

Examensarbete nr: 155/2016

Mekaniska egenskaper hos extruderade nanokompositer innehållande grafitnanopartiklar

Examensarbete för maskiningenjörsprogrammet

EMIL ALISKANOVIC

LUCY AKSÖZ

Instutionen för material- och tillverkningsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige, 2016

Mekaniska egenskaper hos extruderade nanokompositer innehållande grafitnanopartiklar.

Examensarbete för maskiningenjörsprogrammet.

EMIL ALISKANOVIC

LUCY AKSÖZ

Examensarbete nr: 155/2016

Institutionen för Material- och tillverkningsteknik

Polymera material och kompositer

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sweden, 2016

Examinator: Professor Mikael Rigdahl

Omslag:

SEM bild av GNP-flak i LDPE + GNP komposit tagen av Emil Aliskanovic och Lucy Aksöz, 28 mars 2016.

FÖRORD

Denna rapport är ett resultat av ett examensarbete som utförts på heltid och omfattar 10 veckors arbete (15 hp). Arbetet har utförts under vårterminen under den fjärde perioden 2016 på institutionen för Material- och tillverkningsteknik vid Chalmers Tekniska Högskola.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare och examiner Mikael Rigdahl samt vår bihandledare Govindan Induchoodan. Detta främst för att vår bihandledare hjälpt oss med de experimentella momenten samt varit tillgänglig under examensarbetets gång.

Ett extra stort tack till vår handledare och examiner Mikael som hjälpt oss kartlägga arbetet och dess genomförande samt varit närvarande både fysiskt och över mail/telefon.

Ett tack till övrig personal på instruktionen för deras engagemang och hjälpande hand när vi behövt det som mest.

SAMMANFATTNING

Grafen är ett material med potentiellt intressanta mekaniska, elektriska och termiska egenskaper. Dessa egenskaper hos grafen medför också att det är intressant att kombinera grafen med andra material, t ex polymerer, dvs att tillverka ett kompositmaterial. Ett problem i sammanhanget är att större mängder grafen inte är helt enkelt att få tillgång till, speciellt om man strävar efter att tillverka kompositmaterial i större skala. I ett inledande skede kan det istället vara intressant och värdefullt att arbeta med nanopartiklar baserade på grafitbaserade nanopartiklar (GNP, graphite nanoplatelets). Någon omfattande karakterisering av kompositens mekaniska egenskaper har dock inte genomförts vid institutionen för Material- och tillverkningsteknik och detta avses därför undersökas inom ramen för det här examensarbetet. Arbetet utfördes vid Chalmers, Johanneberg, Institution för Material- och tillverkningsteknik, metall- och polymerlaboratoriet samt reologilaboratoriet. Kompositmaterialen tillverkades genom extrudering som utfördes vid olika processbetingelser.

Ett av de viktigare resultaten från arbetet är att dispergeringen (utblandningen) av GNP-partiklarna påverkades tydligt av skjuvhastigheten. Man observerade även att partikelkoncentrationen hade en direkt inverkan på brottgränsen hos kompositen och att en koncentration av 1,5 vikts-% (wt-%) GNP i kompositen gav det bästa resultatet även för de andra mekaniska egenskaperna. Ytterligare en viktig observation var att ju högre koncentration av GNP var i plasten (i det här fallet lågdensitetspolyeten, LDPE), desto mindre jämnt fördelad blev GNP i plastmatrisen.

De avgränsningar som gjorts är att man har valt att enbart använda M5 typen av GNP, dvs med en viss medelstorlek, och enbart använda koncentrationerna 1,5 och 7,5 wt-% i polymeren. De mekaniska egenskaper som valdes för mätningarna var: sträckgräns, elasticitetsmodulen (E-modul), brottöjning, brottspänning samt $R_p 0,1$.

Nyckelord: LDPE, grafen, LDPE + GNP, komposit, sträckgräns, elasticitetsmodulen (E-modul), brottöjning, brottspänning, $R_p 0,1$

ABSTRACT

Graphene is a material with potentially interesting mechanical, electrical and thermal properties. These properties of graphene also implies that it is interesting to combine graphene with other materials, such as polymers, for example for producing a composite material. One problem is that larger amounts graphene are not easily available for commercial use, especially if the aim is to produce composite materials on a larger scale. In an initial phase, it may instead be interesting and valuable to work with nanoparticles based on graphite (GNP, graphite nanoplatelets). An extensive characterization of the mechanical properties of such composites has not been performed at the Department of Materials and Manufacturing Technology, thus this will be the subject of this work. The work was performed at Chalmers, Johanneberg, Department of Materials and Manufacturing using its metal, polymer and rheology laboratories. The composites used were manufactured by extrusion performed at different processing conditions.

One of the more important results obtained from this work was the observation that the dispersion of GNP in the polymer (in this case low density polyethylene, LDPE) was clearly influenced by the shear rate (during the extrusion). It was also observed that the filler concentration had a significant influence on the ultimate strength of the composite and that a concentration of 1.5 weight-% (wt-%) GNP in the composite gave the best results, also in the case of the other mechanical properties. Finally, the higher the concentration of GNP in LDPE was, the less homogeneously distributed became the GNP in the plastic.

The boundaries set for the thesis were to use only the M5 type of GNP (i. e. to use particles of a given average size) and to limit the GNP-concentrations to 1.5 and 7.5 wt-%. The mechanical parameters that were chosen to characterize the composites were yield strength, Young's modulus, elongation at failure, tensile strength and $R_p 0,1$.

Innehållsförteckning

FÖRORD.....	3
SAMMANFATTNING	4
ABSTRACT	5
1 INLEDNING.....	1
1.1 Syfte	1
1.2 Bakgrund	1
1.3 Precisering av frågeställningen	1
1.4 Avgränsningar	2
2 TEORETISK BAKGRUND	2
2.1 Material	2
2.1.1 GNP (Grafitnanopartiklar)	2
2.1.2 LDPE (lågdensitetspolyeten).....	3
2.3 Bearbetningsfaktorer som kan inverka på struktur och egenskaper.....	4
2.3.1 Inre spänningar.....	4
2.3.2 Orientering av polymerkedjorna	4
2.3.3 Orientering av LDPE + GNP	4
2.3.4 Hypotes för hur GNP påverkar LDPE.....	5
2.3.5 Beskrivning av de mekaniska egenskaperna.....	5
2.4 Processer.....	5
2.4.1 Karakterisering av de mekaniska egenskaperna.....	5
2.4.2 Extruderingsprocessen	6
2.4.3 Enkelskruvsextrudern.....	8
2.4.4 Flöde genom spalt	8
2.4.5 Dragprovet.....	8
3 EXPERIMENTELLA METODER	10
3.1 Extruderingsmomentet	10
3.1.1 Förberedelse	10
3.1.2 Pelletisering.....	10
3.1.3 Framställning av slutprodukt.....	10
3.1.4 Dimensionering av prover.....	12
3.1.5 Dragprovningen.....	13
3.1.6 Konvertering av data i MATLAB	14

4 RESULTAT	15
4.1 Resultat GNP 7,5 wt- %	15
4.2 Resultat GNP 1,5 wt-%	18
4.3 Resultat LDPE.....	19
5 DISKUSSION	21
5.1 Resultat.....	21
5.1.1 LDPE.....	21
5.1.2 LDPE + GNP 7,5 wt-%	21
5.1.3 LDPE + GNP 1,5 wt-%	22
5.2 Metoden.....	23
5.2.1 Felkällor	24
6 SLUTSATSER	25
7 REFERENSER.....	26
8 APPENDIX	28
Tabeller för LDPE + GNPM5 7,5 wt-%	28
Tabeller för GNP + LDPE M5 1,5 wt-%	37
Tabeller för LDPE.....	44
Grafer för GNP+LDPE M5 7,5 wt-%	53
Grafer för GNP+LDPE M5 1,5 wt-%	59
Grafer LDPE	64
Grafer och <i>figurer</i>	70
Tabller för skjuvhastighet samt sträckningsförhållande.....	73

1 INLEDNING

1.1 Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka hur en tillsats av GNP ("graphite nanoplatelets") påverkar de mekaniska egenskaperna hos lågdensitetspolyeten (LDPE). Detta kompositmaterial tillverkas genom extrudering av en smälta och ett annat syfte är då att undersöka hur kompositens mekaniska egenskaper påverkas av bearbetningsbetingelserna vid extruderingen. Den centrala mätmetoden, utöver extruderingsbetingelserna, är då dragprovning av de framställda provkropparna.

1.2 Bakgrund

Grafen är ett material med potentiellt intressanta mekaniska, elektriska och termiska egenskaper. Exempelvis har styvhetsnivåer av storleksordningen 1 TPa nämnts i litteraturen. I viss mening kan grafen betraktas som ett nanomaterial eftersom tjockleken hos ett isolerat, idealt grafenskikt är av storleksordningen 0,3 nm.

Dessa egenskaper hos grafen pekar också mot att det är intressant att kombinera grafen med andra material, till exempel polymerer, detta innebär alltså att man tillverkar ett kompositmaterial (en nanokomposit). Ett problem i sammanhanget är att större mängder grafen inte är helt enkelt att få tillgång till, speciellt om man strävar efter att tillverka kompositmaterial i större skala. I ett inledande skede kan det istället vara intressant och värdefullt att arbeta med nanopartiklar baserade på grafit (GNP, *eng*: graphite nanoplatelets). Dessa är i princip uppbyggda av ett fåtal lager av grafen och finns tillgängliga, åtminstone i mängder som är intressanta för pilotskaleförsök. Partiklarna är flakformade och kan fås i olika kvaliteter (med olika diametrar).

I en tidigare studie har sådana nanopartiklar kombinerats med polyeten i avsikt att förbättra polymerens barriäregenskaper, mer specifikt för att minska permeabiliteten gentemot vissa gaser. En sådan förbättring kunde också konstateras. Dessa nanokompositer framställdes genom extrudering av polymersmälta innehållande olika andelar GNP av olika storlekar. När det gäller barriäregenskaperna kan man anta att orienteringen av GNP spelar en tydlig roll. Materialprover som orienterats på olika sätt har därför tagits fram. Någon karakterisering av provernas mekaniska egenskaper har dock inte genomförts och det är det som är avsikten med detta examensarbetete.

1.3 Precisering av frågeställningen

Eftersom GNP partiklarna är flakformiga kan man vänta sig att partiklarnas orientering kommer att påverka (bestämma) de mekaniska egenskaperna hos kompositen. Graden av orientering hos kompositmaterialet kommer att varieras inom ramen för detta arbete, dels genom att ändra flödes hastigheten genom extrudern (skjuvhastigheten) och dels genom att dra smältan efter extruderns munstycke (sträckningsförhållandet). De mekaniska egenskaperna längs och tvärs flödesriktningen mäts. Det kan även vara aktuellt att variera GNP koncentrationen (vilket även genomfördes).

1.4 Avgränsningar

Avgränsningarna som gjorts för detta arbete är:

1. Man har valt att enbart använda M5 GNP, dvs partiklar med en medeldiameter, och med koncentrationerna 1,5 och 7,5 vikts-% (wt-%) i plastmatrisen (LDPE).
2. Man har valt att enbart utvärdera följande mekaniska egenskaper: sträckgräns, elasticitetsmodulen (E-modul), brottöjning, brottspänning samt R_p 0,1.

2 TEORETISK BAKGRUND

I detta kapitel presenteras de material som används i denna studie samt de maskiner och mätinstrument som utnyttjas.

2.1 Material

2.1.1 GNP (Grafitnanopartiklar)

Grafen upptäcktes 2004 genom att forskare i England, med hjälp av tejp, succesivt skalade av grafitskikt från ett grafitprov och till slut kunde de konstatera att de bara hade ett lager av atomskikt kvar – Grafen. De mekaniska egenskaperna hos detta material är synnerligen intressanta. Man har i tidigare litteratur nämnt styvhetsnivåer av storleksordningen 1,6 TPa [1] och brottspänningar upp till 130 GPa. Grafen kan betraktas som ett nanomaterial då tjockleken är av storleksordningen 0,3 nm [2], [12].

Dock är, som tidigare nämnts, tillgången på enskilda grafenskikt starkt begränsad idag vilket gör det svårt att tillverka t ex kompositmaterial i större mängder. Däremot kan man arbeta med grafitnanopartiklar, (GNP) som är uppbyggda av flera lager av grafenskikt. I princip består grafen av ett enda kolbaserat atomskikt (0,3 nm tjockt) med tre hexagonala sp^2 kovalenta bindningar mellan kolatomerna (i planet), vilket ger grafen dess delvis unika mekaniska, elektriska och termiska egenskaper [3].

Avsikten med att tillsätta GNP till en polymer är att uppnå en förbättring av en eller flera fysikaliska egenskaper, i det här fallet de mekaniska egenskaperna. För att uppnå bästa möjliga egenskaper hos kompositen är det viktigt att GNP partiklarna är homogent fördelade i matris materialet och helst vill man att dessa partiklar exfolieras under extruderingen, dvs att skjuvkrafterna separerar de enskilda grafenskikten från varandra [3]. Detta är dock i praktiken svårt att åstadkomma i någon högre grad. Istället noterar man att GNP partiklarna bildar aggregat i polymermatrisen, se t ex [1], vilket är ett problem. När det gäller aggregeringen anses van der Waals växelverkan mellan partiklarna ha en stor betydelse [1].

Här bör noteras att det finns få studier av hur GNP påverkar människors hälsa, t ex för att säkert fastslå om det är ”giftigt” eller ej. Därmed bör man använda lämplig skyddsutrustning vid hantering av materialet, vilket också gjordes under arbetets gång.

2.1.2 LDPE (lågdensitetspolyeten)

Polymeren lågdensitetspolyeten (LDPE) var den första typen av polyeten som tillverkades. Det var i slutet av 1939 som kemisten Michael Perrin lyckades producera större mängder av högtryckspolyeten (HPPE) som idag är mer känt som lågdensitetspolyeten [4]. LDPE är en så kallad bulkplast vilket innebär att den är bland de vanligaste plasterna på marknaden.

Polymerer är organiska ämnen med hög molekylvikt som i de flesta fall blivit syntetiserade från föreningar med låg molekylvikt. Detta görs via en polymerisationsprocess, där i princip två olika typer av reaktioner kan användas; additions- eller kondensationspolymerisation. Idag produceras både LDPE och HDPE (högdensitetspolyeten); bägge materialen via additionspolymerisation. LDPE har lägre densitet än HDPE [5].

LDPE är en delkristallin termoplast (med en grenad polymerkedja), som är mycket töjbar, vattentålig, mycket kemikalieresistent och framförallt billig (13,2-14,8 kr/kg, 05/2016) [6]. Detta kan i det här fallet uppfattas som en fördel eftersom GNP i sig är relativt dyrt idag. Nedan sammanfattas typiska mekaniska egenskaper hos LDPE [6]:

- Brottgräns/brottspänning: 13 -26 MPa
- Elasticitetsmodul: 0,17-0,28 GPa
- Sträckgräns: 9-15 MPa
- Brottöjning: 100-650 %
- Densitet: 917 - 932 kg/m³
- Smältpunkt: 98-115 °C.
- Glasomvandlingstemperatur: (-)125 - (-)90 °C

Det som kännetecknar plaster är att de mekaniska egenskaperna kan delas in i tre typer eller grupper till skillnad från metallerna som har två. Dessa typer av beteenden är elastiskt, viskoelastiskt samt plastiskt förlopp.

Till skillnad från det elastiska och plastiska beteendet är den viskoelastiska deformationen tidsberoende. Detta kan man inte bortse från då man genomför en dragprovning av materialet och i praktiken innebär det att draghastigheten vid provningen måste hållas konstant. Även då man dimensionerar något element i en belastad konstruktion måste man ta hänsyn till att plasternas mekaniska egenskaper är tidsberoende. Andra viktiga faktorer som kan påverka de mekaniska egenskaperna är temperaturen, fukthalten och, givetvis, materialets struktur [7].

2.3 Bearbetningsfaktorer som kan inverka på struktur och egenskaper

2.3.1 Inre spänningar

De inre spänningarna svarar i första hand mot små förskjutningar av atomernas läge i förhållande till deras tillstånd som spänningsfritt. De uppkommer främst till följd av att extrudatet kyls snabbt då det lämnar extrudermunstycket, dvs det är frågan om termiska restspänningar. Då LDPE är tydligt viskoelastiskt kommer dessa inre spänningar att avta med tiden. Detta fenomen kallas för relaxation [7].

Det finns egentligen flera orsaker till varför inre spänningar uppstår, nedan listas några av dem:

1. Orienteringsvariationer i materialet
2. Kristallationsvariationer i materialet
3. Temperaturskillnader under kylningsprocessen (termiska restspänningar)

De inre spänningarna kommer alltid att uppstå då man kyler snabbt, vilket man vill av ekonomiska skäl (korta cykeltider etc). Dock kan man anlöpa den tillverkade produkten för att något minska dessa eftersom relaxationen påskyndas med ökad temperatur [7].

2.3.2 Orientering av polymerkedjorna

I smält form bildar polymerkedjorna i LDPE ett slags hoptrasslade nätverk, i princip helt oorganiserade. Vid extruderingen kommer de flödesrelaterade skjuvkrafterna att räta ut dessa hoptrasslade kedjor i flödesriktningen. Detta betyder över lag att polymerkedjorna orienteras i flödesriktningen då vi extruderar LDPE. För att dessa polymerkedjor skall behålla denna orientering krävs en snabb nedkylning.

Orienteringen av polymerkedjorna har stor betydelse eftersom den tydligt inverkar på materialets mekaniska egenskaper. Ett exempel är att hållfastheten är mycket högre i orienteringsriktningen (här extruderingsriktningen) än tvärs densamma [7].

2.3.3 Orientering av LDPE + GNP

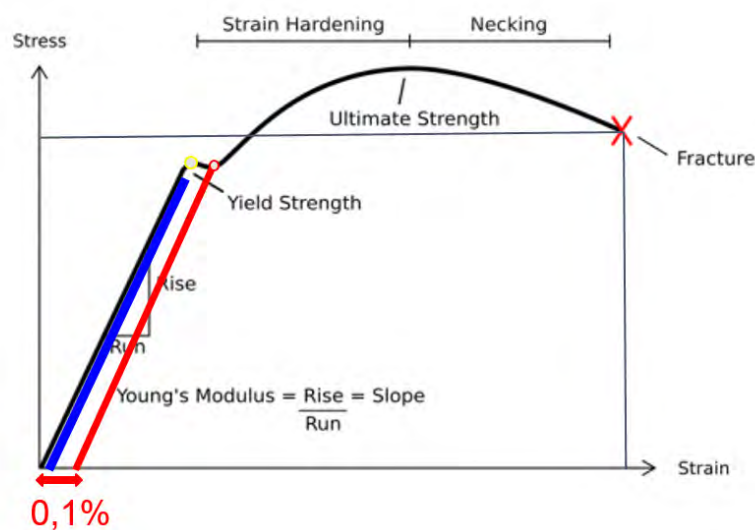
Även för LDPE + GNP kompositen fås i princip samma orienteringsbild som för ren LDPE. Man har noterat att även GNP-flaken till viss del orienteras i flödesriktningen tillsammans med LDPE vid extruderingen. Exakt hur GNP-flaken lägger sig i flödesriktningen kan dock vara svårt att säga utan att genomföra en mikroskopistudie.

Antagandet att GNP-flaken orienterar sig i flödesriktningen är orsaken till varför vi här mäter de mekaniska egenskaperna i tre olika riktningar. Det är rimligt att dessa egenskaper beror av mätriktningen i förhållande till flödesriktningen. Bör materialet vara starkare i flödesriktningen eftersom polymerkedjorna och partikelflaken ligger orienterade i denna riktning? Finns det någon skillnad i mekaniska egenskaper mellan de två andra riktningarna?

2.3.4 Hypotes för hur GNP påverkar LDPE

Eftersom GNP (grafitnanopartiklar) består av flera grafenskikt är det rimligt att dessa kommer att vara relativt styva och hårda. Man väntar sig då att en tillsats av GNP till LDPE kommer att leda till ett styvare (och sprödare) material. Detta skall dock fastställas genom de mätningar vi utför. Det är också rimligt att tro att koncentrationen av GNP i plastmatrisen kommer att bestämma kompositens mekaniska egenskaper.

2.3.5 Beskrivning av de mekaniska egenskaperna



Figur 1. Visuell beskrivning av de mekaniska egenskaperna

Figur 1 illustrerar en visuell beskrivning av de mekaniska egenskaperna. Den blå linjen visar lutningen inom det elastiska området, vilket motsvarar elasticitetsmodulen (E -modulen). Den röda linjen har samma lutning som E -modulen med en förskjutning på töjningsaxeln med 0,1 %. Där denna linje skär dragprovskurvan kallas för $R_{p0,1}$ (spänningsvärde). Den gula punkten illustrerar den punkt där det elastiska området övergår till ett helt plastiskt område, och kallas för sträckgränsen som läses av på y-axeln. Det röda krysset visar den punkt där provet går av, här kan man läsa av brottgränsen på y-axeln och brotttöjningen på x-axeln.

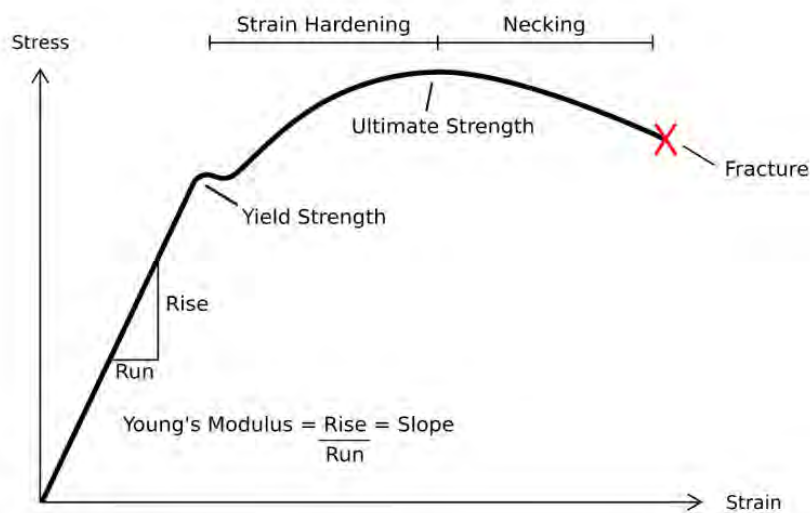
2.4 Processer

2.4.1 Karakterisering av de mekaniska egenskaperna

I det följande ges en förenklad beskrivning av deformationsförloppet vid dragprovningen. Återigen måste understrykas att beskrivningen är förenklad eftersom alla mekaniska egenskaper är tidsberoende vilket innebär att dragprovskurvans form beror av deformationshastigheten. Detta kommenteras dock inte vidare i den följande beskrivningen.

En dragprovkurva ger sambandet mellan spänningen som funktion av den påtvingade deformationen (töjningen). Provkropparna utsätts här normalt för en enaxlig belastning. Om vi bortser från tidsberoendet kan kurvan, se *figur 2*, delas in i två olika zoner. Den elastiska zonen återfinns vid låga töjningar och är det deformationsområde där materialet utsätts för en belastning som inte ger en kvarstående deformation. Detta betyder alltså att materialet återgår till sitt ursprungliga tillstånd (sin ursprungslängd).

Den elastiska zonen följs av den plastiska. Vid dessa större deformationer sker ofta en strukturförändring i materialet som ger en kvarstående deformation av materialet efter avlastning. För töjbara plaster som LDPE är den elastiska zonen ca 1 % i töjning. Resterande 99 % av spänning-töjningskurvan, se *figur 2*, utgörs av den plastiska zonen [8].



*Figur 2. Spännings-töjningsdiagram (principiellt utseende), [3].
(Bildlicens; öppen för redigering även för kommersiellt bruk)*

2.4.2 Extruderingsprocessen

Vid extruderingen smälts polymeren och den önskade formen hos profilen ges av geometrin hos munstycket. I vårt fall användes en Brabender OHG DUISBURG typ: 837415 kompaktextruder, med en blandningsskruv (barriärskruv) alternativt en enkelskruv.

Man tillför materialet, som bör vara i granulatform/pulverform, genom en tratt in i extrudern. Då skruven roterar matas materialet automatiskt framåt genom cylindern som är uppvärmd. Materialet smälts vid ca 170 °C via maskinens värmesystem och friktion. Här plasticeras materialet och friktionskrafter uppstår vilket för materialet framåt genom extrudern med hjälp av skruven. För att materialet (i vårt fall LDPE + GNP eller enbart LDPE) skall transporteras framåt under extruderingsprocessen måste materialets friktion vara låg vid skruvytan men hög vid dess inre ytor [4]. Då det tar tid för materialet att smälta krävs relativt långa skruvar.

De betingelser som normalt styr processen är cylindertemperaturen och skruvhastigheten och den senare ställs in manuellt via en dator. Till denna dator kan man även ansluta ett rullband som styrs med samma dator och som placeras precis efter munstycket, se *figur 3*.

Då smältan närmar sig munstycket byggs ett tryck upp som pressar smältan genom munstycket. Detta tryckflöde beror dels på materialets viskositet och tryck, men även av skruvkanalens dimensioner. Överlag varierar smälttrycket inne i kanalen från ca 14 till 20 MPa (2000-3000 psi) beroende på extrudertyp [4].

Extrudern samt rullbandet kan tillsammans styra sträckningsgraden hos extrudatet. I princip är sträckningsgraden given av (v_1/v_2) , dvs förhållandet mellan den hastighet som *materialet trycks ut ur extrudern* och den hastighet som *materialet dras ut ur extrudern* med hjälp av rullbandet. I princip kan man via sträckningen styra koncentrationen av GNP i proverna. Lågt sträckningsförhållande, mellan $v_1/v_2=1$ till $v_1/v_2=3$, ger högre koncentration av GNP i proverna. Mer om koncentrationen av GNP och flödet tas upp senare i denna rapport.



Figur 3. Extruder samt rullband.

2.4.3 Enkelskruvsextrudern

Enkelskruvsextrudern är den enklaste av de olika extrudertyperna. Skruven roterar med önskad hastighet och trycker materialet framåt genom skruvkanalen (som beskrivits ovan). Man vet sedan tidigare att skruvens hastighet påverkar såväl flödeshastigheten som tryckuppbyggnaden innan munstycket [7].

2.4.4 Flöde genom spalt

Beräkning av skjuvhastigheten vid extruderingen, $\dot{\gamma}$ görs med hjälp av uttrycket för denna för ett isotermt flöde genom en spalt:

$$\dot{\gamma} = \frac{6Q}{W * H^2}$$

Här är Q är volymflödet, H är höjden hos spalten och W är hos densamma. Volymflödet kan uttryckas som:

$$Q = \frac{W * H^3 * \Delta P}{8 * \mu * L}$$

där μ är viskositeten, ΔP tryckfallet över spalten och L dess längd.

Tryckfallet ΔP ges av:

$$\frac{12\mu L * Q}{W * H^3}$$

2.4.5 Dragprovet

Dragprovet utförs med hjälp av en dragprovsmaskin som lite förenklat består av två klämmor, som regleras med hjälp av ett hydrauliskt system, en stationär undre del samt en rörlig övre del som styrs av ett servohydrauliskt system, se *figur 4*. Man fäster sitt dragprov mellan dessa två klämmor och ställer in det lastområde som man vill att maskinen skall arbeta inom. Andra inställningar är greppens avstånd, som i de flesta fall är 25-35 mm beroende på dragprovets längd samt hastigheten man vill att maskinen skall dra med. Dragprovsmaskinen är i sin tur kopplad till en dator som samlar in mätvärdena. Värdena som ges av datorn är kraft [N], förlängning [mm] och tid [ms]. De värden som används i detta arbete är kraften och förlängningen (givet som en töjning). Tiden för dragprovet hålls konstant till 60 sekunder.



Figur 4. Exempel på dragprov.

3 EXPERIMENTELLA METODER

3.1 Extruderingsmomentet

3.1.1 Förberedelse

Förberedelserna inför extruderingsmomentet gick ut på att rengöra extrudern, förbereda materialet som skulle extruderas, samt ta fram instrumenten som användes vid själva extruderingsprocessen. Innan rengöringen av instrumenten vägdes granulat ("pellets") av en förtillverkad GNP + LDPE komposit vars koncentration var 18 wt- % GNP. Dessa spädades sedan ut med ren LDPE till koncentrationerna 1,5 och 7,5 wt- % GNP. En lämplig provmängd av denna blandning vägde ca 500 g.

En noggrann rengöring av instrumenten är viktigt då tidigare användning av extrudern kan lämna kvar rester av annat material och kan orsaka kontaminering. De olika delarna som rengjordes var den stationära extruderingscylindern, extruderskruven samt rullbandet med en cylindrisk vals av aluminium. Inför rengöringen värms extrudern med alla dess komponenter upp till 220 °C. Sedan använde man stålborstar för att borsta bort de grövsta föroreningarna på instrumenten och efter det använde man papper för en mer noggrann rengöring. Under rengöringen är det viktigt att använda skyddsglasögon, värmetåligen handskar, labbrock samt gasmask då kvarlämnat material på instrumenten kan orsaka brännskador om det kommer i kontakt med huden. Gasmaskerna användes som en försiktighetsåtgärd ifall det kvarlämnade materialet var GNP-innehållande material från tidigare experiment. Vid användning av valsmaskiner och rullband behövde man rengöra dessa instrument med etanol då etanol är bra på att lösa upp organiska material.

3.1.2 Pelletisering

Efter förberedelserna genomförde man själva extruderingen av den heterogena blandningen till tunna strängar med en diameter av 5 mm. Dessa strängar pelleterades sedan i en speciell maskin som gav små pellets. Dessa pellets kördes därefter igenom extrudern ytterligare en gång för att få en så jämn koncentration av 1,5- respektive 7,5 wt- % som möjligt. För detta användes en blandningsskruv som även kallas för en "Barrier screw" för att få så bra utblandning som möjligt.

3.1.3 Framställning av slutprodukt

Efter framtagningen av pellets materialet rengjordes alla instrument och därefter ställde vi in lämpliga temperaturer på extruderns olika zoner samt för munstycket. Sedan hällde man pelletsen med koncentrationerna 1,5 respektive 7,5 wt- % i extruderns trätt och extruderingen startade, se *figur 5* för råmaterialet.

Extruderingen genomfördes vid 10 olika skruvhastigheter samt 1-4 olika hastighetsinställningar på dragbandet (olika sträckningsförhållanden) för varje varvtal. Mer om detta under "Dimensionering av prover" nedan. Skjuvhastigheterna och sträckningsförhållandena erhöles från en tabell uträknad av en kollega som använde formlerna för flödet genom rektangulära springor, se tabell 101.

Slutprodukten var en homogen remsa, se *figur 6*, för varje serie prover. Man lät denna remsa kylas ner och märkte den med dess skjuvhastighet (skruvhastighet) och sträckningsförhållande.



Figur 5. Råmaterialet, LDPE + GNP



Figur 6. Slutprodukt

3.1.4 Dimensionering av prover

Dimensioneringen av proverna utfördes efter en ASTM standard [9]. I detta arbete dimensionerades proverna efter två olika mått. I ena fallet användes ett stansverktyg av typen “dogbone collar” enligt ISO standarden: ISO 37-2 där den effektiva längden är 33 mm och bredden är 6 mm. Den andra typen av stansverktyg som användes var ett rektangulärt mönster av typen EP 04/50x10mm, där den effektiva längden är 28 mm och bredden är 10 mm. “Dogbone” typen användes endast för den första gruppen av skjuvhastigheter och för en koncentration, 7,5 w/c%. Resten av proverna kom från material från det rektangulära stansverktyget.

Proverna kategoriserades efter olika skruvhastigheter, i detta fall efter olika varvtal på skruven men egentligen skall de uttryckas i s^{-1} . För dessa olika skruvhastigheter fanns också olika sträckningsförhållanden. De flesta av dessa sträckningsförhållanden bör vara nära 1. För de lägre skjuvhastigheterna, se tabell 1, är inte sträckningsförhållandet 1 utan lite högre. Dock bör man försöka hålla sträckningsförhållandet nära 1 så att materialet inte spricker. Här användes en konverteringstabell för att kunna bestämma vilket sträckningsförhållande man skall använda i förhållande till skjuvspänningen, se appendix.

Tabell 1 nedan är en sammanställning av de skruvhastigheter och sträckningsförhållanden som användes. Observera att för 7,5 wt- %-proverna användes skruvhastigheter upp till 1150 rpm, men för 1,5 wt- %-proverna var den maximala skruvhastigheten 120 rpm. Detta då skruvhastigheten blev alltför hög för dessa prover som inte innehåller så hög andel GNP. Tabelltexten finns alltid ovanför tabellen.

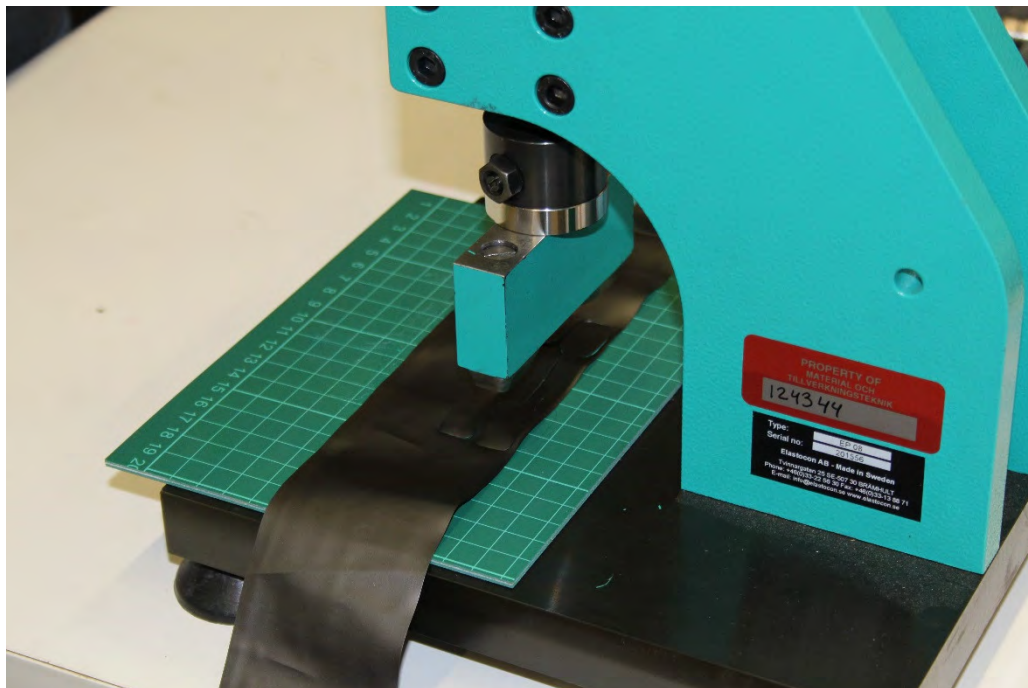
Tabell 1. Tabellen visar skruvhastighet (RPM, varv per minut) respektive sträckningsförhållanden för de framställda proverna.

RPM	15	30	45	60	70	90	115	120	130	1150
Sträckförhållande	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sträckförhållande	3	3	3							
Sträckförhållande	4									
Sträckförhållande	10									

Efter tillverkningen av remsorna stansades prover för dragprovningen ut ur dessa med ett stansverktyg, Elastocon EP 08, serie nr: 201556. Denna maskin har två olika stansar som kan användas för att ta ut prover. De första proverna från 7,5 wt- % serien stansades ut med en hundbenformat stans, ett så kallat “dogbone”, Elastocon EP 04/ISO 37-2, se figur 7 nedan. Denna stans har en effektiv längd (LE) av 33 mm samt en effektiv bredd av 6 mm. Tjockleken hos proverna varierade beroende på skruvhastigheten och sträckningsförhållandet för varje serie av prover.

Resterande prover stansades ut med ett helt rektangulärt verktyg. Detta hade en effektiv längd av 28 mm och effektiv bredd av 10 mm. Även här varierande tjockleken beroende på vilken provserie som användes, se tabell 2.

Varje serie prover stansades ut i tre riktningar; horisontellt, vertikalt samt 45 graders relativt flödesriktningen. För de provserier som inte var tillräckligt breda avstod man från de vertikala proverna och i vissa fall även från 45 graders proverna.



Figur 7. Stämpelmaskin med dragprovsremsa.

3.1.5 Dragprovningen

Efter att proverna har dimensionerats och sorterats så satte man in proverna i dragprovsmaskinen och startade programmet som användes. I dessa experiment valde man dragtid som en konstant parameter. För att hålla tiden konstant regleras hastigheten hos dragprovsmaskinen så att provet gick av efter ca 60 sekunder. Här fanns i vissa fall en avvikelse på ca plus/minus 10 sekunder.

När proverna sätts i dragprovsmaskinens grepp kan provet vika ihop sig vilket kan resultera i en så kallad “toe compensation” i dragprovskurvan. För att undvika detta ställer man in en förspänningskraft på 1 N i dragprovsmaskinen. Nedan ses en bild på hur det kan se ut när ett prov dragits sönder, se *figur 8*.



Figur 8. Dragprovsmaskinen med ett nyligen draget prov.

3.1.6 Konvertering av data i MATLAB

Dragprovsmaskinen var kopplad till en dator som använde programmet Brabender Measurements & Control systems for Windows version 4.2.7 (CAN) och som gav alla data från själva dragprovet. Dessa data var givna i en textfil där de tre första raderna bestod av text och resten bestod av numeriska mätdata separerade med kommatecken.

I MATLAB användes kommandot *csvread* som läser av en uppladdad fil genom kommandot *load*. I kommandot anger man när man vill att programmet skall börja ange numeriska värden till en matris. De första två kolonnerna i matrisen representerar kraft och förlängning. För att få dem till en spänning respektive töjning så behöver man bearbeta de två första kolonnerna genom att dividera med tvärsnittsarean för varje specifikt prov samt att dividera längdförändringen med den effektiva längden för att få teknisk töjning. Efter konverteringen avsatte man mätvärdena i ett spännings-töjningsdiagram och angav titel och axlar till grafen.

4 RESULTAT

Här presenteras de resultat man erhållit från dragprovet. Vi valde att utföra dragprovstesterna även med ofylld LDPE så att detta kan användas som referensmaterial.

4.1 Resultat GNP 7,5 wt-%

Man försökte ställa in en lämplig testhastighet så att dragprovstiden var 60 sekunder för att få en konstant tidsparameter. Nedan presenteras en tabell, tabell 2, över de olika draghastigheter som användes vid dem olika testerna. Den första kolonnen visar den aktuella skjuvhastigheten (beräknad enligt avsnitt 2.4.4) för varje prov. Den andra kolonnen visar rullbandets hastighet. Dessa två tillsammans ger som tidigare nämnts sträckningsförhållandet. Därpå följande tre kolonner ger vilken orientering proverna stämplats ut i; transversell för vertikal, longitud för horisontell och 45 grader. Den sista kolonnen anger tjockleken för varje serie av prover. En serie prover har alltså en specifik kombination av skruvhastighet och sträckningsförhållande. Inom varje serie finns det tre orienteringsriktningar. Som tidigare nämnts kunde vissa orienteringsriktningar ej stansas ut p.g.a. begränsade provremsor. Dessa prover anges som streckade celler i tabellen. Proverna med ett D framför tjockleken innebär att det var dessa prover som stansats ut med ”dogbone collar” stansen.

Tabell 2. LDPE + GNP7,5 w/c % M5. Tabellen visar bla med vilken hastighet [mm/min] som dragproverna drogs med. D efter tjockleken visar att dessa är stansade med hundbensverktyget.

LDPE + GNP 7,5 wt-% M5					
Skjuv- hastighet (s^{-1})	Sträcknings- förhållande	Draghastig- het (mm/min) Transversell	Draghastig- het (mm/min) 45 (grader)	Draghastig- het (mm/min) Longitud	Tjock- lek (mm)
128	1	13	-	22	0.260 D
128	3	7	-	22	0.080 D
128	4	-	-	25	0.075D
128	10	-	-	25	0.050 D
256	1	17	-	40	0.290
256	3	15	-	35	0.280
384	1	20	40	40	0.245
384	3	20	-	60	0.130
512	1	20	40	90	0.275
640	1	20	50	90	0,310

768	1	25	50	90	0.290
982	1	20	30	90	0.275
1025	1	30	70	90	0.280
1153	1	15	40	60	0.260
1281		-	-	50	0.230
1281	1	23	17	20	0.960

Då tabellen i huvudsak presenterar maskinens draghastighet kan tabellen tolkas på följande sätt: desto högre draghastighet, desto bättre hållfasthet eftersom det krävs högre draghastighet för att provet skall brista efter 60 sekunder. De prover som kräver höga draghastigheter är alltså de som har högst hållfasthet och klarar större påfrestningar.

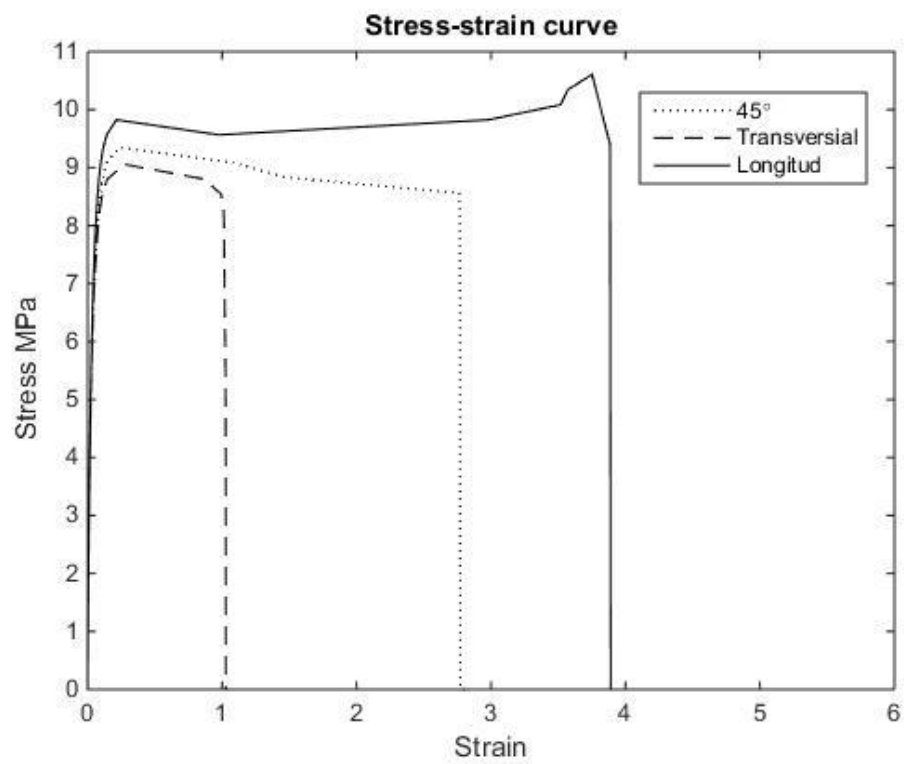
För LDPE + GNP 7,5 wt- % ser vi att det är proverna med skjuvhastigheter mellan 512s^{-1} och en longitud orientering, det vill säga längs med flödet, som har högst hållfasthet.

Man kan också se att draghastigheten ökar från T till 45° till L.

Det man direkt kan se (då man jämför med referensmaterialet LDPE) är:

- **Elasticitetsmodulen (*E*-modulen)** är högre i den longitudinella och transversella riktningen. Dock lägre för 45° grader.
- **R_p 0,1** och **sträckgränsen** var endast högre för den longitudinella riktningen men lägre för transversella riktning och 45° grader.
- **Brottsspänningen** samt **brottöjningen** är lägre. **Brottöjningen** är mycket lägre än för referensmaterialet LDPE.

Nedan visas spännings-töjningsdiagrammet för LDPE + GNP 7,5 wt-%, se *figur 9*.



Figur 9. En typisk kurva för hur orientering i proverna ser ut. Grafen visar prover med skjuvhastigheten $640,396s^{-1}$ samt sträckningsförhållandet = 1 för de olika riktningarna för koncentrationen 7,5 w/c%.

4.2 Resultat GNP 1,5 wt-%

På samma sätt som för 7,5 wt-% LDPE + GNP presenteras här tabell 3 för 1,5 wt-% M5.

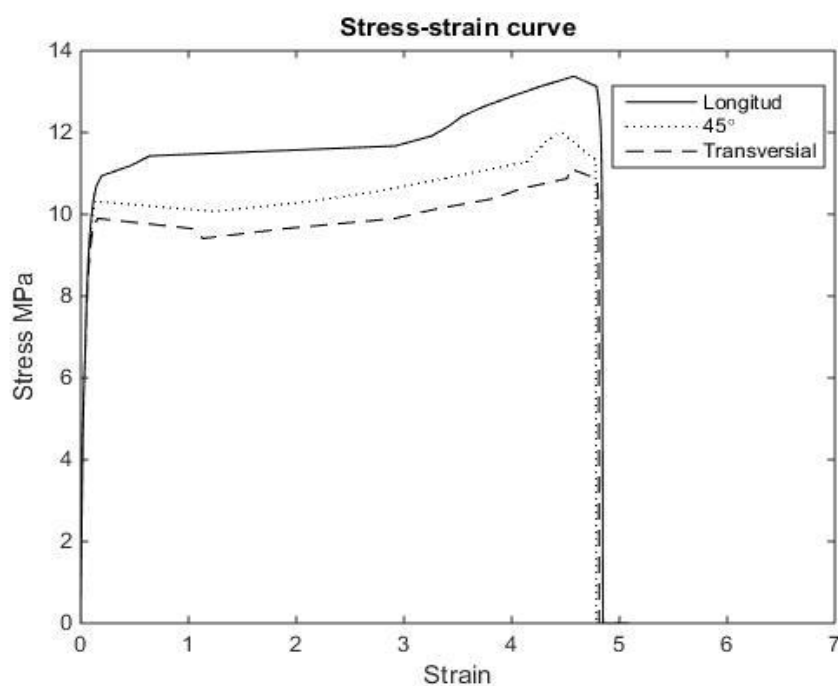
Tabell 3. LDPE + GNP 1,5 w/c % M5. Tabellen visar bla med vilken hastighet [mm/min] som dragproverna drogs med.

LDPE + GNP 1,5 wt-% M5					
Skjuv-hastighet (s ⁻¹)	Sträcknings-förhållande	Draghastig-het (mm/min) Transversell	Draghastig-het (mm/min) 45 (grader)	Draghastig-het (mm/min) Longitud	Tjocklek (mm)
128	3	70	45	50	0.115
128	4	-	60	25	0.090
128	10	-	-	20	0.070
256	1	100	100	120	0.330
256	3	-	-	15	0.150
384	1	130	100	140	0.330
384	3	-	-	25	0.235
512	1	120	120	120	0.330
640	1	120	120	120	0.300
768	1	130	120	120	0.330
982	1	130	-	100	0.360
1025	1	130	130	130	0.360

Det man direkt kan se (då man jämför med referensmaterialet LDPE) är:

- **E-modulen** är lite högre för alla riktningar här.
- **Rp 0,1, sträckgränsen och brottspänningen** är alla högre för alla riktningar.
- **Brottöjningen** är lägre för den longitudinella riktningen och 45 grader. Den är högre för den transversella riktningen.

Nedan visas ett spännings-töjningsdiagram, se *figur 10*, som visar hur de tre olika mätriktningarna inverkar på dragprovkurvans utseende för skjuvhastigheten och sträckningsförhållandet 640-1.



Figur 10. Spännings-töjningskurva för LDPE + GNP L 1,5 w/c% M5 640,396-1

4.3 Resultat LDPE

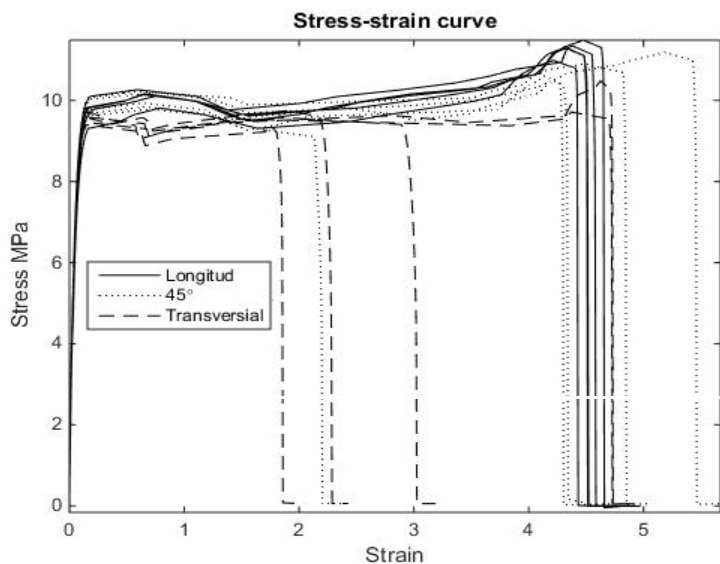
På samma sätt som för 1,5 wt- % LDPE + GNP presenteras här tabell 4 för LDPE.

Tabell 4. LDPE. Tabellen visar bla med vilken hastighet [mm/min] som dragproverna drogs med.

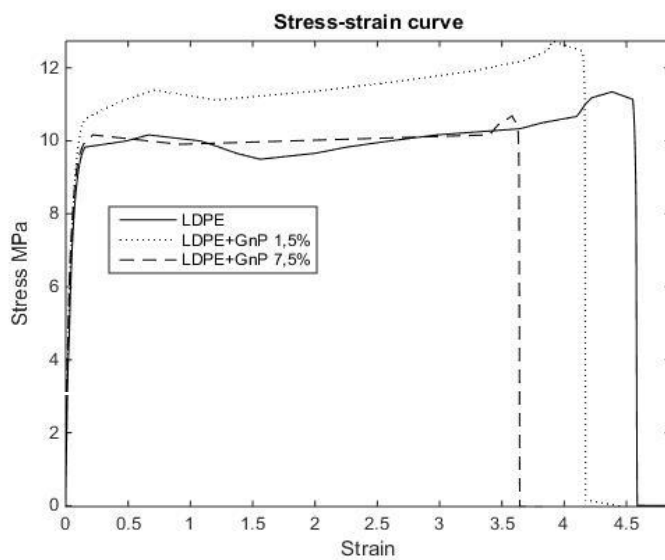
LDPE					
Skjuv- hastighet (s^{-1})	Sträcknings- förhållande	Draghastig- het (mm/min) Transversell	Draghastig- het (mm/min) 45 (grader)	Draghastighet (mm/min) Longitud	Tjock- lek (mm)
128	1	150	140	130	0.36
128	3	-	-	30	0.21
128	4	-	-	30	0.14
128	10	-	-	20	0.10
256	1	140	140	130	0.42
256	3	-	-	30	0.20

384	1	120	140	140	0.46
384	3	-	-	130	0.22
512	1	100	130	130	0.47
640	1	100	120	130	0.48
768	1	70	130	120	0.53
982	1	50	50	50	0.56
1025	1	70	100	130	0.54
1153	1	-	80	160	0,53
1281	1	-	90	120	0,49

Även här visas spännings-töjningskurvor för LDPE, se *figur 11* och *figur 12*.



Figur 11. Spännings-töjningskurva för LDPE M5 640,396-1.



Figur 12. Spännings-töjningskurva för dem tre olika koncentrationerna LDPE, LDPE + GNP 1,5 w/c % och LDPE + GNP 7,5 w/c % för 640,396-1.

5 DISKUSSION

Det som skall analyseras och diskuteras utgående från resultaten är förändringen i de mekaniska egenskaperna genom förändring av mikrostrukturen i kompositen genom bearbetningen eller den direkta materialförändringen.

De parametrar som ändrades var; skjuvhastigheten, sträckningsförhållandet, koncentrationen av GNP samt orienteringen relativt flödesriktningen i proverna som sattes in i dragprovsmaskinen. För att jämföra resultaten valde vi att se på trender mellan de mekaniska egenskaperna och de olika skjuvningshastigheterna. Den optimala skjuvhastigheten bedömdes ligga runt omkring 640 s^{-1} .

5.1 Resultat

Resultatet för de olika koncentrationerna med de olika skjuvhastigheterna påverkades på olika sätt. I *figurerna* 108, 113 och 119 kan man se att ju högre koncentration av GNP var desto mer berodde de mekaniska egenskaperna av skjuvhastigheten. För LDPE proverna ser man att värdena är relativt nominella, det vill säga att värdena inte förändras så mycket i alla skjuvhastigheter förutom skjuvhastigheten omkring 982 s^{-1} . Varför det blir så kan bero på kontaminering av extrudern som kommer att diskuteras senare.

5.1.1 LDPE

För referensmaterialet testades sträckningsförhållandena $v1/v2=1$ och $v1/v2=3$. För dessa kunde en försämring av elasticitetsmodul, sträckgräns samt brottöjning urskiljas när man ökade sträckningsförhållandet. Dock steg Rp 0,1 för båda skjuvhastigheterna. Brottgränsen sjönk för $v1/v2=1$ men steg för $v1/v2=3$ också då sträckningsförhållandet ökade.

5.1.2 LDPE + GNP 7,5 wt-%

För kompositen LDPE + GNP 7,5 wt-% ser man att skjuvhastigheten har en betydligt mycket större påverkan på de mekaniska egenskaperna, speciellt sträckgränsen och brottgränsen jämfört med referensmaterialet. I *figurerna* 108, 113 och 118 noteras att för koncentrationen 7,5 w/c % har brott- och sträckgränsen ett maximum omkring skjuvhastigheten 384 s^{-1} , men sedan sjunker den stadigt ned till ett minimum vid 768 s^{-1} . Efter detta oscillerar värdena och man kan inte dra någon ordentlig slutsats om varför mätvärdena uppför sig så.

Sträckningsförhållandet påverkar också resultatet, dock mestadels till det sämre. Då sträckningsförhållandet ökades från $v1/v2=1$ upp till $v1/v2=3$, se *figurer* i appendix under grafer och figurer för LDPE + GNP 7,5 wt-% ser man att E-modulen blev högre för $v1/v2=3$. Rp 0,1 och sträckgränsen blir överlag alltid bättre. Brottgränsen blev här också sämre och detta kan tänkas vara ett direkt resultat av att denna komposit innehåller höga koncentrationer av GNP vilket gör plasten spröd. Då vissa av egenskaperna blev betydligt mycket högre behöver det inte nödvändigtvis betyda att provet överlag är bra då ett samspel av de olika mekaniska

egenskaperna spelar en större roll. Brottöjningen påverkades dock inte alltför mycket av ändringen i sträckningsförhållandet. En annan observation är att sträckgränsen och brottgränsen sjönk ovanligt mycket för $v_1/v_2=3$. Denna trend fanns även hos prover med annan GNP-halt, dock inte lika stor. Förklaringen här är ännu en gång den höga GNP koncentrationen.

5.1.3 LDPE + GNP 1,5 wt-%

Denna koncentration av LDPE + GNP följer till stor del mönstret för ren LDPE, vilket beror på att kompositen innehåller en lägre koncentration av GNP. För alla fyra olika sträckningsförhållanden som prövats här, $v_1/v_2=1$, $v_1/v_2=3$, $v_1/v_2=4$ samt $v_1/v_2=10$ minskade alltid elasticitetsmodulen, R_p 0,1 ökade överlag, medan sträckgränsen brottgränsen och brottöjningen minskade markant. E-modulen och brottöjningen var de två mekaniska egenskaper som minskade mest vid högre sträckningsförhållande.

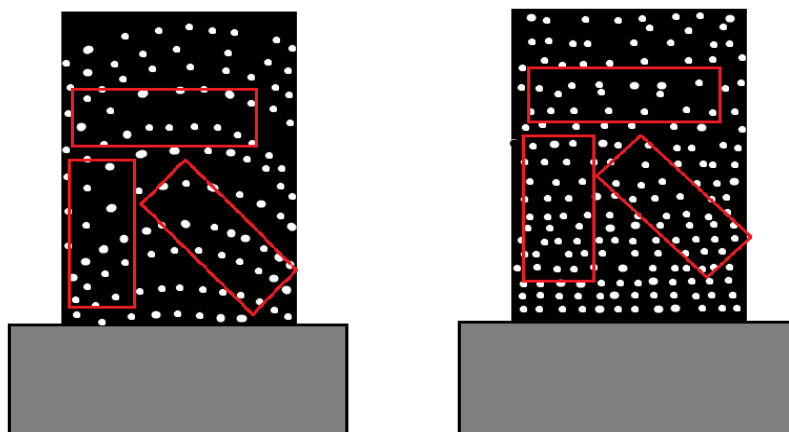
Man kan dessutom se att brottgränsen var något högre än sträckgränsen för LDPE och LDPE + GNP 1.5 wt-%. För LDPE + GNP 7,5 wt-% var sträckgränsen i medel högre än brottgränsen för alla skjuvhastigheter. Man kan här konstatera att GNP-koncentrationen har en direkt påverkan på brottgränsen och att en koncentration på 1,5 % GNP gav det bästa resultatet.

Det vi kan se från tabellerna och graferna är att skjuvhastigheten inte har alltför stor inverkan vid den lägre koncentrationen av LDPE + GNP, d.v.s. 1,5 wt-% men har en större inverkan vid den högre koncentrationen, LDPE + GNP 7,5 wt-%. Detta kan bero på orienteringen av GNP i LDPE. Vi kan alltså konstatera att ju högre koncentration av GNP man har i LDPE, desto mindre jämnt fördelad blir GNP i plasten.

I en tidigare studie i *“Tailoring polymer nanocomposite microstructure by controlling orientation, dispersion and exfoliation of GNP in LDPE via extrusion flow Difference during Polymer Melt Extrusion Flows”*, av Govindan Induchoodan and Roland Kádár, 2016, överensstämmer våra resultat med deras slutsats där de skriver; *“A strong orientation of the nanoplatelets was achieved orientation for filler concentrations lower than 16.5 wt%, independent of the applied die shearrates and filler type.”*. Alltså kan man med stor säkerhet säga att denna slutsatsen är giltig.

Man observerar även att orienteringen av proverna har en avsevärd inverkan på mätvärdena beroende på vilken skjuvhastighet som använts. Skjuvhastigheten påverkar uppenbart mätresultaten i de olika riktningarna. Detta kan bero på att orienteringen av GNP i LDPE inte är homogen.

Det förefaller som om att sträckningsförhållandet påverkar kompositen på ett negativt sätt. Ju högre sträckningsförhållande man extruderar med desto sämre blev de mekaniska egenskaperna. Skjuvhastigheten påverkade kompositen på ett annat sätt; ju högre skjuvhastighet, desto ”bättre” prover



Figur 13. Simplifiering av hur GNP beblandas vid olika skjuvhastigheter. Vänstra figuren representerar den lägre skjuvhastigheten och den högra figuren representerar den högre skjuvhastigheten.

Varför proverna här inte blev homogena kan förklaras med bilden, se *figur 13*, ovanför. Där kan man se att orsaken till skillnaderna i de mekaniska egenskaperna är att provernas orientering vid lägre skjuvningshastigheter inte fördelas lika homogent i den vänstra *figuren* som den högra.

Om man analyserar flödesriktningen i proverna som drogs i dragprovsmaskinen kan man se att mätvärdena dragna i tvärriktningen avseende på flödet har högre värden än proverna som var dragna längs med flödet vid lägre skjuvhastigheter. Denna trend finns i de proverna med en högre koncentration av GNP och vid lägre skjuvhastigheter. Vad man kan se i tabellerna är att denna trend går över till att proverna dragna längs med flödet istället börjar dominera vid de högre skjuvhastigheterna. Man antar att detta har något att göra med GNP orientering i själva LDPE-matrisen, men några vidare studier kring detta har inte kunnat genomföras då vi ej haft tillgång till mikroskop.

5.2 Metoden

Denna studie utfördes på ett sätt som förhållandevis och periodvis var bra. Dock fanns en hel del brister som senare också kommer att diskuteras under felkällor. Förberedelserna av arbetet och extruderingen var bra och har hög tillförlitlighet. Denna process sker i princip alltid på samma sätt. Att notera som mindre bra är att hänföra till tidigare användare av extrudern. Kontaminerade komponenter såsom skruv och munstycke kan ha påverkat resultaten och därför är tillförlitligheten inte alls hög gällande denna del av arbetet. Metodiskt är arbetet relativt repeterbart. Detta då extruderingsprocessen kan vara svår att utföra på egen hand. Resterande tester har en god repeterbarhet och kan göras av vem som helst. Dock användes en dator som var väldigt gammal vilket försvårade arbetet markant. Det visade sig att värdena som datorn registrerade inte alls var lätta att bearbeta. Detta skapade förseningar av arbetet då man tvingades skriva ett program i MATLAB som kunde bearbeta all data. När sedan dessa värden skulle behandlas upptäckte man att de olika sträckningsförhållandena ($v1/v2$) för de lägre skjuvhastigheterna (vi har endast varierande sträckningsförhållande för en specifik skjuvhastighet för de tre första skjuvhastigheterna) var inte tillräckligt bra för att räknas med för mätvärdena hade alldeles för få mätpunkter för att kunna dra någon slutsats. Dessa har ändå tagits med bara för att visa vad man fått för resultat, se appendix.

För stansning av prover användes två olika stansverktyg. Ett hundbenformat i början som tidigt byttes ut till ett rektangelformat munstycke då det benformade munstycket inte var vasst nog. De prover som stansades ut med det hundformade munstycket lossnade aldrig från ursprungsremsan vilket gjorde att man var tvungen att skära ut dessa med en verktygskniv för hand. Detta kan ha deformerat vissa av proverna en aning, speciellt då dessa var bland de tunnare proverna. Deformation av materialet påverkar sväljfallet slutresultaten. Själva bytet av stans påverkade inte slutresultatet då man anpassar beräkningarna efter provets längd och tvärsnittsarea.

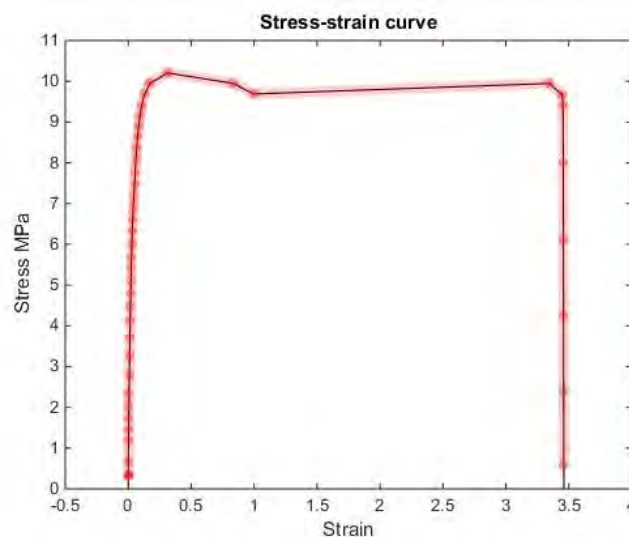
Genomförandet av arbetet effektiviserades så mycket som möjligt överlag då utrustningen i laboratoriet även användes av andra personer.

5.2.1 Felkällor

Vissa prover följer inte mönstret alls. Detta kan bero på att man upptäckte orenheter i proverna. Dessa kontaminationer berodde på tidigare extrudering av mat. Man kunde urskilja matrester i proverna vilket självklart försämrar dem mekaniska egenskaperna. Dessa kontaminationer uppstod slumpmässigt i proverna. De uppstod också slumpmässigt i förhållande till vilken skjuvhastighet man använde. En tanke är att ju högre skjuvhastighet man har i extrudern, desto mer “matpartiklar” skulle lossna från den, beroende på friktionskrafterna mellan skruv och materialet i extruderingsstrumman.

En annan felkälla är greppen på dragprovsmaskinen. Dessa grepp var olika starka och detta berodde dels på att det undre greppet var slitet men även på en hydraulikläcka som upptäcktes för det undre greppet. Denna läcka bidrog till att det undre greppet inte kunde hålla fast vid proverna med samma tryck som det övre greppet. Detta ledde i sin tur till att proverna “gled ur” det undre greppet och deformerade provet på ett inhomogent sätt.

Ytterligare en felkälla är den mänskliga faktorn. Hur man placerat proverna i dragprovsmaskinen är ett exempel på detta, d.v.s. hur rakt man lyckas placera proverna samt hur centralt de sattes i greppen. Ett annat exempel på den mänskliga faktorns betydelse uppstod under själva extruderingsprocessen; vid det första försöket uppkom en läcka under extruderingen. Denna läcka tvingade arbetsgruppen att avbryta extruderingen, stänga av maskinen och rengöra hela systemet vilket tog extra tid och material.



Figur 14. Mätdata

En annan felkälla som egentligen är en precisionsfråga är att när dragprovsmaskinen lagrar data tar den mätpunkter vid en viss mätt kraftskillnad. Något som skulle passa arbetet bättre skulle vara om lagringen av mätdata var indelade i tidbestämda intervall med väldigt små intervaller. På så sätt skulle man kunna kontrollera dragförloppet på ett bättre sätt och dessutom skulle de prover som var väldigt svaga ha mycket fler mätpunkter. Bilden ovan, se *figur 14*, visar ett exempel hur punkterna är fördelade och man kan se att efter sträckgränsen så finns det endast ett fåtal användbara punkter..

6 SLUTSATSER

Utifrån frågeställningen och syftet med arbetet har detta främst koncentrerats kring hur GNP påverkar de mekaniska egenskaperna. Det som har observerats att ju högre koncentration av GNP man har i LDPE, desto mindre jämnt fördelade blev partiklarna i matrisen. Man kan konstatera att GNP-koncentrationen har en direkt inverkan på brottgränsen och att en koncentration av 1,5 % GNP gav bästa resultatet. I *figurerna* 108, 113 och 119 kan man se att ju högre koncentrationen av GNP är, desto mer beroende är de mekaniska egenskaperna av skjuvhastigheten.

För kompositen LDPE + GnP 7,5 wt-% hade skjuvhastigheten har en betydligt större inverkan på de mekaniska egenskaperna än vad de hade för referensmaterialet LDPE. I *figur* 119 framgår att för koncentrationen 7,5 wt-% genomgår brott- och sträckgränsen ett maximum vid skjuvhastigheten 384 s^{-1} , men sedan sjunker de stadigt till ett minimum vid 768 s^{-1} . Efter detta oscillerar värdena och man kan inte dra någon ordentlig slutsats rörande beteendet vid högre skjuvhastigheter.

Det finns ett slags förhållande mellan skjuvhastigheten och flödesorienteringen. Man kan se att mätvärdena för prover dragna i tvärriktningen med avseende på flödet var högre än för prover dragna längs med flödet vid lägre skjuvhastigheter. Vad man kan se i tabellerna att denna trend går över till att proverna dragna längs med flödet har generellt större värden än de andra riktningarna. Istället vid de högre skjuvhastigheterna. Man antar att detta har något att göra med GNP-partiklarnas orientering i själva LDPE-matrisen, men några vidare studier om detta ej har kunnat genomföras då man ej har haft tillgång till lämpligt mikroskop.

7 REFERENSER

- [1] Effect of extrusion on the electrical, mechanical and rheological properties of ethylene butylacrylate/carbon black/graphite nanoplatelets nanocomposites, E. Alvarez Diez, diploma work, Chalmers University of Technology, No. 134/2014.
- [2] Thermal, electrical, and mechanical properties of polyethylene–graphene nanocomposites obtained by in-situ polymerization, F. de C. Fim, N. R. S. Basso and A. P. Graebin, *Journal of Applied Polymer Science*, 23 aug. 2012, DOI: 10.1002/app.38317.
- [3] Enhanced mechanical properties of polymer-matrix nanocomposites reinforced by graphene inclusions: A review, I. A. Ovid'ko, Rev. Adv. Mater. Sci. 34 19-25, Department of Mathematics and Mechanics, St. Petersburg State University, St. Petersburg 198504, July 2013.
- [4] Introduction to Industrial Polyethylene: Properties, Catalysts, Processes, D. B. Malpass, John Wiley & Sons © 2010. ISBN:9780470625989.
- [5] Rheology of Filled Polymer Systems, A. V. Shenoy, Springer-Science+Business Media B.V., 1999, ISBN: 978-90-481-4029-9, DOI 10.1007/978-94-015-9213-0.
- [6] CES Edupack 2015: Version 15.3.10, Granta Design Limited, (Under kategorin PE-LD).
- [7] Plaster, Materialval och Materialdata, C. Klason och J. Kubát, Reviderad A. Boldizar och M. Rigdahl, April 2001, Utgåva 5, Teknikföretagen.
- [8] <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/plasticitetsteori>, 17 maj 2016.
- [9] ASTM D882-12, Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting.
- [10] Extruding Plastics: A Practical Processing Handbook, D. V. Rosato, Springer-Science+Business Media, B.V., Plastics Institute of America Rhode Island School of Design Chatham, 1998, ISBN 978-0-412-82810-2.
- [11] <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/products/metrics-and-basics-mechanics>, 2 juni 2016.

[12] Electric field effect in atomicly thin carbon films, K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov, *Science* Vol. 306, Issue 5696, 666-669, DOI: 10.1126/science.1102896, 22 october 2004.

8 APPENDIX

Här infogas respektive tabeller för varje koncentration av LDPE + GNP samt för LDPE. Dessa tabeller representerar de tre olika riktningar som proverna stansats ut i, d.v.s. longitud (horisontellt), transversell (vertikalt) samt 45 grader.

I varje tabell kan man utläsa vilken skjuvhastighet och vilket sträckningsförhållande som gäller; dessa skrivs: 640-1. Följande bokstäver eller siffror anger om det är longitudinella, transversella eller 45 graders-prover (L, T, 45). Inom parantes finns skjuv(skruv)hastigheten [rpm] och sträckningsförhållandet och BS (band speed = rullbandshastighet). BS mäts i [m/min].

Tabeller för LDPE + GNPM5 7,5 wt-%

Tabell 5. 128 -1 L (15N-0,57 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	339	3,26	7	6,5	0,97
2	364	3,57	7,5	6,9	0,96
3	294	2,95	7	6,4	1,1
4	345	3,49	7,5	6,3	0,85
Medelvärde	336	3,3	7,3	6,5	1,0

Tabell 6. 128 -1 T (15N-0,57 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	428	3,12	7	5,6	0,23
2	326	2,69	6,8	6,3	0,28
3	329	2,69	6,9	6,3	0,24
4	418	3,21	6,9	6,4	0,26
Medelvärde	375	2,9	7,0	6,2	0,3

Tabell 7. 128-3 L (15N-1,72 BS-L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	195	4,8	10,45	7,1	0,89
2	352	7,69	10,5	7,4	1,4
3	245	5,65	8,8	7,1	0,86
4	304	6,97	10,5	8	1,06
5	329	5,26	8,8	6,2	1,38
Medelvärde	285	6,1	9,8	7,2	1,1

Tabell 8. 128-3 T (15N-1,72 BS-T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	199	5,42	5,4	3,6	0,157
2	219	5,39	5,4	3,5	0,145
3	204	5,36	5,4	3,6	0,2
4	237	5,77	7	4,8	0,123
Medelvärde	215	5,5	5,8	3,9	0,2

Tabell 9. 128-4 L (15N-2,3BS-L) Enbart en riktning

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	127	4,84	7,5	5	1,19
2	172	5,87	9,3	7,5	1,19
3	166	5,94	9,3	7,4	1,32
4	143	5,6	7,6	5,8	0,38
5	139	5,18	7,6	5	1,14
Medelvärde	149	5,5	8,3	6,1	1,1

Tabell 10. 128-10 L (15N-5,7BS-L) Enbart en riktning

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	79	6,4	8,7	4,8	0,98
2	57	6,2	8,7	5,6	0,83
3	104	6,7	11,3	7,7	1,03
4	77	6,35	8,6	5,6	0,82
Medelvärde	79	6,4	9,3	5,9	0,9

Tabell 11. 256-1 L (30 N-1,15 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	366	4,2	10,61	10,1	0,82
2	381	4,66	10,9	10,2	0,7
3	367	4,6	11,3	10,2	1,58
4	290	4,45	11,53	9,6	1,37
5	345	4,9	11	9,7	1,5
Medelvärde	350	4,6	11,1	9,9	1,2

Tabell 12. 256-1 T (30 N-1,15 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	327	4,77	11	10,35	0,66
2	407	4,5	10,55	10	0,6
3	428	4,7	10,54	9,9	0,53
4	394	5,1	10,64	9,8	0,77
5	443	4,5	10,63	10,34	0,52
Medelvärde	400	4,7	10,6	10,1	0,6

Tabell 13. 384-1 L (45 N-1,72 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	369	5,2	12,41	11,73	2,1
2	345	4,6	12	11,3	1,8
3	292	3,9	12,23	11,9	1,3
4	339	4,2	12	11,2	1,6
5	354	4,7	12	11,4	1,7
Medelvärde	340	4,5	12,1	11,5	1,7

Tabell 14. 384-1 45 (45 N-1,72 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	166	1,7	12	10,8	1,2
2	336	5,7	12,12	11,13	1,9
3	330	5,6	12,3	12,7	1,8
4	341	5,9	12,5	11,5	1,3
Medelvärde	293	4,7	12,2	11,5	1,6

Tabell 15. 384-1 T (45 N-1,72 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	336	3,4	11,5	10,8	0,9
2	367	4,9	11,8	10,54	1,04
3	358	4,3	11,9	11,6	0,7
4	387	4,6	11,8	10,7	0,8
5	380	3,8	11,7	11,42	0,57
Medelvärde	366	4,2	11,7	11,1	0,8

Tabell 16. 384-3 L (45 N-5,18 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	334	4,4	10,64	9,3	1,47
2	237	4,43	12,8	12,2	2,7
3	245	4,4	11,23	10,6	2,5
4	261	4,7	11,8	11,1	2,2
5	259	3,7	10,66	10	1,9
Medelvärde	267	4,3	11,4	10,6	2,2

Tabell 17. 384-3 T (45 N-5,18 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	253	3,8	8,9	8,1	0,56
2	225	3,27	8,9	7	0,58
3	190	3,4	8,9	8,3	0,55
4	216	3,6	8,9	7,6	0,47
5	274	3,6	8,9	8,3	0,4
Medelvärde	232	3,5	8,9	7,9	0,5

Tabell 18. 512-1 L (60 N-2,3 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	273	4,4	10,46	10,4	3,4
2	281	4,7	10,6	10	2,6
3	263	4,4	10,4	10,4	3,38
4	267	4,6	10,7	9,5	3,5
5	279	4,9	10,7	10,1	3,12
Medelvärde	273	4,6	10,6	10,1	3,2

Tabell 19. 512-1 45 (60 N-2,3 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	293	4,1	10,1	9,5	1,73
2	308	4,1	10,6	9,6	2,3
3	392	4,2	10,6	6,8	0,82
4	302	4,1	10,6	9,7	1,95
5	302	3,9	10,4	9,4	1,5

Medelvärde	319	4,1	10,5	9,0	1,7
-------------------	------------	------------	-------------	------------	------------

Tabell 20. 512-1 T (60 N-2,3 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	317	3,65	9,8	9,6	0,74
2	254	3,3	10	9,5	1,1
3	321	3,7	9,9	8,7	0,98
4	316	3,5	9,7	8,3	0,76
5	255	3	9,7	7	0,85
Medelvärde	293	3,4	9,8	8,6	0,9

Tabell 21. 640-1 L (75 N-2,88 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	276	4,7	10,2	10,2	3,7
2	280	4,88	10,1	9,6	3,17
3	247	3,9	9,8	9,4	3,89
4	273	4,7	10,6	10,1	3,6
5	265	4,45	10,2	9,7	3,46
Medelvärde	268	4,5	10,2	9,8	3,6

Tabell 22. 640-1 45 (75 N-2,88 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	277	3,6	9,4	7,8	1,38
2	264	3,8	9,3	8,4	1,83
3	275	3,8	9,3	8,8	2,12
4	293	3,89	9,4	7,5	1,25
5	268	3,6	9,4	8,5	2,77
Medelvärde	276	3,7	9,4	8,2	1,9

Tabell 23. 640-1 T (75 N-2,88 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	298	2,7	8,9	8,1	0,42
2	299	2,6	9	8,3	0,83
3	291	3	8,9	8,4	1,03
4	302	2,8	8,8	8,6	0,81
5	403	2,7	8,8	8	0,42
Medelvärde	319	2,8	8,9	8,3	0,7

Tabell 24. 768-1 L (90 N-3,45 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	180	3,1	7,3	7,2	3,2
2	204	4,1	8,3	7,9	2,7
3	224	4,6	8,4	6,6	3
4	204	3,7	8	7,3	2,2
5	202	3,6	8	7,7	3,1
6	172	2,5	7,3	7,6	3,4
Medelvärde	198	3,6	7,9	7,4	2,9

Tabell 25. 768-1 45 (90 N-3,45 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	283	3,8	9,3	8,7	2,2
2	267	3,7	9,3	8,7	2,3
3	290	4,1	9,4	8,8	1,7
4	291	4,3	9,5	8,9	2,3
5	277	4,1	9,7	8,8	2,6
Medelvärde	282	4	9,4	8,8	2,2

Tabell 26. 768-1 T (90 N-3,45 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	293	3,1	8,4	7,6	0,7
2	280	3,5	8,8	7,1	0,83
3	257	3	8,4	7,3	0,9
4	276	2,9	8,2	7,66	0,83
5	225	2,9	8,2	6,8	0,64
Medelvärde	266	3,1	8,4	7,3	0,8

Tabell 27. 982-1 L (115 N-4,41 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	325	5	11,8	10,9	3,2
2	300	4,2	10,9	10,9	3,5
3	315	4,7	11,5	10,8	2,2
4	340	5,2	11,65	10,2	1,8
5	335	5,5	12	10,09	3
Medelvärde	323	4,9	11,6	10,6	2,7

Tabell 28. 982-1 45 (115 N-4,41 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	345	3,6	10,6	9,7	1,6
2	365	3,9	11,22	9,4	0,9
3	336	3,4	10,7	8,6	1,3
4	367	4	10,7	8,8	0,8
5	370	4	11,3	9,8	1,2
Medelvärde	357	3,8	10,9	9,7	1,2

Tabell 29. 982-1 T (115 N-4,41 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	267	4,1	10,6	8,8	0,7
2	391	4,8	11,2	9,6	0,7
3	319	4,1	10,6	8,9	0,13
4	381	3,89	10,6	9,4	0,6
5	397	4,6	11	9,2	0,67
Medelvärde	351	4,3	10,8	9,2	0,6

Tabell 30. 1025-1 L (120 N-4,61 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	210	4,3	9,3	8,3	1,8
2	265	4,8	9,3	8,3	2,3
3	254	4,5	9,6	9,5	3,2
4	216	4,2	9,5	9,5	3
5	249	4,7	9,3	9,3	2,9
Medelvärde	239	4,5	9,4	8,9	2,6

Tabell 31. 1025-1 45 (120 N-4,61 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	188	3,2	7,7	7,3	3,2
2	193	2,9	7,3	6,9	2,4
3	276	3,7	7,8	7,2	0,9
4	221	3,99	8,1	7,1	3,2
5	175	3,1	8	7,4	2,2
Medelvärde	211	3,4	7,8	7,2	2,4

Tabell 32. 1025-1 T (120 N-4,61 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	248	2,7	7,9	7,3	0,9
2	269	2,6	8	7,2	0,9
3	288	2,7	8	7,2	0,76
4	303	2,6	8	7,7	0,7
5	321	2	7,9	7	0,7
Medelvärde	286	2,5	7,9	7,3	0,8

Tabell 33. 1153-1 L (135 N-5,18 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	365	5,2	12,12	11,2	2,5
2	345	4,7	11,4	10,7	2,3
3	367	5,1	12,3	10,45	3
4	345	4,8	12	11,1	1
5	391	5,8	12,4	11,5	2,4
Medelvärde	362	5,1	12,0	11,0	2,2

Tabell 34. 1153-1 45 (135 N-5,18 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	364	4,7	11,43	9,2	0,8
2	357	4,9	11,32	10,4	1,8
3	426	4,4	11,26	10,9	0,47
4	237	1,9	11,31	10,39	1,5
5	334	4,4	11,17	10,24	1,8
Medelvärde	345	4,1	11,3	10,2	1,3

Tabell 35. 1153-1 T (135 N-5,18 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	524	4,4	11,9	9,3	0,56
2	513	4	11,65	11,3	0,48
3	429	3,5	11,2	7,6	0,5
4	392	3,6	11,4	10,4	0,7
5	385	3,5	11,46	9,5	0,67
Medelvärde	449	3,8	11,5	9,6	0,6

Tabell 36. 1281 L (150 N-0,57 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	234	7,2	13,81	11,96	0,53
2	207	7,1	13,16	8,4	0,7
3	235	9,52	13,14	10,6	0,71
4	215	7,93	12,45	10,9	0,73
5	221	7,01	12,4	11,7	0,45
Medelvärde	222	7,7	12,9	10,7	0,6

Tabell 37. 1281 45 (150 N-0,57 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	219	6,93	12	10,1	0,58
2	223	6,82	11,76	9,8	0,48
3	204	6,52	11,8	9,7	0,53
4	201	5,6	11,3	9,7	0,55
5	230	8,5	12,77	10,9	0,59
Medelvärde	216	6,8	11,9	10,0	0,5

Tabell 38. 1281 T (150 N-0,57 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	190	8,78	12,92	11,67	0,98
2	218	9,4	13,13	11,65	0,77
3	228	9,83	13,4	12,2	0,7
4	190	8,06	12,3	10,7	0,9
Medelvärde	207	9,0	12,9	11,6	0,8

Tabell 39. 1281 -1 L (150 N-5,76 BS L) Endast en riktning

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	427	4,36	2,86	2,77	2
2	348	4,36	2,8	2,82	3,03
3	480	7,89	3,5	3,2	1,1
4	367	3,72	2,8	2,7	1,47
5	344	3,72	2,8	2,9	3,5

Medelvärde	393	4,8	2,9	2,9	2,2
-------------------	------------	------------	------------	------------	------------

Tabeller för GNP + LDPE M5 1,5 wt-%

Tabell 40. 128 -3 L (15 N-172 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	442	5,2	14,4	11,92	1,3
2	367	3,2	11	10,2	0,78
3	347	3	10,8	10,13	0,77
Medelvärde	385	3,8	12,2	10,8	0,9

Tabell 41. 128 -3 45 (15 N-1,72 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	231	3,9	10	8,6	1,3
2	213	3,9	10,17	9,4	2,1
3	258	4,9	10,23	9,5	2,3
4	262	5	10,35	9,6	2,7
5	283	4,9	10,21	9,4	1,3
Medelvärde	249	4,5	10,2	9,3	1,9

Tabell 42. 128 -3 T (15 N-1,72 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	405	5,3	9,7	4	1,8
2	375	4,8	10,29	8,8	2,2
3	349	5,4	10	9,3	3,1
4	342	5,5	10,6	9,1	2,5
5	412	5,3	9,9	5	1,2
Medelvärde	377	5,4	10,1	7,2	2,2

Tabell 43. 128-4 L (15N-2,3BS-L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	379	8,2	17	16	1,1
2	318	4,8	12	3,4	0,8
3	296	4,4	11,9	11	1
4	265	3,8	11,1	8,1	0,6
Medelvärde	315	5,3	13,0	9,6	0,9

Tabell 44. 128-4 45 (15N-2,3BS-45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	283	4,8	10,13	8,9	1,67
2	251	4,3	10,15	9,1	2,1
3	192	3,7	9,2	8,3	1,7
4	261	5,2	10,4	9,1	1,8
Medelvärde5	274	4,9	9,4	7,9	1,7

Tabell 45. 128-10 L (15N-5,7BS-L) Enbart en riktning

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	119	3,9	7,1	2,1	0,6
2	172	5,6	9,5	3,1	0,63
3	172	5,8	10,61	4,85	0,73
4	101	3,7	8,3	4,8	0,788
5	111	4,1	8,3	1,16	0,67
Medelvärde	135	4,6	8,7	3,2	0,7

Tabell 46. 256-1 L (30 N-1,15 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	219	3,05	10	10,98	4,4
2	280	5,9	12	11,51	4,6
3	241	4,4	10,58	11	4,01
4	261	5,4	11,9	13,63	4,6
5	226	3,8	10,2	10,9	4,111
Medelvärde	245	4,5	10,9	11,6	4,3

Tabell 47. 256-1 45 (30 N-1,15 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	259	4,1	10,36	10,8	4,31
2	253	4,6	10,51	10,22	2,68
3	262	5,3	10,66	10,9	4,375
4	249	4,9	10,33	12	5,028
5	240	4	10,22	10,17	4,12
Medelvärde	253	4,6	10,4	10,8	4,1

Tabell 48. 256-1 T (30 N-1,15 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	243	3,6	9,5	9,25	3,573
2	274	4,7	9,8	6	3,092
3	262	4,5	10,11	9,8	3,6
4	262	4,6	10	9,6	3,1
5	268	4,47	9,7	10,46	4,43
Medelvärde	262	4,4	9,8	9,0	3,6

Tabell 49. 256-3 L (30 N-3,45 BS L) Endast en riktning

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	212	6,3	11,42	8,6	0,87
2	221	5,89	12,26	11,15	0,86
3	69	4,2	10,93	9,3	0,72
4	176	3,4	9,3	7,6	0,78
5	202	3,8	10,4	9,3	1,67
Medelvärde	176	4,7	10,9	9,2	1,0

Tabell 50. 384-1 L (45 N-1,72 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	228	3,86	10,21	11,89	4,97
2	224	3,6	10,75	12,7	4,957
3	216	3,2	10,11	12,04	4,88
4	259	5,77	11,53	12,75	4,2
5	254	5,6	11,6	12,55	4,1
Medelvärde	236	4,4	10,8	12,4	4,6

Tabell 51. 384-1 45 (45 N-1,72 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	181	2,7	8,7	9,96	4,1
2	210	3,99	9,2	9,4	3,77
3	219	4,9	9,52	11,4	4,99
4	192	3,8	9,2	9,6	9,95
5	218	4,66	9,6	11,11	4,6
Medelvärde	204	4,0	9,3	10,3	5,5

Tabell 52. 384-1 T (45 N-1,72 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	220	3,65	9,5	11,7	5,357
2	229	4,36	9,5	10,98	4,8
3	223	3,7	9,7	9,9	4,162
4	290	4,1	9,5	11,2	4,66
5	219	3,8	9,5	10,26	4,27
Medelvärde	236	3,9	9,5	10,8	4,6

Tabell 53. 384-3 L (45 N-5,18 BS L) Endast en riktning

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	166	1,7	6,3	5,95	0,8
2	127	3,6	7,9	7,6	0,83
3	130	2,1	6,67	6,3	0,74
4	84	2,1	6	5,66	0,73
5	88	1,7	6,3	5,98	0,8
Medelvärde	119	2,2	6,6	6,9	0,8

Tabell 54. 512-1 L (60 N-2,3 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	192	2,8	9,2	11,14	4,56
2	231	5,1	11,07	12,7	4,79
3	245	5	10,94	11,88	3,9
4	213	5	10,94	11,88	3,96
5	202	3,2	9,1	10,57	4,7
Medelvärde	217	4,2	10,6	11,6	4,4

Tabell 55. 512-1 45 (60 N-2,3 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	218	3,66	9,4	10,85	4,81
2	251	4	9,71	9,94	3,44
3	219	3,4	9,49	9,47	3,06
4	225	3,8	9,7	9,9	3,377
5	221	3,77	9,53	10,99	4,29
Medelvärde	227	3,7	9,6	10,2	3,8

Tabell 56. 512-1 T (60 N-2,3 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	173	1,7	9,1	8,31	1,32
2	184	3	8,8	10,51	5,3
3	193	3,3	8,8	9,76	4,408
4	222	4,3	9,12	8,86	3,084
5	214	4,9	9,22	10,67	5,1
Medelvärde	197	3,4	9,0	9,62	3,8

Tabell 57. 640-1 L (75 N-2,88 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	226	3,8	10,47	12,1	4,33
2	217	3,3	10,3	11,64	3,777
3	251	5,2	11,39	12,46	4,2
4	239	4,7	10,77	13,43	5,23
5	209	3,42	10,77	12,91	4,46
Medelvärde	228	4,1	10,7	12,6	4,4

Tabell 58. 640-1 45 (75 N-2,88 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	241	4,67	10,51	11	3,89
2	250	4,3	10,53	11,83	4,45
3	255	4,7	10,71	12,05	5,1
4	247	4,44	10,36	11,12	4,19
5	241	4,1	10,26	10,24	3,367
Medelvärde	247	4,4	10,5	11,33	4,2

Tabell 59. 640-1 T (75 N-2,88 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	265	5,1	10,33	10,23	4,7
2	214	3,7	9,7	9,68	3,968
3	249	4,65	9,82	11,43	4,827
4	264	4,54	9,7	11,27	4,81
5	240	4,3	9,7	11,52	4,87
Medelvärde	246	4,5	9,9	10,8	4,6

Tabell 60. 768-1 L (90 N-3,45 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	254	4,5	11,75	12,45	3,89
2	237	3,8	10,57	11,55	4,45
3	241	3,9	10,65	11,84	4,144
4	241	4,33	10,76	12,46	4,5
5	264	4,74	11,43	13,12	4,78
Medelvärde	247	4,6	11,1	12,3	4,6

Tabell 61. 768-1 45 (90 N-3,45 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	250	3,9	10,37	11,1	4,1
2	251	4,3	10,65	12,12	4,465
3	241	4	10,61	9,6	1,6
4	264	4,6	10,4	10,62	2,42
5	255	4,6	10,31	11,33	4,77
Medelvärde	252	4,3	10,5	10,9	3,5

Tabell 62. 768-1 T (90 N-3,45 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	252	4,5	10,24	11,43	5,17
2	251	4,25	10,14	11,1	4,836
3	257	4,6	10,23	11,65	5,38
4	264	4,4	10,1	9,56	2,65
5	256	4,4	9,8	10,87	4,7
Medelvärde	256	4,4	10,1	10,9	4,5

Tabell 63. 982-1 L (115 N-4,41 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	262	4,7	10,96	10,95	3,28
2	224	3,6	9,9	10,38	3,59
3	208	3	10	10,48	3,44
4	221	2,8	9,66	9,43	1,623
5	239	4,16	10,32	10,32	3,447
Medelvärde	231	3,6	10,2	10,3	3,1

Tabell 64. 982-1 T (115 N-4,41 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	226	3,15	8,7	9,2	4,26
2	257	4,6	9,5	9,2	3,8
3	255	4,8	9,1	10,42	4,9
4	246	4,4	9,5	10,36	5,123
5	258	4,6	9,4	8,89	3,9
Medelvärde	248	4,3	9,2	9,6	4,4

Tabell 65. 1025-1 L (120 N-4,61 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	227	6,57	10,26	10,92	3,69
2	208	6,346	10,42	11,5	3,72
3	262	5,1	11,31	11,3	3,43
4	254	4,88	10,66	10,639	3,58
5	239	4,2	11,14	12	3,75
Medelvärde	238	5,4	10,7	11,3	3,6

Tabell 66. 1025-1 45 (120 N-4,61 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	249	4,1	10	11,16	5,06
2	241	3,9	10,2	11,06	4,68
3	252	4,6	9,49	11,53	4,8
4	241	3,9	9,8	9,4	4,98
5	268	4,44	10	9,564	3
Medelvärde	250	4,2	9,9	10,5	4,5

Tabell 67. 1025-1 T (120 N-4,61 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	269	3,66	9,95	8,1	3,9
2	270	3,79	10,14	9,23	2,7
3	363	3,9	9,7	9,4	0,58
4	264	3,6	9,644	9,4	3,5
5	275	4,1	10,24	10,06	4,86
Medelvärde	288	3,8	9,9	9,3	3,1

Tabeller för LDPE

Tabell 68. 128 -I L (15N-0,57 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	313	3,89	11,1	12,9	4,875
2	202	3,497	10,1	10,4	4,5
3	294	3,55	11,2	12,5	4,6
4	295	3,76	11,2	12,8	5,3
5	197	2,6	10,14	9,3	1,7
Medelvärde	276	3,6	10,7	11,6	4,2

Tabell 69. 128 -I 45 (15N-0,57 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	242	5,6	10,4	10,8	4,5
2	191	4,6	9,9	12	5,15
3	200	5,24	10,3	10,9	4,6
4	195	4,8	10,3	10,3	5,3
5	189	4,8	9,9	11,5	5,4
Medelvärde	204	5,2	10,2	11,1	5,0

Tabell 70. 128 -I T (15N-0,57 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	220	5,71	10,5	12,5	5,5
2	207	5,3	10,1	12,1	5,3
3	219	5,2	10,3	11,2	5,1
4	172	9,8	10,1	11,8	5,2
5	227	6,04	10,1	10,7	4,8
Medelvärde	209	6,41	10,2	11,7	5,2

Tabell 71. 128-3 L (15N-1,72 BS-L) Endast en riktning

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	219	4,2	8,9	8,4	0,7
2	146	2,2	7,4	6,3	0,88
3	154	2,45	7,5	6,7	0,95
4	119	2,8	8,8	8,6	2,18
5	194	2,54	8,7	4	3,2
Medelvärde	166	2,8	8,3	6,8	1,6

Tabell 72. 128-4 L (15N-2,3BS-L) Enbart en riktning

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	150	3,6	9,5	7,7	0,87
2	160	3,8	9,5	8,3	0,8
3	173	4,55	10,1	8,9	0,75
4	147	3,9	10,1	8,8	0,83
5	187	4,7	10,2	9,5	0,78
Medelvärde	163	4,1	9,9	8,6	0,8

Tabell 73. 128-10 L (15N-5,7BS-L) Enbart en riktning

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	88	3,6	9,1	6,9	0,63
2	67	3,5	9,1	8,2	0,65
3	46	2,4	7,4	6,5	0,68
4	44	2,6	8,2	6,5	0,78
5	64	2,8	8,2	3,4	0,74
Medelvärde	62	2,9	8,4	6,3	0,7

Tabell 74. 256-1 L (30 N-1,15 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	215	3,2	10,1	10,8	4,8
2	217	3,1	10,2	10,7	5,1
3	210	3,1	10,1	11,3	4,9
4	236	3,65	10,2	11	4,77
5	225	3,9	10,2	10	4
Medelvärde	221	3,4	10,2	10,7	4,7

Tabell 75. 256-1 45 (30 N-1,15 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	228	4,35	10,1	11,7	5,42
2	216	3,89	10,1	10,3	4,7
3	211	4,01	10,22	10,8	4,66
4	217	4,1	9,9	10,5	4,5
5	212	4,1	10,1	10,8	4,85
Medelvärde	217	4,1	10,1	10,8	4,8

Tabell 76. 256-1 T (30 N-1,15 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	243	4,6	10	11,6	5,4
2	240	4,8	9,9	11,9	5,6
3	225	4,6	9,8	11,21	4,9
4	220	4,3	9,9	11,2	5,13
5	183	2,87	10,1	10,6	4,7
Medelvärde	222	4,2	9,9	11,3	5,1

Tabell 77. 256-3 L (30 N-3,45 BS L) Endast en riktning

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	138	4,5	9,9	9,2	1,3
2	127	3,8	9,6	9,1	1
3	123	3,7	9,1	8,6	0,83
4	117	3,2	8,3	7,8	0,83
5	123	3,8	9,6	9,1	0,95
Medelvärde	126	3,8	9,3	8,8	0,9

Tabell 78. 384-1 L (45 N-1,72 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	181	2,2	9,7	11,9	6
2	215	2,8	9,7	10,5	4,9
3	196	3,1	9,8	11	5,4
4	236	4,3	9,8	7,7	5,5
5	203	2,4	9,8	12,8	6,5
Medelvärde	206	2,9	9,8	10,8	5,7

Tabell 79. 384-1 45 (45 N-1,72 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	218	3,2	9,8	10,5	5,3
2	219	2,9	9,5	10,6	4,9
3	209	3,4	9,7	11,22	5,6
4	213	2,8	9,7	12,24	6,98
5	220	4	9,6	11,7	6,5
Medelvärde	216	3,3	9,7	11,3	5,9

Tabell 80. 384-1 T (45 N-1,72 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	242	3	9,4	10,2	4,6
2	244	3,1	9,5	8,7	4,6
3	238	3,6	9,5	10,7	5
4	227	3,6	9,6	11,11	5,33
5	233	3,3	9,5	10,5	4,9
Medelvärde	237	3,3	9,5	10,2	4,9

Tabell 81. 384-3 L (45 N-5,18 BS L) Endast en riktning

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	201	2,6	9,7	12,2	4,6
2	192	2,7	10,3	13,2	4,9
3	190	2,9	10,9	12,33	3,8
4	200	3,6	10,6	13,24	4,8
5	217	2,7	9,9	9,8	2,9
Medelvärde	200	2,9	10,3	12,1	4,2

Tabell 82. 512-1 L (60 N-2,3 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	187	3,86	9,7	10,89	4,4
2	183	3,9	9,66	10,85	4,48
3	166	3,287	9,364	10,7	4,81
4	166	3,903	9,695	11,15	5,648
5	186	4,026	9,625	11,11	4,653
Medelvärde	178	3,8	9,6	10,9	4,9

Tabell 83. 512-1 45 (60 N-2,3 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	195	4,421	9,546	10,73	4,869
2	184	4,378	9,57	10,4	4,818
3	171	3,393	9,422	8,9	2,659
4	188	4,51	9,558	10,58	4,9
5	190	4,378	9,369	10,19	4,394
Medelvärde	186	4,2	9,5	10,2	4,3

Tabell 84. 512-1 T (60 N-2,3 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	207	4,76	9,295	9,284	3,534
2	196	4,1439	9,605	10,1	4,52
3	181	3,6598	9,391	9,183	2,213
4	198	4,1	9,428	10,27	4,458
5	173	3,528	9,379	6,618	2,103
Medelvärde	191	4,0	9,4	9,1	3,4

Tabell 85. 640-1 L (75 N-2,88 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	222	3,9	9,8	11,4	4,6
2	211	2,9	9,3	11	4,4
3	218	3,8	10,1	11,9	4,5
4	240	3,9	9,8	11,4	4,6
5	218	3,9	9,8	11,3	4,5
Medelvärde	222	3,7	9,8	11,4	4,5

Tabell 86. 640-1 45 (75 N-2,88 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	214	3,8	9,8	10,42	4,3
2	218	4,2	9,6	9,1	2,2
3	196	3,2	9,8	11	5,5
4	211	3,9	10,23	10,7	4,8
5	207	3,8	10,2	10,36	4,3
Medelvärde	209	3,8	9,9	10,3	4,2

Tabell 87. 640-1 T (75 N-2,88 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	212	3,8	9,45	10,3	4,7
2	216	3,8	9,8	9,5	4,7
3	212	3,7	9,6	9,4	3
4	210	4,2	9,6	9,6	2,3
5	208	4,2	9,4	7,8	1,9
Medelvärde	212	3,9	9,6	9,3	3,3

Tabell 88. 768-1 L (90 N-3,45 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	221	3,79	9,5	10,3	4,6
2	214	2,99	9,6	10,5	4,9
3	204	3,,84	10,7	10,23	4,6
4	230	3,64	10	10,5	4,48
5	213	3,39	10,6	9,6	4,16
Medelvärde	216	3,6	10,1	10,2	4,5

Tabell 89. 768-1 45 (90 N-3,45 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	220	3,23	9,4	9,8	5,18
2	211	3,23	9,5	10,2	5,23
3	204	3,28	9,5	10	5,22
4	216	3,13	9,6	9,8	5
5	244	4,2	10,3	10,2	4,99
Medelvärde	219	3,4	9,7	10	5,1

Tabell 90. 768-1 T (90 N-3,45 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	253	3,3	9,9	8,9	3,5
2	233	2,65	9,5	8,8	2,3
3	271	3,35	9,7	8,9	1,75
4	266	3,2	9,3	1,4	0,75
5	245	2,88	9,4	8,9	4,1
Medelvärde	255	3,1	9,6	7,4	2,5

Tabell 91. 982-1 L (115 N-4,41 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	190	2,6	9,7	4,2	1,87
2	226	3,36	9,5	2,9	1,14
3	194	2,4	9,3	8,6	4
4	219	2,88	9,2	4,6	2,4
5	200	3,19	9,5	10,78	5,26
Medelvärde	206	2,9	9,4	6,2	2,9

Tabell 92. 982-1 45 (115 N-4,41 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	205	3,44	9,6	3,1	5,2
2	225	3,03	9,5	8,6	4,8
3	216	3,13	9,1	7,1	4,85
4	227	3,34	9,2	8,5	3,1
5	249	3,85	9,1	6,9	2,97
Medelvärde	224	3,4	9,3	6,8	4,2

Tabell 93. 982-1 T (115 N-4,41 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	255	3,47	9,6	3	0,77
2	224	3,47	9,5	8,6	1,43
3	204	2,7	9,1	7,2	1,56
4	229	3,47	9,1	8,3	1,9
5	253	3,3	9,1	7,1	1,64
Medelvärde	233	3,3	9,3	6,8	1,5

Tabell 94. 1025-1 L (120 N-4,61 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	243	3,65	10,64	11,66	5,3
2	212	2,34	10,5	11,3	5,14
3	235	3,32	10,7	11,4	4,97
4	255	3,32	11	11,7	4,77
5	243	3,65	11,64	11,67	5,31
Medelvärde	238	3,3	10,9	11,5	5,1

Tabell 95. 1025-1 45 (120 N-4,61 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	254	3,94	10,8	9,6	3,2
2	271	3,59	10,47	10,9	5,03
3	254	3,82	10,64	10	5,18
4	263	5,23	11	10,8	5,27
5	243	3,47	11	5,6	4,8
Medelvärde	257	4,0	10,8	9,4	4,7

Tabell 96. 1025-1 T (120 N-4,61 BS T)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	344	3,16	10,73	8,8	1,5
2	387	3,16	10,26	2,9	0,7
3	302	2,7	10,3	6	3,1
4	294	2,71	9,9	8,3	2,25
5	283	2,42	10,21	9,3	1,7
Medelvärde	322	2,8	10,3	7,1	1,8

Tabell 97. 1153-1 L (135 N-5,18 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	259	4,3	11,85	12,54	5,9
2	243	3,57	11,21	12,3	6
3	280	4,98	11,9	12,18	5,1
4	241	3,9	11,33	11,72	5,4
5	248	3,5	11	11,6	4,83
Medelvärde	254	4,1	11,5	12,1	5,5

Tabell 98. 1153-1 45 (135 N-5,18 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	305	3,3	11,4	3,1	1,4
2	321	3,4	11,46	7,6	2,6
3	290	3,8	11,3	10,3	3,5
4	282	3,36	11	8,1	2,78
5	257	2,96	11,1	9,9	3,7
Medelvärde	291	3,4	11,3	7,8	2,8

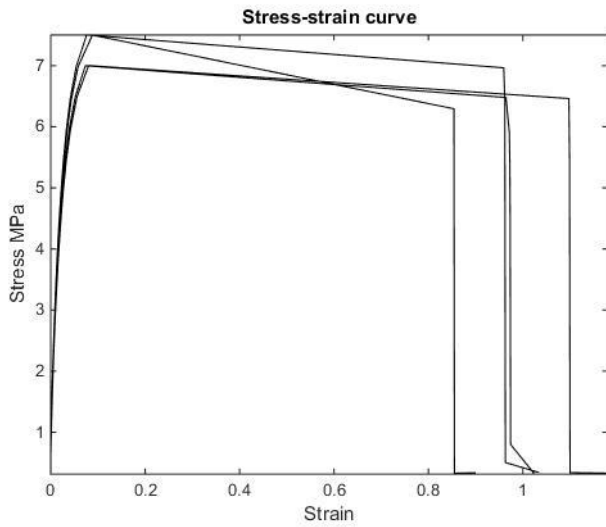
Tabell 99. 1281 -1 L (150 N-5,76 BS L)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	292	4,7	12,6	13,21	4,5
2	272	3,44	11,98	12,77	4,5
3	262	3,25	11,78	12,26	4,3
4	273	3,6	12,13	12,76	4,7
5	258	3,56	11,41	12,55	4,68
Medelvärde	271	3,7	12,0	12,7	4,5

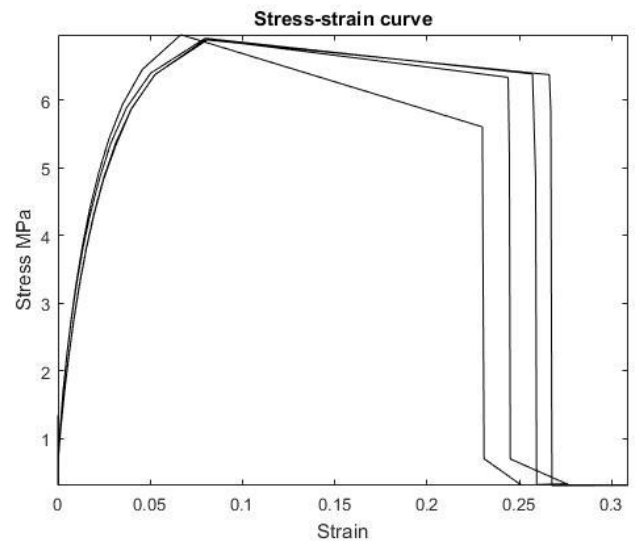
Tabell 100. 1281 -1 45 (150 N-5,76 BS 45)

Provnummer (#)	Tensile modulus (MPa)	Rp 0.1 (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at failure (%)
1	332	4,1	11,9	4,1	1,4
2	287	3,4	11,72	9,9	3,16
3	262	3,47	11,5	10,24	4,23
4	251	2,5	11,53	11,7	4,84
5	288	3	11,5	4,5	1,6
Medelvärde	284	3,3	11,6	8,1	3,0

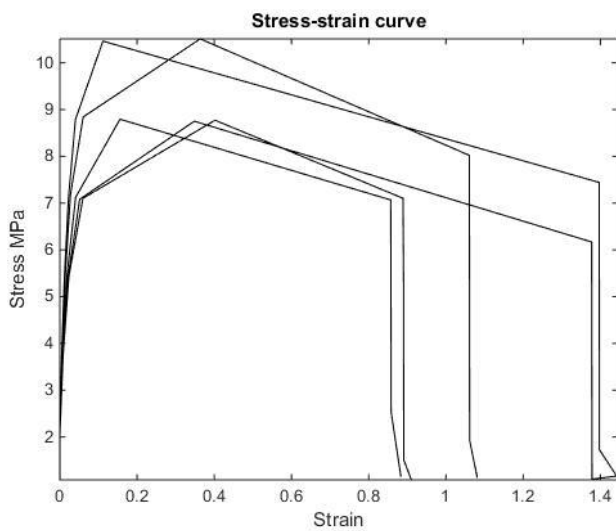
Grafer för GNP+LDPE M5 7,5 wt-%



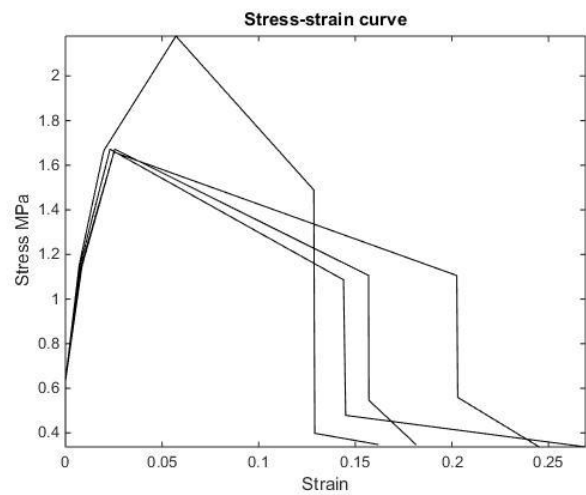
Figur 15. 128-1 L (15N-0,57 BS L)



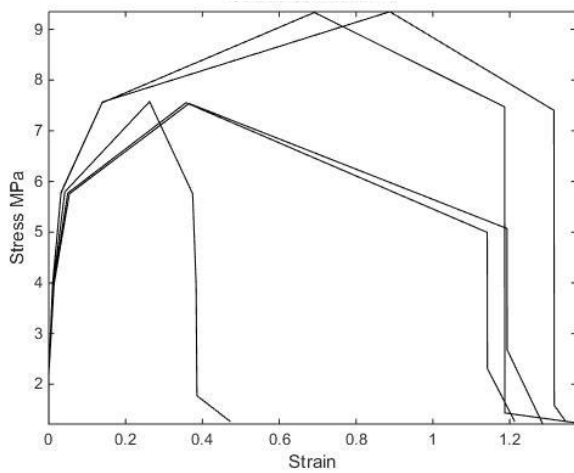
Figur 16. 128-1 T (15N-0,57 BS T)



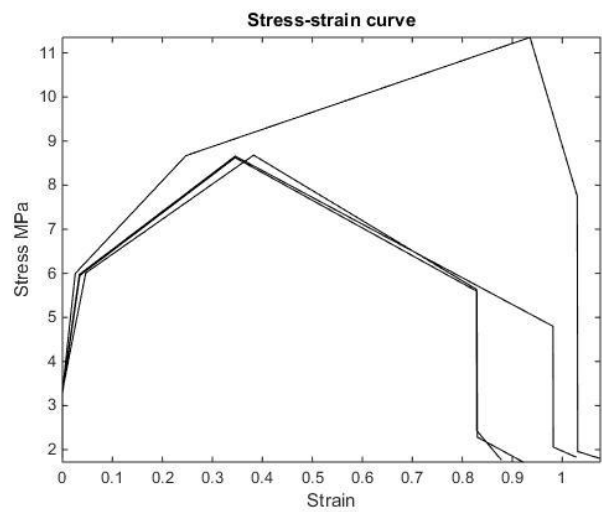
Figur 17. 128-3 L (15N-1,72 BS-L)



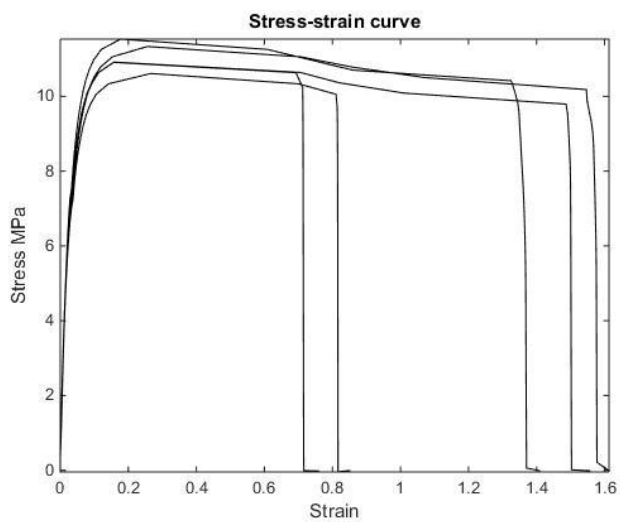
Figur 18. 128-3 T (15N-1,72 BS-T)



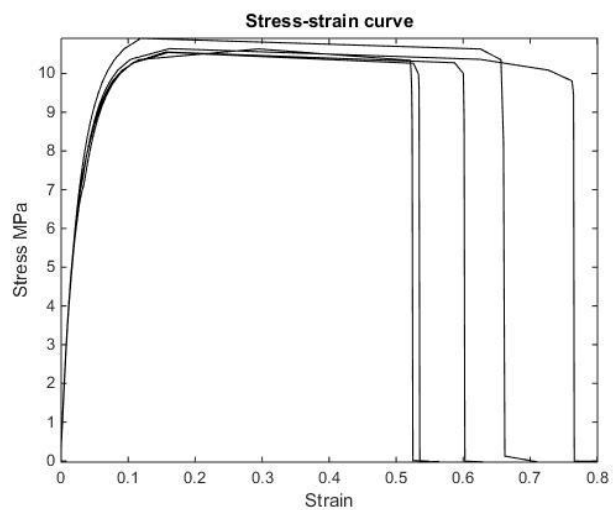
Figur 19. 128-4 L (15N-2,3BS-L) Enbart en riktning



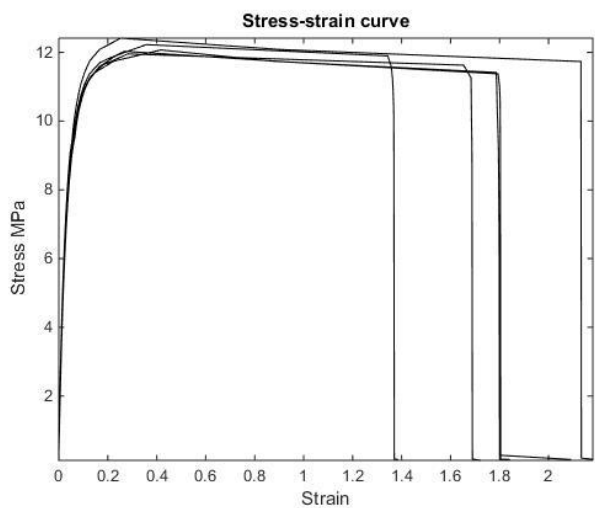
Figur 20. 128-10 L (15N-5,7BS-L) Enbart en riktning



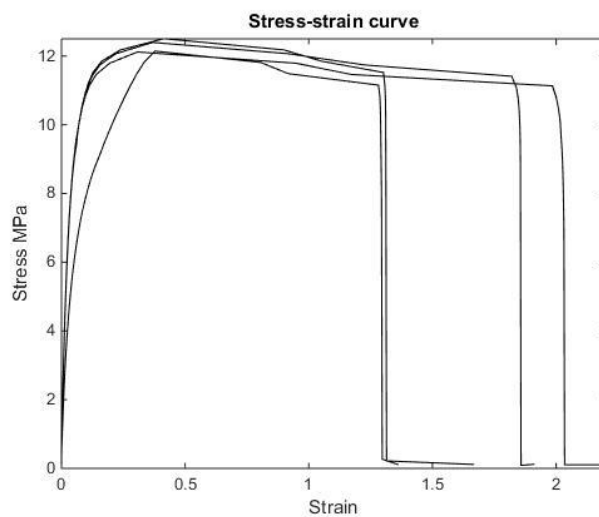
Figur 21. 256-1 L (30 N-1,15 BS L)



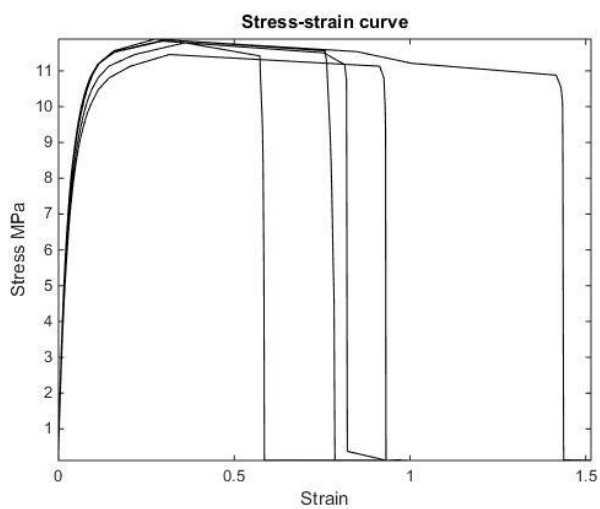
Figur 22. 256-1 T (30 N-1,15 BS T)



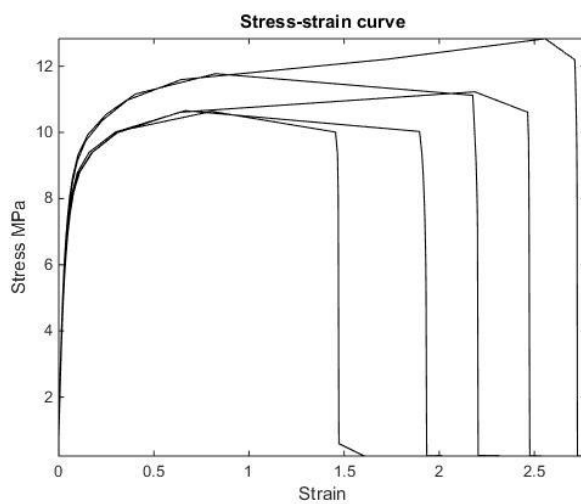
Figur 23. 384,237-1 L (45 N-1,72 BS L)



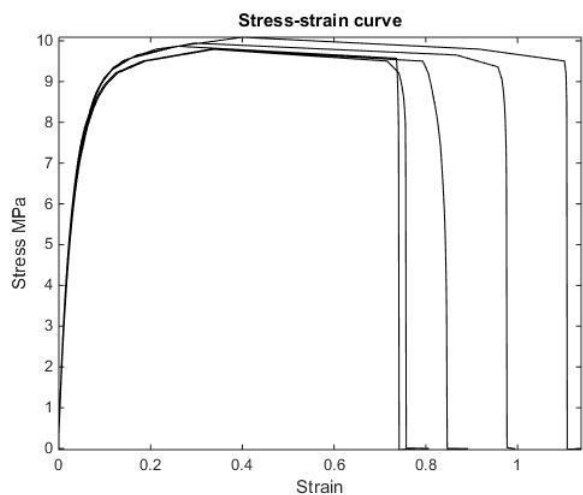
Figur 24. 384,237-1 45 (45 N-1,72 BS 45)



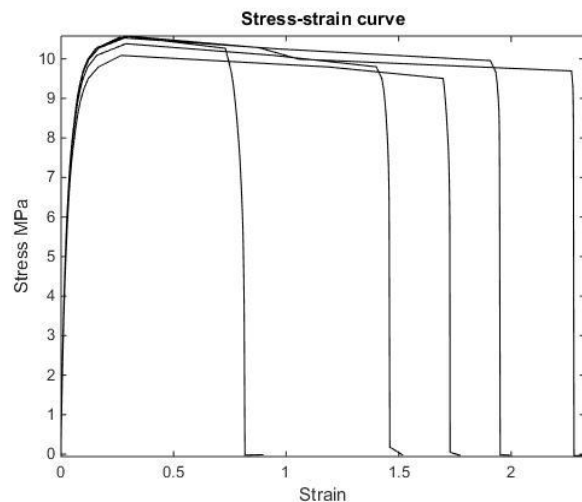
Figur 25. 384,237-1 T (45 N-1,72 BS T)



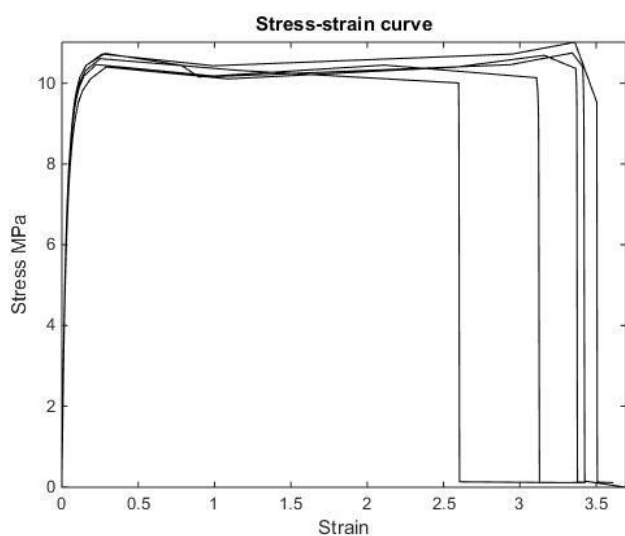
Figur 26. 384,237-3 L (45 N-5,18 BS L) Endast en riktning.



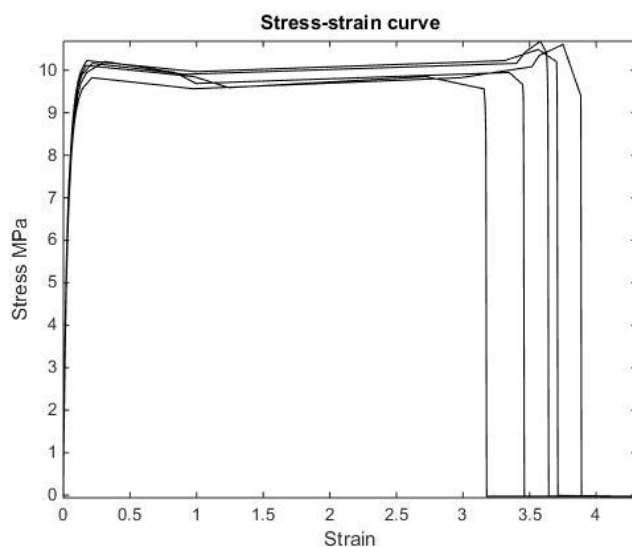
Figur 27. 512,317-1 L (60 N-2,3 BS L)



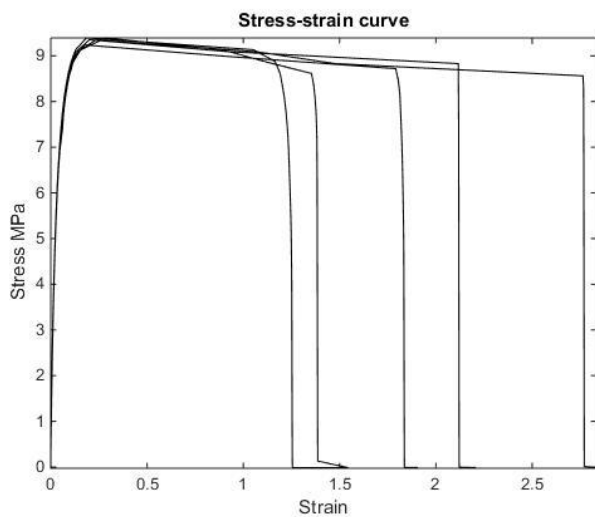
Figur 28. 512,317-1 45 (60 N-2,3 BS 45)



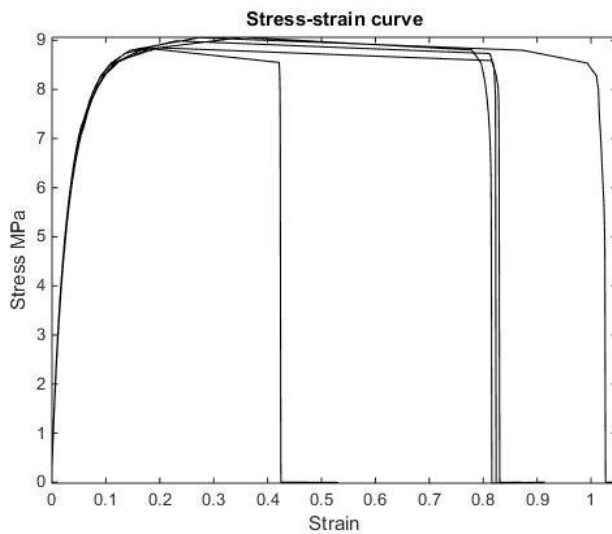
Figur 29. 512,317-1 T (60 N-2,3 BS T)



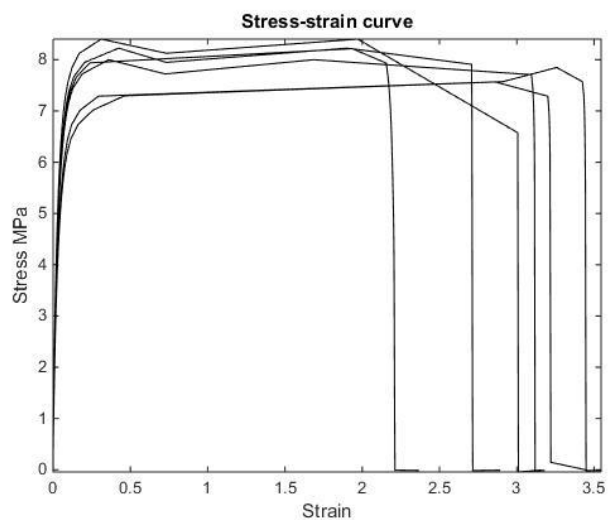
Figur 30. 640,396-1 L (75 N-2,88 BS L)



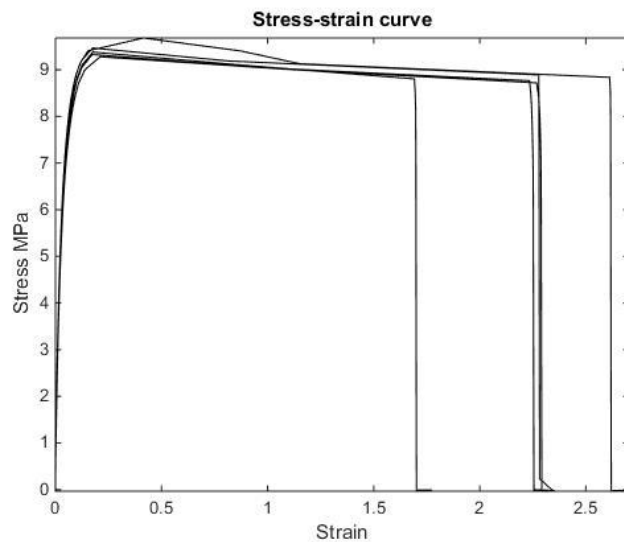
Figur 31. 640,396-1 45 (75 N-2,88 BS 45)



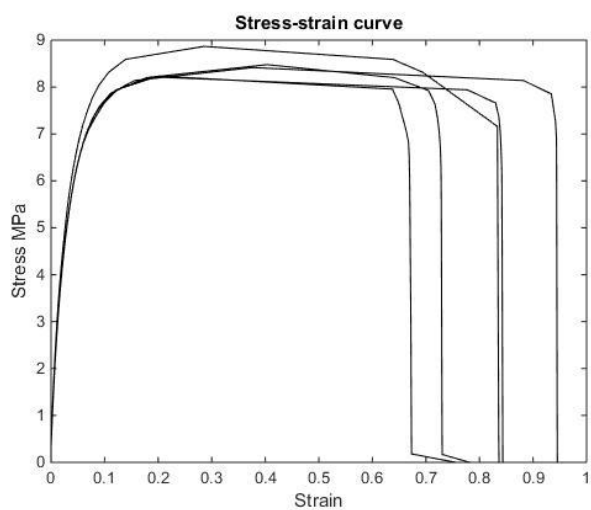
Figur 32. 640,396-1 T (75 N-2,88 BS T)



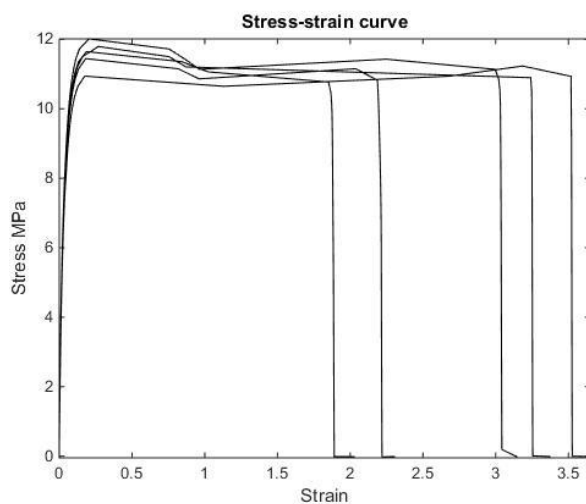
Figur 33. 768-1 L (90 N-3,45 BS L)



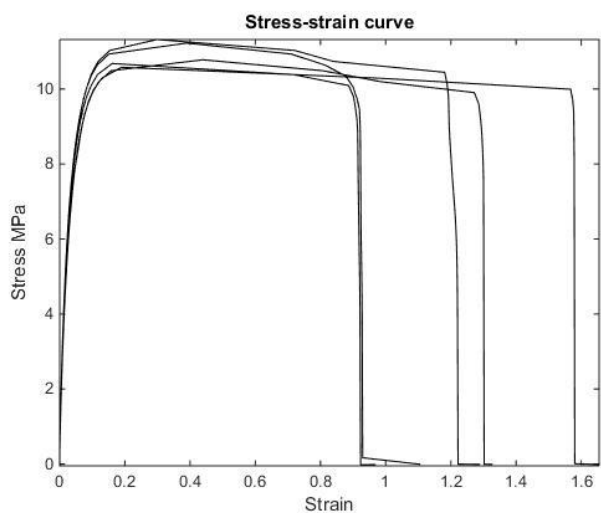
Figur 34. 768-1 45 (90 N-3,45 BS 45)



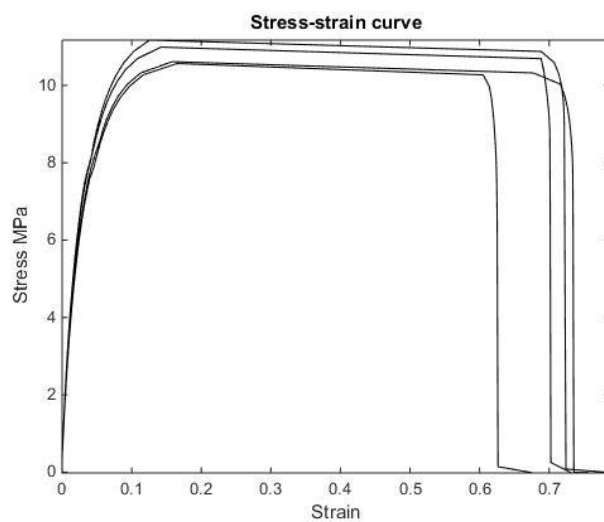
Figur 35. 768-1 T (90 N-3,45 BS T)



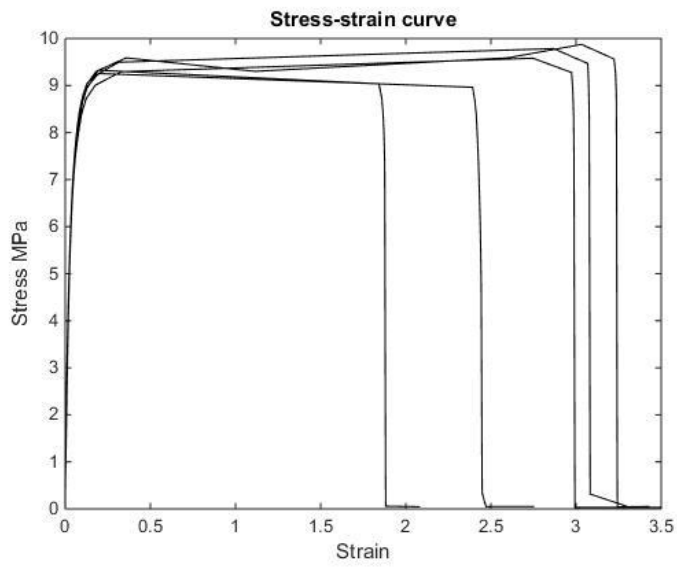
Figur 36. 982-1 L (115 N-4,41 BS L)



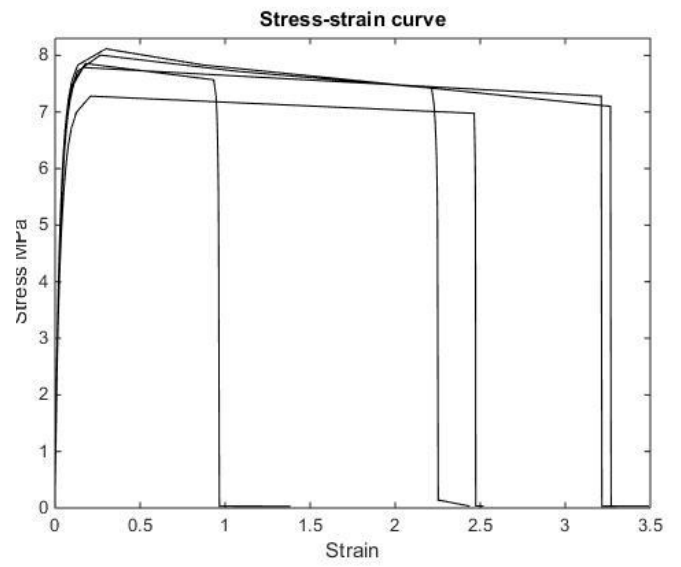
Figur 37. 982-1 45 (115 N-4,41 BS 45)



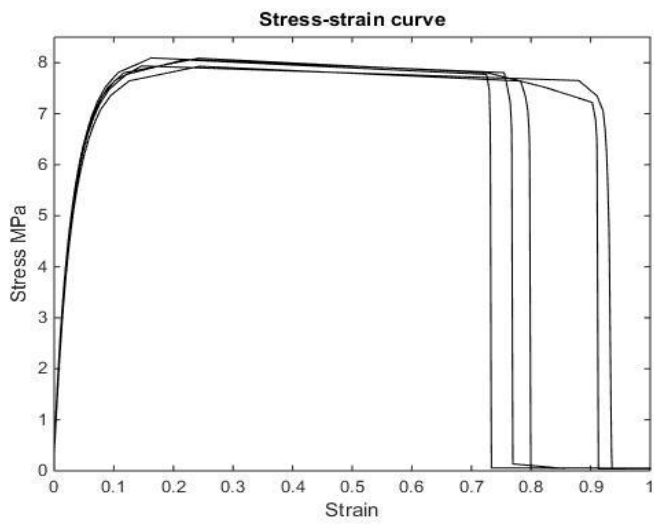
Figur 38. 982-1 T (115 N-4,41 BS T)



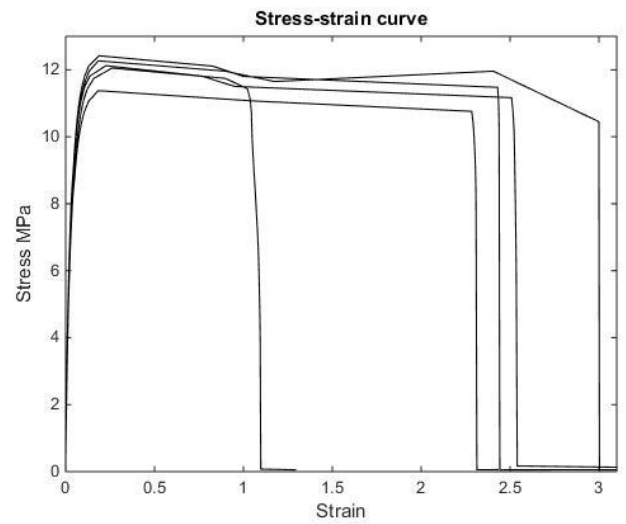
Figur 39. 1025-1 L (120 N-4,61 BS L)



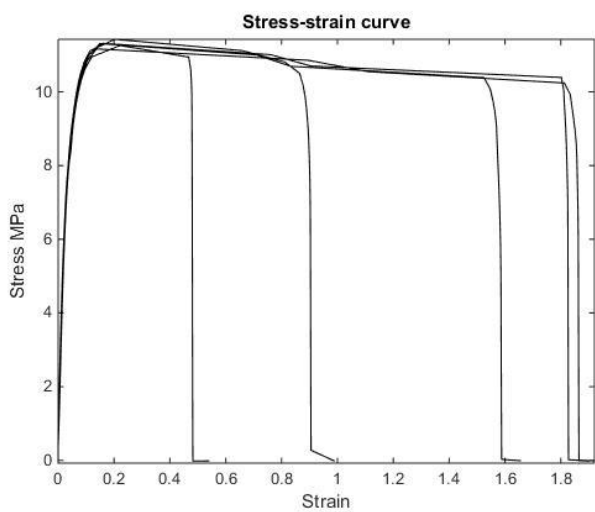
Figur 40. 1025-1 45 (120 N-4,61 BS 45)



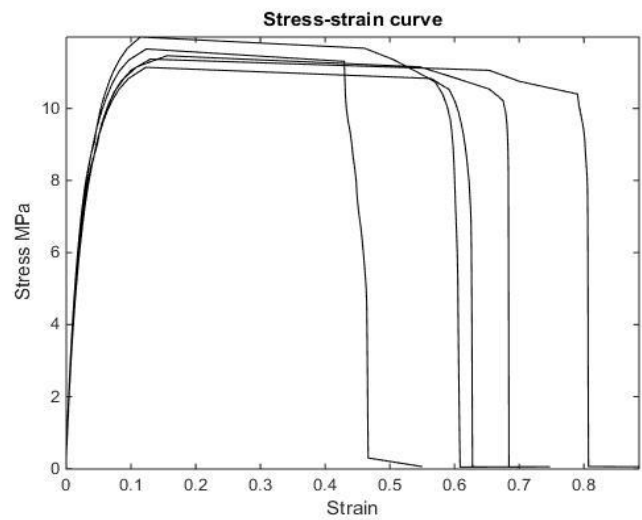
Figur 41. 1025-1 T (120 N-4,61 BS T)



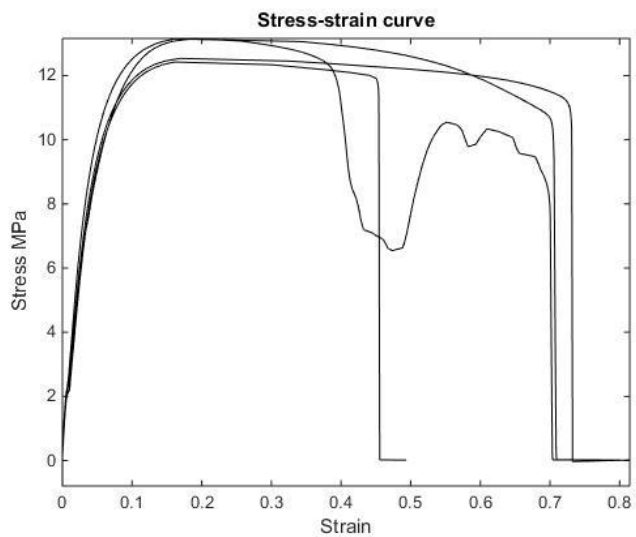
Figur 42. 1153-1 L (135 N-5,18 BS L)



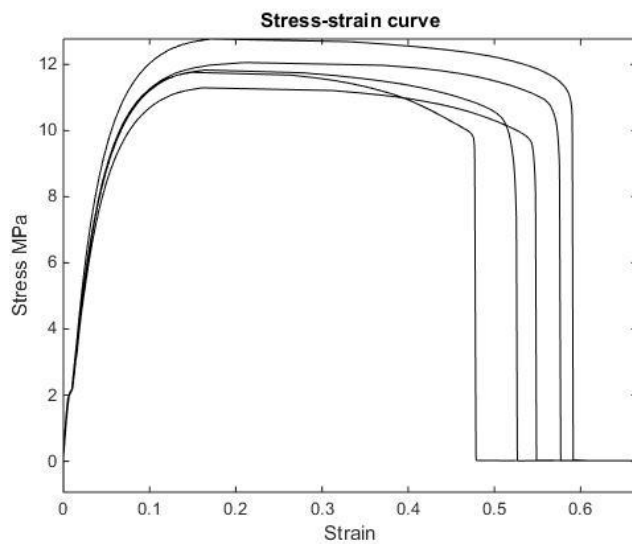
Figur 43. 1153-1 45 (135 N-5,18 BS 45)



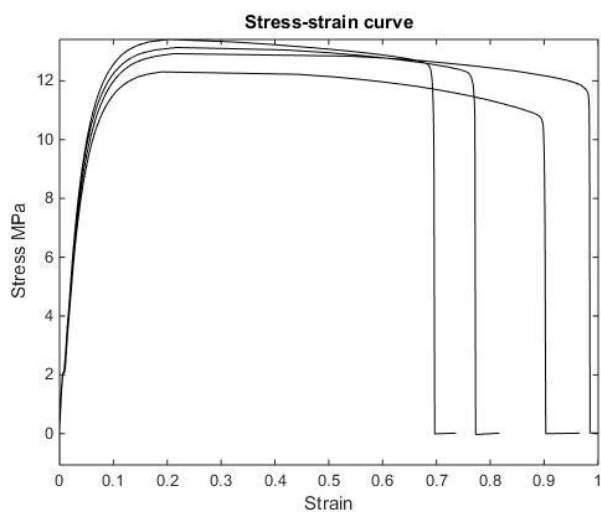
Figur 44. 1153-1 T (135 N-5,18 BS T)



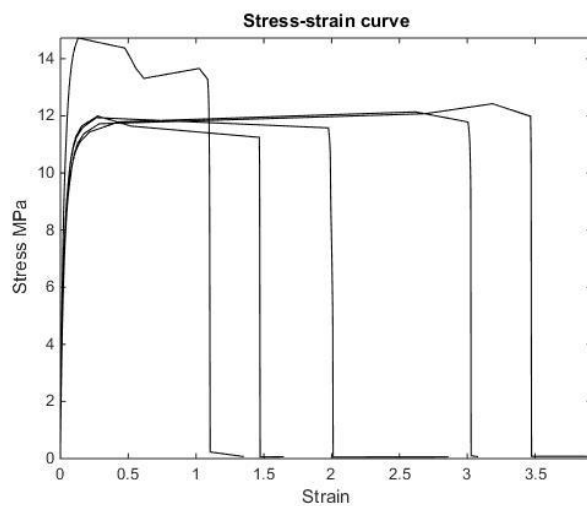
Figur 45. 1281 L (150 N-0,57 BS L)



Figur 46. 1281 45 (150 N-0,57 BS 45)

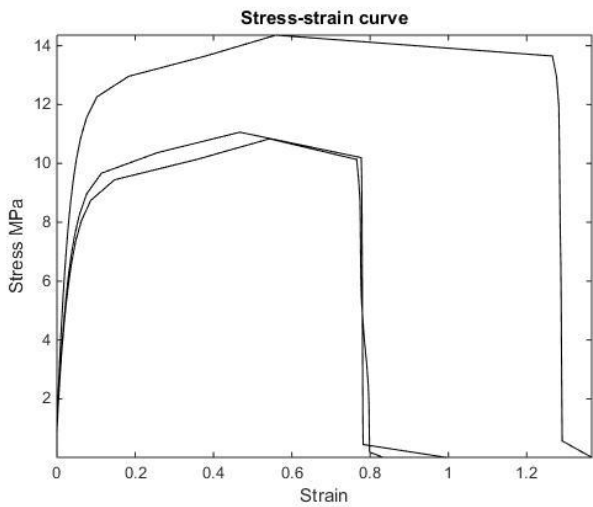


Figur 47. 1281 T (150 N-0,57 BS T)

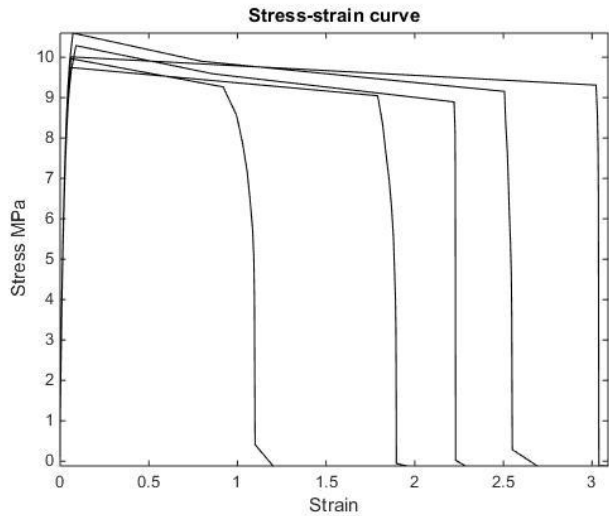


Figur 48. 1281 -1 L (150 N-5,76 BS L)

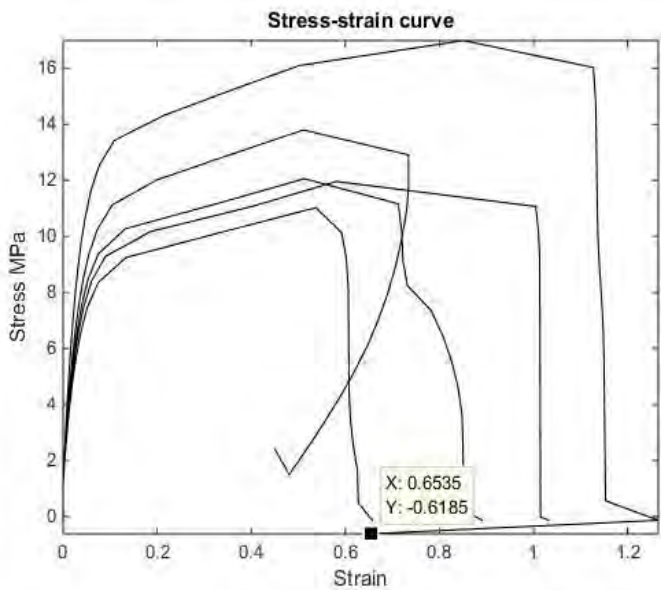
Grafer för GNP+LDPE M5 1,5 wt-%



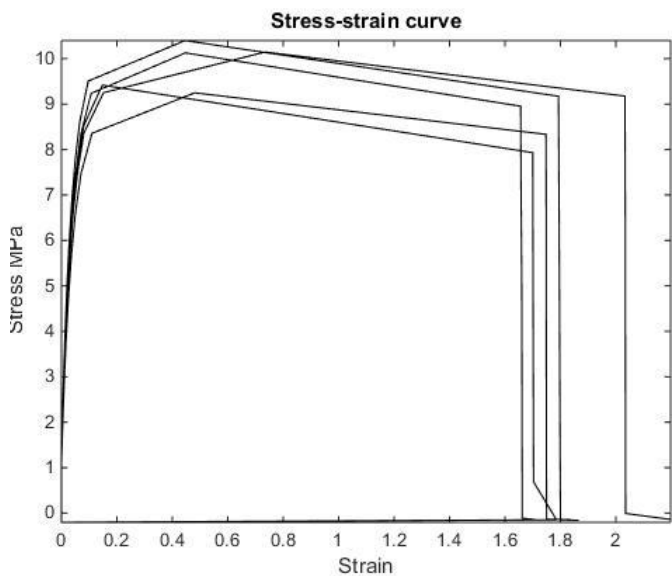
Figur 49. 128-3 L (15N-1,72 BS-L)



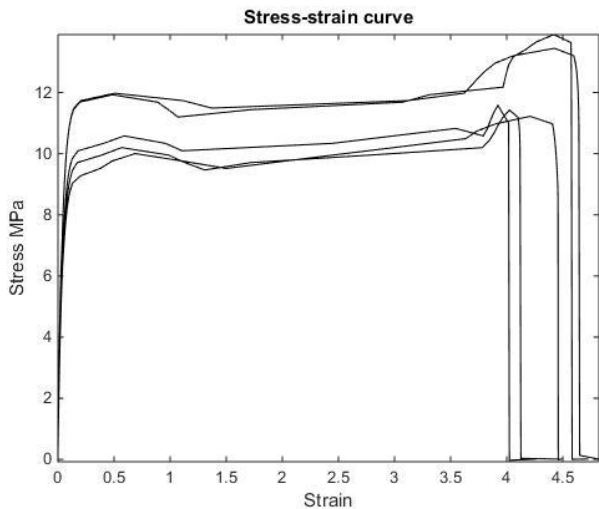
Figur 50. 128-3 T (15N-1,72 BS-T)



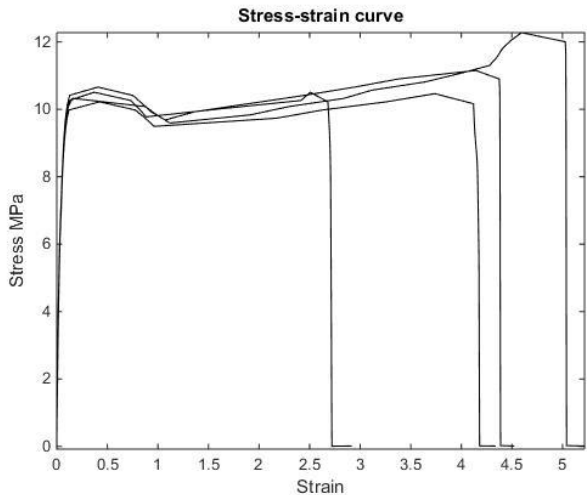
Figur 51. 128-4 L (15N-2,3BS-L)



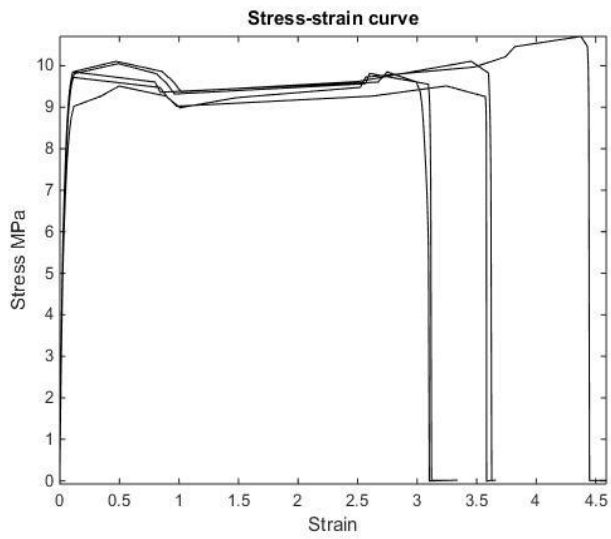
Figur 52. 128-4 45 (15N-2,3BS-45)



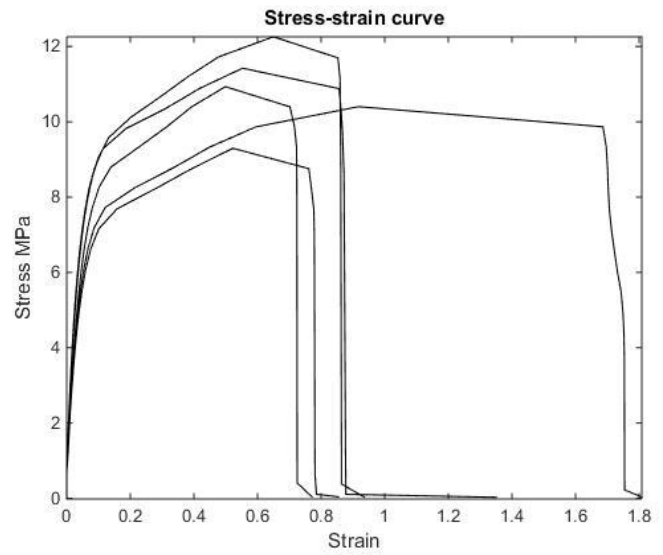
Figur 53. 256-1 L (30 N-1,15 BS L)



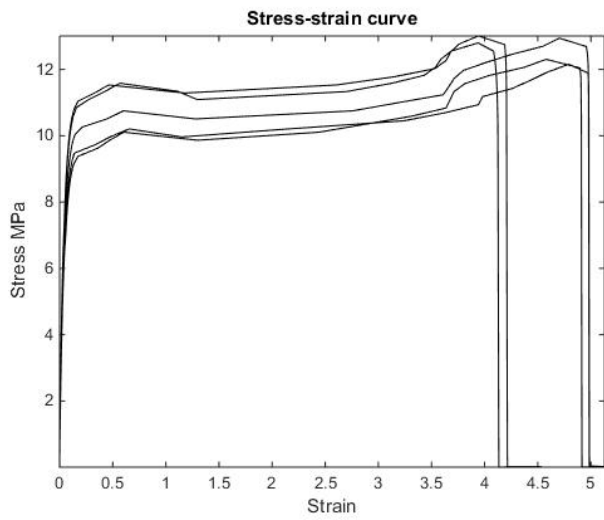
Figur 54. 256-1 45 (30 N-1,15 BS 45)



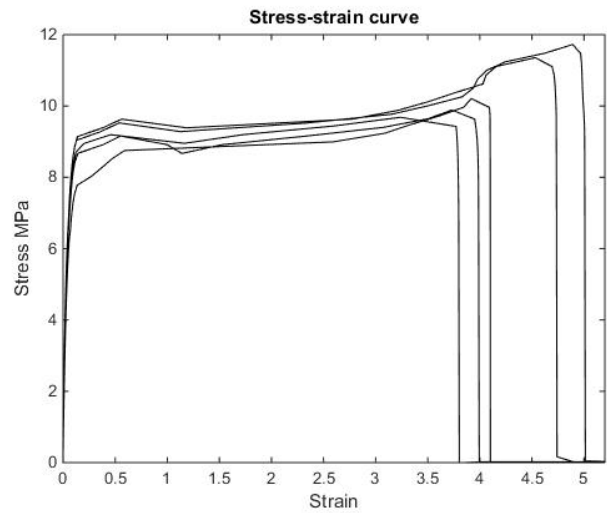
Figur 55. 256-1 T (30 N-1,15 BS T)



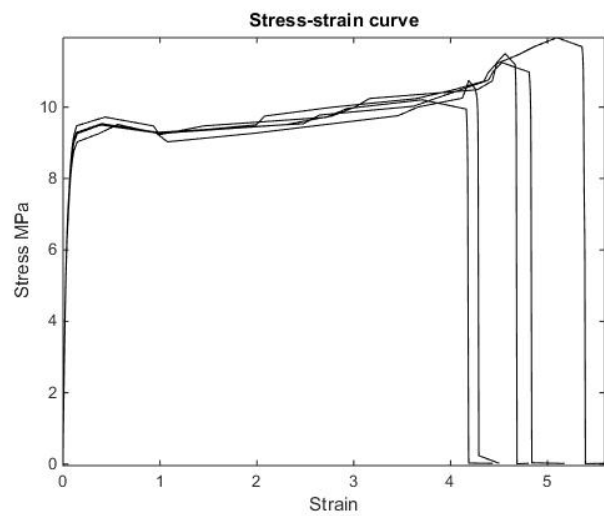
Figur 56. 256-3 L (30 N-3,45 BS L) Endast en riktning



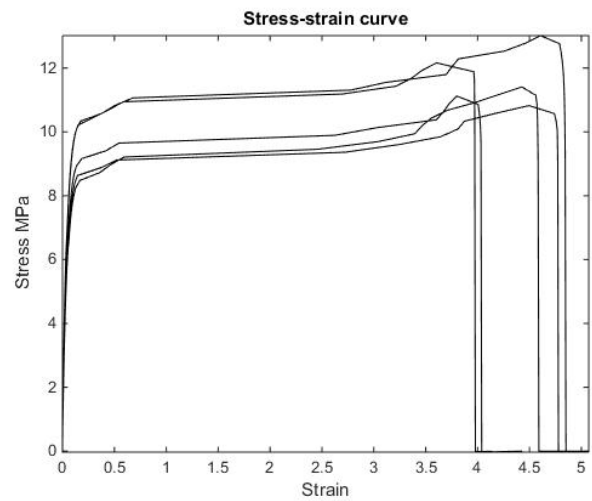
Figur 57. 384,237-1 L (45 N-1,72 BS L)



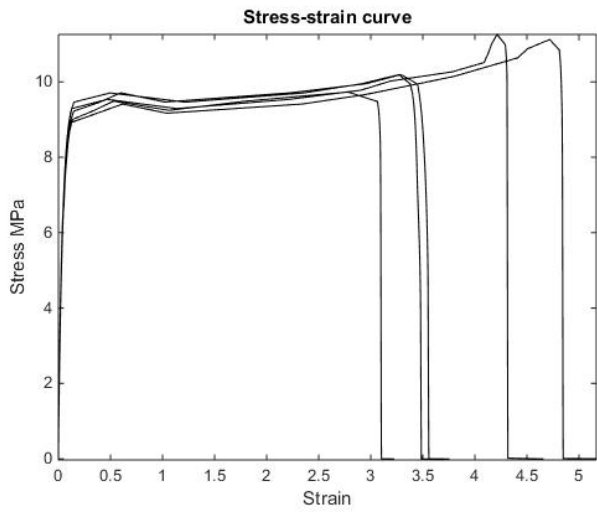
Figur 58. 384,237-1 45 (45 N-1,72 BS 45)



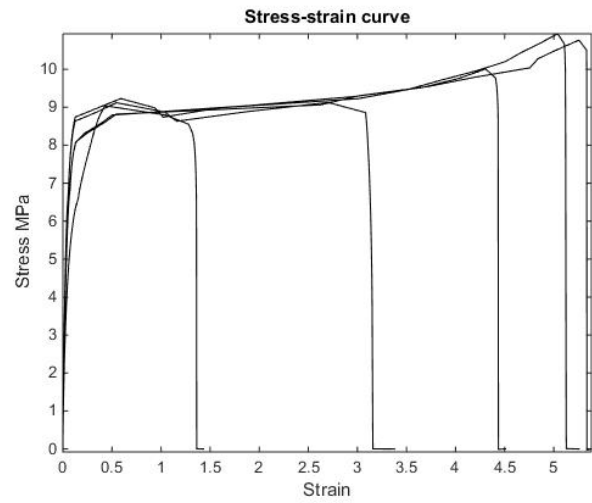
Figur 59. 384,237-1 T (45 N-1,72 BS T)



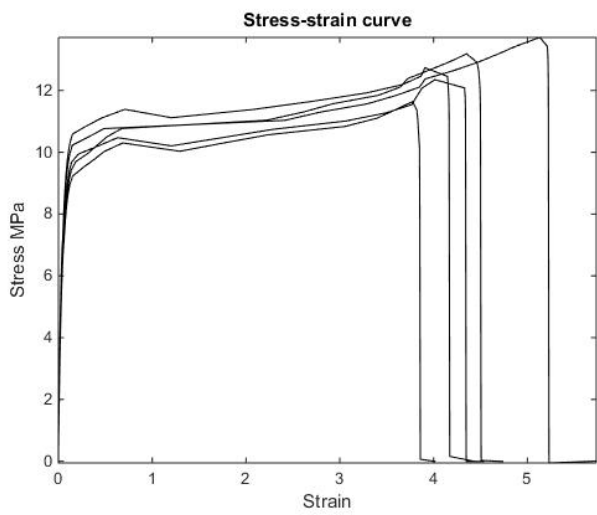
Figur 60. 512,317-1 L (60 N-2,3 BS L)



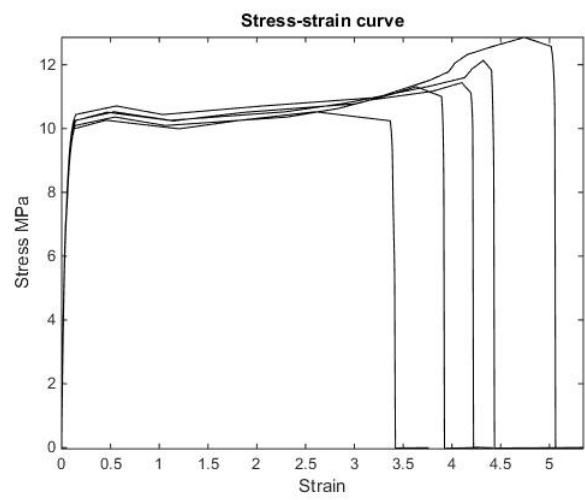
Figur 61. 512,317-1 45 (60 N-2,3 BS 45)



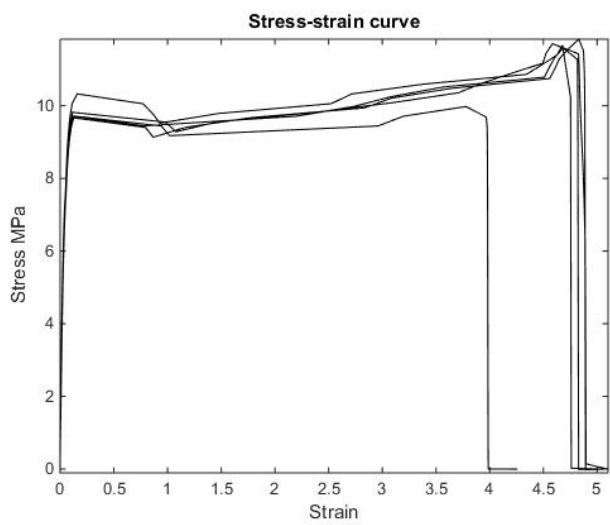
Figur 62. 512,317-1 T (60 N-2,3 BS T)



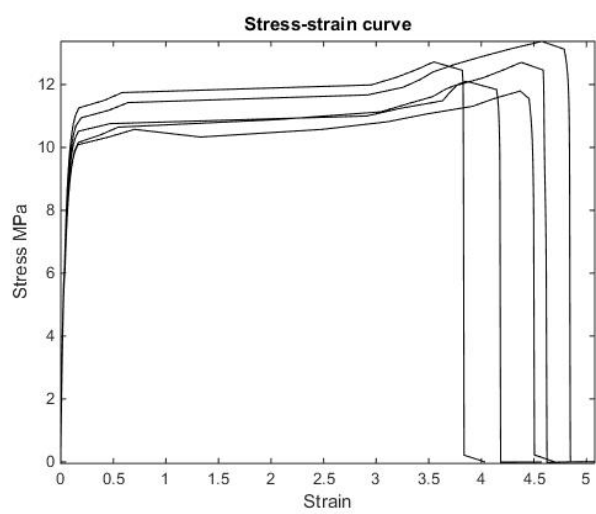
Figur 63. 640,396-1 L (75 N-2,88 BS L)



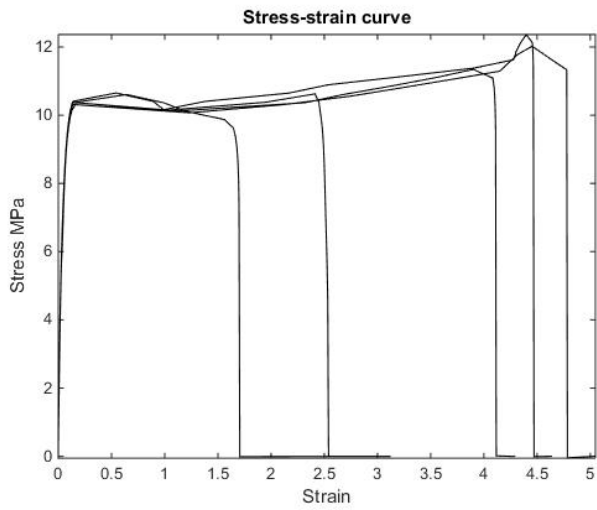
Figur 64. 640,396-1 45 (75 N-2,88 BS 45)



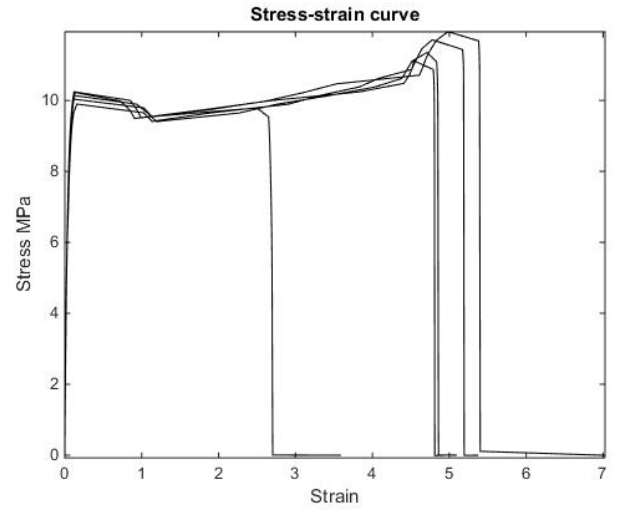
Figur 65. 640,396-1 T (75 N-2,88 BS T)



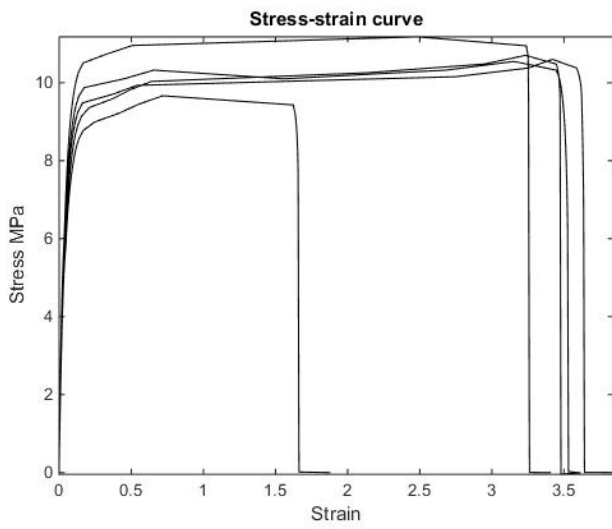
Figur 66. 768-1 L (90 N-3,45 BS L)



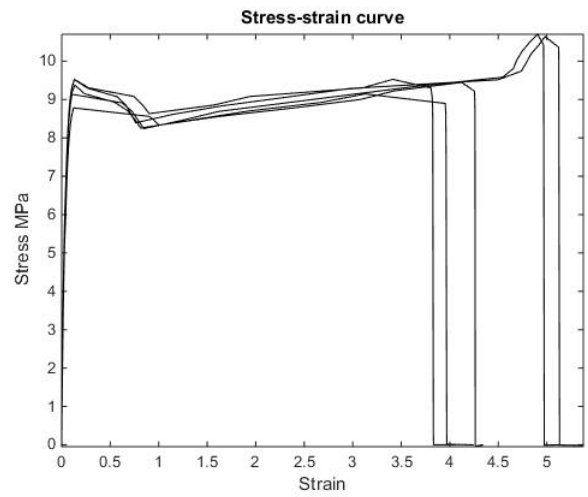
Figur 67. 768-1 45 (90 N-3,45 BS 45)



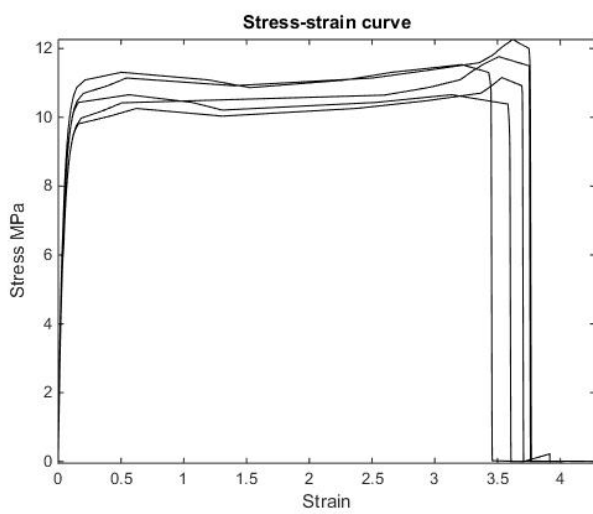
Figur 68. 768-1 T (90 N-3,45 BS T)



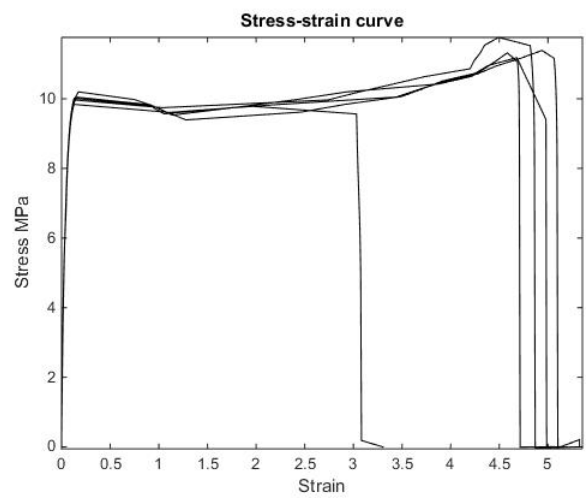
Figur 69. 982-1 L (115 N-4,41 BS L)



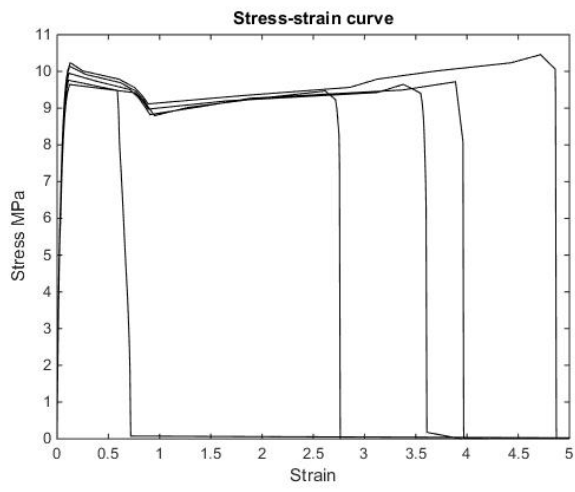
Figur 70. 982-1 T (115 N-4,41 BS T)



Figur 71. 1025-1 L (120 N-4,61 BS L)

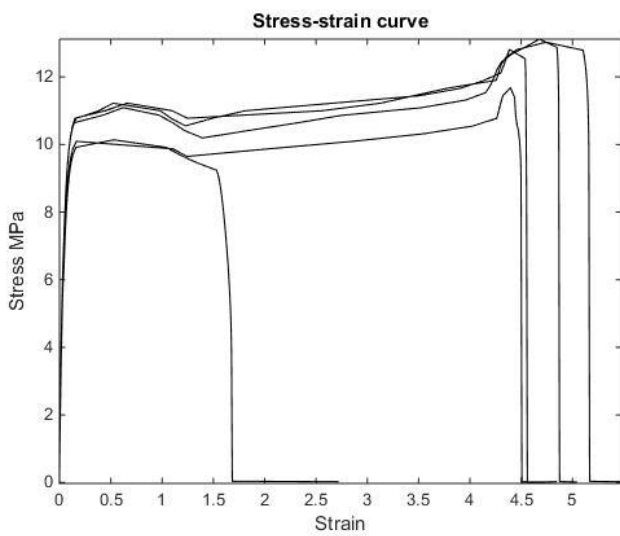


Figur 72. 1025-1 45 (120 N-4,61 BS 45)

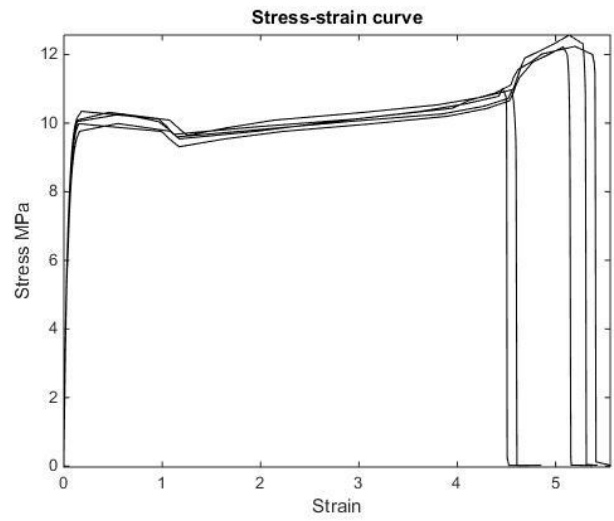


Figur 73. 1025-1 T (120 N-4,61 BS T)

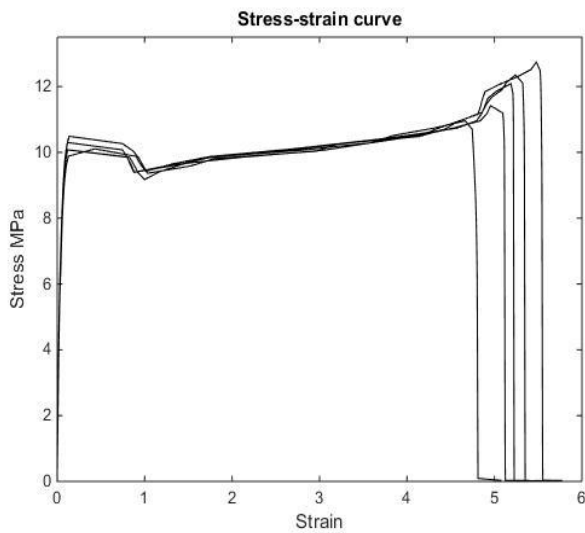
Grafer LDPE



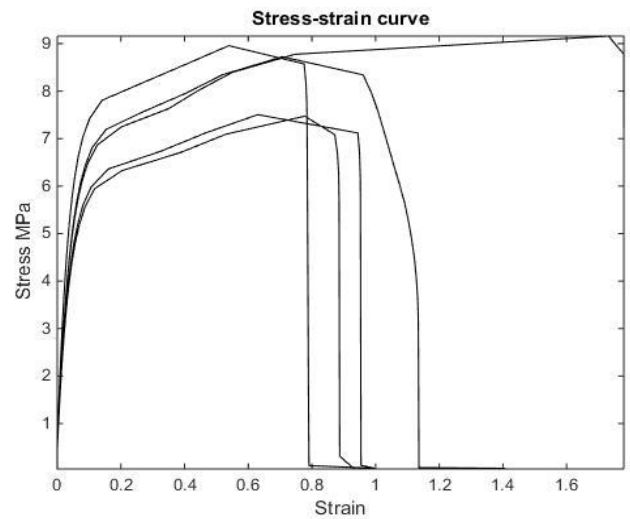
Figur 74. 128 -1 L (15N-0,57 BS L)



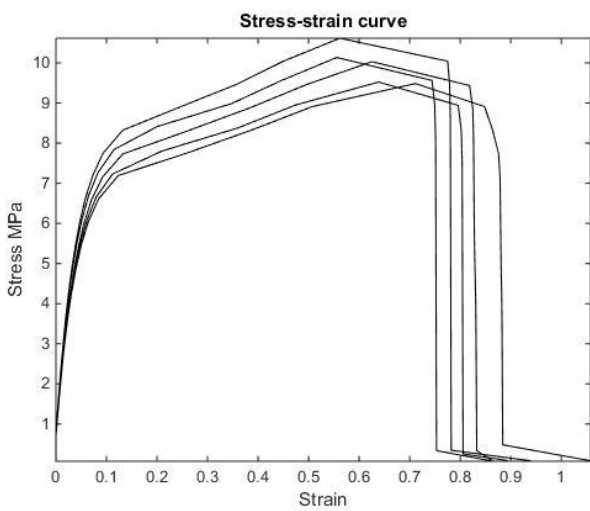
Figur 75. 128 -1 45 (15N-0,57 BS 45)



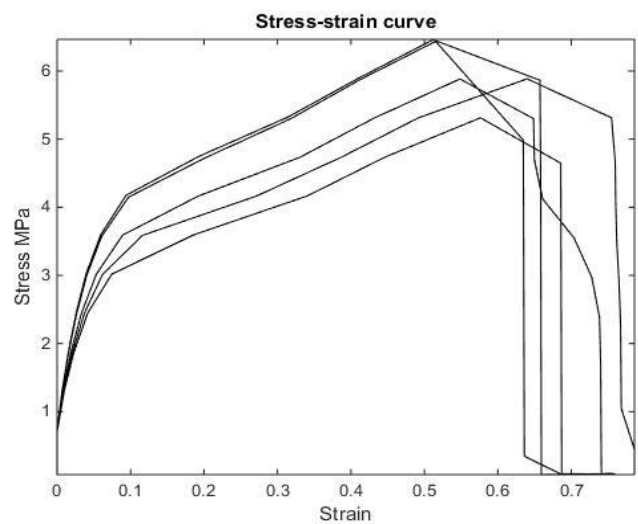
Figur 76. 128 -1 T (15N-0,57 BS T)



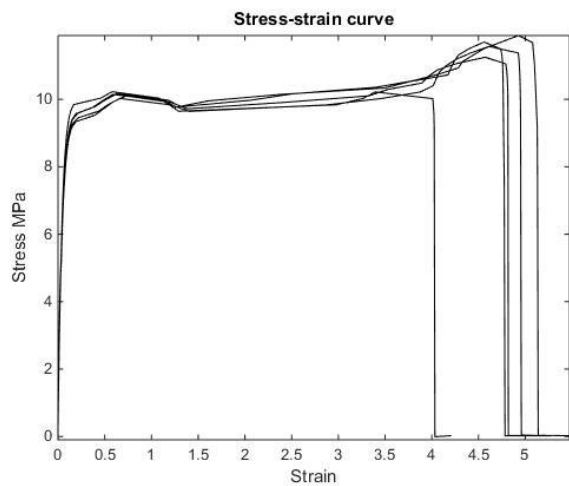
Figur 77. 128-3 L (15N-1,72 BS-L) Endast en riktning



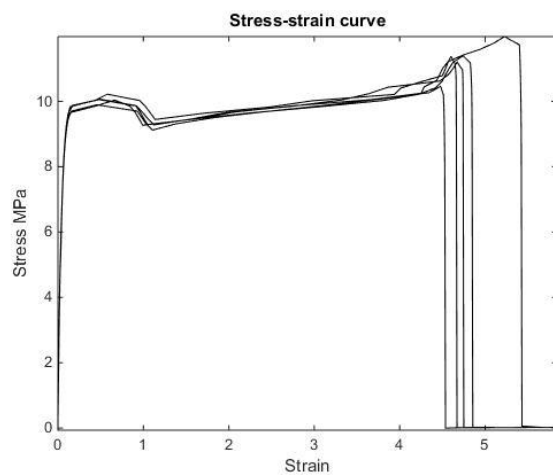
Figur 78. 128-4 L (15N-2,3BS-L) Enbart en riktning



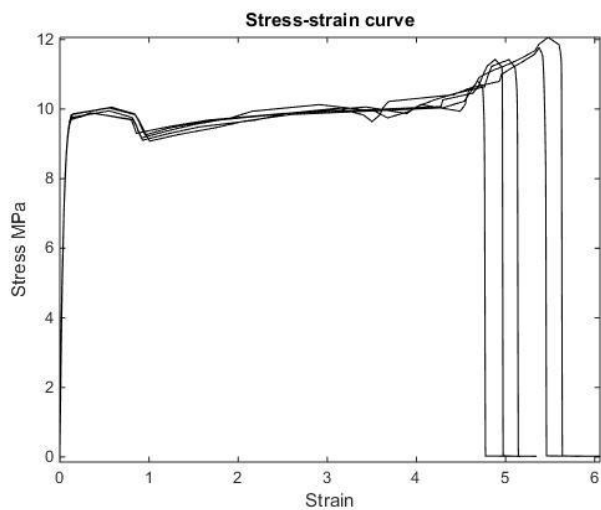
Figur 79. 128-10 L (15N-5,7BS-L) Enbart en riktning



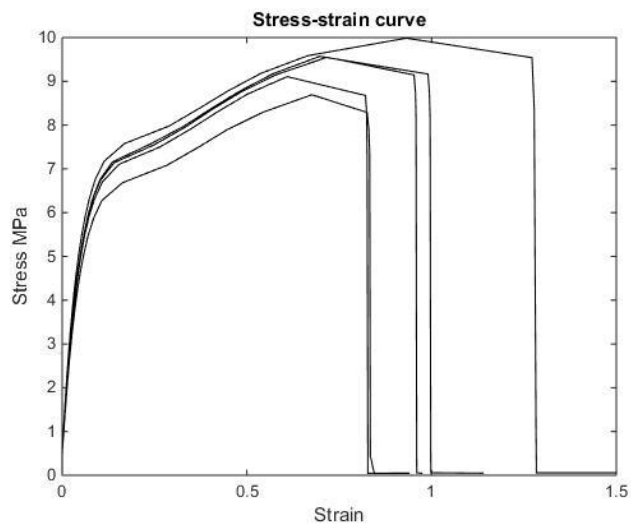
Figur 80. 256-1 L (30 N-1,15 BS L)



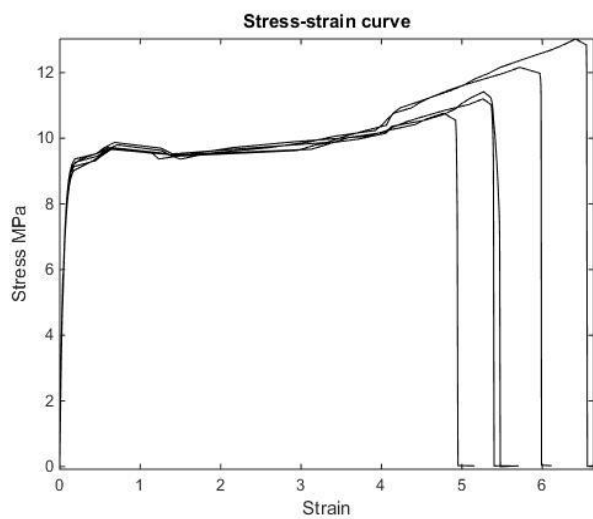
Figur 81. 256-1 45 (30 N-1,15 BS 45)



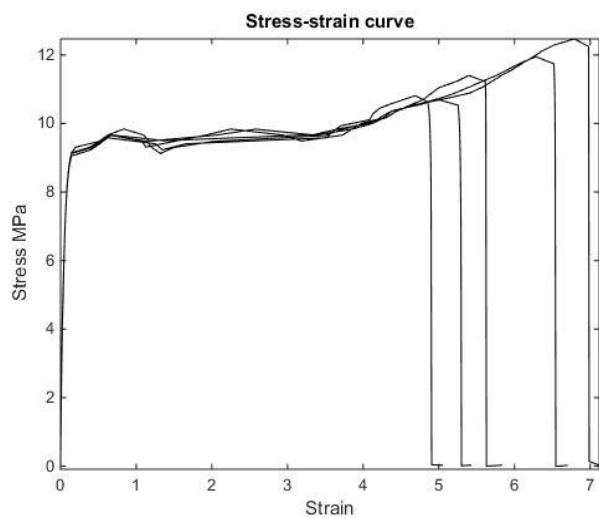
Figur 82. 256-1 T (30 N-1,15 BS T)



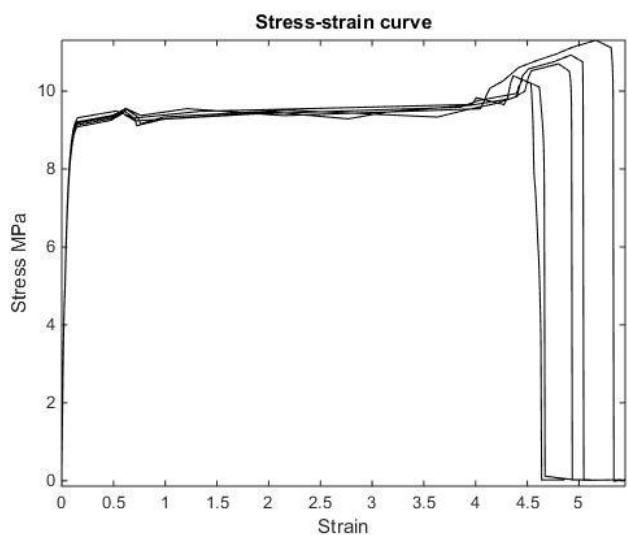
Figur 83. 256-3 L (30 N-3,45 BS L) Endast en riktning



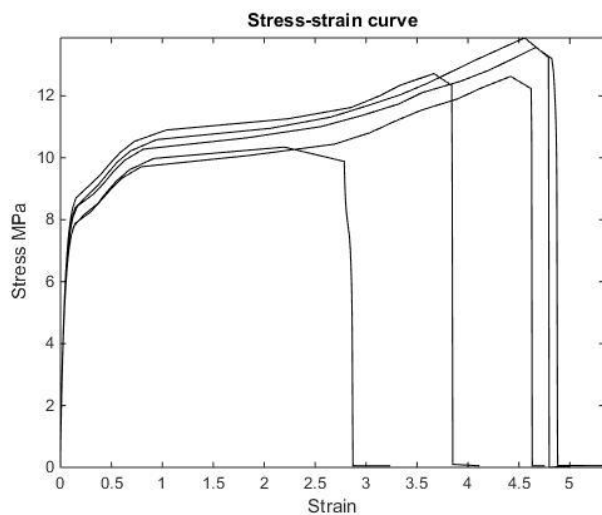
Figur 84. 384,237-1 L (45 N-1,72 BS L)



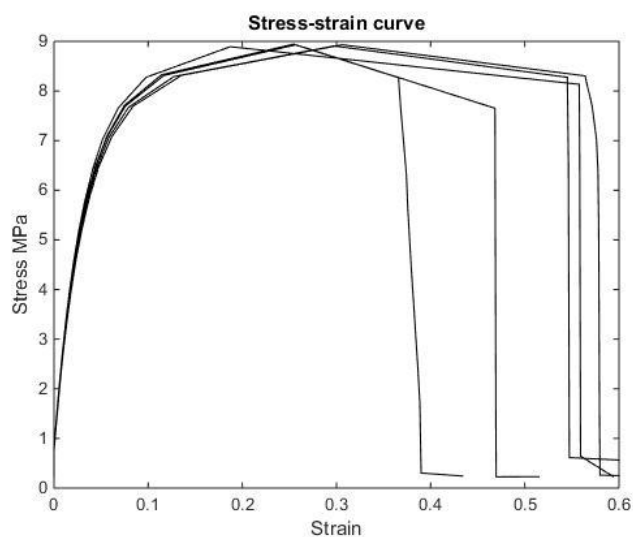
Figur 85. 384,237-1 45 (45 N-1,72 BS 45)



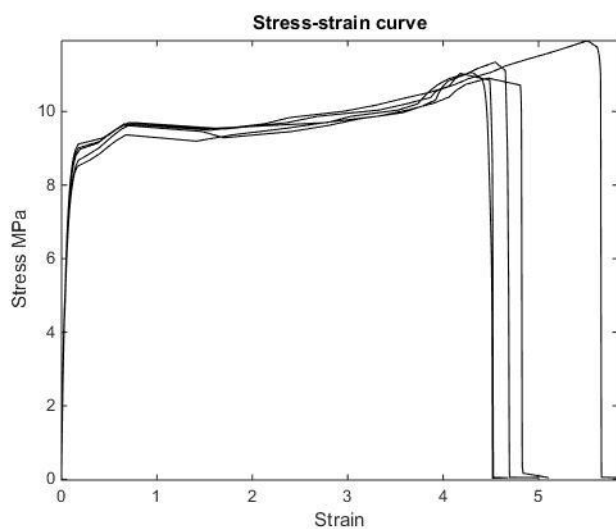
Figur 86. 384,237-1 T (45 N-1,72 BS T)



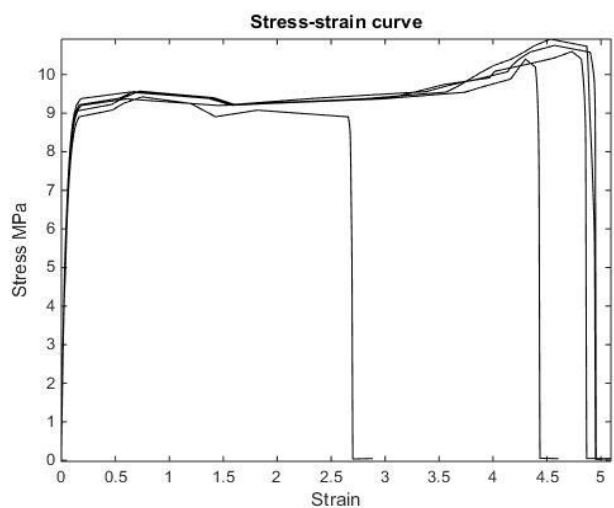
Figur 87. 384,237-3 L (45 N-5,18 BS L)



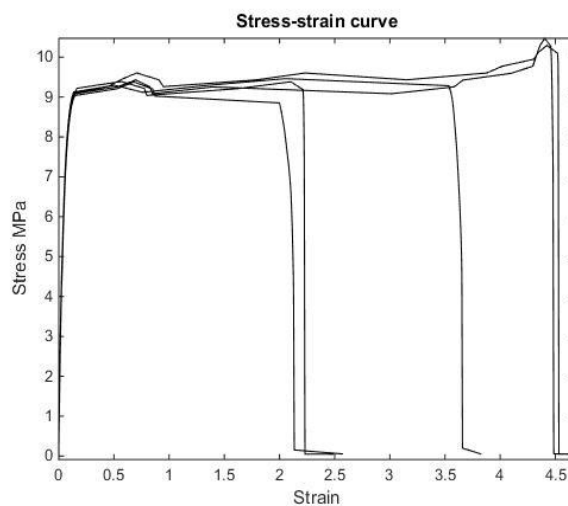
Figur 88. 384,237-3 T (45 N-5,18 BS T)



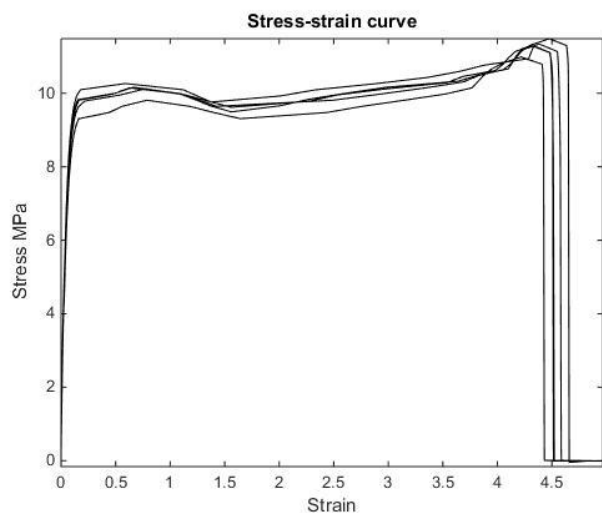
Figur 89. 512,317-1 L (60 N-2,3 BS L)



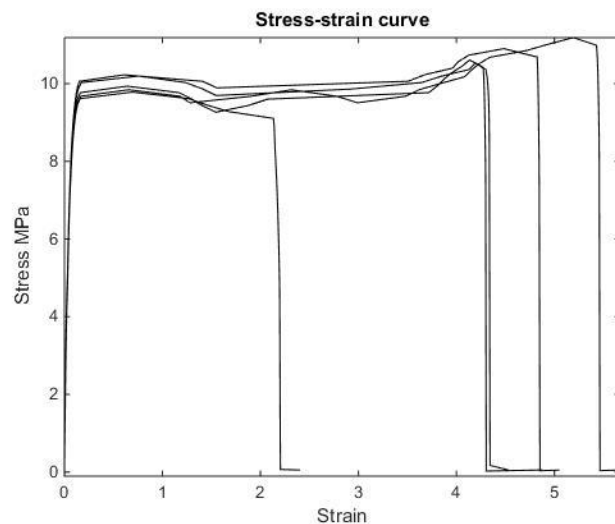
Figur 90. 512,317-1 45 (60 N-2,3 BS 45)



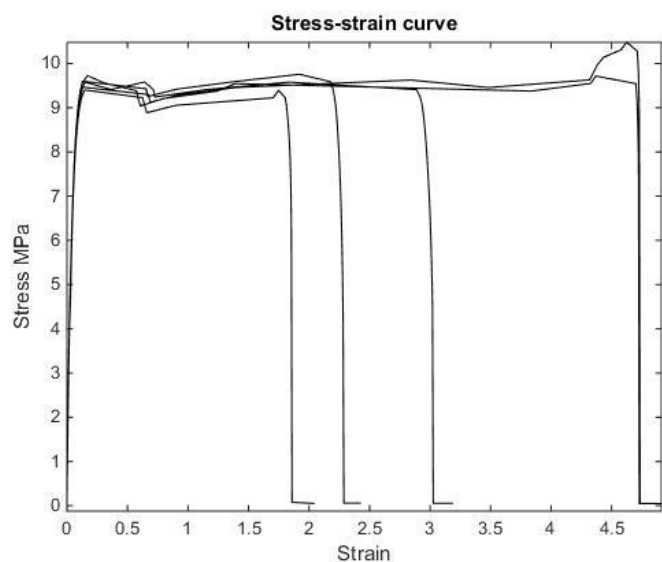
Figur 91. 512,317-1 T (60 N-2,3 BS T)



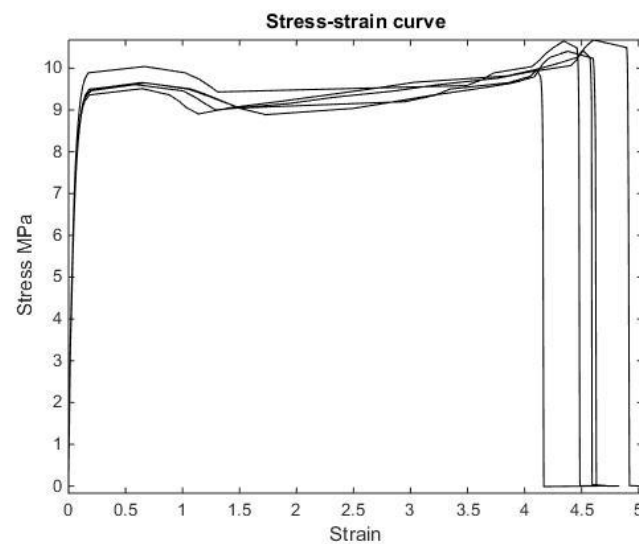
Figur 92. 640,396-1 L (75 N-2,88 BS L)



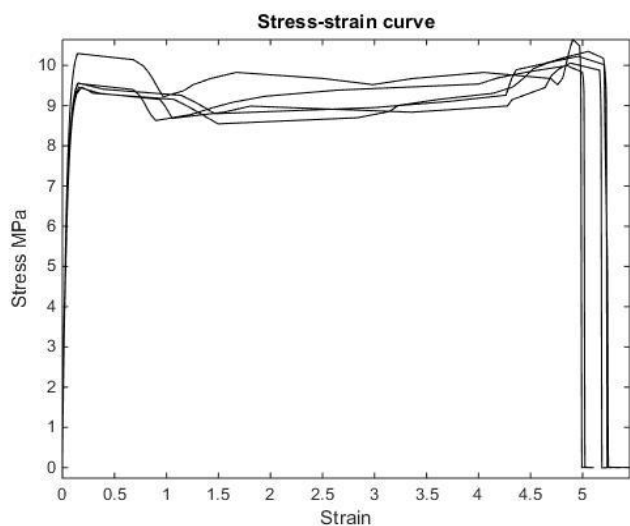
Figur 93. 640,396-1 45 (75 N-2,88 BS 45)



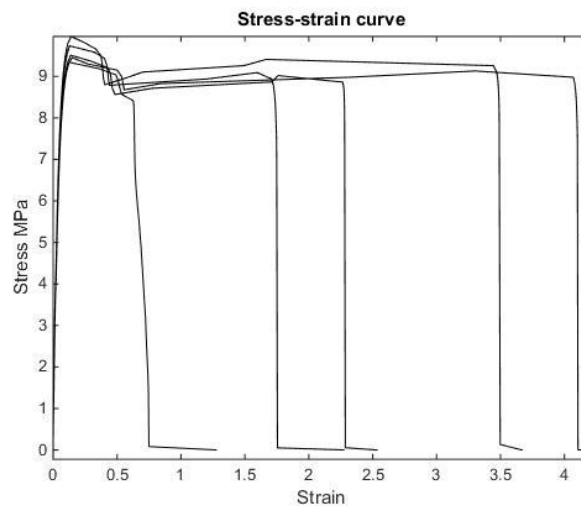
Figur 94. 640,396-1 T (75 N-2,88 BS T)



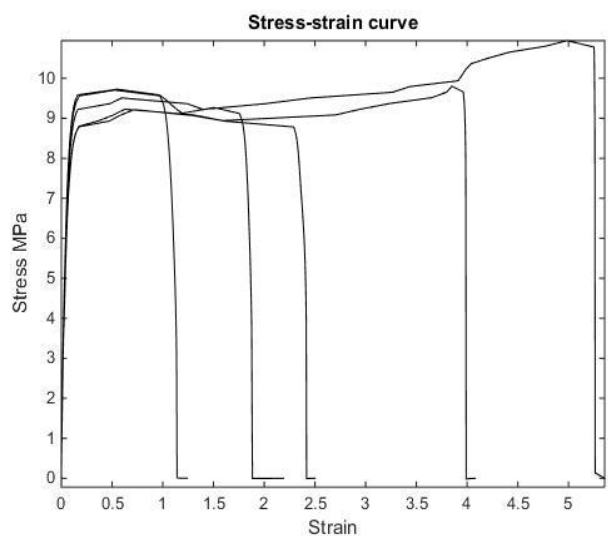
Figur 95. 768-1 L (90 N-3,45 BS L)



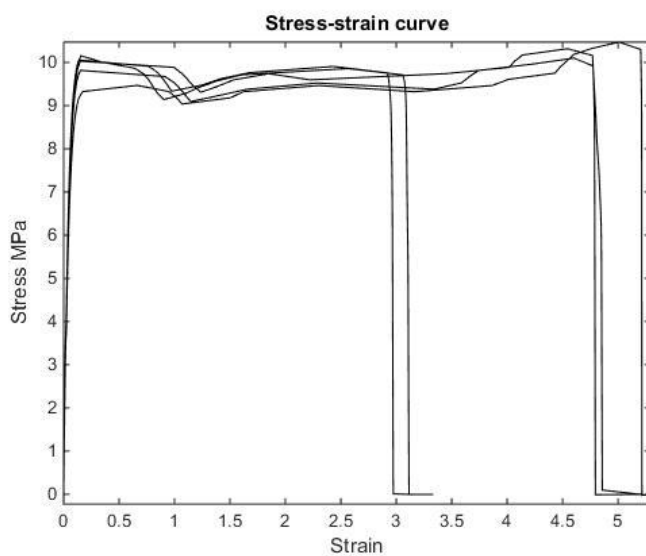
Figur 96. 768-1 45 (90 N-3,45 BS 45)



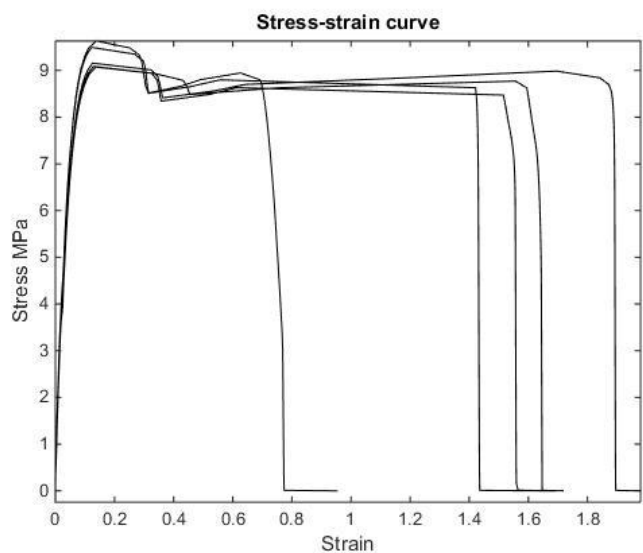
Figur 97. 768-1 T (90 N-3,45 BS T)



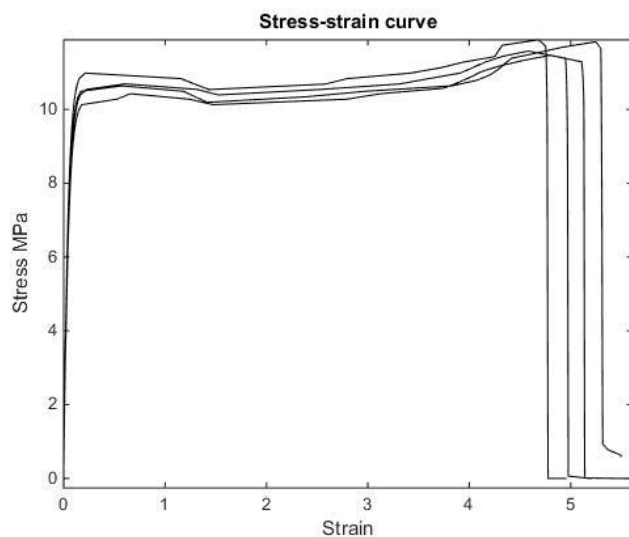
Figur 98. 982-1 L (115 N-4,41 BS L)



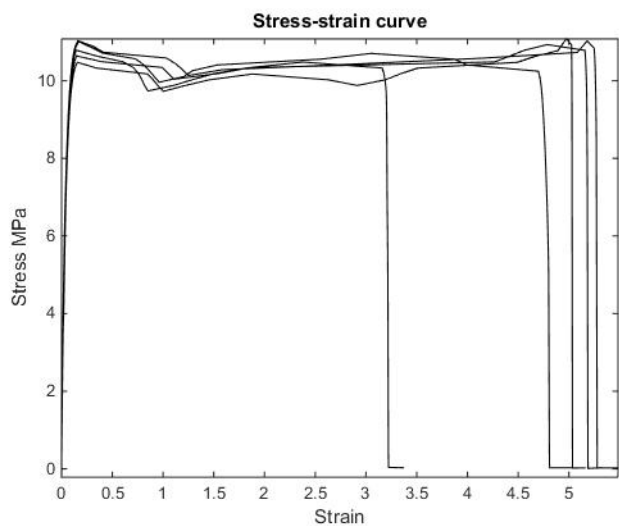
Figur 99. 982-1 45 (115 N-4,41 BS 45)



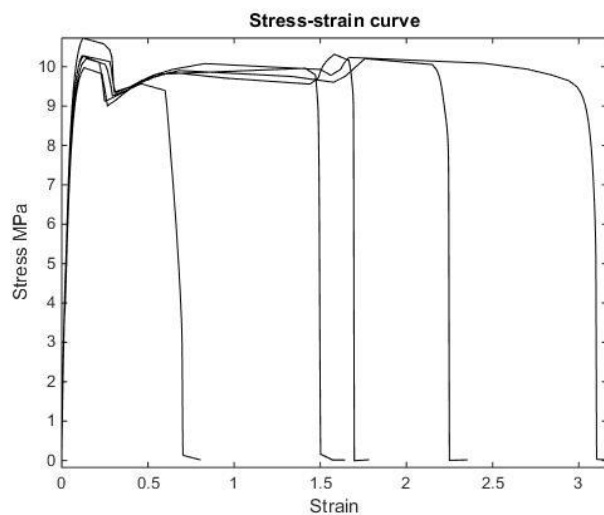
Figur 100. 982-1 T (115 N-4,41 BS T)



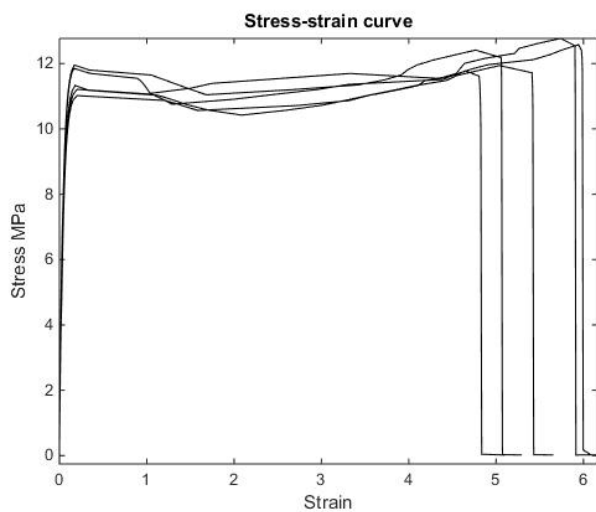
Figur 101. 1025-1 L (120 N-4,61 BS L)



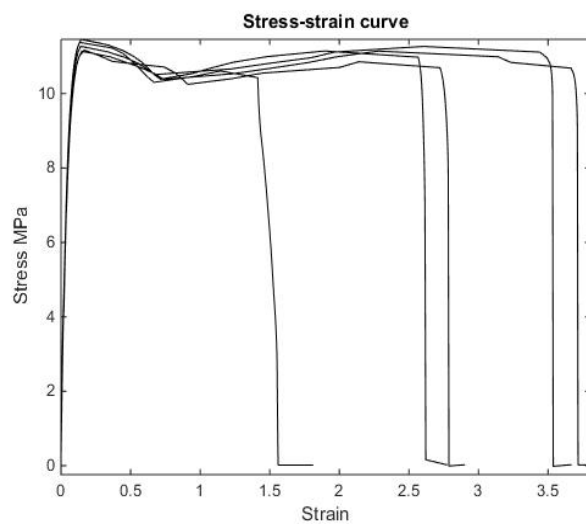
Figur 102. 1025-1 45 (120 N-4,61 BS 45)



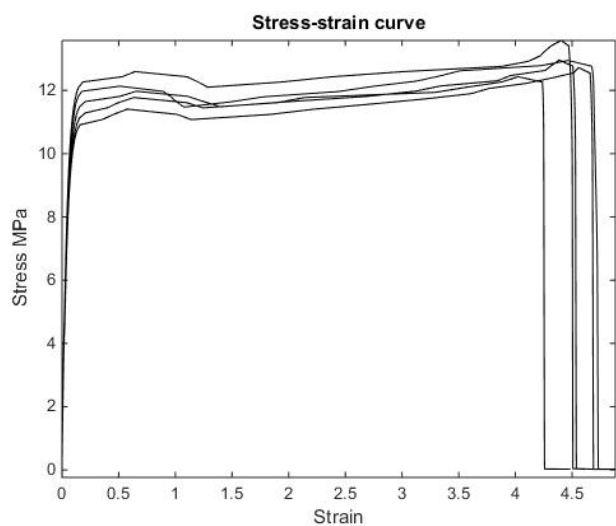
Figur 103. 1025-1 T (120 N-4,61 BS T)



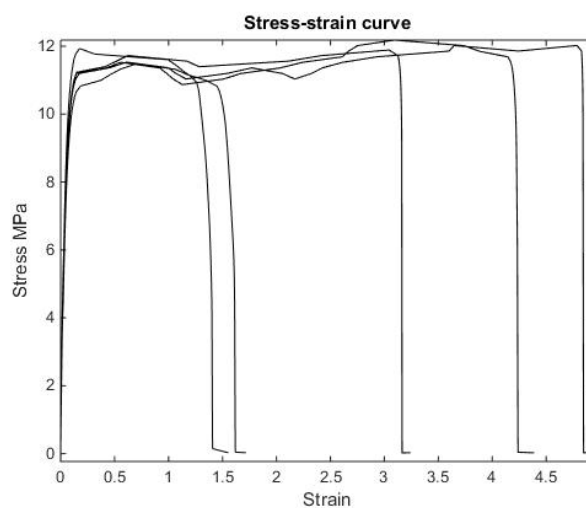
Figur 104. 1153-1 L (135 N-5,18 BS L)



Figur 105. 1153-1 45 (135 N-5,18 BS 45)



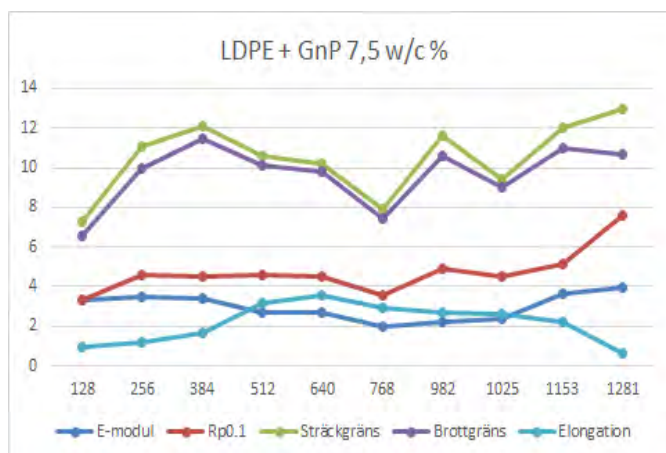
Figur 106. 1281 -1 L (150 N-5,76 BS L)



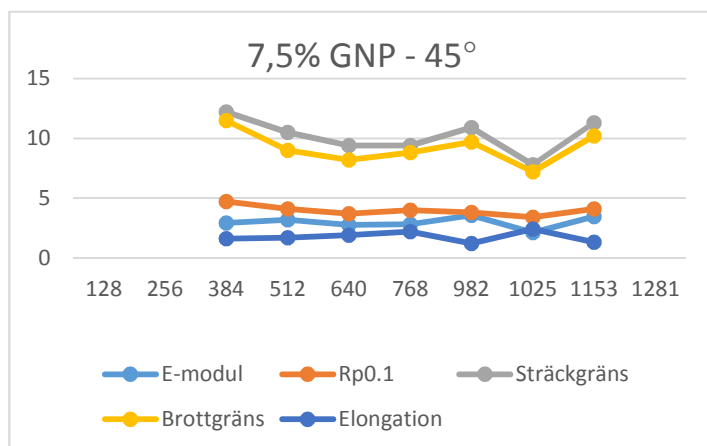
Figur 107. 1281 -1 45 (150 N-5,76 BS 45)

Grafer och figurer

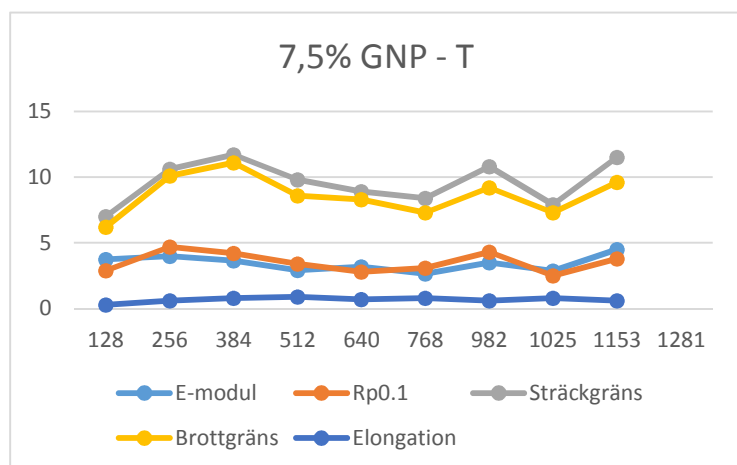
LDPE + GNP 7,5 wt-%



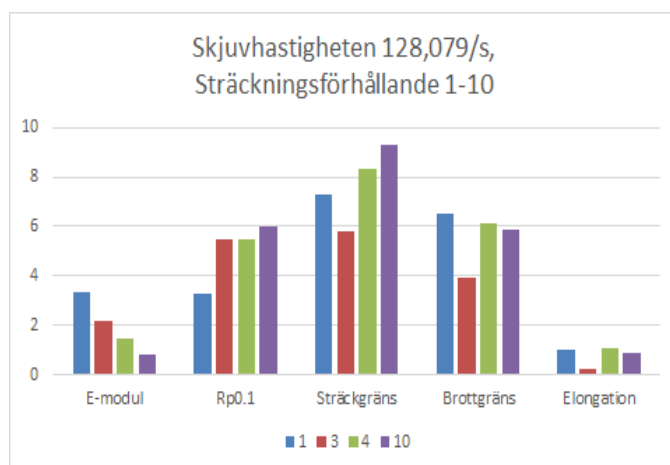
Figur 108. Grafen ovanför visar 5 olika kurvor i olika färger där varje mekanisk egenskap är en särskild färg. E-modulen är uttryckt i 100 Mpa och elongationen är enhetslös, för L.



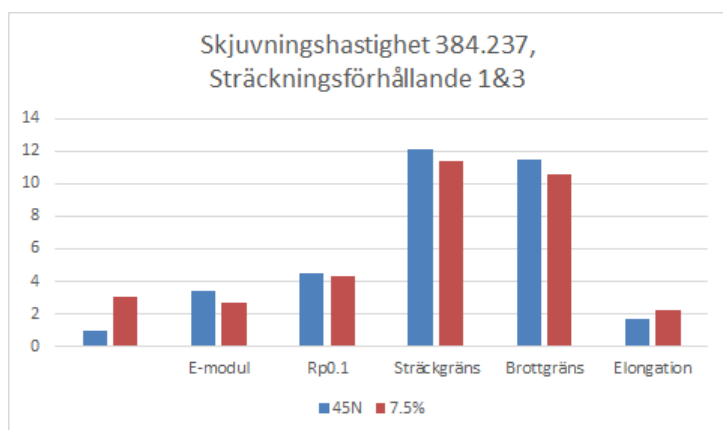
Figur 109. Grafen ovanför visar 5 olika kurvor i olika färger där varje mekanisk egenskap är en särskild färg. E-modulen är uttryckt i 100 Mpa och elongationen är enhetslös, för 45 grader.



Figur 110. Grafen ovanför visar 5 olika kurvor i olika färger där varje mekanisk egenskap är en särskild färg. E-modulen är uttryckt i 100 Mpa och elongationen är enhetslös, för T.

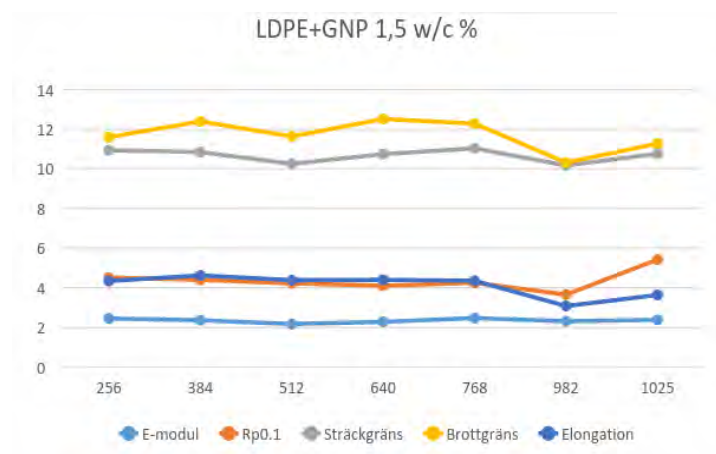


Figur 111. Stapeldiagram för de mekaniska egenskaperna för olika sträckningsförhållande. I detta diagram är skjuvhastigheten $128s^{-1}$

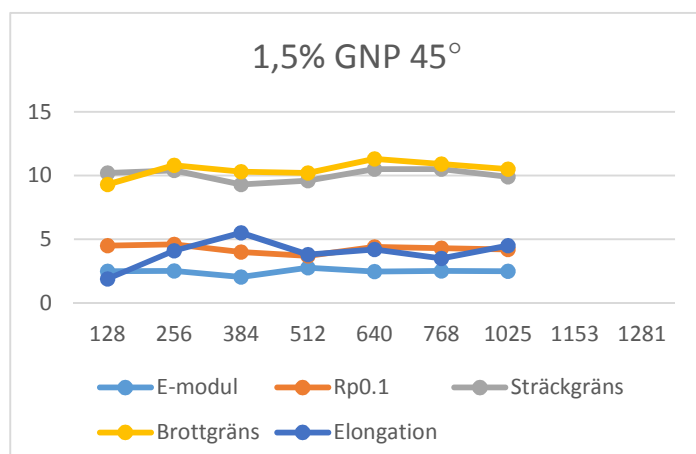


Figur 112. Stapeldiagram för de mekaniska egenskaperna för olika sträckningsförhållande. I detta diagram är skjuvhastigheten $384,237s^{-1}$

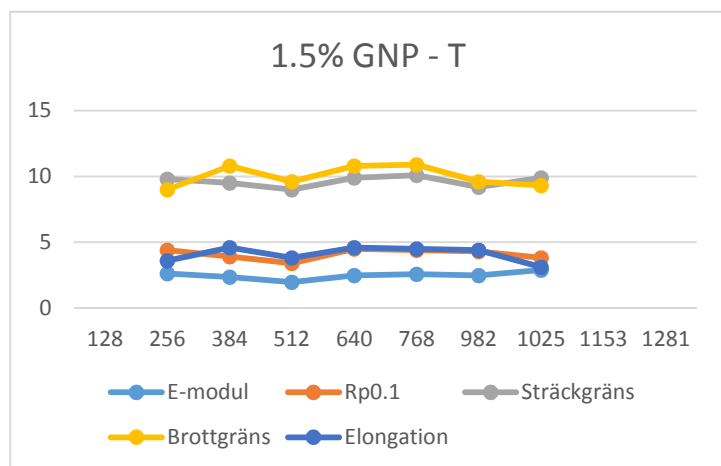
LDPE + GNP 1,5 wt-%



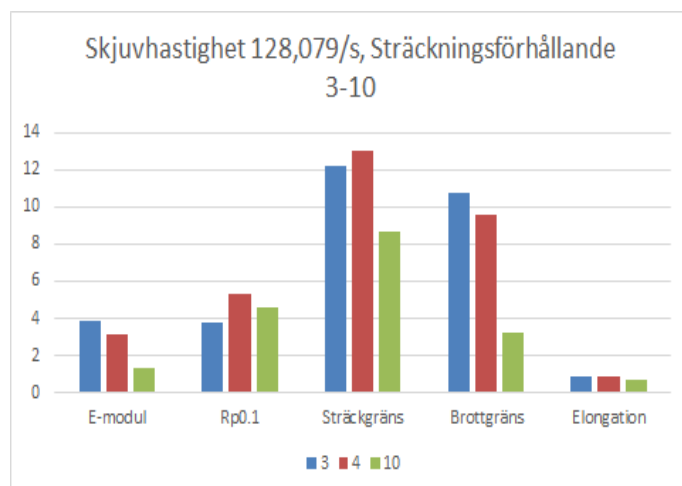
Figur 113. Grafen ovanför visar 5 olika kurvor i olika färger där varje mekanisk egenskap är en särskild färg. E-modulen är uttryckt i 100 Mpa och elongationen är enhetslös, för L.



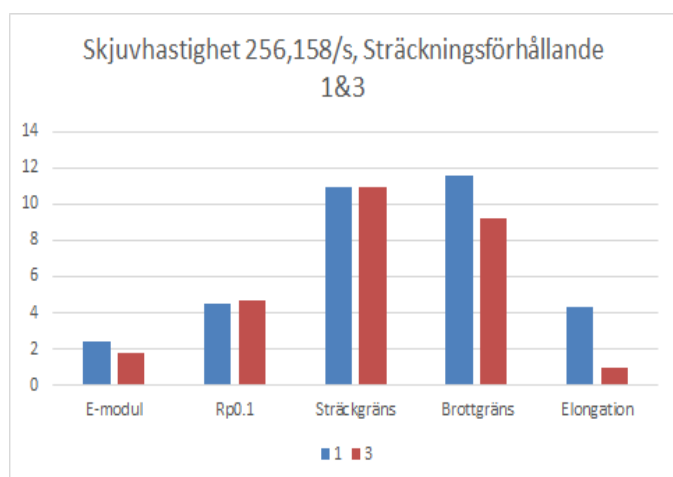
Figur 114. Grafen ovanför visar 5 olika kurvor i olika färger där varje mekanisk egenskap är en särskild färg. E-modulen är uttryckt i 100 Mpa och elongationen är enhetslös, för 45 grader.



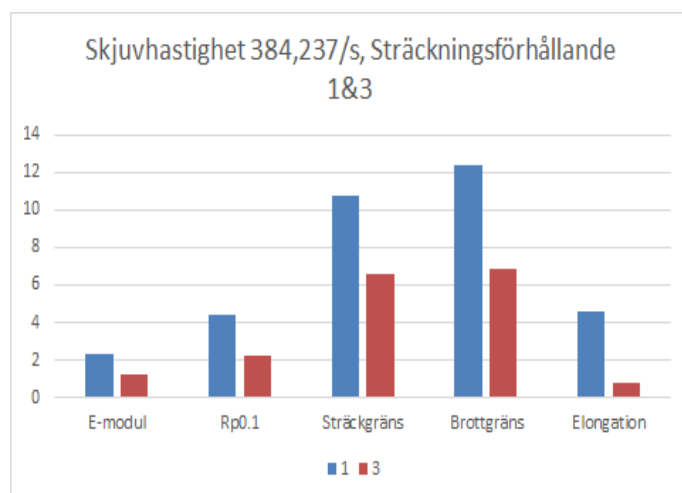
Figur 115. Grafen ovanför visar 5 olika kurvor i olika färger där varje mekanisk egenskap är en särskild färg. E-modulen är uttryckt i 100 Mpa och elongationen är enhetslös, för T.



Figur 116. Stapeldiagram för de mekaniska egenskaperna för olika sträckningsförhållande. I detta diagram är skjuvhastigheten 128 s⁻¹.

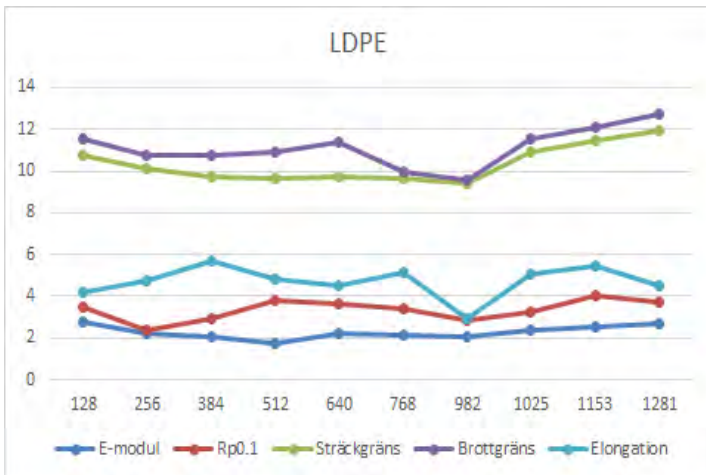


Figur 117. Stapeldiagram för de mekaniska egenskaperna för olika sträckningsförhållande. I detta diagram är skjuvhastigheten 256 s⁻¹.

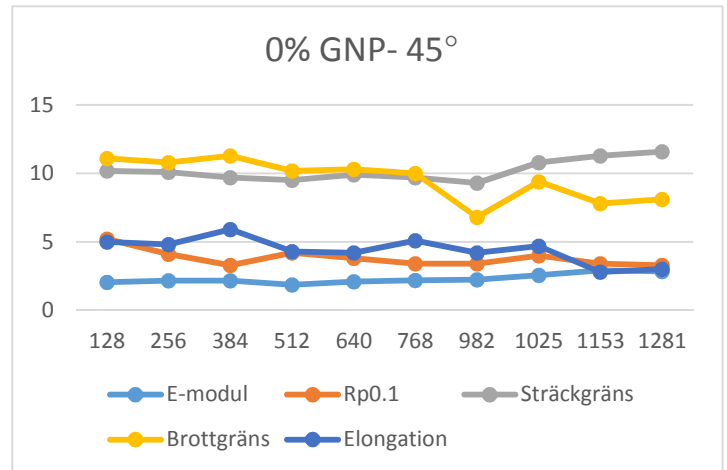


Figur 118. Stapeldiagram för de mekaniska egenskaperna för olika sträckningsförhållande. I detta diagram är skjuvhastigheten 384,237 s⁻¹.

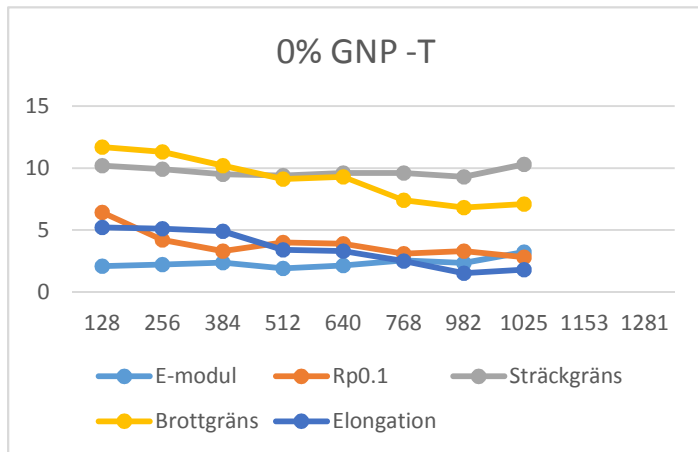
LDPE



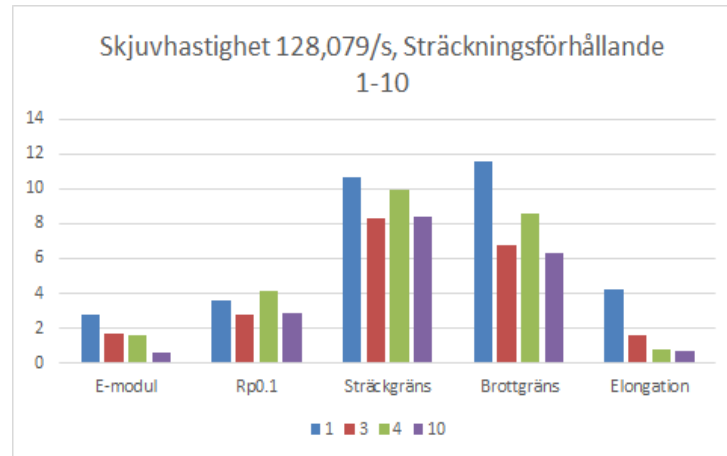
Figur 119. Grafen ovanför visar 5 olika kurvor i olika färger där varje mekanisk egenskap är en särskild färg. E-modulen är uttryckt i 100 Mpa och elongationen är enhetslös, för L.



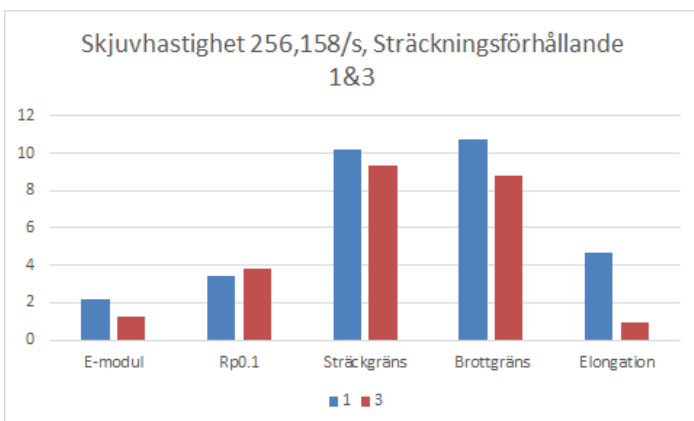
Figur 120. Grafen ovanför visar 5 olika kurvor i olika färger där varje mekanisk egenskap är en särskild färg. E-modulen är uttryckt i 100 Mpa och elongationen är enhetslös, för 45 grader.



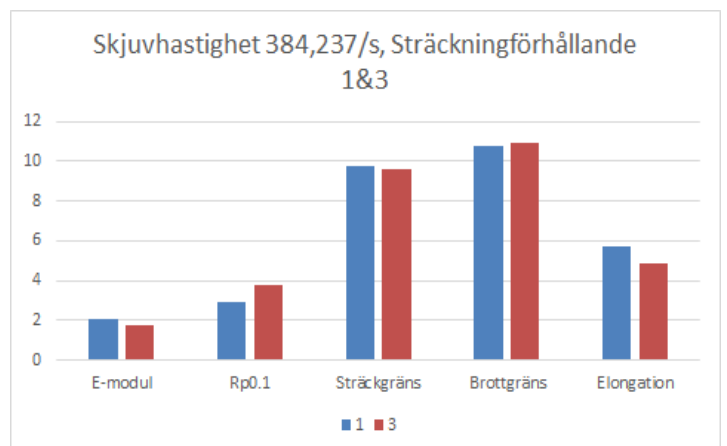
Figur 121. Grafen ovanför visar 5 olika kurvor i olika färger där varje mekanisk egenskap är en särskild färg. E-modulen är uttryckt i 100 Mpa och elongationen är enhetslös, för L.



Figur 122. Stapeldiagram för de mekaniska egenskaperna för olika sträckningsförhållande. I detta diagram är skjuvhastigheten 128 s-1.



Figur 123. Stapeldiagram för de mekaniska egenskaperna för olika sträckningsförhållande. I detta diagram är skjuvhastigheten 256 s-1.



Figur 124. Stapeldiagram för de mekaniska egenskaperna för olika sträckningsförhållande. I detta diagram är skjuvhastigheten 384,237s-1

Tabell för skjuvhastighet och sträckningsförhållande

Tabellen nedan, se tabell 101, visar konverteringen för respektive skjuvhastighet.

Tabell 101. Konvertering till skjuvhastighet

Compression screw shear rates and draw ratios												
	n /rpm	n /rps	vz	Qs	d Gamma_w/dt	v1	Delt_p	tau_w	eta_a	v2	v2 / m/min	v1/v2 = ct.
C2-1	15	0.250000	0.014219	0.0000004323	128.0791803983	0.0096059385				0.00960593	0.57635631	1
C2-1	15	0.250000	0.014219	0.0000004323	128.0791803983	0.0096059385				0.02881781	1.72906893	3
C2-1	15	0.250000	0.014219	0.0000004323	128.0791803983	0.0096059385				0.03842375	2.30542524	4
C2-1	15	0.250000	0.014219	0.0000004323	128.0791803983	0.0096059385				0.09605938	5.76356311	10
		0.000000	0.000000	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000				0.00000000	0.00000000	

Compression screw shear rates and draw ratios-1												
	n /rpm	n /rps	vz	Qs	d Gamma_w/dt	v1	Delt_p	tau_w	eta_a	v2	v2 / m/min	v1/v2 = ct.
C2-1	30	0.500000	0.028439	0.0000008645	256.1583607966	0.0192118771				0.01921187	1.15271262	1
C2-1	30	0.500000	0.028439	0.0000008645	256.1583607966	0.0192118771				0.05763563	3.45813787	3
C2-1	30	0.500000	0.028439	0.0000008645	256.1583607966	0.0192118771				0.00000000	0.00000000	

Compression screw shear rates and draw ratios-1-1												
	n /rpm	n /rps	vz	Qs	d Gamma_w/dt	v1	Delt_p	tau_w	eta_a	v2	v2 / m/min	v1/v2 = ct.
C2-1	45	0.750000	0.042658	0.0000012968	384.2375411950	0.0288178156				0.02881781	1.72906893	1
C2-1	45	0.750000	0.042658	0.0000012968	384.2375411950	0.0288178156				0.08645344	5.18720680	3
	n /rpm	n /rps	vz	Qs	d Gamma_w/dt	v1	Delt_p	tau_w	eta_a	v2	v2 / m/min	v1/v2 = ct.
C2-1	60	1.000000	0.056877	0.0000017291	512.3167215933	0.0384237541				0.03842375	2.30542524	1
C2-1	60	1.000000	0.056877	0.0000017291	512.3167215933	0.0384237541				0.11527126	6.91627574	3
	n /rpm	n /rps	vz	Qs	d Gamma_w/dt	v1	Delt_p	tau_w	eta_a	v2	v2 / m/min	v1/v2 = ct.
C2-1	75	1.250000	0.071097	0.0000021613	640.3959019916	0.0480296926				0.04802969	2.88178155	1
C2-1	75	1.250000	0.071097	0.0000021613	640.3959019916	0.0480296926				0.08606920	5.16415255	1.792
	n /rpm	n /rps	vz	Qs	d Gamma_w/dt	v1	Delt_p	tau_w	eta_a	v2	v2 / m/min	v1/v2 = ct.
C2-1	90	1.500000	0.085316	0.0000025936	768.4750823899	0.0576356312				0.05763563	3.45813787	1
C2-1	115	1.916667	0.109015	0.0000033140	981.9403830538	0.0736455287				0.07364552	4.41873172	1
	n /rpm	n /rps	vz	Qs	d Gamma_w/dt	v1	Delt_p	tau_w	eta_a	v2	v2 / m/min	v1/v2 = ct.
C2-1	120	2.000000	0.113755	0.0000034581	1024.6334431865	0.0768475082				0.07684750	4.61085049	1
C2-1	135	2.250000	0.127974	0.0000038904	1152.7126235849	0.0864534468				0.08645344	5.18720680	1
	n /rpm	n /rps	vz	Qs	d Gamma_w/dt	v1	Delt_p	tau_w	eta_a	v2	v2 / m/min	v1/v2 = ct.
C2-1	150	2.500000	0.142193	0.0000043227	1280.7918039832	0.0960593853				0.09605938	5.76356311	1