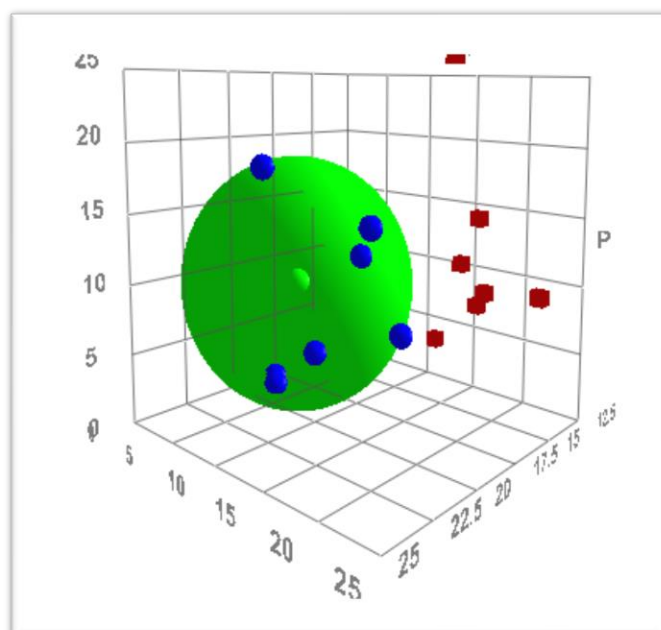




AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Kvantificering af Hansens Opløselighedsparametre



Dalia Basil Farooq Abed Yashou

Titel: Kvantificering af Hansens opløselighedsparametre
Semester: 7.
Semester tema: Afgangsprojekt
Projektperiode: 12.oktober.2018-10.januar.2019
ECTS: 15
Vejleder: Rudi P. Nielsen

[Dalia Basil Farooq Abed Yashou]

Antal sider: [39 sider uden bilag]

Bilag: [3]

SYNOPSIS: This report is about Optimization of Hansens Solubility Parameters. It is about examining which of the methods for evaluating hansens solubility parameters works best. Experiments are made for HDPE and ABS polymers. After the polymers contact with solvents, they are being examined in 4 different methods. Tensile strength reduction, hardness, observation and swelling. The results of the experiments are evaluated, and a conclusion are made with for and against each of the methods. Finally, a possible optimization of the methods is given.

Indhold

Kvantificering af Hansens Opløselighedsparametre	0
1. Indledning	1
2. Teori.....	1
2.1 Molekylær attraktioner	1
2.1.1 Dispersionskræfter	1
2.1.2 Polære kræfter	2
2.1.3 Hydrogenbindinger	2
2.2 Hildebrand parametre	3
2.3 HSP- Hansens opløselighedsparametre.....	3
3. Bestemmelse af hansens opløselighedsparametre.....	5
3.1 Bestemmelse af HSP for polymer gennem observation.....	6
3.2 Bestemmelse af HSP for polymer via. kvældningsmetoden	7
3.3 Bestemmelse af HSP for polymer gennem trækstyrke reduktion.....	8
3.4 Intrinsic viskositet målinger	8
3.5 HSP og IGC	10
3.6 HSP ved brug af overfladespænding	11
3.7 Delkonklusion	11
4 Problemformulering	12
4.1 Projektafgrænsning	12
5. Materiale og metode	14
5.1 Materialer	14
5.1.1 HDPE	15
5.1.2 ABS.....	16
5.2 Metode	18
5.2.1 Observation	18
5.2.2 Kvældning	19
5.2.3 Hårdhedstest	19
5.2.4 Trækstyrketest.....	21
5.2.5 HSPiP software	22
6 Resultater og databehandling	22
6.1 Observation	22
6.2 Kvældning	25

6.3 Hårdhed	28
6.4 Trækstyrke	30
6.5 Sammenfatning af resultater.....	34
7 Diskussion	35
8 Konklusion	35
9 Perspektivering.....	36
10 Referencer	36
13 Bilag	39
Bilag 1, opløsningsmidler.....	39
Bilag 2, Hårdhedstest målinger	44
Bilag 3	47
3.1 Trækstyrketestdata for ABS målinger	47
3.2 Trækstyrke for HDPE målinger	49
3.3 Tøjning, HDPE	52
3.4 Tøjning ABS.....	54

1. Indledning

Opløselighedsparametre bruges mest i coating industrien til at hjælpe med udvælgelsen af opløsningsmidler. I andre industrier bruges opløselighedsparametrene til for eksempel at forudsige kompatibilitet af polymer og til at karakterisere overfladerne af pigmenter, fibre og fyldstoffer. Hansens opløselighedsparametre bruges ofte til evaluering af kemiske interaktioner af polymer og opløsningsmiddel. Metoden går ud på at sammenblende polymer med en række forskellige opløsningsmidler med forskellige HSP værdier. Evalueringen af polymerens opløselighed sker typisk gennem vejning af massen af polymeren eller gennem visuel observation. Da en visuel observation af polymeren kan være ikke præcis, vil der i dette projekt kigges efter nye metoder til evalueringen af opløseligheden. Der er dermed opstillet følgende initierende problemstilling:

"Hvorledes evalueres HSP og er der yderligere rum for kvantificering af resultaterne?"

For at besvare dette problemstilling er det første skridt at finde hvordan HSP evalueres og hvad HSP er.

2. Teori

Hansens opløselighedsparametre (HSP) er termodynamiske størrelser. De kan anvendes til beregning opløselighed, aktivitetskoefficienter, permeationsforhold, adsorption og der hvor affinitet mellem forskellige materialer har relevans. [1]

I det følgende beskrives de molekylære attraktioner, da disse har relevans for opløselighedsteorien:

2.1 Molekylær attraktioner

Væsker og faste stoffer adskiller sig fra gasser på den måde at deres molekyler holdes sammen ved hjælp af intermolekylære kræfter. For at lave en opløsning, skal opløsningsmidlets molekyler overvinde de intermolekylære kræfter i det opløste stof og finde deres vej imellem det opløste stofs molekyler. Samtidig skal opløsningsmiddel molekylerne separeres fra hinanden ved hjælp af det opløste stofs (solute) molekyler. Dette sker bedst når attraktionerne mellem molekylerne af begge stoffer er ens. Hvis attraktionerne for molekylerne i de to stoffer er forskellige, kan de ikke blandes sammen. [2]

i følgende afsnit beskrives de tre typer af polære interaktioner, som oftest anvendes i opløselighedsteorier: Dispersionskræfter, polære kræfter, og hydrogenbindinger.

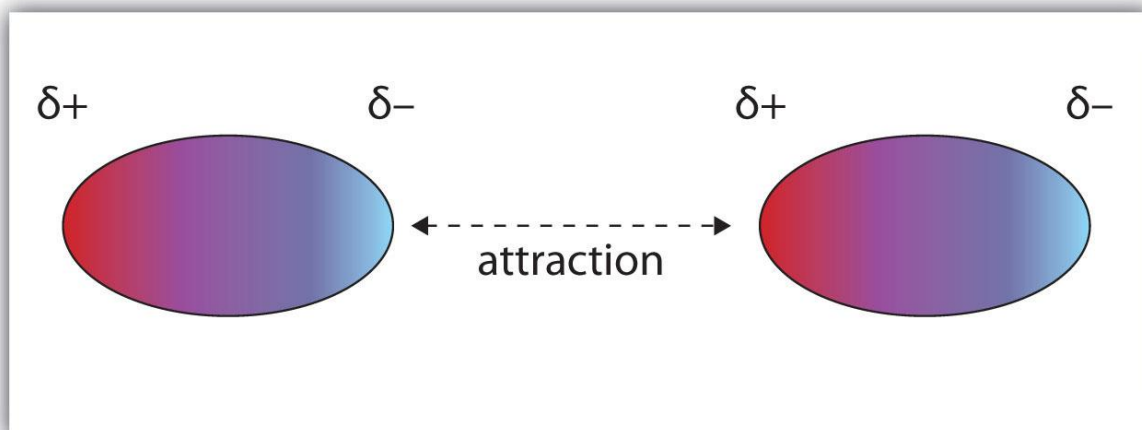
2.1.1 Dispersionskræfter

Dispersionskræfter kaldes også for London-kræfter. Disse kræfter er interaktioner mellem uladede og upolære molekyler og atomer og er de svageste af de kræfter, som binder atomer sammen til

molekyler, og binder molekylerne sammen. Dispersionskræfter er de kræfter, der holder de fleste molekyler sammen i væskefasen. [3]

2.1.2 Polære kræfter

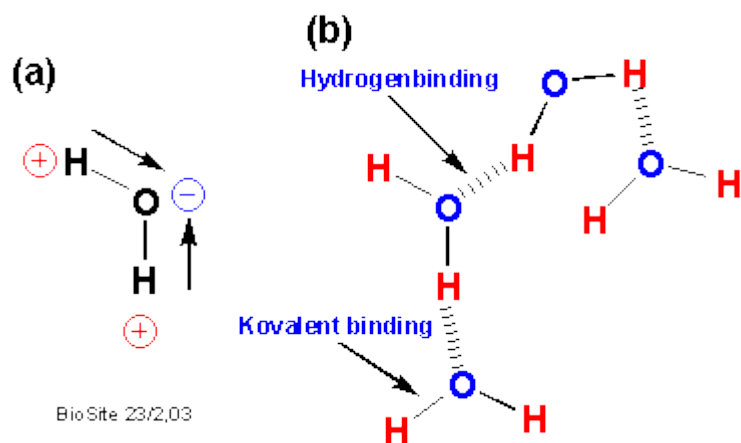
Polære molekyler interagerer også ved hjælp af dispersionskræfter men de bruger også stærkere kræfter end disperionskræfter, de såkaldte dipol-dipol kræfter. Permanente dipoler opstår, når elektroner er ujævnt fordelt mellem de enkelte atomer i et molekyle. Hvis elektrondensiteten er ubalanceret, vil nogle atomer i molekylet have større andel af den negative ladningsfordeling og hele molekylet vil være polært. Polariteten i et molekyle er relateret til dets atomkomposition, dets geometri, og dets størrelse. Polære molekyler arrangerer sig fra hoved til hale, positive til negative (jf. figur 1). Disse Dipol-dipol kræfter kaldes også for Keesom - interaktioner, er symmetriske attraktioner, der afhænger af de samme egenskaber i hvert molekyle. Keesom-interaktioner er temperaturafhængige, højere temperaturer forårsager øget molekyllære bevægelse og derfor bliver keesom interaktioner formindsket. Et eksempel på dipol-dipol kræfter er vandmolekylets tiltrækning af hinanden (jf. figur 2), figuren er beskrevet i næste afsnit *hydrogenbindinger*. [2]



Figur 1 Dipol-dipol kræfter [4]

2.1.3 Hydrogenbindinger

Hydrogenbindinger er elektrostatiske vekselvirkninger mellem elektropositive hydrogenatomer og elektronegative oxygen, fluor eller nitrogen atomer. Nedenstående figur a) viser et vandmolekyle hvor oxygenatomet bliver mere negativ ladet mens hydrogenatomerne bliver positivt ladede. Figur b) viser at vandmolekylerne kan danne hydrogenbindinger mellem hydrogen og oxygen. Ovenstående figur 1 viser også denne attraktion hvor de elektropositive bliver tiltrukket af de elektronegative atomer. [5]



Figur 2 a) Hydrogenbindinger for et vandmolekyle og b) flere vandmolekyler sammensat.

Hydrogenbindinger kan betragtes som svage kovalente bindinger, og de er ikke stærke i sig selv, men de virker stabiliserende når der er mange af dem.

2.2 Hildebrand parametre

Begrebet opløselighedsparameter var brugt første gang af Hildebrand og Scott.

Opløselighedsparameteren er en numerisk værdi, som angiver den relative opførsel af et specifikt opløsningsmiddel. Opløselighedsparameteren er afledt fra den kohæsive energi densitet af et opløsningsmiddel, og den kohæsive energi densitet er afledt af fordampningsvarmen.

Fordampningsvarmen er den energi, som skal til, for at fordampe en given væske. [2]

Den totale kohæsive energi, E , kan måles ved at fordampe væsken, eller med andre ord bryde alle de sammenhængende bindinger. Den samlede kohæsive energi anses for at være identisk til fordampningsenergi. De kohæsive energier stammer fra interaktioner af et opløsningsmiddel-molekyle med et andet fra sin egen type. Materialer med lignende HSP har højere affinitet for hinanden. [2]

2.3 HSP- Hansens opløselighedsparametre

En opløselighedsparameter tilgang foreslået af Charles M. Hansen til forudsigelse af polymeropløselighed har været brugt i mange sammenhænge. Grundlaget for HSP'er er den samlede fordampningsenergi af en væske består af flere individuelle dele. Disse opstår fra atomare dispersionskræfter, dipol-dipolkræfter, og hydrogen binding., Se afsnit *molekylære attraktioner*. [6]

Der findes tre hovedtyper af interaktioner i organiske materialer. Den mest generelle er den u-polær interaktion. Denne er afledt fra atomare kræfter og bliver også kaldt for spredningsinteraktioner (dispersion interactions). At finde dispersions kohæsive energi er startpunktet for beregning af de tre hansens parametre for en given væske. [6]

Den dipole-dipol interaktioner forårsager en anden type af kohæsive energi, den polær kohæsive energi, E_p . Disse er molekulære interaktioner og findes i de fleste molekyler. Dipolmomentum er

den primære parameter som er brugt til at beregne disse interaktioner. De polære opløselighedsparametre betyder her veldefineret, eksperimentelt verificeret, og kan estimeres ud fra molekylære parametre. [6]

Den tredje hovedtype af de kohæsive energikilder er hydrogenbinding, E_H . Denne kaldes også for elektronudvekslingsparameter (electron exchange parameter). Hydrogenbindinger er molekylær interaktion og ligner de polære interaktioner i denne sammenhæng. Grundlaget for denne type af kohæsive energi er tiltrækningen blandt molekylerne på grund af hydrogenbindingerne. Hydrogenbinding parameter har været brugt til mere eller mindre at indsamle energier fra interaktioner, som ikke er inkluderet i de to andre parametre. For eksempel Alkoholer og glyceroler har høj hydrogen binding parametre. [6]

Der er andre kilder af kohæsive energi, som opstår i forskellige typer af molekyler fra for eksempel inducerede dipoler, metalbindinger eller andre energityper. Den grundlæggende ligning der styrer tildelingen af hansens parametre, er den samlede kohæsive energi E , skal være summen af de individuelle energier som udgør den samlede energi. [6]

$$E = E_D + E_P + E_H$$

Når man dividerer denne med den molær volumen fås kvadratet af den totale opløselighedsparameter som summen af kvadraterne i Hansen D, P og H komponenterne. [6]

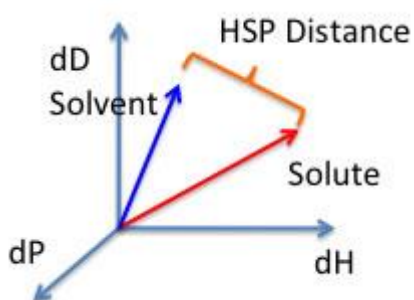
$$\frac{E}{V} = \frac{E_D}{V} + \frac{E_P}{V} + \frac{E_H}{V}$$

$$\delta^2 = \delta_D^2 + \delta_P^2 + \delta_H^2$$

Sammenhængen mellem opløselighedsparameteren og den molære volumen er givet ved formelen skrevet af Hildebrand og Scott: [6]

$$\delta = \left(\frac{E}{V}\right)^{\left(\frac{1}{2}\right)}$$

Værdierne for de tre parametre af både opløsningsmiddel og opløst stof kan optegnes i et koordinatsystem med tre akser, henholdsvis δ_D , δ_P og δ_H (jf. Figur 3). Derefter kan afstanden mellem opløsningsmiddel og opløst stof findes, denne afstand forkortes R_a , formelen for R_a er angivet i det følgende. [6]



Figur 3 [7]

Den relative energiforskel mellem polymer og opløsningsmiddel er angivet ved denne formel: [6]

$$RED = \frac{Ra}{Ro}$$

Hvor RED er den relative energiforskel, og Ra angiver afstanden mellem hansens parametre for to stoffer og Ro er radius for opløseligheds-sfæren. Opløselighedssfæren er forklaret i næste afsnit.

Ra kan beregnes ved denne formel: [6]

$$(Ra)^2 = 4(\delta_{d2} - \delta_{d1})^2 + (\delta_{p2} - \delta_{p1})^2 + (\delta_{h2} - \delta_{h1})^2$$

RED-værdien angiver om et stof er opløselig i et opløsningsmiddel eller ikke. [6]

RED<1, polymeren er opløselig.

RED=1, polymeren er delvis opløselig

RED>1, polymeren er ikke opløselig. [6]

3. Bestemmelse af Hansens opløselighedsparametre

Eksperimenter har vist, at det er muligt at finde HSP værdier for en polymer når det opløses i en række kemikalier. Disse kemikalier, er opløsningsmidler med kendte HSP værdier. Stoffer med lignende HSP vil reagere med hinanden, mens stoffer der ikke reagere med hinanden, har forskel på deres HSP værdier. [6]

Ifølge Charles M. Hansen, er den mest sædvanlige metode til at finde opløselighedsparametrene for en polymer, er at blande den med 40-45 udvalgte opløsningsmidler. Opløsningsmidlerne skal have forskellige HSP-værdier for en systematisk udforskning af de tre parametre ved alle niveauer. Derefter kan de forskellige fænomener observeres eller måles, herunder opløsning af en given koncentration af polymer, kvældning (degree of swelling) ved visuel observation eller ved måling af volumenændring, masseændring, klarhed og overfladeændring. Formålet med disse undersøgelser er at bestemme forskellen i affiniteten af polymeren til de forskellige

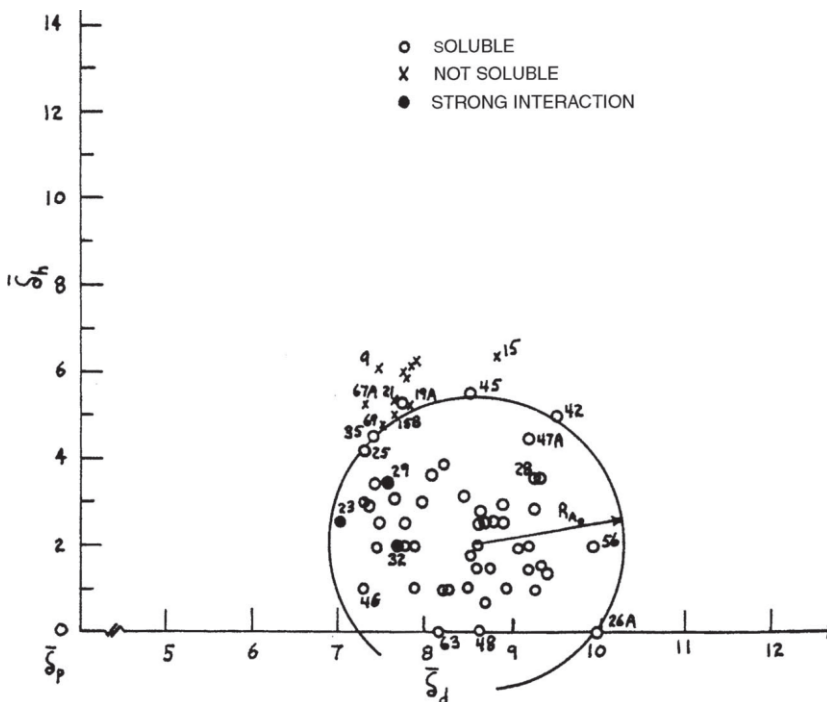
opløsningsmidler. Forskellene bruges så til at opdele opløsningsmidlerne i to grupper, den ene betragtes som god og den anden betragtes som dårlig. [6]

I det følgende gennemgås de metoder, som kan bruges til at finde HSP værdier af forskellige stoffer:

1. Observation
2. Kvældning
3. Trækstyrke
4. intrinsic viskositet
5. IGC
6. Overfladespænding

3.1 Bestemmelse af HSP for polymer gennem observation

Emnet, som der ønskes HSP værdier for, blandes i udvalgte opløsningsmidler, som regel dem der ses i bilag 1, angivet under "solvent". Emnet observeres, og det evalueres om emnet er opløst, ikke opløst eller delvist opløst. Resultatet af undersøgelsen plottes i en graf som nedenstående (jf. figur 4) De opløsninger, hvis punkter ligger indenfor figuren, har tætte HSP værdier som polymeren, hvorimod de opløsningsmidler, der har punkter udenfor figuren, ikke er sammenlignelig med HSP værdierne for polymeren. [6]



Figur 4 δ_h vs. δ_d , resultatene af målingerne for interaktionerne er plottet i hansens graf.

3.2 Bestemmelse af HSP for polymer via kvældningsmetoden

Forudsigelsen af hvor meget en elastomer kvælder i kontakt med et givet opløsningsmiddel er vigtigt i mange industrielle processer. I et forsøg udført ved Force technology i DK [8], blev HSP af to EPDM elastomer og en FKM elastomer bestemt, før vulkanisering ved at korrelere opløselighed i de opløsningsmidler som opløste polymererne fuldstændigt. Disse Værdier blev derefter brugt til at udføre plot af opløsningsmiddel kvældning efter at polymeren blev vulkaniseret. HSP korrelationer blev også etableret for de samme vulkaniserede elastomer ved forskellige niveauer af kvældning. Dette gjorde det muligt at forudsige kvældningen af elastomererne som var i kontakt med mange ikke-testede opløsningsmidler. [8]

I forsøget blev hvert elastomer udsat for kontakt med de 43 standard opløsningsmidler som også er angivet i tabel 1. 0,5 g af hvert elastomer sættes i et reagensglas med 5 ml af testopløsningsmidlet. Elastomererne observeres synligt mens de er i kontakt med opløsningsmidler for eventuelle ændringer i udseendet. Der kigges efter om elastomererne kvældes, opløses helt, har en kombination af kvældning og opløsning, eller om der ikke sker noget med dem. Ændringen af elastomererne noteres indtil der opnås ligevægt. Dernæst deles resultaterne ud i gode og dårlige opløsningsmidler. De gode er dem som opløser elastomererne, og de dårlige er dem som ikke opløser elastomererne. Hansens opløselighedsparametrene, R_o og RED nummeret findes dernæst ved hjælp af dataene. [8]

Prøverne blev opbevaret i mindst 14 dage i en klimatiseret rum for at muliggøre stabilisering, (vulkanisering). [8]

Vægten vejet både i vand ($m_{1,w}$) og ved luft (m_1), før eksponeringen blev startet. Prøverne blev dyppet i ethanol og tørret af for at fjerne overskydende vand, derefter blev prøverne blandet med 20 ml opløsningsmiddel og vægten blev målt igen ved luft (m_0) og i vand ($m_{0,w}$). Kvældningen blev fundet ved hjælp af ligningen fra ISO 1817: [8]

$$dV = \left[\left(\frac{m_0 - m_{0,w}}{m_1 - m_{1,w}} \right) - 1 \right] \times 100$$

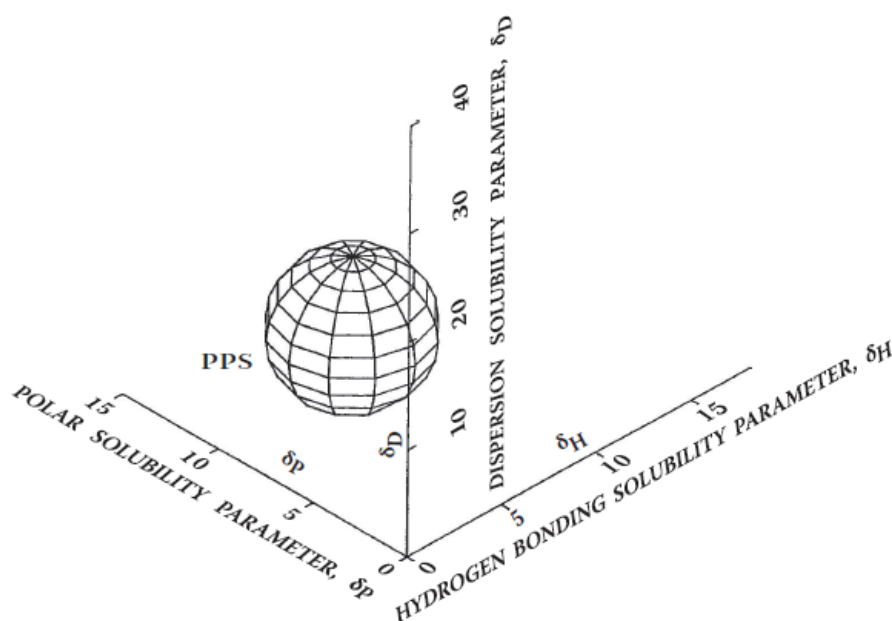
Kvældning niveauer på 2, 5 og 10% blev brugt til at definere gode og dårlige opløsningsmidler til HSP-korrelationer af kvældning data. [8]

Efter vulkaniseringen og mens prøverne var i opløsningsmidlerne blev de observeret og vejet efter 2 timer, 1, 7, 14, 21 og 30 dage. [8]

Resultaterne for dette forsøg viste at den molekylær vægt og forgreningsgraden (degree of branching) ingen effekt havde på HSP. Der blev også fundet ud af, at opløsningsmidlerne som opløste de ikke-vulkaniserede elastomerer er også dem der kvældede de vulkaniserede elastomer mest. Større forskelle i HSP mellem opløsningsmiddel og elastomer gav mindre kvældningsgrad. [8]

3.3 Bestemmelse af HSP for polymer gennem trækstyrke reduktion

Den langsigtede eksponering af polymere eller polymerkompositter til opløsningsmidler fører normalt til ændringer i polymerens mekaniske egenskaber. En af de mest almindelige teknikker til måling af mekaniske effekter er at bestemme trækstyrken af polymeren. I et eksperiment udført af Charles M. Hansen blev trækstyrke reduktion for glassfiberforstærket polyphenylene sulfide (PPS) noteret efter udsættelse af en antal opløsningsmidler ved 93 grader i 12 måneder. De gode opløsningsmidler er dem med mindre end 60% reduktion af trækstyrke efter de 12 måneder. Figur 5 viser målingerne. [6]



Figur 5 HSP korrelation af trækstyrkereduktion af PPS. Inde i sfæren er de opløsninger der reducerer trækstyrken med mindre end 60% af dets original værdi. [6]

3.4 Intrinsic viskositet målinger

Intrinsic viskositet er et mål for polymers molekylær vægt og afspejler derfor et materiales smeltepunkt, krystallinitet og trækstyrke. Intrinsic viskositet anvendes som en del af specifikationen til at vælge den rigtige klasse af polymer til en bestemt anvendelse. [9]

En af de mere lovende metoder til at evaluere en polymers HSP for begrænsede data er ved brug af intrinsic viskositet. Van Dyk fandt en sammenhæng mellem intrinsic viskositet af acrylic polymer (polyethyl methacrylate) i forskellige opløsningsmidler. Intrinsic viskositet af polymer kan måles ved forskellige opløsningsmidler. De intrinsic viskositeter vil være højere i de bedre opløsningsmidler og grund af større interaktion og større polymerkædeforlængelse. Intrinsic viskositet giver en indikation af opløsningsmiddelkvaliteten. I metoden normaliseres de intrinsic viskositeter ved den intrinsic viskositet af opløsningsmidlet med den højeste værdi. De normaliserede data, med værdier mindre end 1, bliver derefter brugt til en vægtnet gennemsnit til at komme til centrum af hansens kugle. [6]

$$\delta_{D2} = \Sigma(\delta_{Di} \times [\eta]_i) / \Sigma[\eta]_i$$

$$\delta_{P2} = \Sigma(\delta_{Pi} \times [\eta]_i) / \Sigma[\eta]_i$$

$$\delta_{H2} = \Sigma(\delta_{Hi} \times [\eta]_i) / \Sigma[\eta]_i$$

De respektive opløsningsmidler på ligningerne overfor er angivet ved "i", den intrinsic viskositet er angivet ved $[\eta]$. De opløsningsmidler med de største vægtningsfaktorer har højere intrinsic viskositet og er tættest til det geometriske centrum af kuglen. De opløsningsmidler som ikke opløser polymeren er antaget til at have en vægtningsfaktor på 0. [6]

Kyong Ho Han et al. fra Dankook University har udført et forsøg med denne metode. I forsøget blev Epoxy og alkyd harpiks opløst i 14 forskellige opløsningsmidler. Harpiksens intrinsic viskositeter var målt ved brug af Ubbelohde viskometer.¹ Harpiksen blev opløst ved enheden g/dL i hvert af opløsningsmidlerne og dernæst placeret i viskometeret. opløsningernes udløbstid fra viskometeret blev målt. De rene opløsninger blev tilsvarende vurderet. Opløsningernes relative og specifikke viskositet blev målt ved brug af nedenstående ligninger: [10]

$$\eta_r = \frac{t}{t_0}$$

$$\eta_{sp} = \eta_r - 1 = \frac{(t - t_0)}{t_0}$$

η_r er den relative viskositet

η_{sp} er den specifikke viskositet

t er udløbstiden af harpiksopløsningen

t_0 er udløbstiden for den rene opløsning.

Ved at benytte den relative og specifikke viskositet kan intrinsic viskositet findes ved brug af nedenstående Huggins og Kreamer ligninger, første og anden ligning, henholdsvis: [10]

$$\frac{\eta_{sp}}{C} = [\eta] + k_H [\eta]^2 C$$

¹ Ubbelohde viskometer er en slags kapillære viscometer der bruges til måling af viskositeten af væsker. Strømningen i kapillæret antages at have følgende tre idealiserede forhold: laminær, inkompressibel og stationær. Viskositeten af væsker antages at være uafhængig af trykket. [32]

$$\frac{\ln(\eta_r)}{C} = [\eta] + k_K[\eta]_C^2$$

c er her koncentrationen af opløsningen angivet i g/dL. k_H og k_K er Huggins og Kraemer konstanter. I dette eksperiment blev k_H og k_K antaget til at være 0,5. De intrinsic viskositeter blev brugt til at finde HSP for harpiks ved brug af følgende formel: [10]

$$\ln[\eta] = C_0 + C_1\delta_{1d} + C_2\delta_{1d}^2 + C_3\delta_{1p} + C_4\delta_{1p}^2 + C_5\delta_{1h} + C_6\delta_{1h}^2 \quad (11)$$

δ_d, δ_p og δ_h er hansens opløselighedsparametre. Tallene 1 og 2 referere henholdsvis til opløsning og polymer. [10]

Denne metode er, ifølge skribenten af rapporten, god og anvendelig i forskellige områder. [10]

3.5 HSP og IGC

IGC-ID, Inverse Gas Chromatography at Infinite Dilution, er en metode som bruges til at måle interaktionerne mellem opløst stof og opløsningsmiddel. Flory-Huggins interaktionparameter, $\chi_{1,2}^\infty$ samt HSP værdierne for en polymer kan bestemmes med IGC-ID metoden, som er udviklet af Lipson og Guillet. Den forslåede metode består i at placere en kontrolleret mængde af polymer for at karakterisere på en inert support. Målingerne foretages i en temperatur som er over glasovergangstemperaturen af polymeren. Metoden består i at bestemme retentionstiden (t_N) af tre familie af opløsninger, ikke-polær, polær og hydrogenbindinger. [11]

Retentionstiderne bliver konverteret til specifik retention volumen (V_g^o) vha. nedenstående formel: [11]

$$V_g^o = \frac{273,15}{T} \cdot \frac{D_c}{m_s} \cdot t_N$$

Hvor T er målingen af temperatur i kelvin, D_c er bæregasstrømmen og m_s er vægten af polymeren. [11]

Interaktionsparametren, $\chi_{1,2}^\infty$, findes ved hjælp af den målte retention volumen og nedenstående formel som er udarbejdet af Adamska og Voelkel: [11]

$$\chi_{1,2}^\infty = \ln\left(\frac{273,1}{M_1 \cdot V_g^o P_1^0} \cdot R\right) - \frac{P_1^0}{R \cdot T} (B_{11} - V_1^0) + \ln\left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right) - \left(1 - \frac{V_1^0}{V_2^0}\right)$$

Denne formel indeholder mange fysisk-kemiske parametre, som er svære at finde, derfor benyttes softwaren HSPiP udarbejdet af Professor Abbott, til at beregne HSP fra enhver V_g^o data. [11]

3.6 HSP ved brug af overfladespænding

Kohæsiionsparametrene for overflader kan bestemmes ved at observere om der er spontan spredning for en række forskellige væsker, eller med andre ord måling af overfladespænding. De er som regel dem som er angivet i tabel 1, som bruges. Ingen af væskeerne skal være blandinger, men rene væsker, så der ikke kommer en yderligere faktor i evalueringerne. [6]

Dråber af hver af væskeerne påføres overfladen og der observeres hvad der sker. Hvis dråben forebliver som en dråbe, er det kohæsive energi eller overfladeenergien af væsken højere end den kohæsive energi af overfladen, samt er der en kontaktvinkel mellem overfladen og dråben. kontaktvinkler stiger med stigende forskel i kohæsiv energi parametre mellem overflade og væske. [6]

Selvom der er spontan spredning af væskeerne på overflader, betyder det ikke nødvendigvis, at HSP værdier for væsken er identiske med HSP værdier for prøven som testes. Hvis en given væske ikke kan spredes spontant, kan det spredes mekanisk som en film og der observeres for at se om det trækkes tilbage. Der kan udføres en test (ISO 8296:1987 (E)), som bestemmer hvorvidt der er en aftagende kontaktvinkel. Når kontaktvinklen er fundet, kan overfladespændingen findes via Zisman metoden. [6]

Zisman metoden går ud på at finde cos af kontaktvinklen, og plotte det over overfladespændingen for væsken (væsken skal have en kendt overfladespænding). Værdien af overfladespændingen når kontaktvinklen er 0 grader, referer til den kritiske overfladespænding. [12] Kontaktvinklen kan findes ved brug af en kontaktvinkelmeter. [13]

3.7 Delkonklusion

Ud fra forrige afsnit kan det konkluderes, at der findes flere metoder til evaluering af HSP. Den mest almindelige og simple, og giver gode resultater er kvældningsmetoden. Metoden med trækstyrkereduktion er meget præcis. Metoden med den indre viskositet samt IGC-metoden er besværlige at udføre. Overfladespænding metoden er ikke så præcis, da det er kun et punkt der måles på. Nedenstående tabel viser det positive og negative for hvert af metoderne.

Metode	Pro	Contra
Observation	Nem	Ikke præcis
Kvældning	Nem	
Trækstyrke	Præcis	Tager længere tid at udføre, end fx observation.
Intrinsic viskositet	Præcis	Besværlig at udføre
IGC	Hurtig	
Overfladespænding		Ikke præcis.

4 Problemformulering

Ud fra det initierende problem, som var:

”Hvorledes evalueres HSP og er der yderligere rum for kvantificering af resultaterne?”

Er der nået til flere teorier og besvarelser. Først er de molekylære attraktioner beskrevet, som indeholder dispersionskræfter, polære kræfter og hydrogenbindinger. Disse teorier er vigtige at have med til at forstå opløselighedsparametrene. Hvis opløsningsmiddel og polymer blandes sammen og de har samme molekylære attraktioner, kan polymeren nemmere opløses. Der er derefter gennemgået de metoder, hvormed man kan finde HSP værdier af forskellige stoffer, for eksempel polymer. Disse metoder er observation, kvældning, trækstyrke, intrinsic viskositet, IGC og overfladespænding. den bedste metode, ifølge teorien, og mest præcise er trækstyrkemethoden. Det er derfor interessant at undersøge om denne teori faktisk holder. Hvis trækstyrkemethoden er den bedste til at finde HSP værdier af en polymer, hvordan kan det så være at flere vælger kvældning metoden eller observation og ikke trækstyrkemethoden?

Følgende problemformulering er hermed opstillet:

”Hvad er forskellen på HSP-værdier fundet igennem forskellige evalueringsmetoder? Og Hvilke af HSP evalueringsmetoder er bedst, og hvorfor?”

Denne problemformulering besvares ud fra følgende underspørgsmål:

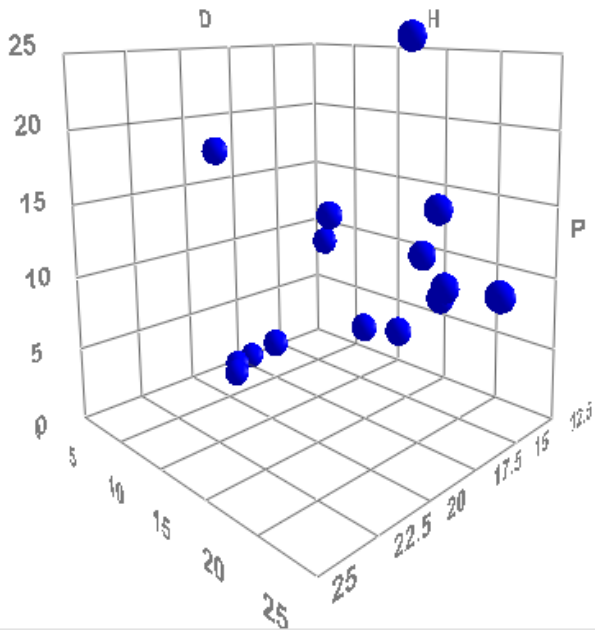
1. Hvilke fordele og ulemper har trækstyrkemethoden i forhold til kvældning- og observationsmetoden? og kan trækstyrkemethoden bruges i alle sammenhænge? Hvad er grænserne dertil?
2. Kan HSP evalueringsmetoderne optimeres? Hvordan?

4.1 Projektafgrænsning

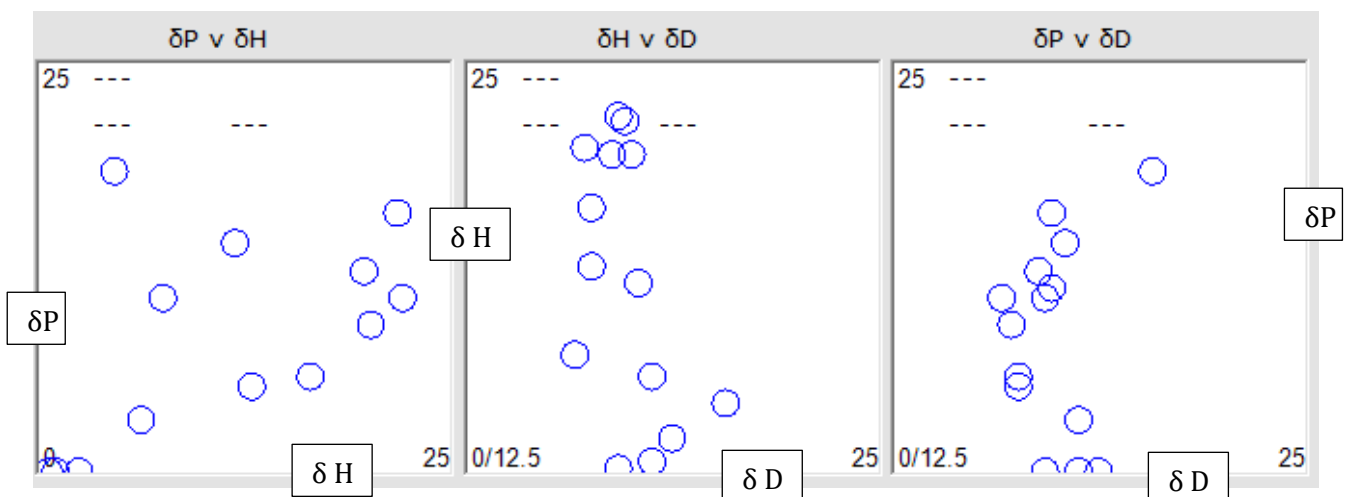
Denne problemformulering er valgt på baggrund af, at der i problemanalysen er påvist, at der findes flere metoder til at evaluere HSP værdier. Det er derfor interessant at undersøge, hvilke af beskrevne metoder virker bedst. Der vil laves forsøg, hvor fire forskellige metoder af HSP-evaluering undersøges. De valgte evalueringsmetoder er: observation, kvældning og trækstyrketest. Disse metoder er valgt på baggrund af at de er nemmere at udføre samt de er det mest brugte metoder til HSP evaluering. Metode nr. 4 som også vil blive arbejdet med er hårdhedstest. Hårdhedstesten siger noget om hvor hård et materiale er, og er derfor god til at måle hvorvidt emnernes hårdhed bliver reduceret når de kommer i kontakt med opløsningsmidler. Der er blevet valgt at arbejde med to typer af polymer, og 15 opløsningsmidler (jf. tabel 1). Hver af de udvalgte opløsningsmidler har et unikt sæt af opløselighedsparametre, dvs. der er ikke to af opløsningsmidlerne der har de samme værdier af opløselighedsparametrene (jf. figur 6). De to typer polymer er High density polyethylene (HDPE) og Acrylonitrile butadiene styrene (ABS). Begge

plasttyper er valgt fordi de er det mest almindelige. Især HDPE er den mest anvendte plasttype ifølge plastindustrien [14]. Det er desuden ikke betydningsfuldt hvilke stoffer der arbejdes med, men til gengæld er det vigtigt at vælge opløsningsmidlerne med omhu. Opløsningsmidlerne skal have forskellige værdier af opløselighedsparametrene, så de bedst muligt bliver spredt i hansens rummet, som det også ses på figur 6 og 7.

Ud fra de fire metoder som vil blive brugt til HSP evaluering, vil det, ud fra teorien, være trækstyrkemethoden, der vil give de bedste resultater, da det er den mest præcise metode.



Figur 6 De 15 udvalgte opløsningsmidler fordelt i hansens rummet.



Figur 7 Første figur viser δP vs. δH hvor de 15 udvalgte opløsningsmidler er plottet. Figur 2 og 3 (i midten og til højre) viser de 15 opløsningsmidler med hhv. δH vs. δD og δP vs. δD .

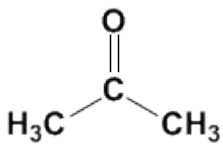
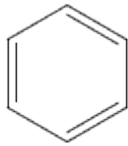
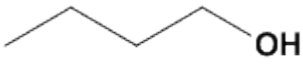
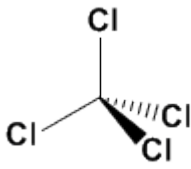
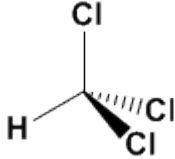
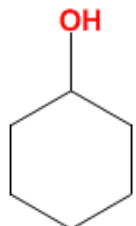
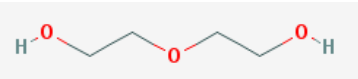
5. Materiale og metode

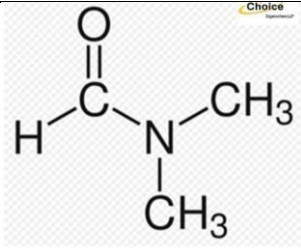
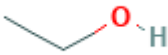

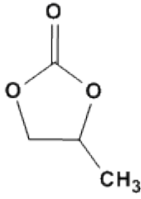
Dette afsnit vil handle om forsøget. Der startes med en materiale afsnit efterfulgt af metode afsnit.

5.1 Materialer

Der anvendes til forsøget følgende opløsningsmidler listet i tabellen nedenunder med deres HSP værdier.

Tabel 1, 15 opløsningsmidler

Solvent	D	P	H	structure
Acetone	15,5	10,4	7	
Benzene	18,4	0,0	2,0	
1-Butanol	16,0	5,7	15,8	
Carbon tetrachloride	17,8	0,0	0,6	
Chloroform	17,8	3,1	5,7	
Cyclohexanol	17,4	4,1	13,5	
Diethylene glycol	16,6	12,0	20,7	
Dimethyl formamide	17,4	13,7	11,3	

				
Ethanol	15,8	8,8	19,4	
Ethanolamine	17,0	15,5	21,2	$\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$
Ethylene glycol	17,0	11,0	26,0	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{CH}_2 \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$
Ethylene glycol monobutyl ether	16,0	5,1	12,3	
Formamide	17,2	26,2	19,0	$\text{H}_2\text{N}-\text{CHO}$
Propylene carbonate	20,0	18,0	4,1	
Propylene glycol	16,8	9,4	23,3	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CHOH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$

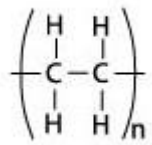
Ud over opløsningsmidlerne anvendes ABS og HDPE. Nedenfor er en beskrivelse af disse to polymere.

5.1.1 HDPE

HDPE (high density Polyethylene) (jf. figur 8) er en udbredt dekrySTALLinsk termoplast, som er egnet til genanvendelse [15]. Polyethylene produceres ved polymerisation af ethylene [16].

Polymerisation er en kemisk proces hvor monomer bliver omdannet til polymer. HDPE er et relativt billigt materiale som kan bruges i mange produktionssammenhænge og har gode mekaniske og kemiske egenskaber. HDPE kan anvendes til fødevarer emballage, fordi det kan tåle

vand og fugt uden at beskadiges, og det kan også tåle frost, helt ned til -60 °C. Eksempler hvor HDPE oftest bruges til er indkøbsposer, trykrør, dunke og legetøj og meget andet. [15].



Figur 8 HDPE struktur [16]

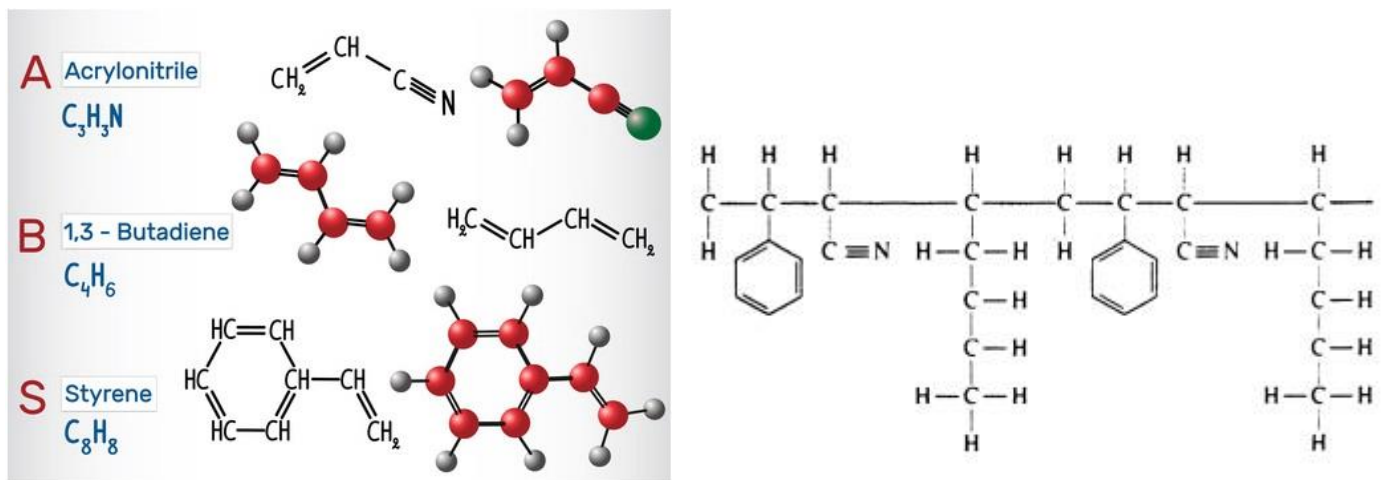
HDPE har en densitet som er større eller lig med 0,941 g/cm³. HDPE har en mindre kædet form end LDPE og derfor stærkere intermolekylære kræfter og trækstyrke. [16] Nedenstående skema viser de fysiske egenskaber for HDPE.

Tabel 2 Fysiske egenskaber for HDPE [16] [17] [18] [19]

HDPE fysiske egenskaber	Værdi
Trækstyrke	15 MPa
Slagstyrke med not	Ingen knæk
Max temperatur	65 °C
Smeltepunkt	126 °C
Densitet	0,941 – 0,965 g/cm ³
Hardness, shore D	50,0 – 76,0
Melt flow	0,0250 - 1610 g/10 min
Forlængelse ved max trækstyrke	3,00 – 80,0 %
Tg	-110

5.1.2 ABS

ABS er en hård type af plast, og er kendt for at bruges til LEGO-klodser. [20] Det er en amorf-termostoplast type, det vil sige at den har et uordnet struktur og dermed er gummi- eller plastagtig [21]. ABS er stærk og stiv polymer pga. indholdet af akrylonitril og styren og den er sej pga. butadienindholdet (jf. figur 9). Den er en hård type af polymer, glansfuld, sej og har en elektrisk isolering hvilke gør det dyrt at fremstille ABS sammenlignet med andre polymere. Polymeren har mindre gode vejrbestandighed, da det nedbrydes at sollys og egner sig ikke til udendørsbrug. ABS vigtigste anvendelser er til fremstilling af kabinetter til hårde hvidevarer, telefoner, computere og legetøj. [20] ABS polymeriseres normalt gennem emulsion processen. Fordi ABS er et termoplastik materiale, kan det nemt genbruges. [22]



Figur 9 Til Venstre Monomerne for ABS, til venstre: ABS struktur [34]

Nedenfor ses de fysiske egenskaber for ABS.

Tabel 3 Fysiske og mekaniske egenskaber for ABS [23] [24] [18]

ABS fysiske egenskaber	Værdi
Trækstyrke	42,5 – 44,8 MPa
Slagstyrke med not	2.46 - 2.94 J/cm
Max temperatur	88 - 89 °C
Densitet	1.04 g/cm ³
Hårdhed, shore D	100
Melt flow	18 - 23 g/10 min
Forlængelse ved max trækstyrke	23 - 25 %
Tg	90-102 °C

Ud fra de fysiske og kemiske egenskaber af de to polymere forventes det, at de ikke udfører sig på samme måde når de blandes med opløsningsmidler. Trækstyrken for ABS er på ca. 40 MPa mens trækstyrken for HDPE er på 15 MPa. Hvis stofferne ikke opløses i opløsningsmidlet, vil ABS forventes at have højere trækstyrke end HDPE. Der forventes også at se at ABS vil opløses mere end HDPE i de forskellige opløsningsmidler, det er fordi at HDPE er mere modstandsdygtig og kan tåle meget høje og lave temperaturer, mens ABS ikke kan tåle sollys, og dermed vil det forventes at have svært ved at tåle stærke opløsningsmidler.

5.2 Metode

Der blev udklippet emner fra ABS pladen og HD-PE dunken. Emnerne er 5 cm lange og 5mm brede (jf. figur 10)



Figur 10 HDPE og ABS prøver inden de blandes med opløsningsmiddel. ABS er det hvide emne.

15 100 mL autoklaveglas blev udfyldt med opløsningsmidlerne, og 15 stykker af hvert af de to polymertyper blev indsat i glassene. Disse prøver i autoklaveglassene vil blive brugt til hårdhedstesten og træktesten, da træktesten er destruktiv, og der skal bruges 3 nye emner for hver gang der udtages prøver. Et emne fra hvert typer polymer blev analyseret med hårdhedstest og træktest. 15 små reagensglas fyldt med opløsningsmidlerne, og 1 ABS emner og 1 PE-HD emne blev indsat i hvert af glassene. Prøverne blev vejede inden de kom i reagensglassene. Disse prøver fra de små glas vil blive brugt til observationsmetoden og kvældning.

Dagen efter forsøget blev sat i gang, skulle der udtages prøver. Tre prøver ABS og tre prøver PE-HD fra hvert af autoklaveglassene blev udtaget, og blev analyseret med hårdhedsmåler og trækprøvningsapparat. Prøverne fra reagensglassene blev brugt til observationsmetoden og kvældningsmetoden. Det blev valgt at udtage prøver ud på dag 1, dag 2, dag 5, dag 12 og dag 20.

I det følgende er metoden for observation, kvældning, hårdhedstest og trækstyrketest, gennemgået.

5.2.1 Observation

Observationsmetoden gik ud på at se om emnet var nedbrudt, delvis nedbrudt eller ikke nedbrudt, og dette noteres. Dette gøres ved først at observere reagensglasset, for at se om indholdet er klart, med bundfald eller helt uklart. Hvis reagensglassets indhold er uklart eller har bundfald, betyder det at en eller begge emner er delvist opløst eller helt opløst. Emnerne tages ud af reagensglassene, tørres af, skylles med vand og tørres af igen. Hvis emnet ikke findes i opløsningen, betyder det at emnet er opløst. Der observeres om emnet ser ud som i starten, eller om det er kvældet, det vil sige suget noget af væsken og blevet større. Det noteres om emnet er helt opløst, ikke opløst eller delvis opløst (kvældet eller indeholder revner).

5.2.2 Kvældning

Ved kvældningsmetoden tages prøverne ud af reagensglassene, skylles med vand og ethanol, tørres af, og vejes, vægten noteres, og prøverne kommer i reagensglassene igen.

Kvældningen beregnes ud fra formlen:

$$Swelling(\%) = \frac{W_s - W_d}{W_d} * 100$$

Hvor W_s er vægten af kvældet polymer og W_d er vægten af tør polymer. [25]

5.2.3 Hårdhedstest

En hårdhedstest er en test der måler hårdheden af et materiale ved hjælp af et durometer. Materialets hårdhed er materialets modstand mod indrykning. [26]

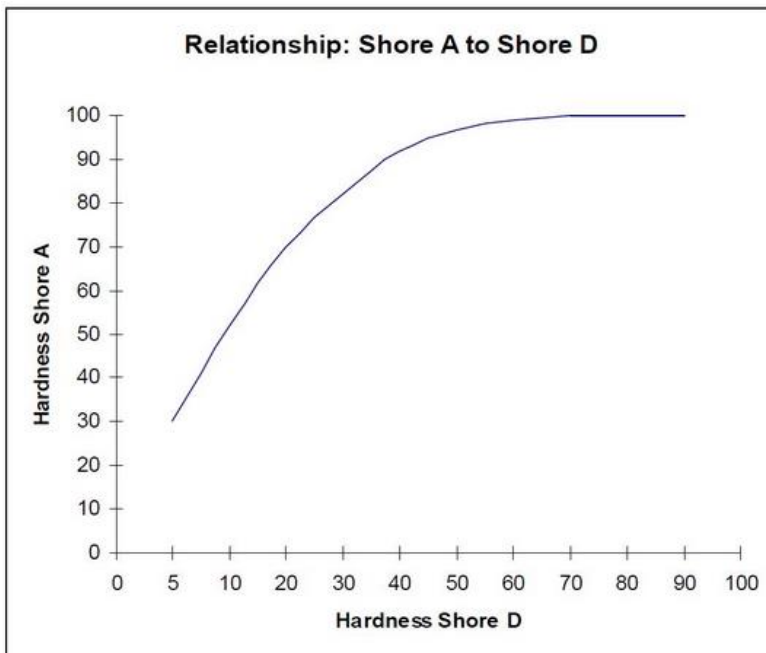
Resultatet af hårdhedsmålingen vil afhænge af det elastiske modul af materialet, de viskoelastiske egenskaber, tykkelsen af prøveemnet, trykket der påføres og trykstigningshastighed.

Ifølge standarden ISO 7619-1, skal tykkelsen af emnet som vi analyser være mindst 6 mm, og der må godt bruges flere emner over hinanden for at få den anbefalede tykkelse, men dog kan der ikke bruges mere end 3 emner over hinanden. [27]

De 6 emner (3 ABS og 3 HDPE) fra hvert opløsningsmiddel tages ud og tørres af med ethanol, så resterende opløsningsmiddel fjernes. 3 emner placeres over hinanden, og undersøges med hårdhedsmåleren, ved at trykke hårdhedsmåleren let på emnet (jf. figur 11). Hårdhedsmåleren viser hårdheden af emnet med hårdheden Shore A. Shore A hårdhed skala måler hårdheden af alt fra fleksible gummi-agtig polymer til hårde materialer. [28]. Shore D hårdheden er mere anvendelig, og i tabel 2 og 3 ses at hårdheden er angivet i shore D, det er derfor fordelagtigt at kunne omskrive shore A til shore D (jf. figur 12). For at få en ide om hvor hård forskellige materialer er i enheden shore A, D og 00 ses der på figur 13. Det ses på figuren at lego har en shore A værdi på 100, og det passer godt med værdien af ABS på 100.

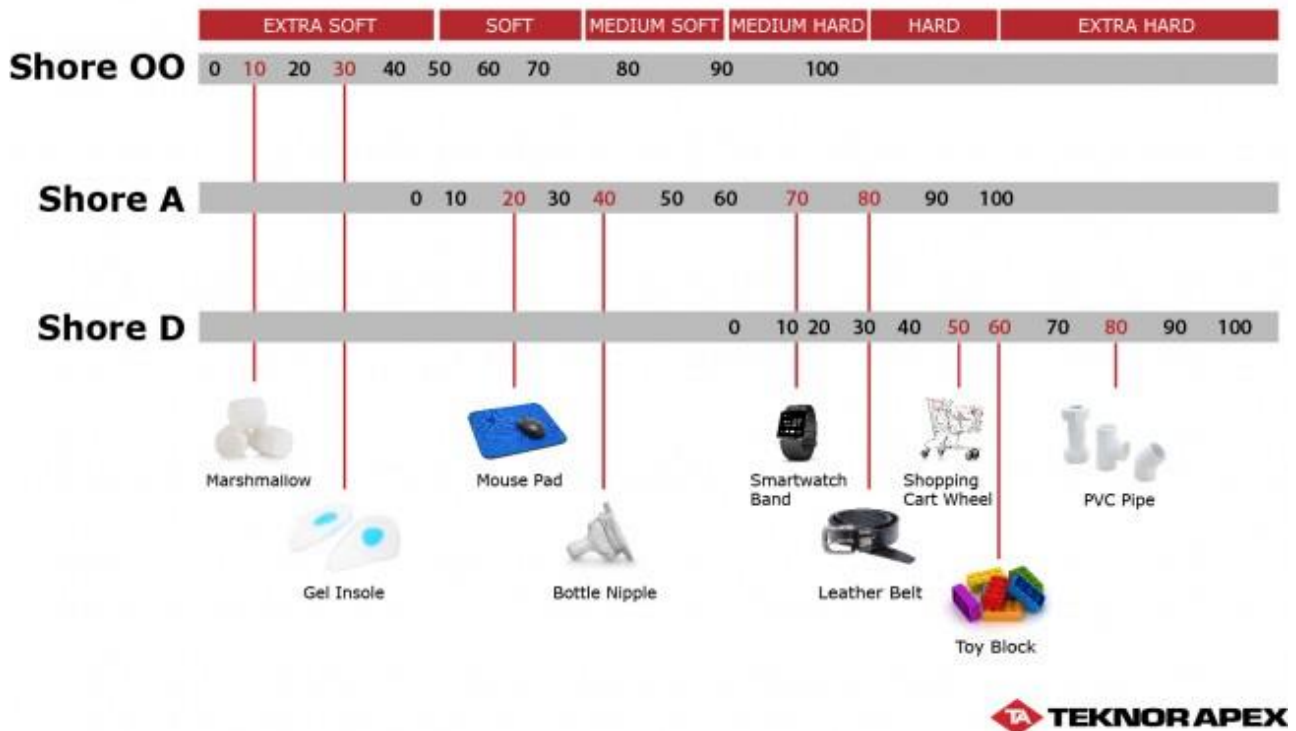


Figur 11 Hårdhedsmåleren trykket på emnet og viser en shore A måling på 24,5



Figur 12 Forholdet mellem shore A og shore D. [29]

SHORE HARDNESS SCALES



Figur 13 Eksempler på Shore A, D og OO hårdhed af forskellige materialer. [30]

5.2.4 Trækstyrketest

Til trækstyrketesten skulle de samme emner trækkes, som er brugt til hårdhedstesten.

Trækprøvningsapparatet Lloyd LR50KPlus er brugt til denne test. Træk hastigheden blev ud fra præliminær test bestemt til at være 20mm/m for ABS og 40 mm/m for HDPE. Der er anvendt 500 N vejecelle og passende kæber hertil (jf. figur 14)



Figur 14 Trækstyrkeapparat med 500 N vejecelle og små kæber og emnet spændt fast mellem kæberne.

5.2.5 HSPiP software

HSPiP softwaren kan være en god hjælp til arbejdet med HSP, da det indeholder en lang række funktioner. I dette projekt vil HSPiP bruges til at beregne HSP værdier og lave HSP plots i 3D eller 2D. Det eneste der skal gøres, er at indsætte for hvert af de brugte opløsningsmidler, om polymeren er opløst/kvældet eller ikke opløst. Der kan kun bruges tallet 0 og 1. 0 for ikke opløst polymer og 1 for opløst. Derefter kan programmet vise en kugle i hansens rummet med de gode HSP værdier inde i kuglen. HSP værdierne for polymeren og Ra nummeret kan også findes vha. programmet. [31]

6 Resultater og databehandling

6.1 Observation

Resultaterne for observationsmetoden er angivet i følgende tabel. 1 angiver at polymeren er opløst eller delvis opløst, og 0 angiver at polymeren ikke er opløst i opløsningsmidlet.

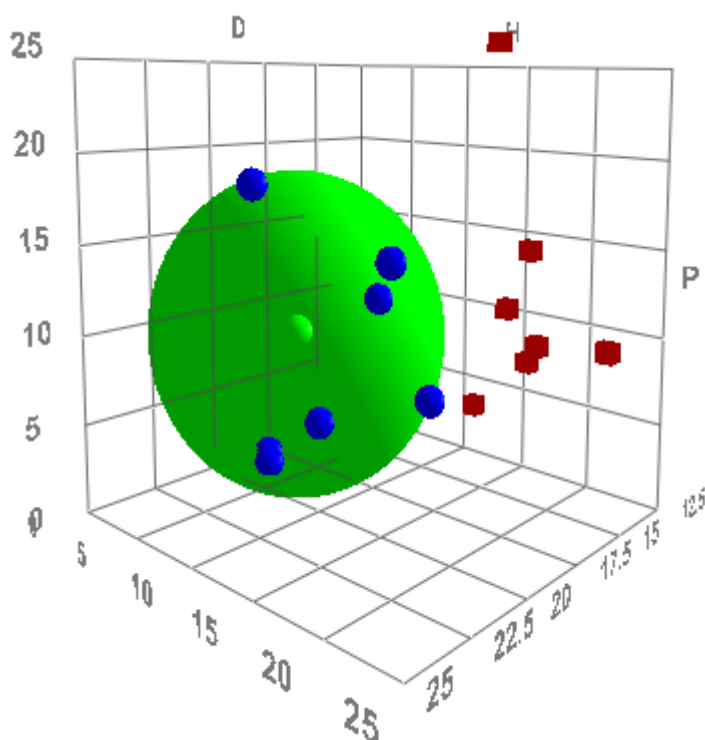
Tabel 4 Viser om PE og ABS var opløselig eller kvældet, angivet med 1, ikke opløselig, angivet med 0.

Solvent	PE					ABS				
	Dag 1	Dag 2	Dag 5	Dag 12	Dag 20	Dag 1	Dag 2	Dag 5	Dag 12	Dag 20
Acetone	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Benzene	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
1-Butanol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Carbon tetrachloride	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Chloroform	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Cyclohexanol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Diethylene glycol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dimethyl formamide	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Ethanol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ethanolamine	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ethylene glycol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ethylene glycol monobutyl ether	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Formamide	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Propylene carbonate	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Propylene glycol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Da resultaterne for observationsmetoden for PE (jf. tabel 4) ikke indeholdte prøver, som var opløst i opløsningsmidlerne, og dermed er der ingen gode solventer for HDPE, så kan der ikke tegnes HSP cirkel i hansens rummet. Alle HDPE emner havde stadig samme udseende og form som på figur 10, også efter 20 dage af forsøgets start.

Resultaterne for observation af ABS (jf. tabel 4) er afbildet i nedenstående figur vha. HSPiP programmet:



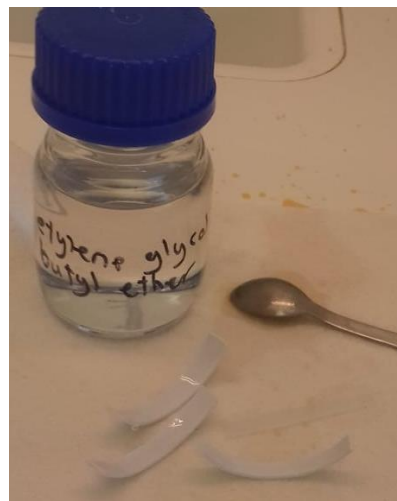
Figur 15 Kuglen for gode solventer for ABS i Hansens rummet. Hansens rummet har akserne δD , δP og δH .

De blå punkter som er inde i kuglen, står for de gode opløsningsmidler, som opløser helt eller delvis polymeren. De røde punkter som er uden for kuglen, er de dårlige solventer. HSP for ABS findes til $\delta D=18,30$, $\delta P=8,85$ og $\delta H=4,67$.

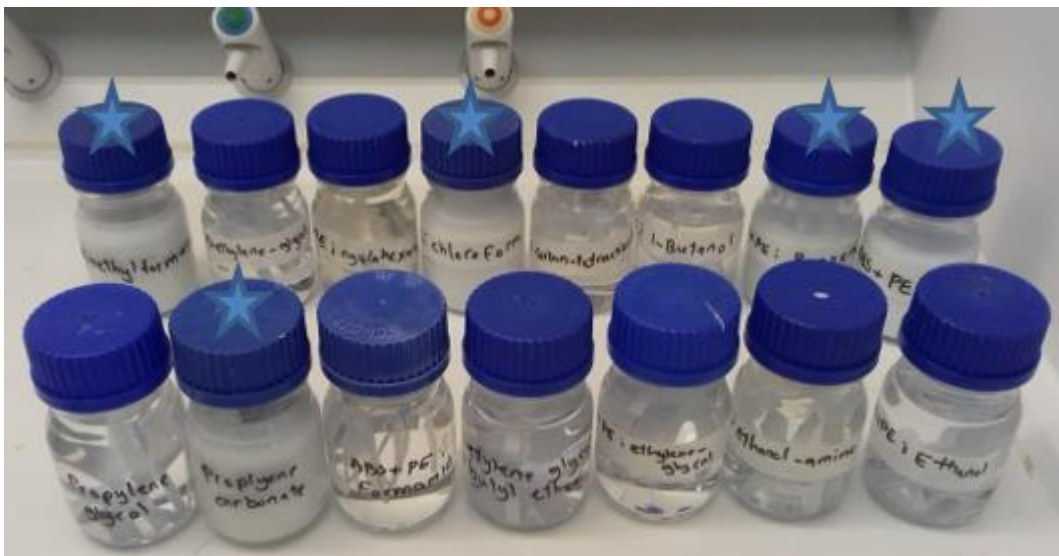
Det ses på figur 17 at acetone opløser ABS, det ses som hvidt bundfald. Figur 16 viser ABS fra ethylene glycol monobutyl ether, emnerne har revner og er blevet bøjet, men ikke opløst, der ses derfor ingen bundfald på glasset. På figur 18, taget den første forsøgsdag, en halv time efter emnerne blev blandet med opløsningsmidlerne, ses at glas 1, 2, 5, 8 og 14, markeret i figuren med stjerne, er dem som indeholder opløst ABS. Det er stofferne acetone, benzene, chloroform, dimethyl formamide og propylene carbonat der opløser ABS helt.



Figur 17 Acetone med opløst ABS. Billede fra dag 1, der er ikke sket yderligere til om med dag 20



Figur 16 ABS emner indeholder revner og er bøje efter reaktion med ethylene glycol monobutyl ether.



Figur 18 Autoklaveglas med opløsningsmiddel og emner. Billedet er fra dag 0 ca. en halv time efter emnerne er kommet i glassene. Det ses at emner med stjerne har en uklar væske.

6.2 Kvældning

Resultaterne for kvældning ses i nedenstående tabeller.

Tabel 5 Kvældning resultater for HDPE

Opløsningsmiddel, HD-PE	Vægt (g)						Kvældning (%)				
	Dag 0	Dag 1	Dag 2	Dag 5	Dag 12	Dag 20	Dag 1	Dag 2	Dag 5	Dag 12	Dag 20
Acetone	0,2072	0,2093	0,21	0,2092	0,2096	0,2095	1,01	1,35	0,97	1,16	1,11
Benzene	0,2171	0,2327	0,2326	0,2322	0,2335	0,2332	7,19	7,14	6,96	7,55	7,42
1-Butanol	0,1593	0,1592	0,1594	0,1597	0,1597	0,16	-0,06	0,06	0,25	0,25	0,44
Carbon tetrachloride	0,2581	0,2924	0,3	0,3011	0,3016	0,3017	13,29	16,23	16,66	16,85	16,89
Chloroform	0,2276	0,2578	0,2567	0,2562	0,2571	0,2573	13,27	12,79	12,57	12,96	13,05
Cyclohexanol	0,1963	0,1961	0,1964	0,1961	0,1967	0,1968	-0,10	0,05	-0,10	0,20	0,25
Diethylene glycol	0,2445	0,2446	0,2443	0,2448	0,2447	0,2451	0,04	-0,08	0,12	0,08	0,25
Dimethyl formamide	0,2005	0,2006	0,2005	0,2011	0,2011	0,201	0,05	0,00	0,30	0,30	0,25
Ethanol	0,2568	0,2566	0,2567	0,2567	0,257	0,257	-0,08	-0,04	-0,04	0,08	0,08
Ethanolamine	0,1851	0,185	0,185	0,1849	0,185	0,1854	-0,05	-0,05	-0,11	-0,05	0,16
Ethylene glycol	0,2035	0,2041	0,2039	0,2042	0,2037	0,2044	0,29	0,20	0,34	0,10	0,44
Ethylene glycol butyl ethe	0,2474	0,2476	0,2479	0,2482	0,2489	0,2487	0,08	0,20	0,32	0,61	0,53
Formamide	0,2137	0,2134	0,2138	0,2139	0,2145	0,214	-0,14	0,05	0,09	0,37	0,14
Propylene carbonate	0,1986	0,1993	0,1995	0,1984	0,1996	0,1989	0,35	0,45	-0,10	0,50	0,15
Propylene glycol	0,2336	0,2336	0,2342	0,2343	0,2344	0,2341	0,00	0,26	0,30	0,34	0,21

Tabel 6 Kvældning resultater for ABS

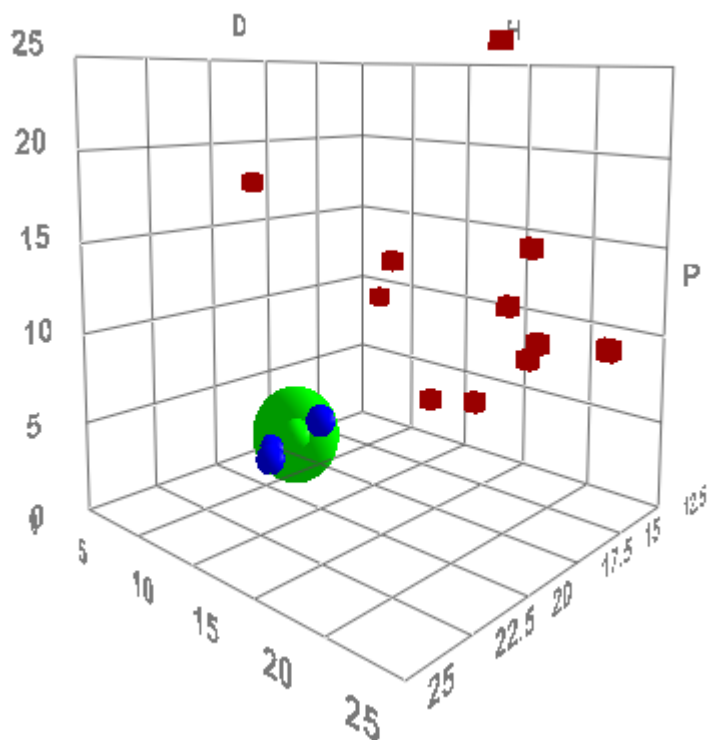
Opløsningsmiddel, ABS	Vægt (g)						Kvældning (%)				
	Dag 0	Dag 1	Dag 2	Dag 5	Dag 12	Dag 20	Dag 1	Dag 2	Dag 5	Dag 12	Dag 20
Acetone	0,285	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Benzene	0,3191	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-Butanol	0,2951	0,2949	0,2957	0,2963	0,2967	0,2971	-0,07	0,20	0,41	0,54	0,68
Carbon tetrachloride	0,3595	1,1635	1,4252	1,735	1,7694	1,6945	223,64	296,44	382,61	392,18	371,35
Chloroform	0,2533	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cyclohexanol	0,2942	0,2943	0,2951	0,2945	0,295	0,2955	0,03	0,31	0,10	0,27	0,44
Diethylene glycol	0,3276	0,3276	0,3276	0,3278	0,3285	0,3286	0,00	0,00	0,06	0,27	0,31
Dimethyl formamide	0,2673	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ethanol	0,3245	0,3277	0,3287	0,333	0,34	0,3456	0,99	1,29	2,62	4,78	6,50
Ethanolamine	0,3126	0,3126	0,3128	0,3125	0,3129	0,3138	0,00	0,06	-0,03	0,10	0,38
Ethylene glycol	0,2618	0,2626	0,262	0,2614	0,2625	0,2633	0,31	0,08	-0,15	0,27	0,57
Ethylene glycol butyl ethe	0,337	0,3237	0,3475	0,3558	0,3719	0,3793	-3,95	3,12	5,58	10,36	12,55
Formamide	0,3108	0,311	0,3114	0,3118	0,3133	0,314	0,06	0,19	0,32	0,80	1,03
Propylene carbonate	0,302	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Propylene glycol	0,2813	0,2818	0,2833	0,2828	0,2833	0,2832	0,18	0,71	0,53	0,71	0,68

Det eneste emne som blev kvældet mere end 100%, er ABS emnet som var i carbon tetrachloride (jf. figur 19)



Figur 19 Lille emne er tør ABS, stor emne er kvældet ABS på dag 20, udtaget fra carbon tetrachloride opløsningen.

Resultaterne for kvældning indtegnes i HSPiP, hvor de gode solventer er dem som er kvældet med over 5%. Der er kun 3 solventer der har kvældet HDPE med over 5 % (jf. figur 20). De målte værdier af HSP for HDPE ved kvældning metoden er, $D=17,73$ $P=1,37$ $H=3,26$.



Figur 20 kvældning for HDPE i hansens rummet.

På grund af at ABS kun har et emne der er kvældet, kan der ikke laves en tilsvarende figur som figur 20.

6.3 Hårdhed

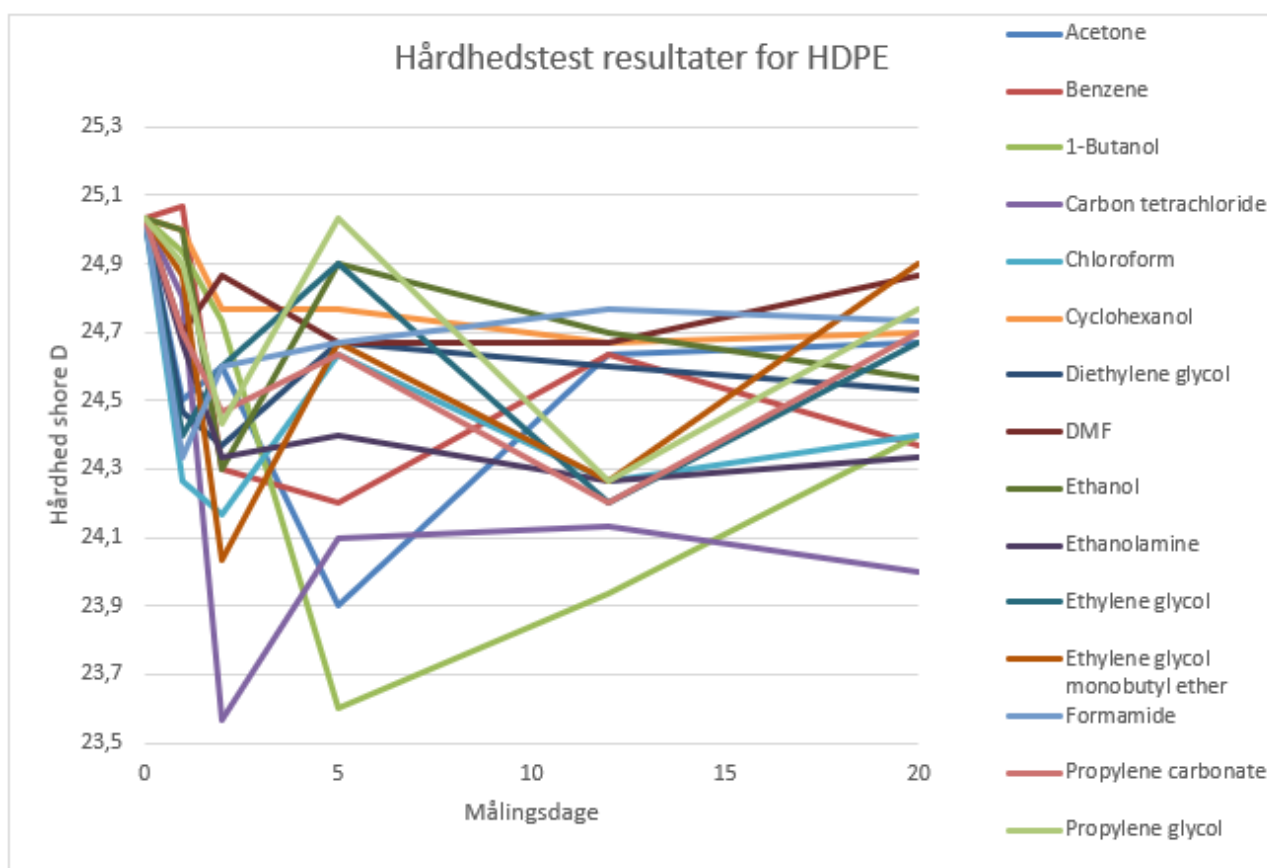
Målingerne for gennemsnittet samt Standardafvigelsen af hårdhedstesten ses i følgende tabel, alle målinger ses i bilag 2.

Hårdhedstest målinger (Shore A)						
Stof	Dag 0	Dag 1	Dag 2	Dag 5	Dag 12	Dag 20
Acetone						
ABS	Opløst					
PE	25,03 ± 0,21	24,5 ± 1,15	24,6 ± 0	23,9 ± 0,96	24,63 ± 0,29	24,67 ± 0,12
Benzene						
ABS	Opløst					
PE	25,03 ± 0,21	25,07 ± 0,06	24,3 ± 0,2	24,2 ± 0,2	24,63 ± 0,21	24,37 ± 0,49
1-Butanol						
ABS	25 ± 0,44	25,1 ± 0,17	24,43 ± 0,35	24,4 ± 0,36	24,87 ± 0,06	24,67 ± 0,21
PE	25,03 ± 0,21	24,93 ± 0,31	24,73 ± 0,25	23,60 ± 0,44	23,93 ± 0,25	24,4 ± 0,4
4 Carbon tetrachloride						
ABS	25 ± 0,44	5,57 ± 1,72	5,57 ± 0,91	3,63 ± 0,57	5,07 ± 0,78	5,03 ± 0,98
PE	25,03 ± 0,21	24,8 ± 0,10	23,57 ± 0,31	24,1 ± 0,30	24,13 ± 0,86	24 ± 0,70
5 Chloroform						
ABS	Opløst					
PE	25,03 ± 0,21	24,27 ± 0,46	24,17 ± 0,23	24,63 ± 0,15	24,27 ± 0,29	24,4 ± 0,44
6 Cyclohexanol						
ABS	25 ± 0,44	24,9 ± 0,17	23,23 ± 1,12	24,3 ± 0,82	24,7 ± 0,17	24,97 ± 0,06
PE	25,03 ± 0,21	25 ± 0	24,77 ± 0,12	24,77 ± 0,15	24,67 ± 0,15	24,7 ± 0,26
7 Diethylene glycol						
ABS	25 ± 0,44	24,97 ± 0,06	24,67 ± 0,32	24,27 ± 0,06	24,87 ± 0,06	24,77 ± 0,06
PE	25,03 ± 0,21	24,47 ± 0,32	24,37 ± 0,35	24,67 ± 0,12	24,6 ± 0,30	24,53 ± 0,12
8 Dimethyl formamide						
ABS	Opløst					
PE	25,03 ± 0,21	24,7 ± 0,20	24,87 ± 0,15	24,67 ± 0,23	24,67 ± 0,15	24,87 ± 0,25
9 Ethanol						
ABS	25 ± 0,44	25,03 ± 0,06	24,3 ± 0,10	24,93 ± 0,12	24,67 ± 0,15	24,83 ± 0,06
PE	25,03 ± 0,21	25 ± 0,10	24,3 ± 0,44	24,9 ± 0,10	24,7 ± 0,10	24,57 ± 0,21
10 Ethanolamine						
ABS	25 ± 0,44	24,83 ± 0,21	24,83 ± 0,06	24,93 ± 0,12	24,9 ± 0,10	24,83 ± 0,06
PE	25,03 ± 0,21	24,67 ± 0,71	24,33 ± 0,64	24,4 ± 0,17	24,27 ± 0,51	24,33 ± 0,15
11 Ethylene glycol						
ABS	25 ± 0,44	25 ± 0	24,77 ± 0,06	24,9 ± 0,10	24,83 ± 0,21	24,93 ± 0,06
PE	25,03 ± 0,21	24,4 ± 0,44	24,6 ± 0,1	24,9 ± 0,1	24,2 ± 0,36	24,67 ± 0,12
12 Ethylene glycol monobutyl ether						
ABS	25 ± 0,44	24,8 ± 0,36	24,2 ± 0,26	24,43 ± 0,25	23,33 ± 0,96	24,03 ± 0,47
PE	25,03 ± 0,21	24,87 ± 0,06	24,03 ± 0,68	24,67 ± 0,23	24,27 ± 0,32	24,9 ± 0,17

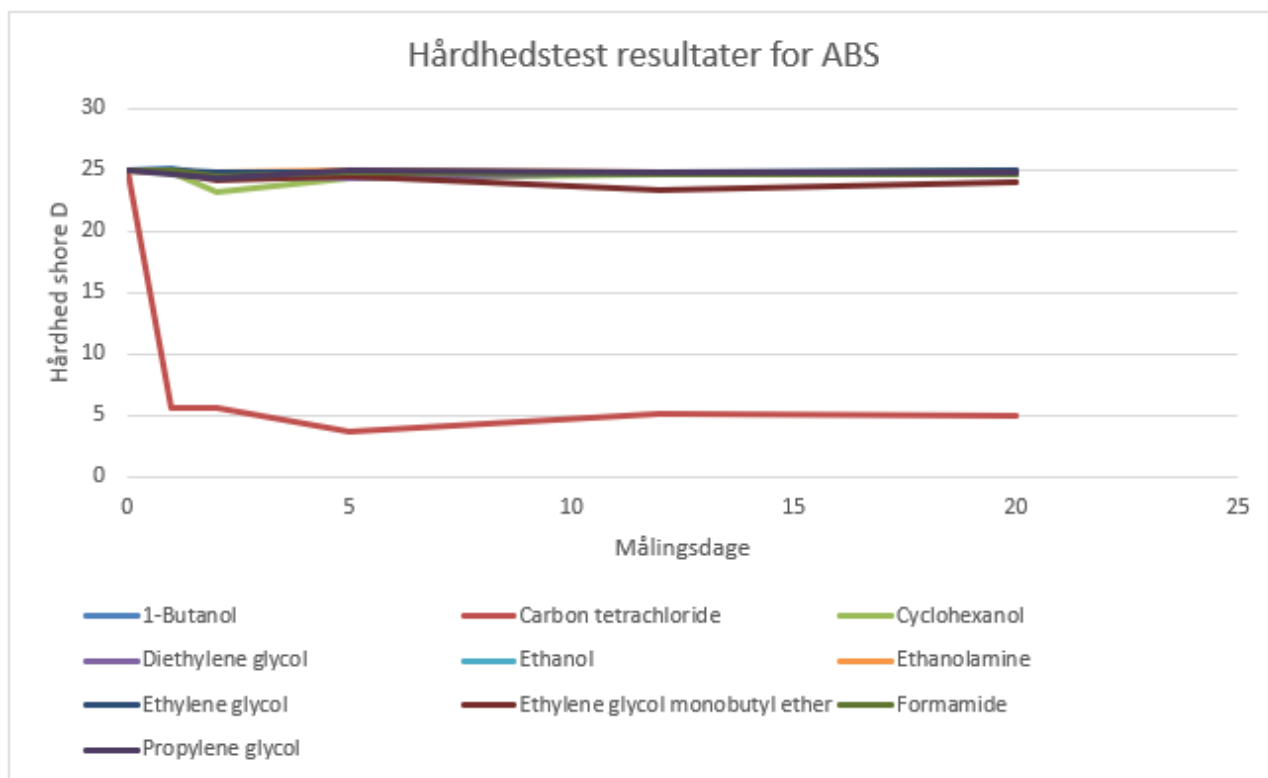
13 Formamide						
ABS	25 ± 0,44	24,93 ± 0,29	24,53 ± 0,45	24,87 ± 0,15	24,63 ± 0,23	24,63 ± 0,15
PE	25,03 ± 0,21	24,33 ± 0,32	24,6 ± 0,3	24,67 ± 0,15	24,77 ± 0,21	24,73 ± 0,25
14 Propylene carbonate						
ABS	Opløst					
PE	25,03 ± 0,21	24,7 ± 0,1	24,47 ± 0,23	24,63 ± 0,35	24,2 ± 0,2	24,7 ± 0
15 Propylene glycol						
ABS	25 ± 0,44	24,7 ± 0,52	24,3 ± 0,35	25 ± 0,10	24,83 ± 0,06	24,9 ± 0,0
PE	25,03 ± 0,21	24,9 ± 0,44	24,33 ± 0,31	25,03 ± 0,06	24,27 ± 0,29	24,77 ± 0,12

Resultaterne for Hårdhedstesten af HDPE og ABS er vist i figur 21 og figur 22, henholdsvis. Det ses på hårdhedstesten af HDPE at resultaterne varierer fra 23,5 til 25,1 shore A. Der er ingen signifikant ændring af hårdheden for HDPE når de reagerer med opløsningsmidlerne. Der foretages derfor ikke yderligere med hensyn til dette.

Resultaterne af hårdhedstesten for ABS ligger alle omkring de 25 shore A udentagen prøverne som har reageret med carbon tetrachloride, som har en signifikant lavere hårdhed end de andre.



Figur 21 Resultater for hårdhedstest af HDPE



Figur 22 Resultater af hårdhedstest for ABS

6.4 Trækstyrke

Gennemsnittet samt standardafvigelsen af målingerne for trækstyrken ses i nedenstående tabeller. Fulde tabeller med alle målinger for trækstyrke og tøjning ses i Bilag 3.

Tabel 7 Trækstyrkemålinger for ABS.

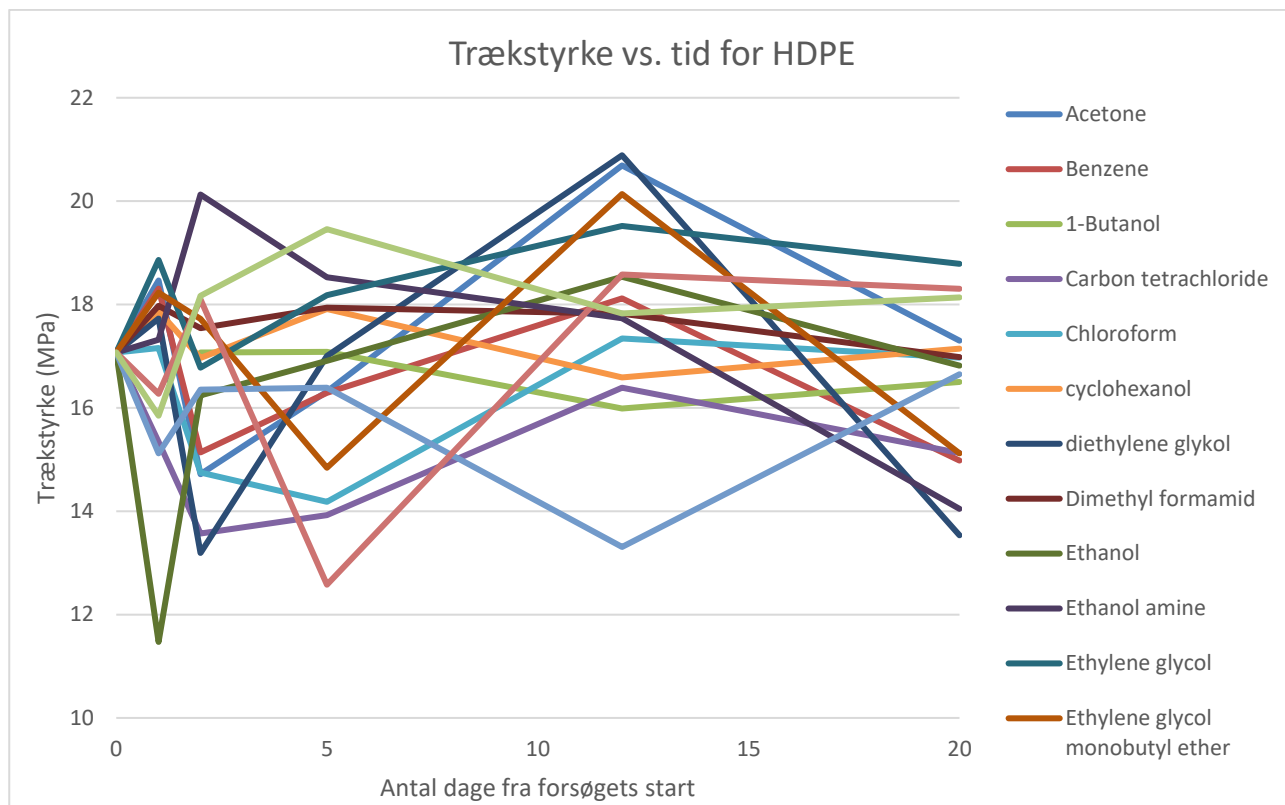
Trækstyrke for ABS (MPa)						
STOF	Dag 0	Dag 1	Dag 2	Dag 5	Dag 12	Dag 20
3 1-Butanol	31,18	34,16±6,07	31,48±5,49	32,14 ±3,29	29,75 ± 7,50	30,75 ±9,67
4 Carbon tetrachloride	31,18	5,41 ± 0,9	5,41	2,10 ± 0,6	12,29	1,29
6 Cyclohexanol	31,18	35,57±3,25	30,61±4,12	36,41±4,10	45,35	40,64±2,51
7 Diethylene glycol	31,18	31,86±2,59	37,04±4,98	37,46±3,06	33,81±4,53	37,84±0,86
9 Ethanol	31,18	30,70±6,78	25,92±4,55	30,65±7,31	28,60±6,55	25,15±3,89
10 Ethanolamine	31,18	37,6±2,68	40,22±7,77	33,54±3,53	35,01±5,54	34,7
11 Ethylene glycol	31,18	37,16±5,62	33,38±6,36	40,59±7,24	40,55±3,59	46,29±6,41
12 Ethyleneglycol butyl ether	31,18	1,21	1,99±0,56	5,14±1,08	5,8	5,14
13 Formamide	31,18	39,31±6,85	36,19±2,43	34,13±8,65	34,93±5,82	38,95
15 Propylene glycol	31,18	38,12±7,53	34,73±3,43	36,14±0,74	33,49±4,03	35,93

Tabel 8 Trækstyrke for HDPE

Trækstyrke for HDPE (MPa)

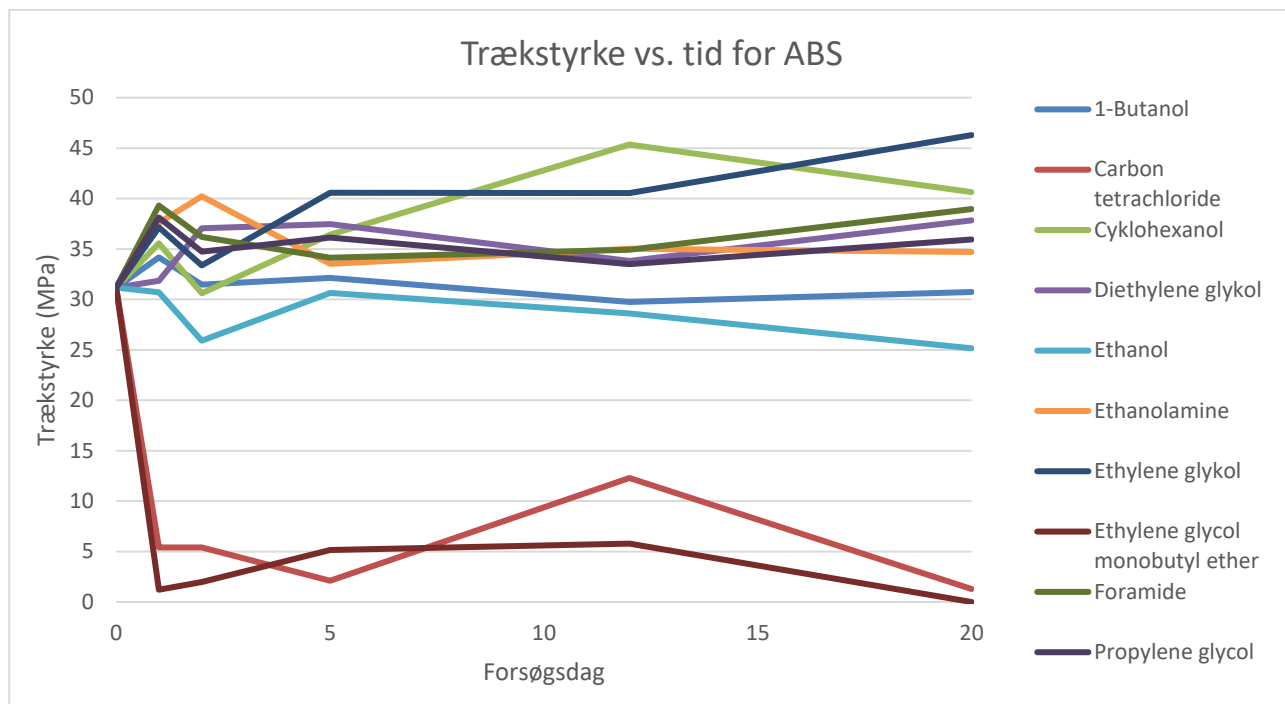
Stof	Dag 0	Dag 1	Dag 2	Dag 5	Dag 12	Dag 20
1 Acetone	17,07	18,47±2,55	14,72±2,99	16,31±1,05	20,69±1,09	17,30±3,96
2 Benzene	17,07	18,31±5,0	15,14±2,22	16,29±1,82	18,12±1,64	14,98±4,70
3 1-Butanol	17,07	17,08±1,97	15,99±0,32	16,50±5,83	16,50±1,03	18,23±1,52
4 Carbon tetrachloride	17,07	15,34±3,59	13,57±1,00	13,92±0,70	16,39±2,31	15,13±1,68
5 Chloroform	17,07	17,16±3,39	14,75±0,32	14,18±0,49	17,34±1,98	16,97±1,22
6 Cyclohexanol	17,07	17,87±2,49	16,96±2,68	17,91±3,48	16,59±3,56	17,15±1,85
7 Diethylene glycol	17,07	17,73±2,43	13,19±3,47	17,00±2,31	20,89±0,25	13,53±3,25
8 Dimethyl formamide	17,07	17,97±2,75	17,54±4,07	17,94±4,33	17,81±0,74	16,9±2,87
9 Ethanol	17,07	11,47±7,58	16,24±0,62	16,91±0,10	18,54±3,22	16,82±2,84
10 Ethanolamine	17,07	17,32±1,76	20,13±0,74	18,53±1,86	17,73±1,39	14,05
11 Ethylene glycol	17,07	18,86±1,43	16,78±1,38	18,18±1,98	19,52±0,55	18,79
12 Ethylene glycol monobutyl ether	17,07	18,23±2,03	17,72±2,77	14,84±7,10	20,14±1,26	15,12±1,06
13 Formamide	17,07	15,12±3,21	16,36±2,13	16,39±3,66	13,31	16,65±0,67
14 Propylene carbonate	17,07	16,27±0,16	18,10±2,55	12,58±4,30	18,58±1,93	18,31
15 Propylene glycol	17,07	15,85±1,39	18,17±2,01	19,46±0,82	17,83±1,43	18,138201

Resultaterne for trækstyrken af HDPE og ABS er vist i figur 24 og 25, henholdsvis. For HDPE variere trækstyrken fra 12 til 21. Der ses ingen tydelig stigning eller fald af trækstyrken over tiden, men en variation af stigning og fald gennem tiden. Dette skyldes usikkerheder i målingerne som kan være at emnerne er meget små og tynde, og derfor forlænges de ikke meget før de falder ud fra kæberne. De emner som ikke er trukket til de knækker, er sorteret væk fra målingerne.



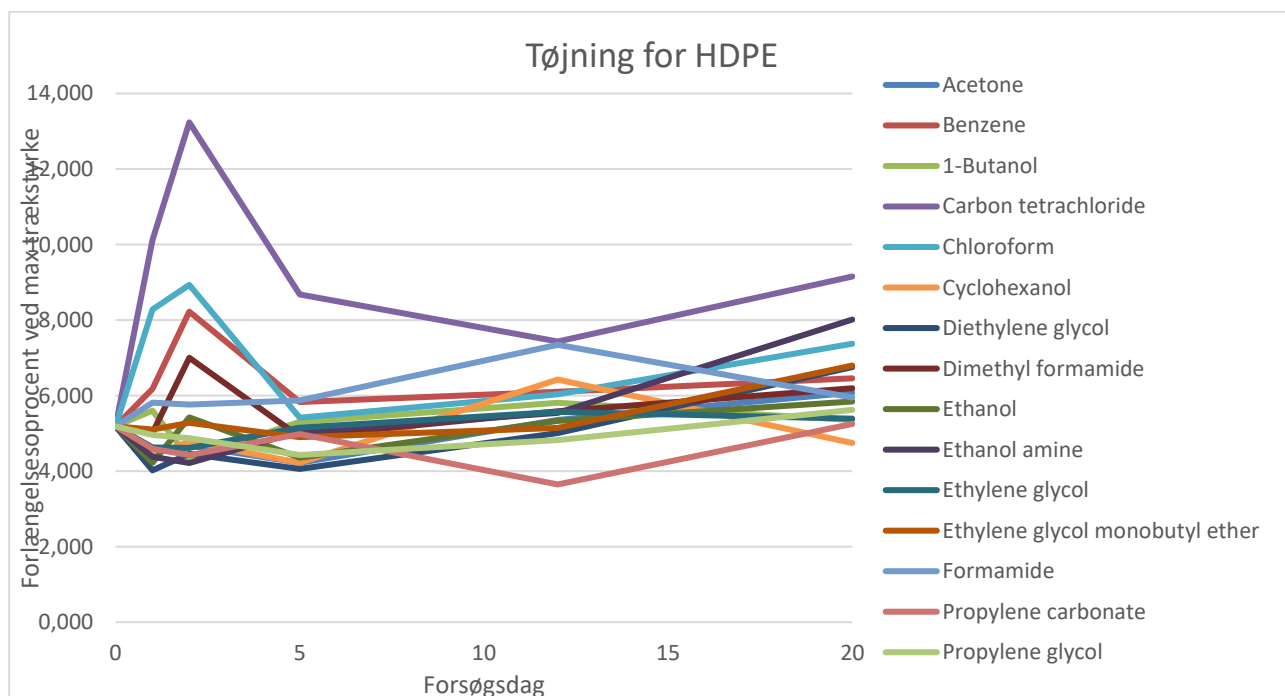
Figur 23 Trækstyrke vs. tid for HDPE

Resultaterne for trækstyrken af ABS viser at trækstyrken ligger fra ca. 25 til 40 for de fleste emner. Emnerne som var i carbon tetrachloride og i ethylene glycol monobutyl ether har en signifikant lavere trækstyrke, og dette skyldes, at carbon tetrachlorid prøverne var kvædet mens prøverne som var i ethylene glycol monobutyl ether havde revner (jf. afsnit 6.1 observation). HSPiP kan ikke bruges til trækstyrkemethoden, da der er ingen emner der har fået markant reduktion at trækstyrken.



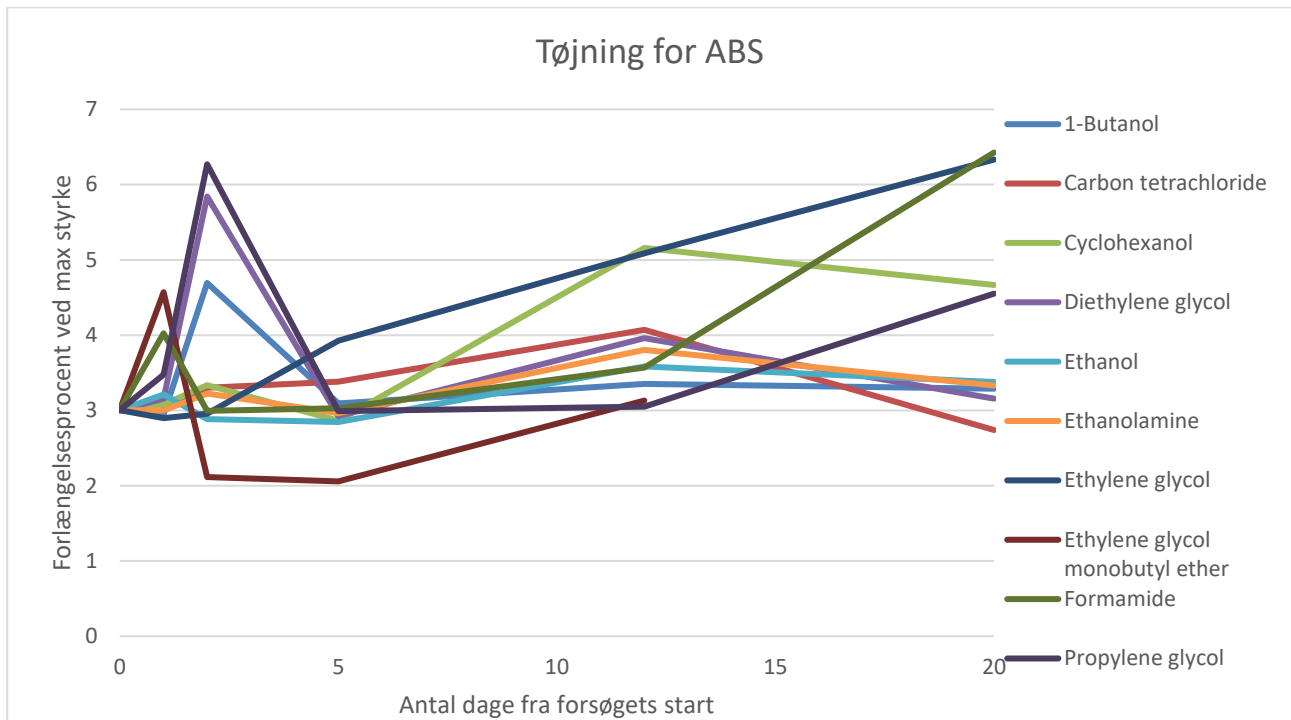
Figur 24 Trækstyrken for ABS

Figur 26 og 27 viser tøjningen versus tid for HDPE og ABS. Det ses at ved HDPE er tøjningen højst ved dag 3 for næsten alle emner. Det ses også på figur 26 at tøjningen stiger lidt fra start til slut for de fleste emner.



Figur 25 Tøjning for HDPE

Figur 27 viser tøjningen for ABS, det ses at de fleste emner har en forlængelsesprocent der variere fra 2 til 6. Prøverne som var i carbon tetrachloride har et større forlængelsesprocent ved dag 2, dette skyldes at emner som var i carbon tetrachloride var kvældet og dermed er blevet mere gummi-agtig.



Figur 26 Tøjning for ABS

6.5 Sammenfatning af resultater

Ud fra observationsmetoden blev HSP for ABS fundet til $\delta D=18,30$, $\delta P=8,85$ og $\delta H=4,67$. HSP for HDPE kunne ikke udregnes fordi der var ingen opløste HDPE emner.

De målte værdier af HSP for HDPE ved kvældning metoden er, $D= 17,73$ $P=1,37$ $H=3,26$. For ABS kunne HSP værdier ikke findes, da der var mindre end 2 emner ABS der var kvældet.

Hårdhedstestens målinger er upassende, de er alle på ca. 20-25 shore A, mens de rigtige værdier ligger på 70 og 100 for ABS og HDPE, henholdsvis. Hårdheden falder ikke med tiden og der sker ikke en markant ændring af målingerne, derfor kan HSP værdierne for denne metode ikke findes.

For træktesten sker der heller ingen markant forskel af målingerne fra start til slut af forsøget for de fleste emner. For ABS i carbon tetrachloride og ABS i Ethylene glycol monobutyl ether falder trækstyrken med ca. 25 MPa. Standardafvigelsen for nogle af målingerne for trækstyrken og tøjningen er for høje, for eksempel standardafvigelsen for trækstyrken for ABS i 1. Butanol ligger på 9,6, og dette er et højt tal i forhold til en acceptabel værdi af standardafvigelse. HSP værdier for ABS og HDPE for trækstyrken kan ikke findes, da der ikke ses en markant trækreduktion og ændring i tøjning overordnet set.

7 Diskussion

Kvældning resultaterne for HDPE af chloroform viser at på dag 1 og dag 20 er kvældningen på 13 mens det i dag 2, 5 og 12 er på 12. Hvis det skulle være helt rigtigt, så skal kvældning procenten kun stige eller holde sig, og ikke falde. Denne usikkerhed i målingerne kan skyldes fejl i vægten, eller rester af opløsningsmiddel eller vand, som ikke var tørret ordentlig af.

Hårdhedsresultaterne viste at næsten alle målingerne var på 20-25 shore A med en usikkerhed på maksimum 1,7. Usikkerheden siger at alle målinger er signifikante, men selve værdierne af målingerne er ikke passende med værdierne fra teorien fra tabel 2 og 3, som viser at begge polymertyper har en hårdhed på ca. 100 shore A. Denne fejl i målingerne kan skyldes at emnerne var for små og for tynde og tykkelsen af 3 emner over hinanden var ikke mere end ca. 4,5 mm, mens der i standarden ISO 7619-1 er angivet en anbefalet minimal tykkelse på 6 mm. Der blev også kun arbejdet med 3 emner pr. opløsningsmiddel pr. polymer, så denne er også en begrænsning, at der ikke kunne måles på en større tykkelse.

De meste af trækstyrke og trækforlængelse målinger viste værdier der ligner hinanden meget på første forsøgsdag og sidste forsøgsdag. I forsøgsdagene imellem første og sidste forsøgsdag er træk målingerne og tøjningsresultaterne op og ned. Hvis træk målingerne skal være helt rigtige, skal trækstyrken og trækforlængelsen kun falde eller holdes lige. Denne fejl kan skyldes at den lille vejecelle som blev brugt til trækstyrkemåling, var gået i stykker ca. midtvejs i forsøgsprocessen, og derfor gav usikre resultater. Det kan også skyldes at emnerne var for små til at kunne trækkes på trækapparatet. Mange af emnerne som blev trækket blev skilt fra kæberne inden de blev trukket færdigt, selvom de var spændt godt fast til kæberne. Disse målinger blev dog ikke brugt, og derfor er der nogle af emnerne som kun har 1 måling og ikke 3. Dette kunne gøres bedre hvis emnerne var af en standardstørrelse på 150 eller 170 mm ifølge ISO 527.

Hvis man kigger på resultaterne for ABS i carbon tetrachloride kan vi se at i observationsmetoden er den opløst. I kvældning metoden er den kvældet med 370 %, det vil sige den har øget vægen mere end 3,5 gange. Hårdheden for emnet er den eneste der starter med at være på 25 shore A og slutter med at ligge på 5 shore A. Trækstyrken for emnet falder markant og tøjningen stiger markant. Det er dermed det eneste emne som man kan følge udviklingen af hele vejen igennem. Hvis der var arbejdet med flere opløsningsmidler, ville der være større chancer for at have flere stoffer som man kan følge udviklingen af.

8 Konklusion

På baggrund af den initierende problemstilling:

"Hvorledes evalueres HSP og er der yderligere rum for kvantificering af resultaterne?"

Konkluderes at HSP evalueres gennem Observationsmetoden, kvældning, trækstyrke, intrinsic viskosity, IGC og overfladespænding. Ifølge teorien er den bedste og mest præcise metode,

trækstyrkemethoden. Det er derfor interessant at undersøge om det passer, og hvad forskellen på de forskellige metoder er. Følgende problemstilling blev hermed dannet:

”Hvad er forskellen på HSP-værdier fundet igennem forskellige evalueringmetoder? Og metoderne er bedst, og hvorfor?”

For at besvare denne problemstilling blev der lavet forsøg hvor HDPE og ABS undersøges gennem fire metoder. Metoderne er Observation, kvældning, Hårdhedstest og trækstyrketest.

Trækstyrkemethoden og hårdhedstest virkede ikke godt med små og tynde emner, så der kunne ikke findes HSP værdier for disse metoder. Observationsmetoden og kvældning metoden virkede med de små emner, men som nævnt i rapporten er disse metoder ikke præcise og behøver en større skala af opløsningsmidler for at nå frem til bedst mulige resultater. Det kan hermed konkluderes at observationsmetoden og kvældningsmetoden virker bedst for små emner end trækstyrkemethoden og hårdhedstest.

9 Perspektivering

Hvis der skal arbejdes videre med dette projekt, vil følgende ideer være gode at tage med:

1. Bruge mere opløsningsmidler end 15. 25-30 opløsningsmidler vil give bedre resultater og mere præcise HSP-værdier for både observationsmetoden og kvældningsmetoden. Ved at bruge 30 opløsningsmidler vil det sikkert give flere opløste stoffer og dermed mere præcise HSP værdier fra HSPiP.
2. Bruge større emner. Store emner som har form som de standard sprøjttestøbt emner, på 150 eller 170 mm, vil give en meget bedre resultat af trækstyrketesten og hårdhedstesten.
3. Udtage prøver to timer efter start af forsøg, da de fleste opløste emner blev opløst få timer efter forsøgets start. At udtage prøver hver dag og 2 timer efter forsøgets start vil hjælpe os med at finde usikkerheder i målinger. Jo oftere vi udtager prøver, desto flere målinger vil vi få, og dermed en mere præcis gennemsnit.
4. Bruge flere emner end 3 pr. solvent pr. polymer. For eksempel 15 i stedet for 3. Dette vil være godt for træktesten, da der vil blive bedre mulighed for at flere emner trækkes korrekt.

10 Referencer

- [1] C. M. H. hjælpemiddel, »HSP - Et anvendeligt termodynamisk,« *dansk kemi 91, nr. 9, 2010*, pp. 54-56, 2010.
- [2] J. Burke, »cool.conservation-us.org,« 13 08 2011. [Online]. Available: <https://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v03/bp03-04.html>. [Senest hentet eller vist den 20 10 1018].

- [3] »Den store danske,« [Online]. Available: http://denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Kemi/Fysisk_kemi_og_fysisk_elektrokemi/dispersionskr%C3%A6fter. [Senest hentet eller vist den 01 11 2018].
- [4] [Online]. Available: <https://socratic.org/chemistry/intermolecular-bonding/intermolecular-bonds>. [Senest hentet eller vist den 01 11 2018].
- [5] »Biosite,« 23 02 2003. [Online]. Available: <http://www.biosite.dk/leksikon/hydrogenbinding.htm>. [Senest hentet eller vist den 01 11 2018].
- [6] C. M. Hansen, Hansen Solubility Parameters: A User's Handbook, CRC Press, 2000, p. 5.
- [7] D. H. Yamamoto, »pirika,« 2009. [Online]. Available: <https://pirika.com/NewHP/PirikaE/polymer-solvent.html>. [Senest hentet eller vist den 10 2018].
- [8] T. B. Nielsen, »Elastomer swelling and Hansen solubility parameters,« Force Technology, Brøndby, Danmark, 2005.
- [9] »Ametektest,« [Online]. Available: <https://www.ametektest.com/learningzone/library/articles/the-importance-of-intrinsic-viscosity-measurement>. [Senest hentet eller vist den 27 11 2018].
- [1] K. H. Han, G. S. Jeon, I. K. Hong og S. B. Lee, »Prediction of solubility parameter from intrinsic viscosity,« Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Korea, 2012.
- [1] »www.adscientis.com,« [Online]. Available: <https://www.adscientis.com/solubility-parameters-1/hsp.html>. [Senest hentet eller vist den 02 11 2018].
- [1] »kruss-scientific,« [Online]. Available: <https://www.kruss-scientific.com/services/education-2/theory/glossary/method-according-to-zisman/>. [Senest hentet eller vist den 10 2018].
- [1] [Online]. Available: <http://zsm.umcs.lublin.pl/Wyklad/FGF-Ang/2A.F.G.F.%20Surface%20tension.pdf>. [Senest hentet eller vist den 15 11 2018].
- [1] »plastindustrien,« [Online]. Available: <https://plast.dk/det-store-plastleksikon/polyethylen/>. [Senest hentet eller vist den 12 2018].
- [1] »www.plast.dk,« plastindustrien, [Online]. Available: <https://plast.dk/det-store-plastleksikon/hdpe-5/hoej-densitet-polyethylen/>. [Senest hentet eller vist den 05 12 2018].
- [1] »Plasticmoulding,« [Online]. Available: <http://www.plasticmoulding.ca/polymers/polyethylene.htm>. [Senest hentet eller vist den 15 12 2018].

[1 [Online]. Available:

7] <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=fce23f90005d4f8e8e12a1bce53ebdc8&ckc k=1>. [Senest hentet eller vist den 12 2018].

[1 [Online]. Available: <https://omnexus.specialchem.com/polymer-properties/properties/glass-transition-8> temperature.

[1 [Online]. Available: <http://www.matweb.com/reference/tensilestrength.aspx>.

9]

[2 »plast.dk,« Plastindustrien, [Online]. Available: <https://plast.dk/det-store-plastleksikon/abs-plast/> .

0] [Senest hentet eller vist den 8 12 2018].

[2 »Den store danske,« [Online]. Available:

1] http://denstoredanske.dk/It%2c_teknik_og_naturvidenskab/Kemi/Kunststoffer%2c_polymerkemi%2c_plast_og_gummi/polymermorfologi . [Senest hentet eller vist den 08 12 2018].

[2 T. Rogers, »www.creativemechanisms.com,« 13 07 2015. [Online]. Available:

2] <https://www.creativemechanisms.com/blog/everything-you-need-to-know-about-abs-plastic>. [Senest hentet eller vist den 17 12 2018].

[2 [Online]. Available: <https://omnexus.specialchem.com/polymer-properties/properties/hardness-3>

3] shore-d.

[2 [Online]. Available: https://www.teststandard.com/data_sheets/ABS_Data_sheet.pdf.

4]

[2 M. Mishra, Handbook of Encapsulation and Controlled Release, CRC-Press, 2015.

5]

[2 [Online]. Available: <http://www.matweb.com/reference/shore-hardness.aspx>. [Senest hentet eller vist

6] den 12 12 2018].

[2 *ISO 7619-1:2004, Rubber, vulcanized or thermoplastic -- Determination of indentation hardness -- Part*

7] *1: Durometer method (Shore hardness)*, International Organization for Standardization, 2004.

[2 [Online]. Available: <https://www.smooth-on.com/page/durometer-shore-hardness-scale/>. [Senest

8] hentet eller vist den 17 12 2018].

[2 [Online]. Available: <https://www.minerelastomer.com/technical-data/tecspak-features/shore-shore-d-9>

9] comparison/.

[3 [Online]. Available: <https://www.teknorapex.com/thermoplastic-elastomers-and-measuring-shore-0>

0] hardness-chart.

[3 [Online]. Available: <https://www.hansen-solubility.com/HSPiP/>. [Senest hentet eller vist den 11 2018].
1]

[3 »SOP for UBBELOHDE,« KTH, Stockholm, 2010.
2]

[3 [Online]. Available: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/acrylonitrile-butadiene-styrene-abs-plastic> . [Senest hentet eller vist den 12 2018].
3]

[3 [Online]. Available: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/acrylonitrile-butadiene-styrene-abs-plastic>.
4]

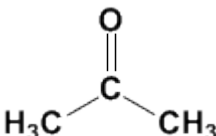
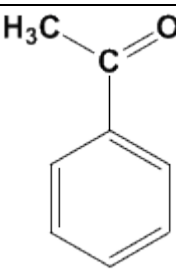
[3 »Matweb,« [Online]. Available: <http://www.matweb.com/reference/shore-hardness.aspx>. [Senest
5] hentet eller vist den 06 2018].

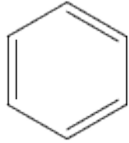
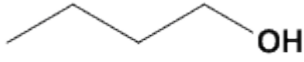
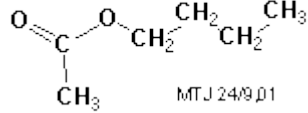
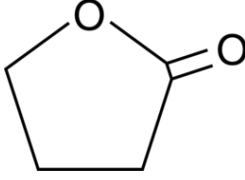
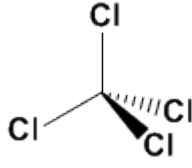
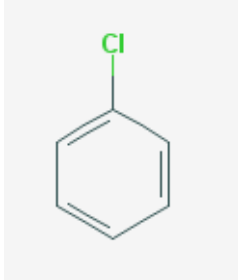
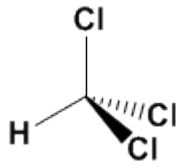
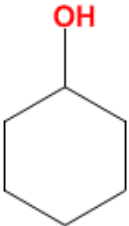
[3 ISO 7619-1:2004, Rubber, vulcanized or thermoplastic -- Determination of indentation hardness -- Part
6] 1: Durometer method (Shore hardness), International Organization for Standardization, 2004.

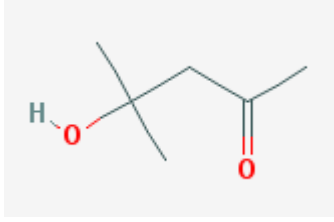
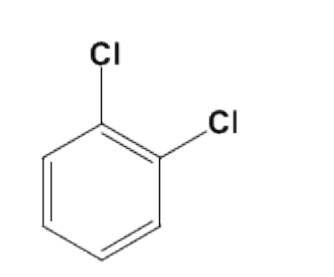
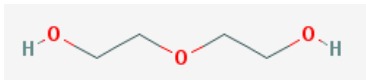
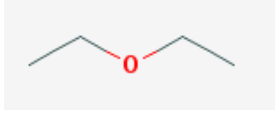
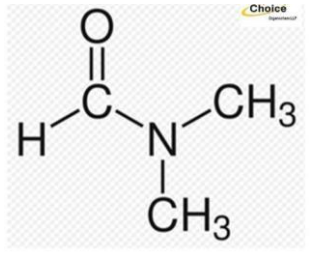
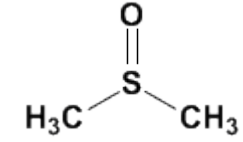
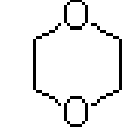

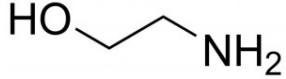
13 Bilag

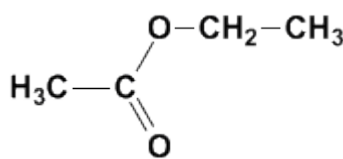
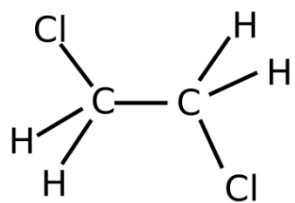
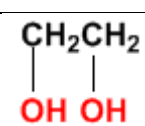
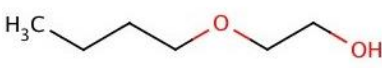
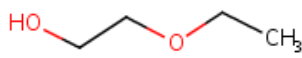
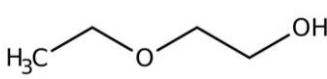

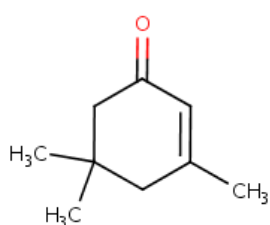
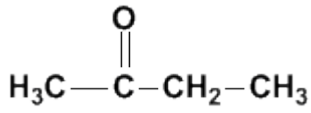
Bilag 1, opløsningsmidler

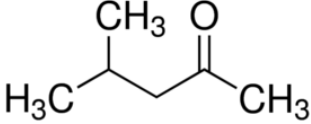
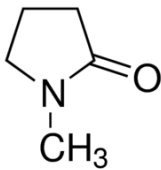
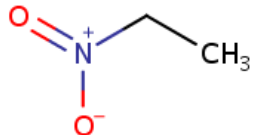
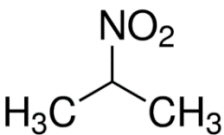
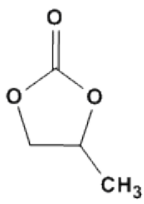

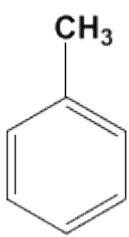
Tabel 9 Viser de forskellige opløsningsmidler som bruges til at finde opløseligheden af polymer. Hansens tre parametre er angivet for hvert opløsningsmiddel.

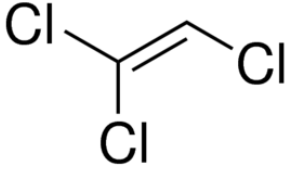
Solvent	D	P	H	structure
Acetone	15,5	10,4	7	
Acetophenone	19,6	8,6	3,7	

Benzene	18,4	0,0	2,0	
1-Butanol	16,0	5,7	15,8	
Butyl acetate	15,8	3,7	6,3	Eddikesyrebutylester  <small>MTJ 24/9,01</small>
γ- Butyrolactone	19,0	16,6	7,4	
Carbon tetrachloride	17,8	0,0	0,6	
Chlorobenzene	19,0	4,3	2,0	
Chloroform	17,8	3,1	5,7	
Cyclohexanol	17,4	4,1	13,5	

Diacetone alcohol	15,8	8,2	10,8	
o- Dichlorobenzene	19,2	6,3	3,3	
Diethylene glycol	16,6	12,0	20,7	
Diethyl ether	14,5	2,9	5,1	
Dimethyl formamide	17,4	13,7	11,3	
Dimethyl sulfoxide	18,4	16,4	10,2	
1,4- Dioxane	19,0	1,8	7,4	
Ethanol	15,8	8,8	19,4	
Ethanolamine	17,0	15,5	21,2	

Ethyl acetate	15,8	5,3	7,2	
Ethylene dichloride	19,0	7,4	4,1	
Ethylene glycol	17,0	11,0	26,0	
Ethylene glycol monobutyl ether	16,0	5,1	12,3	
Ethylene glycol monoethyl ether	16,2	9,2	14,3	
Ethylene glycol monomethyl ether	16,2	9,2	16,4	
Formamide	17,2	26,2	19,0	$\text{H}_2\text{N}-\text{CHO}$
Hexane	14,9	0,0	0,0	
Isophorone	16,6	8,2	7,4	
Methanol	15,1	12,3	22,3	$\text{H}_3\text{C}-\text{OH}$
Methylene dichloride	18,2	6,3	6,1	
Methyl ethyl ketone	16,0	9,0	5,1	

Methyl isobutyl ketone	15,3	16,1	4,1	
Methyl-2-pyrrolidone	18,0	12,3	7,2	
Nitroethane	16,0	15,5	4,5	
Nitromethane	15,8	18,8	5,1	$\text{H}_3\text{C}-\text{NO}_2$
2-Nitropropane	16,2	12,1	4,1	
Propylene carbonate	20,0	18,0	4,1	
Propylene glycol	16,8	9,4	23,3	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CHOH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$
Tetrahydrofuran	16,8	9,4	23,3	
Toluene	18,0	1,4	2,0	

Trichloroethylene	18,0	3,1	3,5	
-------------------	------	-----	-----	--

Bilag 2, Hårdhedstest målinger

Hårdhedstest målinger	Hårdhed (Shore A)					
Stof	Dag 0	Dag 1	Dag 2	Dag 5	Dag 12	Dag 20
Acetone						
ABS	Opløst					
PE	25,2	24,9	24,6	22,8	24,3	24,6
	25,1	23,2	24,6	24,6	24,8	24,8
	24,8	25,4	24,6	24,3	24,8	24,6
Gennemsnit	25,03	24,5	24,6	23,9	24,63	24,67
Standard afvigelse	0,21	1,15	0	0,96	0,29	0,12
Benzene						
ABS	Opløst					
PE	25,2	25	24,5	24,4	24,4	24,6
	25,1	25,1	24,1	24	24,8	23,8
	24,8	25,1	24,3	24,2	24,7	24,7
Gennemsnit	25,03	25,07	24,3	24,2	24,63	24,37
Standard afvigelse	0,21	0,06	0,2	0,2	0,21	0,49
1-Butanol						
ABS	24,5	24,9	24,1	24,7	24,9	24,5
	25,2	25,2	24,4	24,5	24,9	24,9
	25,3	25,2	24,8	24	24,8	24,6
Gennemsnit	25	25,1	24,43	24,4	24,87	24,67
Standard afvigelse	0,44	0,17	0,35	0,36	0,06	0,21
PE	25,2	25,2	25	23,1	24,2	24
	25,1	24,6	24,5	23,8	23,9	24,8
	24,8	25	24,7	23,9	23,7	24,4
	25,03	24,93	24,73	23,60	23,93	24,4
Standard afvigelse	0,21	0,31	0,25	0,44	0,25	0,4
4 Carbon tetrachloride						
ABS	24,5	3,7	6,6	3	4,2	5,6
	25,2	5,9	4,9	3,8	5,3	5,6
	25,3	7,1	5,2	4,1	5,7	3,9

	25	5,57	5,57	3,63	5,07	5,03
Standard afvigelse	0,44	1,72	0,91	0,57	0,78	0,98
PE	25,2	24,9	23,5	24,1	24,3	23,2
	25,1	24,8	23,3	23,8	24,9	24,3
	24,8	24,7	23,9	24,4	23,2	24,5
	25,03	24,8	23,57	24,1	24,13	24
Standard afvigelse	0,21	0,10	0,31	0,30	0,86	0,70
5 Chloroform						
ABS	Opløst					
PE	25,2	24,8	24,3	24,5	24,6	23,9
	25,1	24	24,3	24,6	24,1	24,6
	24,8	24	23,9	24,8	24,1	24,7
	25,03	24,27	24,17	24,63	24,27	24,4
Standard afvigelse	0,21	0,46	0,23	0,15	0,29	0,44
6 Cyclohexanol						
ABS	24,5	24,7	24,2	23,4	24,8	25
	25,2	25	22	25	24,5	25
	25,3	25	23,5	24,5	24,8	24,9
	25	24,9	23,23	24,3	24,7	24,97
Standard afvigelse	0,44	0,17	1,12	0,82	0,17	0,06
PE	25,2	25	24,7	24,8	24,5	24,4
	25,1	25	24,9	24,9	24,8	24,9
	24,8	25	24,7	24,6	24,7	24,8
	25,03	25	24,77	24,77	24,67	24,70
Standard afvigelse	0,21	0	0,12	0,15	0,15	0,26
7 Diethylene glycol						
ABS	24,5	24,9	24,9	24,2	24,9	24,8
	25,2	25	24,8	24,3	24,8	24,8
	25,3	25	24,3	24,3	24,9	24,7
	25	24,97	24,67	24,27	24,87	24,77
Standard afvigelse	0,44	0,06	0,32	0,06	0,06	0,06
PE	25,2	24,1	24,7	24,6	24,3	24,4
	25,1	24,7	24	24,8	24,6	24,6
	24,8	24,6	24,4	24,6	24,9	24,6
	25,03	24,47	24,37	24,67	24,60	24,53
Standard afvigelse	0,21	0,32	0,35	0,12	0,30	0,12
8 Dimethyl formamide						
ABS	Opløst					
PE	25,2	24,7	25	24,8	24,7	25,1
	25,1	24,5	24,7	24,8	24,8	24,9
	24,8	24,9	24,9	24,4	24,5	24,6
	25,03	24,70	24,87	24,67	24,67	24,87
Standard afvigelse	0,21	0,20	0,15	0,23	0,15	0,25

9 Ethanol						
ABS	24,5	25	24,4	25	24,8	24,8
	25,2	25,1	24,2	25	24,5	24,8
	25,3	25	24,3	24,8	24,7	24,9
	25,00	25,03	24,30	24,933	24,667	24,833
Standard afvigelse	0,44	0,06	0,10	0,115	0,153	0,058
PE	25,2	25	24,6	25	24,8	24,5
	25,1	25,1	24,5	24,9	24,7	24,8
	24,8	24,9	23,8	24,8	24,6	24,4
	25,03	25,00	24,30	24,90	24,70	24,57
Standard afvigelse	0,21	0,10	0,44	0,10	0,10	0,21
10 Ethanolamine						
ABS	24,5	24,9	24,8	24,8	24,8	24,9
	25,2	24,6	24,8	25	24,9	24,8
	25,3	25	24,9	25	25	24,8
	25,00	24,83	24,83	24,93	24,90	24,83
Standard afvigelse	0,44	0,21	0,06	0,12	0,10	0,06
PE	25,2	24,8	23,6	24,3	23,7	24,2
	25,1	23,9	24,8	24,6	24,4	24,3
	24,8	25,3	24,6	24,3	24,7	24,5
	25,03	24,67	24,33	24,40	24,27	24,33
Standard afvigelse	0,21	0,71	0,64	0,17	0,51	0,15
11 Ethylene glycol						
ABS	24,5	25	24,8	24,9	25	24,9
	25,2	25	24,8	24,8	24,9	24,9
	25,3	25	24,7	25	24,6	25
	25,00	25,00	24,77	24,9	24,83	24,93
Standard afvigelse	0,44	0,00	0,06	0,10	0,21	0,06
PE	25,2	23,9	24,5	24,8	23,9	24,6
	25,1	24,6	24,7	24,9	24,1	24,6
	24,8	24,7	24,6	25	24,6	24,8
	25,03	24,4	24,6	24,9	24,2	24,67
Standard afvigelse	0,21	0,44	0,1	0,1	0,36	0,12
12 Ethylene glycol monobutyl ether						
ABS	24,5	25,2	24,5	24,4	24,2	24,2
	25,2	24,7	24	24,7	23,5	24,4
	25,3	24,5	24,1	24,2	22,3	23,5
	25	24,8	24,2	24,43	23,33	24,03
Standard afvigelse	0,44	0,36	0,26	0,25	0,96	0,47
PE	25,2	24,9	24,8	24,8	24,4	25
	25,1	24,9	23,5	24,4	24,5	25
	24,8	24,8	23,8	24,8	23,9	24,7

	25,03	24,87	24,03	24,67	24,27	24,90
Standard afvigelse	0,21	0,06	0,68	0,23	0,32	0,17
13 Formamide						
ABS	24,5	24,6	24,5	25	24,9	24,5
	25,2	25,1	24,1	24,9	24,5	24,6
	25,3	25,1	25	24,7	24,5	24,8
	25	24,93	24,53	24,87	24,63	24,63
Standard afvigelse	0,44	0,29	0,45	0,15	0,23	0,15
PE	25,2	24,1	24,3	24,7	24,7	25
	25,1	24,7	24,6	24,8	24,6	24,7
	24,8	24,2	24,9	24,5	25	24,5
	25,03	24,33	24,6	24,67	24,77	24,73
Standard afvigelse	0,21	0,32	0,3	0,15	0,21	0,25
14 Propylene carbonate						
ABS	Opløst					
PE	25,2	24,6	24,6	25	24,2	24,7
	25,1	24,7	24,6	24,3	24,4	24,7
	24,8	24,8	24,2	24,6	24	24,7
	25,03	24,7	24,47	24,63	24,2	24,7
Standard afvigelse	0,21	0,1	0,23	0,35	0,2	0
15 Propylene glycol						
ABS	24,5	24,1	24,7	25,1	24,8	24,9
	25,2	25	24,1	25	24,8	24,9
	25,3	25	24,1	24,9	24,9	24,9
	25	24,7	24,3	25	24,83	24,9
Standard afvigelse	0,44	0,52	0,35	0,10	0,06	0,00
PE	25,2	24,4	24,1	25	24,6	24,7
	25,1	25,2	24,5	25	24,1	24,7
	24,8	25,1	24,7	25,1	24,1	24,9
	25,03	24,90	24,43	25,03	24,27	24,77
Standard afvigelse	0,21	0,44	0,31	0,06	0,29	0,12

Bilag 3

3.1 Trækstyrketestdata for ABS målinger

Trækstyrke data for ABS	Trækstyrke reduktion (%)					Trækstyrke (MPa)						
	Dag 1	Dag 2	Dag 5	Dag 12	Dag 20	Dag 0	Dag 1	Dag 2	Dag 5	Dag 12	Dag 20	
Stof												
3 1-Butanol						30,018	38,45 1	37,79 4	32,12 3	41,53 7	26,25 3	
						27,638	29,87 2	27,81 1	35,42 6	30,93 3	39,92 3	

						35,870		28,82 3	28,85 6	16,77 7	26,06 2
Gennemsnit	8,74	0,96	2,99	-4,79	-1,40	31,175 12	34,16 2	31,47 6	32,13 5	29,74 9	30,74 6
Standard afvigelse							6,066	5,495	3,285	7,498	9,666
4 Carbon tetrachloride							4,788		2,541	12,29 4	1,289
							6,032		1,664		
Gennemsnit	- 476,2	- 476,2	- 1382, 7	- 153,6	- 2318, 4	31,175 12	5,410	5,410	2,103	12,29 4	1,289
Standard afvigelse							0,879		0,620	-	-
6 Cyclohexanol							37,86 8	32,80 1	32,59 9	41,15 5	42,81 4
							33,27 4	25,84 9	40,74 2		46,36 2
								33,16 9	35,89 1	49,55 2	32,75 7
Gennemsnit	12,4	-1,9	14,4	31,3	23,3	31,175 12	35,57 1	30,60 6	36,41 1	45,35 4	40,64 4
Standard afvigelse							3,249	4,124	4,096	5,938	2,508
7 Diethylene glycol							27,22 5	37,26 9	37,15 5	37,43 3	36,42 7
							30,89 4	41,90 4	40,65 5	31,02 0	35,20 6
							37,44 8	31,95 5	34,56 3	32,96 6	41,89 1
Gennemsnit	2,1	15,8	16,8	7,8	17,6	31,175 12	31,85 6	37,04 3	37,45 8	33,80 6	37,84 1
Standard afvigelse							2,594	4,979	3,057	4,534	0,864
9 Ethanol							31,13 8	21,53 9	30,06 5	33,23 1	27,89 9
							40,72 1	25,60 0	23,64 6	23,96 2	22,40 3
							20,22 6	30,62 9	38,22 6		
Gennemsnit	-1,6	-20,3	-1,7	-9,0	-24,0	31,175 12	30,69 5	25,92 3	30,64 6	28,59 6	25,15 1
Standard afvigelse							6,776	4,554	7,307	6,554	3,886
10 Ethanolamine							39,03 0	34,44 6	37,38 5	38,10 3	
							42,82 7	37,16 0	32,77 8	30,26 2	34,69 6
							30,93 6	49,05 3	30,45 3	36,67 1	
Gennemsnit	17,1	22,5	7,0	11,0	10,1	31,175 12	37,59 8	40,22 0	33,53 8	35,01 2	34,69 6
Standard afvigelse							2,685	7,770	3,528	5,545	-

11 Ethylene glycol							33,18 4	38,22 3	34,71 2	39,65 4	50,82 5
							41,13 3	26,17 5	48,67 5	44,73 1	41,75 8
								35,72 8	38,37 1	37,27 5	
Gennemsnit	16,1	6,6	23,2	23,1	32,7	31,175 12	37,15 8	33,37 6	40,58 6	40,55 3	46,29 1
Standard afvigelse							5,621	6,359	7,240	3,590	6,411
12 Ethylene glycol monobutyl ether							1,208	1,387	6,354	6,188	
								2,601	4,785		
									4,294	5,417	
Gennemsnit	- 2480, 8	- 1463, 3	- 506,0	- 437,3	- 437,5	31,175 12	1,208	1,994	5,144	5,802	5,800
Standard afvigelse							-	0,859	1,076	0,546	-
13 Formamide							41,52 6	34,01 1	34,11 4	32,58 1	38,95 3
							31,84 5	38,81 9	42,79 1	40,81 2	
							44,55 9	35,74 4	25,49 7	31,39 6	
Gennemsnit	20,7	13,9	8,7	10,7	20,0	31,175 12	39,31 0	36,19 1	34,13 4	34,93 0	38,95 3
Standard afvigelse							6,846	2,435	8,647	5,820	-
15 Propylene glycol							39,75 8	31,38 4	36,90 1	31,00 3	35,93 2
							29,10 5	38,24 6	36,09 7	36,70 7	
							45,48 5	34,56 6	35,43 0	32,76 4	
Gennemsnit	18,2	10,2	13,7	6,9	13,2	31,175 12	38,11 6	34,73 2	36,14 2	33,49 1	35,93 2
Standard afvigelse							7,532	3,434	0,737	4,033	-

3.2 Trækstyrke for HDPE målinger

Trækstyrkereduktion for PE (%)	Trækstyrke (MPa)					
	Dag 0	Dag 1	Dag 2	Dag 5	Dag 12	Dag 20
1 Acetone		15,926	14,993	15,125	19,916	14,500
		21,019	17,553	17,109	21,465	20,099
		18,452	11,601	16,705		
Gennemsnit	17,07	18,466	14,716	16,313	20,690	17,300
Standard afvigelse		2,547	2,986	1,049	1,095	3,959
Trækstyrke reduktion (%)			-	-4,638	17,500	1,330

2 Benzene		16,921	16,314	15,448	17,807	9,823
		18,095	12,577	18,374	19,887	16,466
		19,904	16,515	15,042	16,655	18,649
Gennemsnit	17,070	18,307	15,135	16,288	18,116	14,980
Standard afvigelse		1,503	2,218	1,818	1,638	4,697
Trækstyrke reduktion (%)		6,758	12,781	-4,799	5,777	13,951
3 1-Butanol		15,972	15,689	10,693	17,368	20,075
		19,357	16,323	22,350	16,780	18,310
		15,921	15,949	16,467	15,367	16,313
Gennemsnit	17,070	17,083	15,987	16,503	16,505	18,233
Standard afvigelse		1,969	0,319	5,828	1,029	1,249
Trækstyrke reduktion (%)		0,080	-6,772	-3,431	-3,421	6,378
4 Carbon tetrachloride		14,126	14,606	14,612	18,875	13,373
		12,520	13,497	13,943	14,297	15,743
		19,378	12,602	13,217	15,987	16,269
Gennemsnit	17,070	15,341	13,568	13,924	16,386	15,129
Standard afvigelse		3,587	1,004	0,698	2,315	1,676
Trækstyrke reduktion (%)		11,266	25,803	22,590	-4,170	12,829
5 Chloroform		14,019	14,541	14,555	15,056	16,104
		20,752	14,590	14,373	18,364	17,840
		16,710	15,112	13,617	18,607	
Gennemsnit	17,070	17,160	14,748	14,181	17,342	16,972
Standard afvigelse		3,389	0,317	0,497	1,984	1,227
Trækstyrke reduktion (%)		0,528	15,741	20,365	1,573	-0,573
6 Cyclohexanol		18,748	15,284	19,497	14,069	17,335
		15,055	15,559	13,921	19,107	19,957
		19,805	20,050	20,320		14,149
Gennemsnit	17,070	17,869	16,964	17,913	16,588	17,147
Standard afvigelse		2,494	2,676	3,481	3,562	1,854
Trækstyrke reduktion (%)		4,475	-0,621	4,708	-2,903	0,454
7 Diethylene glycol		19,503	14,113	14,672	21,065	11,237
		14,957	16,109	17,039	20,709	15,829
		18,720	9,354	19,301		
Gennemsnit	17,070	17,727	13,192	17,004	20,887	13,533
Standard afvigelse		2,431	3,471	2,314	0,252	3,247
Trækstyrke reduktion (%)		3,706	29,394	-0,385	18,277	26,129
8 Dimethyl formamide		15,124	15,468	22,270	18,341	15,541
		20,610	22,225	17,949	17,295	19,598
		18,186	14,927	13,595		15,807

Gennemsnit	17,07	17,973	17,540	17,938	17,818	16,982
Standard afvigelse		2,749	4,066	4,337	0,740	2,869
Trækstyrke reduktion (%)		5,028	2,681	4,842	4,198	-0,517
9 Ethanol		3,342	15,686	15,765	16,818	13,834
		12,722	16,914	17,596	22,255	17,852
		18,347	16,128	17,365	16,534	18,763
Gennemsnit	17,07	11,470	16,243	16,909	18,536	16,816
Standard afvigelse		7,581	0,622	0,997	3,224	2,842
Trækstyrke reduktion (%)		-	-	-	-	-
10 Ethanolamine		16,201	20,655	16,883	16,754	14,045
		19,343	20,442	20,545	18,715	
		16,414	19,285	18,146		
Gennemsnit	17,070	17,319	20,127	18,525	17,734	14,045
Standard afvigelse		1,756	0,737	1,860	1,386	-
Trækstyrke reduktion (%)		1,441	15,192	7,857	3,748	21,533
11 Ethylene glycol		17,874	17,059	20,455	19,137	18,785
		20,504	17,993	17,194	19,275	
		18,210	15,282	16,884	20,145	
Gennemsnit	17,070	18,863	16,778	18,178	19,519	18,785
Standard afvigelse		1,431	1,377	1,978	0,547	-
Trækstyrke reduktion (%)		9,505	-1,739	6,095	12,549	9,134
12 Ethylene glycol monobutyl ether		16,283	20,918	19,565	21,028	15,872
		20,330	16,166	6,675	19,245	14,370
		18,066	16,074	18,282		
Gennemsnit	17,070	18,226	17,720	14,841	20,136	15,121
Standard afvigelse		2,028	2,771	7,101	1,261	1,062
Trækstyrke reduktion (%)		6,347	3,669	15,017	15,230	12,890
13 Formamide		11,408	16,195	14,800		16,177
		16,975	18,554	20,578		17,120
		16,970	14,313	13,798	13,308	
Gennemsnit	17,070	15,118	16,354	16,392	13,308	16,648
Standard afvigelse		3,213	2,125	3,660	-	0,667
Trækstyrke reduktion (%)		-	-	-	-	-
14 Propylene carbonate		16,230	18,365	7,794	19,942	18,305
		16,139	20,504	13,835	17,219	
		16,444	15,428	16,104		
Gennemsnit	17,070	16,271	18,099	12,578	18,580	18,305
Standard afvigelse		0,157	2,548	4,296	1,926	-

Trækstyrke reduktion (%)		-4,909	5,687	35,712	8,130	6,750
15 Propylene glycol		16,832	20,002	18,541	18,577	18,138
		14,864	18,483	19,724	18,730	
			16,017	20,107	16,181	
Gennemsnit	17,070	15,848	18,168	19,457	17,829	18,138
Standard afvigelse		1,391	2,011	0,816	1,429	-
Trækstyrke reduktion (%)		-7,708	6,044	12,272	4,262	5,892

3.3 Tøjning, HDPE

STOF	tøjningsreduktion (%) for HDPE					Tøjning (%)					
	Dag 1	Dag 2	Dag 5	Dag 12	Dag 20	Dag 0	Dag 1	Dag 2	Dag 5	Dag 12	Dag 20
1 Acetone							4,722	5,428	4,451		
							3,993		4,048	4,551	7,648
							4,774	3,930	4,166	6,161	4,514
	- 15,39 4	- 10,89 4	- 22,90 7		14,67 5	5,18 9	4,497	4,679	4,222	5,356	6,081
Standard afvigelse							0,437	1,060	0,207	1,138	2,216
2 Benzene							6,463	7,275	5,287	6,458	6,726
							6,437	8,650	5,967	5,106	6,516
							5,644	8,742	6,234	6,751	6,139
	16,06 4	36,89 5	10,99 2	15,01 2	19,68 7	5,18 9	6,182	8,222	5,829	6,105	6,461
Standard afvigelse							0,466	0,822	0,488	0,877	0,298
3 1-Butanol								4,039	5,953	5,739	5,634
							5,533	4,336		6,448	4,638
							5,677	4,644	4,652	5,242	5,803
	7,423	- 19,56 4	2,142	10,68 7	3,161	5,18 9	5,605	4,340	5,302	5,810	5,358
Standard afvigelse							0,102	0,303	0,920	0,606	0,630
4 Carbon tetrachloride							9,342	12,34 9	7,006	6,771	9,309
							12,76 7	9,994	10,35 5	8,459	8,044
							8,256	17,36 2		7,062	10,10 4
	48,73 7	60,79 5	40,22 7	30,17 3	43,30 8	5,18 9	10,12 2	13,23 5	8,681	7,431	9,152
Standard afvigelse							2,354	3,763	2,368	0,903	1,039
5 Chloroform							11,21 5	11,87 1	5,265	5,933	7,617
							5,953	7,821	5,698	6,518	7,123
							7,679	7,102	5,277	5,661	

	37,35 3	41,90 4	4,149	14,05 8	29,59 7	5,18 9	8,282	8,931	5,413	6,037	7,370
Standard afvigelse							2,682	2,571	0,246	0,438	0,349
6 Cyclohexanol							4,072	4,954	4,889	7,815	4,902
							5,192	5,440	4,216	5,034	4,759
							4,009	3,945	3,558		4,573
	- 17,27 8	- 8,554	- 22,92 6	- 19,23 0	- 9,364	5,18 9	4,424	4,780	4,221	6,424	4,744
Standard afvigelse							0,666	0,763	0,666	1,967	0,165
7 Diethylene glycol							3,755	4,987	4,040		8,119
								4,858	4,193	5,267	5,390
							4,286	3,538	3,941	4,751	
	- 29,05 0	- 16,32 2	- 27,86 9	- -3,593	23,18 4	5,18 9	4,021	4,461	4,058	5,009	6,755
Standard afvigelse							0,376	0,802	0,127	0,365	1,930
8 Dimethyl formamide							5,558	5,213	4,946	5,559	7,775
							4,484	8,736	4,872	5,602	4,951
							5,008	7,056			5,847
	- -3,431	25,89 3	- -5,691	7,026	16,19 3	5,18 9	5,017	7,002	4,909	5,581	6,191
Standard afvigelse							0,537	1,762	0,052	0,030	1,443
9 Ethanol							3,180	6,434	4,853	5,496	5,632
							5,265	4,593	4,462	5,743	6,630
							4,225	5,251	3,755	4,759	5,271
	- 22,86 0	4,374	- 19,10 1	2,697	11,22 1	5,18 9	4,223	5,426	4,357	5,332	5,844
Standard afvigelse							1,043	0,933	0,556	0,512	0,703
10 Ethanolamine							4,450	4,403	5,932	7,044	8,014
							4,307		4,309	4,036	
								4,026	4,921		
	- 18,50 1	- 23,11 1	- -2,662	6,342	35,25 4	5,18 9	4,379	4,215	5,054	5,540	8,014
Standard afvigelse							0,101	0,267	0,819	2,127	-
11 Ethylene glycol							4,199	4,710	5,865	5,441	5,389
							4,372	4,236	5,130	5,992	
							5,304	4,900	4,454	5,276	
	- 12,18 6	- 12,42 7	- -0,755	6,837	3,714	5,18 9	4,625	4,615	5,150	5,569	5,389
Standard afvigelse							0,595	0,342	0,706	0,375	-
12 Ethylene glycol monobutyl ether							4,870	4,071	4,936	5,012	5,037
							4,690	6,199	4,092	4,920	8,556

							5,734	5,561	5,674	5,496	
	-1,779	1,675	-5,875	-0,892	23,654	5,189	5,098	5,277	4,901	5,143	6,796
Standard afvigelse							0,558	1,092	0,792	0,309	2,488
13 Formamide							6,949	5,404	6,610		6,909
							5,101	4,484	3,692		4,983
							5,393	7,400	7,325	7,346	
	10,765	9,958	11,697	29,365	12,730	5,189	5,815	5,763	5,876	7,346	5,946
Standard afvigelse							0,994	1,491	1,925	-	1,362
14 Propylene carbonate							3,586	4,327	4,103	2,157	5,249
								4,872	5,863	4,602	
							5,593	4,075		4,183	
	13,052	17,265	-4,131	42,255	1,157	5,189	4,590	4,425	4,983	3,647	5,249
Standard afvigelse							1,420	0,407	1,245	1,308	-
15 Propylene glycol							4,387	5,217	4,199	4,322	5,622
							5,527	3,996	4,373	5,108	
								5,396	4,709	5,026	
	-4,678	-6,553	17,201	-7,680	7,708	5,189	4,957	4,870	4,427	4,819	5,622
Standard afvigelse							0,806	0,762	0,260	0,432	-

3.4 Tøjning ABS

STOF	Trækforlængelsesreduktion for ABS (%)					Trækforlængelsesprocent (tøjning)					
	Dag 1	Dag 2	Dag 5	Dag 12	Dag 20	Dag 0	Dag 1	Dag 2	Dag 5	Dag 12	Dag 20
3 1-Butanol						3,11	3,175		3,851	3,570	2,715
						2,81	2,716	5,077	2,755	3,456	4,724
						3,09		2,721	2,669	3,026	2,429
Gennemsnit	-2,0	23,0	2,8	10,3	8,7	3,00	2,946	3,899	3,091	3,351	3,289
Standard afvigelse						0,17	0,324	1,666	0,659	0,287	1,250
4 Carbon tetrachloride									3,680	4,071	2,740
									3,088		

Gennemsnit	0,0	9,0	11,2	26,2	-9,6	3,00	3,00	3,30	3,38	4,071	2,740
Standard afvigelse							-	-	0,418	-	-
6 Cyclohexanol							1,383	2,903	2,919	4,053	3,072
							4,588	2,352	2,947		6,062
							3,274	4,753	2,728	6,263	4,860
Gennemsnit	2,5	10,0	-4,9	41,8	35,6	3,00	3,082	3,336	2,865	5,158	4,665
Standard afvigelse							1,611	1,258	0,119	1,562	1,504
7 Diethylene glycol							2,579	3,050	2,941	3,818	3,357
							3,747		2,858	3,937	2,996
							3,147	5,645	2,976	4,127	3,117
Gennemsnit	4,9	30,9	-2,7	24,2	4,8	3,00	3,158	4,348	2,925	3,961	3,156
Standard afvigelse							0,584	1,835	0,061	0,156	0,184
9 Ethanol							4,057	2,952	2,980	3,894	3,768
							3,018	2,985	2,604	3,879	2,985
							2,555	2,721	2,955	2,980	
Gennemsnit	6,41	-4,10	-5,55	16,18	11,03	3,00	3,210	2,886	2,846	3,584	3,377
Standard afvigelse							0,769	0,144	0,211	0,524	0,554
10 Ethanolamine							2,913	3,199	3,082	3,935	
							3,133	2,887	3,142	3,610	3,331
							2,954	3,591	2,667	3,868	
Gennemsnit	-0,13	6,86	-1,36	21,03	9,82	3,00	3,000	3,225	2,964	3,804	3,331
Standard afvigelse							0,117	0,353	0,258	0,172	-
11 Ethylene glycol							2,728	2,813	2,933	5,108	6,333
							3,068	3,009	5,655	6,028	
								3,048	3,188	4,128	

Gennemsnit	-3,67	-1,60	23,47	40,96	52,56	3,00	2,89 8	2,95 7	3,92 5	5,088	6,333
Standard afvigelse							0,24 0	0,12 6	1,50 3	0,950	-
12 Ethylene glycol monobutyl ether							6,58 5	2,43 8	2,21 3	3,369	-
							2,55 6	1,79 3	2,13 5		
									1,82 4	2,892	
Gennemsnit	34,2 7	- 42,02	- 46,01	4,04	4,04	3,00	4,57 0	2,11 5	2,05 7	3,131	
Standard afvigelse							2,84 9	0,45 6	0,20 6	0,337	-
13 Formamide							2,92 4	2,98 0	3,36 0	3,797	3,415
							4,16 2	3,01 0	3,18 0	3,634	9,438
							4,98 5		2,54 2	3,283	
Gennemsnit	25,3 4	-0,31	0,77	15,88	53,25	3,00	4,02 4	2,99 5	3,02 7	3,571	6,427
Standard afvigelse							1,03 7	0,02 1	0,43 0	0,262	4,259
15 Propylene glycol							3,05 9		2,89 7	2,837	4,550
							2,99 8	2,89 6	3,20 9	3,320	
							4,37 1		2,86 6	2,991	
Gennemsnit	13,5 8	-3,74	-0,45	1,49	33,98	3,00 4	3,47 6	2,89 6	2,99 1	3,049	4,550
Standard afvigelse							0,77 6	-	0,19 0	0,247	-