2 (jfr formelsamlingen tabell 17.3) enligt följande:

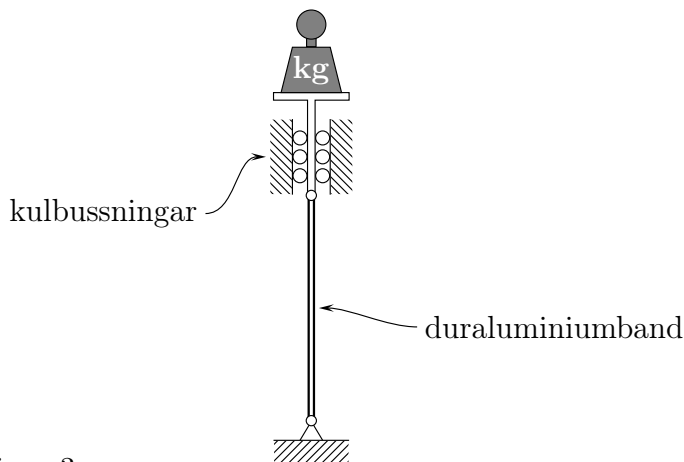
$$\frac{\delta}{l} = \frac{4}{\pi} \sqrt{\sqrt{\frac{P}{P_k}} - 1}$$

Jämför ekvation 17.9 i formelsamlingen där  $l$  ersatts av  $l/2$  för att svara mot en Euler 2-belastning.

Uttrycket gäller för en perfekt rak sträva. Verklighetens strävor är inte alltid perfekt raka och kraften behöver heller inte alltid verka fullständigt centrerad. Båda dessa faktorer bidrar till att en experimentell bestämning av  $\delta$  avviker från det teoretiska sambandet som ges av formeln ovan. I Fig.

2 ovan visas principiellt de två sambanden. Tjocka linjer anger den perfekt raka strävan och tunna linjer den verkliga strävan. Vidare anger heldragna linjer stabila jämviktslägen och streckade anger instabila.

En sträva av duraluminium, SIS 4338-06 (materialdata finns i formelsamlingen, sid. 376), är inspänd enligt Euler 2. Tryckkraften erhålls från vikter som lastas på lastplattan, se Fig. 3. Mittutböjningen bestäms genom syftning mot en spegel och avläsning mot en linjal. Avläsningsnoggrannheten är ca en halv mm med denna anordning. Öka successivt tryckkraften och gör avläsningen av mittutböjningen. För låga tryckkrafter existerar bara en enda jämviktsform. Vid tillräckligt hög tryckkraft finns det två stabila och en instabil jämviktsform. Pröva att föra över strävans mittpunkt åt andra sidan för att se om den stannar i något stabilt läge. När det finns två stabila lägen, så finns det också ett instabilt däremellan. Detta instabila läge kan man bestämma ganska väl genom att styra strävans mittpunkt (håll den försiktigt mellan två fingrar). Labhandledaren instruerar hur det går till.



Figur 3

### Uppgift

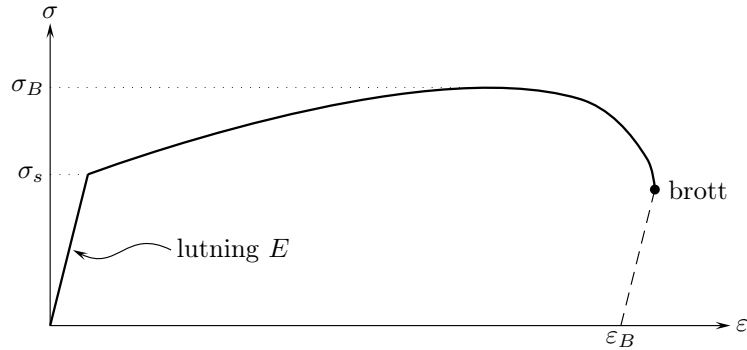
Vid laborationen skall sambandet mellan  $\delta/l$  och  $P$  bestämmas. Kontrollera att strävan är centrerad i infästningarna innan mätningen påbörjas. Plotta sambandet mellan  $P$  och de experimentella värdena på  $\delta/l$ . Tänk på att för större  $P$  finns tre värden på  $\delta/l$ .

Uppskatta knäckkraften med hjälp av de experimentella värdena och Fig. 2.

Mät strävans dimensioner och beräkna knäckkraften ur Eulers knäckningsfall 2. Observera att resultatet påverkas kraftigt av strävans tjocklek. Använd gärna mikrometerskruv för denna mätning och beräkna medelvärdet av flera mätningar i olika punkter. Plotta sambandet mellan  $P$  och  $\delta/l$  enligt ekvationen på föregående sida - där  $P_k$  anger den beräknade knäcklasten - i samma

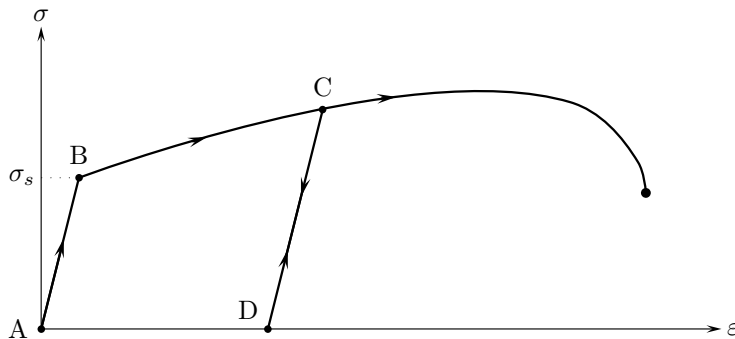
diagram som det experimentella sambandet. Jämför experimentella data och teori.

## Dragprovning Bakgrund



Figur 1 - Arbetskurva med angivelse av  $E$  = elasticitetsmodul,  $\sigma_s$  = sträckgräns,  $\sigma_B$  = brottgräns och  $\varepsilon_B$  = brotttöjning.

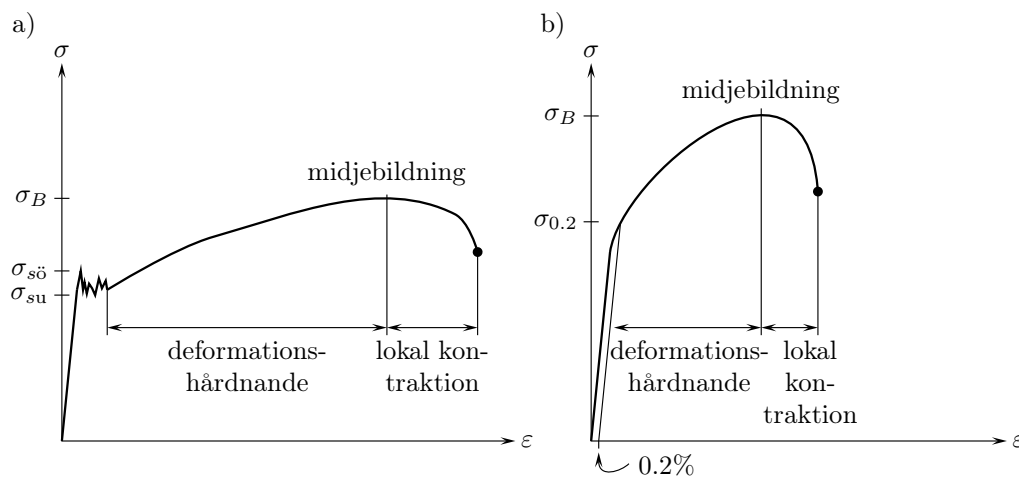
Hållfasthetsberäkningar kräver tillgång till vissa fundamentala data för det aktuella materialet och de mest grundläggande data fås från dragprovet. Som visas i figur 1 beter stål sig lineärt till sträckgränsen  $\sigma_s$  och för spänningar under sträckgränsen gäller lineär elasticitet dvs sambandet mellan spänning och töjning ges av Hookes lag  $\sigma = E\varepsilon$ , där  $E$  = elasticitetsmodulen. Den maximala spänningen — brottspänningen  $\sigma_B$  — och den tillhörande brotttöjningen  $\varepsilon_B$  visas också i figuren. Om vi belastar utöver sträckgränsen  $\sigma_s$  kommer vi in i det plastiska området. I figur 2 visas belastning längs ABC och avlastning längs CD, där lutningen längs CD är lika med lutningen längs AB, dvs vi har elastisk avlastning längs CD. Vid D ser vi att spänningen är noll medan töjningen är  $\varepsilon_D \neq 0$ ; vi har alltså en kvarstående — dvs en plastisk töjning — vid punkt D.



Figur 2 - Beteende vid pålastning och avlastning.

Vid tillräcklig stor belastning kommer provkroppen att gå sönder efter att stora plastiska deformationer har ägt rum. Det slutliga brottet sker i form av en midjebildning av provkroppen och vid denna midja blir spännings- och töjningstillståndet komplext och av en helt annan karaktär än det enkla enaxliga spänningstillstånd som råder i början av arbetskurvan.

I figur 3a) visas en typisk arbetskurva för mjuk stål (konstruktionsstål) där vi observerar en platå när sträckgränsen nås. Denna platå visar sig vid en övre sträckgräns  $\sigma_{s\ddot{o}}$  och en nedre sträckgräns  $\sigma_{su}$ . I figur 3b) visas en typisk arbetskurva för legerat stål och det ses att en tydligt markerad sträckgräns saknas. Här utnyttjas istället  $\sigma_{0.2}$ , dvs den spänning som ger en kvarstående plastisk töjning på 0.2%, och som kan identifieras i figur 3b).

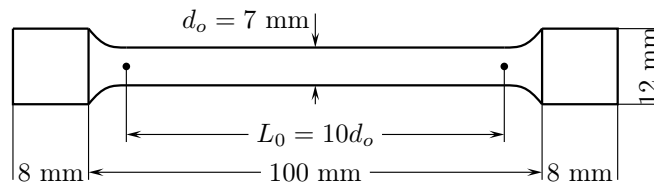


Figur 3 - a) Arbetskurva för mjuk stål; b) arbetskurva för legerat stål.

Laborationens syfte är att illustrera några av dessa fenomen som har diskuterats ovan. Dessutom kommer du själv att etablera materialdata som du kan jämföra med motsvarande data i formelsamlingen.

### Laborationsbeskrivning

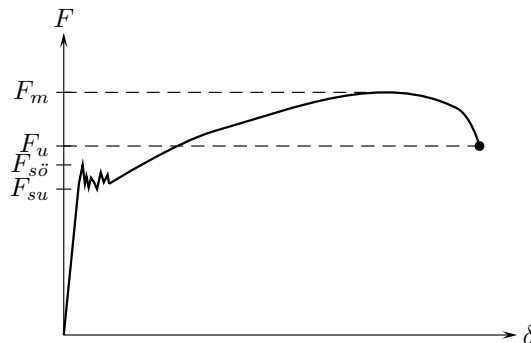
Mest grundläggande av de hållfasthetsdata som anges för ett material är, förutom elasticitetmodulen  $E$  och Poissons tal  $\nu$ , de spänningar som vid enaxligt spänningstillstånd orsakar flytning respektive brott. Enaxligt spänningstillstånd kan med god noggrannhet realiseras i mittpartiet av en stav utsatt för axiella dragkrafter pålagda i ändarna, dvs med dragprov. Dragprovet ger som resultat en kurva som visar sambandet mellan kraft och deformation. Det sätt på vilket staven är utformad spelar en viss roll liksom även det sätt på vilket provet utförs. Provförfarandet är därför standardiserat enligt standarden SS EN 10002-1. Denna standard följs emellertid ej helt vid laborationen.



Figur 4 - Den aktuella provstaven.

Provstavens dimensioner visas i figur 4 där  $L_o = 10 \cdot d_o$  är mätlängden. Om elasticitetsmodulen  $E$  skall mätas monteras en extensiometer sådan att längdändringen av mätlängden observeras. I vårt fall är vi enbart intresserade av olika spänningsvärden och vi kan därför göra en förenklad uppställning där vi direkt mäter längdändringen mellan ändarna av provstaven, som hålls fast av dragprovmaskinens käftar. Den därvid uppmätta längdändringen inkluderar därför ändarna av provstaven samt glidning mellan maskinens käftar och ändarna och kan därför inte utnyttjas till att bestämma de små töjningar som sker vid elastisk deformation. Varken elasticitetsmodulen  $E$  eller  $R_{p0.2}$  kan därför bestämmas med rimlig noggrannhet, men när det gäller de stora töjningar som sker när plastisk deformation inträffar är metoden tillräckligt noggrann.

Proven genomförs på provstavar av material 1312 (mjukt stål) och 1650 (normaliserat stål). Motsvarande arbetskurvor visas i princip i figur 2 och figur 3. Vid laborationen används en INSTRON provmaskin med en maximal dragkraft på 100 kN. Provstaven utsätts för en axiell dragkraft så att längdändringen (mellan käftarna) sker med en viss, konstant hastighet (i vårt fall 5mm/min), till dess att brott inträffar. Utskriften sker till en dator som visar kraften som funktion av tiden. Eftersom vi känner deformationshastigheten, nämligen 5mm/min, skulle vi kunna räkna tiden om till deformation, men det behöver vi inte göra här. Vi noterar bara att tiden kan ses som ett uttryck för deformationen.



Figur 5 - Resultat av dragprov för 1312 stål.

Som resultat av dragprovet får vi för 1312 (mjuk stål) arbetskurvan som visas i figur 5, där  $F_{su}$  = nedre sträckgränslast,  $F_{sö}$  = övre sträckgränslast,  $F_m$ =maximallast och  $F_u$ =last vid brott.

### Arbetsgång

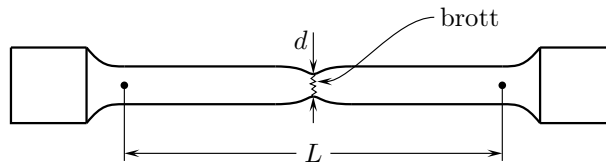
Först utförs provningen på 1312 stål och sedan på 1650 stål.

Före dragprovet. Se figur 4.

- Mät stavens diameter  $d_o$  med skjutmått
- Gör två körnslag med avståndet  $L_o = 10 \cdot d_o$  på stavens jämntjocka del
- Kontrollmät sedan avståndet  $L_o$

Under dragprovet observeras hur midjebildningen av provkroppen äger rum.

Efter dragprovet



Figur 6 - Provstaven efter provet. Slutlig mätlängd  $L$ , brottområdets diameter  $d$ . Tag loss provstavsbitarna. Känn på de båda brottytorna och observera den ökade temperaturen samt hur brottytorna ser ut (färg?). Med hänvisning till figur 6

- Mät brottområdets diameter  $d$  med skjutmått
- Passa ihop delarna och mät avståndet  $L$  mellan körnslagen

### Beräkningar

Material		1312	1650
Ursprunglig diameter	$d_o$		
Ursprunglig area	$S_o = \pi d_o^2/4$		
Ursprunglig mätlängd	$L_o$		
Övre sträckgränslast	$F_{s\ddot{o}}$		-
Nedre sträckgränslast	$F_{su}$		-
Maximal last	$F_m$		
Last vid brott	$F_u$		
Diameter vid brott	$d$		
Brottarea	$S = \pi d^2/4$		
Slutlig mätlängd	$L$		
Övre sträckgräns	$\sigma_{s\ddot{o}} = F_{s\ddot{o}}/S_o$		-
Nedre sträckgräns	$\sigma_{su} = F_{su}/S_o$		-
Brottgräns	$\sigma_B = F_m/S_o$		
Brottöjning	$\varepsilon_B = (L - L_o)/L_o = (A_{10})$		
Kontraktion	$\psi = (S_o - S)/S_o = (Z)$		

När du har fyllt i schemat och jämfört med motsvarande data i formelsamlingen (notera att  $\sigma_{s\ddot{o}} \approx \sigma_{su} \approx \sigma_{0.2} = R_{p0.2}$  för 1312) är laborationen färdig.