



# **UV inducerad modifikation av formsprutad PE**

Marcus Höglund

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	
Identifikationsnummer:	
Författare:	
Arbetets namn:	
Handledare (Arcada):	
Uppdragsgivare:	
<p>Sammandrag:</p> <p>Detta arbete går ut på att se hur polyeten påverkas av UV bestrålning under en kort tid. Först gjordes 50 testbitar av PE (Lupolen 1840 h LDPE) genom formsprutning i SFS-EN ISO 527 standard. Sedan gick alla bitarna igenom en FTIR-scan. Där föll fem bitar bort och gick igenom ett dragtest medan resten av bitarna blev bestrålade av UV i sex timmar. Efter det går de genomgår en FTIR-skan och 5 bitar faller bort och går igenom ett dragtest och resten bestrålas av UV i sex timmar. Så repeteras det tills alla bitarna är slut totalt tio gånger totalt 54 timmar. Dragtestens resultat visade att materialet blev styvare upp till 42 timmar efter det blev det igen mera elastiskt till sluttiden på 54 timmar. Inga visuella förändringar skedde i materialet bara mekaniska. FTIR-data visade den största förändringen i topp 4 var förändringen var 2469% vid vågtal 2900. Detta betyder att materialet antingen skapade fler kemiska bindningar eller att kristallisation skedde upp till 42 timmar. Därefter började de förstöras tills testet tog slut, vid 54 timmar. PE bitarna hade en 4,85% förändring i hållfastighet från 0 timmar till 54 timmar. Medan töjningen hade en skillnad på 7,09% och Youngs modul hade en skillnad på 12,46%. Detta var ett kortvarigt test. Vanligtvis brukar testen räcka hundratals timmar. Under ett långvarigt test skulle man högst troligen se materialet brytas ned helt och hållet. I det kortvariga blev materialet starkare för en stund.</p>	
Nyckelord:	UV degradation, radiation, termoplast, FTIR, Dragtest
Sidantal:	39
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	
Identification number:	
Author:	
Title:	
Supervisor (Arcada):	
Commissioned by:	
<p>Abstract:</p> <p>The purpose of this thesis is to find out how PE evolves if its exposed to UV radiation in the short term. 50 dogbones were made out of PE (Lupolen 1840 h LDPE) through injection moulding at SFS-EN ISO 527 standard and underwent a FTIR test. After that five of the pieces were subjected to a tensile test, while the rest were radiated by UV for six hours. After that the cycle repeats itself. Every six hours the pieces get an FTIR test, followed by five pieces' tensile test, while the rest go for six more hours of UV radiation until there are no pieces left. This cycle is repeated ten times. The tensile data showed that the material stiffened with time, until 42 hours. Then it started to get more elastic again until the end of the test of 54 hours. The FTIR data showed that the material either created more chemical bonds or crystallization happened until 42 hours where it started losing them to the end of the experiment. There was no visual change in the material, only mechanical changes. The PE pieces had a 4,85% change in sigma from 0 hours to 54 hours. While the strain had a difference of 7,09% and the Young's modulus had a difference of 12,46%. The FTIR data showed that the biggest change was in peak 4 with a change of 2469% at wavelength 2900. This was a short-term test. Usually tests last for hundreds of hours. On a long-term test you would most likely see the material decompose completely, while this short-term test resulted in the materials becoming stronger momentarily.</p>	
Keywords:	Thermoplastics, UV-degradation, radiation, FTIR, tensile test
Number of pages:	39
Language:	Swedish
Date of acceptance:	

## Lista av figurer

Figur 1 tesbitarna för testet .....	10
Figur 2 FTIR spektra värde av PE (Brian C. Smith) .....	15
Figur 3 Hur processen gick till .....	17
Figur 4 Formsprutningsmaskinen .....	18
Figur 5 Inställningarna på formsprutningen .....	18
Figur 6 Inställningarna på formsprutningen .....	19
Figur 7 Drag test-maskinen .....	21
Figur 8 FTIR-maskinen .....	23
Figur 9 UV-lådan som användes .....	24
Figur 10 Totala FTIR-spektra .....	26
Figur 11 Toppen vid vågtal 700 .....	27
Figur 12 Toppen vid vågtal 1400 .....	28
Figur 13 Topparna vid vågtal 2700 och 2900.....	29
Figur 14 Alla FTIR spektra .....	30
Figur 15 Youngs modul .....	32
Figur 16 Hållfastighet.....	32
Figur 17 Töjningen .....	33

## Lista över Tabeller

Tabell 1 standard specification för Testomatic M350-5CT .....	20
Tabell 2 provbitar 0 timmar strålning.....	25
Tabell 3 topp 1 .....	27
Tabell 4 topp 2.....	28
Tabell 5 topp 3.....	29
Tabell 6 topp 4.....	30
Tabell 7 sammanfattning .....	31

## Lista av symboler

$\sigma$  Hållfastighet (MPa)

$\varepsilon$  Töjning  $\left(\frac{\Delta L}{L}\right)$

$E$  Youngs modul (MPa)

$A$  Absorbation (au)

$t$  Tid (h)

$Pa$  Pascal  $N * m^2$

$f$  Frekvens  $s^{-1}$

$L$  Original Längd (m)

$\Delta L$  Ändring i längd (m)

# INNEHÅLL

<b>1</b>	<b>Förord</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Introduktion</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Litteraturstudie</b> .....	<b>11</b>
3.1	Termoplaster .....	11
3.2	Recension av Masseys arbete .....	11
3.3	PVC åldrande .....	12
3.4	Genomgång av studier av Gijsman et. al. ....	13
3.5	Potentiella applikationer för matfolie (LDPE) .....	13
3.5.1	<i>Föråldrande av polymer</i> .....	14
3.5.2	<i>Polyeten</i> .....	15
<b>4</b>	<b>Metod</b> .....	<b>16</b>
4.1	Formsprutning .....	17
4.2	Dragtest .....	19
4.2.1	<i>Testometric M350-5CT</i> .....	20
4.3	FTIR.....	22
4.4	UV-belysning .....	23
<b>5</b>	<b>Resultat</b> .....	<b>25</b>
5.1	PE provbitar 0 timmar strålning .....	25
5.2	FTIR-data .....	26
5.3	Slutsats .....	31
<b>6</b>	<b>Sammanfattning</b> .....	<b>33</b>
	<b>Källor</b> .....	<b>35</b>
	<b>Bilagor / Appendices</b> .....	<b>37</b>

# 1 FÖRORD

Först och främst vill jag tacka Rene Herrmann för hans hjälp med arbetet och att han har orkat med mig. Han har varit till stor hjälp. Vill också tacka Mariann Holmberg för hjälp med arbetets strukturering, Stewart Makkonen-Craig för hans hjälp med FTIR-maskinen samt Harri Anukka och Silas Gebrehiwot för hjälpen i labbet.



## 2 INTRODUKTION

Detta examensarbete behandlar den förväntade livslängden av bestrålade termoplastmaterial. Provbitarna är gjorda av polyeten (Lupolen 1840 h LDPE). Youngs modul, töjning och belastning som funktion av åldringstiden bestäms med hjälp av en testometrisk testmaskin samt Fourier transform infrared-analys (FTIR). Åldrande sker genom bestrålning från 8 stycken Philips tld 15W/05 lysrör. Examensarbetet fokuserar på polyetets fysikaliska egenskaper efter en kortvarig UV exponering, mätt i timmar.

Polymert material bryts ner på oförutsägbara sätt: bindningar förstörs eller aktiveras. Det är väldigt viktigt att veta hur snabbt en plast bryts ner för att man ska kunna räkna med en fast livslängd. Den förväntade livslängden används sedan för att bestämma när materialet behöver underhåll vilket orsakar företag eller användare av materialet oförväntade underhållskostnader. Ibland vill man också att det sker nedbrytning, som i biologiskt nedbrytbara polymerer. Nedbrytning är brytning eller en depolymerisation av molekylära bindningar. Brytningen är kopplad till molekylernas eller materialets bindningsenergi.

I detta test används PE, alltså Polyeten. Den har en naturlig vit färg och känns mjuk. 50 stycken PE testbitar kommer att användas. Först går de alla igenom en FTIR-analys, vilket följs av 6 timmar av bestrålning. Sedan görs en ny FTIR-analys och 5 stycken testbitar faller bort. Så börjar hela processen om från början. Detta upprepas 10 gånger. De sista 5 bitarna kommer alltså att vara bestrålade i totalt 54 timmar. Efter detta görs ett dragtest på alla bitar för att få fram hur mycket de har försvagats av bestrålningen.



**Figur 1 tesbitarna för testet**

Det tillverkades fler bitar än testet krävde ifall något skulle gå fel. Provbitarna gjordes enligt SFS-EN ISO 527-standarden.

### **3 LITTERATURSTUDIE**

Examensarbetet är baserat på liknande studier som har gjorts tidigare. Resultaten är sammanfattade nedan.

#### **3.1 Termoplaster**

Termoplaster är en sort av plast som består av polymerer som mjuknar då de värms upp och hårdnar när de kyls ner. Det positiva med termoplaster är att de återvinns lätt och visar inga förändringar i kemiska egenskaper när de värms upp eller kyls ner flera gånger, vilket gör dem lätta att återvinna. Då termoplaster värms upp förändras deras fysiska egenskaper. De blir en homogeniserad vätska, de kan ändra storlek samt omformas. Efter det kan de bearbetas med metoder som formsprutning, extrudering och formblåsning.

Termoplaster är till en stor del resistent mot kemiska angrepp vilket gör dem lämpliga för många processtillämpningar. Dessa plaster väljs beroende av deras avsedda användning enligt vissa process specifikationer.

#### **3.2 Recension av Masseys arbete**

Liesel K.Masseys studier visade att åldrande med UV bestrålning skiljer sig mycket från fall till fall. Enligt Massey ett fall av uretantermoplast elastomer åldras med 57% från 47 MPa till 27 MPa draghållfasthet på 1900 timmar vid behandling av QUV. QUV-metoden fokuserar på att ge en accelererad naturlig nedbrytning utomhus. Den simulerar solljus, fukt och temperatur av önskad mängd. Det finns olika teststandarder, och det framkommer inte av materialet vilket användes. Behandlingstiden är mycket längre än vad detta examensarbete arbetar med. 1900 timmars exponering tillåter mera data. Massey arbetade med flera olika kompositioner av hydroxibensotriazol och HALS. Det första uretan som Massey nämner, som bryts ner med 57%, är DOW Pellethane® 2103-80 AEF. Den reagerade på ett intressant sätt. Materialet blev starkare efter 800 timmar och blev sedan svagare fram till 1500 timmar. Vid 1500 timmar blev det lite starkare igen. Den andra plasten som testades är en blandning av uretan med 0,25% hydroxibensotriazol och 0,25%

Hindered amine light stabilizers (HALS). Uretanen blev först svagare till 600 timmar. Sedan började den bli starkare fram till 1050 timmar. Då hade plasten samma styrka som före exponeringen. Sedan försvagades den fram till 1500 timmar, för att igen bli lite starkare efter 1700 timmar av exponering. Den sista uretanen som testades är en 0,5% HALS. Den blev svagare hela vägen till 1500 timmar, då den förstärktes en aning. Det verkade på samma sätt som den ostabiliserade uretanen. Det mest intressanta med detta experiment var att alla tre plaster vid någon punkt blev starkare. [1]

### 3.3 PVC åldrande

Ett test ur boken "Polymer degradation och stabilitet" närmar sig nerbrytning av plast på ett annat sätt. Genom att använda ultraviolet absorptionspektroskopi, kan man undersöka sammanslagning av polymerkedjor som bryts. Polyvinylklorid blandas med Di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) och Tinuvium P. Blandningen skapar en oregelbunden struktur och förlänger nedbrytningen. Testet fokuserar på tre blandningar av PVC plastad med DEHP, och hur stabiliserande tillsatser skyddar polymerkedjor från att skäras. Radiolytisk nedbrytning observeras. Filmerna utsätts för olika doser av gammastrålning och resultaten samlas in genom ultrasynlig absorptionspektroskopi. Doserna är 10, 25 och 65 kGy. Den första blandningen är en film med PVC 75% och DEHP 25%. Försämringen var proportionell med bestrålningsdosen. Den andra filmen är PVC 75%, DEHP 24,5% och Tinuvin P 0,5%. Tinuvium P visar ingen större förändring i sin molekylvikt vid bestrålning. PVC 75%, DEHP 24% och Tinuvin 1%. Filmen med 1% Tinuvin P visar en ökning i molekylvikt när den exponeras för 10 kGy, men tappar molekylvikt när den utsätts för de högre doserna på 25 och 60 kGy. Detta experiment fokuserar på hur molekylvikten förändras i olika stråldoser. Den ger inte information om hur styrkan i materialet förändras. Experimentet är mycket snabbt, ungefär en minut. Experimentet visar hur UV-stabilisatorer skyddar material från polymerkedjor som bryts. Testet visar att Tinuvin P stabiliserar plasten med en maximal proeffekt på 90%. Detta understryker vikten av polymera materials totala sammansättning. [2]

### **3.4 Genomgång av studier av Gijsman et. al.**

Föråldring med olika metoder av kemisk korrosion utfördes av Pieter Gijsman, Guido Meijers och Giacomo Vitarelli. De använde ett liknande tillvägagångssätt som i det här experimentet som ingick i slutarbetet, men använde även kemisk nedbrytning och UV-nedbrytning tillsammans med temperatur och luftfuktighet. Testerna fokuserade på fotonebrytning av polypropen, polyeten, polyamid 6 och polybutylentereftalat samt hur kromoforer förändrar materialet. För att få information om hur kromoforer påverkar fotonebrytningen bryts PE, PA6 och PBT ner med UV, medan PP bryts ned termosoxidativt i jämförbara temperaturer. Efter nedbrytningen mäts syreupptagningen. Här tillämpas tre olika tester; Suntest, weather-o-meter (WOM) och termosoxidativ degradering. Testerna gjordes i ett silikatglassystem. Soltestet använde en xenonlampa med ett filter som filtrerade våglängder under 290 nm (motsvarar normalt solljus). Temperatur mellan 40 och 50°C. Experimentet använde en Weather-o-meter, i vilken en xenonlampa med samma våglängder ingick som i soltestet, temperaturen var kontrollerad och luftfuktighet (55%) och hade en regn-cykel. Maskinen registrerar syreupptagningen för de olika plasterna. Termosoxidativ nedbrytning gjordes i ett oljebad vid 50°C. Provbitarna var blåsta plastfilmer på 150µm. PA6 var en gjuten film på 50µm. Och lika så för PBT men den hade en tjocklek på 25µm. Karbonylabsorbans registrerades med IR-spektra. [3]

### **3.5 Potentiella applikationer för matfolie (LDPE)**

Syfte med denna studie av Joongmin Shin, Xiaojing Liu, Naveen Chikthimmah och Youn Suk Lee. Var att utveckla en aktiv, icke-migrerande antifungal LDPE-polymer för användning i livsmedelsförpackningar. Den funktionella akrylsyramonomenen ympades på LDPE-filmytan genom fotoinitierad ymppolymerisation genom ultraviolett ljusbestrålning från 0 till 5 minuter. Natamycin, ett antifungalt medel, applicerades på den behandlade filmen för att binda till de vidhängande funktionella grupperna och för att utvärdera dess prestanda mot mögel och jäst. De ympade mängderna bestämdes genom gravimetrisk mätning och färgämnes absorbans. De analysmetoder som användes var försvagad totalreflektans/fourier, överföring, infraröd spektroskopi, svepelektronmikroskopi samt mekaniskt hållfasthetstest användes för att karakterisera filmegenskaper. Filmens antifungala effektivitet utvärderades med *Saccharomyces cerevisiae* och *Penicillium*

chrysogenum på tillväxtmedia och nyskuren cantaloupe. Mängderna av den ympade gruppen ökade med den längre ultravioletta exponeringstiden. Mängden ympat natamycin på den behandlade filmen var upp till  $49,87\mu\text{g}/\text{cm}^2$  och filmen hämmade mycelbildningen av *P.chrysogenum*-sporer med över 60%. På grund av filmens tjocklek (*mindre än*  $12,25\mu\text{m}$ ) minskar UV-exponering under längre tid filmens mekaniska styrka. Användning av icke-migrerande aktiv förpackningsfilm representerar ett lovande tillvägagångssätt med tanke på industrin. [4]

### 3.5.1 Föråldrande av polymer

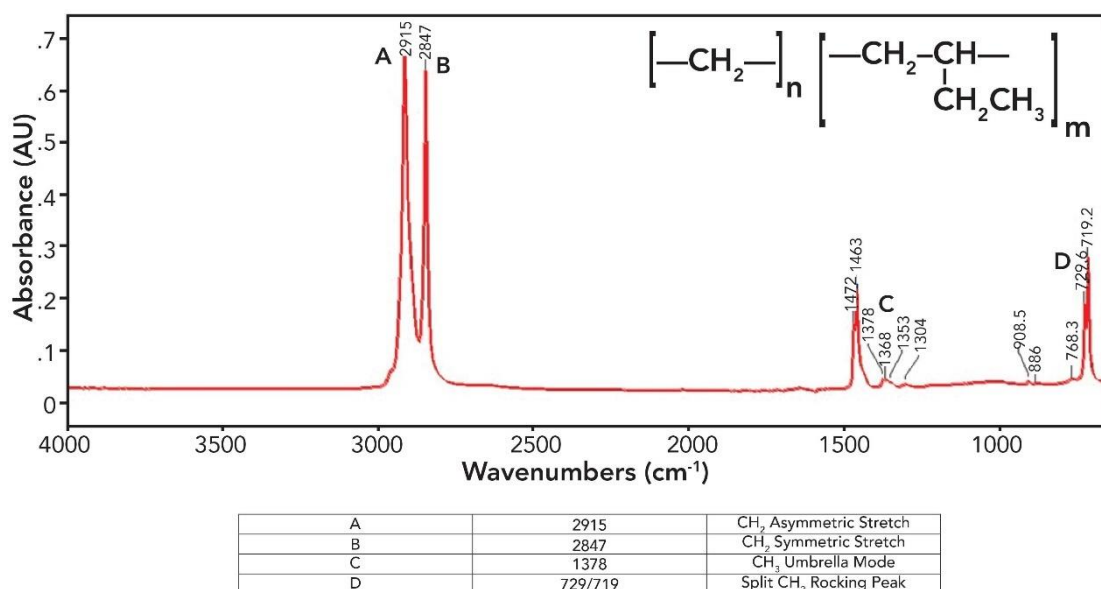
Polymeråldrande kan involvera fysisk åldrande utan att en kemisk reaktion inträffar, kemiska förändringar såsom tvärbinding under härdning av en härdplast, termisk konditionering vid förhöjning av temperatur eller att fotokemisk åldring sker vid väderpåverkan. Den här översikten koncentrerar sig på exempel som involverar en kombination av två eller flera av dessa effekter, och med åtföljande förändringar i tekniska egenskaper. Händelser på molekylär nivå leder till förändringar i morfologin och makroskopiska fysikaliska egenskaper. Till exempel i en semikristallin polymer kan kedjeklyvning orsakad av fotooxidation leda till sekundär kristallisation, ökande av densitet eller en ökning av Youngs modul och minskad duktilitet. Liknande effekter kan observeras i glasartade polymerer, på grund av kedjeklyvning som accelererar fysiskt åldrande. Sådana effekter är särskilt vanliga när snabb kylning under formningen har lämnat polymeren i ett tillstånd långt ifrån jämvikt. Ett vanligt symptom är en förändring av restspänningsfördelningen i polymerlister.

Fysisk åldrande är förmodligen den vanligaste formen av åldrande. Fysiskt åldrande inträffar när en polymer är i ett icke-jämviktstillstånd, och orsakas av molekylära relaxationer som är förspända i den riktning som krävs för att driva materialet närmare jämvikt. Detta fenomen är väldigt vanligt och påträffas i termoplastlister som har kylts snabbt från en förhöjd temperatur under formningsoperationen. Materialet i form av ett smältlim bearbetas genom att den passerar genom en form (extrudering) eller i en sluten form (formsprutning, formblåsning). Efter formningen kyls materialet snabbt. När det gäller amfora polymerer kyls materialet fortfarande snabbt när temperaturen sjunker under glasövergångstemperaturen,  $T_g$ . Hastigheten för molekylär relaxation, som är väl under  $T_g$ , är för långsam för att utstå med de förändringar som krävs om materialet ska förbli

termodynamiskt i jämvikt. Detta resulterar i att när materialet når termisk jämvikt med omgivningen är det inte i termodynamisk jämvikt. Ett tecken på detta är materialets densitet, eftersom dess volym är karakteristiskt för en högre temperatur. Följaktligen efter att ha uppnått termisk jämvikt med omgivningen kommer den att genomgå volymetrisk avkoppling, vilket gradvis ökar densiteten under en längre åldringsperiod.

### 3.5.2 Polyeten

Polyeten (PE) kan ha hög eller låg densitet beroende på processen som användes när den tillverkades. Polyeten är resistent mot både fukt och de flesta kemikalier. Den är väldigt flexibel vid rumstemperatur och lågtemperatur. Den kan även värmeförseglas. Polyeten tillverkas i stora mängder på grund av dess låga kostnader och stor efterfråga. Polyetenplast är en kol-väte molekyl. Polyeten består av etenmolekyler med 2 kol- och 4 väteatomer.  $(C_2H_4)_n$ .



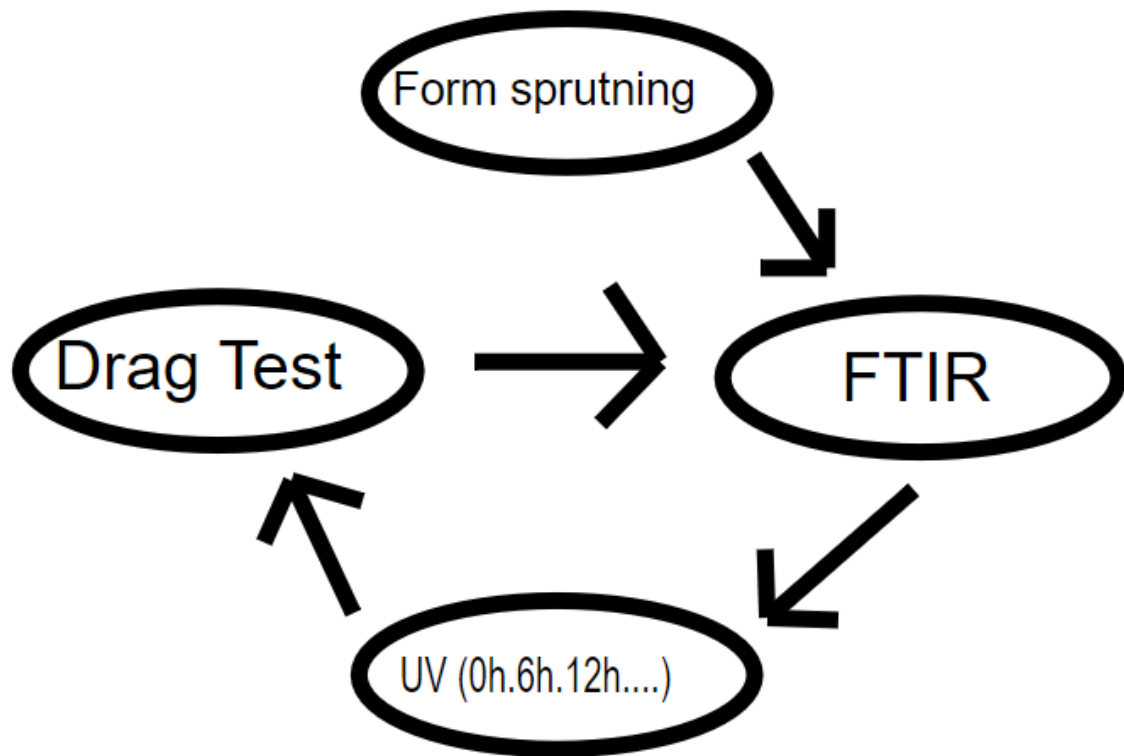
Figur 2 FTIR spektra värde av PE (Brian C. Smith)

Detta är en figur av FTIR-spektra på LDPE. Horisontella axeln eller X-axeln representerar vågtalen för det infraröda spektret (antal vågor/cm). Topparna, som också kallas absorptionsband, motsvarar de olika vibrationerna hos provets atomer när de exponeras för det infraröda området av det elektromagnetiska spektrumet. Vertikal-axeln eller Y-axeln representerar mängden infrarött ljus som absorberas eller överförs av materialet som analyseras.

## 4 METOD

Först tillverkas 50 stycken testbitar av PE genom formsprutning. Sedan går alla 50 PE-bitar genom ett FTIR-test, för att mäta startvärdet på bitarna. Därefter 45 av bitarna in i en ljusbox som har 8 stycken Philips tld 15W/05 lysrör, som bestrålar bitarna med UV. Bitarna hålls på plats med en ställning. Bitarna bestrålas i 6 timmar varefter bitarna tas ut ur maskinen. Bitarna genomgår ett nytt FTIR-test. Sedan läggs 40 av bitarna i ljusboxen för att bestrålas i 6 timmar. Härnäst går bitarna igen igenom ett FTIR-test. Testet fortsätter på detta sätt: var 6 timmar tas bitarna ut och går igenom FTIR, medan 5 bitar alltid läggs åt sidan. Cykeln repeteras 10 gånger och de sista bitarna har därmed blivit bestrålade i totalt 54 timmar. Efter det görs det ett dragtest på alla bitar för att se hur UV-åldringen har försämrat plastens hållbarhet.





Figur 3 Hur processen gick till

Först tillverkas alla provbitarna. Sedan går de igenom en FTIR och efter det till UV-bestrålning. Under första cykeln bestrålades bitarna i noll timmar, sedan gjordes dragtest. Efter det repeteras cykeln totalt tio gånger.

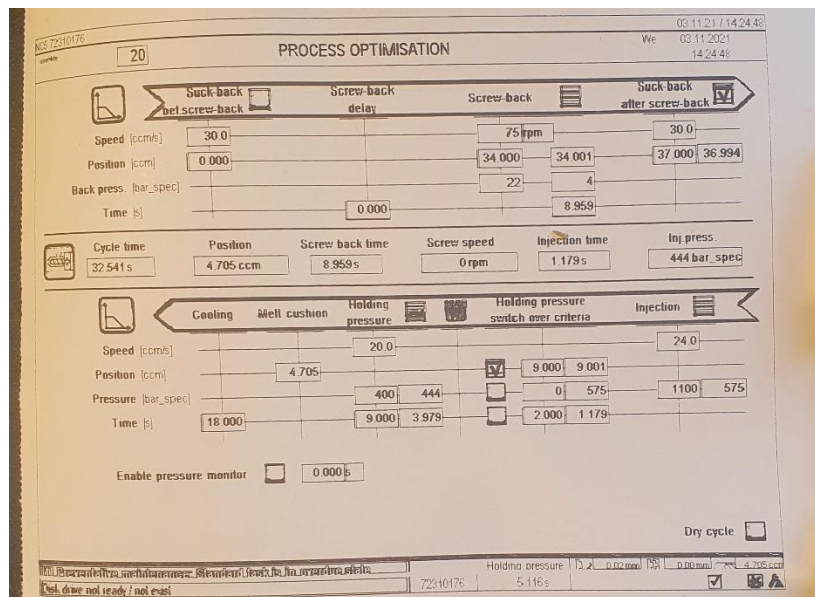
#### 4.1 Formsprutning

Formsprutning är en tillverkningsprocess där man tillverkar delar genom att spruta smuldet material i en form. Materialet matas in i en uppvärmd cylinder där den blandas med hjälp av en spiralformad skruv. Sedan injekteras det i formen där materialet svalnar och hårdnar. Först designas produkten, och sedan gör man formen oftast av stål eller aluminium. Det går att använda formsprutning till allt från små specifika delar till stora bildelar.



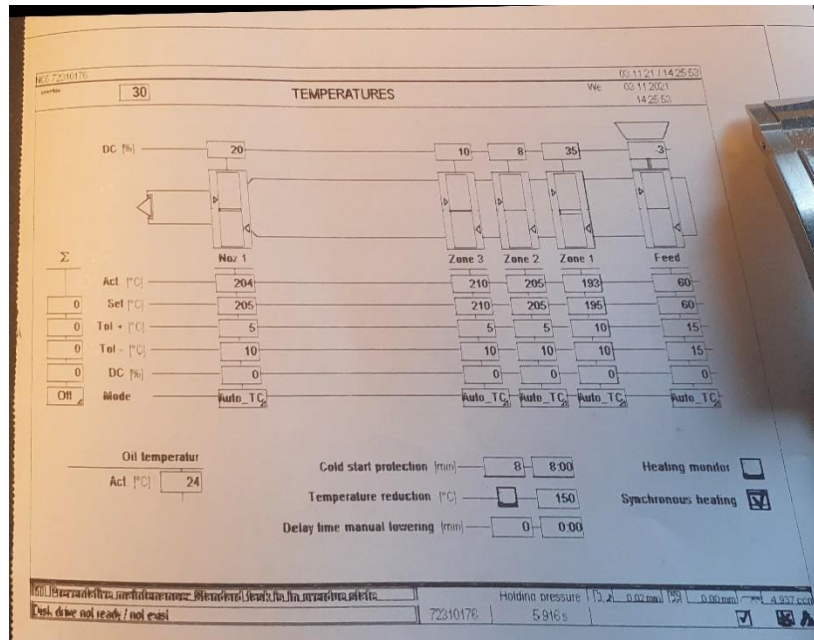
Figur 4 Formsprutningsmaskinen

Formsprutningsmaskinen som användes i detta experiment är en Sumitomo DEMAG IntElect 50–110, som syns på bilden ovan. Nästa bild visar inställningarna på maskinen som användes när provbitarna gjordes. Provbitarna krympte med några mm mera än förväntat, orsaken till detta är oklar.



Figur 5 Inställningarna på formsprutningen

Här ser man inställningarna till formsprutningsmaskinen då testbitarna gjordes. Bland annat ser man hur snabbt processen går till, hurdant tryck den använder samt i vilken position den är.



Figur 6 Inställningarna på formsprutningen

Här ser man temperaturinställningarna på formsprutningsmaskinen. Både temperaturen vid inmatnings tratten som man fyller på PE och temperaturen vid nålen som sprutar ut materialet.

## 4.2 Dragtest

Dragprovning även känd som spänningsprovning är ett grundläggande material och ingenjörstest där en provbit utsätts för en kontrollerad spänning tills den går sönder. De egenskaper som direkt mäts via ett dragprov är draghållfasthet, brotthållfasthet, maximal töjning och areaminskning. Från dessa mätningar kan man bestämma de följande egenskaperna: Youngs modul, Poissons förhållande, sträckgräns och töjningshårdningsegenskaper. Enaxlig dragprovning är bland det vanligaste användningen för att erhålla de mekaniska egenskaperna i isotropa material. Det finns vissa material som istället använder biaxell dragprovning. Skillnaden mellan dessa två sätt är hur belastningen appliceras på materialet.

Iden med dragprovning är till exempel för att hitta rätt material för en applikation.

Man kan på detta sätt förutsäga hur materialet kommer att prestera vid användning under normala och extrema krafter. Dragprovning kan också bestämma ifall en ny produktutveckling är på rätt spår, eller visa nyttan av ett nytt patent. Testet kan också ge standarddata för andra tekniska och vetenskapliga experiment.

Provexemplaret förbereds beroende på syftet på testningen och testmetoden. Dragprovet har oftast ett standardiserat provtvärsnitt. Den har två axlar med en mätare (sektion) emellan. Axlarna och greppsektionen brukar i allmänhet vara 33% större än mätsektionen, så att de lätt kan greppas. Det finns även en annan orsak för mätsektionens mindre diameter: den tillåter deformation och misslyckande i detta mätsektionens område.

#### 4.2.1 Testometric M350-5CT

Maskinen som användes i detta test var en Testometric M350-5CT. Den hör till 5KN-familjen av Testometric-maskinerna. Den har ett helt digitalt testsystem med väldigt hög noggrannhet och precisionskontroll, med automatiserat datastyrd testmetod. Den är också lätt att använda. Den har högupplösta lastceller som har en bättre noggrannhet än  $\pm 0,5\%$  ner till  $1/1000$  av lastcellkapaciteten.

Tabell 1 standard specification för Testometric M350-5CT

Standardspecifikation

Maskinens kapacitet	5kN
Hastighetsområde	0.00001 till 2000mm/min
Provtvärsnitts avstånd	1100mm
Avstånd mellan kolumner mm	320(eller 420mm med bred ram alternativ)



**Figur 7 Drag test-maskinen**

På den här bilden ser man dragtest-maskinen. Det finns ett tunt plexiglas som skyddar för skärvor som kan komma då man drar sönder provbitar. Provbiten läggs i mellan övre och nedre klon, som håller biten stadigt på plats.

### 4.3 FTIR

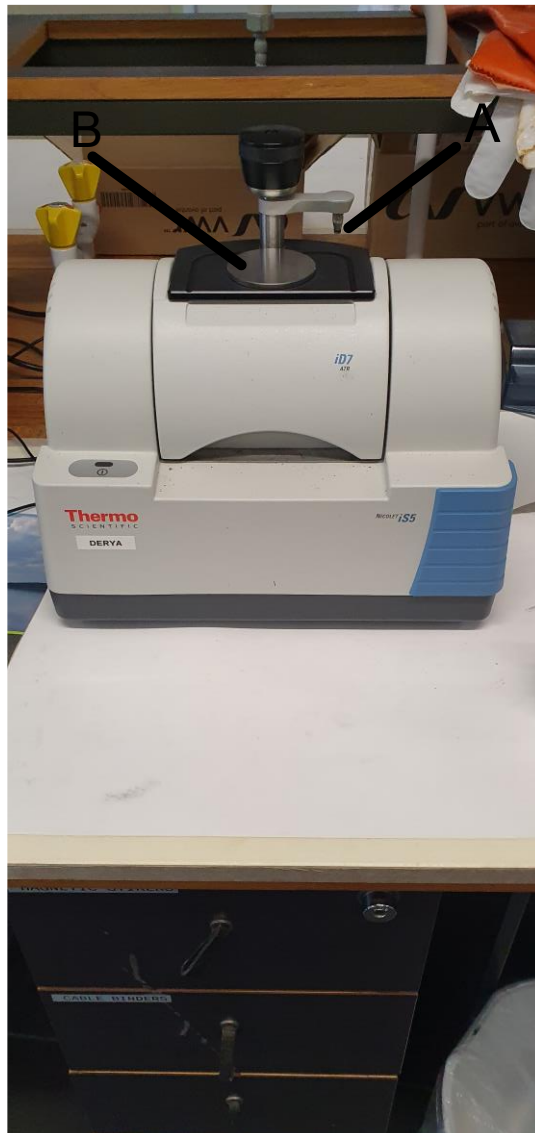
FTIR, Fourier Transform Infrared Spectroscopy eller bara FTIR-analys, är en analysteknik som används för att indentifiera oorganiska material och organiska polymer. Genom att belysa testbiten med ett infrarött ljus kan man skanna den och observera kemiska egenskaper.

FTIR-instrumentet sänder en infraröd strålning på cirka 10 000 till  $100\text{cm}^{-1}$  genom en provbit där en del av strålningen absorberas och resten passerar igenom biten. Den delen av strålningen som absorberas omvandlas sedan till rotations- och/eller vibrationsenergi av provmolekylerna. Därefter blir den resulterande signalen vid detektorn ett spektrum, typiskt från  $4000\text{ cm}^{-1}$  till  $400\text{cm}^{-1}$ , och det representerar ett molekylärt fingeravtryck. Varje molekyl eller kemisk struktur producerar ett unikt spektralt fingeravtryck, vilket gör att FTIR är ett utmärkt verktyg för kemisk identifiering.

FTIR kan användas för kvalitetskontroll, och fungerar ofta som det första steget i materialanalysprocessen. En förändring i det karakteristiska mönstret av absorptionsband visar en tydlig ändring i sammansättningen av materialet eller närvaron av föroreningar. Om man visuellt identifierar ett problem med produkten bestäms ursprunget vanligtvis av en FTIR-mikroanalys. Denna teknik är användbar för att analysera den kemiska sammansättningen av mindre partiklar vanligtvis 10–50 mikron såväl som större ytor på ytan.

FTIR är som en analysmetod med många olika tillämpningar, men datatolkning är inte en av dem. Naturligt är det totala spektrum som genereras en seriefunktion av absorberad energirespons, (därav 'Fourier Transform'-delen av namnet). Det absorberade banden som presenteras i spektrumet är endast något diskreta och degenerativa. Toppen av energin vid en viss vågnummer kan röra sig baserat på andra kemiska- och matrisfaktorer. Därför finns det inte en direkt tabell som man kan slå upp för att säga vad ett visst energiband absolut kommer att vara. Spektrumet måste tolkas som ett helt system och kräver därför erfarenhet inom spektrografiska tekniker för att korrekt identifiera den presenterade funktionaliteten.

Det finns uppslagsinformationsbibliotek som är begränsade i omfattning och djup i jämförelse med de miljontals industriella kemikalier som används, och de tar inte heller hänsyn till blandningar och kemikalier som kan ge felaktig sökinformation. Figuren nedan är maskinen som användes i testet.



**Figur 8 FTIR-maskinen**

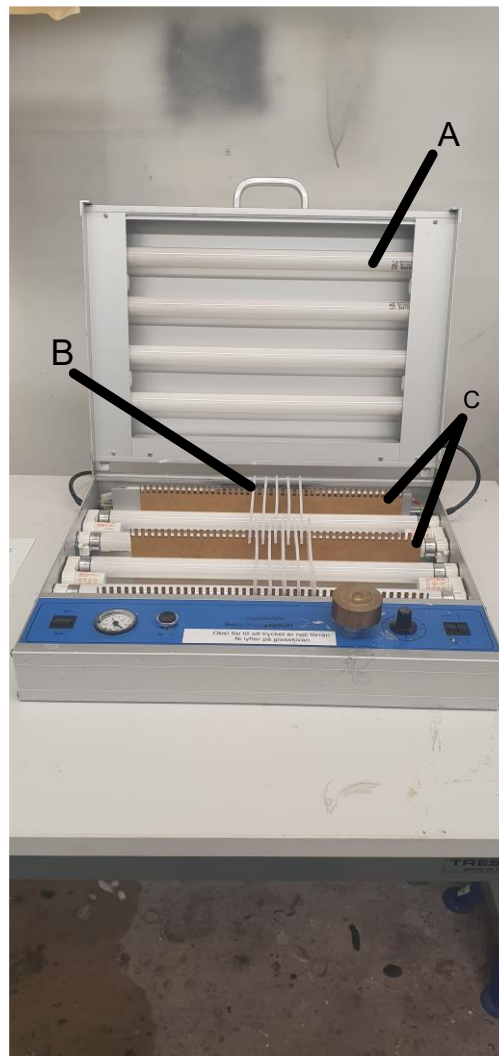
En Nicolet iS 5 FTIR spectrometer. Vid B-punkten placeras provbiten liggandes på sidan efter att både ytan och provbiten har rengjorts med isopropylalkohol. Punkt A är nålen med kristallen som lyser en infraröd stråle genom provbiten som ska analyseras.

#### **4.4 UV-belysning**

Olika plaster åldras på olika sätt. Den vanligaste och mest kända åldrandet av plast orsakas av UV-strålning. Detta kan ses på många ställen: från utemöbler som förlorar sin färg

på grund av solljuset till plastavfall. Nedbrytning som orsakas av UV-strålning är fotooxidativ, vilket betyder att polymerkedjor bryts ner, molekylvikten minskar, och det skapas fria radikaler. Polymerer bryts ner av flera olika faktorer som kemisk, termisk, biologisk, radiolytisk, mekanisk och fotonedbrytning.

Det finns andra material än plast som bryts ner av UV-strålning. Plasten har oftast ett stödjande material i sig för att skydda den mot strålning. Bensofenon och bensotriazol är vanliga UV-blockerare, som skyddar mot UV-strålar och därmed gör så att plasten håller längre. Såklart håller ingen UV-blockerare för evigt, utan den finns där för att förlänga livslängden på plasten. Bilvax är exempelvis ett bra UV skydd för färgen på bilar. Figuren nedan är den maskin som användes för att bestråla bitarna med UV.



**Figur 9 UV-lådan som användes**



Punkten A är Philips tld 15W/05 lysrör som de finns 8 stycken av. Punkten C är en ställning för provbitarna. Punkt B är själva provbitarna. Prov bitarna fick bara uv bestrålning liggandes på den tunna sidan.

## 5 RESULTAT

Nedan beskriver jag resultaten av de olika testerna. De är uppdelade i antalet timmar som bitarna har fått UV-belysning. Förväntan var att UV-bestrålningen skulle försvaga materialet och göra det mera skört.

### 5.1 PE provbitar 0 timmar strålning

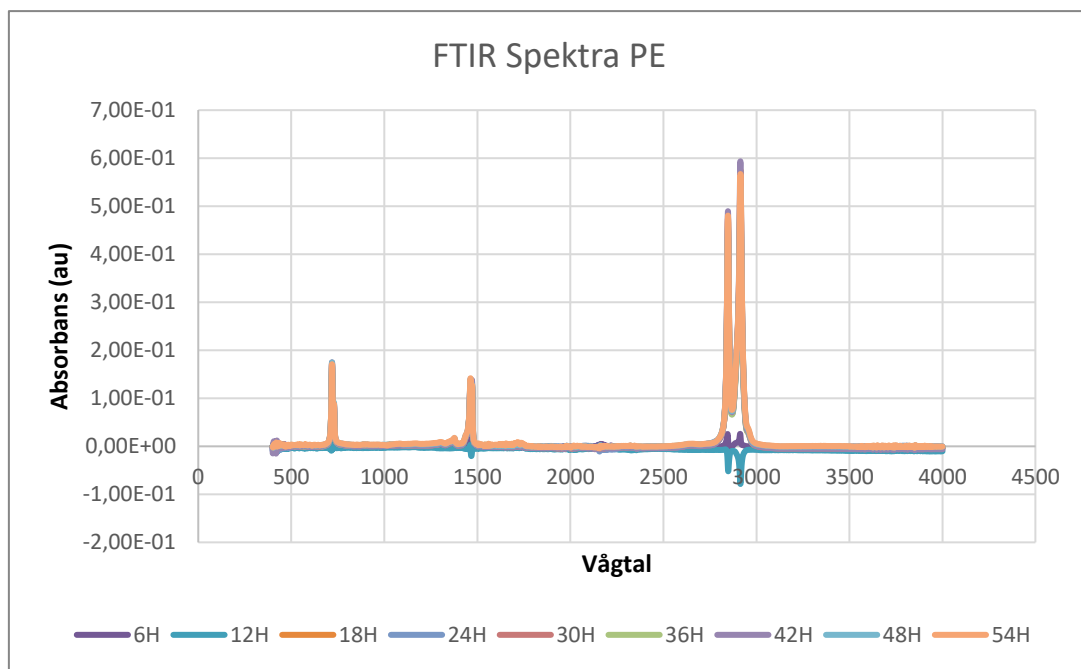
Tabell 2 provbitar 0 timmar strålning

PE 0 Timmar Strålning	$\sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (Max)	E (MPa)
Bit 46	12,80	0,052	244,83
Bit 47	12,22	0,059	203,84
Bit 48	12,66	0,051	243,96
Bit 49	12,67	0,051	243,81
Bit 50	12,62	0,052	240,82
PE medeltal	12,59	0,053	235,45
Standardavvikelse	0,220	0,003	17,73
Relativ variation	0,017	0,065	0,075

Hos de oåldrade provbitarna är medeltalet för Youngs modul  $E = 235,45 \text{ MPa}$ , hållfastheten är  $\sigma = 12,59 \text{ MPa}$  och töjningen är  $\epsilon = 0,053$ . Det finns en del variation, men en orsak till detta kan vara om de var dåligt fästa under dragtestet, eller om det fanns variation i sprutformningen. Lite variationer kommer det alltid att finnas, två bitar kommer aldrig att vara exakt likadana.

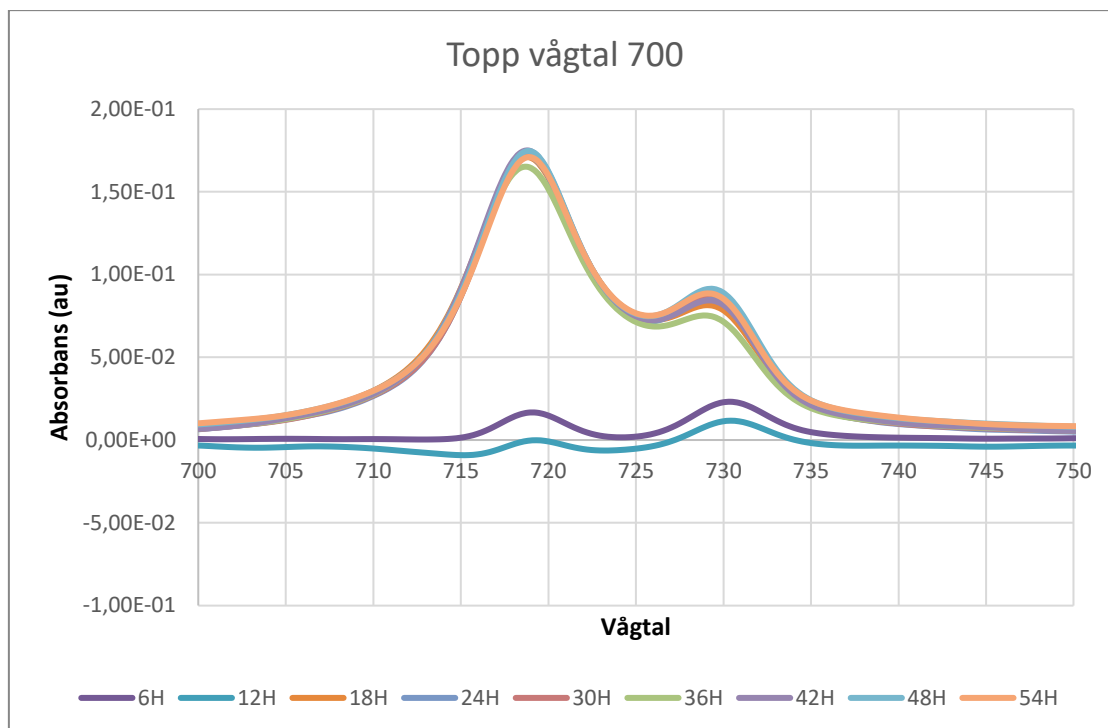
## 5.2 FTIR-data

I tabellen nedanför ser man den relativa förändringen i FTIR-spektran. Data tyder på att provbitarna skapade mera atombindningar, eftersom mindre infrarött ljus tryckte sig igenom provbiten ända fram till 42 timmar. Efter det började bindningarna gå sönder och mera infrarött ljus slapp igenom. Detta passar ihop med data som dragtestet gav, där materialet blev styvare i början tills de mot slutet blev mera elastiskt igen.



Figur 10 Totala FTIR-spektra

Detta är en helhet av alla FTIR-spektra i detta arbete för att bättre förstå vad de kommande bilderna representerar.



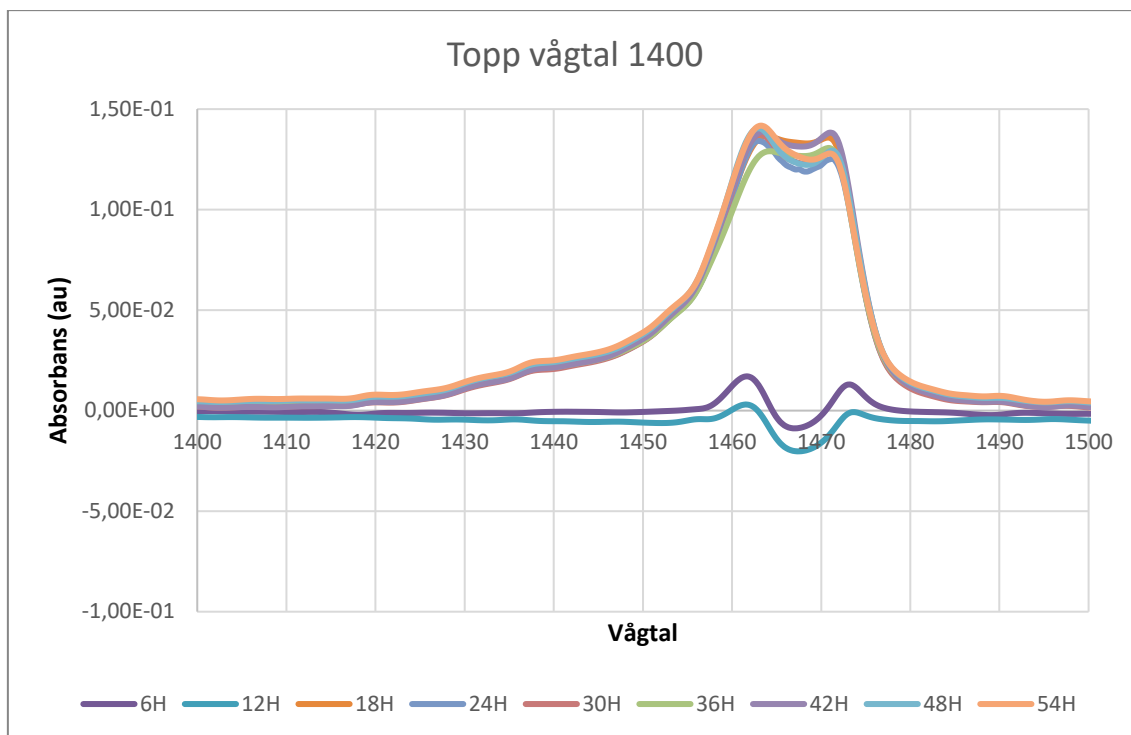
**Figur 11 Toppnen vid vågtal 700**

Här ser vi förändringarna i den första toppen i spektra. Vid 12 timmar sjönk det lite men sedan steg det och hölls på samma nivå. Man kan se att det var som högst vid 42 timmar efter det sjönk det något.

**Tabell 3 topp 1**

Timmar	Relativ förändring topp 1
6-12h	-111 %
6-18h	1028%
6-24h	1031%
6-30h	1048%
6-36h	980%
6-42h	1049%
6-48h	1054%
6-54h	1038%

Här ser man hur förändringen i spektra sker procentuellt. Som man ser är det ganska stora förändringar



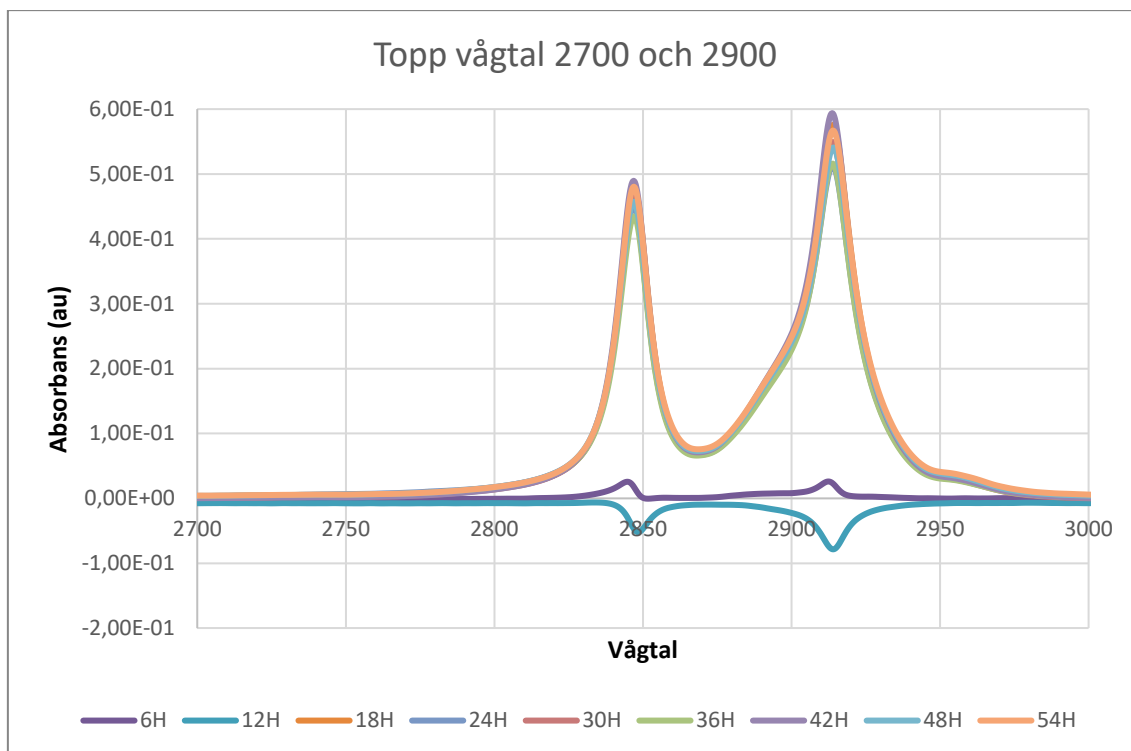
**Figur 12 Topp vid vågtal 1400**

Det här är den andra toppen och här sker likadana förändringarna som vid första toppen. Den faller lite vid 12 timmar och är som högst vid 42 timmar.

**Tabell 4 topp 2**

Timmar	Relativ förändring topp 2
6-12h	128%
6-18h	1610%
6-24h	1458%
6-30h	1501%
6-36h	1536%
6-42h	1589%
6-48h	1498%
6-54h	1540%

Det fortsätter på samma sätt med små förändringar efter 18 timmar, men man ser att bindningarna har ökat.



**Figur 13** Topparna vid vågtal 2700 och 2900

Vid den tredje och fjärde toppen upprepar mönstret sig. Vilket passar ihop med datan som dragtestet gav.

**Tabell 5** topp 3

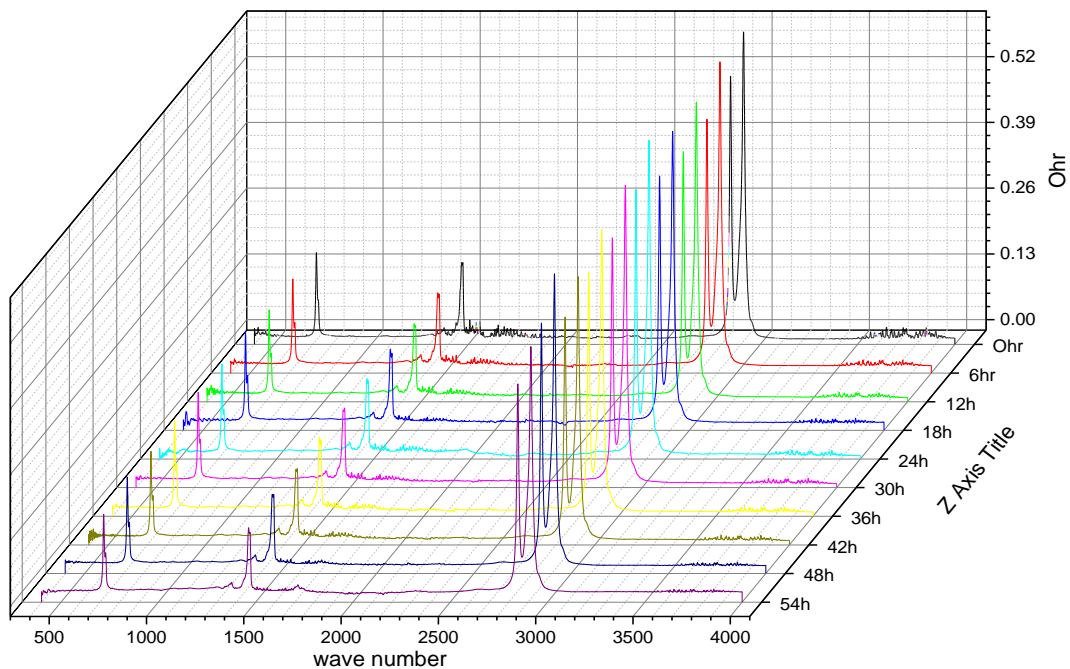
Timmar	Relativ förändring topp 3
6-12h	-435%
6-18h	3114%
6-24h	2936%
6-30h	3079%
6-36h	2835%
6-42h	3196%
6-48h	2982%
6-54h	3141%

Vid den tredje toppen börjar man se stora förändringar i spektra det börjar med samma att 12 timmar sjunker lite men sen ökar det rejält, vilket förklarar varför materialet blev styvare.

Tabell 6 topp 4

Timmar	Relativ förändring topp 4
6-12h	-440%
6-18h	2392%
6-24h	2117%
6-30h	2279%
6-36h	2134%
6-42h	2469%
6-48h	2241%
6-54h	2355%

Vid den fjärde toppen sker de största förändringarna i spektra och man ser att de ökar rejält. Det här sammanfaller med dragtestets resultat.



Figur 14 Alla FTIR spektra

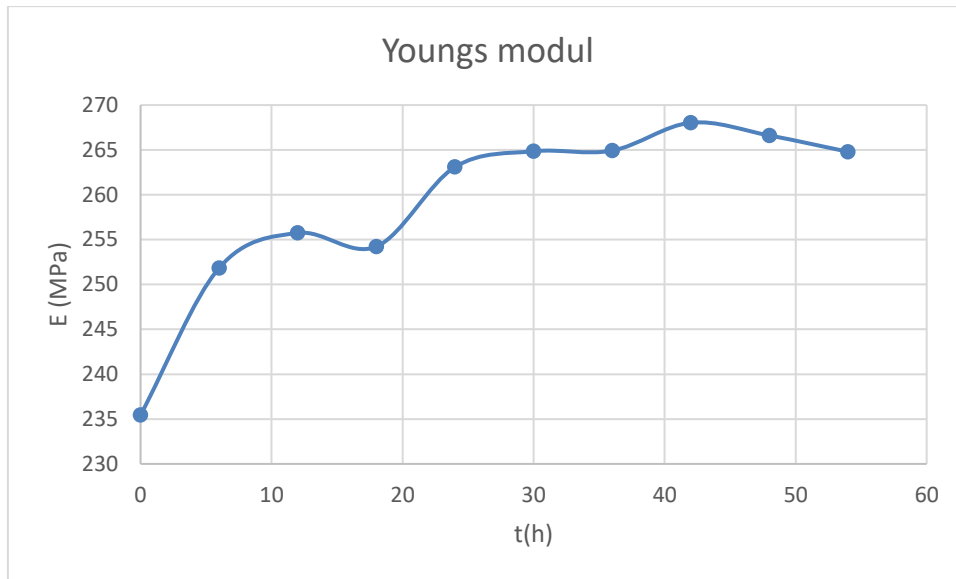
FTIR ger resultat genom att exponera materialet vid olika våglängder av elektromagnetisk strålning, vanligtvis i intervallen  $400\text{ cm}^{-1}$  till  $4000\text{ cm}^{-1}$ , och kontrollerar intensiteten av den reflekterade vågen. FTIR-resultaten visade att topparna representerar huvudbindningarna vid  $718\text{ cm}^{-1}$ ,  $1378\text{ cm}^{-1}$ ,  $1470\text{ cm}^{-1}$ ,  $2847\text{ cm}^{-1}$  och  $2914\text{ cm}^{-1}$ , vilket sammanfaller med närvaron av C-C sigma bindningar och CH- bindningar.

### 5.3 Slutsats

Tabellen nedan uppvisar intressanta resultat. Hållfastigheten var högst i bitarna som hade bestrålats i 24 timmar. Töjningen var som minst i bitarna som var bestrålade i 48 timmar, vilket skulle betyda att de var då som bitarna var som skörast. Youngs modul var som högst i bitarna som hade bestrålats i 42 timmar. Det alltså var då bitarna var som styvats. Efter 54 timmar av bestrålning var bitarna skörare och styvare än då bitarna var obehandlade. Men detta var ändå inte bitarnas svagaste skede. PE-bitarna hade en 4,85% förändring i sigma från 0 timmar till 54 timmar, medan strainen hade en skillnad på 7,09% och Youngs modul hade en skillnad på 12,46%. Bitarna hade dock ingen visuell förändring.

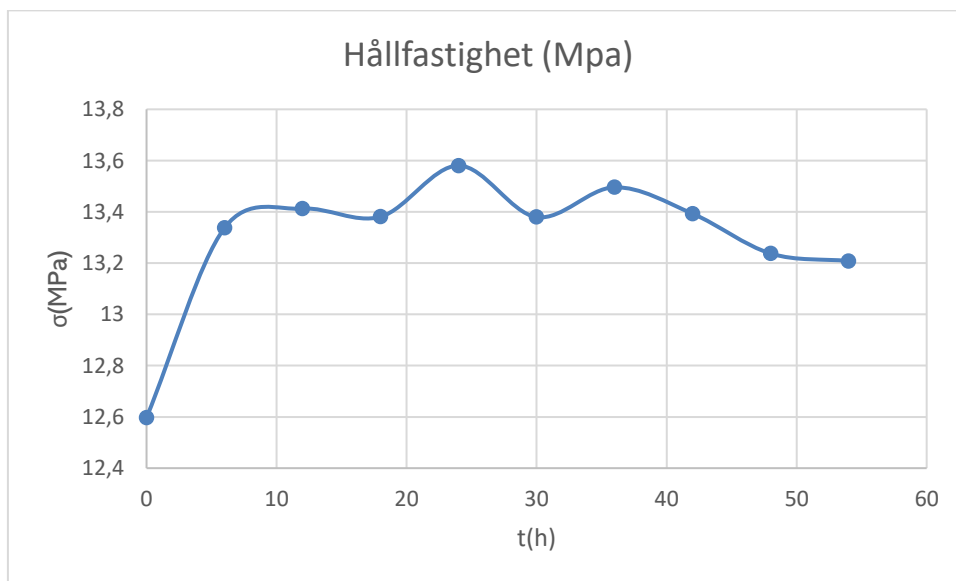
Tabell 7 sammanfattning

PE medeltal	$\sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (Max)	E (Mpa)
0 timmar medeltal	12,59	0,053	235,45
6 timmar medeltal	13,33	0,053	251,84
12 timmar medeltal	13,41	0,052	255,74
18 timmar medeltal	13,38	0,052	254,22
24 timmar medeltal	13,58	0,051	263,10
30 timmar medeltal	13,37	0,050	264,85
36 timmar medeltal	13,49	0,050	264,92
42 timmar medeltal	13,39	0,049	268,03
48 timmar medeltal	13,23	0,049	266,60
54 timmar medeltal	13,20	0,049	264,80
% skillnad 0–54 timmar	4,85%	7,09%	12,46%



**Figur 15 Youngs modul**

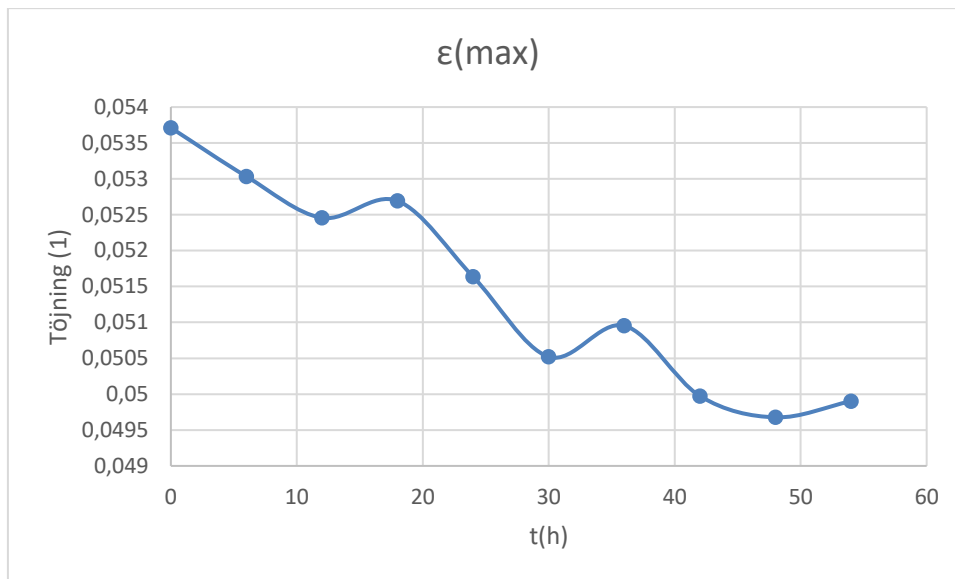
Denna är en tabell över hur Youngs modul förändrade sig med tiden. Den steg stadigt upp till 12 timmar. Efter det sjönk den lite, men började igen stiga stadigt upp till 42 timmar, varefter den började sjunka igen.



**Figur 16 Hållfastighet**

Bilden på hållfastighet visar hur den steg upp till 6 timmar. Efter det var den nästan samma upp till timme 18, varefter den steg och sjönk med 6 timmar mellanrum tills 42 timmar, då sigma endast sjönk. Detta betyder att biten blev starkare i början och mot slutet började försvagas igen.





**Figur 17 Töjningen**

Dragtöjning definieras som deformation eller förlängning av en fast kropp på grund av applicering av en dragkraft eller spänning.

## 6 SAMMANFATTNING

Syftet med arbetet var att se hur PE reagerar ifall det bestrålas med UV-belysning under en kort tid. Provbitarna krympte under formsprutningen, men orsaken till den är oklar. Annars betedde sig materialet som förväntat. Data som kom fram av det här testet visade sig att det PE-material jag använt (Lupolen 1840 h LDPE) blev styvare antingen skapades det flera atombindningar eller att kristallisation skedde upp till 42 timmar. Efter det började materialet försvagas. Min teori är att de beror på oxidation och eventuellt på om kristallisation av polymerkedan. Inga visuella förändringar syntes på provbitarna, bara mekaniska. Data bekräftar detta. PE-bitarna hade en 4,85% förändring i hållfastheten från 0 timmar till 54 timmar. Töjningen hade en skillnad på 7,09% och Youngs modul hade en skillnad på 12,46%. FTIR skannen visade den största förändringen i topp 4 var förändringen var 2469% som störst vid vågtal 2900. Detta var också ett kortvarigt experiment på bara 54 timmar medan experimenten jag refererade till var flera hundratals timmar. Vet inte

om andra kortvariga experiment har gjorts jag hittade i varje fall inte några. Några saker man skulle kunna tänka på ifall man gör om detta experiment är ifall ytan som blev bestrålad av UV har en betydelse nu blev ju bara den tunnare sidan skulle experimentet ha sett annorlunda ut ifall man skulle ha bestrålat den bredare sidan. Skulle också rekommendera att man går djupare in i orsaken till att materialet blev styvare för att få fram den exakta orsaken till att allt skede. Det som också skulle vara bra är att veta spektra på UV ljuset det vet jag inte om i detta experiment. Sedan finns det flera saker som också kan ha påverkat resultatet som, putsade jag FTIR skannern och bitarna tillräckligt varje gång, var bitarna tillräckligt fastspända i dragtestmaskinen för vissa bitare hade drag märken vilket skulle betyda att de gled lite ur position.

## KÄLLOR

Wikipedia "Injection Moulding" 2022 Tillgänglig [https://en.wikipedia.org/wiki/Injection\\_moulding](https://en.wikipedia.org/wiki/Injection_moulding) Hämtad 30.3.2022

RTI LABORATORIES Tillgänglig <https://rtilab.com/techniques/ftir-analysis/>  
Hämtad 30.3.2022

Meifong "Intelligent Dental" 27.11.2011 Tillgänglig <http://www.intelligentdental.com/2011/11/27/what-is-compositetooth-coloured-filling-material/>  
Hämtad 1.4.2022

Q-LAB "q-lab" Tillgänglig <https://www.q-lab.com/products/quv-weathering-tester/quv> Hämtad 2.4.2022

L. K. Massey, "The effect of UV light and weather on plastic elastomers" *Second edition pp 315-322 2006* Tillgänglig Hämtad 2.4.2022 [1]

Pieter Gijsman, Guido Meijers, Giacomo Vitarelli. "Comparison of the UV-degradation chemistry of polypropylene, polyethylene, polyamide 6 and polybutylene terephthalate 1999 Tillgänglig Hämtad 3.4.2022 [3]

Testometric "5KN MACHINES" 2018 Tillgänglig <https://www.testometric.co.uk/5kn/> Hämtad 3.4.2022

Dhital B, Durlik P, Rathod P, et al. *Ultraviolet radiation reduces desmosine cross-links in elastin. Biochem Biophys rep.* 2017 Tillgänglig Hämtad 4.4.2022

Wikipedia "Tensile testing" Tillgänglig [https://en.wikipedia.org/wiki/Tensile\\_testing](https://en.wikipedia.org/wiki/Tensile_testing) Hämtad 5.4.2022

Corrosionpedia "Thermoplastic" Tillgänglig <https://www.corrosionpedia.com/definition/2396/thermoplastic> Hämtad 5.4.2022

Wikipedia "Thermoplastic" Tillgänglig <https://en.wikipedia.org/wiki/Thermoplastic>  
Hämtad 5.4.2022

Laurence W. McKeen "The effect of UV Light and Weather on Plastic Elastomers" Tillgänglig Hämtad 6.4.2022

Gloria M Vinhas, Rosa M souto Maior, Yeda M.B de Almeida. "Radiolytic degradation and stabilization of poly(vinyl chloride)" Tillgänglig Hämtad 7.4.2022

Jim R.White "Polymer ageing:physics, chemistry or engineering? Time to reflect" Tillgänglig Hämtad 7.4.2022

Brian C Smith " The infrared Spectra of polymers II: Polyethylene September 1,2021 Tillgänglig <https://www.spectroscopyonline.com/view/the-infrared-spectra-of-polymers-ii-polyethylene> Hämtad 12.4.2022

Joongmin S, Xiaojing L, Naveen C, Yuon Suk,L "Polymer surface modification using UV treatment for attachment of natamycin and the potential applications for conventional food cling wrap (LDPE) 276-284 2006 Tillgänglig Hämtad 9.5.2022 [4]

## BILAGOR / APPENDICES

PE 6 Timmar Strålning	$\Sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (Max)	E (MPa)
Bit 1	13,30512821	0,051951511	256,1066667
Bit 2	13,46153846	0,055382551	243,0646154
Bit 3	13,28461538	0,049646219	267,585641
Bit 4	13,15897436	0,053113098	247,7538462
Bit 5	13,47692308	0,055073095	244,7097436
PE medeltal	13,3374359	0,053033295	251,8441026
Standardavvikelse	0,132797246	0,002362663	10,1325485
Relativ variation	0,00995673	0,044550553	0,040233416

PE 12 Timmar Strålning	$\Sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (Max)	E (MPa)
Bit 6	13,52307692	0,052102268	259,5487179
Bit 7	13,2025641	0,0535435	246,5764103
Bit 8	13,32564103	0,052169496	255,4297436
Bit 9	13,44358974	0,05273799	254,9128205
Bit 10	13,56666667	0,051730544	262,2564103
PE medeltal	13,41230769	0,05245676	255,7448205
Standardavvikelse	0,148810758	0,000706341	5,952345773
Relativ variation	0,01109509	0,013465203	0,023274551

PE 18 Timmar Strålning	$\Sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (Max)	E (MPa)
Bit 11	13,60512821	0,054282885	250,6338462
Bit 12	13,04358974	0,054883996	237,6574359
Bit 13	13,34358974	0,051050038	261,3825641
Bit 14	13,34102564	0,052186141	255,6430769
Bit 15	13,57179487	0,051057615	265,8133333
PE medeltal	13,38102564	0,052692135	254,2260513
Standardavvikelse	0,225543394	0,001799924	10,8962344
Relativ variation	0,016855464	0,034159257	0,042860416

PE 24 Timmar Strålning	$\Sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (Max)	E (MPa)
Bit 16	13,61025641	0,05190325	262,2235897
Bit 17	13,62307692	0,051462611	264,7179487
Bit 18	13,58205128	0,052495441	258,7282051
Bit 19	13,79487179	0,050266844	274,4328205
Bit 20	13,29230769	0,052044849	255,4010256
PE medeltal	13,58051282	0,051634599	263,1007179
Standardavvikelse	0,181459856	0,000848802	6,48391036
Relativ variation	0,013361782	0,01643863	0,024644214

PE 30 Timmar Strålning	$\Sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (Max)	E (MPa)
Bit 21	13,36410256	0,051191187	261,0625641
Bit 22	13,41794872	0,050649255	264,9189744
Bit 23	13,31282051	0,050278118	264,7835897
Bit 24	13,53076923	0,05093944	265,6246154
Bit 25	13,27179487	0,049542858	267,8851282
PE medeltal	13,37948718	0,050520172	264,8549744
Standardavvikelse	0,100802174	0,000643514	2,457933429
Relativ variation	0,007534084	0,012737769	0,009280299

PE 36 Timmar Strålning	$\Sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (Max)	E (MPa)
Bit 26	13,50769231	0,050356356	268,2420513
Bit 27	13,54358974	0,05218955	259,5076923
Bit 28	13,75384615	0,050604537	271,7907692
Bit 29	13,27692308	0,051325055	258,6830769
Bit 30	13,3974359	0,050292224	266,3917949
PE medeltal	13,49589744	0,050953545	264,9230769
Standardavvikelse	0,17790142	0,000803355	5,670139138
Relativ variation	0,013181889	0,015766411	0,021402964

PE 42 Timmar Strålning	$\Sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (Max)	E (MPa)
Bit 31	13,91794872	0,051322975	271,1835897
Bit 32	13,16666667	0,048970429	268,8697436
Bit 33	13,32564103	0,051161243	260,4635897
Bit 34	13,21282051	0,0486367	271,6635897
Bit 35	13,34102564	0,04977766	268,0123077
PE medeltal	13,39282051	0,049973802	268,0385641
Standardavvikelse	0,302696625	0,001231194	4,502881923
Relativ variation	0,02260141	0,024636792	0,016799381

PE 48 Timmar Strålning	$\Sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (Max)	E (MPa)
Bit 36	13,21025641	0,048587639	271,8851282
Bit 37	13,35897436	0,049773773	268,3938462
Bit 38	13,16666667	0,048632789	270,7364103
Bit 39	13,17435897	0,049474633	266,2851282
Bit 40	13,27692308	0,051915395	255,7415385
PE medeltal	13,2374359	0,049676846	266,6084103
Standardavvikelse	0,080710194	0,00135442	6,447195738
Relativ variation	0,006097117	0,027264617	0,024182267

PE 54 Timmar Strålning	$\Sigma$ (MPa)	$\epsilon$ (Max)	E (MPa)
Bit 41	13,34358974	0,04917599	271,3435897
Bit 42	13,08461538	0,050400199	259,614359
Bit 43	13,15384615	0,051560691	255,1138462
Bit 44	13,29230769	0,049409074	269,025641
Bit 45	13,16666667	0,048964452	268,9025641
PE medeltal	13,20820513	0,049902081	264,8
Standardavvikelse	0,106485917	0,001078021	7,039497322
Relativ variation	0,008062104	0,021602734	0,026584204