

Pål Wathne

Evaluering av ulike modeller for konstruksjon av masterkurver for dynamisk E-modul til asfaltmaterialer

Masteroppgave i Veg

Veileder: Helge Mork

Juli 2020

Pål Wathne

Evaluering av ulike modeller for konstruksjon av masterkurver for dynamisk E-modul til asfaltmaterialer

Masteroppgave i Veg
Veileder: Helge Mork
Juli 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Forord

Denne masteroppgaven er det avsluttende arbeidet på mastergraden min ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i Trondheim, verdt 30 studiepoeng. Mastergraden er innenfor hovedprofilen veg, ved institutt for bygg- og miljøteknikk. Masteroppgaven er skrevet våren 2020 og er et bidrag til FoU-programmet VegDim i regi av Vegdirektoratet i samarbeid med Trafikverket og VTI i Sverige.

Masteroppgaven er inspirert av prosjektoppgaven som jeg skrev i løpet av høsten 2019. Prosjektoppgaven inneholder litteratursøk, beskrivelse av relevant teori, samt en metodeplan for gjennomføring av masteroppgaven (Wathne, 2019). Selv om det er gjort store endringer fra metodeplan og innhold i prosjektoppgaven, har prosjektoppgaven vært til god hjelp ved gjennomføringen av masteroppgaven.

Grunnet koronapandemien våren 2020 ble jeg nødt til å forkaste min opprinnelig oppgavevinkling som blant annet omfattet laboratorieundersøkelse av norske asfaltmaterialer. For å få et tilstrekkelig datagrunnlag til å gjennomføre studien måtte jeg søke hjelp fra Tyskland. Tyskerne hadde for noen år tilbake gjennomført et liknende forskningsprosjekt som Norge nå er i gang med, for utvikling av nytt dimensjoneringsystem for vegbygging. Tyskerne kunne supplere med materialdata fra et utvalg tyske asfaltmaterialer. Ved å tilpasse en ny oppgavevinkling til de tyske materialdataene var det tilstrekkelig grunnlag til å gjennomføre studien.

Jeg vil gjerne takke veilederen min førsteamanuensis Helge Mork ved NTNU og kontaktperson Rabbira Garba Saba fra Vegdirektoratet for god veiledning, tilbakemelding og diskusjon tilknyttet arbeidet med oppgaven.

Jeg ønsker også å takke avdelingsingeniør Jan Erik Molde og Bent Lervik for god veiledning og assistering av arbeidet på vegteknologisk laboratorium. I tillegg ønsker jeg å takke postdoktor Diego Maria Barbieri og stipendiat Hao Chen for et godt samarbeid i det innledende arbeidet med karakterisering av mekaniske egenskaper for bundne lag til bruk på norske veier.

Tilslutt vil jeg takke Dr.-Ing. habil. Sabine Leischner, Gustavo Canon Falla M.SC og Dipl.-Ing. Viktoria Sommer ved Technische Universität Dresden for det svært generøse bidraget med materialdata til oppgaven. Denne masteroppgaven hadde ikke vært mulig å gjennomføre uten dette bidraget, og jeg setter stor pris på at samtlige satte av tid til å hjelpe meg med arbeidet.

Trondheim, Juli 2020

Pål Wathne

Sammendrag

Med et ønske om å bytte ut det eksisterende empiriske dimensjoneringsssystemet for dekkekonstruksjoner med et mer analytisk system, har Vegdirektoratet i samarbeid med NTNU og Trafikverket i Sverige startet arbeidet med FoU-programmet VegDim og utviklingen av et nytt mekanistisk-empirisk dimensjoneringsssystem for vegbygging kalt ERAPave PP. ERAPave PP skal bli et verktøy tilpasset norske forhold og byggemetoder, slik at det ved planlegging og optimalisering av vegkonstruksjoner også kan bli tatt hensyn til livsløpskostnader og miljøeffekter. Som en del av forarbeidet til dette prosjektet og utviklingen av et nytt dimensjoneringsssystem vil innhenting av materialparametere for norske vegbyggingsmaterialer til oppbygging av en materialdatabase være sentralt. I denne anledning skal det utføres testing av stivhetsegenskaper til norske asfaltmaterialer gjennom syklisk indirekte strekk-forsøk. Stivhetsegenskapene skal representeres i en masterkurve for dynamisk E-modul.

Hensikten med masterkurven er å bestemme E-modulen for enhver vilkårlig kombinasjon av belastningsfrekvens og temperatur. På bakgrunn av forsøksdata innenfor et begrenset temperatur- og frekvensintervall kan en ved hjelp av en referansetemperatur og prinsippet om tid-temperatur superposisjon modellere materialets dynamiske E-modul i hele det lineære-viskoelastiske området. Temperaturavhengigheten til materialet beskrives ved hjelp av en shiftfaktormodell. Relevant faglitteratur og flere studier har foreslått ulike metoder og matematiske modeller for å modellere shiftfaktoren og den resulterende masterkurven.

På grunn av koronapandemien ble fremgangsmåten i tilknytning til masteroppgaven som omfattet laboratorieundersøkelse av norske asfaltmaterialer forkastet. Laboratorieundersøkelsen ble erstattet med en modelleringsoppgave, der et utvalg analytiske metoder foreslått av litteraturen ble sammenlignet. Analysegrunnlaget er tilsendte forsøksdata fra Tyskland som inkluderer fire tyske dekkematerialer, både modifiserte og umodifiserte. For at det tyske forsøksgrunnlaget skulle være adaptivt til norske forhold ble materialutvalget valgt slik at det var sammenliknbart med tilsvarende norske materialer, til tross for at det tyske utvalget inneholder noe stivere bindemidler enn det som er normalt å bruke i Norge. På denne måten kan oppgavens resultater gjennom modellanbefalinger være et bidrag til VegDim til tross for at resultatene ikke direkte kan implementeres i systemet.

Modellkombinasjonene ble vurdert etter to kriterier. Det første kriteriet er tyngst vektlagt og omhandler hvor godt modellene tilpasser seg forsøksdataene gjennom en «goodness-of-fit»-statistikk. Det andre kriteriet er tilknyttet modellenes konstanter, som beskriver materialenes stivhetsegenskaper. Konstantene er vurdert etter hvor logiske og reelle verdiene er i forhold til hvordan de gjenspeiles i kurveforløpene, og hva tilsvarende forskning viser. En god modellkombinasjon tilfredsstillte begge kriteriene.

Blant oppgavens resultater er det gjort følgende hovedfunn. Masterkurvemodellen standard logistisk sigmoidmodell og shiftfaktormodellen Kaelble-funksjonen viser de minst presise tilnærmingsresultatene for både umodifiserte og modifiserte asfaltmaterialer. Kaelble-funksjonen gir i noen tilfeller ulogiske resultater for svært lave temperaturer, og polynomfunksjonen har vist å kunne gi ulogiske resultater for høye temperaturer. For å beskrive umodifiserte materialer viser masterkurvemodellene Generalisert logistisk sigmoidmodell (GLSM) og Christensen-Anderson-Marasteanu modellen (CAM), og shiftfaktormodellene Arrhenius-, WLF- og polynomfunksjonen de mest presise resultatene. Modellkombinasjonen CAM-modellen med WLF-funksjonen skilte seg ut som mest presis for beskrivelse av modifiserte materialer.

Abstract

With the desire to exchange the existing empirical pavement design system with a more analytical system, the Norwegian public roads administration in cooperation with NTNU and the Swedish road administration has started a new R&D program called VegDim and the development of a mechanistic-empirical pavement design system called ERAPave PP. ERAPave PP is going to be a tool adapted to Norwegian conditions and construction methods such that life cycle cost and environmental effects can be accounted for during planning and optimization of pavement structures. As a part of the preparatory work of developing a new design system, establishing a database of material properties for Norwegian pavement materials is essential. For this purpose, a laboratory study assessing asphalt mixture master curves based on Cyclic Indirect Tensile Test (CITT) is needed.

The function of the master curve is to determine the stiffness modulus for an arbitrary combination of frequency and temperature. Based on the frequency-temperature superposition principle and a reference temperature, the dynamic modulus master curve can be constructed using a limited extent of test data within a defined span of temperatures and frequencies. The temperature dependency of the material is described by a shift factor model. Literature and several studies have proposed different methods and mathematical functions to model the shift factor and the resulting master curve.

Due to the COVID-19 pandemic, the initial laboratory study on Norwegian pavement materials which was to be included in this thesis, was rejected and replaced by a comparative analysis of a limited excerpt of various mathematical methods suggested by the literature. The experimental basis for the comparative analysis was laboratory test data sent from Germany, that included four German surface materials, both modified and unmodified. To have the comparative study adopted to Norwegian conditions, the German material selection was chosen specifically to be comparable to similar Norwegian surface materials even though the German materials had stiffer binders than normally used in Norway. Hence the results of the comparative study including recommendations of master curve and shift factor models, can be a contribution to the new pavement design system even though the results cannot directly be implemented in the system.

The methodology to evaluate the different methods was based on using the laboratory test data and comparing the resulting master curves for each material through correlation analysis and "goodness-of-fit"-statistics. In addition, the model constants that describe the stiffness properties of the material, were compared to how realistic the constant values were reflected in the resulting curve, and how the values compared to similar studies. A good model refers to both an excellent "goodness-of-fit"-statistics, and logical model constants that reflect the stiffness properties of the material.

Finally, both the graphical and statistical comparisons are presented, revealing the following main results. The standard logistic sigmoidal model (SLSM) and the Kaelble-equation, showed the weakest fit between measured and predicted data for both the modified and unmodified materials. In some cases the Kaelble-equation predicts illogical results for very low temperatures, and the second order polynomial equation for high temperatures. For the unmodified materials both the generalized logistic sigmoidal model (GLSM) and the Christensen-Anderson-Marasteanu model (CAM), combined with the Arrhenius, William-Landel-Ferry (WLF) and second order polynomial equation, showed excellent fit between measured and predicted data. As for the modified materials, the model combination between the CAM-model and WLF-equation resulted in the best fit between measured and predicted data.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iii
Figurer.....	vii
Tabeller	ix
Forkortelser.....	xi
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn og problemstilling	1
1.2 Opprinnelig og revidert forskningsdel	2
1.2.1 Opprinnelig forskningsdel.....	2
1.2.2 Revidert forskningsdel	3
1.3 Dimensjoneringsystemer	4
1.3.1 Dagens dimensjoneringsystem (Empirisk dimensjonering).....	4
1.3.2 Fremtidig dimensjoneringsystem (Mekanistisk-empirisk dimensjonering) .	4
1.4 Dynamisk E-modul som en viktig input i et ME-system	6
1.5 Ny forsøksprosedyre for bestemmelse av asfaltmaterialers stivhetskarakteristikk	6
2 Teoretisk bakgrunn.....	7
2.1 Grunnleggende egenskaper til bitumen og asfaltmaterialer.....	7
2.2 Kompleksmodul og dynamisk E-modul.....	9
2.3 Funksjonsuttrykk for å modellere masterkurver	12
2.3.1 Sigmoidfunksjonen.....	12
2.3.2 «skewed function»	14
2.4 Masterkurvemodeller	15
2.4.1 Standard logistisk sigmoidmodell	16
2.4.2 Generalisert logistisk sigmoidmodell	16
2.4.3 Christensen-Anderson-Marasteanu modell.....	16
2.5 Shiftfaktormodeller	18
2.5.1 Arrhenius-funksjonen	18
2.5.2 Williams-Landel-Ferry funksjonen	19
2.5.3 Kaelble-funksjonen	19
2.5.4 Andregrads polynomfunksjon	19
2.6 Ikke-lineær optimering og statistiske parametere	20
2.6.1 Den justerte bestemmelseskoeffisienten (R^2)	20
2.6.2 Standardfeilraten	21
2.6.3 Absolutt avvik	21
2.6.4 Variasjonskoeffisienten	22

2.7	Konstruksjon av masterkurver	23
2.7.1	Tolkning av superposisjonsprinsippet.....	24
2.7.2	Teoretisk bakgrunn for konstruksjon av masterkurve etter NS-EN 12697-26: Stivhet, annex G.....	25
2.8	Dynamiske forsøk	28
2.9	Implementering av dynamiske stivhetsdata i masterkurver	30
2.9.1	Visualisering av masterkurven	31
3	Materialer og forsøksprosedyre.....	32
3.1	Materialer	32
3.1.1	SMA 11 S.....	33
3.1.2	SMA 8 S	34
3.1.3	AC 11 D S.....	36
3.1.4	AC 8 D S.....	37
3.2	Forsøksprosedyre.....	39
3.2.1	Forsøksprinsipp	40
3.2.2	Utstyr.....	41
3.2.3	Prøver	42
3.2.4	Fremgangsmåte.....	43
3.2.5	Beregninger	44
4	Forskningsmetodikk	48
4.1	Beskrivelse og diskusjon av metode	48
4.1.1	Forarbeid: Teori og litteraturstudie, innhenting og validering av data	48
4.1.2	Hvordan «besvare» problemstillingen?	49
4.1.3	Hvordan besvare forskningsspørsmålene?	50
4.1.4	Alternative metoder	51
4.2	Fremgangsmåte for konstruksjon av masterkurver.....	52
4.2.1	Steg 1 – Oppsett av modelleringsområde (modeller og residual).....	52
4.2.2	Steg 2 – Optimeringsprosess (minimere summen av kvadratavvik).....	53
4.2.3	Steg 3 – Konstruksjon av masterkurve	55
5	Resultater og diskusjon	57
5.1	Introduksjon	57
5.2	SMA 11 S (25/55-55)	59
5.2.1	Oversikt over statistiske parametere og modellkonstanter	59
5.2.2	Standard logistisk sigmoidmodell	60
5.2.3	Generalisert logistisk sigmoidmodell	62
5.2.4	Christensen-Anderson-Marasteanu modell.....	64
5.2.5	Oppsummering	66
5.3	SMA 8 S (50/70).....	68
5.3.1	Oversikt over statistiske parametere og modellkonstanter	68

5.3.2	Standard logistisk sigmoidmodell	69
5.3.3	Generalisert logistisk sigmoidmodell	71
5.3.4	Christensen-Anderson-Marasteanu modell.....	73
5.3.5	Oppsummering	76
5.4	Sammenlikning av SMA 11 S og SMA 8 S	77
5.5	AC 11 D S (25/55-55)	81
5.5.1	Oversikt over statistiske parametere og modellkonstanter	81
5.5.2	Standard logistisk sigmoidmodell	83
5.5.3	Generalisert logistisk sigmoidmodell	85
5.5.4	Christensen-Anderson-Marasteanu modell.....	87
5.5.5	Oppsummering	89
5.6	AC 8 D S (50/70)	91
5.6.1	Oversikt over statistiske parametere og modellkonstanter	91
5.6.2	Standard logistisk sigmoidmodell	92
5.6.3	Generalisert logistisk sigmoidmodell	94
5.6.4	Christensen-Anderson-Marasteanu modell.....	96
5.6.5	Oppsummering	99
5.7	Sammenlikning av AC 11 D S og AC 8 D S	100
5.8	Oppsummering av resultater	104
6	Vurdering av modellegenskaper.....	105
6.1	SLSM for modifiserte og umodifiserte materialer	105
6.2	GLSM for modifiserte og umodifiserte materialer	107
6.3	CAM-modellen for modifiserte og umodifiserte materialer.....	109
6.4	Modellering av umodifiserte materialer	110
6.5	Modellering av modifiserte materialer	112
6.6	Vurdering av ulike forsøksbetingelser	114
7	Usikkerhet	115
8	Konklusjon.....	116
9	Videre arbeid	118
10	Referanser	119
	Vedlegg	122

Figurer

Figur 1: Bitumens viskøse egenskaper (Andersen, 1995, s. 5)	7
Figur 2: Responsen til et viskoelastisk materiale under krypforsøk (Andersen, 1995, s. 6)	8
Figur 3: Sammenstilling av haversine og sinusformet belastning (Pintarelli og Melo, 2019)	9
Figur 4: Grafisk fremstilling av kompleksmodulen med tilhørende parametere (Liu, 2016, s. 20)	10
Figur 5: Dynamisk (Kompleks) modul (Witczak og Bari, 2004, s. 4).....	11
Figur 6: Logistisk sigmoid funksjon (Wikipedia, 2020b).....	12
Figur 7: Utklipp fra GeoGebra - Modellparameternes innflytelse på sigmoidfunksjonen.	14
Figur 8: Utklipp fra GeoGebra - Modellparameternes innflytelse på CAM-modellen.....	15
Figur 9: Grafisk fremstilling av hvordan masterkurven konstrueres (NS-EN 12697-26, 2018, s. 45)	23
Figur 10: Dynamisk forsøk av et elastisk materiale (Kutay, 2015)	28
Figur 11: Dynamisk forsøk av et viskoelastisk materiale (Kutay, 2015)	28
Figur 12: Skissering av prinsippet om tid-temperatur superposisjon (Kutay, 2015).....	30
Figur 13: Shiftfaktorens sammenheng med redusert frekvens (Kutay, 2015)	31
Figur 14: Overordnet tolkning av masterkurvens funksjon (Kutay, 2015)	31
Figur 15: Kornkurve for SMA 11 S. Se vedlegg 1 for tyske krav	33
Figur 16: Kornkurve for SMA 11 S i forhold til norske krav for Ska 11 g (Arnevik et al., 2019, s. 36)	34
Figur 17: Kornkurve for SMA 8 S. Se vedlegg 2 for tyske krav.	35
Figur 18: Kornkurve for SMA 8 S i forhold til norske krav for Ska 8 (Arnevik et al., 2019, s. 36)	35
Figur 19: Kornkurve for AC 11 D S. Se vedlegg 3 for tyske krav.....	36
Figur 20: Kornkurve for AC 11 D S i forhold til norske krav for Ab 11 (slitelag) (Arnevik et al., 2019, s. 34 - 35).	37
Figur 21: Kornkurve for AC 8 D S i forhold til norske krav for Ab 8 (slitelag) (Arnevik et al., 2019, s. 34 - 35)	38
Figur 22: Kornkurve for AC 8 D S. Se vedlegg 4 for tyske krav.	38
Figur 23: Prinsippet bak et indirekte strekkforsøk (FGSV, 2018).....	40
Figur 24: Horisontal spenningskurve i prøven (FGSV, 2018)	40
Figur 25: Nottingham Asphalt Tester (Technology, 2020)	41
Figur 26: Eksempel på måling av horisontal deformasjon – Øverst: Oppsett av rammesystem med laststempel, tøyingsmåler og ekstensometer – Nederst: Ramme med LVDT'er og pinolskruer for å holde rammens posisjon fast i forhold til prøven (FGSV, 2018).	42
Figur 27: Eksempel på bestemmelse av regresjonsparameterne for påført kraft F (FGSV, 2018)	45
Figur 28: Eksempel på bestemmelse av regresjonsparameterne for total horisontal deformasjon u (FGSV, 2018)	46
Figur 29:Utklipp fra Excel - Oversikt over beregninger	52
Figur 30: Utklipp fra Excel - oversikt over konstanter	53
Figur 31: Utklipp fra Excel – Problemløserfunksjonen.....	53
Figur 32: Utklipp fra Excel - Konstruksjon av masterkurve som funksjon av temperatur ved en bestemt belastningsfrekvens	56
Figur 33: Masterkurve for SMA 11 S med en SLSM og Arrhenius-funksjon	56
Figur 34: Kurveforløpet til SMA 11 S med modellkombinasjonen GLSM og WLF-funksjon med negativ λ -verdi.....	58
Figur 35: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for SLSM med en WLF- og Kaelble-funksjon innenfor det eksperimentelle området	61

Figur 36: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier for SLSM	62
Figur 37: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for GLSM med en WLF- og Kaelble-funksjon innenfor det eksperimentelle området	63
Figur 38: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier for GLSM	64
Figur 39: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for CAM-modellen med en WLF- og Kaelble- funksjon innenfor det eksperimentelle området	65
Figur 40: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier for CAM-modellen	66
Figur 41: CAM-masterkurve ved 10 Hz for SMA 11 S	67
Figur 42: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for SLSM med en polynom- og Arrhenius-funksjon innenfor det eksperimentelle området	70
Figur 43: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier SLSM	71
Figur 44: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for GLSM med en polynom- og Arrhenius-funksjon innenfor det eksperimentelle området	72
Figur 45: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier GLSM	73
Figur 46: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for CAM-modellen med en polynom- og Arrhenius-funksjon innenfor det eksperimentelle området	74
Figur 47: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier GLSM	75
Figur 48: GLSM-masterkurve ved 10 Hz for SMA 8 S	76
Figur 49: Shiftfaktorkurve for SMA 11 S og SMA 8 S med en WLF-funksjon	79
Figur 50: CAM-masterkurve ved 10 Hz for SMA 11 S og SMA 8 S	80
Figur 51: WLF-funksjonen og polynomfunksjonen ved eksperimentelle og ekstrapolerte temperaturverdier.	82
Figur 52: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for SLSM med en WLF- og Kaelble-funksjon innenfor det eksperimentelle området	84
Figur 53: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier for SLSM	85
Figur 54: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for GLSM med en WLF- og Kaelble- funksjon innenfor det eksperimentelle området	86
Figur 55: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier for GLSM	87
Figur 56: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for CAM-modellen med en WLF- og Kaelble- funksjon innenfor det eksperimentelle området	88
Figur 57: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier for CAM-modellen	89
Figur 58: CAM-masterkurve ved 10 Hz for AC 11 D S	90
Figur 59: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for SLSM med en WLF- og Kaelble-funksjon innenfor det eksperimentelle området	93
Figur 60: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier for SLSM	94
Figur 61: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for GLSM med en WLF- og Kaelble-funksjon innenfor det eksperimentelle området	95
Figur 62: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier for GLSM	96
Figur 63: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for CAM-modellen med en WLF- og Kaelble-funksjon innenfor det eksperimentelle området	97
Figur 64: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier for CAM-modellen	98
Figur 65: GLSM-masterkurve ved 10 Hz for AC 8 D S	99
Figur 66: Shiftfaktorkurve for AC 11 D S og AC 8 D S med en WLF-funksjon	102
Figur 67: CAM-masterkurve ved 10 Hz for AC 11 D S og AC 8 D S	103
Figur 68: SLSM-masterkurver ved 10 Hz med en WLF-funksjon for SMA-materialene.	106
Figur 69: GLSM-masterkurver ved 10 Hz med en WLF-funksjon for AC-materialene... ..	108
Figur 70: GLSM-masterkurver ved 10 Hz for AC 8 D S og SMA 8 S	111
Figur 71: CAM-masterkurver ved 10 Hz for AC 11 D S og SMA 11 S	113
Figur 72: Absolutt avvik mellom modell og forsøksdata basert på snittverdien av antall prøver for hver forsøkstemperatur og belastningsfrekvens.	114

Tabeller

Tabell 1: Materialdata for SMA 11 S. Tyske krav er hentet fra TL Asphalt-StB 07/13 (FGSV, 2020). Norske krav er hentet fra «Retningslinjer asfalt 2019» (Arnevik et al., 2019, s. 36 - 37).	33
Tabell 2: Materialdata for SMA 8 S. Se vedlegg 2 for tyske krav. Norske krav er hentet fra «Retningslinjer asfalt 2019» (Arnevik et al., 2019, s. 36 - 37).	34
Tabell 3: Materialdata for AC 11 D S. Se vedlegg 3 for tyske krav. Norske krav er hentet fra «Retningslinjer asfalt 2019» (Arnevik et al., 2019, s. 34 - 35).	36
Tabell 4: Materialdata for AC 8 D S. Se vedlegg 4 for tyske krav. Norske krav er hentet fra «Retningslinjer asfalt 2019» (Arnevik et al., 2019, s. 34 - 35)	37
Tabell 5: Eksempel på hvordan tilsendte data var presentert i Excel-ark	39
Tabell 6: Antall belastningsssykluser ved utførelse av stivhetsforsøket (FGSV, 2018)	44
Tabell 7: Initialverdier for optimeringsprosessen	54
Tabell 8: Oppsummering av resultater for hver modellkombinasjon med et samlet statistisk spredningsmål mellom shiftfaktormodellene i forhold til hver masterkurvmodell.....	59
Tabell 9: Oppsummering av resultater for hver modellkombinasjon med statistisk spredningsmål mellom masterkurvmodellene i forhold til hver shiftfaktormodell	60
Tabell 10: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av standard logistisk sigmoidmodell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvmodellen	60
Tabell 11: Oversikt over modellkonstantene ved bruk av generalisert logistisk sigmoidmodell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvmodellen	63
Tabell 12: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av Christensen-Anderson-Marasteanu modell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvmodellen	65
Tabell 13: Oppsummering av resultater for hver modellkombinasjon med et samlet statistisk spredningsmål mellom shiftfaktormodellene i forhold til hver masterkurvmodell.....	68
Tabell 14:Oppsummering av resultater for hver modellkombinasjon med statistisk spredningsmål mellom masterkurvmodellene i forhold til hver shiftfaktormodell	69
Tabell 15: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av standard logistisk sigmoidmodell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvmodellen	69
Tabell 16: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av generalisert logistisk sigmoidmodell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvmodellen	72
Tabell 17: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av Christensen-Anderson-Marasteanu modell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvmodellen	74
Tabell 18: Sammenlikning av statistiske parametere, grenseverdier og verdier for shiftfaktor ved aktuelle forsøkestemperaturer for CAM-modellen.....	77
Tabell 19: Sammenlikning av modellkonstanter for CAM-modellen	78
Tabell 20: Oppsummering av resultater for hver modellkombinasjon med et samlet statistisk spredningsmål mellom shiftfaktormodellene i forhold til hver masterkurvmodell.....	81
Tabell 21: Oppsummering av resultater for hver modellkombinasjon med statistisk spredningsmål mellom masterkurvmodellene i forhold til hver shiftfaktormodell	82
Tabell 22: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av standard logistisk sigmoidmodell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvmodellen	83
Tabell 23: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av generalisert logistisk sigmoidmodell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvmodellen	86

Tabell 24: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av Christensen–Anderson–Marasteanu modell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvmodellen	88
Tabell 25: Oppsummering av resultater for hver modellkombinasjon med et samlet statistisk spredningsmål mellom shiftfaktormodellene i forhold til hver masterkurvmodell.....	91
Tabell 26: Oppsummering av resultater for hver modellkombinasjon med statistisk spredningsmål mellom masterkurvmodellene i forhold til hver shiftfaktormodell	92
Tabell 27: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av standard logistisk sigmoidmodell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvmodellen	92
Tabell 28: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av generalisert logistisk sigmoidmodell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvmodellen	94
Tabell 29: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av Christensen–Anderson–Marasteanu modell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvmodellen	96
Tabell 30: Sammenlikning av statistisk parametere samt verdier for shiftfaktor ved aktuelle forsøkstemperaturer for CAM-modellen	100
Tabell 31: Sammenlikning av modellkonstanter for CAM-modellen	101
Tabell 32: Oversikt over modellkonstantene til SLSM for de ulike materialene.....	106
Tabell 33: Oversikt over modellkonstantene til GLSM for de ulike materialene	107
Tabell 34: Oversikt over modellkonstantene til CAM-modellen for de ulike materialene	109
Tabell 35: Oversikt over statistiske parametere og modellkonstanter for GLSM for AC 8 D S og SMA 8 S	111
Tabell 36: Oversikt over statistiske parametere og modellkonstanter for CAM-modellen for AC 11 D S og SMA 11 S	112

Forkortelser

NTNU	Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet
FoU	Forskning og Utvikling
VTI	Veg- og Transportforskningsinstitutt
ERAPave PP	Elastic Response Analysis of Pavements including Performance Prediction
NS-EN	Norsk Standard utviklet i Europa
DIN	Deutsches Institut für Normung
TP	Technische Prüfvorschriften
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
ME	Mekanistisk-Empirisk
SHRP	Strategic Highway Research Program
MEPDG	Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide
SLSM	Standard Logistisk Sigmoid Modell
GLSM	Generalisert Logistisk Sigmoid Modell
CAM	Christensen-Anderson-Marasteanu
CA	Christensen-Anderson
WLF	Williams-Landel-Ferry
SSE	Sum of Squared Errors
SER	Standard Error Ratio
SMA	Stone Mastic Asphalt
AC	Asphalt Concrete
NAT	Nottingham Asphalt Tester
LVDT	Linear Variable Displacement Transducer

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og problemstilling

Veger i Norge i fremtiden skal bygges raskere, smartere og billigere. Det er et stadig økende press på at vegbygging og vedlikehold skal vurderes i et bærekraftig perspektiv med tanke på levetidskostnader, og miljømessige og sosiale konsekvenser. Samtidig er det et sterkt behov for at det eksisterende vegnettet utnyttes bedre slik at det kan tilrettelegges for økt totalvekt. For at dette skal bli mulig trengs det et fleksibelt system som både kan analysere konsekvensen av de fremtidige utfordringene og behovene, men også et system som muliggjør optimalisering av dekkekonstruksjoner basert på material-, trafikk- og klimadata. Dagens empiriske dimensjoneringsystem kan ikke brukes til å beregne den fremtidige tilstandsutviklingen til vegen, eller vurdere effekten av endret trafikkbelastning, vedlikeholdstiltak eller materialbruk. Det trengs et system som kan gi et bedre grunnlag for langsiktig planlegging og budsjettering, samt et grunnlag for å gjøre de riktige miljøvalgene. Gjennom forskningsprosjektet VegDim skal det utvikles et nytt analytiske dimensjoneringsystem for dekkekonstruksjoner ERAPave PP, for å sikre at disse behovene og nødvendigheten dekkes (Vegdirektoratet, 2019).

Som en del av programmet skal det etableres en database for materialegenskaper, der asfaltmaterialers dynamiske E-modul vil være en viktig input. Dynamisk E-modul varierer med temperatur og belastningsfrekvens, og for å representere parameteren for et asfaltmateriale, modelleres dens temperatur- og frekvensavhengighet i en såkalt masterkurve. På bakgrunn av forsøksdata innenfor et begrenset temperatur- og frekvensintervall kan en ved hjelp av en referansetemperatur og prinsippet om tid-temperatur superposisjon, modellere materialets dynamiske E-modul i hele det lineære-viskoelastiske området. Materialets temperaturavhengighet beskrives ved hjelp av en shiftfaktormodell.

Stivhetsinformasjonen fra masterkurven vil bli brukt til utregning av elastiske lastresponser, slik at utmattingsanalyser kan utføres. Indirekte kan man også utregne deformasjonsforløpet ved at plastisk deformasjon blir modellert basert på elastisk deformasjon.

På denne måten vil det å beskrive asfaltmaterialers dynamiske E-modul gjennom masterkurver være en viktig del i utformingen av et mer fleksibelt og bærekraftig dimensjoneringsystem, basert på materialenes mekanistiske og fundamentale egenskaper. På bakgrunn av dette er følgende problemstilling lagt til grunn for masteroppgaven:

Bestemme stivhetsegenskaper til asfaltmaterialer gjennom konstruksjon av masterkurver for dynamisk E-modul.

1.2 Opprinnelig og revidert forskningsdel

1.2.1 Opprinnelig forskningsdel

Under arbeidet med prosjektoppgaven ble det gjort flere litteratursøk for å avdekke eventuelle mangler eller kunnskapshull i forskningen som er tilknyttet valgt forsøksmetode for materialtesting i VegDim. Disse manglene skulle være grunnlag for ett eller flere forskningsspørsmål. I første omgang var det tenkt at forskningsdelen i masteroppgaven skulle omhandle en sammenlikning av to forsøksmetoder for bestemmelse av masterkurve for dynamisk E-modul. Forsøkene som skulle sammenliknes omfattet den nye metoden (Syklisk indirekte strekk-forsøk) for bestemmelse av dynamisk E-modul og metoden (Treaksialforsøk) som har blitt brukt for å beskrive stivhetsegenskaper til asfaltmaterialer i N200, som er grunnlaget for dagens dimensjonering. Dette sammenlikningsgrunnlaget ble forkastet, da arbeidsomfanget ble sett på som for tidkrevende for en masteroppgave. Derimot ble det gjort følgende interessante observasjoner under studie av begge forsøksbeskrivelsene.

I AASHTO-standarden for beskrivelse av treaksialforsøk for bestemmelse av dynamisk E-modul for varmeblandet asfalt, redegjøres det for at forsøksprøvene skal være Ø100 mm prøver utboret fra en Ø150 mm gyrotorkompaktert prøve (AASHTO, 2011, s. 6). Den mulige årsaken til dette er at gyrotorkompaktoren «produserer» hulromvariasjoner både horisontalt og vertikalt. For å produsere prøver som tilfredsstillende hulromkravene med tilhørende toleranser, blir en utboret kjerneprøve tatt i bruk da denne generelt har et hulrom som er mellom 1,5 til 2,5 % lavere enn den opprinnelige prøven (AASHTO, 2011, s. 6).

Standarden NS-EN 12697-26 som inneholder prøvingsmetoder for bestemmelse av stivhet til bituminøse masser, stiller ikke dette kravet ved utførelse av syklisk indirekte strekk-forsøk. Der skal prøvene lages direkte som Ø100 mm prøver, og man kan spørre hvorfor dette er tilfelle når begge forsøkene skal bestemme samme egenskap. Dette skulle derfor bli et forskningsgrunnlag i masteroppgaven, da det kunne være interessant å se på hvordan produksjonsprosessen av prøver eller kompakteringsforhold, påvirket stivhetsresultatene fra syklisk indirekte strekk-forsøk. Alene ser det ut til at hulrom i asfaltmassen har større betydning for deformasjonspotensialet enn stivhetsegenskapene til en asfaltmasse (Andersen, 1995, s. 14), men vinklingen var ment som en kvalitetssikring på om fremgangsmåten i VegDim er god nok.

Dette ga grunnlag for følgende forskningsspørsmål for å komplementere problemstillingen:

- *Hvordan vil Ø100 mm utborede prøver fra en Ø150 mm gyrotorkompaktert prøve, sammenlignet med direkte tillagede Ø100 mm prøver, påvirke stivhetsresultatene fra syklisk indirekte strekk-forsøk?*

1.2.2 Revidert forskningsdel

For at den opprinnelige forskningsdelen skulle være gjennomførbar var det nødvendig med tilgang til laboratorium for å kunne utføre forsøk og tilhørende prosesser. I grove trekk innebar dette at vegteknologisk laboratorium ved NTNU skulle brukes til proporsjonering og testing av valgt asfaltmasse. Dataene fra forsøkene skulle så bearbejdes og presenteres i masterkurver, med supplerende resultater fra forskningsdelen beskrevet ovenfor. Da laboratoriet og NTNU ble stengt i midten av mars 2020 på grunn av koronapandemien, så det mørkt ut med tanke på å fullføre det opprinnelige arbeidet før innleveringsfrist i juni. På bakgrunn av dette ble det diskutert alternative vinklinger på oppgaven, slik at den kunne fullføres uten bruk av laboratorium. Ved å få tilgang på data fra et tidligere utført prosjekt der forsøksprosedyren er tilnærmet lik den som er tenkt i VegDim, vil det fortsatt være mulig å konstruere masterkurver og dermed beholde opprinnelig problemstilling. Dette ville også gi grunnlag for nye forskningsspørsmål, konsentrert rundt selve modelleringen av masterkurven.

Den opprinnelige tanken var å konstruere masterkurver for norske asfaltmaterialer som et bidrag til materialdatabanken i VegDim. Da dette er første gang norske asfaltmaterialer blir testet for dynamisk E-modul gjennom et syklisk indirekte strekkforsøk for å konstruere masterkurver, fantes det følgelig ingen tidligere prosjekter som hadde utført lignende forsøk på norske asfaltmaterialer. Den eneste utveien var derfor å ta kontakt med utlandet for å tilgang på forsøksdata som kunne brukes til å modellere masterkurver. I Tyskland hadde de for noen år tilbake gjennomført et liknende forskningsprosjekt, og de var villige til å gi tilgang til forsøksdata fra et begrenset antall tyske dekkematerialer som hadde blitt testet etter samme forsøksprosedyre som er tenkt i VegDim. For at den reviderte oppgavevinklingen skulle være adaptiv til norske forhold og fortsatt kunne bli et bidrag til VegDim, var en viktig forutsetning at forsøksgrunnlaget for de tyske stivhetsdataene var tilsvarende prosedyren som er tenkt i VegDim. Tanken er at dersom materialsammensetningen er kjent, vil det være mulig å sammenlikne disse med norske materialer og videre kunne gjøre en vurdering om hvilke modell(er) som er best egnet for fremgangsmåten i VegDim og de materialene som skal testes i dette programmet. Dette betyr at oppgavens opprinnelige problemstilling står, men at følgende forskningsspørsmål legges til grunn:

- *Er fremgangsmåten for konstruksjon av masterkurver beskrevet i NS-EN 12697-26 best egnet for samtlige massesammensetninger som er beskrevet i testplanen til VegDim?*
- *Hvilken kombinasjon av shiftfaktor- og masterkurvemodeller er best egnet for å beskrive umodifiserte og modifiserte asfaltmaterialer?*
- *Er det mulig å oppnå presis modellering med avvikende forsøksbetingelser fra det som annex F i NS-EN 12697-26 beskriver?*

1.3 Dimensjoneringsystemer

For å bedre kunne forstå formålet og omfanget av VegDim vil det i dette delkapittelet bli redegjort for hva det nye analytiske dimensjoneringsssystemet ERAPave PP innebærer, og hva som skiller det fra systemet vi bruker i dag.

Dimensjonering av en vegoverbygning handler om å velge rette materialer og lagtykkelser slik at konstruksjonen har tilstrekkelig bæreevne til å tåle både trafikk- og klimapåkjenninger. Det finnes to tilnærminger til dimensjonering av vegoverbygning, empirisk og mekanistisk-empirisk (analytisk). Mens den empiriske dimensjoneringen baserer seg på erfaring, er den mekanistisk-empiriske tilnærmingen en mer ingeniørfaglig prosess der man optimaliserer valg av lagtykkelse og materialer basert på spenninger, tøyinger og skadeutvikling som oppstår i konstruksjonen under belastning (Garba Saba, 2019, s. 1).

1.3.1 Dagens dimensjoneringsystem (Empirisk dimensjonering)

Det norske dimensjoneringsystemet bygger på bæreevnemessige forhold som betyr at hovedkravet til systemet er at overbygningen skal fordele lasten fra trafikken til undergrunnen, slik at det ikke oppstår skadelige deformasjoner (Aksnes og Mork, 2019, s. 3). Materialene i overbygning må derfor være stabile, bæredyktige og ikke vannømfintlige. Det må også tas hensyn til dimensjonering mot slitasje. Disse kravene opprettholdes ved valg av dekketype og dekketykkelse.

I 2011 utgaven av Hb 018, som er forløperen til N200 var dimensjoneringsystemet delt inn i tre nivåer:

- Nivå 1 (Empirisk system)
- Nivå 2 (Semi-empirisk system)
- Nivå 3 (teoretisk system)

2018-utgaven av N200 som er den nyeste utgaven, opererer i praksis bare med dimensjonering etter nivå 1. Nivå 1 som er et empirisk system bygger på generaliserte erfarings- og analyseresultater og ble tidligere kalt tallbasert dimensjonering eller dimensjonering med faste lastfordelingskoeffisienter (Aksnes og Mork, 2019, s. 3).

1.3.2 Fremtidig dimensjoneringsystem (Mekanistisk-empirisk dimensjonering)

Et mekanistisk-empirisk dimensjoneringsystem beregner tøyninger, spenninger og nedbøyninger som oppstår i vegkonstruksjonen under belastning, basert på lineær elastisitetsteori for lagdelte konstruksjoner ved hjelp av responsmodeller (Garba Saba, 2019, s. 2). Derimot trenger ikke et ME-system være basert på lineær elastisitetsteori. I en e-post med veileder Helge Mork presiserer han at ERAPave PP blant annet har muligheten til å regne med en slags kvasi spenningsavhengig E-modul for granulære materialer, noe som betyr at forholdet ikke lenger er lineært (Førsteamanuensis Mork 2020, personlig kommunikasjon, 25.juni) Det jobbes også med å inkludere viskoelastisk oppførsel og aldrende (helbredende) egenskaper til asfaltlag i responsmodellene i ERAPave (Erlingsson og Ahmed, 2019).

Responser brukes så videre i empiriske tilstandsutviklingsmodeller for å beregne forventet skadeutvikling over tid. Dataprogrammer utfører beregninger av skadeutvikling som iterative prosesser for en antatt vegkonstruksjon over tid. Her er de viktigste inngangsparameterne trafikk-, klima- og materialdata (Garba Saba, 2019, s. 1).

De empiriske tilstandsutviklingsmodellene er utviklet basert på tilstandsdata fra spesifikke områder/land. For at disse skal være anvendbare under andre forhold må de kalibreres ved bruk av feltdata og laboratorietesting (Garba Saba, 2019, s. 2).

Ved hjelp av ME-systemet kan en vegkonstruksjon optimaliseres i forhold til livsløpskostnader og miljøeffekter. Dette fordi en kan bruke de ulike lagene i konstruksjonen som vurderingsgrunnlag ved å sette grenseverdier for spenninger og tøyninger for de forskjellige materialene. Dersom resultatet ikke er tilfredsstillende må prosessen gjentas ved å endre lagtykkelse og/eller materialtype, og utføre beregningene på ny (Garba Saba, 2019, s. 2).

Skader i form av utmatting, deformasjon, slitasje og lavtemperaturoppsprekking oppstår som følge av repeterte belastninger på vegkonstruksjonen. Denne utviklingen modelleres ved hjelp av empiriske modeller som bruker responsverdier (tøyninger og spenninger) som inngangsparametere. Levetiden til konstruksjonen er nådd når den akkumulerte skaden overstiger grenseverdier i forhold til kravene som er satt (Garba Saba, 2019, s. 3).

I utgangspunktet er disse modellene korrelasjonsmodeller som beskriver forholdet mellom målt tilstandsutvikling og faktorer som anses å påvirke tilstandsutviklingen. De fleste tilstandsmodellene er helt empiriske/statistiske, og utviklet for å anslå tilstandsutviklingen for et bestemt vegnett i en tidsperiode (Garba Saba, 2019, s. 3). Tilsvarende modeller i et ME-dimensjoneringsystem er mer detaljerte og baserer seg på spesifikke materialeegenskaper og konstruksjonens respons på belastning. Forskjellige modeller for ulike materialer eller lag i konstruksjonen blir brukt i denne sammenheng. Hovedfaktorene som inngår i modellering av skadeutvikling i et asfaltlag er (Garba Saba, 2019, s. 3 - 4):

- Asfaltlagets respons på belastning
- Materialets dynamiske E-modul
- Temperatur
- Antall lastrepetisjoner

Ettersom ME-systemene blant annet baserer seg på elastisitetsteorien vil de elastiske materialeegenskapene elastisitetsmodul og tverrkontraksjonstall stå sentralt. Dette gjelder spesielt elastisitetsmodulen kalt dynamisk E-modul, da denne varierer med temperatur og belastningsfrekvens for et asfaltmateriale. Det vil altså være svært viktig å teste materialer i lab under ulike kombinasjoner av temperaturer og belastningsfrekvenser slik at en masterkurve for dynamisk E-modul kan etableres (Garba Saba, 2019, s. 4).

Allerede bestemte verdier for tverrkontraksjonstall for de ulike materialene i overbygningen anses å være gode nok for dimensjoneringsformål. Dette betyr at tverrkontraksjonstallet ikke trenger å bestemmes ved forsøk (Garba Saba, 2019, s. 4).

Det må etableres en materialdatabase som inneholder de nødvendige materialeegenskapene til de mest brukt materialene i norsk vegbygging, slik at disse kan integreres i et ME-dimensjoneringsystem. Fordelen med en slik database er at det vil forenkle implementering og praktisk bruk av ME-systemer, da man kan unngå testing av materialene på nytt hver gang disse velges. Dette vil inngå som en viktig del i arbeidet med tilpasning av et ME-system til lokale forhold (Garba Saba, 2019, s. 4).

Opprinnelig var det tenkt at oppgavens resultater i form av dynamisk E-moduldata for norske asfaltmaterialer skulle være et direkte bidrag til denne materialdatabasen. Derimot ble dette bidraget utelukket da laboratoriemulighetene bortfalt.

1.4 Dynamisk E-modul som en viktig input i et ME-system

Som nevnt i forrige delkapittel vil en viktig del av det å kunne modellere skadeutvikling i et ME-system, innebære at spesifikke materialparametere blir brukt som input for å best mulig kunne simulere materialets respons under belastning. I denne oppgaven er den aktuelle materialparameteren asfaltens dynamiske E-modul. Hvorfor er dette en viktig input i et ME-system?

For asfaltmaterialer vil dynamisk E-modul være en viktig materialparameter for å kunne bestemme spenninger og deformasjoner slik at materialets ytelse med hensyn til nedbrytningsmekanismer som utmatting og spordannelse kan verifiseres (Fernando Oscar Martinez og Angelone, 2012). I utviklingen av ERAPave PP, vil estimerer av asfaltens respons under belastning være helt essensielt. Dynamisk E-modul vil derfor være en viktig input i et slikt system, fordi den representerer materialets temperatur- og tids(frekvens)avhengige stivhetskarakteristikk (Kim et al., 2004).

Gjennom VegDim er det altså valgt en analytisk prosedyre basert på fundamentale egenskaper ved asfaltmaterialer, framfor den empiriske metoden. Bestemmelse av asfaltmaterialenes stivhetsegenskaper har gjennom den empiriske metoden hovedsakelig basert seg på en verdi bestemt ved en temperatur. Denne informasjonen er velfungerende for produksjonskontroll på fabrikker, men kan ikke brukes til å karakterisere den faktiske ytelsen, eller bestemme forskjeller mellom asfaltblandinger (Toth og Ureczky, 2010).

1.5 Ny forsøksprosedyre for bestemmelse av asfaltmaterialers stivhetskarakteristikk

Forsøket som skal danne grunnlaget for bestemmelse av dynamisk E-modul i det nye dimensjoneringsystemet er et såkalt syklisk indirekte strekk-forsøk som utsetter materialet for repeterte lastpulseringer. Basert på internasjonal erfaring viser dette forsøket til gode resultater og er derfor ofte et foretrukket valg ved bestemmelse av dynamisk E-modul. Fordelen med dette forsøket er at prøvene kan lages i et laboratorium etter vanlig prosedyre, eller bores som kjerneprøver fra felt (Fernando Oscar Martinez og Angelone, 2012). Dette fordi forsøket ikke stiller krav til at prøvene trenger å være mer enn 40 til 50 mm høye (NS-EN 12697-26, 2018), noe som omtrent tilsvarer tykkelsen på et asfaltlag, og dermed muliggjør analytiske vurderinger og studier av asfalt som allerede er lagt, og i bruk på norske veier (Fernando Oscar Martinez og Angelone, 2012).

Forsøksmetoden som er grunnlaget for blant annet lastfordelingskoeffisientene i N200 er treaksialforsøk med trinnsvis økende belastningsprosedyre (Bakløkk, 2016, s. 20). Et liknende forsøk er beskrevet i AASHTO-standarden T 342-11. Dette forsøket påfører kun dynamisk uniaksial trykkspenning og blir derfor et dynamisk enaksialforsøk (AASHTO, 2011). En slik test krever et høyde- og diameterforhold $H/D > 1,5$. Dette betyr at når prøvene har en diameter på 100 mm, må høyden være 150 mm, noe som ikke er representativt med tykkelsen på asfaltlagene i felt. Størrelsen på prøvene gir også en mer kompleks og tidkrevende prøvelagingsprosess (Fernando Oscar Martinez og Angelone, 2012). Dette understreker noen av hovedargumentene for at syklisk indirekte strekk-forsøk er valgt framfor et enaksial- eller treaksialforsøk.

2 Teoretisk bakgrunn

Påfølgende kapitler er tredelt.

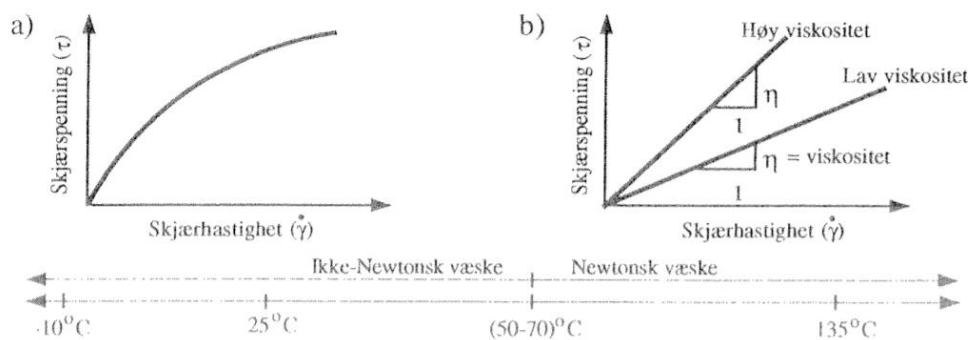
Den første delen, delkapittel 2.1 – 2.3 presenterer relevant teori tilknyttet grunnleggende bituminøse egenskaper, kompleksmodul og dynamisk E-modul, samt beskrivelse av funksjonsuttrykkene til masterkurvemodellene som er valgt i denne oppgaven. Teorien er basert på faglitteratur og tidligere forskning, og er helt nødvendig for å underbygge og forstå modeller og fremgangsmåter i oppgaven.

Den andre delen, delkapittel 2.4 – 2.6 presenterer et utvalg shiftfaktor- og masterkurvemodeller, samt analyseparametere som ulike studier har lagt frem som gyldige og representative måter å validere og beskrive asfaltmaterialers temperatur- og frekvensavhengighet. Disse vil være grunnlaget for oppgavens analyser.

Den tredje delen, delkapittel 2.7 – 2.9 utdyper det teoretiske grunnlaget bak masterkurven og hvordan denne konstrueres basert på fremgangsmåten beskrevet i NS-EN 12697-26. Kapittelet avsluttes med en beskrivelse av dynamiske forsøk og hvordan resultatene implementeres i konstruksjonen av masterkurver.

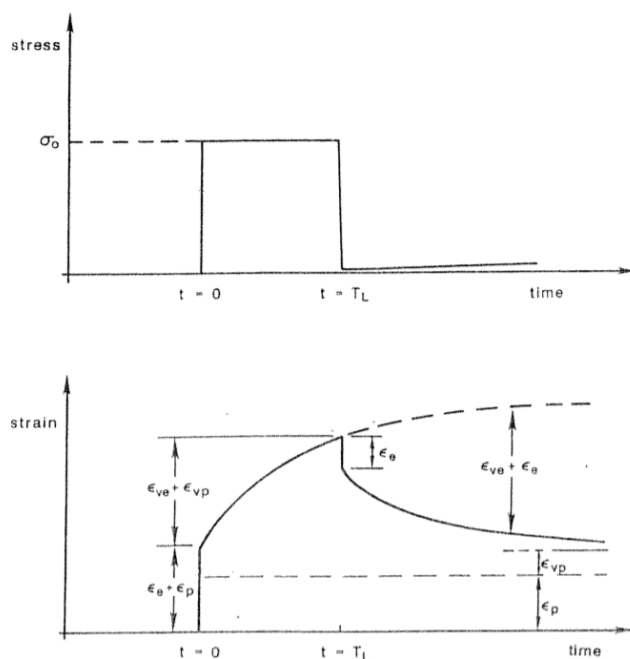
2.1 Grunnleggende egenskaper til bitumen og asfaltmaterialer

Det er flere rapporter og notater som gjennomgår og beskriver de grunnleggende egenskapene til bitumen og asfaltmaterialer. Det er valgt å ta utgangspunktet i rapporten «*NY ASFALTTEKNOLOGI: En innføring i SHRP-teknologi og terminologi for bindemidler*» for å redegjør for noen av de mest sentrale egenskapene. Rapporten har et innledende kapittel som omhandler grunnleggende egenskaper ved bitumen. Her beskrives bitumen som et komplisert materiale med reologiske egenskaper, det vil si flyte og deformasjonsegenskaper som forandrer seg med temperatur og belastningstid (Andersen, 1995, s. 5).



Figur 1: Bitumens viskøse egenskaper (Andersen, 1995, s. 5)

Figur 1 viser bitumens viskøse egenskaper over et spekter av forskjellige temperaturer. Begge grafene i figuren beskriver materialets viskositet altså forholdet mellom skjærspenning og skjærhastighet. Ved høye temperaturer oppfører materialet seg som en newtons væske, som vil si at viskositeten er konstant ved konstant temperatur (Andersen, 1995, s. 5). Ved lavere temperaturer endrer bitumen karakter og viskositeten er ikke lenger lineær. Materialet får gradvis en mer elastisk karakter fordi viskositeten nå avhenger sterkt av skjærhastigheten og spenningsnivået. Dette karakteriseres som viskoelastisk materialoppførsel (Andersen, 1995, s. 6).



Figur 2: Responsen til et viskoelastisk materiale under krypforsøk (Andersen, 1995, s. 6)

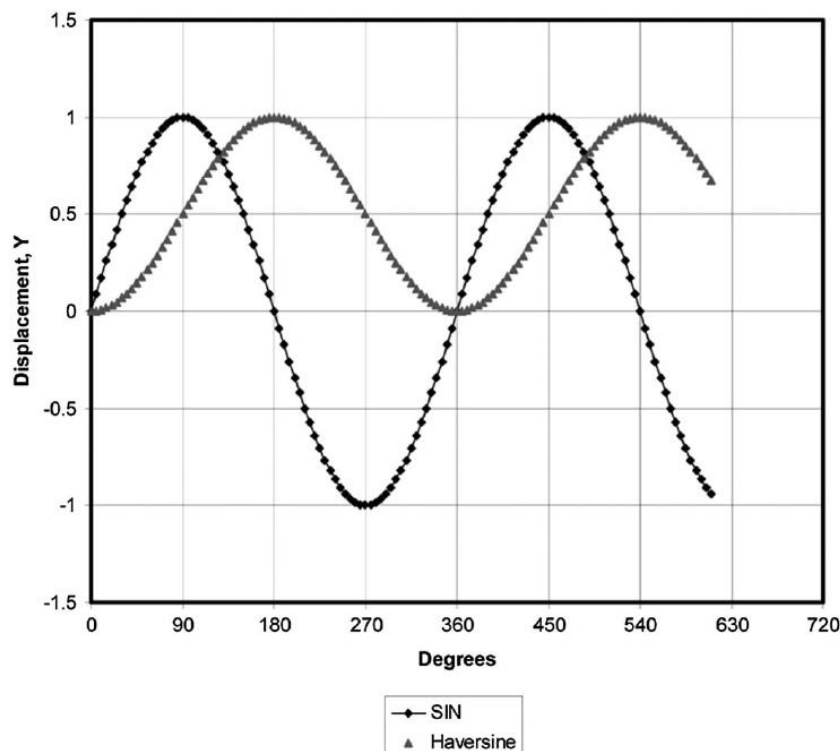
Materialresponnen til asfalt kan beskrives med materialmodellen i Figur 2. Modellen viser påført spenning og resulterende deformasjon over en gitt tid t . En momentan deformasjon bestående av en elastisk gjenvinnbar komponent, og en plastisk ikke-gjenvinnbar komponent oppstår i det lasten påføres. Spenningen holdes konstant over en gitt tid, og deformasjonen øker inntil lasten fjernes. Den tidsavhengige deformasjonen består av en gjenvinnbar viskoelastisk komponent, og en ikke-gjenvinnbar viskoplastisk komponent. Etter at lasten er fjernet vil man få tilbake den momentane elastiske komponenten, og over tid også den viskoelastiske komponenten. Deformasjonen man sitter igjen med tilslutt er de to plastiske komponentene. Ved svært lave temperaturer eller høye belastingsfrekvenser kan materialresponnen til bitumen beskrives ved hjelp av Hookes lov da bitumenet oppfører seg som et elastisk materiale (Andersen, 1995, s. 6)

Det er vanlig praksis ved dimensjonering av dekkekonstruksjoner å anta at hjullaster påkjenner materialene innenfor det såkalte lineære-viskoelastiske området (Andersen, 1996, s. 8). Lineær viskoelastisitet er også det teoretiske grunnlaget bak syklisk indirekte strekk-forsøk og konstruksjon av masterkurver. I følge «Chailleux et al. (2006)» gir konstruksjon av masterkurver kun mening i et temperaturområde der det ikke oppstår faseoverganger som induserer makromolekylære strukturendringer (Yusoff, Airey og Hainin, 2010). Derav skal forsøkene gjennomføres i det lineære viskoelastiske området (Yusoff, Airey og Hainin, 2010).

Andersen redegjør også for svakheter ved eksisterende forsøk og spesifikasjoner brukt for å beskrive bindemiddelegenskaper i brukstemperaturområdet. Metodene som brukes i dag er erfaringsbaserte mål for egenskapene til materialet, som betyr at spenningene og tøyningene som oppstår i prøvene ikke er definert. Det er derfor oppstått et ønske om å erstatte de empiriske metodene med fundamentale funksjonsbaserte testmetoder som direkte kan relateres til materialenes oppførsel i felt (Andersen, 1995, s. 8).

2.2 Kompleksmodul og dynamisk E-modul

For å kunne måle de viskoelastiske egenskapene til bindemidler og asfaltmasser er det normalt å utsette materialet for en dynamisk sinusformet eller haversine belastning ved ulike temperaturer, spenningsnivå, tøyingsnivå og frekvenser. En sinusformet belastningsprosedyre vil si at prøven blir belastet både positivt (+) og negativt (-) i forhold til en definert akse, med konstante tøyingsamplituder som altererer over tid. En haversine belastningsprosedyre derimot, påfører prøven tøyning i kun en retning i forhold til den definerte akse (Pintarelli og Melo, 2019). Begge prosedyrene skal i prinsippet måle den samme parameteren. Eventuelle forskjeller i hvordan prosedyrene påvirker den dynamiske E-modulen vil ikke bli gjennomgått i denne rapporten. Figur 3 viser bølgeformene relativt til hverandre i forhold til nøytralaksen.



Figur 3: Sammenstilling av haversine og sinusformet belastning (Pintarelli og Melo, 2019)

Ved hjelp av dynamisk testing kan man uttrykke kompleksmodulen E^* eller den dynamiske E-modulen $|E^*|$ for et viskoelastisk materiale, som beskriver forholdet mellom spenning og tøyning (Dynamic Modulus, 2019). For viskoelastiske materialer vil det oppstå en faseforskyvning mellom påført spenning og resulterende tøyning under dynamiske forsøk. Faseforskyvningen uttrykkes med fasevinkelen δ . For et rent elastisk materiale er det ingen faseforskyvning ($\delta = 0^\circ$), mens for et rent viskøst materiale er faseforskyvningen $\delta = 90^\circ$. For et viskoelastisk materiale ligger forskyvningen mellom 0° og 90° (Andersen, 1995, s. 13).

Under en sinusformet eller haversine dynamisk belastning, kan spenning og tøyning i et lineært viskoelastisk materiale beskrives med kompleksmodulen. Kompleksmodulen er et komplekst tall bestående av en reell og en imaginær del. Den reelle delen gir uttrykk for den elastisk lagrede energien, mens den imaginære delen gir uttrykk for det viskøse tap

av energi gjennom permanent deformasjon (Andersen, 1995, s. 22). Kompleksmodulen skrives ofte på følgende form:

$$E^* = E' + iE'' \quad (1)$$

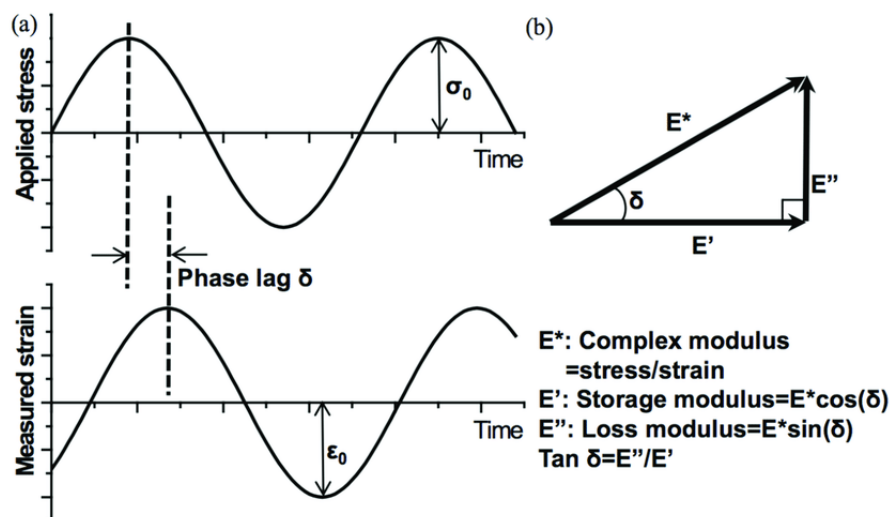
der

$$E' = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \cos \delta$$

$$E'' = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \sin \delta$$

$$E^* = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} (\cos \delta + i \sin \delta)$$

Fra uttrykkene kan man enkelt se at når $\delta = 0^\circ$, vil kompleksmodulen kun bestå av den elastiske komponenten, og motsatt når $\delta = 90^\circ$ (Dynamic Modulus, 2019). Forholdet mellom komponentene som inngår i kompleksmodulen illustreres i Figur 4.



Figur 4: Grafisk fremstilling av kompleksmodulen med tilhørende parametere (Liu, 2016, s. 20)

For å tallfeste kompleksmodulen uttrykkes den med absoluttverdien slik at uttrykket forenkles til:

$$|E^*| = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \quad (2)$$

Spenningen, tøyningen og kompleksmodulen til et viskoelastisk materiale kan videre representeres med følgende uttrykk (Dynamic Modulus, 2019):

$$\sigma = \sigma_0 \sin(\omega t)$$

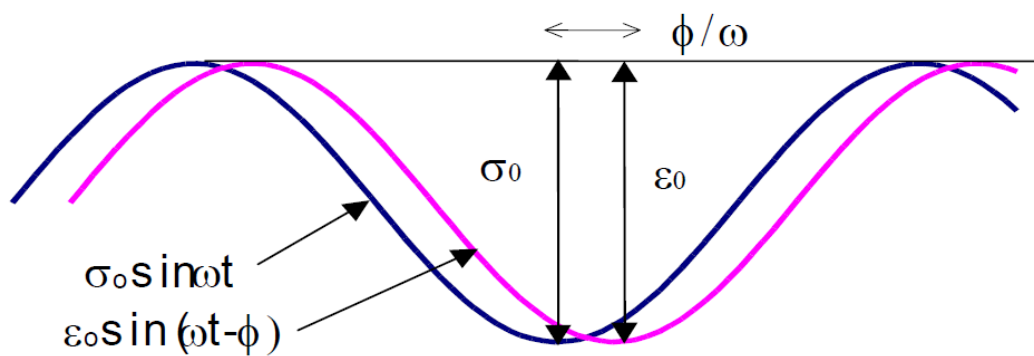
$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin(\omega t - \delta)$$

$$E^* = |E^*|(\cos(\delta) + i \sin(\delta))$$

der

$ E^* $	er den dynamiske E-modulen [MPa]
σ_0	er maksimal spenning [MPa]
ε_0	er maksimal tøyning [-]
ω	$\omega = 2\pi f$, der f er frekvensen av deformasjonssvingningene [rad/s]
t	er tid [s]
δ	er faseforskyvningen mellom spenning og deformasjon [rad]
E^*	er kompleksmodulen [MPa]

Figur 5 illustrerer forholdet mellom spenning og tøyning under dynamisk belastning. Kompleksmodulen er definert som forholdet mellom amplituden av en sinusformet spenning ved en gitt tid t og vinkelfrekvens ω , og amplituden av en sinusformet tøyning ved samme tid og vinkelfrekvens, som gir en respons i stabil tilstand (Witczak og Bari, 2004, s. 4).



Figur 5: Dynamisk (Kompleks) modul (Witczak og Bari, 2004, s. 4)

2.3 Funksjonsuttrykk for å modellere masterkurver

2.3.1 Sigmoidfunksjonen

For å bedre kunne forstå hvordan den dynamiske E-modulen presenteres og modelleres i en masterkurve vil det i dette delkapittelet bli gjennomgått grunnleggende egenskaper til sigmoidfunksjonen, som er grunnlaget for hovedtyngden av modellutvalget som er lagt til grunn i denne oppgaven. Sigmoidfunksjonen er en av de mest velkjente tilpasningsmodellene, og er svært populær blant forskere ved konstruksjon av masterkurver. Den ble blant annet brukt i retningslinjer for mekanistisk-empirisk dimensjonering (MEPDG) (Forough, Nejad og Khodaii, 2014). Sigmoidfunksjonen har en karakteristisk S-form, definert med følgende formel (Wikipedia, 2020a).

$$S(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (3)$$

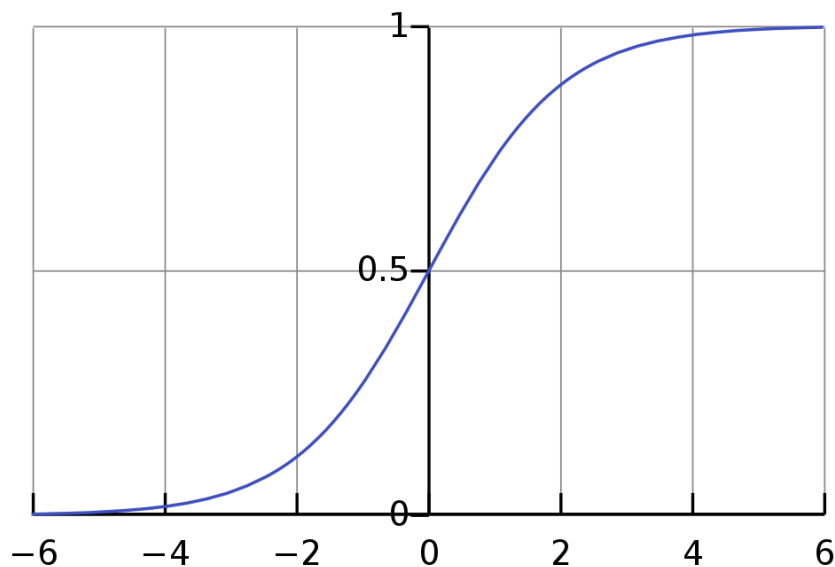
En logistisk funksjon eller kurve, er en typisk sigmoidfunksjon og er mer aktuell i denne sammenheng. En logistisk sigmoidfunksjon er definert slik:

$$f(x) = \frac{L}{1 + e^{-k(x-x_0)}} \quad (4)$$

der

- e er basis for den naturlige logaritmen (Eulers tall)
- x_0 er x - verdien av funksjonens midtpunkt
- L er kurvens maksimale punkt
- k er den logistiske vekstraten, eller brattheten til kurven

Grafen $f(x)$ nærmer seg L når x går mot $+\infty$ og nærmer seg 0 når x går mot $-\infty$ (Wikipedia, 2020b). Figur 6 viser en grafisk fremstilling av en logistisk sigmoidfunksjon med følgende parametere, $L = 1$, $k = 1$, $x_0 = 0$.



Figur 6: Logistisk sigmoid funksjon (Wikipedia, 2020b)

Det finnes også flere alternative uttrykk og utvidelser av en slik funksjon. En av disse er den generaliserte logistiske funksjonen bedre kjent som «Richards' curve». Opprinnelig ble denne kurven utviklet for å modellere vekst, og tillater derfor en mer fleksibel S-form (Wikipedia, 2020c). «Richards' curve» har følgende generelle formel:

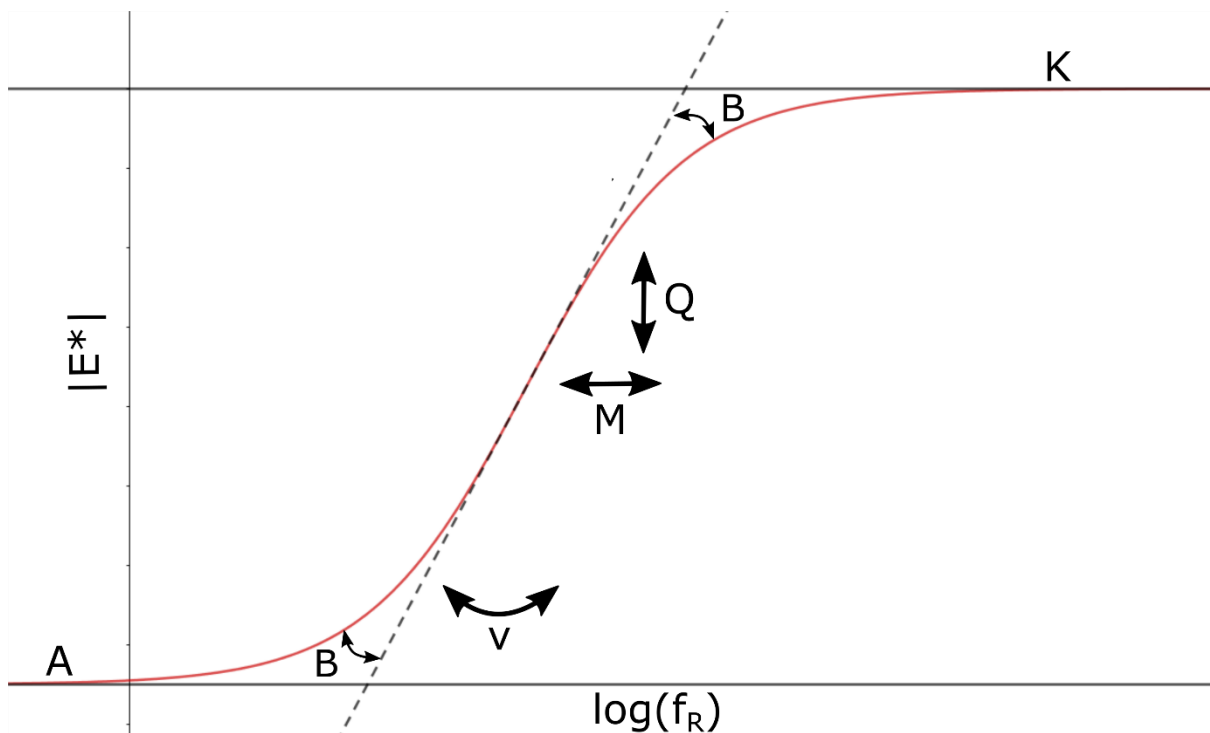
$$Y(t) = A + \frac{K - A}{(C + Qe^{-B(t-M)})^{1/v}} \quad (5)$$

der

t	er tid
A	er den nedre asymptoten
K	er den øvre asymptoten når $C = 1$
B	er vekstraten
v	bestemmer hvor raskt kurven konvergerer mot den nedre asymptoten gitt at $v > 0$
Q	er relatert til verdien av $Y(0)$
C	har vanligvis verdien 1
M	x - verdien for kurvens midtpunkt

Figur 7 viser hvordan de ulike parameterne påvirker hvordan den grafiske fremstillingen av sigmoidfunksjonen blir seende ut. I dette tilfelle illustrert med parameterne fra en generalisert logistisk sigmoidfunksjon inkludert i likning (5). I figuren er t -verdien erstattet med $\log(f_R)$.

Forklaringen til at sigmoidfunksjonen ble introdusert som en tilpasningsmodell for stivhetsdata fra dynamiske forsøk, er basert på fysiske observasjoner av asfaltblandingers oppførsel. Den øvre delen av sigmoidfunksjonen nærmer seg asymptotisk en maksimal materialstivhet (Glassmodul) som er avhengig av den øvre stivhetsgrensen til bindemiddelet ved lave temperaturer. Ved høye temperaturer, forårsaker påført belastning at materialets tilslag blir mer dominant enn det viskøse bidraget til bindemiddelet. Dette gjør at materialets stivhet nærmer seg en begrenset likevektverdi (likevektsmodul) som er avhengig av tilslagets gradering. Derav fanger sigmoidfunksjonen opp den fysiske oppførselen til asfaltens E-modul under mekaniske forsøksprosedyrer som påfører syklisk belastning over hele temperaturområdet (Pellinen, Witczak og Bonaquist, 2004).



Figur 7: Utklipp fra GeoGebra - Modellparameterens innflytelse på sigmoidfunksjonen

2.3.2 «skewed function»

I tillegg til sigmoidfunksjonene ble en såkalt «skewed function» eller skjev logistisk funksjon lagt til grunn for å konstruere masterkurver. Aktuell funksjonstype i denne oppgaven er en CAM-modell. Egenskapene til denne modelltypen vil bli gjennomgått grundigere i avsnitt 2.4.3. Følgende funksjonsuttrykk ligger til grunn for CAM-modellen:

$$Y(t) = E_e + \frac{E_g - E_e}{\left[1 + \left(\frac{\omega_{cE}}{t}\right)^v\right]^{\frac{w}{v}}} \quad (6)$$

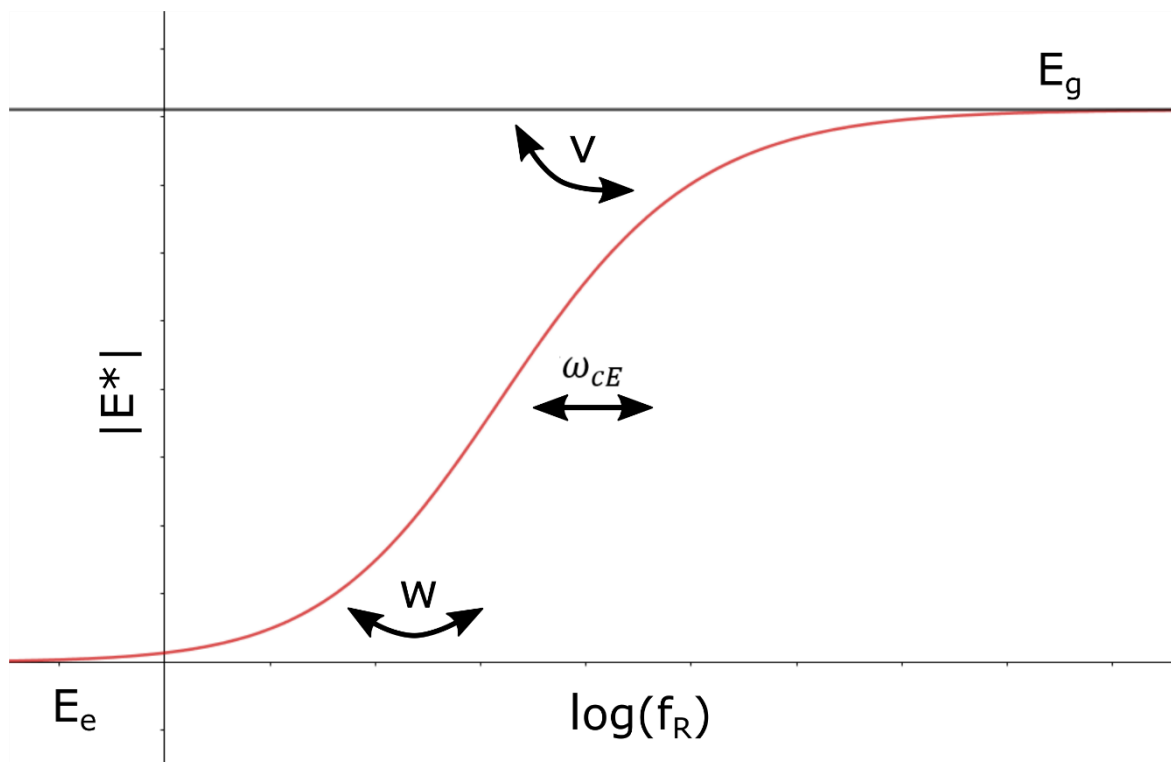
der

E_e , E_g og ω_{cE} tilsvarer prinsipielt henholdsvis A, K, M illustrert i Figur 7.

v bestemmer hvor raskt kurven konvergerer mot den øvre asymptoten

w bestemmer hvor raskt kurven konvergerer mot den nedre asymptoten

Figur 8 viser hvordan de ulike modellparameterne påvirker hvordan den grafiske fremstillingen av CAM-modellen blir seende ut. I dette tilfelle er også tiden t , erstattet med $\log(f_R)$.



Figur 8: Utklipp fra GeoGebra - Modellparameterens innflytelse på CAM-modellen

2.4 Masterkurvemodeller

Litteraturen og flere studier foreslår ulike metoder og matematiske modeller for å modellere shiftfaktoren, og den resulterende masterkurven. Et eksempel på en slik studie er en argentinsk studie fra 2013 som sammenlignet ulike metoder og matematiske modeller som har vist seg å gi tilfredsstillende modelleringer av masterkurven. Studien testet ss forskjellige asfaltblandinger gjennom samme forsøk og sammenlignet de resulterende kurvene ved hjelp av korrelasjonsanalyse (Angelone *et al.*, 2013). Resultatene fra den argentinske studien viste bl.a. til standard logistisk sigmoid modell (SLSM) kombinert med en Arrhenius-tilnærming som den mest praktisk anvendbare modellkombinasjonen. Årsaken er at modellkombinasjonen kun inneholder fem justerbare parametere under optimeringsprosessen, sammenlignet med noen av de andre modellkombinasjonene som inneholder langt flere parametere (Angelone *et al.*, 2013).

I denne oppgaven er det valgt å ta for seg tre ulike modeller for konstruksjon av masterkurver. To av modellene er ulike former av sigmoidfunksjonen, henholdsvis standard logistisk- og generalisert logistisk sigmoidfunksjon. Begge er velkjente tilnæringsmodeller brukt i flere studier som reologiske modeller for både bindemidler og asfaltmaterialer. Den siste modellen er Christensen-Anderson-Marasteanu (CAM)-modell, som er en modifisert utgave av CA-modellen, opprinnelig utviklet gjennom SHRP-programmet som en semi-empirisk modell for å karakterisere den dynamiske skjærmodulen til bindemidler. Annex G i NS-EN 12697-26 henviser til CA-modellen som en alternativ tilnæringsmetode for konstruksjon av masterkurver (NS-EN 12697-26, 2018, s. 45). Modellene vil inngå i en korrelasjonsanalyse for å vurdere statistisk tilpasningsevne «goodness-of-fit» mellom målte og estimerte verdier.

2.4.1 Standard logistisk sigmoidmodell

Den første modellen er en såkalt symmetrisk eller standard logistisk sigmoidmodell (SLSM). Den har følgende funksjonsuttrykk:

$$\log(|E^*|) = \delta + \frac{(\alpha - \delta)}{1 + e^{(\beta + \gamma \log(f_R))}} \quad (7)$$

der

$ E^* $	er den dynamiske E-modulen [MPa]
δ	er logaritmen av den minste verdien for $ E^* $ (Likevektsmodul) [MPa]
α	er logaritmen av den største verdien for $ E^* $ (Glassmodul) [MPa]
β, γ	er konstanter som bestemmer formen til sigmoidfunksjonen [-]
f_R	er den reduserte frekvensen [Hz]

For mer detaljert beskrivelse av funksjonsparameterne se delkapittel 2.3.1. Denne funksjonstypen ble anvendt i retningslinjene for mekanistisk-empirisk dimensjonering av nye og rehabiliterte vegkonstruksjoner under prosjektet NCHRP 9-19 fra 2004, og har også blitt brukt av forfattere som MW Witczak og AC Sotil (Angelone *et al.*, 2013).

2.4.2 Generalisert logistisk sigmoidmodell

Den generaliserte logistiske sigmoidmodellen (GLSM) ble introdusert av «Rowe et al. (2008)» som en generalisering av SLSM, og skiller seg ut med sin ikke-symmetriske form (Yusoff, Airey og Hainin, 2010). Den har følgende funksjonsuttrykk:

$$\log(|E^*|) = \delta + \frac{(\alpha - \delta)}{(1 + \lambda e^{(\beta + \gamma \log(f_R))})^{(1/\lambda)}} \quad (8)$$

der

$|E^*|$, δ , α , β , γ og f_R har samme betydning som i likning (7).

λ er en tilleggsparameter som gir en ikke-symmetrisk form [-]

Forskjellen mellom likning (7) og (8) er introduksjonen av parameteren λ , som tillater kurven å ha en ikke-symmetrisk form. Når $\lambda = 1$ er uttrykket tilsvarende likning (7) (Angelone *et al.*, 2013). For mer detaljert beskrivelse av funksjonsparameterne, se delkapittel 2.3.1.

2.4.3 Christensen-Anderson-Marasteanu modell

Under SHRP-programmet ble Christensen-Anderson (CA) modellen utviklet, og vokste frem som et forsøk på å karakterisere det relakserende spekteret til SHRP's bindemidler, ved bruk av en skjev logistisk funksjon (Christensen, Anderson og Rowe, 2017). Marasteanu og Anderson utviklet noen år senere en modifisert versjon av CA-modellen, mest kjent som CAM-modellen. Modellen ble utviklet for å bedre kunne beskrive umodifiserte og modifiserte bindemidler (Yusoff, Airey og Hainin, 2010), samt sørge for en mer presis tilnærming ved å gi større fleksibilitet til hvordan fasevinkelen nærmer seg asymptoten for viskøs flyt og glassmodul (Christensen, Anderson og Rowe, 2017). I senere år har CA- og CAM-modellen også blitt anvendt til konstruksjon av masterkurver for dynamisk E-modul til asfaltmaterialer. Dette gjenspeiles blant annet i en amerikansk studie fra 2017 som hadde som mål og karakterisere viskoelastiske egenskaper til aldrende asfaltmaterialer, der CA-modellen ble brukt til å konstruere masterkurver (Ling *et al.*, 2017).

Den opprinnelige CA-modellen beskrev den dynamiske skjærmodulen som funksjon av vinkelfrekvens etter følgende uttrykk (Christensen, Anderson og Rowe, 2017):

$$|G^*(\omega)| = G_g \left[1 + \left(\frac{\omega_c}{\omega} \right)^{\log 2/R} \right]^{-R/\log 2} \quad (9)$$

«Ling *et al.* (2017)» beskriver følgende modell for å uttrykke dynamisk E-modul:

$$|E^*(\omega)| = E_e + \frac{E_g - E_e}{\left[1 + \left(\frac{\omega_{cE}}{\omega \alpha T} \right)^{\frac{\log 2}{R_E}} \right]^{\frac{R_E}{\log 2}}} \quad (10)$$

der

$ E^*(\omega) $	er den dynamiske E-modulen [MPa]
ω	er vinkelfrekvensen [rad/s]
E_e	er likevektsmodulen (når frekvensen går mot $-\infty$) [MPa]
E_g	er glassmodulen (når frekvensen går mot $+\infty$) [MPa]
ω_{cE}	er «crossover»-frekvensen, som bestemmer krumningspunktet til masterkurven (en indikator på materialets generelle stivhet) [rad/s]
αT	er shiftfaktoren [-]
R_E	er den reologiske indeksen, som bestemmer formen til masterkurven [-]

Utrykket presentert i likning (10) er en CA-modell. I denne oppgaven er CAM-modellen anvendt, som er den modifiserte utgaven av CA-modellen. CAM-modellen er beskrevet av «Yusoff, Airey og Hainin (2010)» med følgende uttrykk:

$$|E^*(\omega)| = E_e + \frac{E_g - E_e}{\left[1 + \left(\frac{\omega_{cE}}{\omega \alpha_T} \right)^v \right]^{\frac{w}{v}}} \quad (11)$$

der

$ E^*(\omega) $, ω , E_g , E_e , ω_{cE} , α_T	har samme betydning som i likning (10)
v	tilsvarer $\log 2/R_E$ og beskriver hvor raskt eller sakte E-modulverdiene konvergerer mot den øvre asymptoten når vinkelfrekvensen går mot $+\infty$
w	tilleggsparameter som tar hensyn til hvor raskt eller sakte E-modulverdiene konvergerer mot den nedre asymptoten når vinkelfrekvensen går mot $-\infty$

2.5 Shiftfaktormodeller

Shiftfaktoren er parameteren som beskriver materialets temperaturavhengighet og er definert med følgende formel (Angelone *et al.*, 2013):

$$\alpha T = \frac{f_R}{f} \quad (12)$$

der

αT	er shiftfaktoren [-]
f_R	er den reduserte frekvensen (Belastningsfrekvensen ved referansetemperaturen) [Hz]
f	er belastningsfrekvensen [Hz]

I denne oppgaven vil det bli sett på fire konvensjonelle funksjonsuttrykk for beskrivelse av shiftfaktoren. Shiftfaktormodellene er empiriske av natur og viser i de fleste tilfeller til ulike resultater for asfaltmaterialer, til tross for lik blandingskarakteristikk og forsøksforhold (Forough, Nejad og Khodaii, 2014). Det vil derfor være av interesse å sammenlikne disse metodene for rangere dem etter hvor godt de tilpasses eksperimentelle data. Ofte er både modelltypen for beskrivelse av shiftfaktor og masterkurve for dynamisk E-modul forhåndsbestemt i et forskningsprogram slik som VegDim, der prosedyren følger en standard slik som NS-EN 12967-26. Dette gir grunnlag for å stille seg kritisk til om den valgte prosedyren er den beste.

2.5.1 Arrhenius-funksjonen

Arrhenius-funksjonen er den grunnleggende formelen for masterkurven etter fremgangsmåten i NS-EN 12697-26. Funksjonen er brukt av flere forfattere og er en av de vanligste shiftfaktormodellene for αT ved beskrivelse av stivhetsegenskaper til asfaltbetong (Su *et al.*, 2018). Modellen har følgende funksjonsuttrykk:

$$\log(\alpha T) = C_A \left(\frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_R} \right) \quad (13)$$

der

C_A	er Arrhenius materialkonstant [-]
T_i	er den aktuelle forsøkstemperaturen [°K]
T_R	er referansetemperaturen [°K]

Relakserende prosesser under glassovergangstemperaturen T_g i amorfe polymerer involverer lokale bevegelser, og prinsippet om tid-temperatur superposisjon følger en Arrhenius-tilnærming. Arrhenius-funksjonen beskriver forholdet mellom reaksjonshastighetskonstanten og temperatur (Pellinen, Witczak og Bonaquist, 2004). Under SHRP-programmet ble det konkludert med at Arrhenius-funksjonen best beskrev materialets oppførsel under glassovergangstemperaturen T_g (Rowe og Sharrock, 2011).

2.5.2 Williams-Landel-Ferry funksjonen

Williams-Landel-Ferry (WLF) funksjonen er også brukt av flere forfattere for å flytte dynamisk E-moduldata slik at masterkurver kan konstrueres (Angelone *et al.*, 2013). Funksjonen er på samme måte som Arrhenius-funksjonen, hyppig anvendt ved beskrivelse av dynamisk E-modul for asfaltbetong (Su *et al.*, 2018). Funksjonen har derimot vist seg å gi bedre resultater for beskrivelse av bindemidler enn asfaltblandinger (Forough, Nejad og Khodaii, 2014). WLF-funksjonen har følgende funksjonsuttrykk:

$$\log(\alpha T) = \frac{-C_1(T_i - T_R)}{C_2 + (T_i - T_R)} \quad (14)$$

der

C_1, C_2 er WLF materialkonstanter [-]

I motsetningen til Arrhenius-funksjonen ble det under SHRP-programmet konkludert med at WLF-funksjonen gir en mer presis representasjon av materialets temperaturavhengighet over glassovergangstemperaturen T_g (Rowe og Sharrock, 2011). Det ble funnet at WLF-funksjonen best tilpasset seg observerte shiftfaktorverdier for et bredt spekter av bindemidler i et temperaturintervall mellom -20 °C og 60 °C (Pellinen, Witczak og Bonaquist, 2004).

2.5.3 Kaelble-funksjonen

Forskere har utforsket et utvidet bruksområde for beskrivelse av shiftfaktoren, ved å ta i bruk en modifisering av WLF-funksjonen først foreslått av Kaelble in 1985 (Rowe og Sharrock, 2011). Modellen med samme navn har følgende funksjonsuttrykk:

$$\log(\alpha T) = \frac{-C_1(T_i - T_R)}{C_2 + |T_i - T_R|} \quad (15)$$

Ved bruk av absoluttverdi i uttrykket, introduseres et vendepunkt i kurven ved referansetemperaturen, og formen endres fra hyperbolsk til sigmoid. Utover vendepunktet er kurven identisk med WLF-funksjonen (Rowe og Sharrock, 2011). I sin studie om alternative metoder for å beskrive temperaturavhengigheten til asfaltmaterialers viskoelastiske oppførsel, demonstrerte Rowe og Sharrock blant annet at Kaelble-funksjonen kunne beskrive shiftfaktorens funksjonsform for asfaltmaterialer mer presist enn Arrhenius-, WLF- og polynomfunksjonen (Rowe og Sharrock, 2011).

2.5.4 Andregrads polynomfunksjon

Forfattere har også foreslått en andregrads polynomfunksjon for å modellere hvordan shiftfaktoren varierer som funksjon av temperatur (Angelone *et al.*, 2013). Følgende uttrykk er foreslått:

$$\log(\alpha T) = a + b(T_i - T_R) + c(T_i - T_R)^2 \quad (16)$$

der

a, b og c er konstanter i andregradsfunksjonen [-]

For at polynomfunksjonen skal være sammenlignbar med de andre shiftfaktormodellene, er konstantleddet a fjernet fra likningen. Dette resulterer i at $\log(\alpha T) = 0$, når $T_i = T_r$. Gjøres modelleringene etter likning (16), vil shiftfaktorkurven alltid være forskjøvet med avstanden a fra referansetemperaturen. Følgende formel er anvendt i oppgaven:

$$\log(\alpha T) = b(T_i - T_R) + c(T_i - T_R)^2 \quad (17)$$

Noen av de mest anerkjente temperatur-skifteteknikken brukt for asfaltmaterialer er modellene Arrhenius, Williams-Landel-Ferry (WLF), andregrads polynomfunksjon og Kaelble.

2.6 Ikke-lineær optimering og statistiske parametere

For å konstruere masterkurver av forsøksdataene viser litteraturen hovedsakelig til ikke-lineær minste kvadraters regresjonsanalyse ved hjelp av problemløserverktøyet i Excel. Metoden innebærer å løse de ukjente konstantene i masterkurve-, og shiftfaktormodellen samtidig, ved å minimere summen av kvadratavvik (SSE) mellom målte verdier og verdiene oppnådd ved hjelp av den numeriske skifteteknikken. Eksempelvis kan masterkurven konstrueres etter en standard logistisk sigmoidmodell med Arrhenius-funksjonen ved å minimere følgende formel:

$$SSE = \sum \left(E(f, T) - \left(\delta + \frac{(\alpha - \delta)}{1 + e^{\left(\beta + \gamma \left(c_A \left(\frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_R} \right) + \log f \right) \right)}} \right) \right) \quad (18)$$

En gjennomgående årsak til at denne metoden er anvendt, er fordi metoden gir den mest presise tilpasningen til de eksperimentelle dataene, sammenlignet med å bruke de empiriske shiftfaktormodellene direkte. Den numeriske teknikken, som har et høyere antall frihetsgrader enn de empiriske funksjonene, tillater at shiftfaktorenes funksjonelle form bestemmes uten at forholdet mellom $\log(\alpha T)$ og temperatur er basert på forhåndsbestemte funksjonskonstanter (Forough, Nejad og Khodaii, 2014). På denne måten tvinges ikke shiftfaktormodellenes form til masterkurven (Pellinen, Witczak og Bonaquist, 2004).

For å evaluere validiteten til ulike shiftfaktor- og masterkurvemodeller er det enighet i litteraturen om bruk av «goodness-of-fit»-statistikk, for å sammenlikne målte og estimerte verdier. For å måle hvor godt modellene passer med målte verdier henviser litteraturen til ulike statistiske parametere. I tilsvarende studier som denne er de fleste parametere i de påfølgende avsnittene universelle.

2.6.1 Den justerte bestemmelseskoeffisienten (R^2)

Bestemmelseskoeffisienten er en indikasjon på hvor stor del av variansen i de målte dataene som forklares av variansen i de estimerte dataene eller den aktuelle modellen. I denne sammenheng vil den justerte bestemmelseskoeffisienten være gjeldene for å ta hensyn til modellenes frihetsgrader. Høy verdi for justert R^2 indikerer at det er godt samsvar mellom målte og estimerte verdier. «Su *et al.* (2018)» uttrykker justert R^2 med følgende formel:

$$R^2 = 1 - \frac{(n - k - 1)}{(n - 1)} \left(\frac{S_e}{S_y} \right)^2 \quad (19)$$

der

- n er utvalgsstørrelsen
- k er antall konstanter i modellen som skal estimeres
- S_e er standardfeilen til estimatet
- S_y er standardavviket til de målte verdiene

2.6.2 Standardfeilraten

Standardfeilraten «Standard Error Ratio» (SER) er et mål på relativ forbedring i nøyaktigheten til et estimat (Pellinen, Witczak og Bonaquist, 2004). Dermed indikerer en lav verdi, et bedre estimat. «Forough, Nejad og Khodaii (2014)» uttrykker standardfeilraten på følgende måte:

$$SER = \frac{S_e}{S_y} \quad (20)$$

«Su et al. (2018)» foreslår følgende uttrykk for S_e og S_y :

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_1^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n - k - 1}} \quad (21)$$

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_1^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{n - 1}} \quad (22)$$

der

- \hat{y}_i er estimerte verdier for dynamisk E-modul
- y_i er målte verdier for dynamisk E-modul
- \bar{y}_i er gjennomsnittsverdien av de målte verdiene for dynamisk E-modul

2.6.3 Absolutt avvik

«Su et al. (2018)» definerer absolutt avvik som absoluttverdien av differansen mellom målte og estimerte enkeltverdier for dynamisk E-modul. I dette tilfelle brukes parameteren for å sette perspektiv på avviket mellom målte og estimerte verdier, slik at de mest upresise temperatur- og frekvensområdene kan avsløres.

Følgende formel er lagt til grunn:

$$\text{Absolutt}_{\text{avvik}} = |E_m - E_p| \quad (23)$$

der

E_m er en målt enkeltverdi for dynamisk E-modul

E_p er en estimert enkeltverdi for dynamisk E-modul

2.6.4 Variasjonskoeffisienten

Variasjonskoeffisienten (C_v) er et spredningsmål på den relative variasjonen i et datasett (Løvås, 2004). Koeffisienten er definert med følgende formel:

$$C_v = \frac{s}{|\mu|} \quad (24)$$

der

s er det empiriske standardavviket til et datasett

$|\mu|$ er absoluttverdien av gjennomsnittet til datasettet

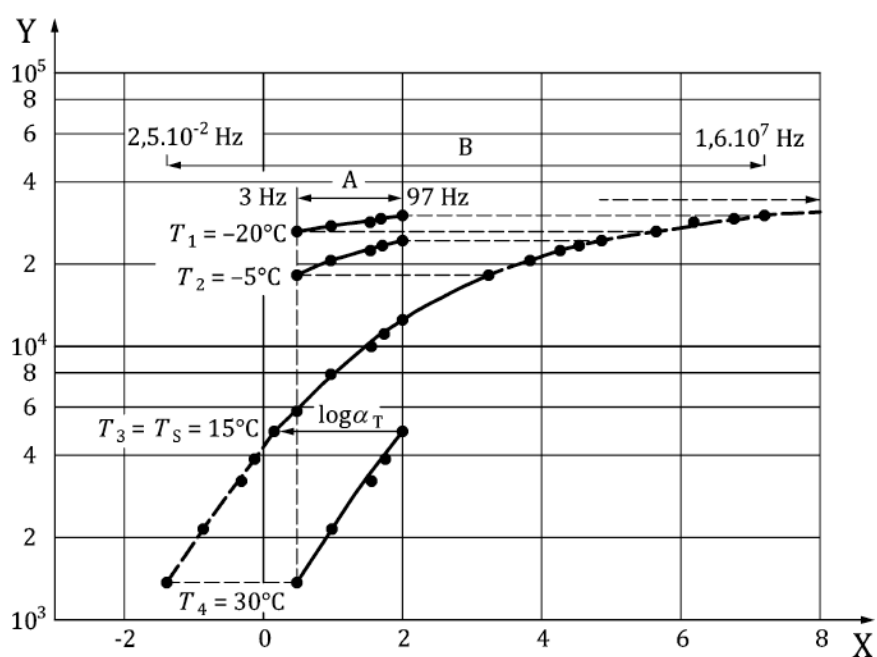
«Angelone *et al.* (2013)» bruker i sin studie om evaluering av ulike prosedyrer og modeller for å konstruere masterkurver av asfaltmaterialer, variasjonskoeffisienten til å avgjøre om det er en statistisk likhet eller ulikhet mellom modellene brukt i studien. Koeffisienten er ikke brukt til å måle statistisk spredning mellom målte og estimerte stivhetsverdier, men mellom modellkonstantene på tvers av de ulike shiftfaktor- og masterkurvemodellene. Dette betyr at $s \neq S_y$ og $\mu \neq \bar{y}_i$.

«goodness-of-fit»-statistikken er hovedsakelig basert på verdier for R^2 og SER. I denne oppgaven vil SSE, absolutt avvik og variasjonskoeffisienten være et supplement til «goodness-of-fit»-statistikken.

2.7 Konstruksjon av masterkurver

Som tidligere nevnt skal forsøksprosedyren i VegDim følge annex F i NS-EN 12697-26. Annex G i samme standard beskriver hvordan masterkurven skal konstrueres og implementeres i forsøkene som er beskrevet i standarden, deriblant syklisk indirekte strekk-forsøk.

Dynamisk E-modul til bituminøse masser kan beskrives ved hjelp av prinsippet om tid-temperatur superposisjon. Dette betyr at masterkurven for kompleksmodulen kan konstrueres ved en referansetemperatur fra eksperimentelle data over et begrenset frekvens- og temperaturintervall, gitt at en shiftfaktor blir brukt til å redusere frekvensen. Hensikten med masterkurven er å bestemme E-modulen for enhver vilkårlig kombinasjon av belastningsfrekvens og temperatur. For å kunne gjøre dette må stivheten måles ved ulike temperaturer og frekvenser. De målte resultatene blir så brukt til å bestemme de nødvendige parameterne i en shiftfaktor- og masterkurvemodell (NS-EN 12697-26, 2018, s. 45). I denne standarden er fremgangsmåten for konstruksjon av masterkurven basert på en Arrhenius-tilnærming. Figur 9 viser prinsipielt hvordan masterkurven konstrueres.



Key

- A eksperimentell rekkevidde
- B rekkevidde dekket av masterkurven
- X $\lg(\alpha_T \cdot f) = f_s$
- Y Stivhet, i MPa

Figur 9: Grafisk fremstilling av hvordan masterkurven konstrueres (NS-EN 12697-26, 2018, s. 45)

2.7.1 Tolkning av superposisjonsprinsippet

Figur 9 illustrerer hvordan prinsippet om tid-temperatur superposisjon kan brukes til å konstruere en masterkurve. I dette tilfelle er et materiales E-modul representert ved ulike temperaturer innenfor et definert tidsrom eller frekvensområde A. Forstørres perspektivet ser man fra figuren at en vilkårlig E-modul kan representeres ved alle de målte temperaturene gitt at det tilrettelegges for tilstrekkelig lang tid eller høy frekvens.

Figur 9 viser at det er utført målinger i et frekvensområde mellom 3 Hz og 97 Hz, altså det samme frekvens(tids)intervallet for alle målingene. Dersom det av praktiske hensyn er nødvendig å finne responsen ved en lavere eller høyere frekvens ved 15 °C slik som vist i figuren, hvordan blir kurveforløpet? Det kan naturligvis utføres eksperimenter ved lavere eller høyere frekvenser. Dette er derimot ikke alltid praktisk mulig, da ethvert utstyr har sine mekaniske begrensinger og kan vanligvis bare gi gyldige data innenfor et bestemt tids- eller frekvensområdet for en bestemt temperatur (Deshpande, 2018).

Gitt at responsen under et forsøk er målt ved ulike temperaturer, vil en løsning være at responsen ved en temperatur T er lik responsen ved en temperatur T_s , men under en annen belastningsfrekvens(tid) (Deshpande, 2018). Figur 9 illustrerer at responsen målt ved en temperatur på 30 °C kan representere stivhetsverdier ved 15 °C under en lavere belastningsfrekvens(tid). Motsatt vil responsen ved -20 °C representere stivhetsverdier ved 15 °C under en høyere belastningsfrekvens(tid).

Dette skyldes at asfaltmaterialers respons blir tilnærmet elastisk når de utsettes for lavere og lavere temperaturer. Tiden det tar for materialet å relaksere øker når temperaturen reduseres, og materialets respons blir mer og mer elastisk. På samme måte vil materialet oppnå en tilnærmet elastisk respons dersom det utsettes for kortere og kortere belastningstider. Kort tid tilsvarer høy frekvens, og på denne måten kan lav temperatur, kort tid og høy frekvens relateres (Deshpande, 2018).

Lav temperatur ↔ kort tid ↔ høy frekvens

Motsatt respons vil oppstå ved høye temperaturer. Når materialet utsettes for høyere og høyere temperaturer vil responsen nærme seg en viskøs respons. Tiden det tar for materialet å relaksere er langt mindre, og det kan sammenliknes med å utføre eksperimenter over lengre tid. Lang tid tilsvarer lav frekvens, og på denne måten kan høy temperatur, lang tid, og lav frekvens relateres (Deshpande, 2018).

Høy temperatur ↔ lang tid ↔ lav frekvens

2.7.2 Teoretisk bakgrunn for konstruksjon av masterkurve etter NS-EN 12697-26: Stivhet, annex G

Følgende teoretiske grunnlag for konstruksjon av masterkurven er basert på en Arrhenius-tilnærming, og vil derfor ikke være representativ for hele oppgavens innhold, da flere alternative shiftfaktormodeller er lagt grunn. Fremgangsmåten som er beskrevet i standarden er ikke fullstendig replikert i denne oppgaven. Hensikten med dette avsnittet er å danne en forståelse av hvordan shiftfaktoren, som beskriver materialets temperaturavhengighet, implementeres i prinsippet om tid-temperatur superposisjon for å konstruere en sammenhengende masterkurve. Alle formler og tolkninger er hentet fra NS-EN 12697-26, annex G (NS-EN 12697-26, 2018, s. 46-47).

Den grunnleggende formelen for masterkurven kan beskrives med Arrhenius-funksjonen, likning (25).

$$\log\left(\frac{f_s}{f}\right) = \log(\alpha T) = C_A * \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_s}\right) \quad (25)$$

C_A -verdien er en eksperimentell konstant som avhenger av den aktiverte energien i asfaltmassen, karakterisert av bindemiddeltype og filler. C_A -verdien i likning (25) kan uttrykkes slik:

$$C_A = \log(e) \frac{\Delta H}{R} = \frac{\Delta H}{2,303 * R} = \frac{b}{2,303} \quad (26)$$

der

C_A	er Arrhenius materialkonstant [$^{\circ}\text{K}$]
T	er forsøksstemperaturen [$^{\circ}\text{K}$]
T_s	er en vilkårlig referansetemperatur [$^{\circ}\text{K}$]
R	er den universelle gasskonstanten [$\text{J} * \text{K}^{-1} * \text{mol}^{-1}$]
ΔH	er aktiveringsenergien [kJ/mole]
αT	er shiftfaktoren [-]
f	er frekvensen ved temperatur T [Hz]
f_s	er frekvensen ved temperatur T_s [Hz]
b	er en konstant avhengig av shiftfaktoren

Stivheten for en konkret asfaltblanding kan bestemmes etter følgende formel:

$$\log(S_{mix}) = \log \eta_0 + \frac{b}{T} \log(e) - \log(t) \quad (27)$$

der

S_{mix}	er stivheten som funksjon av belastningstid og temperatur [MPa]
-----------	--

η_0	er den dynamiske viskositeten [$Pa \cdot s$]
t	er belastningstiden [s]
T	er forsøkstemperaturen [$^{\circ}K$]

Dersom det er målt en E-modul ved en temperatur T_Y , kan verdien for parameteren b beregnes med E-modulen ved en referansetemperatur T_X som har blitt skiftet fra E-modulen ved T_Y , gitt at de er målt under samme belastningsfrekvens(tid). Settes E-modulen S_{mixA} bestemt ved t_1 og temperatur T_X , lik E-modulen S_{mixB} bestemt ved t_2 og temperatur T_Y vil resultatet bli følgende:

$$S_{mixA} = S_{mixB}$$

$$\log \eta_0 + \frac{b}{T_X} \log(e) - \log(t_1) = \log \eta_0 + \frac{b}{T_Y} \log(e) - \log(t_2)$$

$$b \log(e) \left(\frac{1}{T_Y} - \frac{1}{T_X} \right) = \log(t_2) - \log(t_1)$$

$$C_A \left(\frac{1}{T_Y} - \frac{1}{T_X} \right) = \log(t_2) - \log(t_1)$$

$$\frac{b}{2,303} \left(\frac{1}{T_Y} - \frac{1}{T_X} \right) = \log(t_2) - \log(t_1) = \log \left(\frac{t_2}{t_1} \right) = \log \left(\frac{f_1}{f_2} \right) = \log(\alpha T)$$

På denne måten kan b - verdien uttrykkes slik at konstanten C_A kan bestemmes. Konstanten C_A vil være forskjellig for enhver kombinasjon av belastningstid og temperatur. Den må derfor bestemmes ved en kombinasjon av lave temperaturer og høye frekvenser, høye temperaturer og lave frekvenser, og ved en mellomkombinasjon av temperaturer og frekvenser.

For hver temperatur beregnes $\log(\alpha T)$ etter likning (25) med konstanten C_A som ukjent. For hver temperatur skal forsøksfrekvensen f_s skiftes til redusert frekvens f_R etter følgende formel.

$$\log(f_R) = \log(\alpha T * f_s) \quad (28)$$

Ved å anvende en tilpasningsfunksjon (eksempelvis en sigmoidfunksjon (likning (29)) til forsøksdataene for S_{mix} og beregnet $\log(f_R)$, kan en ved bruk av minste kvadraters metode tilpasse dataene med sigmoidfunksjonen for å finne konstanten C_A og funksjonskonstantene S_{min} , S_{amp} , λ og x_{shift} .

$$S_{mix} = S_{min} + \frac{S_{amp}}{1 + e^{-\lambda(\log(f_r) * x_{shift})}} \quad (29)$$

Etter at C_A -verdien er bestemt kan verdier for temperatur og belastningsfrekvens samles i en fiktiv temperatur T_{fict} .

$$T_{fict} = \frac{1}{\frac{1}{T_a + 273} - \frac{\log(f_{char}/f)}{C_A}} - 273 \quad (30)$$

der

T_{fict} er den fiktive asfalttemperaturen der E-modulen skal bestemmes [°C]

T_a er den aktuelle temperaturen [°C]

f_{char} er den karakteristiske frekvensen som er brukt for å bestemme mastekurven [Hz]

f er en vilkårlig frekvens [Hz]

På denne måten kan den dynamiske E-modulen uttrykkes som en funksjon av fiktiv temperatur ved en valgt karakteristisk belastningsfrekvens etter følgende formel.

$$\ln(S_{mix}) = c_1 + c_2 * T_{fict} + c_3 * T_{fict}^2 + c_4 * T_{fict}^3 \quad (31)$$

Ved hjelp av lineær regresjon kan koeffisientene i likning (31) bestemmes.

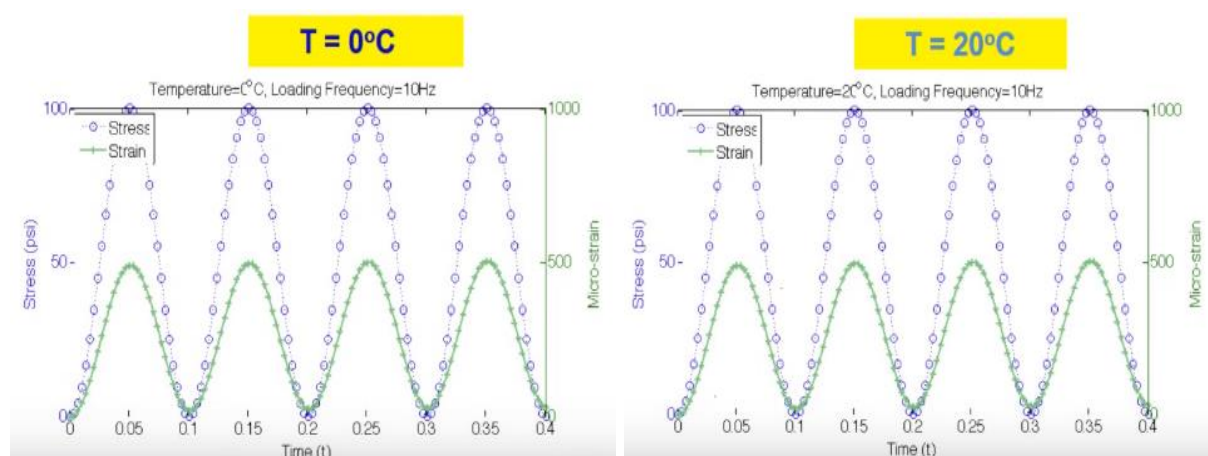
Da det i VegDim er bestemt at forsøket for bestemmelse av dynamisk E-modul skal følge annex F i NS-EN 12697-26 og dermed også standardens forslag til konstruksjon av masterkurve etter annex G, vil det være interessant å sammenlikne denne metoden med modellene som denne oppgaven presenterer. Målet er å oppnå et sammenlikningsgrunnlag som kan beskrive hvordan andre metoder stiller seg i forhold til metoden foreslått av standarden, og om noen av disse kan være mer aktuelle for materialene som skal inngå i den norske materialdatabanken.

2.8 Dynamiske forsøk

På et generelt nivå innebærer et dynamisk forsøk at en materialprøve påføres en syklisk belastning, og at den resulterende tøyningen måles. Dersom det er gitt en bestemt temperatur og belastningsfrekvens, henholdsvis 0 °C og 10 Hz som vist til venstre i Figur 10, kan den dynamiske E-modulen $|E^*|$ beregnes ved å dele påført maksimal belastning på den resulterende maksimale tøyningen etter likning (2).

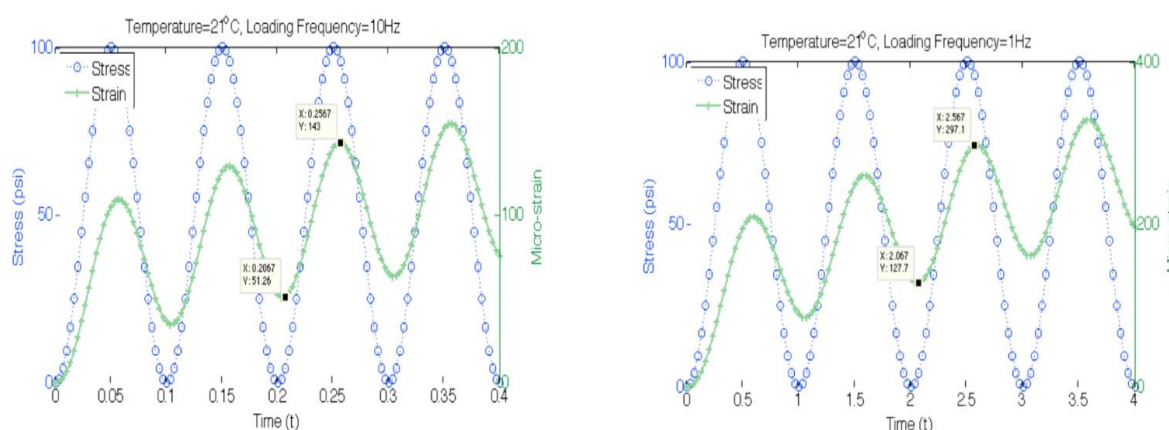
$$|E^*| = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}$$

$$|E^*| = \frac{100 \text{ psi}}{500 \times 10^{-6}} = 200\,000 \text{ psi} \approx 1379 \text{ MPa}$$



Figur 10: Dynamisk forsøk av et elastisk materiale (Kutay, 2015)

Figur 10 viser responsen til et rent elastisk materiale. Prøven påføres en konstant spenning og resulterende tøyning måles. Det kommer tydelig frem at figuren ikke representerer et asfaltmateriale, da tøyningen er uavhengig av temperaturen, og viser en lik stivhetsrespons ved både $T = 0 \text{ °C}$ og $T = 20 \text{ °C}$ (Kutay, 2015).



Figur 11: Dynamisk forsøk av et viskoelastisk materiale (Kutay, 2015)

Figur 11 viser responsen til et viskoelastisk materiale. På samme måte som for det elastiske materialet påføres prøven en konstant spenning og resulterende tøyning måles. Figuren viser hvordan temperaturen påvirker responsen til materialet. Tøyningen er ikke lenger konstant, men øker med tiden t . Figuren viser også tydelig den forsinkede viskoelastiske responsen ettersom tøyningen ikke relaxeres fullstendig, slik som for det

elastiske materialet. Fra figuren kan det observeres at temperaturen holdes konstant, men at belastningsfrekvensen er ulik ved henholdsvis 10Hz og 1 Hz. Ved å beregne den dynamiske E-modulen for de to ulike forsøksprosedyrene kan det illustreres hvordan belastningsfrekvens påvirker stivheten for et viskoelastisk materiale.

Begge forsøkene er utført med samme spenningsnivå, men responderende tøyning må beregnes separat. I figuren er det satt inn et topp- og bunnpunkt på grafene som viser responderende tøyning. Tøyningen for det aktuelle forsøket blir da differansen mellom y-verdien for henholdsvis topp- og bunnpunkt.

Dynamisk E-modul ved $T = 21^{\circ}\text{C}$ og
 $f = 10 \text{ Hz}$

$$|E^*| = \frac{100 \text{ psi}}{(143 - 51) \times 10^{-6}}$$

$$\frac{100 \text{ psi}}{92 \times 10^{-6}} = 1\,086\,957 \text{ psi} \approx 7494 \text{ MPa}$$

Dynamisk E-modul ved $T = 21^{\circ}\text{C}$ og
 $f = 1 \text{ Hz}$

$$|E^*| = \frac{100 \text{ psi}}{(297 - 128) \times 10^{-6}}$$

$$\frac{100 \text{ psi}}{169 \times 10^{-6}} = 591\,716 \text{ psi} \approx 4080 \text{ MPa}$$

Det kommer tydelig frem fra kalkulasjonene hvordan belastningsfrekvens påvirker den dynamiske E-modulen. Utsettes materialet for hurtige påkjenninger vil målte stivhetsverdier være høyere sammenlignet med forsøk som kjøres med lav frekvens. Basert på disse observasjonene kan følgende forhold illustrere hvordan den dynamiske E-modulen til et viskoelastisk materiale påvirkes av temperatur og belastningsfrekvens.

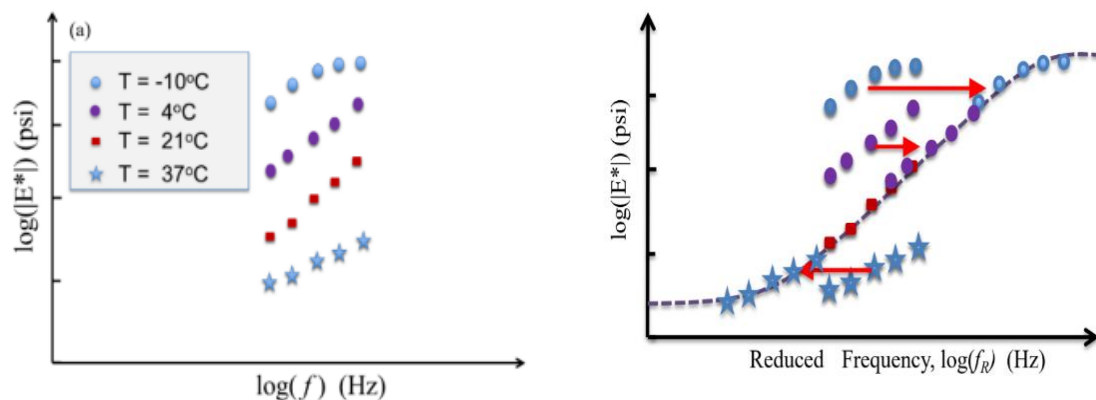
$|E^*| \uparrow$ når temperaturen \downarrow

$|E^*| \uparrow$ når belastningsfrekvensen \uparrow

2.9 Implementering av dynamiske stivhetsdata i masterkurver

Etter at et asfaltmateriale har gjennomgått et dynamisk forsøk over flere temperaturer og belastningsfrekvenser, vil resultatet være ulike stivhetsmålinger ved ulike kombinasjoner av temperaturer og frekvenser. Eksempelvis vil den dynamiske E-modulen ved 0 °C og 5 Hz kunne hentes direkte ut av forsøksresultatene. Hvordan blir fremgangsmåten dersom det er ønskelig å finne stivheten ved 14 °C og 6.5 Hz, eller en annen vilkårlig kombinasjon av temperatur og belastningsfrekvens?

Til venstre i Figur 12 vises et eksempel på plottede verdier for dynamisk E-modul målt ved ulike temperaturer innenfor et bestemt frekvensområde. Dersom stivhetsverdiene målt ved en bestemt temperatur holdes konstant, eksempelvis verdiene målt ved $T = 21\text{ °C}$, kan målte stivhetsverdier ved de andre temperaturene flyttes horisontalt til høyre og venstre slik at det dannes en sammenhengende kurve. Denne prosessen er illustrert til høyre i Figur 12 og bygger på prinsippet om tid-temperatur superposisjon, som ble gjennomgått i avsnitt 2.7.1.



Figur 12: Skissering av prinsippet om tid-temperatur superposisjon (Kutay, 2015)

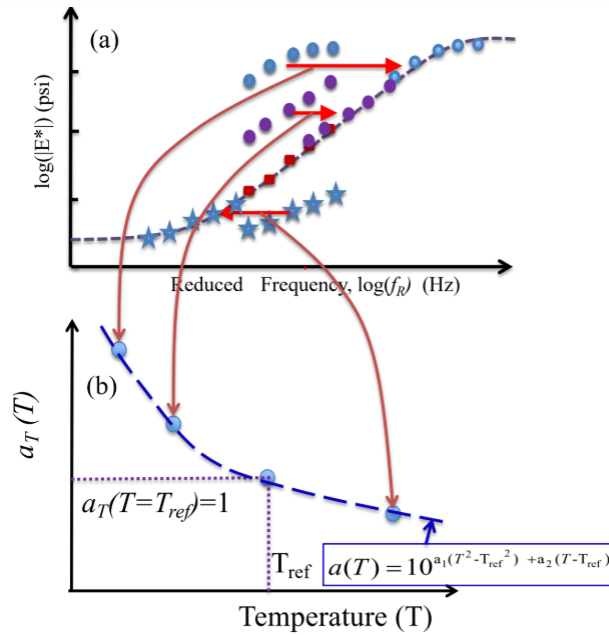
Til kurven kan det nå tilpasses en likning, slik at den dynamiske E-modulen kan bestemmes ved ulike kombinasjoner av belastningsfrekvens og temperatur. Ett eksempel på en slik likning kan være en symmetrisk sigmoidfunksjon som vist under (Angelone *et al.*, 2013).

$$\log(|E^*|) = \delta + \frac{(\alpha - \delta)}{1 + e^{(\beta + \gamma \log(f_R))}}$$

Skal det være mulig å konstruere en slik likning må det kontrolleres hvor mye de ulike verdiene flyttes horisontalt til venstre og høyre. Når verdiene flyttes, erstattes frekvensenheten langs den logaritmiske x-aksen med en enhet kalt redusert frekvens. Reduserte frekvens er definert slik (Angelone *et al.*, 2013).

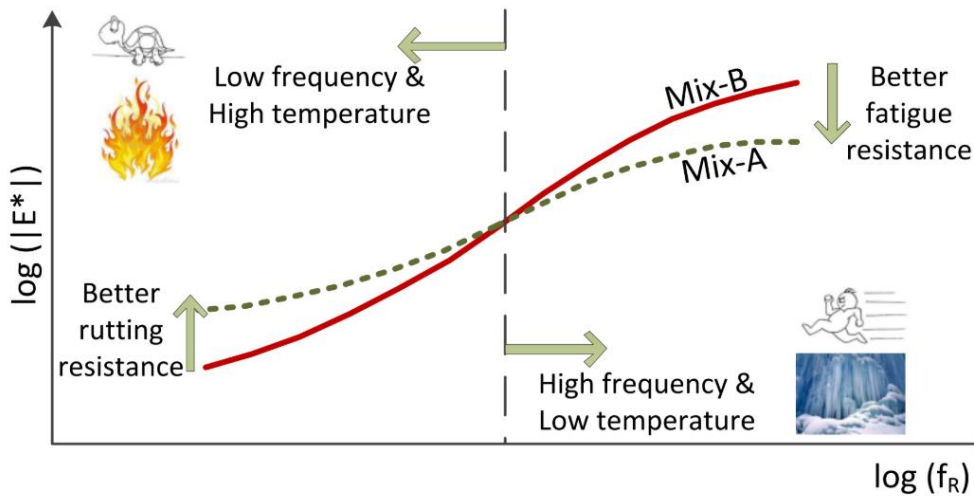
$$f_R = f * \alpha T$$

Redusert frekvens er en multiplisering av frekvensen med konstanten αT som kalles shiftfaktor. Shiftfaktoren er den logaritmiske avstanden mellom verdiene ved opprinnelig frekvens til der verdiene blir en del av masterkurven under redusert frekvens (Kutay, 2015). Shiftfaktoren er en funksjon av temperatur, og beskriver som tidligere nevnt materialets temperaturavhengighet (Angelone *et al.*, 2013). Figur 13 illustrerer sammenhengen mellom shiftfaktorens temperaturavhengighet og den horisontale forflytningen i det reduserte frekvensområdet. I figuren er shiftfaktoren representert av en andregrads polynomfunksjon.



Figur 13: Shiftfaktorens sammenheng med redusert frekvens (Kutay, 2015)

2.9.1 Visualisering av masterkurven



Figur 14: Overordnet tolkning av masterkurvens funksjon (Kutay, 2015)

Som tidligere nevnt er masterkurven en viktig input i et fleksibelt dimensjoneringsystem slik at asfaltens ytelse med tanke på utmatting og deformasjon kan modelleres mer presist. Figur 14 er et godt eksempel på hvordan en masterkurve på et overordnet nivå kan tolkes med tanke på ytelse i både øvre og nedre temperatur- og frekvensområde. Figuren viser forskjellen mellom to idealiserte asfaltblandinger. Figuren er todelt der høyre side representerer høy belastningsfrekvens eller trafikk med høy hastighet, og lav temperatur. På denne siden av frekvensområdet er det ønskelig at materialet har en lavere E-modul, som vanligvis betyr at det er mer fleksibelt og mindre sprøtt. Venstre side representerer lav belastningsfrekvens eller trafikk med lavere hastighet, og høy temperatur. Her er det ønskelig at materialet er så stift som mulig, slik at det etter beste evne kan motstå permanente deformasjoner.

3 Materialer og forsøksprosedyre

3.1 Materialer

Opgavens analysegrunnlag er de fire tyske asfaltmaterialene SMA 11 S, SMA 8 S, AC 11 D S og AC 8 D S. Bokstavene D og S indikerer bruksområdet til materialet, henholdsvis dekkematerialer (D) med spesielle krav (S) (Deutscher Asphaltverband, 2018). Alle materialene er slitelagsmaterialer der SMA tilsvarer norsk skjelettasfalt og AC norsk asfaltbetong. Nødvendige materialdata ble tilsendt fra Tyskland og er lagt som vedlegg 1 til 4. Tyskerne hadde et begrenset antall materialer som de hadde testet for dynamisk E-modul gjennom syklisk indirekte strekk-forsøk. De fire utvalgte materialene ble valgt fordi det kunne trekkes paralleller med tilsvarende norske materialer og norsk metode. Tanken er da at resultatene i denne oppgaven bedre kan implementeres i det norske systemet. I tillegg ga materialutvalget tre sammenlikningsgrunnlag.

Det ene grunnlaget er at utvalget består av to ulike dekkematerialer, henholdsvis skjelettasfalt og asfaltbetong. Skjelettasfalt er den meste brukte dekketyper på høytrafikkerte veger hvor piggdekkslitasjen er stor, og har en finstoff-fattig korngradering uten klart partikkelsprang, med høyt innhold av grovkornig materiale (Nordal *et al.*, 2019, s. 12-13). For at den relativt grovkornige massen skal ha tilstrekkelig stabilitet slik at separasjon og bindemiddelavrenning unngås, er det nødvendig med fibertilsetning (Nordal *et al.*, 2019, s. 13). Fibertilsetning er også vanlig for å øke stivheten og bindemiddeleinholdet i massen uten at det går særlig utover deformasjonsmotstanden til materialet. I dette tilfelle inneholder SMA 8 S cellulosefiber. Ettersom SMA 11 S inneholder polymermodifisert bindemiddel er ikke massen tilsatt fiber. Asfaltbetong er en av de vanligste asfaltdekketyper i både Norge og internasjonalt, og brukes både til slite- og bindlag. På samme måte som skjelettasfalt blir asfaltbetong brukt på høytrafikkerte veger med krav til høy stabilitet og forholdsvis stor motstand mot piggdekkslitasje. I motsetning til skjelettasfalt er asfaltbetong åpen gradert (Nordal *et al.*, 2019, s. 8). Ettersom materialene har forskjellige korngraderinger vil det være mulig å sammenlikne hvordan ulike kombinasjoner av shiftfaktor- og masterkurvmodeller tilpasser seg et mer åpen gradert materiale (SMA) og et mer tett/velgradert materiale (AC). Det skal nevnes at SMA-materialene har et lavere hulrominnhold enn AC-materialene. Dette dokumenteres i de påfølgende avsnittene som presenterer materialdata for hvert materiale.

Materialutvalget består også av materialer med ulik øvre kornstørrelse, henholdsvis 8 og 11 mm. Dette muliggjør et sammenlikningsgrunnlag for innflytelsen øvre kornstørrelse har på den dynamiske E-modulen samt hvordan ulike modeller tilpasser seg denne variasjonen. Det skal nevnes at bindemiddeltypen har langt større betydning for stivheten til et materiale enn øvre kornstørrelse.

Materialutvalget inneholder også ulike bindemiddeltypen, henholdsvis standard bindemiddel 50/70, og modifisert bindemiddel 25/55-55. Polymermodifiserte bindemidler er bitumen som er tilsatt ulike typer polymerer i form av gummi eller plast. Modifiseringen gir bindemiddelet større elastisitet og fleksibilitet, samt bedre vedheftsegenskaper. Det sies ofte at man utvider brukstemperaturområdet til bindemiddelet når man tilsetter polymerer. Med dette menes at bindemiddelet tåler høyere temperaturer om sommeren før det oppstår plastiske deformasjoner, og lavere temperaturer på vinteren før det blir sprøtt og sprekker opp (Nordal og Andersen, 2018, s. 16). Ettersom polymermodifisering gir bindemiddelet fleksible egenskaper over et utvidet temperaturområde er det grunn til å tro at de samme egenskapene vil gjenspeiles i resultatene for dynamisk E-modul. På denne måten vil det oppstå et

sammenlikningsgrunnlag for hvordan modifiserte bindemidler påvirker masterkurven og hvilke modellkombinasjoner som best fanger bindemiddelets egenskaper.

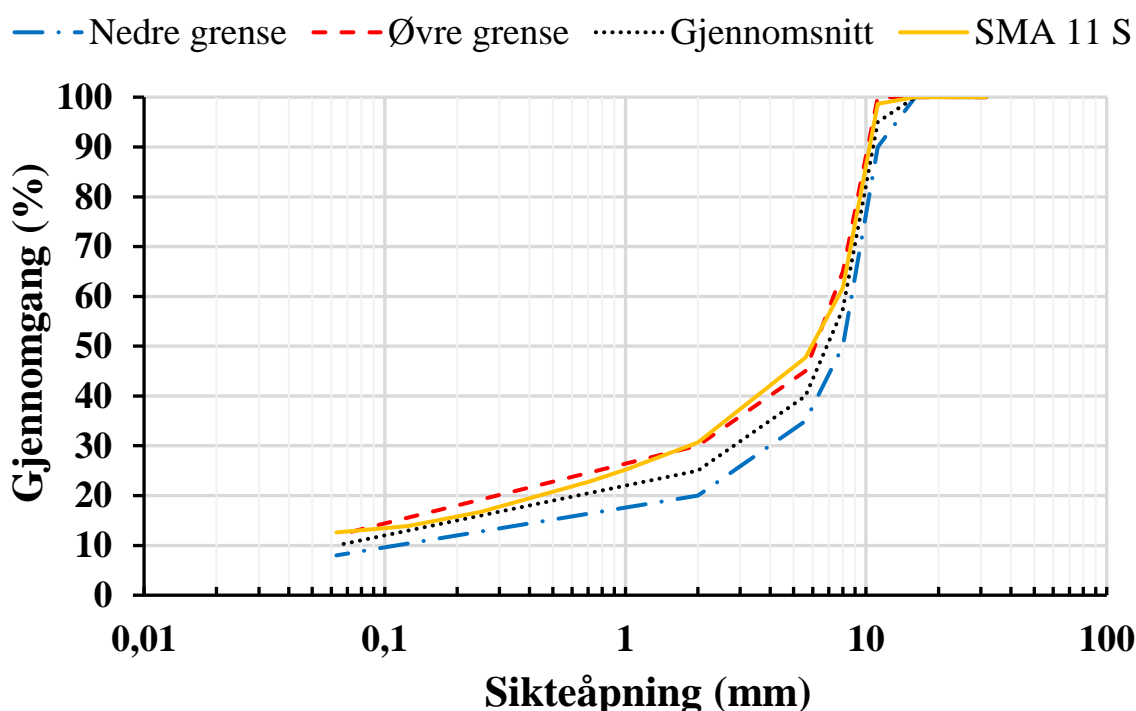
I de påfølgende avsnittene vil et utvalg av materialdata sammen med kornkurven til hvert materiale presenteres. Samtlige materialdata ble tilsendt fra Tyskland og sammenliknes med tyske og norske krav. Norske krav til hulrom ved proporsjonering gjelder for prøvelegemer komprimert ved slagkomprimering med 50 slag pr side (Arnevik *et al.*, 2019). De norske kravene er inkludert for å perspektivere materialsammensetning til de tyske materialene med tilsvarende norske materialer.

3.1.1 SMA 11 S

Tabell 1 viser materialdataene for SMA 11 S med tilhørende krav etter tysk og norsk standard. Massen inneholder polymermodifiserte bindemiddel 25/55-55, og er proporsjonert etter marshallmetoden. Maksimal densitet representerer hele asfaltmassen, mens gjennomsnittlig densitet og hulrom er snittverdien av tre marshallklosser (vedlegg 1). Metode for produksjon av prøver er ukjent. Fra tabellen kan det observeres at tyske krav til bindemiddelinhold og hulrom ikke er tilfredsstillt. Årsaken til dette er ukjent, men uavhengig av årsak er det rimelig å anta at avvik fra kravene kan ha påvirket forsøksresultatene og dermed også vil påvirke resultatene ved konstruksjon av masterkurver. Massen tilfredstiller heller ikke norske krav.

Tabell 1: Materialdata for SMA 11 S. Tyske krav er hentet fra TL Asphalt-StB 07/13 (FGSV, 2020). Norske krav er hentet fra «Retningslinjer asfalt 2019» (Arnevik *et al.*, 2019, s. 36 - 37).

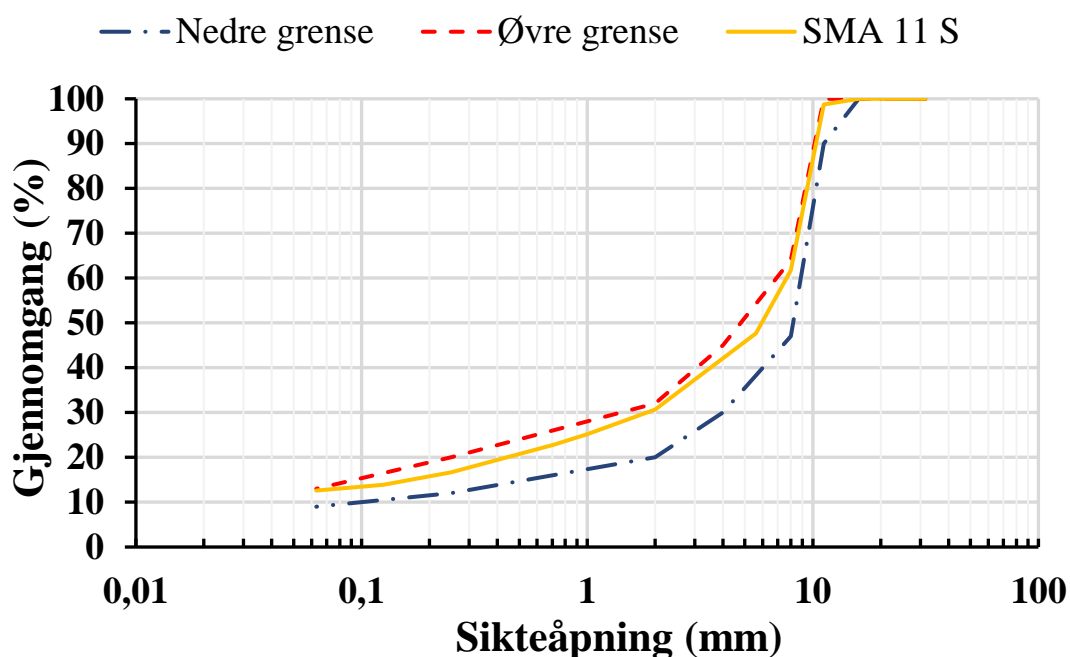
Materialdata	Verdier	Krav etter tysk standard	Krav til Ska 11 g etter norsk standard
Bindemiddelinhold (M.-%)	6,03	Min 6,6	Min 6,2
Maksimal densitet ρ_{mv} (g/cm ³)	2,471	-	-
Gjennomsnittlig densitet ρ_d (g/cm ³)	2,434	-	-
Gjennomsnittlig hulrom (%)	1,5	2,5 - 3,0	2,5 - 6,0



Figur 15: Kornkurve for SMA 11 S. Se vedlegg 1 for tyske krav

Figur 15 viser kornkurven for den aktuelle massen og tilhørende grensekurver for SMA 11 S etter tysk standard. Figuren viser at det aktuelle materialet avviker noe fra øvre grensekurve i størrelsesområdet mellom 2 og 7 mm. Årsaken til dette er også ukjent. Det er vanskelig å si om minimale avvik fra grensekurven har hatt en signifikant påvirkning på forsøksresultatene. Ettersom den ferdige massen avviker relativt betydelig fra kravene til bindemiddelinhold og hulrom, er det rimelig å anta at disse vil ha størst betydning for materialets ytelse med tanke på stivhetsegenskaper.

Figur 16 viser kornkurven for SMA 11 S i forhold til norske krav til grensekurver for Ska g 11. Kornkurven er innenfor de norske kravene. Derimot kan det fra figuren observeres at kurven er mer forskjøvet mot den øvre grensekurven. Kornkurven tilfredsstiller de norske kravene bedre enn de tyske.



Figur 16: Kornkurve for SMA 11 S i forhold til norske krav for Ska 11 g (Arnevik et al., 2019, s. 36)

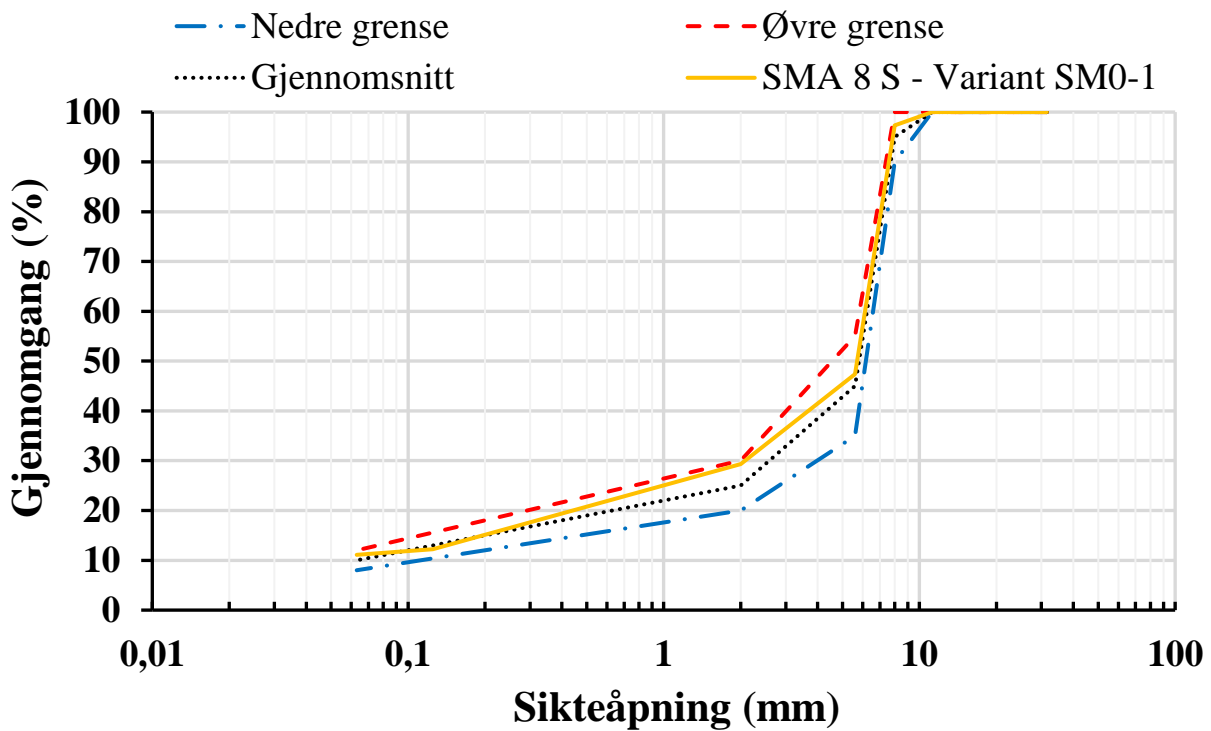
3.1.2 SMA 8 S

Aktuell masse er en variant av SMA 8 S kalt SM0-1 som inneholder 0,3 M.-% cellulosefiber og standard bitumen 50/70. Proporsjonerings- og prøvelagingsmetode er ukjent. Av ukjent årsak kommer det frem fra Tabell 2 at dette materialet også avviker fra de tyske materialkravene. Massens bindemiddelinhold tilfredsstiller derimot norske krav. Ettersom bindemiddelinholdet avviker minimalt er det rimelig å anta at avvikene i denne sammenheng ikke har hatt en betydelig innvirkning på forsøksresultatene, selv om hulrominnholdet avviker i samme grad som for SMA 11 S. Argumentet er at hulrom i asfaltmassen ser ut til å ha større betydning for deformasjonspotensialet enn stivhetsegenskapene til en asfaltmasse (Andersen, 1995, s. 14).

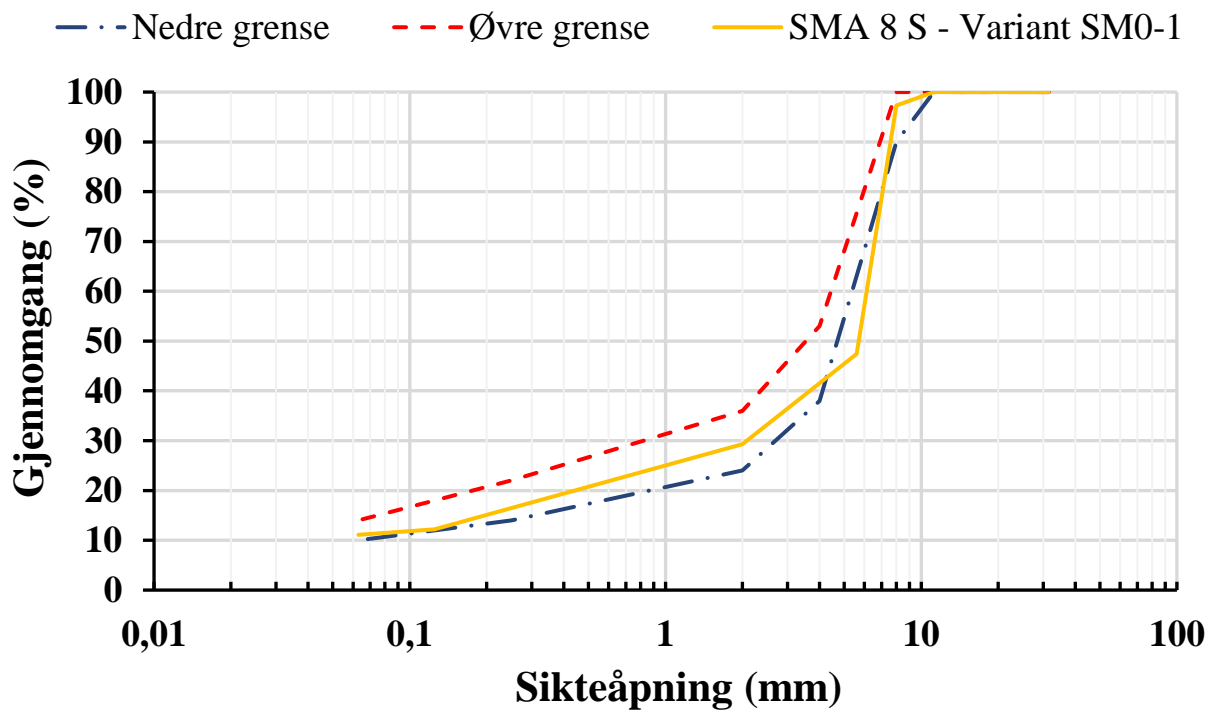
Tabell 2: Materialdata for SMA 8 S. Se vedlegg 2 for tyske krav. Norske krav er hentet fra «Retningslinjer asfalt 2019» (Arnevik et al., 2019, s. 36 - 37).

Materialdata	Verdier	Krav etter tysk standard	Krav til Ska 8 etter norsk standard
Bindemiddelinhold (M.-%)	7,11	Min 7,2	Min 6,4
Maksimal densitet ρ_{mv} (g/cm ³)	2,477	-	-
Gjennomsnittlig densitet ρ_d (g/cm ³)	2,443	-	-
Gjennomsnittlig hulrom (%)	1,4	2,5 - 3,0	2,5 - 6,0

Figur 17 viser kornkurven til den aktuelle massen med tilhørende grensekurver for SMA 8 S etter tysk standard. Fra figuren kan det observeres at den aktuelle varianten er innenfor grensekurvene.



Figur 17: Kornkurve for SMA 8 S. Se vedlegg 2 for tyske krav.



Figur 18: Kornkurve for SMA 8 S i forhold til norske krav for Ska 8 (Arnevik et al., 2019, s. 36)

Figur 18 viser kornkurven for SMA 8 S i forhold til norske krav til grensekurver for Ska 8. Materialsammensetningen avviker noe fra den nedre grensekurven i størrelsesområdet mellom 4 og 8 mm. I motsetning til SMA 11 S er kornkurven for SMA 8 S i forhold til norske krav, forskjøvet mer mot den nedre grensekurven. I denne sammenheng tilfredsstillers kornkurven de tyske kravene bedre enn de norske.

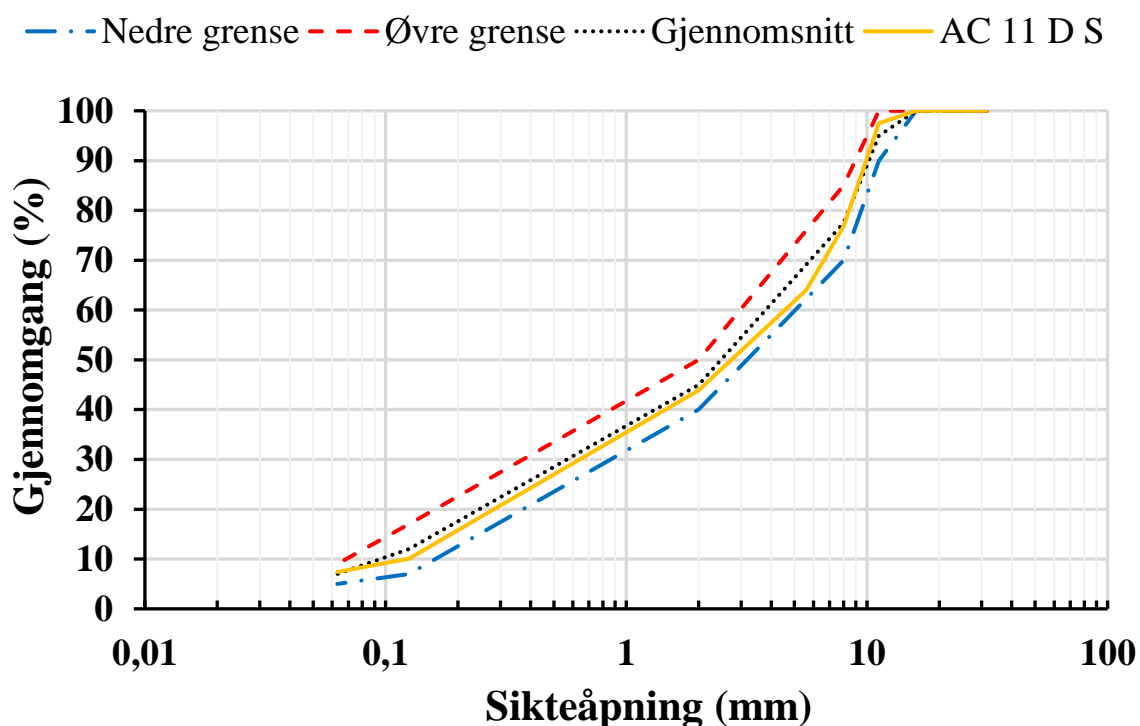
3.1.3 AC 11 D S

Av tilsendte materialdata for AC 11 D S er de viktigste presentert i Tabell 3. Massen inneholder polymermodifisert bindemiddel 25/55-55. Proporsjonerings- og prøvelagingsmetode er ukjent. Selv om massens bindemiddelinnhold avviker med 0,1 M.-% fra kravene, vil det være rimelig å anta at massen tilfredsstillers både norske og tyske krav, og at materialets faktiske ytelsesevne kan forventes.

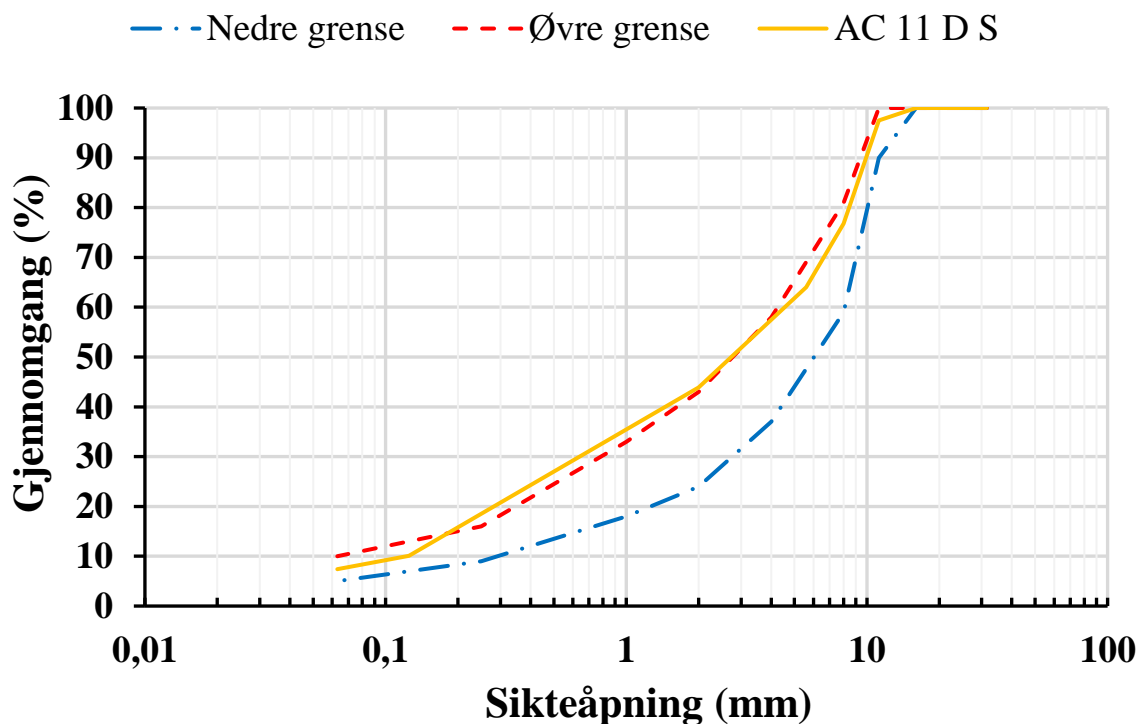
Tabell 3: Materialdata for AC 11 D S. Se vedlegg 3 for tyske krav. Norske krav er hentet fra «Retningslinjer asfalt 2019» (Arnevik et al., 2019, s. 34 - 35).

Materialdata	Verdier	Krav etter tysk standard	Krav til Ab 11 etter norsk standard
Bindemiddelinnhold (M.-%)	5,9	Min 6,0	Min 6,0
Maksimal densitet ρ_{mv} (g/cm ³)	2,529	-	-
Gjennomsnittlig densitet ρ_d (g/cm ³)	2,460	-	-
Gjennomsnittlig hulrom (%)	2,7	2,5 - 3,5	2,5 - 5,5

Figur 19 viser kornkurven til den aktuelle massen med tilhørende grensekurver for AC 11 D S etter tysk standard. Tilslagssammensetningen ligger innenfor kravet.



Figur 19: Kornkurve for AC 11 D S. Se vedlegg 3 for tyske krav.



Figur 20: Kornkurve for AC 11 D S i forhold til norske krav for Ab 11 (slitelag) (Arnevik et al., 2019, s. 34 - 35).

Figur 20 viser kornkurven for AC 11 D S i forhold til norske krav til grensekurver for Ab 11 (slitelag). Kornkurven avviker noe fra den øvre grensekurven i størrelsesområdet mellom 0,2 og 2 mm. I denne sammenheng tilfredsstiller kornkurven de tyske kravene bedre enn de norske.

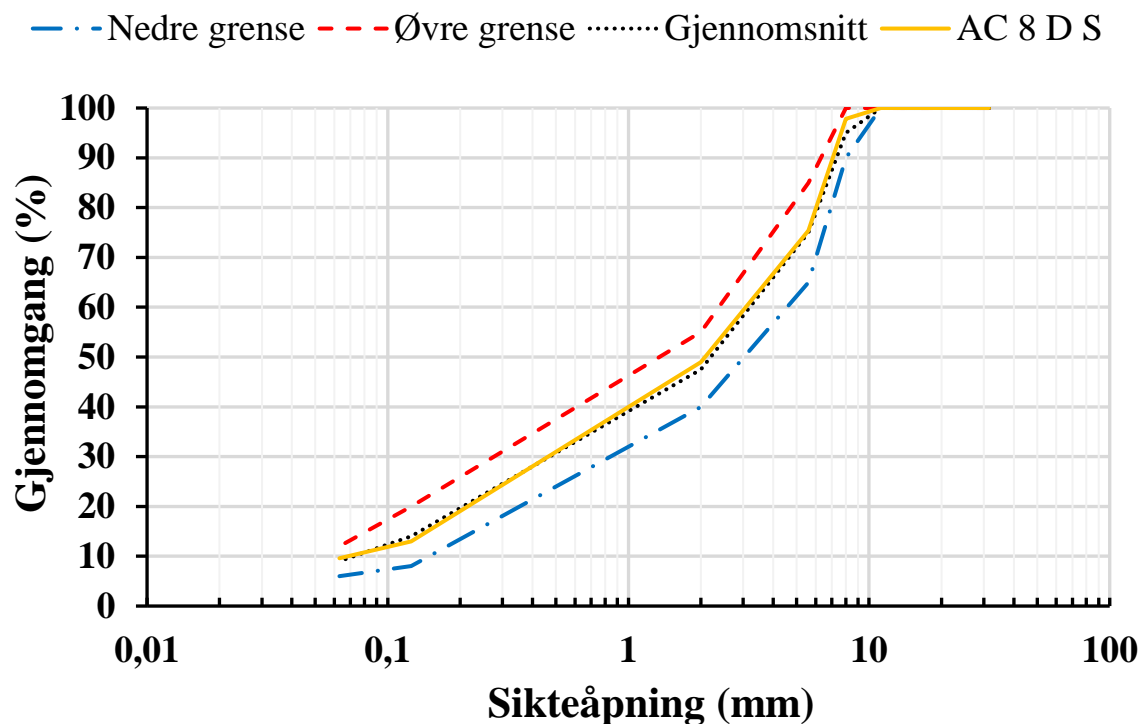
3.1.4 AC 8 D S

For AC 8 D S er de utvalgte materialdataene presentert i Tabell 4. Massen inneholder standard bitumen 50/70. Proporsjonerings- og prøvelagingsmetode er også ukjent for dette materialet. Fra tabellen kan det observeres at de tyske kravene er tilfredsstilt, men massen tilfredsstiller ikke krav til bindemiddelinhold for norsk Ab 8.

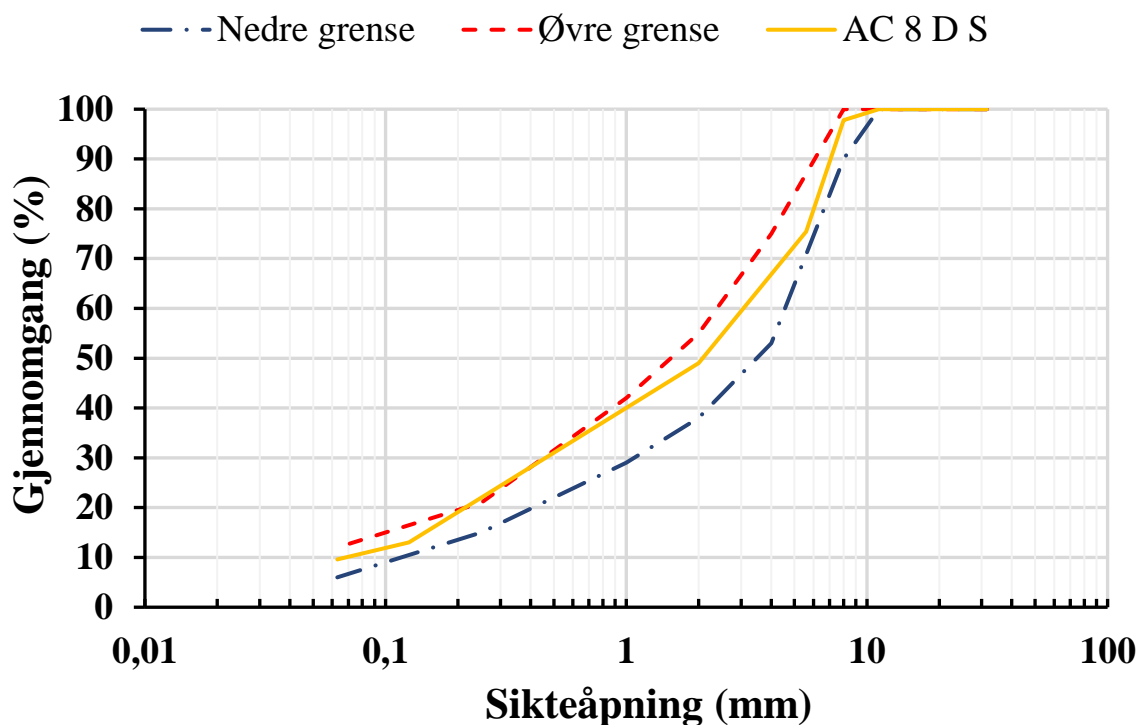
Tabell 4: Materialdata for AC 8 D S. Se vedlegg 4 for tyske krav. Norske krav er hentet fra «Retningslinjer asfalt 2019» (Arnevik et al., 2019, s. 34 - 35)

Materialdata	Verdier	Krav etter tysk standard	Krav til Ab 8 etter norsk standard
Bindemiddelinhold (M.-%)	6,20	Min 6,20	Min 6,30
Maksimal densitet ρ_{mv} (g/cm ³)	2,429	-	-
Gjennomsnittlig densitet ρ_d (g/cm ³)	2,352	-	-
Gjennomsnittlig hulrom (%)	3,2	2,0 - 3,5	2,5 - 5,5

Figur 22 viser kornkurven til den aktuelle massen med tilhørende grensekurver for AC 8 S etter tysk standard. Fra figuren kan det observeres at materialet ligger innenfor grenskurvene, nærmest identisk med gjennomsnittskurven.



Figur 22: Kornkurve for AC 8 D S. Se vedlegg 4 for tyske krav.



Figur 21: Kornkurve for AC 8 D S i forhold til norske krav for Ab 8 (slitelag) (Arnevik et al., 2019, s. 34 - 35)

Figur 21 viser kornkurven for AC 8 D S i forhold til norske krav til grensekurver for Ab 8 (slitelag). Tilslagssammensetning avviker smått fra den øvre grensekurven i størrelsesområdet mellom 0,2 og 0,3 mm. Utenom dette er kornkurven innenfor de norske kravene. Fra figuren kan det observeres at kurven generelt er forskjøvet mer mot den øvre grensekurven. Til tross for at kurven bortimot er innenfor kravene, tilfredsstiller tilslagssammensetning de tyske kravene bedre enn de norske.

3.2 Forsøksprosedyre

I dette delkapittelet vil det bli gjennomgått hvordan forsøksdataene ble målt og bearbeidet til stivhetsverdier. Dataene ble mottatt i Excel-format og var presentert på følgende måte.

Tabell 5: Eksempel på hvordan tilsendte data var presentert i Excel-ark

Prøve nr. (ID)	Temperatur [°C]	Frekvens [Hz]	E-modul [MPa]
D2-1-06	-10	10	25 735,90
D2-1-06	-10	5	25 632,60
D2-1-06	-10	3	24 458,30
D2-1-06	-10	1	22 567,80
D2-1-06	-10	0,3	20 688,80
D2-1-06	-10	0,1	19 009,30

For hver temperatur og frekvens inneholdt Excel-arket verdier for dynamisk E-modul. Derimot var det ingen verdier fra forsøkets rådata, henholdsvis påført kraft og målt horisontal deformasjon. Disse dataene er ikke relevant for denne oppgaven, men fremgangsmåten for hvordan disse ble målt og bearbeidet gjennom forsøk i laboratoriet er aktuelt for å dokumentere det helhetlige arbeidet.

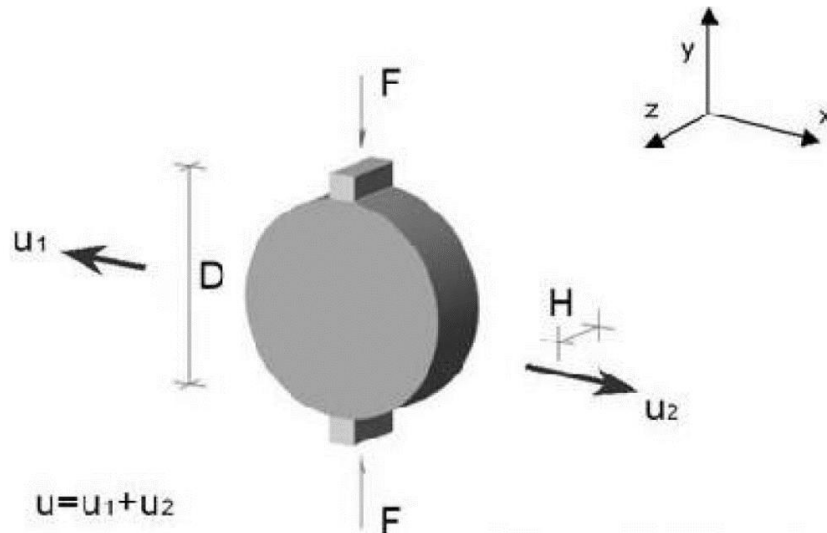
Forsøksdataene ble målt og bearbeidet basert på den tyske standarden «TP ASPHALT-StB: Teil 26». Standarden beskriver fremgangsmåten for bestemmelse av stivhet som funksjon av temperatur og frekvens ved utførelse av syklisk indirekte strekk-forsøk. Grunnlaget for forsøket, som innebærer at sylindriske prøver påføres et indirekte strekk med en syklisk belastningsform, er hentet fra annex F i DIN-EN 12697-26: 2016-01. Aktuell standard er basert på den tyske utgaven av NS-EN 12697-26, og det kunne derfor trekkes paralleller mellom den norske og tyske standarden. Den tyske standarden ble oversatt til engelsk ved hjelp av oversettelsesprogrammet Deepl.

Deepl er et anerkjent og relativt presist oversettelsesprogram, men er på samme måte som de fleste oversettelsesprogrammer preget av upresise oversettelser som setter tekstens innhold ut av kontekst. Ettersom den tyske standarden er basert på samme utgangspunkt som den norske, muliggjorde dette en kvalitetssikring av den oversatte versjonens innhold. På denne måten kunne det trekkes paralleller mellom den tyske metoden og den planlagte norske metoden for testing og konstruksjon av masterkurve for dynamisk E-modul. Det skal nevnes at den tyske standardens innhold er tilpasset metoden som tyskerne har valgt, og inneholder derfor mer detaljerte beskrivelser av forsøksprosedyre og beregninger enn NS-EN 12697-26. Fordelen med dette er at den tyske fremgangsmåten kan være til inspirasjon for den norske metoden som fortsatt er under utvikling. Til tross for dette følger ikke fremgangsmåten som er valgt for konstruksjon av masterkurver i denne oppgaven den tyske metoden slavisk. Den tyske standarden har mer en veiledende funksjon.

Da forsøksdataene ikke ble komplementert med en detaljert beskrivelse av forsøksutførelsen, er det i denne oppgaven antatt at innholdet i den tyske standarden er den faktiske prosedyren som ble gjennomført både før og under testing. Ettersom standarden inneholder minimumskrav og ukonkrete spesifikasjoner (eksempelvis tidsintervaller) vil ikke alt av standardens innhold være korrekt i forhold til faktisk utførelse. Uavhengig av dette vil standardens utførelsesprosedyre gi et solid grunnlag for hvordan forsøksdataene ble målt. I de påfølgende avsnittene vil standardens beskrivelse av forsøksprosedyren bli presentert. Tekstinhold og figurer er hentet direkte fra den tyske standarden (FGSV, 2018).

3.2.1 Forsøksprinsipp

I et indirekte strekk-forsøk påføres en sylindrisk prøve en sinusformet belastning via to kontaktflater som er plassert på prøvens ytre overflate, diametralt fra hverandre. Belastningen blir overført som stripelaster langs prøvens høyde. Prinsippet illustreres i Figur 23.

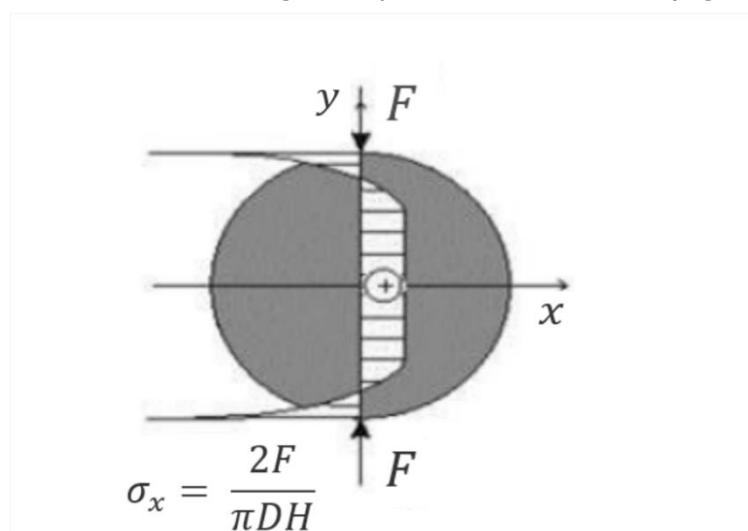


Figur 23: Prinsippet bak et indirekte strekkforsøk (FGSV, 2018)

der

- F er den vertikale belastningen [N]
- u er den total horisontale deformasjonen [mm]
- H er prøvens høyde [mm]
- D er prøvens diameter [mm]

Når prøven belastes induseres det en direkte vertikal trykkspenning som varierer langs prøvens vertikale akse. Dette resulterer i en indirekte horisontal strekkspenning, som er konstant over nesten hele utstrekningen av prøvens vertikalakse (Figur 24).



Figur 24: Horisontal spenningskurve i prøven (FGSV, 2018)

På bakgrunn av den påførte vertikale lasten F , og den resulterende tverrgående horisontale tøyningen u , kan stivheten beregnes.

3.2.2 Utstyr

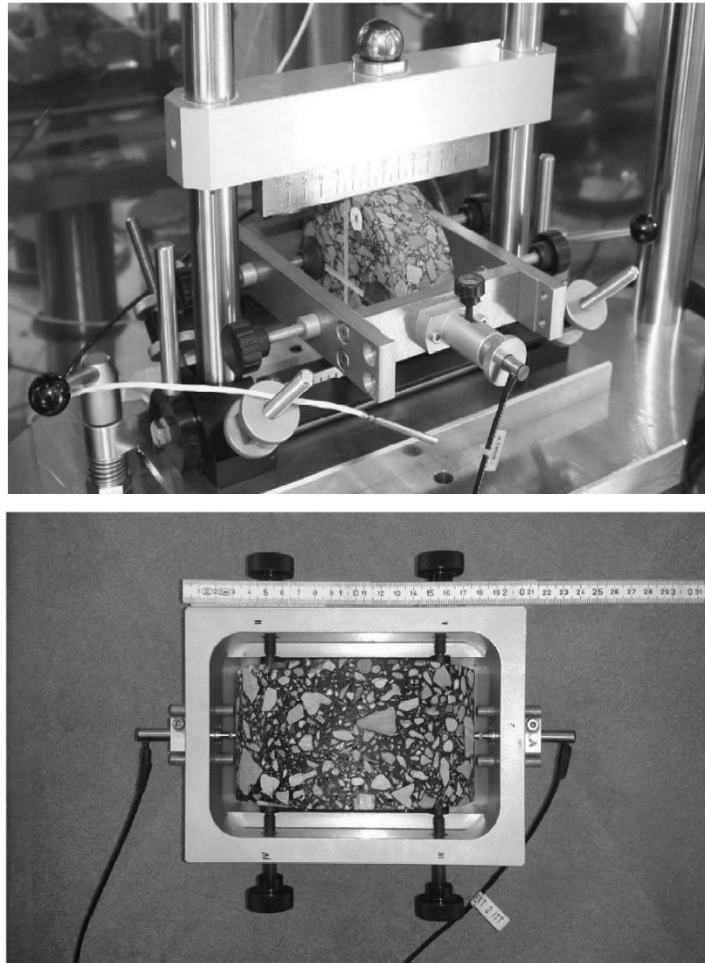
For å utføre forsøket ble et kalibrert servo-pneumatisk system tatt i bruk. Som et minimum må forsøksmaskinen kunne produsere en sinusformet belastning (se delkapittel 2.2 for visualisering av sinusformet belastning) med en dynamisk amplitude på minst 20 kN med et frekvensspenn mellom 0,1 og 10 Hz.

Forsøksmaskinen er utstyrt med et temperaturkammer som kan holde en konstant temperatur under forsøket med en nøyaktighet på 0,5 K. Et minstekrav til temperaturkammeret er at det dekker et spenn fra -10 til +20 °C. Figur 25 viser en Nottingham Asphalt Tester (NAT) som er et anerkjent universalt servo-pneumatisk forsøksutstyr, brukt blant annet til testing av dynamisk E-modul for asfaltmaterialer. NAT skal brukes til testing av norske asfaltmaterialer i VegDim.



Figur 25: Nottingham Asphalt Tester (Technology, 2020)

Videre viser Figur 26 rammesystemet som sørger for at prøven er fastspent og plassert riktig slik at den belastes jevnt under forsøket. Figuren viser også hvordan de induktive forskyvningssensorene også kalt «linear variable displacement transducer» (LVDT) som registrerer den horisontale deformasjonen, er plassert diametralt på ytterkanten sentralt i forhold til prøvens høyde og diameter.



Figur 26: Eksempel på måling av horisontal deformasjon – Øverst: Oppsett av rammesystem med laststempel, tøyingsmåler og ekstensometer – Nederst: Ramme med LVDT'er og pinolskruer for å holde rammens posisjon fast i forhold til prøven (FGSV, 2018).

3.2.3 Prøver

For å konstruere masterkurven for dynamisk E-modul til et asfaltmaterialet, stiller standarden krav til at minst tre prøver skal testes for hver forsøksstemperatur. I tillegg skal en ekstra prøve testes i forkant av forsøket for å estimere nødvendige belastningsforhold. Prøvene kan enten være produsert etter laboratorieprosedyrer som gyrotorkompaktor og Marshallkompaktor, eller borkjerner fra flak, kompaktet med «roller compactor». Prøvene kan også være borkjerner fra felt. I denne sammenheng er metoden for produksjon av prøver ikke kjent. Prøvenes dimensjoner og geometri er bestemt ut fra asfaltblandingens øvre kornstørrelse. I dette tilfelle er det kun aktuelt med materialer der øvre kornstørrelse er <16 mm, som betyr at prøvenes dimensjoner er henholdsvis Ø100 mm og H40 mm. Selv om prøvedimensjonene skal være like uavhengig av produksjonsmetode, er det verdt å nevne at ulike produksjonsmetoder kan influere forsøksresultatene på forskjellige måter. Det er derimot trolig at prøvene ikke er produsert etter Marshallmetoden, da standard Marshallutstyr gir prøver med diameter og høyde på omtrent 101,6 mm og 64 mm, som er vanskelig å kappe slik at dimensjonene tilfredsstillende kravene i standarden.

Standarden stiller krav til at prøvene skal være lagret mellom 14 til 42 dager før de kan testes. Det ble ikke presisert hvor lenge prøvene var lagret før de ble testet, men den faktiske lagringstiden ligger innenfor det nevnte tidsintervallet. Varigheten av lagringstiden kan influere prøvenes mekaniske egenskaper.

3.2.4 Fremgangsmåte

Etter at prøvene er lagret i aktuell lagringstid mellom 14 og 42 dager kan testingen starte. Først ble det utført et innledende forsøk for å bestemme øvre belastningsnivå for hver temperatur og belastningsfrekvens. Det belastningsnivået som ga en initial horisontal tøyingsamplitude i senter av prøven på omtrent 0,075 ‰ ble valgt som øvre belastningsnivå for den aktuelle temperaturen og frekvensen. Dette ble gjort for å sikre at tøyningen i de tre prøvene som skulle testes lå innenfor kravet til horisontal elastisk tøyning mellom 0,05 ‰ og 0,10 ‰.

Prøven som skal testes, festes og posisjoneres i rammesystemet etter instruks i forsøksmanual eller maskinens brukermanual, slik at tilhørende datasystem kan kontrollere at sentreringen gir et tilstrekkelig utgangspunkt for systemet som måler deformasjon (Figur 26). Videre plasseres den monterte prøven i temperaturkammeret for temperering til aktuell starttemperatur. For hver forsøkstemperatur belastes prøven kontinuerlig med en definert øvre og nedre belastning over et definert spenn av frekvenser. Målte verdier for last og deformasjon, og antall lastrepetisjoner registreres synkront med tilsvarende tidsmålinger. Følgende temperaturer -10 °C, 5 °C, 20 °C, 35 °C og belastningsfrekvenser 10 Hz, 5 Hz, 3 Hz, 1 Hz, 0,3 Hz, og 0,1 Hz er lagt til grunn for testing av SMA 11 S. For de resterende asfaltmaterialene er følgende temperaturer -10 °C, 5 °C, 20 °C og belastningsfrekvenser 10 Hz, 3 Hz, 1 Hz, 0,3 Hz og 0,1 Hz lagt til grunn. For SMA 11 S ble tre prøver testet, mens for de resterende materialene var fire prøver grunnlaget for testingen. Årsaken til hvorfor SMA 11 S gjennomgikk en litt annerledes forsøksprosedyre, var fordi materialet var et av de første som ble testet i tilknytning til det tyske forskningsprogram. Basert på erfaringer fra innledende testing, ble det vurdert at det kunne gjøres tidsbesparinger ved å redusere antall forsøkstemperaturer og belastningsfrekvenser samtidig som prøveantallet ble økt med en prøve. Det mest tidkrevende er temperering av prøver med tilhørende belastningssekvenser, og dersom det kan kjøres parallell testing av to prøver samtidig vil det være svært tidsbesparende å redusere antall forsøkstemperaturer og belastningsfrekvenser.

Under forsøket ble følgende verdier registrert kontinuerlig:

- $F(t)$ er den aksielle belastningen [N]
- $u(t)$ er den horisontale deformasjonen [mm]
- N_i er antall belastningssykluser [-]
- t er tiden [s]

3.2.5 Beregninger

Funksjonsuttrykkene som presenteres i dette avsnittet er ikke brukt til beregninger og modelleringer i denne oppgaven. Allikevel er det valgt å presentere uttrykkene for å danne en forståelse av hvordan den dynamiske E-modulen ble utledet basert på rådata fra utførte forsøk.

Maksimal strekkspenning i senter av prøven ble beregnet etter følgende formel.

$$\sigma_x = \frac{2F}{\pi DH} \quad (32)$$

der:

σ er den horisontale dynamiske strekkspenningen i senter av prøven [MPa]

F er den aksielle dynamiske belastningen [N]

D er prøvens diameter [mm]

H er prøvens høyde [mm]

For å beregne den dynamiske E-modulen må differansen mellom både maksimal og minimal kraft og horisontal deformasjon bestemmes. Etter den tyske standarden gjøres dette ved å utlede tilnæringsfunksjoner for de målte verdiene for kraft og deformasjon etter minste kvadraters metode. Til dette formålet brukes verdier målt ved fem påfølgende belastningssykluser (Figur 27). For hver forsøkstemperatur og belastningsfrekvens skal antall belastningssykluser spesifisert i Tabell 6 påføres prøvene. Kolonnen helt til høyre indikerer ved hvilke sykluser belastningsendringen skal evalueres.

Tabell 6: Antall belastningssykluser ved utførelse av stivhetsforsøket (FGSV, 2018)

Belastningsfrekvens f [Hz]	Antall belastningssykluser N [-]	Evaluering av belastnings- endringen
10,0	110	98 til 102
5,0	100	93 til 97
3,0	50	43 til 47
1,0	20	13 til 17
0,3	15	8 til 12
0,1	10	3 til 7

Følgende regresjonsmodell er brukt for å modellere påført belastning F :

$$F(t) = A + B \sin(2\pi ft + C) \quad (33)$$

der

$F(t)$ er den aksielle dynamiske belastningen [N]

f er belastningsfrekvensen [Hz]

t er tiden når de målte verdiene registreres [s]

A er den absolutte komponenten i den sinusformede belastningen [N]

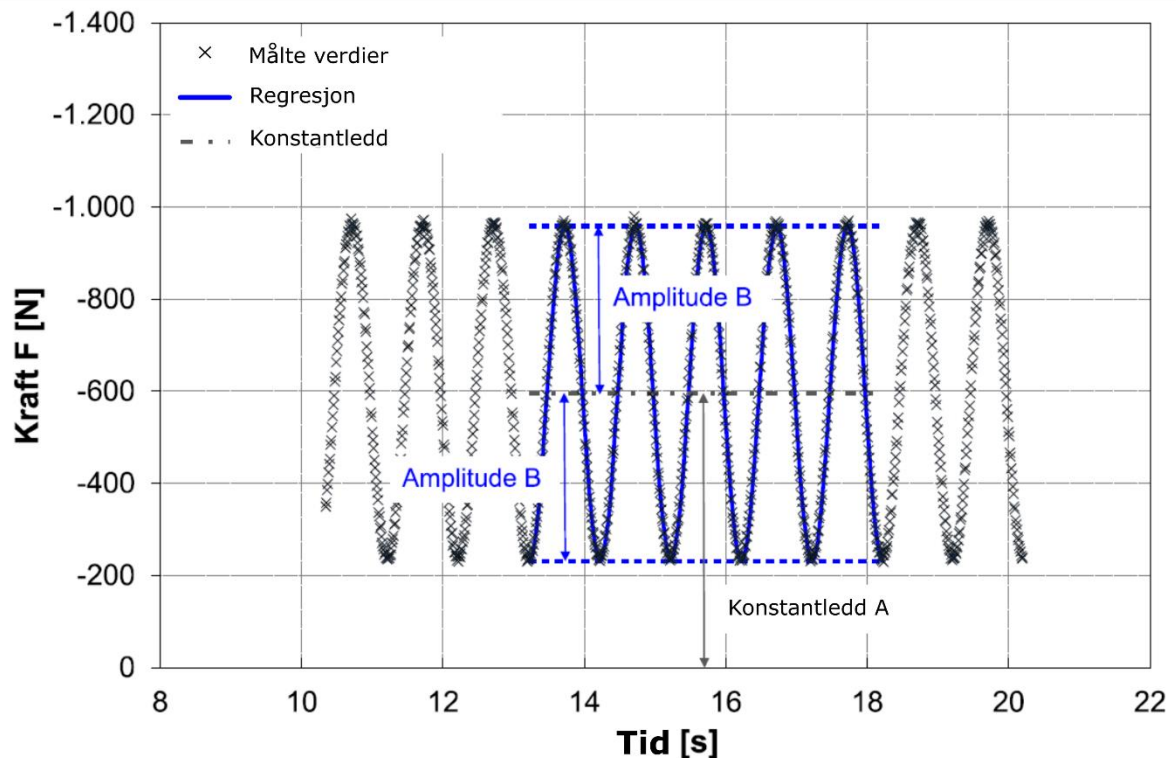
B er halve amplituden til den sinusformede belastningen [N]

C er fasevinkelen til den sinusformede belastningen [rad]

Forsøk med $R^2 \leq 0,99$ skal forkastes.

Differansen mellom maksimal og minimal kraft ΔF beregnes etter følgende formel:

$$\Delta F = 2B \quad (34)$$



Figur 27: Eksempel på bestemmelse av regresjonsparameterne for påført kraft F (FGSV, 2018)

Ved bestemmelse av regresjonsmodellen for horisontal deformasjon må både den permanente plastiske og reversible viskøse deformasjonskomponenten tas hensyn til. Dette gjøres ved å inkludere et lineært element i sinustilnærmingen, som tar hensyn til deformasjonsresponsen til prøven under belastning og avlastning (Figur 28). Dette gir følgende modell:

$$u(t) = a + b \sin(2\pi ft + c) + d * t \quad (35)$$

der

$u(t)$ er den totale horisontale deformasjonen [mm]

a er den absolutte deformasjonskomponenten i den sinusformede horisontale deformasjonen [mm]

b er halve amplituden til den sinusformede horisontale deformasjonen [mm]

c er fasevinkelen til den sinusformede horisontale deformasjonen [rad]

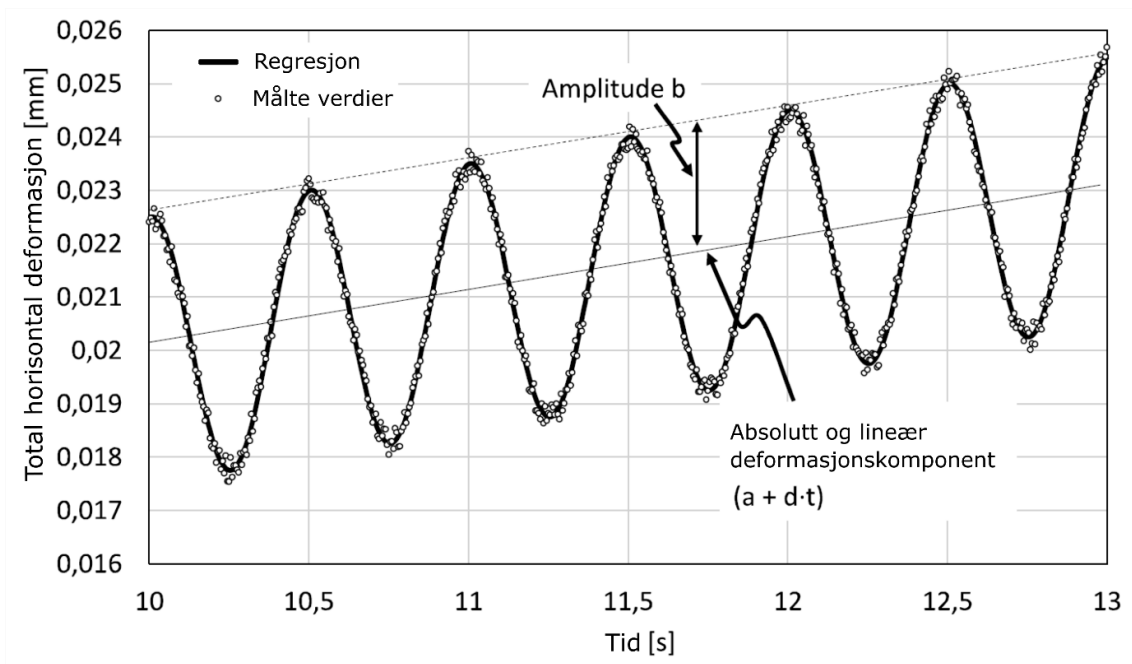
d er den lineære deformasjonskomponenten i den sinusformede horisontale deformasjonen [mm/s]

Forsøk med $R^2 \leq 0,99$ skal forkastes.

Det er rimelig å tro at C- og c-verdien fra henholdsvis likning (33) og (35) er den samme vinkelen, selv om standarden opererer med ulike symbol og beskrivelser. I delkapittel 2.2 er det beskrevet at det under dynamisk belastning oppstår en faseforskyvningen mellom spenning og resulterende tøyning, og ikke en egen separat vinkel/faseforskyvning for begge.

Differansen mellom maksimal og minimal horisontal deformasjon Δu for en gitt belastningspuls beregnes etter følgende formel:

$$\Delta u = 2b \quad (36)$$



Figur 28: Eksempel på bestemmelse av regresjonsparameterne for total horisontal deformasjon u (FGSV, 2018)

På bakgrunn av dette beregnes den dynamiske E-modulen etter følgende formel:

$$|E^*| = \frac{\Delta F}{\Delta u * H} * \left(\frac{4}{\pi} - 1 + \nu \right) \quad (37)$$

der

- $|E^*|$ er den dynamisk E-modulen [MPa]
- ΔF er differansen mellom maksimal og minimal belastning [N]
- Δu er differansen mellom maksimal og minimal horisontal deformasjon [mm]
- ν er tverrkontraksjonstallet [-]

Tverrkontraksjonstallet ble beregnet som en funksjon av temperatur på følgende måte:

$$\nu = 0,15 + \frac{0,35}{1 + e^{[1,83034 - 0,07619 * T]}} \quad (38)$$

Den elastiske horisontale tøyning generert som følge av påført belastning i senter av prøven, ble beregnet etter følgende formel:

$$\varepsilon_{el} = \frac{2 * \Delta u}{D} * \frac{(1 + 3 * \nu)}{(4 + \pi * \nu - \pi)} * 1000 \quad (39)$$

der

ε_{el} er den elastiske horisontale tøyningen [%]

I denne oppgaven er det kun verdier for dynamisk E-modul som er anvendt og presentert.

4 Forskningsmetodikk

4.1 Beskrivelse og diskusjon av metode

Valgt forskningsmetodikk tilknyttet arbeidet med masteroppgaven er vurdert ut fra beste evne til å besvare problemstilling og tilhørende forskningsspørsmål slik at det oppstår et grunnlag for diskusjon og drøfting. I kap. 2 ble relevant teori og litteraturfunn som omhandler prinsipper og modeller tilknyttet problemstillingen og forskningsspørsmålene, presentert for å gi en grunnleggende forståelse av hva oppgaven innebærer og hva den prøver å oppnå. I tillegg ble analysegrunnlaget i form av materialutvalg og forsøksprosedyre presentert i kap. 3 som en introduksjon til hvordan teorien og litteraturfunnene kan anvendes til analyse av noe reelt og håndfast. På denne måten er de foregående kapitlene også en del av metoden, fordi innholdet er essensielt for å kunne drøfte, analysere og besvare problemstillingen.

Forenklet omfatter oppgavens metodikk at det for tre ulike masterkurvemodeller er prøvd fire shiftfaktormodeller for å finne hvilken kombinasjon(er) som for hvert av de fire materialene gir den beste «goodness-of-fit»-statistikken mellom målte og estimerte stivhetsverdier. Hvordan denne metodikken er avvendt i oppgavens analyser, og brukt til å besvare problemstillingen og forskningsspørsmålene beskrives mer detaljert i de påfølgende delkapitlene.

4.1.1 Forarbeid: Teori og litteraturstudie, innhenting og validering av data

Teori og litteraturstudiet omfattet analyse og studie av eksisterende forskning og metode tilknyttet problemstillingen og forskningsspørsmålene. De mest relevante funnene ble selektert, og er presentert i kap. 2. For å kunne utføre egne analyser og drøftinger var det viktig å forstå de grunnleggende teoretiske prinsippene innenfor fagfeltet. En sentral del av oppgavens forarbeid konsentrerte seg derfor om få dypere innsikt i det teoretiske grunnlaget bak masterkurven, shiftfaktorens rolle og hvordan disse modelleres. Uten disse studiene ville det vært vanskelig å utføre egne analyser.

Datainnsamlingen omfattet gjennomgang og validering av tilsendte rådata fra Tyskland. Hensikten var å sikre at de tilsendte dataene kunne gi et tilstrekkelig analysegrunnlag. Det var også viktig å forsikre seg om at dataene hadde blitt bearbeidet på en måte som var representativ for norske forhold, samt at all supplerende informasjon tilknyttet arbeidet før, under og etter utført forsøk kunne gi et tilstrekkelig grunnlag for å dokumentere hele arbeidet. Ettersom jeg ikke har laget materialene eller utført forsøket selv og dermed ikke har full oversikt over arbeidet bak de produserte dataene, var det viktig å forsikre seg om at all nødvendig informasjon tilknyttet prøvelagings- og forsøksprosessene var tilgjengelig. Dette er viktig når man i ettertid skal validere analysene, med rom for diskusjon og drøfting av feilkilder.

4.1.2 Hvordan «besvare» problemstillingen?

I første kapittel ble problemstillingen presentert med følgende ordlyd:

Bestemme stivhetsegenskaper til asfaltmaterialer gjennom konstruksjon av masterkurver for dynamisk E-modul

Problemstillingen er i seg selv ikke et spørsmål og fremhever ikke et konkret problem, men er en tydeliggjøring av hvordan noe skal gjøres. I denne oppgaven skal stivhetsegenskaper til asfaltmaterialer bestemmes eller beskrives ved hjelp av en masterkurve. For å underbygge problemstillingen og utføre oppgaven som den beskriver, må det først og fremst foreligge et teoretisk grunnlag i form av et modellutvalg.

Modellutvalget er presentert i delkapittel 2.4 og 2.5 og består av tre masterkurvemodeller, og fire shiftfaktormodeller som skal implementeres i masterkurvemodellene for å kunne beskrive den dynamiske E-modulen til det aktuelle materialet.

Videre må det foreligge et materialutvalg i den forstand at materialene er fysisk reelle materialer, enten utbora som kjerneprøver fra felt eller blandet og laget i laboratorium. Materialutvalget er presentert i delkapittel 3.1 og består av fire forskjellige tyske dekkematerialer.

For at det skal være mulig å gjennomføre analyser må de foreligge et analysegrunnlag basert på forsøksdata. Prosedyren for hvordan forsøksdataene ble produsert er presentert i delkapittel 3.2 og viser det konkrete forsøket som er utført, med tilhørende beskrivelse av forsøksprinsipp, utstyr, prøvetillaging, fremgangsmåte og bakenforliggende beregninger.

Modellutvalget, materialutvalget og analysegrunnlaget utgjør rammeverket i analyseprosessen. Selve analyseprosessen utføres ved hjelp problemløserfunksjonen i Excel som kort ble nevnt i delkapittel 2.6. Problemløseren anvender forsøksresultatene for et bestemt materiale som input i en valgt modellkombinasjon, og genererer en output i form av en ferdig definert masterkurvemodell. Analyseprosessens fremgangsmåte vil bli gjennomgått i neste delkapittel.

4.1.3 Hvordan besvare forskningsspørsmålene?

I første kapittel ble følgende forskningsspørsmål lagt til grunn:

- *Er fremgangsmåten for konstruksjon av masterkurver beskrevet i NS-EN 12697-26 best egnet for samtlige massesammensetninger som er beskrevet i testplanen til VegDim?*
- *Hvilken kombinasjon av shiftfaktor- og masterkurvemodeller er best egnet for å beskrive umodifiserte og modifiserte asfaltmaterialer?*
- *Er det mulig å oppnå presis modellering med avvikende forsøksbetingelser fra det som annex F i NS-EN 12697-26 beskriver?*

Forskingsspørsmålene utgjør forskningsdelen i oppgaven og skal være et supplement til problemstillingen. Dette innebærer at problemstillingens innhold videreføres til modell- og materialutvalget som oppgaven definerer. Når stivhetsegenskapene til alle materialene er bestemt gjennom konstruksjon av masterkurver ved samtlige modellkombinasjoner, oppstår det et sammenlikningsgrunnlag. En naturlig videreføring vil derfor være å sammenlikne de ulike modellkombinasjonene og materialene for å avdekke forskjeller, styrker og svakheter.

Måten dette gjøres på er å definere parametere som kan vurdere kvaliteten av modellresultatene. Disse parameterne er presentert i delkapittel 2.6 og muliggjør rangering av modellkombinasjoner, samt skildringer av materialforskjeller basert på resultatene fra de modellerte masterkurvene. Når det er mulig å analytisk vurdere kvalitet og forskjeller mellom modeller basert på statistiske parametere, vil det i tillegg til å kunne rangere de best egnede modellkombinasjonene for de enkelte materialene, også være mulig å kvalitetssikre fremgangsmåten i VegDim. Dette gjøres ved å tilrettelegge for forskningsspørsmål som stiller seg kritisk til om fremgangsmåten i VegDim faktisk er den beste, og om det finnes alternative fremgangsmåter og modeller som er bedre egnet til både forsøksprosedyre, og til å beskrive masterkurvene til materialene som inngår i forsøksprogrammet.

For å sammenlikne de ulike shiftfaktor- og masterkurvemodellene ble det for hver masterkurvemodell utført korrelasjonsanalyser av de ulike shiftfaktormodellenes innflytelse på SSE, R^2 og SER. På denne måten kunne det ut fra modellenes «goodness-of-fit» gjøres vurderinger av kvaliteten til hver modellkombinasjon. For hvert materiale og modellkombinasjon ble også utvalgte modellkonstanter på tvers av shiftfaktormodellene sammenlignet for å vurdere om masterkurvemodellene er statistisk like eller ulike. Dette inkluderer verdier for gjennomsnitt, standardavvik og variasjonskoeffisient. I tillegg ble modellenes konstanter, som beskriver stivhetsegenskapene til det aktuelle materialet, vurdert etter hvor logiske og reelle verdiene er i forhold til hvordan de gjenspeiles i kurveforløpene, og hva tilsvarende forskning viser. Denne metodikken gir grunnlag til å besvare de to øverste forskningsspørsmålene.

NS-EN 12697-26 stiller krav til at minst fire prøver skal testes for å utlede masterkurven til et materiale. Hver prøve skal utsettes for minst fire temperaturer, -10 °C , 0 °C , 10 °C , 20 °C og for hver temperatur følgende seks belastningsfrekvenser $0,1\text{ Hz}$, $0,3\text{ Hz}$, 1 Hz , 3 Hz , 5 Hz og 10 Hz (NS-EN 12697-26, 2018) Denne prosedyren har tyskerne fulgt når de testet SMA 11 S. For de resterende materialene har de fulgt en forenklet prosedyre, der det i stedet ble testet fire prøver med et redusert antall forsøkstemperaturer og belastningsfrekvenser, henholdsvis -10 °C , 5 °C og 20 °C og $0,1\text{ Hz}$, $0,3\text{ Hz}$, 1 Hz , 3 Hz og 10 Hz (FGSV, 2018). Disse forholdene er noe den tyske standarden tillater, men hvor den norske er noe mer konservativ. Forsøksforskjellene muliggjør en vurdering av nødvendigheten til de mer omfattende forsøksbetingelser slik

som beskrevet i den norske standarden, eller om forenklede forhold etter den tyske metoden faktisk gir like gode modelltilnæringer. Vurderingskriteriet er basert på en kvantitativ fremgangsmåte der utviklingen av absolutt avvik ved forsøksstemperaturene for materialet med omfattende forsøksbetingelser, blir sammenlignet med et materiale som gjennomgikk de mindre omfattende forsøksbetingelser. På denne måten kan det vurderes under hvilke forsøksforhold (temperaturer og frekvenser) de største avviksforskjellene oppstår, og om dette gir tilstrekkelig grunnlag for å vurdere om de forenklede forsøksbetingelsene tilrettelegger for mindre, bedre eller like gode tilnæringer. Denne metodikken gir grunnlag til å besvare det siste forskningsspørsmålet.

4.1.4 Alternative metoder

Den valgte metodikken for å løse oppgavens problemstilling og forskningsspørsmål er ikke den eneste mulige. Som i de aller fleste tilfeller finnes det alternative måter å løse en oppgave på. Kjernen av denne oppgaven skulle egentlig være bygget på egne laboratorieundersøkelser, men på grunn av de uvanlige omstendighetene ble alternativet ferdiglagde datasett fra tidligere utførte forsøk i laboratorium. Resultatet var at en betydelig del av den opprinnelige metoden ble utelukket og erstattet med kvalitativ kontroll av tilsendte data. Selv om dette var uunngåelig, er det klart at egne laboratorieundersøkelser med full kontroll over prøvelagingsprosess og forhold før, under og etter testing er en mer optimal metodikk for å oppnå det beste grunnlaget for validering av forsøksdata samt vurdering av feilkilder.

Det finnes også alternative forsøksmetoder til syklisk indirekte strekkforsøk for konstruksjon av masterkurver til asfaltmaterialer. Eksempelvis indirekte strekkforsøk (IT-CY) som måler materialets resilentmodul ved å påføre prøver pulsbasert belastning i stedet for en syklisk belastning.

For å modellere dynamisk E-modul i en masterkurve finnes det alternative shiftfaktor- og masterkurvemodeller enn de som er presentert i denne oppgaven. Dette gjelder blant annet log-lineær som shiftfaktormodell, og CA-modellen og tredjegrads polynomfunksjon som masterkurvemodeller. I delkapittel 2.4 og 2.5 er det grunnlagt hvorfor de aktuelle modellene i oppgaven er valgt. Hovedårsaken er at store deler av litteraturen refererer til modellene som er valgt i denne oppgaven, og at flere av dem regnes å være universale innenfor fagfeltet. Det skal nevnes at under arbeidet med masterkurvemodelleringen i tilknytning til denne oppgaven, ble CA-modellen testet gjennom problemløserfunksjonen i Excel. Modellen viste derimot til ulogiske resultater ved samtlige modelleringer og ble i stedet erstattet med CAM-modellen. En annen årsak til at det aktuelle modellutvalget er valgt, er fordi oppgavemengden måtte begrenses, og det ble derfor fokusert på å velge de modellene som var hyppigst anvendt i relevant litteratur og forskning.

I delkapittel 2.6 er det grunnlagt hvorfor den numeriske metoden er valgt framfor den empiriske metoden ved bestemmelse av modellkonstanter i masterkurvemodellene.

Årsaken til at akkurat Excel er brukt som optimeringsverktøy er hovedsakelig fordi store deler av litteraturen henviser til Excel som et kraftig og brukervennlig verktøy til slike problemer. En annen viktig årsak er at jeg selv kjenner programmet godt, noe som har vært viktig for effektivitet og produktivitet i arbeidet med oppgaven. Alternative programmer kunne eksempelvis vært MATLAB eller Python, men disse er mer omfattende og krever lengre erfaring med bruk av programvare. Det ville derfor blitt langt mer tidkrevende å lære seg disse programvarene når Excel i prinsippet fungerer like bra.

4.2 Fremgangsmåte for konstruksjon av masterkurver

For hvert materiale ble det i Excel opprettet egne ark for uavhengige beregninger av estimerte stivhetsverdier for hver kombinasjon av shiftfaktor- og masterkurvemodeller. Dette betyr at det for hvert materiale ble utført 12 uavhengige beregninger. 20 °C ble valgt som referansetemperatur, men i selve beregningsprosessen er alle temperaturene omgjort til Kelvin, da samtlige modeller opprinnelig er definert med Kelvin som temperaturenhet. Det vil nå bli gjennomgått en stegvis beskrivelse av fremgangsmåten for hvordan masterkurvene til de aktuelle materialene ble konstruert. Til dette formålet er SMA 11 S med polymermodifisert bindemiddel 25/55-55 med modellkombinasjonen SLSM og Arrhenius-funksjonen valgt som eksempel.

4.2.1 Steg 1 – Oppsett av modelleringsområde (modeller og residual)

Første steg innebærer oppsett av formler som inngår i modelleringen av de estimerte $|E^*|$ -verdiene. Dette inkluderer en kolonne for shiftfaktormodell med tilhørende konstanter, redusert frekvens som er avhengig av shiftfaktoren og selve masterkurvemodellen for $|E^*|$ med tilhørende konstanter. I tillegg er det nødvendig å inkludere et uttrykk (residual) for differansen mellom målte og estimerte verdier for dynamisk E-modul. Residualene sørger for at modellene tilpasses de målte E-modulverdien slik at det oppstår en grad av nøyaktighet mellom modell og virkelighet.

Figur 29 viser hvordan oppsett av beregningsmodeller og tilhørende elementer ble seende ut i Excel. Området markert med blått indikerer de tilsendte dataene. Disse er konstante, og er ikke endret i oppgavens analyser. Det røde området indikerer det variable området, der verdier for shiftfaktor, redusert frekvens, estimert $|E^*|$ og residual beregnes basert på formlene innenfor det grønne feltet. Området i grønt inkluderer alle de nødvendige formlene for å oppnå de estimerte $|E^*|$ -verdiene.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	PK-Bez.	T	f	Målte verdier for dynamisk E-modul	Shiftfaktor αT	Redusert frekvens f_r	Predikerte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Residual	Residual ²
2	[-]	[°C]	[Hz]	[MPa]	$\log(\alpha T) = C\alpha(1/T_i - 1/T_r)$	$\log(f_r) = \log(\alpha T) + \log(f)$	$ E^* = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + \exp(\beta + \log(f_r)))$	$\text{Log}(E_{\text{målt}}/E_{\text{predikert}})$	
3	D2-1-06	-10,00	10,00	25735,90	4,10	5,10	25601,93	0,00	0,00
4	D2-1-06	-10,00	5,00	25632,60	4,10	4,80	24822,61	0,01	0,00
5	D2-1-06	-10,00	3,00	24458,30	4,10	4,58	24170,26	0,01	0,00
6	D2-1-06	-10,00	1,00	22567,80	4,10	4,10	22531,58	0,00	0,00
7	D2-1-06	-10,00	0,30	20688,80	4,10	3,58	20370,25	0,01	0,00
8	D2-1-06	-10,00	0,10	19009,30	4,10	3,10	18110,83	0,02	0,00
9	D2-1-13	-10,00	10,00	25793,30	4,10	5,10	25601,93	0,00	0,00
10	D2-1-13	-10,00	5,00	25216,50	4,10	4,80	24822,61	0,01	0,00
11	D2-1-13	-10,00	3,00	22922,20	4,10	4,58	24170,26	-0,02	0,00
12	D2-1-13	-10,00	1,00	22076,70	4,10	4,10	22531,58	-0,01	0,00
13	D2-1-13	-10,00	0,30	20234,50	4,10	3,58	20370,25	0,00	0,00
14	D2-1-13	-10,00	0,10	18607,00	4,10	3,10	18110,83	0,01	0,00
15	D2-1-20	-10,00	10,00	27689,00	4,10	5,10	25601,93	0,03	0,00
16	D2-1-20	-10,00	5,00	27308,50	4,10	4,80	24822,61	0,04	0,00
17	D2-1-20	-10,00	3,00	26234,40	4,10	4,58	24170,26	0,04	0,00
18	D2-1-20	-10,00	1,00	23899,40	4,10	4,10	22531,58	0,03	0,00
19	D2-1-20	-10,00	0,30	22421,90	4,10	3,58	20370,25	0,04	0,00
20	D2-1-20	-10,00	0,10	20374,00	4,10	3,10	18110,83	0,05	0,00
21	D2-1-06	5,00	10,00	14326,40	1,94	2,94	17303,92	-0,08	0,01
22	D2-1-06	5,00	5,00	13248,90	1,94	2,64	15751,82	-0,08	0,01
23	D2-1-06	5,00	3,00	13210,00	1,94	2,42	14591,35	-0,04	0,00
24	D2-1-06	5,00	1,00	11078,00	1,94	1,94	12120,31	-0,04	0,00
25	D2-1-06	5,00	0,30	9267,50	1,94	1,42	9581,04	-0,01	0,00
26	D2-1-06	5,00	0,10	7706,00	1,94	0,94	7529,46	0,01	0,00
27	D2-1-13	5,00	10,00	15684,00	1,94	2,94	17303,92	-0,04	0,00
28	D2-1-13	5,00	5,00	15187,10	1,94	2,64	15751,82	-0,02	0,00
29	D2-1-13	5,00	3,00	13701,90	1,94	2,42	14591,35	-0,03	0,00

Figur 29: Utklipp fra Excel - Oversikt over beregninger

Figur 30 viser de ulike konstantene som inngår i beregningene. Det oransje området inkluderer referansetemperaturen og Arrhenius materialkonstant som inngår i shiftfaktormodellen. Det mørkegrønne området inkluderer konstantene som inngår i masterkurvemodellen, og den mørkeblå enkeltcellen er summen av alle de kvadrerte residualene (SSE).

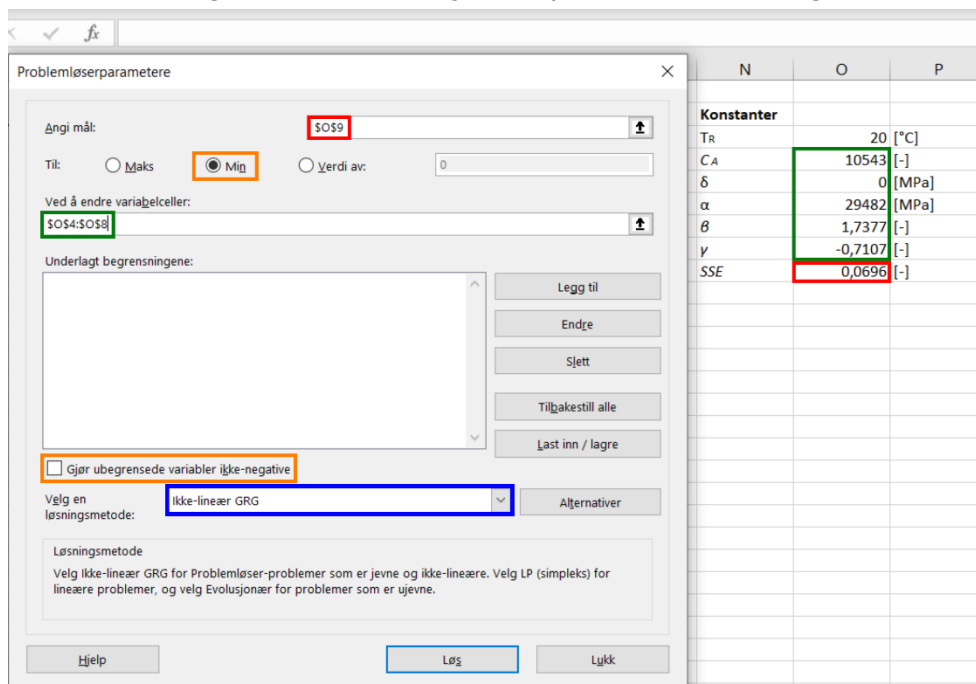
T_R	20 [°C]
C_A	10543 [-]
δ	0 [MPa]
α	29482 [MPa]
β	1,7377 [-]
γ	-0,7107 [-]
SSE	0,0696 [-]

Figur 30: Utklipp fra Excel - oversikt over konstanter

4.2.2 Steg 2 – Optimeringsprosess (minimere summen av kvadratavvik)

Steg 2 innebærer å bestemme konstantene i shiftfaktor- og masterkurvemodellen slik at summen av alle de kvadrerte residualene blir minst mulig. Dette gjøres ved å løse alle konstantene samtidig etter minste kvadraters metode gjennom en ikke-lineær optimering ved bruk av problemløserfunksjonen i Excel. Figur 31 er et utklipp fra Excel som viser dialogboksen til problemløserfunksjonen. Det er hovedsakelig fire parametere i dialogboksen som skal velges eller hukes av. Feltene markert i rødt tilsvarer de feltene brukeren vil at problemløseren skal maksimere, minimere eller finne en løsning av en valgt verdi. Feltet må inneholde en summert mengde som i dette tilfelle er summen av kvadratavvikene SSE. Fra figuren er det indikert med oransje at problemløseren skal minimere den valgte verdien, noe som er ønskelig i dette tilfelle. Feltene markert i grønt er konstantene som problemløseren skal endre for å utføre optimeringen. Disse er knyttet opp mot den aktuelle shiftfaktor- og masterkurvemodellen. For å oppnå fleksibilitet i optimeringsprosessen er det indikert med et oransje felt at problemløseren ikke skal gjøre konstantene ikke-negative. Dette er essensielt for at problemløseren skal komme til en endelig løsning.

Fra figuren kan det observeres at løsningen gir en negativ verdi for γ . Hadde denne boksen vært huket av, ville problemløseren kun løst optimeringsproblemet med positive verdier, og modelleringen ville blitt gal. Dette skyldes at noen av konstantene i modellene må være negative for at funksjonsuttrykkene skal bli riktige.



Figur 31: Utklipp fra Excel – Problemløserfunksjonen

Feltet markert i blått viser den valgte algoritmen eller løsningsmetoden som problemløseren bruker for å løse det definerte problemet. For ikke-lineære problemer er det algoritmen ikke-lineær GRG (Generalized Reduced Gradient) som brukes.

For at optimeringen skulle bli så nøyaktig som mulig ble to metoder tatt i bruk. Den første var å finne initialverdier for konstantene slik at problemløseren fikk et tilstrekkelig grunnlag for å utføre optimeringen. Dette innebar å velge verdier for konstantene som var nærmest mulig den faktiske løsningen eller i tilnærmet lik størrelsesorden. Dette viste seg å være vanskelig, men analyseresultater fra andre forskningsartikler ga en god indikasjon på aktuelle verdier. Med veiledende verdier for modellkonstanter fra forskningsartikler i tillegg til en «prøve- og feilemetode» ble initialverdiene i Tabell 7 valgt.

Tabell 7: Initialverdier for optimeringsprosessen

Modellparametere			Initialverdi
Shiftfaktor	Arrhenius C_A [-]		10 000
	WLF C_1 [-]		10
	WLF C_2 [-]		100
	Kaelble C_1 [-]		1000
	Kaelble C_2 [-]		10 000
	Polynomfunksjon b [-]		-0,1
	Polynomfunksjon c [-]		0,0001
GLSM	SLSM	λ [-]	0,1
		γ [-]	-0,1
		β [-]	1,0
	CAM	$ E^* _{\min}(\delta, E_p)$ [MPa]	100
		$ E^* _{\max}(\alpha, E_g)$ [MPa]	Standard bitumen og $D_{\max} = 8\text{mm}$: 25 000 Modifisert bitumen og $D_{\max} = 11\text{mm}$: 30 000
		ω_{cE} [rad/s]	0,001
		v [-]	0,1
	w [-]	1,0	

Initialverdiene i Tabell 7 skapte et fundament i optimeringsprosessen og sørget for at alle modelleringene ble utført med det samme utgangspunktet. Unntaket var verdiene for glassmodul som ble bestemt etter de maksimale E-modul verdiene som ble målt ved -10 °C. Glassmodulen ble avrundet til nærmeste fem- eller ti-tusen. Skille mellom glassmodulverdiene ble satt avhengig av bindemiddeltipe og øvre kornstørrelse.

Den andre metoden innebar å utføre optimeringsprosesser flere ganger. Problemløseren bruker i de fleste tilfeller den første optimeringsprosessen til å finne en løsning som inneholder konstanter i riktig 10^x størrelsesorden. I de aller fleste tilfeller vil dette gi en god tilnærming til de målte verdiene. For at resultatet av optimeringen skulle bli så nøyaktig som mulig, ble det utført flere optimeringsprosesser på rad, helt til konstantene forble uendret. Det tok ikke mer enn to til tre optimeringer før verdien for SSE hadde stabilisert seg. Derimot tok det mellom tre og fem optimeringer før alle konstantene hadde stabile verdier. I prinsippet er optimeringen så nøyaktig som den kan bli når verdien for SSE har stabilisert seg. For at optimeringsprosessen for alle materialene og kombinasjonene av shiftfaktor- og masterkurvmodeller skulle bli løst med samme utgangspunkt, ble det valgt å utføre optimeringer helt til alle konstantene hadde stabile løsninger. Resultatet av optimeringen skal prinsipielt være en SSE-verdi som er lavest mulig. Dette indikerer at det er lite avvik mellom målte og estimerte verdier, der gode modeller estimerer verdier som er tilnærmet lik de målte.

4.2.3 Steg 3 – Konstruksjon av masterkurve

Etter at modellenes konstanter er bestemt kan masterkurven konstrueres. Resultatet av optimeringen er at det på bakgrunn av målte stivhetsdata innenfor et begrenset temperatur- og frekvensområde (eksperimentelle verdier), er tilpasset estimerte verdier som utgjøre en modell som produserer en sammenhengende, glatt kurve som representere de målte stivhetsverdiene innenfor det eksperimentelle området. Det eksperimentelle området i dette tilfelle er temperaturene og frekvensene materialene ble utsatt for under forsøket. Modellen har den funksjonen at den kan estimere stivhetsverdier utenfor det eksperimentelle området (ekstrapolerte verdier), ved vilkårlige kombinasjoner av temperatur og frekvens. Hvor representative de ekstrapolerte verdiene er for de faktiske stivhetsverdiene i området dette gjelder, er vanskelig å si, men det kan tenkes at en modell som er svært godt tilpasset de målte verdiene gir et bedre grunnlag for mer presise ekstrapolerte verdier.

I denne oppgaven er det valgt å konstruere masterkurver på to forskjellige måter. Den ene metoden går ut på å konstruere masterkurven direkte fra de estimerte modellverdiene fra optimeringsprosessen (Kolonne G i Figur 29). Da dekker masterkurven kun det eksperimentelle området. Denne metodikken er anvendt i resultat- og diskusjonskapittel for sammenlikning av målte og estimerte verdier, slik at det kan vurderes hvor godt kurven tilpasses de målte stivhetsverdiene innenfor det eksperimentelle området.

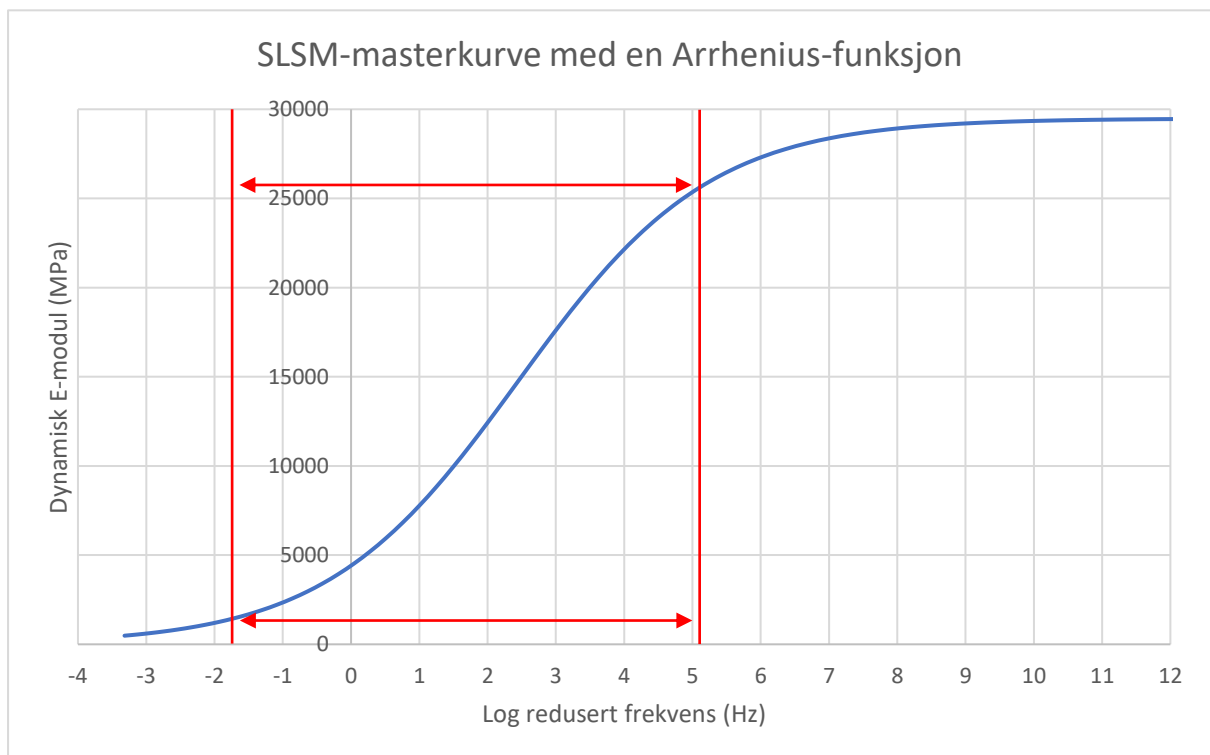
Den andre måten masterkurvene er konstruert på omfatter et kurveforløp som dekker det eksperimentelle området og et definert område av ekstrapolerte verdier. Masterkurven er da konstruert som en funksjon av temperatur ved en bestemt frekvens. Valgt temperaturspenn strekker seg fra -50 °C til 60 °C og skal representere de mest ekstreme dekketemperaturene som potensielt kan oppstå under norske forhold. I en e-post med Rabbira Garba Saba, min kontaktperson fra Vegdirektoratet ble det nevnt at en belastningsfrekvens på 10 Hz ofte brukes i dimensjoneringsammenheng (Garba Saba 2020, personlig kommunikasjon, 28.mai). På bakgrunn av dette ble det valgt å representere masterkurvene ved 10 Hz .

Figur 32 viser hvordan shiftfaktor- og masterkurvemodellen bestemt i avsnitt 4.2.2: steg 2 ble brukt til å konstruere masterkurver med temperaturintervaller på 2 °C ved 10 Hz . For hver temperatur beregnes det en tilhørende shiftfaktor (kolonne S i Figur 32). Shiftfaktoren summeres med logaritmen av frekvensverdien på 10 Hz som tilsammen utgjør parameteren redusert frekvens (kolonne T i Figur 32). Deretter kan verdier for dynamisk E-modul plottes i en masterkurve som funksjon av redusert frekvens slik som Figur 33 illustrerer.

Figur 33 viser en grafisk fremstilling av masterkurven til SMA 11 S konstruert med SLSM og Arrhenius-funksjonen. Kurven inkluderer både eksperimentelle og ekstrapolerte stivhetsverdier. De røde linjene og pilene markerer det eksperimentelle området ved 10 Hz . Området er avgrenset av $-0,75\text{ Hz} \leq \log(f_R) \leq 5,10\text{ Hz}$ langs x-aksen som tilsvarer $2758\text{ MPa} \leq |E^*| \leq 25\,602\text{ MPa}$ langs y-aksen. Stivhetsområdene utenfor de røde linjene er ekstrapolerte verdier anslått av den aktuelle masterkurvemodellen.

R	S	T	U
T [°C]	Shiftfaktor αT $\log(\alpha T) = CA(1/T_i - 1/T_R)$	Redusert frekvens fR $\log(fR) = \log(\alpha T) + \log(10)$	Ereg [MPa] $ E^* = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + \exp(\beta + \gamma \log(fR)))$
-50	11,28	12,28	29455,33
-48	10,86	11,86	29445,92
-46	10,45	11,45	29433,50
-44	10,04	11,04	29417,21
-42	9,65	10,65	29395,94
-40	9,26	10,26	29368,32
-38	8,87	9,87	29332,63
-36	8,49	9,49	29286,75
-34	8,12	9,12	29228,08
-32	7,76	8,76	29153,45
-30	7,40	8,40	29059,03
-28	7,04	8,04	28940,23
-26	6,69	7,69	28791,65
-24	6,35	7,35	28606,97
-22	6,01	7,01	28378,95
-20	5,68	6,68	28099,41
-18	5,36	6,36	27759,37
-16	5,03	6,03	27349,26
-14	4,72	5,72	26859,22
-12	4,41	5,41	26279,68
-10	4,10	5,10	25602,02
-8	3,80	4,80	24819,40
-6	3,50	4,50	23927,80
-4	3,21	4,21	22926,90
-2	2,92	3,92	21820,96
0	2,63	3,63	20619,38
2	2,35	3,35	19336,73
4	2,08	3,08	17992,25
6	1,80	2,80	16608,84
8	1,54	2,54	15211,45
10	1,27	2,27	13825,36
12	1,01	2,01	12474,33
14	0,75	1,75	11179,16

Figur 32: Utklipp fra Excel - Konstruksjon av masterkurve som funksjon av temperatur ved en bestemt belastningsfrekvens



Figur 33: Masterkurve for SMA 11 S med en SLSM og Arrhenius-funksjon

5 Resultater og diskusjon

5.1 Introduksjon

Kapittelet presenterer og oppsummerer de viktigste resultatene fra masterkurvemodellingene for hvert materiale. Kapittelet er strukturert slik at hvert materiale utgjør et delkapittel. Under hvert delkapittel presenterer første avsnitt en tabelloversikt over den resulterende «goodness-of-fit»-statistikken til hver modellkombinasjon. Tabellen inkluderer også modellkonstantene for maksimum og minimum $|E^*|$, henholdsvis glass-, og likevektsmodul, i tillegg til de resulterende $\log(\alpha T)$ -verdiene ved de aktuelle forsøkestemperaturene på tvers av shiftfaktormodellene.

For å sammenlikne modellkonstantene seg imellom, og for å gi en indikasjon på variasjonen mellom shiftfaktormodellene er det inkludert verdier for gjennomsnitt, standardavvik og variasjonskoeffisient. Avsnittet inkluderer også en tabelloversikt som sammenlikner modellkonstantene til shiftfaktormodellene, og $\log(\alpha T)$ – verdiene ved forsøkestemperaturene på tvers av masterkurvemodellene. Variasjonen på tvers av masterkurvemodellene vurderes også ved hjelp av verdier for gjennomsnitt, standardavvik og variasjonskoeffisient. Avsnittet er ment å være en oversikt over hovedfunnene fra analysene for det aktuelle materialet.

De neste avsnittene presenterer og diskuterer hovedfunnene ved hver masterkurvemodell. For hver masterkurvemodell er shiftfaktormodellen som viser den minst og mest presise «goodness-of-fit»-statistikken, fremstilt grafisk og sammenlignet med de målte verdiene innenfor det eksperimentelle området. Det eksperimentelle området inkluderer temperatur- og frekvensområdet fra det aktuelle forsøket. Fremgangsmåten for denne sammenlikningen er at det ved hver modellering blir kalkulert en redusert frekvensverdi som representerer en målt og en estimert stivhetsverdi. De målte stivhetsverdiene plottes som punktskyer i et grafisk område med $|E^*|$ -verdier (MPa) langs y-aksen, og logaritmiske verdier for redusert frekvens (Hz) langs x-aksen. De estimerte stivhetsverdiene som har tilsvarende x-verdier som de målte, plottes i samme område som en sammenhengende kurve. Denne sammenstillingen vil komplementere «goodness-of-fit»-statistikken i vurderingen av hvilke modellkombinasjoner som er best. Hvert avsnitt som omhandler den enkelte masterkurvemodellen inneholder også diskusjon og vurdering av verdiene til modellkonstantene.

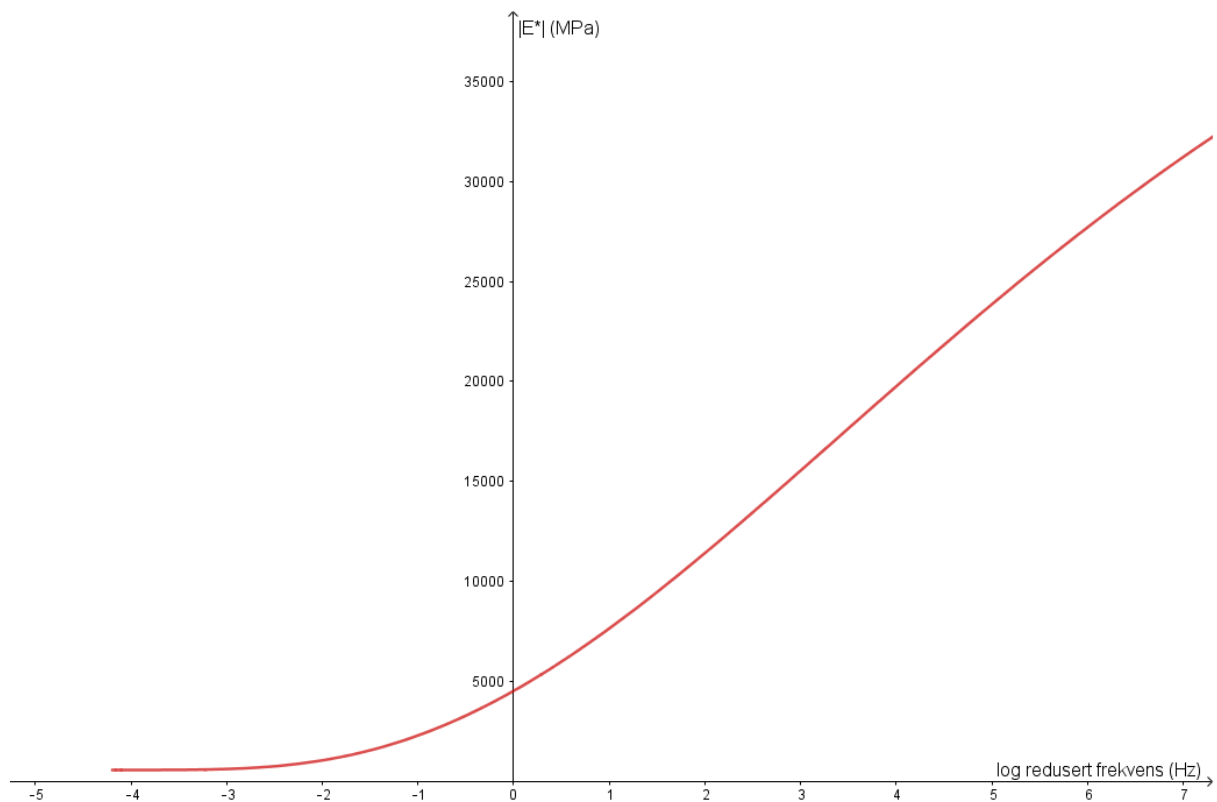
Det siste avsnittet i hvert delkapittel oppsummerer hvilke modellkombinasjonen som både viser den beste «goodnes-of-fit»-statistikken, og til mest logiske modellkonstanter. Modellkombinasjonen blir fremstilt grafisk som en komplett masterkurve, der både eksperimentelle og ekstrapolerte verdier er inkludert.

I tilfeller der shiftfaktormodellene fremstilles grafisk, er shiftfaktoren $\log(\alpha T)$ presentert som en funksjon av temperatur ($^{\circ}\text{C}$).

Kapittelet inneholder også sammenlikninger av SMA- og AC-materialene.

Resultatene fra samtlige modelleringer er presentert i vedlegg 5 til 8.

Ved modellering av GLSM for de modifiserte materialene ble det observert at shiftfaktormodellene Arrhenius-, WLF- og polynomfunksjonen viste negative verdier for modellkonstanten λ . Figur 34 viser et utsnitt av kurveforløpet til GLSM med WLF-funksjonen for SMA 11 S som inneholder en negativ λ -verdi. Fra figuren kan det observeres at kurven ikke er kontinuerlig, da den gjør et plutselig stopp rett etter $x = -4$. Ved hvilken redusert frekvensverdi kurven stopper, avhenger av hvor negativ verdien til konstanten er. Større negativitet gjør at kurven mister kontinuitet tidligere og kurven får manglende stivhetsbeskrivelse i det nedre området av reduserte frekvens. Dette er ikke et ønskelig kurveforløp og i prinsippet ikke en realistisk tilnærming. Derimot kan det argumenteres for at det i feltsammenheng er svært usannsynlig at dette området for redusert frekvens er aktuelt, da frekvensområdet impliserer en stivhet i nærheten av materialets likevektsmodul. Dette betyr at svakheten kan ansees å være ubetydelig, men samtidig et element som må bevisstgjøres ved bruk av GLSM med både Arrhenius-, WLF- og polynomfunksjon for konstruksjon av masterkurver til modifiserte materialer.



Figur 34: Kurveforløpet til SMA 11 S med modellkombinasjonen GLSM og WLF-funksjon med negativ λ -verdi

5.2 SMA 11 S (25/55-55)

5.2.1 Oversikt over statistiske parametere og modellkonstanter

Tabell 8: Oppsummering av resultater for hver modellkombinasjon med et samlet statistisk spredningsmål mellom shiftfaktormodellene i forhold til hver masterkurvemodell

		SLSM				GLSM				CAM				Gj.snitt (MPa)	St.Av (MPa)	C _v (%)
		Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom			
SSE		0,0696	0,0695	0,0834	0,0710	0,0533	0,0440	0,0788	0,0474	0,0535	0,0466	0,0793	0,0500	-	-	-
Justert R ²		0,9878	0,9880	0,9841	0,9875	0,9904	0,9942	0,9846	0,9932	0,9906	0,9934	0,9839	0,9925	-	-	-
SER		0,1144	0,1145	0,1320	0,1168	0,1023	0,0800	0,1309	0,0866	0,1016	0,0854	0,1335	0,0912	-	-	-
E* maks		29482	29167	32640	29573	56127	52007	46158	58901	48745	40526	59663	43136	43844	11624	26,5
E* min		0	0	0	0	454	597	147	593	363	378	304	359	266	230	86,3
log(αT)	-10 °C	4,100	4,146	3,755	4,085	4,172	4,721	3,801	4,584	4,176	4,590	3,798	4,461	4,199	0,328	7,8
	5 °C	1,940	1,948	1,877	1,945	1,974	2,083	1,901	2,094	1,976	2,055	1,899	2,059	1,979	0,076	3,8
	35 °C	-1,751	-1,737	-1,877	-1,750	-1,781	-1,687	-1,901	-1,699	-1,783	-1,700	-1,899	-1,717	-1,774	0,078	4,4

Tabell 8 oppsummerer de viktigste resultatene for hver modellkombinasjon. Samtlige modellkombinasjoner viser gode tilnærminger til målte verdier, men fra tabellen kommer det frem at noen skiller seg ut som gode og mindre gode. Det er tydelig at GLSM og CAM-modellen viser en bedre «goodness-of-fit»-statistikk enn SLSM, i tillegg til å estimere mer logiske verdier for $|E^*|_{min}$. På den andre siden kan det argumenteres for at det i praktisk sammenheng ikke er realistisk at et asfaltmateriale i felt vil bli utsatt for forhold som induserer en E-modul i nærheten av den øvre eller nedre grensen, henholdsvis materialets glass- og likevektsmodul.

Fra Tabell 8 er det tydelig at det er noe variasjon på tvers av modellene. Dette gjenspeiles i variasjonskoeffisienten for $|E^*|_{maks}$, der $C_v > 0,20$, som ifølge «Angelone et al. (2013)» kan tyde på statistisk ulikhet mellom modellene. Variasjonskoeffisienten for $|E^*|_{min}$ blir sett på som mindre relevant da SLSM estimerer $|E^*|_{min} = 0$, noe som i stor grad forstyrrer variasjonskoeffisienten. Shiftfaktorverdiene ved de ulike forsøkstemperaturene viser derimot til mer stabile resultater, men det er tydelig at Kaelble-funksjonen skiller seg ut, spesielt ved -10 °C. Dette gjenspeiles også i at de statistiske resultatene til masterkurvemodellene med Kaelble-funksjonen er de svakeste.

Tabell 9 setter shiftfaktormodellene i fokus og viser hvordan modellkonstantene samt shiftfaktorverdiene ved forsøkstemperaturene varierer på tvers av masterkurvemodellene. Totalt sett er det Arrhenius-funksjonen som viser minst variasjon etterfulgt av polynom-, WLF- og Kaelble-funksjonen. Samtidig er ikke variasjonskoeffisienten et godt spredningsmål for modellkonstanter som generelt er i høy eller lav størrelsesorden. Dette gjelder bl.a. for C_1 og C_2 i Kaelble-funksjonen og c -konstanten i polynomfunksjonen, der små variasjoner gir et stort utslag i variasjonskoeffisienten.

På et generelt nivå er det lite variasjon mellom $\log(\alpha T)$ -verdiene ved forsøkstemperaturene på tvers av masterkurvemodellene. Blant modellene er det Kaelble-funksjonen som viser til de laveste C_v -verdiene for $\log(\alpha T)$, til tross for at den i sammenheng med masterkurvemodellene skiller seg ut som den minst presise tilnærmingsmodellen.

Tabell 9: Oppsummering av resultater for hver modellkombinasjon med statistisk spredningsmål mellom masterkurvmodellene i forhold til hver shiftfaktormodell

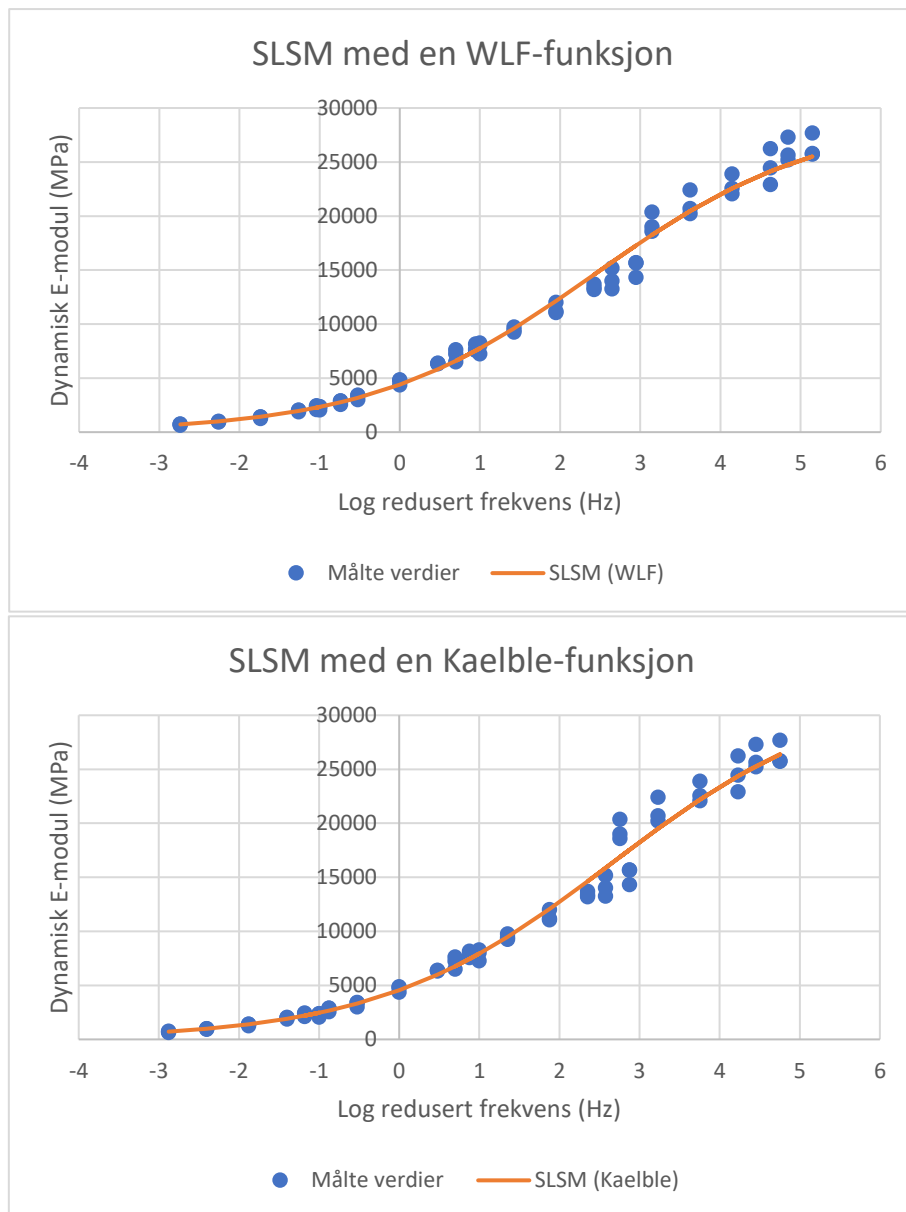
	Arrhenius			Gj. Snitt	St. Av	C _v (%)
	SLSM	GLSM	CAM			
CA	10543	10728	10739	10670	110	1,0
log(α T) -10 °C	4,100	4,172	4,176	4,149	0,043	1,0
log(α T) 5 °C	1,940	1,974	1,976	1,963	0,020	1,0
log(α T) 35 °C	-1,751	-1,781	-1,783	-1,772	0,018	1,0
	WLF			Gj. Snitt	St. Av	C _v (%)
	SLSM	GLSM	CAM			
C ₁	32	18	20	23	8	33,7
C ₂	263	143	159	188	65	34,6
log(α T) -10 °C	4,146	4,721	4,590	4,486	0,301	6,7
log(α T) 5 °C	1,948	2,083	2,055	2,029	0,072	3,5
log(α T) 35 °C	-1,737	-1,687	-1,700	-1,708	0,026	1,5
	Kaelble			Gj. Snitt	St. Av	C _v (%)
	SLSM	GLSM	CAM			
C ₁	38480	15232	12059	21923	14425,6	65,8
C ₂	307433	120176	95230	174279	115987	66,6
log(α T) -10 °C	3,755	3,801	3,798	3,785	0,026	0,7
log(α T) 5 °C	1,877	1,901	1,899	1,892	0,013	0,7
log(α T) 35 °C	-1,877	-1,901	-1,899	-1,892	0,013	0,7
	Polynom			Gj. Snitt	St. Av	C _v (%)
	SLSM	GLSM	CAM			
b	-0,123	-0,126	-0,126	-0,125	0,0018	1,4
c	0,0004	0,0009	0,0008	0,0007	0,0002	33,4
log(α T) -10 °C	4,085	4,584	4,461	4,377	0,260	5,9
log(α T) 5 °C	1,945	2,094	2,059	2,033	0,078	3,8
log(α T) 35 °C	-1,750	-1,699	-1,717	-1,722	0,026	1,5

5.2.2 Standard logistisk sigmoidmodell

I forrige avsnitt ble det sett at SLSM viste den svakeste «goodnes-of-fit»-statistikken. Modellen estimerer også $|E^*|_{min} = 0$ ved samtlige shiftfaktormodeller, noe som prinsipielt ansees å være en modellsvakhet. Fra Tabell 10 er det tydelig at SLSM viser stabile modellresultater på tvers av shiftfaktormodellene. Dette gjenspeiles i lave verdier for C_v.

Tabell 10: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av standard logistisk sigmoidmodell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvmodellen

Konstanter	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Gj. Snitt	St. Av	C _v (%)
CA	10543	-	-	-	-	-	-
C ₁	-	32	38480	-	-	-	-
C ₂	-	263	307433	-	-	-	-
b	-	-	-	-0,1232	-	-	-
c	-	-	-	0,0004	-	-	-
E* min [MPa]	0	0	0	0	0	0	-
E* maks [MPa]	29482	29167	32637	29573	30215	1624	5,4
β	1,7377	1,7292	1,8204	1,7425	1,7574	0,0423	2,4
γ	-0,7107	-0,7133	-0,6857	-0,7100	-0,7049	0,0129	1,8

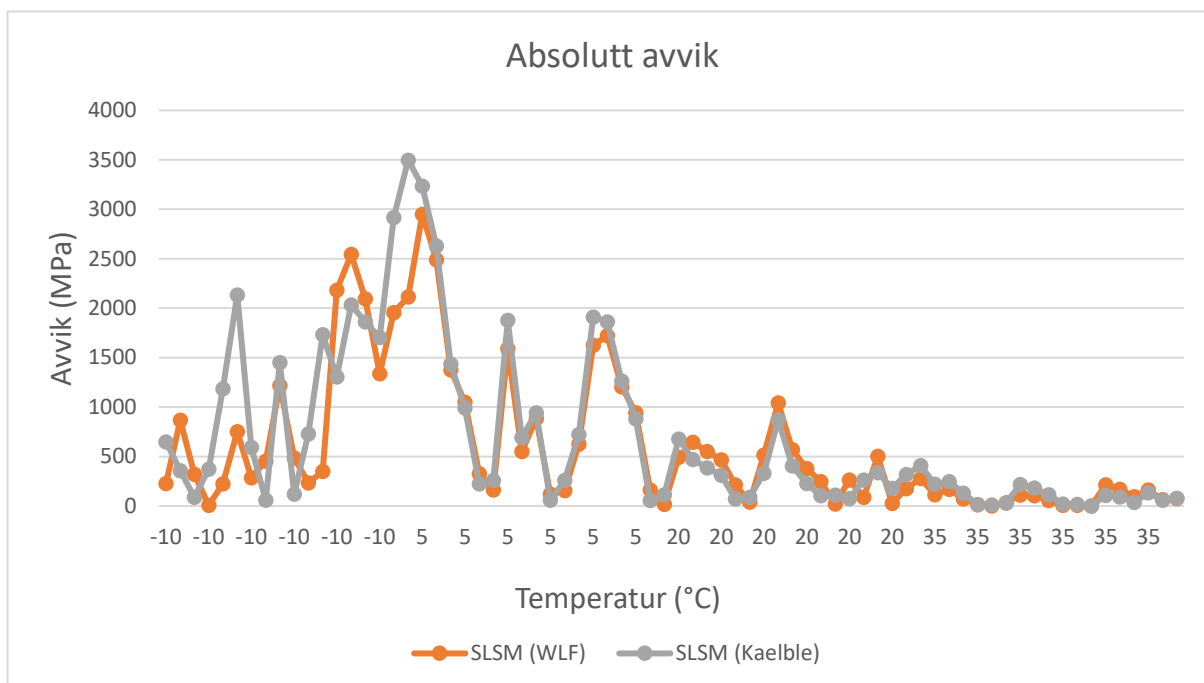


Figur 35: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for SLSM med en WLF- og Kaelble-funksjon innenfor det eksperimentelle området

Fra Tabell 8 kommer det frem at WLF- og Kaelble-funksjonen er henholdsvis den mest og minst presise modellkombinasjonen for SLSM. Figur 35 viser masterkurvene for begge modellene sammenlignet med de målte stivhetsverdiene innenfor det eksperimentelle området. Fra figuren kan det observeres at begge modellene er svært godt tilpasset de målte verdiene. Dette gjenspeiles i at det er små forskjeller i verdiene for R^2 og SER mellom modellene. I intervallet for redusert frekvens mellom -3 Hz og 2 Hz er kurvene bortimot likestilte i hvor godt de passer de målte verdiene. Fra og med $\log(f_R) = 2$ viser Kaelble-funksjonen et litt brattere kurveforløp, og krummer samtidig mindre i det øvre frekvensområdet som gir en mindre god tilpasning til målte verdier enn WLF-funksjonen.

Det kommer frem at WLF-funksjonen i større grad enn Kaelble-funksjonen «glatter ut» punktskyene for målte verdier. Dette er kanskje en indikator på at WLF-funksjonen er en bedre modell enn Kaelble-funksjonen, men også trolig en grunn til at R^2 er litt større for førstnevnte.

Figur 36 viser hvordan absolutt avvik utvikler seg ved forsøkstemperaturene. De største avvikene oppstår i det nedre temperaturområdet, og det er også her de største forskjellene mellom WLF- og Kaelble-funksjonen er. Det er tydelig at Kaelble-funksjonen er preget av noe større og flere plutselige sprang i avviksutviklingen, spesielt i det nedre temperaturområdet. Dette forklarer nok noe av årsaken til at modellen ikke viser like bra «goodness-of-fit»-statistikk for hvor godt den passer de målte verdiene.



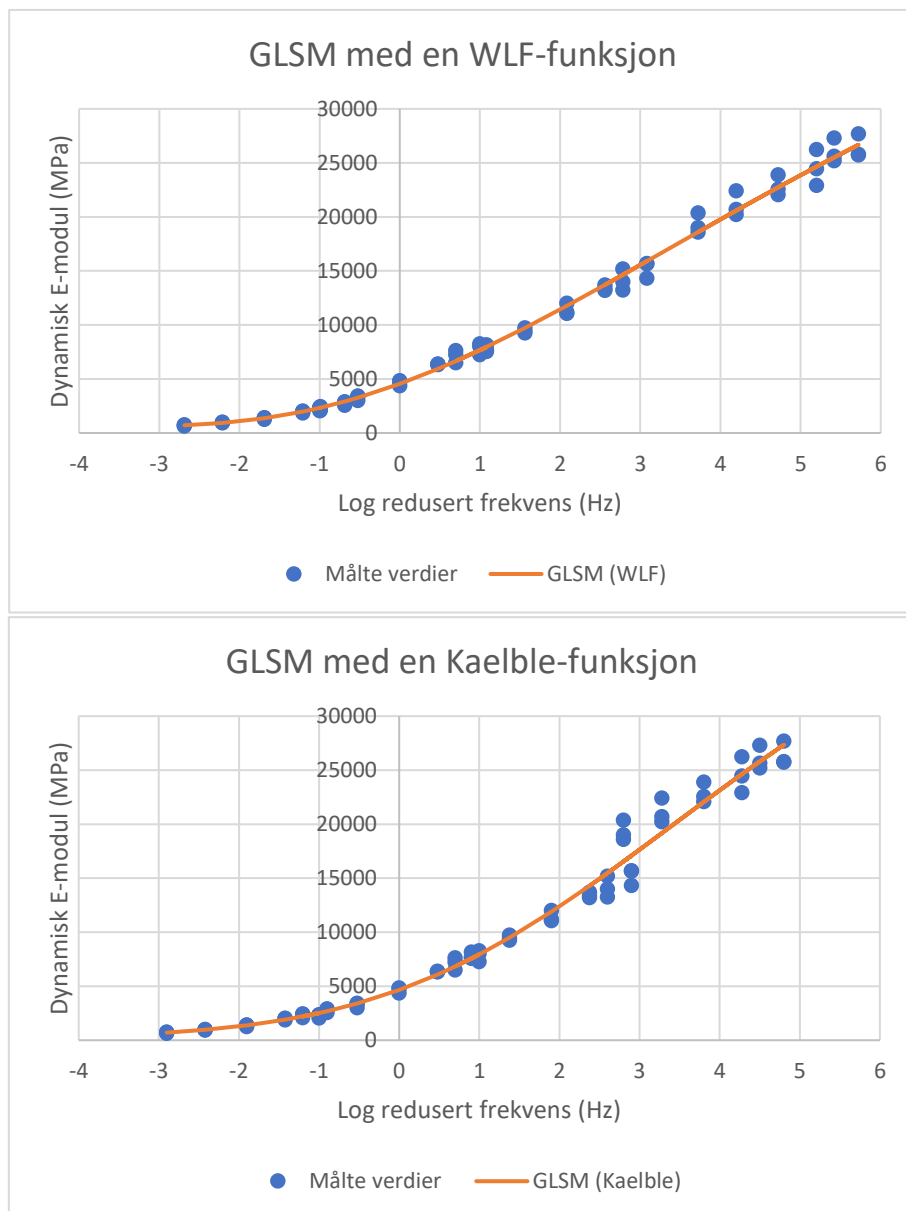
Figur 36: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier for SLSM

5.2.3 Generalisert logistisk sigmoidmodell

GLSM sammen med CAM-modellen viser den mest presise «goodnes-of-fit»-statistikken for dette materialet. I motsetning til SLSM estimerer GLSM-modellene verdier for $|E^*|_{min} \neq 0$, en tilnærming som vurderes å være mer logisk. Fra Tabell 11 er det tydelig at GLSM til tross for god «goodnes-of-fit»-statistikk, viser langt større variasjon på tvers av shiftfaktormodellene. Variasjonen skyldes i hovedsak Kaelble-funksjonen, som skiller seg ut med avvikende modellkonstanter. Om dette faktisk har en betydning for om GLSM bør vurderes som en mindre god modell er vanskelig å si, men det er tydelig at hver shiftfaktormodell påvirker masterkurven på forskjellige måter, der relativt høye C_v -verdier for modellkonstantene på tvers av shiftfaktormodellene resulterer i relativt ulike kurveforløp. Utelukkes derimot Kaelble-funksjonen er det tydelig at variasjonen mellom de resterende shiftfaktormodellene reduseres betraktelig. Til tross for dette viser de resterende shiftfaktormodellene til noe ulogisk høye $|E^*|_{maks}$ -verdier. Det er også nevneverdig at modellkombinasjonene med Arrhenius-, WLF- og polynomfunksjon inneholder negativ λ -verdi. Betydningen som denne konstanten har for kurveforløpet til masterkurven er diskutert i delkapittel 5.1 og illustrert i Figur 34. For Arrhenius-, WLF- og polynomfunksjonen betyr dette at kurveforløpet mister kontinuitet ved henholdsvis $\log(f_R) = -8$, $\log(f_R) = -3$ og $\log(f_R) = -4$. $\log(f_R)$ -verdiene tilsvarer $|E^*|$ -verdier langs modellenes nedre asymptote, et område det er usannsynlig å nå under feltforhold.

Tabell 11: Oversikt over modellkonstantene ved bruk av generalisert logistisk sigmoidmodell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvemodellen

Konstanter	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Gj.snitt	St.Av	Cv (%)
CA	10728	-	-	-	-	-	-
C1	-	18	15232	-	-	-	-
C2	-	143	120176	-	-	-	-
b	-	-	-	-0,1264	-	-	-
c	-	-	-	0,0009	-	-	-
E* min [MPa]	454	597	147	593	448	211	47,1
E* maks [MPa]	56127	52007	46158	58901	53299	5539	10,4
β	0,8784	0,6691	1,3181	0,6864	0,8880	0,3021	34,0
γ	-0,2339	-0,1977	-0,3871	-0,1802	-0,2497	0,0943	37,8
λ	-0,0587	-0,2235	0,3810	-0,2383	-0,0349	0,2890	828,7

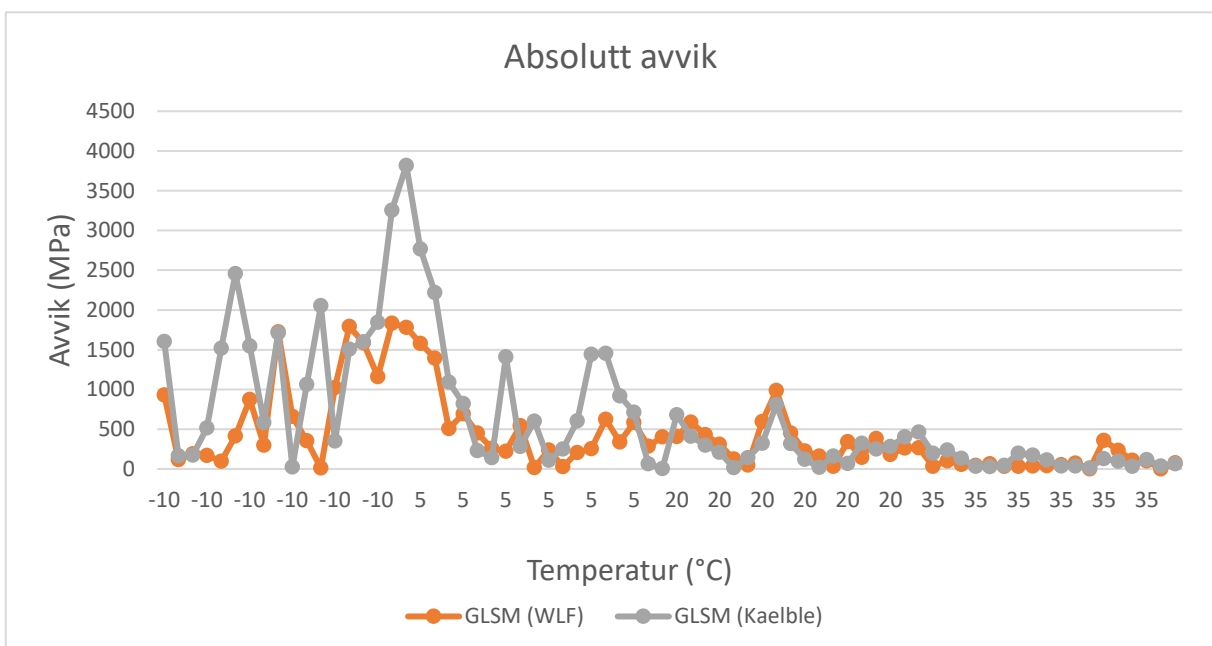


Figur 37: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for GLSM med en WLF- og Kaelble-funksjon innenfor det eksperimentelle området

Fra Tabell 8 kommer det frem at WLF- og Kaelble-funksjonen er henholdsvis den mest og minst presise modellkombinasjonen for GLSM. Figur 37 viser masterkurvene for begge modellene sammenlignet med de målte stivhetsverdiene innenfor det eksperimentelle området. Fra figuren kan det også i dette tilfelle observeres at begge modellene er svært godt tilpasset de målte verdiene. På samme måte som for SLSM, viser kurvene nærmest identiske forløp og til omtrent like gode tilnærminger til målte verdier i intervallet for redusert frekvens mellom -3 Hz og 2 Hz. Kaelble-funksjonen har i dette tilfelle et tydelig brattere kurveforløp enn WLF-funksjonen, og det ser ut til at Kaelble-funksjonen estimerer høyere stivhetsverdier ved lavere frekvenser enn WLF-funksjonen. Derimot skriver det brattere kurveforløpet seg fra det faktum at x-aksen for WLF går mot $\log(f_R) = 6$ og mot $\log(f_R) = 5$ for Kaelble. Datagrunnlaget er det samme, slik at kurveforløpet bare er tilsynelatende brattere. Det er omgjøringen til redusert frekvens som er forskjellig for de to modellene.

På samme måte som for SLSM, kommer det her frem at WLF-funksjonen i større grad enn Kaelble-funksjonen «glatter ut» punktskyene for målte verdier.

Figur 38 viser at de største avvikene oppstår i det nedre og midtre temperaturområdet. I dette tilfelle er det tydeligere at Kaelble-funksjonen er preget av større og flere plutselige sprang i avviksutviklingen enn WLF-funksjonen. Dette er sannsynligvis en av årsakene til at WLF-funksjonen viser noe bedre «goodness-of-fit»-statistikk.



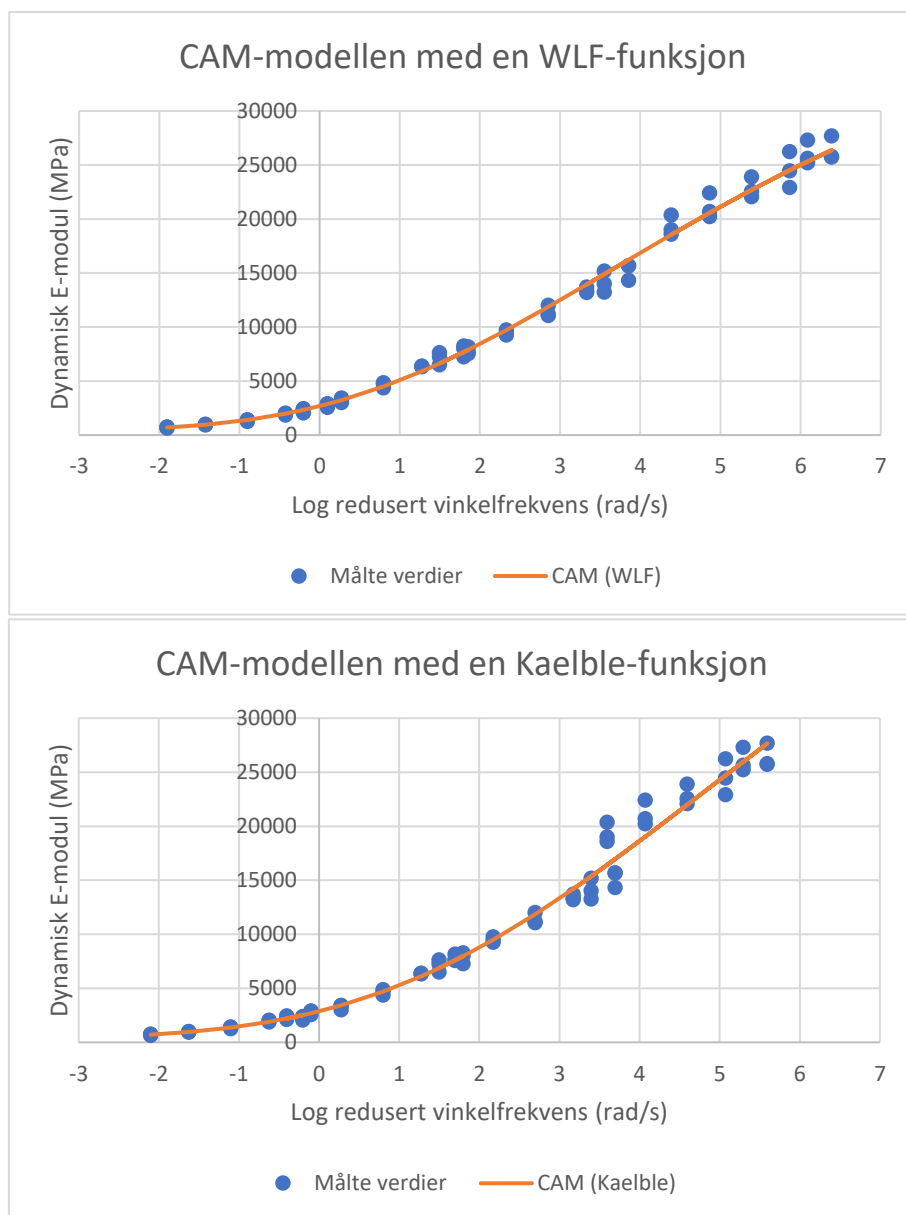
Figur 38: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier for GLSM

5.2.4 Christensen-Anderson-Marasteanu modell

Som nevnt i forrige avsnitt viser CAM-modellen svært god «goodness-of-fit»-statistikk for dette materialet. Masterkurvemodellen estimerer på samme måte som GLSM, verdier for $|E^*|_{min} \neq 0$. Ved å studere Tabell 12 kan det observeres at det er noe mindre variasjon på tvers av shiftfaktormodellene enn for GLSM. Samtidig er det også i dette tilfelle Kaelble-funksjonen som skiller seg ut, med ulik størrelsesorden av verdier for både ω_{cE} og w , samt en ulogisk høy $|E^*|_{maks}$ -verdi. Utelukkes Kaelble-funksjonen vil det være et relativt godt samsvar mellom de resterende shiftfaktormodellene. CAM-modellen er på samme måte som GLSM, preget av at shiftfaktormodellene på grunn av varierende modellkonstanter tilrettelegger for relativt ulike masterkurveforløp.

Tabell 12: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av Christensen–Anderson–Marasteanu modell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvemodellen

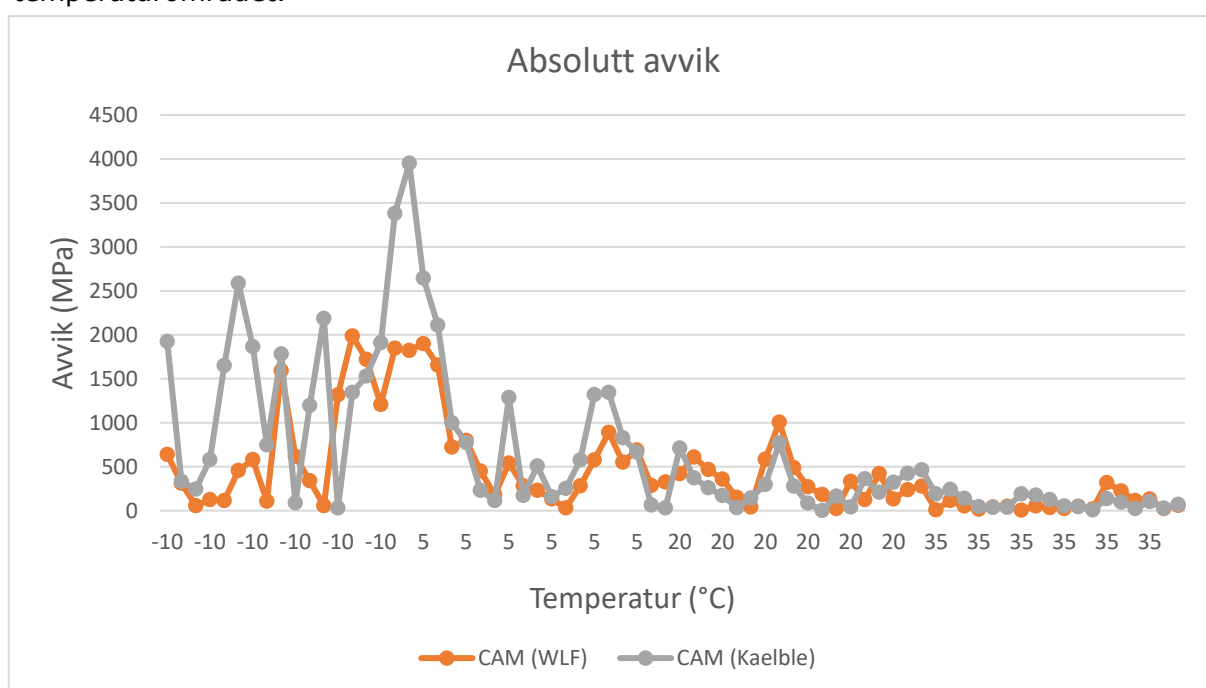
Konstanter	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Gj. Snitt	St. Av	C_v (%)
CA	10739	-	-	-	-	-	-
C1	-	20	12059	-	-	-	-
C2	-	159	95230	-	-	-	-
b	-	-	-	-0,1259	-	-	-
c	-	-	-	0,0008	-	-	-
$ E^* _{\min}$ [MPa]	363	378	304	359	351	32	9,2
$ E^* _{\max}$ [MPa]	48745	40526	59663	43136	48017	8487	17,7
ω_{cE} [rad/s]	0,0000023	0,0000017	0,0014041	0,0000022	0,0004	0,0007	198,8
v	0,1230	0,1326	0,1200	0,1286	0,1261	0,0056	4,5
w	2,0016	2,3876	1,0055	2,1747	1,8924	0,6119	32,3
Re	2,4466	2,2696	2,5085	2,3415	2,3916	0,1066	4,5



Figur 39: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for CAM-modellen med en WLF- og Kaelble- funksjon innenfor det eksperimentelle området

Fra Tabell 8 kommer det fram at WLF- og Kaelble-funksjonen er henholdsvis den mest og minst presise modellkombinasjonen for CAM-modellen. På samme måte som for SLSM og GLSM er det tydelig fra Figur 39 at begge modellkombinasjonene viser omtrent like god tilnærming til målte verdier i det nedre og starten av det midtre området av redusert vinkelfrekvens. I dette tilfelle er det aktuelle intervallet mellom -2 rad/s og 3 rad/s. Den samme bratthetstrenden til Kaelble-funksjonen kan observeres for CAM-modellen også.

På samme måte som for de andre masterkurvemodellene, kommer det også her frem at WLF-funksjonen i større grad enn Kaelble-funksjonen «glatter ut» punktskyene for målte verdier. Dette er igjen en indikator på at WLF-funksjonen kanskje er en bedre modell enn Kaelble-funksjonen, men også trolig en grunn til at R^2 er litt større for førstnevnte. Årsaken til at WLF-funksjonen viser noe bedre «goodness-of-fit»-statistikk illustreres også i Figur 40, der det er tydelig at Kaelble-funksjonen samlet sett har et større totalt avvik til målte verdier. Avvikene er også i dette tilfelle størst i det nedre temperaturområdet.

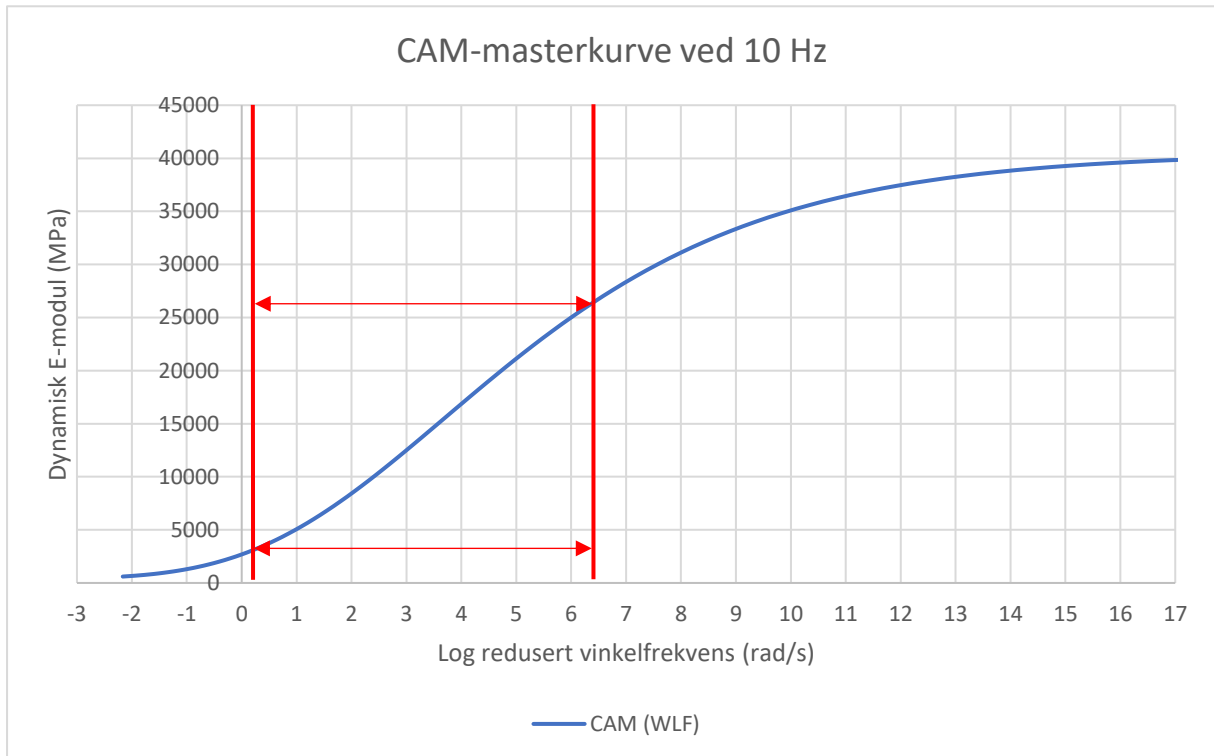


Figur 40: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier for CAM-modellen

5.2.5 Oppsummering

Basert på det som allerede er diskutert, er det tydelig at WLF-funksjonen skiller seg ut som en god modell for å beskrive temperaturavhengigheten til SMA 11 S med polymermodifisert bindemiddel 25/55-55. Totalt sett er det kombinasjonen GLSM og WLF-funksjonen som viser den beste «goodness-of-fit»-statistikken. Derimot er forskjellen mellom statistikken for de ulike modellkombinasjonen så marginal, at det er vanskelig å si helt konkret hvilken modell som er den beste. Både GLSM og CAM-modellen viser omtrent til en identisk statistikk. For å oppsummere resultatene av stivhetsmodelleringene for SMA 11 S er det valgt å fremstille materialets dynamiske E-modul over et redusert frekvensområde som dekker det eksperimentelle området og et definert område av ekstrapolerte verdier, ved hjelp av CAM-modellen med en WLF-funksjon. Den aktuelle modellkombinasjonen er valgt fordi den representeres av mer fornuftige og logiske modellkonstanter enn GLSM, til tross for at GLSM viser noe bedre «goodness-of-fit»-statistikk. Det er spesielt den relativt ulogisk høye $|E^*|_{maks}$ -verdien til GLSM som gjør at modellen ikke blir valgt som eksempel. Derimot betyr ikke dette at GLSM er en dårligere modell en CAM-modellen.

De ekstrapolerte verdiene omfatter temperaturverdier utenfor forsøkstemperaturene som er omgjort til redusert vinkelfrekvens. De aktuelle temperaturområdene er -50 °C til -10 °C , og 35 °C til 60 °C . Masterkurven er på dette grunnlaget konstruert som en funksjon av temperatur ($-50\text{ °C} \leq T \leq 60\text{ °C}$) ved en bestemt frekvens (10 Hz), omgjort til redusert vinkelfrekvens (rad/s). Figur 41 viser den resulterende masterkurven for SMA 11 S, ved bruk av en CAM-modell med en WLF-funksjon. De røde linjene og pilene markerer det eksperimentelle området ved 10 Hz . Området er avgrenset av $0,1\text{ rad/s} \leq \log(\omega\alpha T) \leq 6,39\text{ rad/s}$ langs x-aksen, som tilsvarer $2873\text{ MPa} \leq |E^*| \leq 26\,374\text{ MPa}$ langs y-aksen. Stivhetsområdene utenfor de røde linjene er ekstrapolerte verdier anslått av den aktuelle masterkurvemodellen.



Figur 41: CAM-masterkurve ved 10 Hz for SMA 11 S

5.3 SMA 8 S (50/70)

5.3.1 Oversikt over statistiske parametere og modellkonstanter

Tabell 13: Oppsummering av resultater for hver modellkombinasjon med et samlet statistisk spredningsmål mellom shiftfaktormodellene i forhold til hver masterkurvemodell

		SLSM				GLSM				CAM				Gj.snitt (MPa)	St. Av (MPa)	C _v (%)
		Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom			
SSE		0,0263	0,0247	0,0247	0,0247	0,0086	0,0078	0,0080	0,0078	0,0086	0,0080	0,0082	0,0078	-	-	-
Justert R ²		0,9910	0,9926	0,9927	0,9927	0,9976	0,9980	0,9980	0,9980	0,9976	0,9980	0,9979	0,9980	-	-	-
SER		0,0994	0,0909	0,0904	0,0904	0,0514	0,0474	0,0480	0,0474	0,0514	0,0477	0,0489	0,0474	-	-	-
E* maks		21012	21460	21515	21510	25080	25708	25949	25716	25138	26561	27019	25725	24366	2275	9,3
E* min		0	0	0	0	280	196	152	196	287	330	303	195	162	130	80,5
log(αT)	-10 °C	4,333	4,131	4,109	4,111	4,541	4,395	4,337	4,394	4,542	4,415	4,350	4,394	4,338	0,149	3,4
	5 °C	2,050	2,059	2,061	2,060	2,148	2,163	2,171	2,163	2,149	2,167	2,176	2,163	2,127	0,052	2,5

Tabell 13 oppsummerer de viktigste resultatene for hver modellkombinasjon. På samme måte som for SMA 11 S viser samtlige modeller til svært god «goodness-of-fit»-statistikk. I dette tilfelle viser alle modellkombinasjonene en $R^2 > 0,99$. For dette materialet er det også GLSM og CAM-modellen som gir de mest presise tilnærmingene til de målte verdiene. En svakhet ved SLSM for dette materialet er at den ved alle shiftfaktormodellene estimerer $|E^*|_{maks}$ -verdier som er lavere enn noen av de målte stivhetsverdiene ved -10 °C (se vedlegg 6 og figurene for SLSM).

Sammenlignet med SMA 11 S er det tydelig fra Tabell 13 at modelleringen av SMA 8 S er preget av langt mindre variasjon på tvers av modellene. Utelukkes variasjonskoeffisienten for $|E^*|_{min}$ viser resterende konstanter i Tabell 13 en $C_v < 0,20$ med god margin, noe som ifølge «Angelone et al. (2013)» tyder på statistisk likhet mellom modellene.

Til tross for at modelleringen av SMA 8 S viser langt mindre variasjon og mer stabile resultater på tvers av shiftfaktormodellene sammenlignet med SMA 11 S, er det tydelig fra Tabell 14 at det er noe større variasjon på tvers av masterkurvemodellene. På samme måte som for SMA 11 S viser Arrhenius-funksjonen til svært stabile resultater, med de laveste C_v -verdiene. Samtidig kommer det frem fra Tabell 14 at hovedvekten av all variasjon er tilknyttet modellkonstantene. Det er vanskelig å si om stor eller liten variasjonen mellom konstantene til shiftfaktormodellene på tvers av masterkurvemodellene faktisk avslører gode og mindre gode modeller. Det kan tenkes at det betydningsfulle i denne sammenheng er hvordan konstantene påvirker verdiene for $\log(\alpha T)$ ved de ulike forsøkstemperaturene. Disse verdiene viser derimot til svært stabile resultater. I dette tilfelle er det ingen av shiftfaktormodellene som skiller seg ut, slik som Kaelble-funksjonen gjorde for SMA 11 S.

Tabell 14: Oppsummering av resultater for hver modellkombinasjon med statistisk spredningsmål mellom masterkurvmodellene i forhold til hver shiftfaktormodell

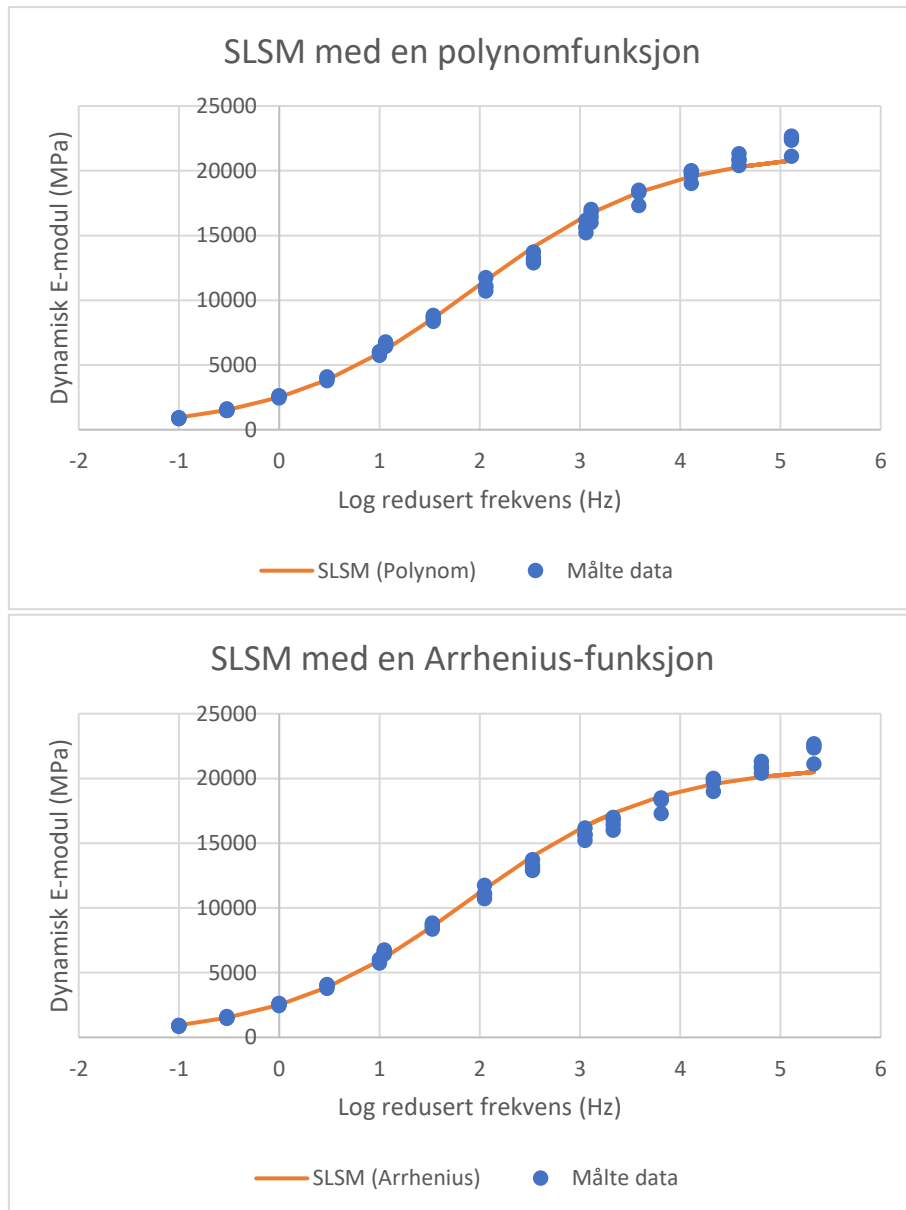
	Arrhenius			Gj.snitt	St.Av	C _v (%)
	SLSM	GLSM	CAM			
CA	11141	11677	11680	11499	310	2,7
log(α T) -10 °C	4,333	4,541	4,542	4,472	0,121	2,7
log(α T) 5 °C	2,050	2,148	2,149	2,115	0,057	2,7
	WLF			Gj.snitt	St.Av	C _v (%)
	SLSM	GLSM	CAM			
C ₁	667	137	118	307	311	101,3
C ₂	4871	965	834	2223	2294	103,2
log(α T) -10 °C	4,131	4,395	4,415	4,314	0,159	3,7
log(α T) 5 °C	2,059	2,163	2,167	2,130	0,061	2,9
	Kaelble			Gj.snitt	St.Av	C _v (%)
	SLSM	GLSM	CAM			
C ₁	698	2185	3993	2292	1649,99	72,0
C ₂	5065	15083	27507	15885	11242,1	70,8
log(α T) -10 °C	4,109	4,337	4,350	4,265	0,135	3,2
log(α T) 5 °C	2,061	2,171	2,176	2,136	0,065	3,1
	Polynom			Gj.snitt	St.Av	C _v (%)
	SLSM	GLSM	CAM			
b	-0,13771	-0,14193	-0,14199	-0,14054	0,00246	1,7
c	-0,00002	0,00015	0,00015	0,00009	0,00010	107,8
log(α T) -10 °C	4,111	4,394	4,394	4,300	0,164	3,8
log(α T) 5 °C	2,060	2,163	2,163	2,129	0,059	2,8

5.3.2 Standard logistisk sigmoidmodell

Til tross for at SLSM tilpasser seg de målte verdiene svært godt er den også for dette materialet den minst presise masterkurvmodellen. I tillegg til at modellen estimerer $|E^*|_{min} = 0$ for samtlige shiftfaktormodeller er den som nevnt i forrige avsnitt, preget av estimerte $|E^*|_{maks}$ - verdier som er lavere enn noen av de målte stivhetsverdiene ved -10 °C. Fra Tabell 15 er det tydelig at SLSM også for SMA 8 S viser stabile modellresultater på tvers av shiftfaktormodellene. Dette gjenspeiles i lave verdier for C_v.

Tabell 15: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av standard logistisk sigmoidmodell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvmodellen

Konstanter	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Gj. Snitt	St. Av	C _v (%)
CA	11141	-	-	-	-	-	-
C ₁	-	667	698	-	-	-	-
C ₂	-	4871	5065	-	-	-	-
b	-	-	-	-0,1377	-	-	-
c	-	-	-	-0,00002	-	-	-
E* _{min} [MPa]	0	0	0	0	0	0	-
E* _{maks} [MPa]	21012	21460	21515	21510	21374	243	1,1
β	1,9965	2,0238	2,0271	2,0268	2,0186	0,0147	0,7
γ	-1,0631	-1,0553	-1,0544	-1,0544	-1,0568	0,0042	0,4

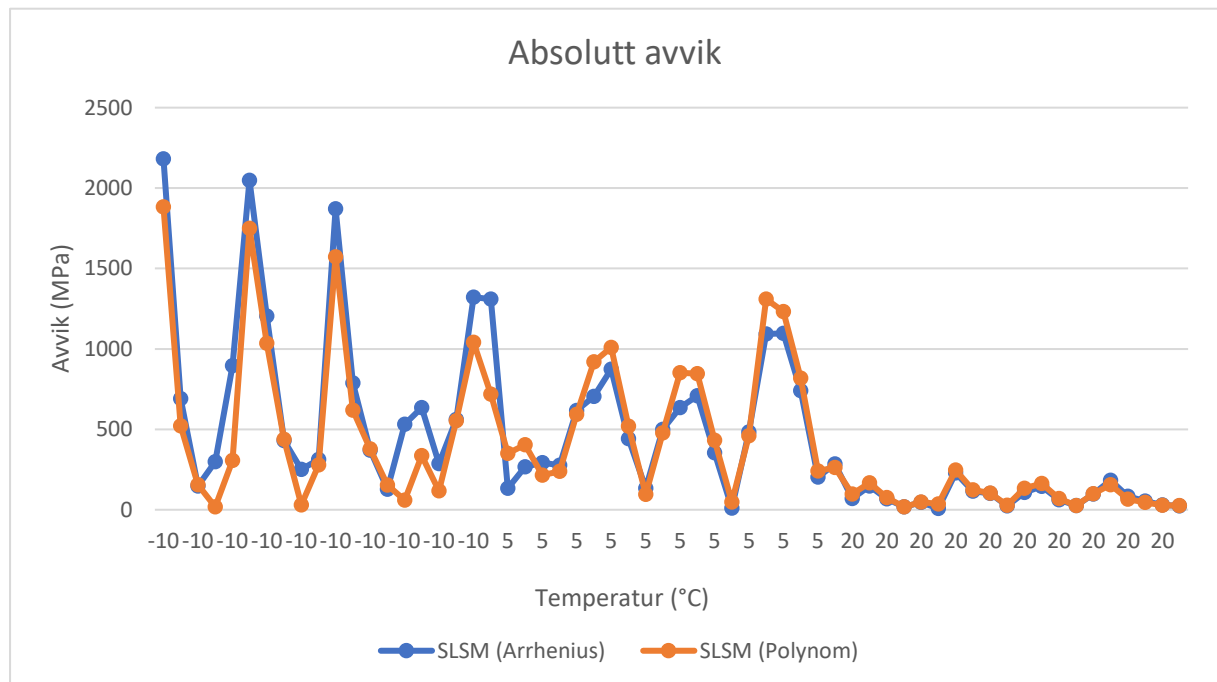


Figur 42: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for SLSM med en polynom- og Arrhenius-funksjon innenfor det eksperimentelle området

Fra Tabell 13 kommer det fram at WLF- og polynomfunksjonen, og Arrhenius-funksjonen er henholdsvis de mest og den minst presise modellkombinasjonen for SLSM. Blant de to mest presise shiftfaktormodellene er polynomfunksjonen valgt å fremstille grafisk. Figur 42 viser masterkurvene for begge modellene sammenlignet med de målte stivhetsverdiene innenfor det eksperimentelle området. Fra figuren kan det observeres at begge modellene er godt tilpasset de målte verdiene. Dette gjenspeiles i at det er små forskjeller i verdiene for R^2 og SER mellom modellene. I intervallet for redusert frekvens mellom -1 Hz og 2 Hz er kurvene bortimot likestilte i hvor godt de passer de målte verdiene. Fra og med $\log(f_R) = 2$ viser polynomfunksjonen at de målte verdiene i litt større grad samles rundt kurven, enn det Arrhenius-funksjonen viser. Dette er kanskje en indikator på at polynomfunksjonen er en bedre modell enn Arrhenius-funksjonen i dette tilfellet, men også trolig en grunn til at R^2 er litt større for førstnevnte. Det kommer også tydelig frem at begge kurvene avviker relativt mye fra de målte verdiene i øverste

området for redusert frekvens. Dette gjenspeiler problemet med at SLSM estimerer for lave $|E^*|_{maks}$ -verdier.

Figur 43 viser hvordan absolutt avvik utvikler seg ved forsøkstemperaturene. På samme måte som for SMA 11 S oppstår de største avvikene i det nedre og midtre temperaturområdet. Figuren viser at avvikstrenden nesten har en bølgeform, som er spesielt tydelig i det nedre temperaturområdet. Dette tyder kanskje på ustabilitet i hvordan SLSM tilpasser seg målte verdier i det nedre temperaturområdet, noe som er observert tidligere i dette avsnittet. Selv om forskjellene mellom modellene er små, kommer det allikevel frem fra figuren at polynomfunksjonen totalt sett har de laveste avvikene. Dette forklarer nok noe av årsaken til at modellen ikke viser like bra «goodness-of-fit»-statistikk for hvor godt den passer de målte verdiene.



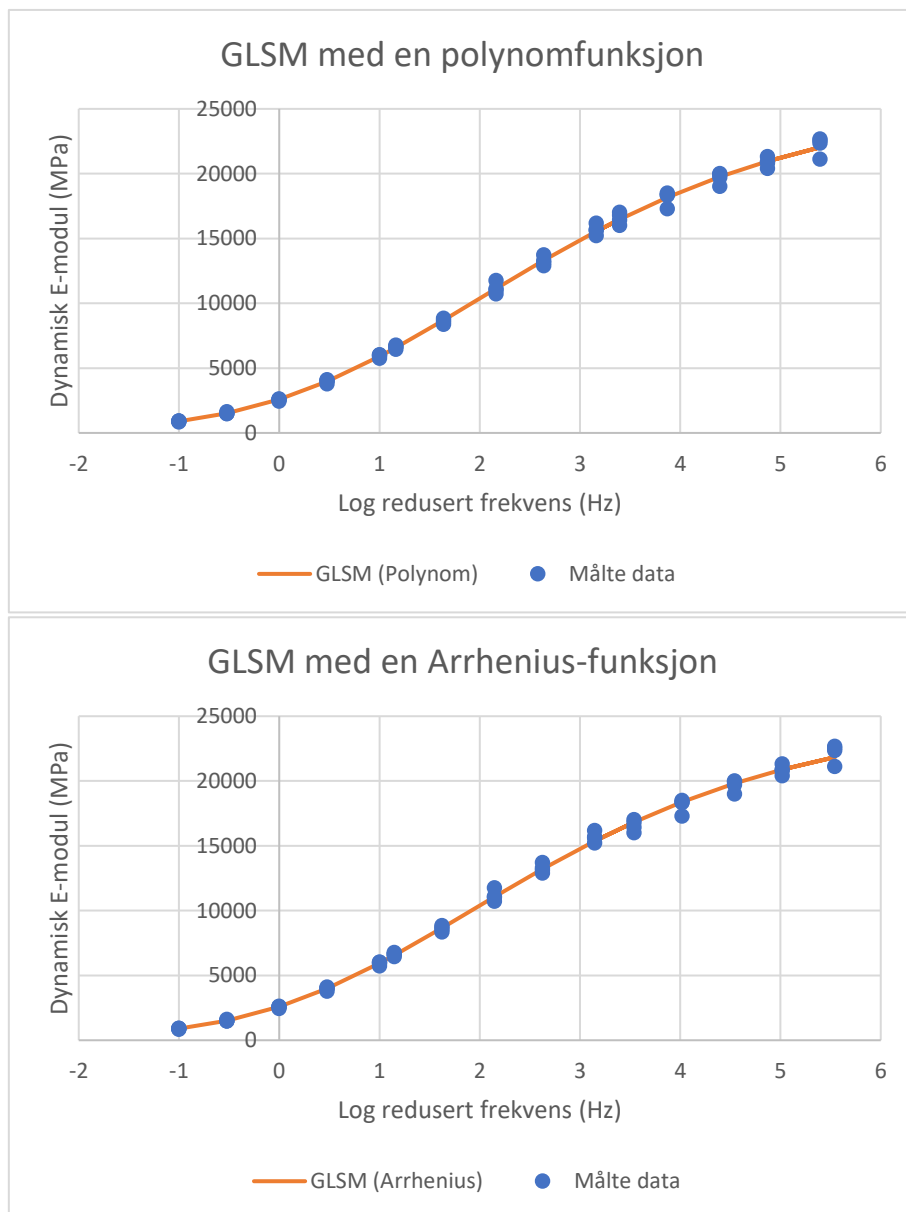
Figur 43: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier SLSM

5.3.3 Generalisert logistisk sigmoidmodell

GLSM sammen med CAM-modellen viser den mest presise «goodnes-of-fit»-statistikken for dette materialet. I motsetning til SLSM estimerer GLSM-modellene verdier for $|E^*|_{min} \neq 0$, en tilnærming som vurderes å være mer logisk. GLSM viser noe statistisk spredning, hovedsakelig ved verdiene for $|E^*|_{min}$ og λ . I dette tilfelle er det Arrhenius-funksjonen som forstyrrer C_v , mens de andre shiftfaktormodellene estimerer relativt like verdier for $|E^*|_{min}$. For modellkonstanten λ på tvers av shiftfaktormodellene er variasjonen derimot relativt liten og regnes derfor som ubetydelig.

Tabell 16: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av generalisert logistisk sigmoidmodell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvemodellen

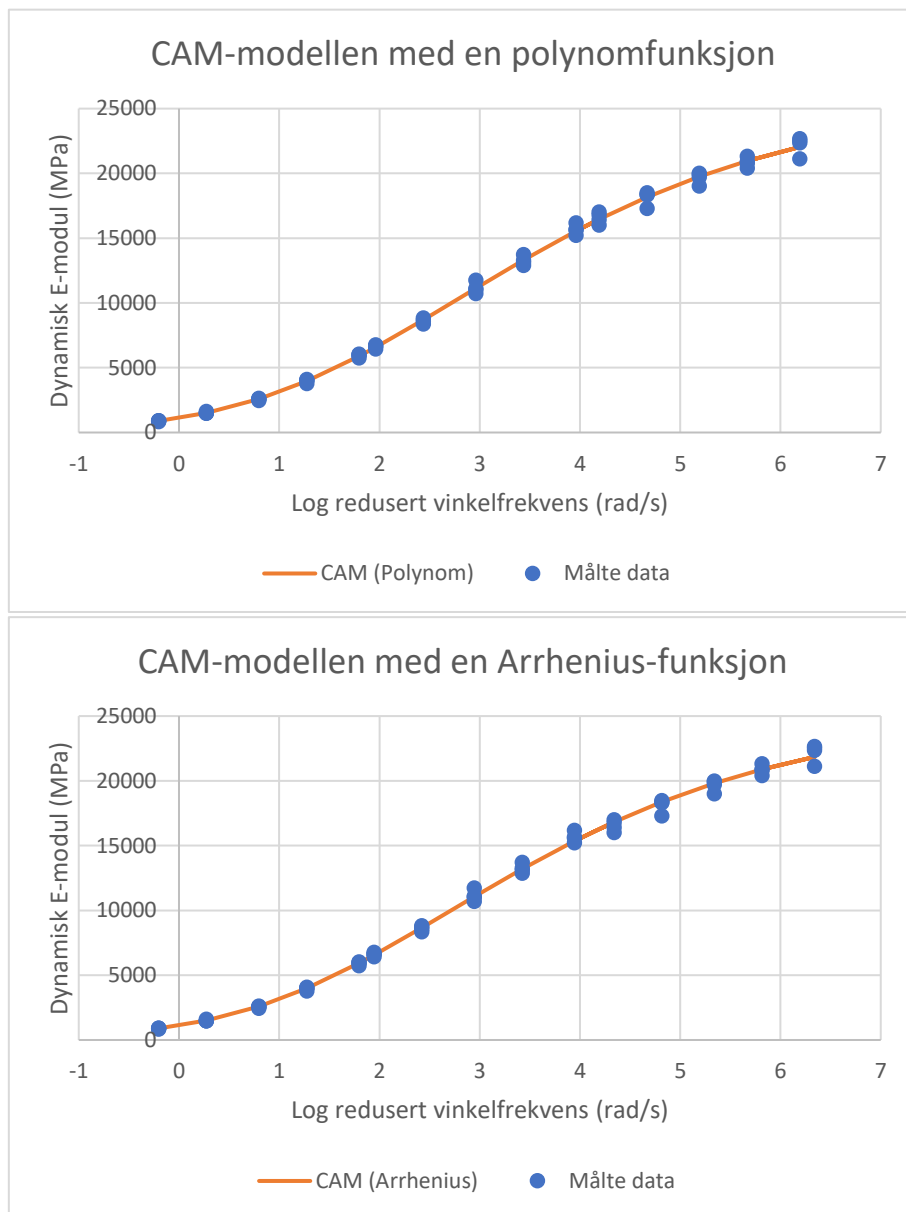
Konstanter	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Gj. Snitt	St. Av	C_v (%)
C_A	11677	-	-	-	-	-	-
C_1	-	137	2185	-	-	-	-
C_2	-	965	15083	-	-	-	-
b	-	-	-	-0,1419	-	-	-
c	-	-	-	0,0002	-	-	-
$ E^* _{\min}$ [MPa]	280	196	152	196	206	54	26,0
$ E^* _{\max}$ [MPa]	25080	25708	25949	25716	25613	373	1,5
β	1,0322	1,0922	1,1250	1,0921	1,0854	0,0387	3,6
γ	-0,5392	-0,5446	-0,5495	-0,5444	-0,5444	0,0042	0,8
λ	0,1372	0,1876	0,2162	0,1873	0,1821	0,0328	18,0



Figur 44: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for GLSM med en polynom- og Arrhenius-funksjon innenfor det eksperimentelle området

Tabell 17: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av Christensen–Anderson–Marasteanu modell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvemodellen

Konstanter	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Gj. Snitt	St. Av	C _v (%)
CA	11680	-	-	-	-	-	-
C1	-	118	3993	-	-	-	-
C2	-	834	27507	-	-	-	-
b	-	-	-	-0,1420	-	-	-
c	-	-	-	0,0001	-	-	-
E* min [MPa]	287	330	303	195	279	59	21,1
E* maks [MPa]	25138	26561	27019	25725	26111	841	3,2
ω_{cE} [rad/s]	0,0777	0,0016	0,0033	0,5384	0,1553	0,2579	166,1
ν	0,2325	0,2136	0,2122	0,2363	0,2237	0,0125	5,6
w	1,7990	3,3367	2,8402	1,2593	2,3088	0,9488	41,1
Re	1,2948	1,4091	1,4186	1,2737	1,3491	0,0754	5,6

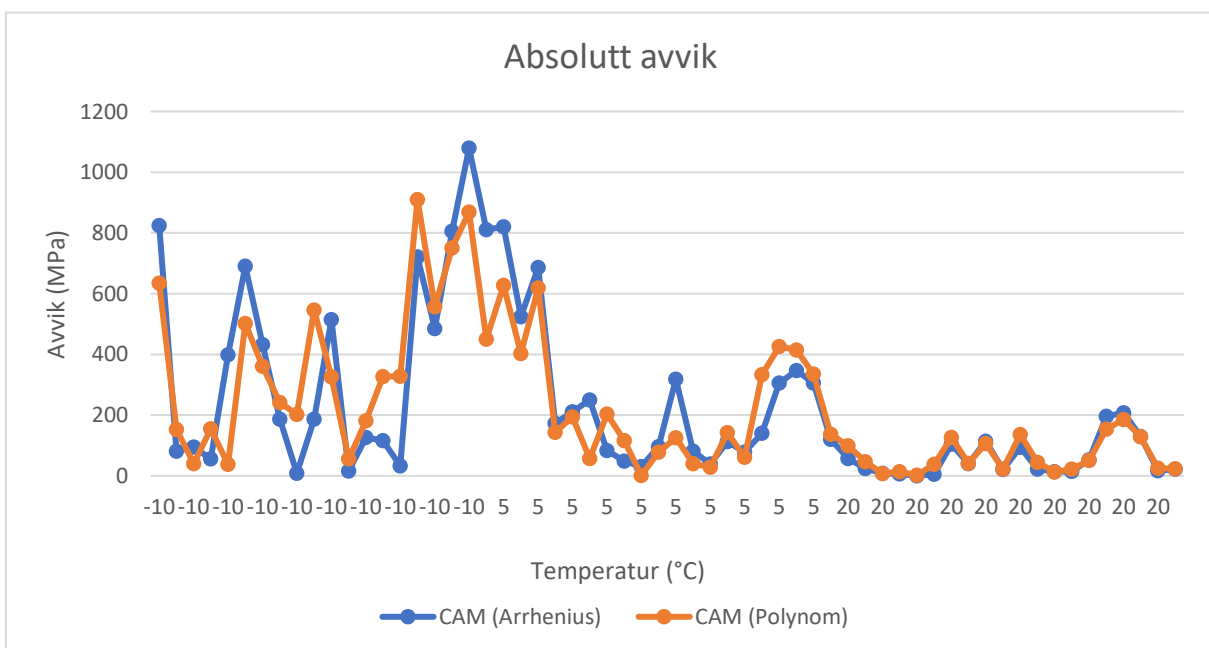


Figur 46: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for CAM-modellen med en polynom- og Arrhenius-funksjon innenfor det eksperimentelle området

Fra Tabell 13 kommer det frem at polynomfunksjonen og Arrhenius-funksjonen er henholdsvis den mest og minst presise modellkombinasjonen for CAM-modellen. Til tross for at polynomfunksjonen og WLF-funksjonen har lik R^2 -verdi, har førstnevnte en litt lavere SER-verdi. Fra Figur 46 kan det observeres at begge modellene er svært godt tilpasset de målte verdiene, og på samme måte som for GLSM, betydelig bedre enn SLSM-modellene. Fra Figur 46 kommer det frem at begge modellkombinasjonene viser omtrent like gode tilnærminger til målte verdier i det nedre og starten av det midtre området av redusert vinkelfrekvens. I dette tilfelle er det aktuelle intervallet mellom $-0,2$ rad/s og omtrent 4 rad/s.

Fra og med $\log(f_R) = 4$ viser polynomfunksjonen at de målte verdiene i litt større grad samles rundt kurven enn det Arrhenius-funksjonen viser. Dette er igjen en indikator på at polynomfunksjonen kanskje er en bedre modell enn Arrhenius-funksjonen for dette materialet, og en mulig årsak til at R^2 er litt større for førstnevnte. På samme måte som GLSM er CAM-modellene bedre tilpasset stivhetsverdiene i det øvre området for redusert frekvens enn SLSM.

Fra Figur 47 kan det observeres at avviksutviklingen er omtrent lik som for GLSM-modellene. I dette tilfelle er de største avvikene også konsentrert mellom det nedre og midtre temperaturområdet. Om dette har en betydning for kvaliteten av CAM-modellen som masterkurvemodell er vanskelig å si, men fra figuren kommer det frem at polynomfunksjonen til tross for små forskjeller mellom modellene, totalt sett har de laveste avvikene. På samme måte som de andre masterkurvemodellene forklarer nok avviksutviklingen noe av årsaken til at Arrhenius-funksjonen ikke viser like bra «goodness-of-fit»-statistikk for hvor godt den passer de målte verdiene



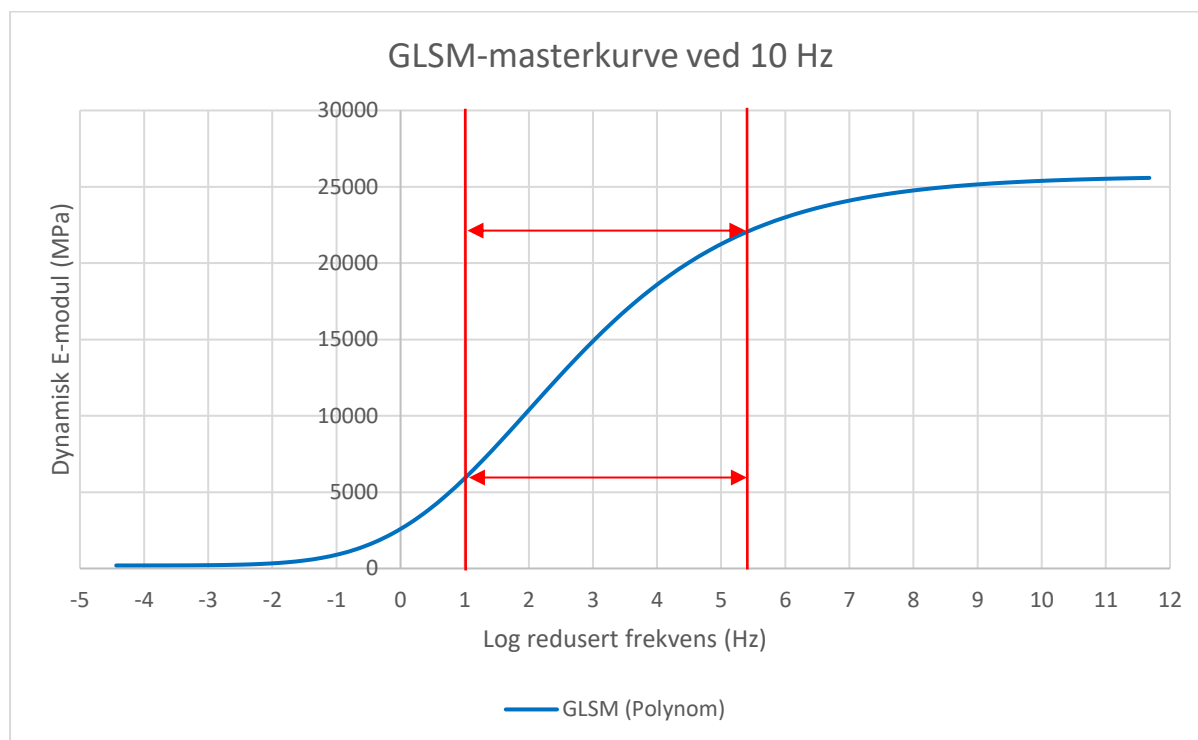
Figur 47: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier GLSM

5.3.5 Oppsummering

Basert på det som allerede er diskutert er det tydelig at polynomfunksjonen skiller seg ut som en god modell for å beskrive temperaturavhengigheten til SMA 8 S med standard bindemiddel 50/70. Selv om polynomfunksjonen totalt sett viser til de beste resultatene er shiftfaktormodellen ikke en fasit, da WLF-funksjonen omtrent viser til like gode resultater. Både GLSM og CAM-modellen skiller seg ut som bedre masterkurvemodeller enn SLSM for dette materialet. Ettersom GLSM visere lavere variasjon på tvers av shiftfaktormodellene enn CAM-modellen, er det valgt å oppsummere SMA 8 S med modellkombinasjonen GLSM og polynomfunksjon, selv om det totalt sett er tre modellkombinasjoner som viser den beste «goodness-of-fit»-statistikken (Tabell 13).

For å oppsummere resultatene av stivhetsmodelleringene for SMA 8 S er det valgt å fremstille materialets dynamiske E-modul over et redusert frekvensområde som dekker det eksperimentelle området og et definert område av ekstrapolerte verdier, ved hjelp av GLSM med en polynomfunksjon.

De ekstrapolerte verdiene omfatter temperaturverdier utenfor forsøks temperaturene som er omgjort til redusert frekvens. De aktuelle temperaturområdene er -50 °C til -10 °C , og 20 °C til 60 °C . Masterkurven er på dette grunnlaget konstruert som en funksjon av temperatur ($-50\text{ °C} \leq T \leq 60\text{ °C}$) ved en bestemt frekvens (10 Hz), omgjort til redusert frekvens (Hz). Figur 48 viser den resulterende masterkurven for SMA 8 S. De røde linjene og pilene markerer det eksperimentelle området ved 10 Hz. Området er avgrenset av $1\text{ Hz} \leq \log(f_R) \leq 5,39\text{ Hz}$ langs x-aksen som tilsvarer $5943\text{ MPa} \leq |E^*| \leq 22\,034\text{ MPa}$ langs y-aksen. Sammenlignet med SMA 11 S dekker det eksperimentelle området mindre av masterkurven. Dette er fordi SMA 8 S ble testet innenfor et mindre temperaturområde, mellom -10 °C og 20 °C , i motsetning til -10 °C og 35 °C som for SMA 11 S. Stivhetsområdene utenfor de røde linjene er ekstrapolerte verdier anslått av den aktuelle masterkurvemodellen.



Figur 48: GLSM-masterkurve ved 10 Hz for SMA 8 S

5.4 Sammenlikning av SMA 11 S og SMA 8 S

I dette delkapittelet er det fokusert på å gi en beskrivelse og oversikt over hvordan CAM-modellen tilpasser seg to ulike materialsammensetninger. CAM-modellen er valgt fordi den totalt sett viste den beste «goodness-of-fit»-statistikken for begge materialene. Til tross for at materialene har ulik øvre kornstørrelse, vil bindemiddeltype i dette tilfelle være den dominerende faktoren, da bindemiddelet i aller størst grad påvirker stivheten til materialet. Det skal nevnes at forsøksgrunnlaget for materialene ikke er det samme. Datasettet til SMA 11 S består av 72 forsøksdata som inkluderer fire forsøkstemperaturer og seks belastningsfrekvenser med tre prøver for hver temperatur. Datasettet til SMA 8 S består av 60 forsøksdata som inkluderer tre forsøkstemperaturer og fem belastningsfrekvenser med fire prøver for hver temperatur. Til tross for disse ulikhetene er det elementer i modelleringene som kan trekkes ut som unike for den aktuelle massesammensetningen.

Tabell 18 viser en overordnet oversikt over materialenes «goodness-of-fit»-statistikk med tilhørende verdier for $|E^*|_{maks}$, $|E^*|_{min}$ og $\log(\alpha T)$. Fra tabellen er det tydelig at resultatene for SMA 8 S skiller seg ut som mer presise, med høyere og lavere verdier for henholdsvis R^2 og SER. Noe av dette skyldes at optimeringen er mindre kompleks for SMA 8 S ettersom datasettet er mindre og at det derfor er færre differanser mellom målte og estimerte verdier (datapar) som skal minimeres. En interessant observasjon er at det for SMA 11 S er langt større spredning mellom verdiene for $|E^*|_{maks}$ enn SMA 8 S, men at $|E^*|_{min}$ -verdiene på tvers av materialene viser nærmest identiske resultater. Noe av årsaken kan forklares med at samtlige modellkombinasjoner uavhengig av materialtype bedre estimerer E-moduldata ved høyere temperaturer enn ved lave temperaturer. For SMA 11 S som inneholder polymermodifisert bindemiddel, ble denne effekten forsterket i det nedre temperaturområdet, som gjenspeiles i stor variasjon (høye C_v -verdier) mellom $|E^*|_{maks}$ -verdiene. Den noe større variasjonen i det nedre temperaturområdet for SMA 11 S kan også observeres i $\log(\alpha T)$ -verdiene ved -10 °C og 5 °C, der verdiene på tvers av modellene varierer mer enn for tilsvarende verdier for SMA 8 S.

Tabell 18: Sammenlikning av statistiske parametere, grenseverdier og verdier for shiftfaktor ved aktuelle forsøkstemperaturer for CAM-modellen

		SMA 11 S				SMA 8 S			
		Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom
SSE		0,0535	0,0466	0,0793	0,0500	0,0086	0,0080	0,0082	0,0078
Justert R^2		0,9910	0,9934	0,9846	0,9928	0,9976	0,9980	0,9979	0,9980
SER		0,0994	0,0854	0,1306	0,0893	0,0514	0,0477	0,0489	0,0474
$ E^* _{maks}$		48745	40526	59663	43136	25138	26561	27019	25725
$ E^* _{min}$		363	378	304	359	287	330	303	195
$\log(\alpha T)$	-10 [°C]	4,176	4,590	3,798	4,461	4,542	4,415	4,350	4,394
	5 [°C]	1,976	2,055	1,899	2,059	2,149	2,167	2,176	2,163
	35 [°C]	-1,783	-1,700	-1,899	-1,717	-	-	-	-

Tabell 19 viser en oversikt over modellkonstantene til både shiftfaktor- og masterkurvemodellen for begge materialene.

Den øverste delen av tabellen viser hvordan konstantene i shiftfaktormodellene varierer for de to materialtypene. Ved å studere modellkonstantene til eksempelvis WLF-funksjonen, indikerer verdiene at kurveforløpet til SMA 11 S krummer mer enn SMA 8 S. Dette betyr at $\log(\alpha T)$ øker hurtigere i det nedre temperaturområdet og saktere i det øvre temperaturområdet som vist i Figur 49. Dette gjør at masterkurvemodellen for SMA 11 S estimerer høyere stivhetsverdier enn SMA 8 S i det øvre og nedre området av redusert vinkelfrekvens (Figur 50). Det skal nevnes at kurvene i Figur 50 har ulike x-verdier, og er derfor ikke direkte sammenlignbare. De er presentert i samme graf for å prinsipielt illustrere forskjeller mellom materialene.

Den nederste delen av Tabell 19 viser modellkonstantene som bestemmer formen til masterkurven. Konstantene skiller seg tydelig ut for det enkelte materialet. Tabellen viser at ω_{cE} -verdiene for SMA 11 S er i langt lavere størrelsesorden (med unntak av Kaelble) enn tilsvarende verdier for SMA 8 S. ω_{cE} indikerer masterkurvens posisjon og materialets sammenlagte stivhet. En lavere verdi betyr at kurven et forskjøvet mer mot origo, som igjen vil si at materialet estimeres å generelt være stivere over hele området av redusert vinkelfrekvens som inkluderer eksperimentelle og ekstrapolerte verdier. Dette kan observeres i Figur 50.

Tabellen viser også at verdiene for v og Re forholdsvis synker og stiger når bindemiddelstivheten øker. Konstanten v og den reologiske indeksen Re er omvendt proporsjonale og bestemmer formen til masterkurven. v -verdien indikerer også hvor langsomt eller hurtig $|E^*|$ konvergerer mot den øvre grenseverdien. Masterkurven til et stivere materiale vil normalt sett ha en flatere form, som indikerer en mer gradvis stivhetsovergang (Ling *et al.*, 2017).

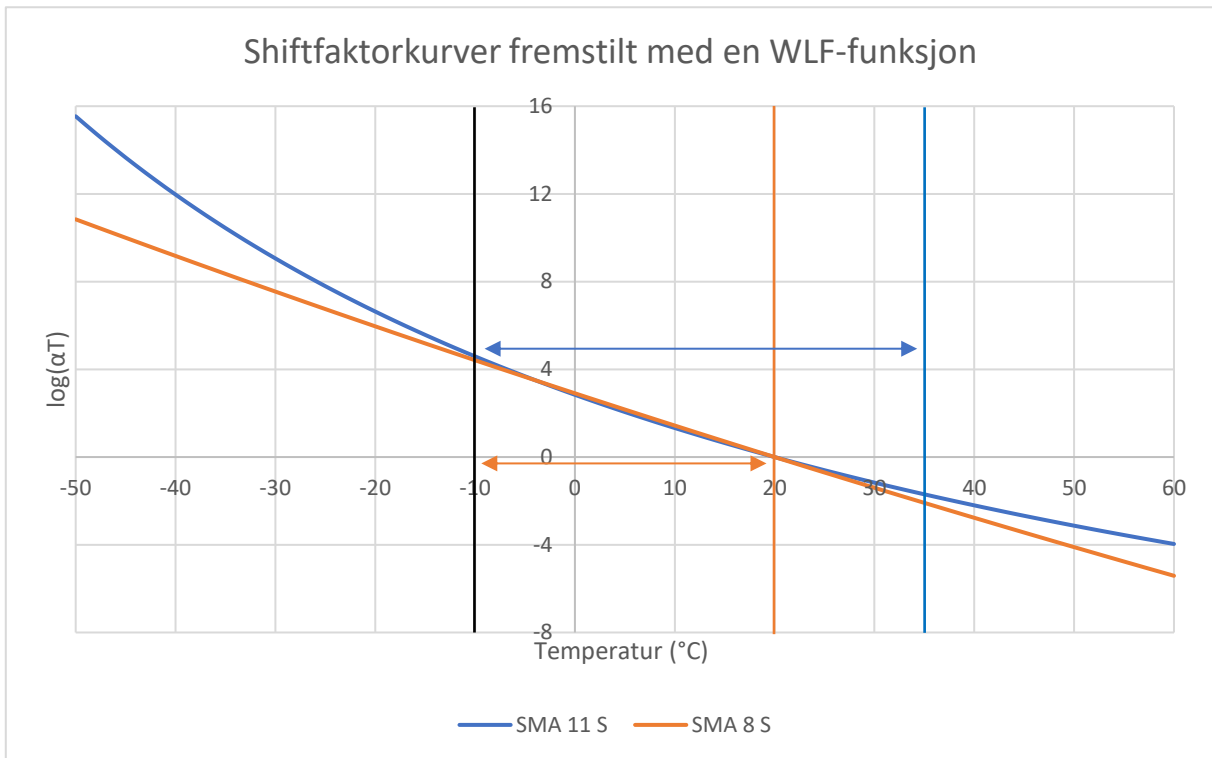
w -parameteren som indikerer hvor langsomt eller hurtig $|E^*|$ konvergerer mot den nedre grenseverdien, viser i dette tilfelle varierende resultater. For modellkombinasjonene det er valgt å fremstille grafisk, er det tydelig at SMA 8 S som inneholder et mindre stivt bindemiddel konvergerer raskere mot grenseverdiene (Figur 50). Dette reflekteres i en større verdi for w og v enn tilsvarende for SMA 11 S.

Tabell 19: Sammenlikning av modellkonstanter for CAM-modellen

Konstanter	SMA 11 S				SMA 8 S			
	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom
CA	10739	-	-	-	11680	-	-	-
C1	-	20	12059	-	-	118	3993	-
C2	-	159	95230	-	-	834	27507	-
b	-	-	-	-0,1259	-	-	-	-0,1420
c	-	-	-	0,0008	-	-	-	0,0001
$ E^* $ min [MPa]	363	378	304	359	287	330	303	195
$ E^* $ maks [MPa]	48745	40526	59663	43136	25138	26561	27019	25725
ω_{cE} [rad/s]	0,0000023	0,0000017	0,0014041	0,0000022	0,0777	0,0016	0,0033	0,5384
v	0,1230	0,1326	0,1200	0,1286	0,2325	0,2136	0,2122	0,2363
w	2,0016	2,3876	1,0055	2,1747	1,7990	3,3367	2,8402	1,2593
Re	2,4466	2,2696	2,5085	2,3415	1,2948	1,4091	1,4186	1,2737

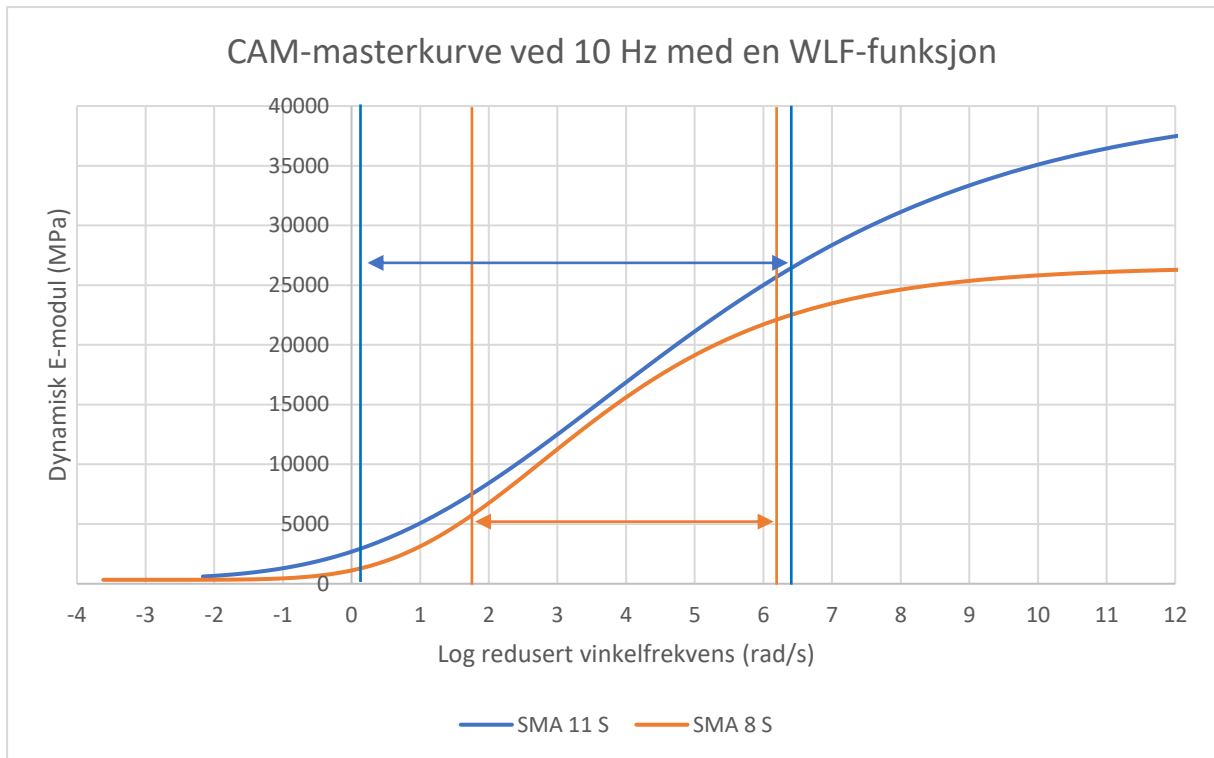
For å best mulig illustrerer forskjellen mellom materialene og innflytelsen bindemiddeltype har på masterkurven er det i Figur 49 og Figur 50 valgt å presentere henholdsvis shiftfaktor- og masterkurvene grafisk ved bruk av WLF-funksjonen. Årsaken er at WLF-funksjonen viser svært god «goodness-of-fit»-statistikk, samt logiske modellkonstanter som illustrerer materialenes stivhet på en god måte.

I Figur 49 er shiftfaktoren fremstilt som funksjon av temperatur både innenfor og utenfor det eksperimentelle området. Den svarte linjen markerer den nedre grensen for det eksperimentelle området som er felles for begge materialene. Den oransje og blå linjen indikerer henholdsvis den øvre grensen for SMA 8 S og SMA 11 S. Innenfor det eksperimentelle området er det tydelig at shiftfaktorverdiene er svært like for begge materialene. De ekstrapolerte verdiene er derimot relativt ulike for begge materialene, som reflekteres i avvikende kurveforløp mot lavere og høyere temperaturer.



Figur 49: Shiftfaktorkurve for SMA 11 S og SMA 8 S med en WLF-funksjon

I Figur 50 markerer de blå linjene og pilene, og oransje linjene og pilene det eksperimentelle området til henholdsvis SMA 11 S og SMA 8 S. Området til SMA 11 S er avgrenset av $0,1 \text{ rad/s} \leq \log(\omega\alpha T) \leq 6,39 \text{ rad/s}$ langs x-aksen som tilsvarer $2873 \text{ MPa} \leq |E^*| \leq 26\,374 \text{ MPa}$ langs y-aksen. Området til SMA 8 S er avgrenset av $1,80 \text{ rad/s} \leq \log(\omega\alpha T) \leq 6,21 \text{ rad/s}$ langs x-aksen som tilsvarer $5921 \text{ MPa} \leq |E^*| \leq 22\,150 \text{ MPa}$ langs y-aksen. Selv om kurvene ikke er direkte sammenlignbare på grunn av ulike x-verdier, kommer det frem fra figuren at SMA 11 S som inneholder polymermodifisert bindemiddel viser utvidete og mer fleksible egenskaper både innenfor og utenfor det eksperimentelle området. Kurven for SMA 11 S som representerer det modifiserte materialet viser høyere stivhet i det nedre området av redusert vinkelfrekvens, noe som er svært ønskelig med tanke på motstand mot permanente deformasjoner. Samtidig viser samme kurve til langt høyere stivhet i det øvre området av redusert vinkelfrekvens enn SMA 8 S, noe som i praktisk sammenheng ikke er like ønskelig. På den andre siden er det trolig usannsynlig at en kombinasjon av temperatur og belastning fra vegtrafikk vil indusere en stivhet som er i nærheten av det øverste området av redusert vinkelfrekvens.



Figur 50: CAM-masterkurve ved 10 Hz for SMA 11 S og SMA 8 S

5.5 AC 11 D S (25/55-55)

5.5.1 Oversikt over statistiske parametere og modellkonstanter

Tabell 20: Oppsummering av resultater for hver modellkombinasjon med et samlet statistisk spredningsmål mellom shiftfaktormodellene i forhold til hver masterkurvemodell

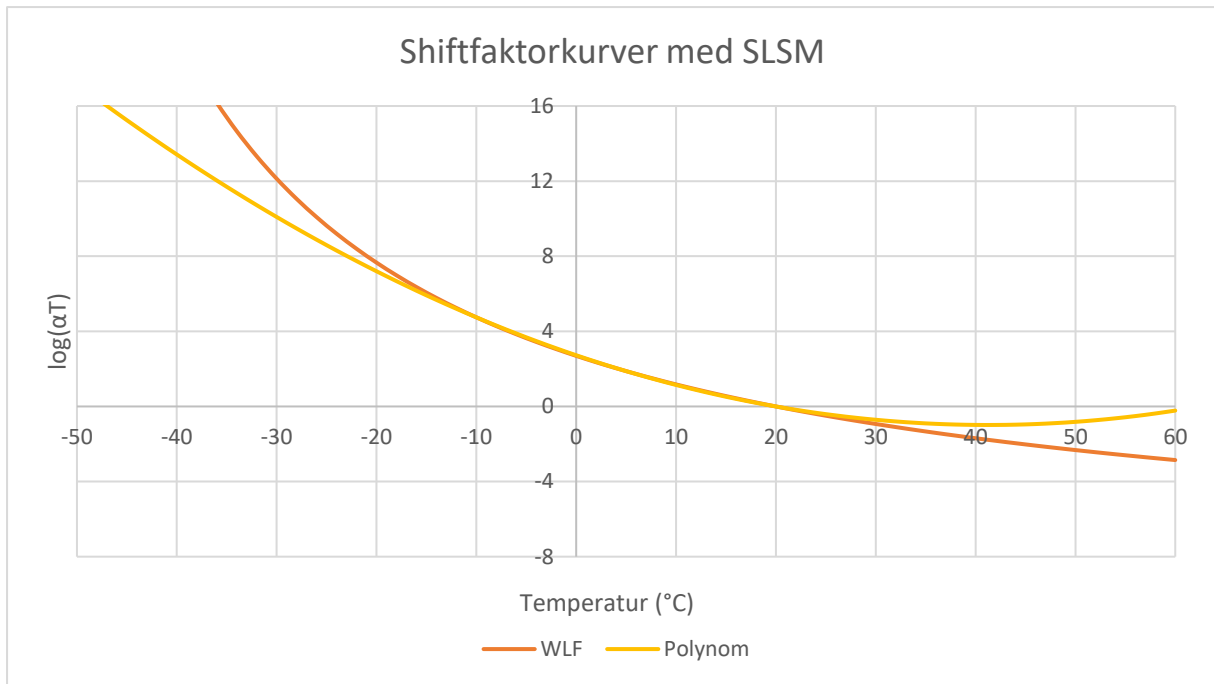
		SLSM				GLSM				CAM				Gj.snitt (MPa)	St.Av (MPa)	C _v (%)
		Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom			
SSE		0,0400	0,0216	0,0561	0,0216	0,0400	0,0190	0,0559	0,0190	0,0423	0,0193	0,0591	0,0194	-	-	-
Justert R ²		0,9884	0,9954	0,9826	0,9954	0,9885	0,9959	0,9834	0,9959	0,9863	0,9959	0,9799	0,9959	-	-	-
SER		0,1126	0,0718	0,1393	0,0718	0,1133	0,0682	0,1372	0,0682	0,1236	0,0684	0,1510	0,0684	-	-	-
E* maks		36129	30812	38483	30814	35695	39620	34858	39609	51808	36092	64265	35679	39489	9489	24,0
E* min		0	0	0	0	0	2030	0	2028	844	1296	641	1173	668	801	120,0
log(αT)	-10 °C	4,330	4,746	4,247	4,746	4,324	4,970	4,207	4,969	4,399	4,922	4,337	4,914	4,593	0,310	6,7
	5 °C	2,048	1,882	2,123	1,882	2,046	1,876	2,104	1,876	2,081	1,884	2,169	1,885	1,988	0,116	5,9

De oppsummerte statistiske parameterne fra Tabell 20 viser igjen at det totalt sett er GLSM og CAM-modellen som viser den beste «goodness-of-fit»-statistikken. Derimot er SLSM i dette tilfelle omtrent like presis ved to av shiftfaktormodellene, noe den ikke var for SMA-materialene. Samtidig estimerer fortsatt SLSM $|E^*|_{min} = 0$ ved samtlige shiftfaktormodeller.

Fra Tabell 20 er det tydelig at det er variasjon på tvers av modellene. Dette gjenspeiles i variasjonskoeffisienten for $|E^*|_{maks}$, der $C_v > 0,20$, som ifølge «Angelone *et al.* (2013)» kan tyde på statistisk ulikhet mellom modellene. Variasjonskoeffisienten for $|E^*|_{min}$ blir sett på som mindre relevant da noen modellkombinasjoner estimerer $|E^*|_{min} = 0$, som i stor grad forstyrrer variasjonskoeffisienten. Shiftfaktorverdiene ved de ulike forsøkstemperaturene viser derimot til mer stabile resultater, men fra tabellen kan det observeres at parvise shiftfaktormodeller for hver masterkurvemodell ser ut til å estimere svært like verdier for $\log(\alpha T)$. Parene er Arrhenius- og Kaelble-funksjonen, og WLF-funksjonen og polynomfunksjonen. Det førstnevnte paret viser den dårligste statistikken ved samtlige masterkurvemodeller, og det sistnevnte den beste statistikken.

Dette leder videre til et interessant funn ved analysene av AC 11 D S. Til tross for at WLF-funksjonen og polynomfunksjonen viser bortimot identisk «goodness-of-fit»-statistikk, identiske grenseverdier og identiske $\log(\alpha T)$ -verdier for hver masterkurvemodell, beskriver modellene materialets temperaturavhengighet på helt forskjellige måter.

Figur 51 viser kurveforløpet til shiftfaktormodellene WLF-funksjonen og polynomfunksjonen for SLSM. Samme kurveforhold gjelder for alle masterkurvemodellene. SLSM er valgt som eksempel i dette tilfelle. Figuren avslører en stor svakhet i shiftfaktorforholdet modellert av polynomfunksjonen. Kurveforløpet krummer oppover ved høye temperaturer, noe som indikerer at $|E^*|$ øker når temperaturen blir høyere. At kurveforløpet krummer oppover med økende x-verdier reflekteres i at modellkonstanten c, viser en verdi i størrelsesorden 10^{-3} (Tabell 22, Tabell 23 og Tabell 24) og ikke 10^{-4} slik den gjør ved modelleringen av de andre materialene. En slik ulogisk tilnærming betyr at polynomfunksjonen er uegnet som shiftfaktormodell for dette materialet, og indikerer at modellen bør brukes varsomt ved modellering av modifiserte materialer.



Figur 51: WLF-funksjonen og polynomfunksjonen ved eksperimentelle og ekstrapolerte temperaturverdier.

Tabell 21: Oppsummering av resultater for hver modellkombinasjon med statistisk spredningsmål mellom masterkurvmodellene i forhold til hver shiftfaktormodell

	Arrhenius			Gj.snitt	St.Av	C _v (%)
	SLSM	GLSM	CAM			
CA	11134	11119	11312	11189	107	1,0
log(αT) -10 °C	4,330	4,324	4,399	4,351	0,042	1,0
log(αT) 5 °C	2,048	2,046	2,081	2,058	0,020	1,0
	WLF			Gj.snitt	St.Av	C _v (%)
	SLSM	GLSM	CAM			
C ₁	9	8	8	8	1	9,1
C ₂	87	76	79	81	6	7,3
log(αT) -10 °C	4,746	4,970	4,922	4,879	0,118	2,4
log(αT) 5 °C	1,882	1,876	1,884	1,881	0,004	0,2
	Kaelble			Gj.snitt	St.Av	C _v (%)
	SLSM	GLSM	CAM			
C ₁	61612	49480	17466	42853	22807	53,2
C ₂	435234	352810	120794	302946	163043	53,8
log(αT) -10 °C	4,247	4,207	4,337	4,263	0,067	1,6
log(αT) 5 °C	2,123	2,104	2,169	2,132	0,033	1,6
	Polynom			Gj.snitt	St.Av	C _v (%)
	SLSM	GLSM	CAM			
b	-0,0928	-0,0845	-0,0875	-0,08826	0,00419	4,7
c	0,0022	0,0027	0,0025	0,00248	0,00027	10,8
log(αT) -10 °C	4,746	4,969	4,914	4,877	0,116	2,4
log(αT) 5 °C	1,882	1,876	1,885	1,881	0,005	0,2

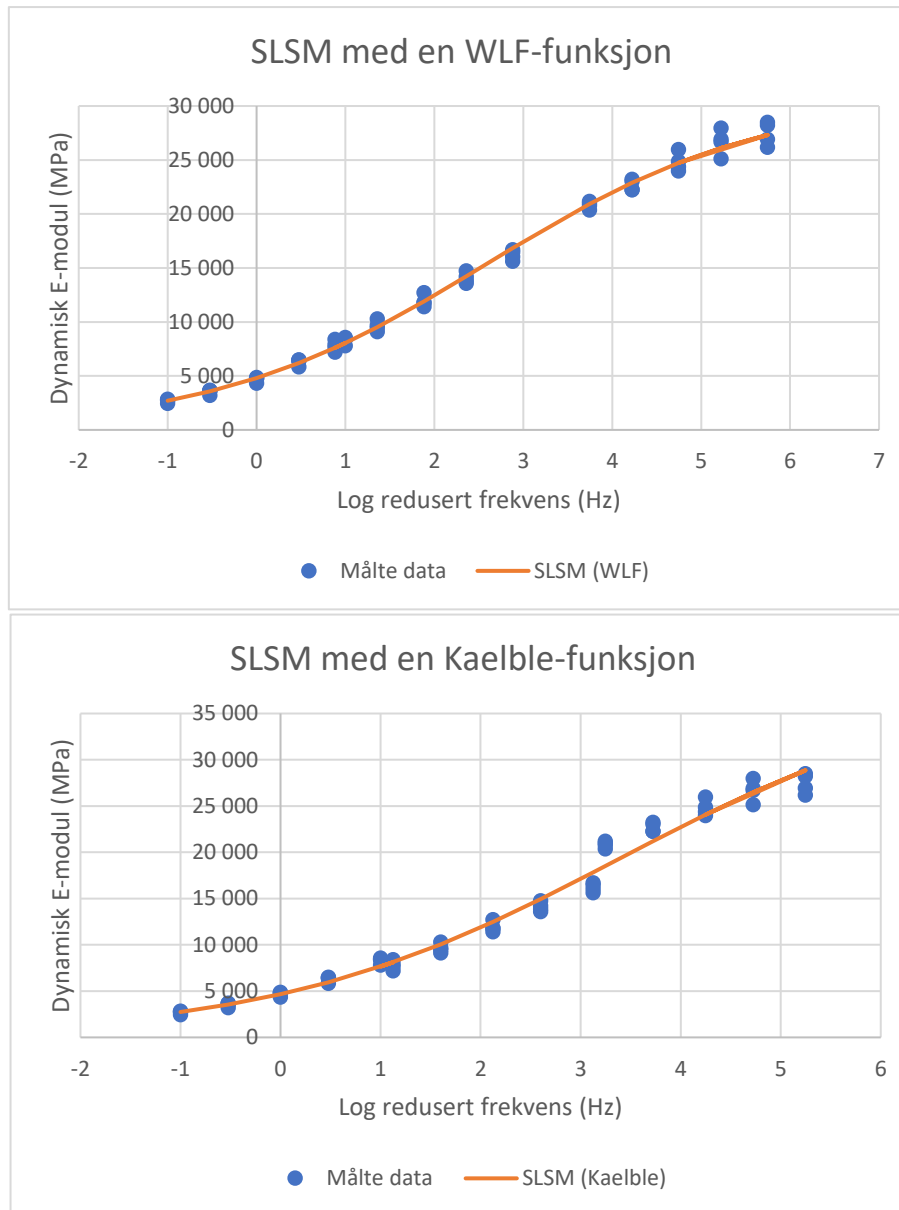
Tabell 21 viser at det er mindre variasjon mellom shiftfaktor-konstantene på tvers av masterkurvmodellene enn for SMA-materialene. Som tidligere nevnt er det hovedsakelig variasjonen mellom verdiene for $\log(\alpha T)$ som er interessant. For dette materialet som for SMA-materialene er det lite variasjon i $\log(\alpha T)$ på tvers av masterkurvmodellene innenfor det eksperimentelle området. Selv om det fra tabellen ser ut til at WLF-funksjonen og polynomfunksjonen estimerer samme shiftfaktorforhold, er dette kun gjeldende innenfor forsøksområdet, og ikke ved ekstrapolerte temperaturverdier som observert i Figur 51. Generelt er shiftfaktormodellene for AC 11 D S preget av lite variasjon og viser stabile resultater.

5.5.2 Standard logistisk sigmoidmodell

I forrige avsnitt ble det sett at SLSM fortsatt viser den svakeste «goodnes-of-fit»-statistikken blant masterkurvmodellene, samt estimerer $|E^*|_{min} = 0$ ved samtlige shiftfaktormodeller. Samtidig kommer det igjen frem fra Tabell 22 at SLSM internt, er den mest stabile masterkurvmodellen med klart lavest spredning på tvers av shiftfaktormodellene. Dette gjenspeiles i lave verdier for C_v .

Tabell 22: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av standard logistisk sigmoidmodell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvmodellen

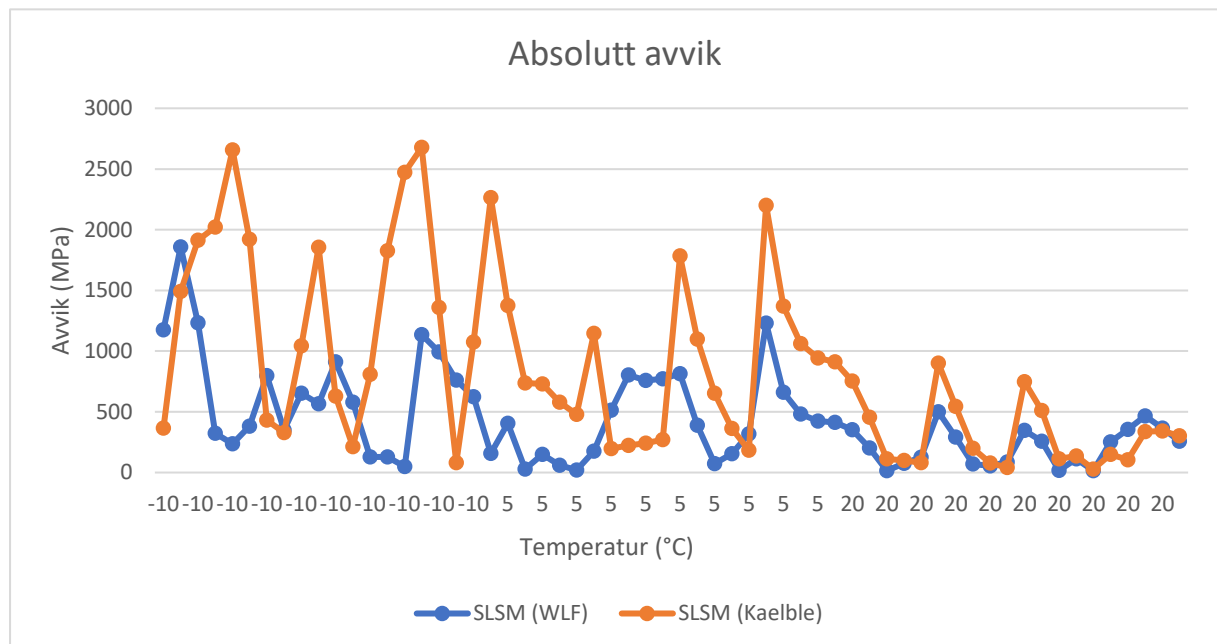
Konstanter	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Gj. Snitt	St. Av	C_v (%)
C_A	11134	-	-	-	-	-	-
C_1	-	9	61612	-	-	-	-
C_2	-	87	435234	-	-	-	-
b	-	-	-	-0,0928	-	-	-
c	-	-	-	0,0022	-	-	-
$ E^* _{min}$ [MPa]	0	0	0	0	0	0	-
$ E^* _{maks}$ [MPa]	36129	30812	38483	30814	34060	3870	11,4
β	1,8993	1,6903	1,9796	1,6904	1,8149	0,1475	8,1
γ	-0,6046	-0,6518	-0,5865	-0,6518	-0,6237	0,0333	5,3



Figur 52: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for SLSM med en WLF- og Kaelble-funksjon innenfor det eksperimentelle området

Fra Tabell 20 kommer det frem at WLF- og Kaelble-funksjonen er henholdsvis den mest og minst presise modellkombinasjonen for SLSM. Figur 52 viser masterkurvene for begge modellene sammenlignet med de målte stivhetsverdiene innenfor det eksperimentelle området. Fra figuren kommer det tydelig frem at WLF-funksjonen i større grad enn Kaelble-funksjonen «glatter ut» punktskyene for målte verdier. Dette er spesielt merkbart i det øvre stivhetsområdet, der WLF-funksjonen tilpasser verdier for redusert frekvens til de målte stivhetsverdiene mer presist enn Kaelble-funksjonen. At Kaelble-funksjonen sliter med tilpasning til målte stivhetsverdier i dette området ble også observert ved modellering av SMA 11 S. Dette er igjen sannsynligvis en indikator på at WLF-funksjonen er en bedre modell enn Kaelble-funksjonen, og en trolig grunn til at R^2 er litt større for førstnevnte.

Fra Figur 53 er det tydelig at Kaelble-funksjonen er preget av større avvik mellom målte og estimerte verdier over omtrent hele det eksperimentelle temperaturområdet. De største avvikene og forskjellene er som tidligere observert, også her konsentrert i det nedre og midtre temperaturområdet.



Figur 53: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier for SLSM

5.5.3 Generalisert logistisk sigmoidmodell

GLSM sammen med CAM-modellen viser den mest presise «goodness-of-fit»-statistikken for dette materialet. GLSM har for de forrige materialene estimert $|E^*|_{min} \neq 0$ for alle shiftfaktormodellene, men viser her til et mer splittet forholdet der halvparten estimerer $|E^*|_{min} = 0$.

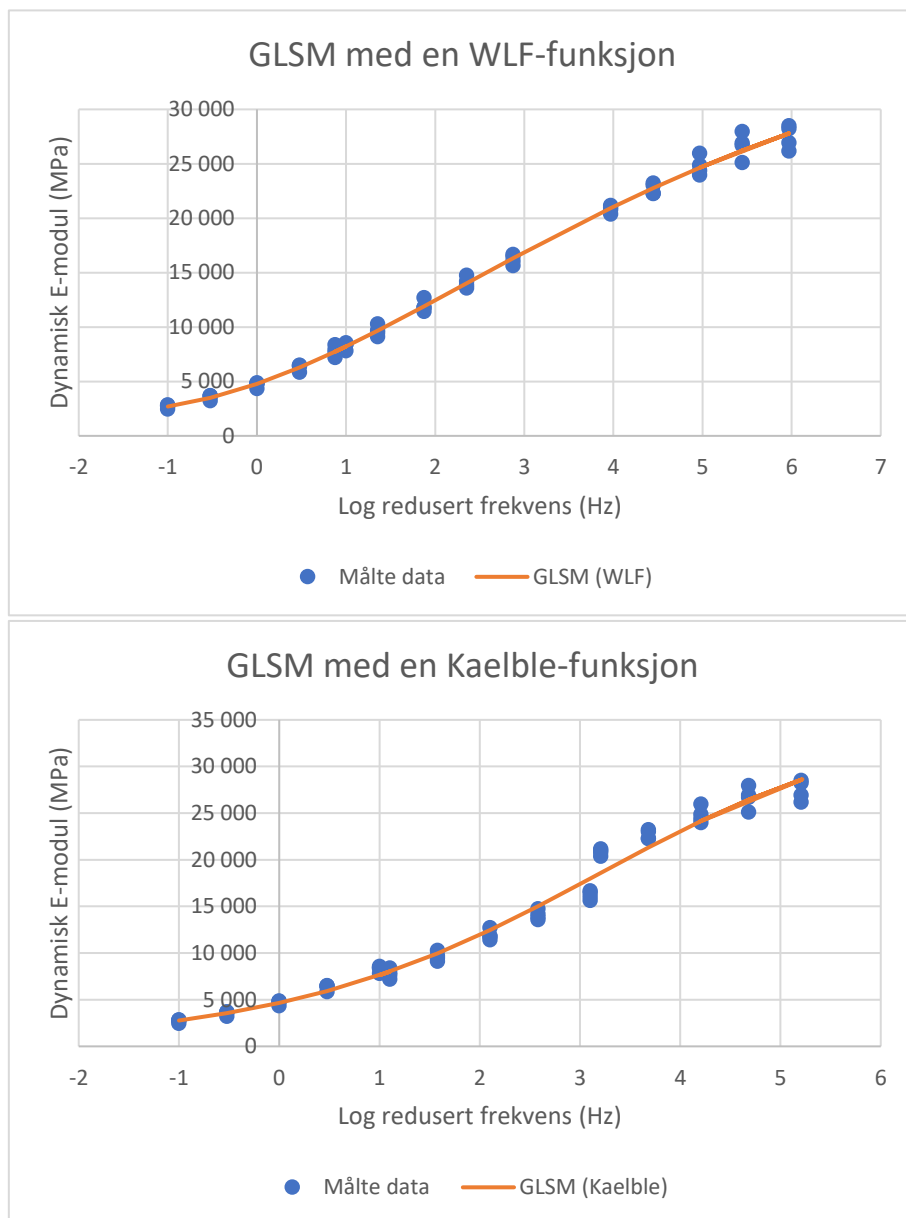
Fra Tabell 23 er det tydelig at GLSM til tross for god «goodnes-of-fit»-statistikk viser langt større variasjon på tvers av shiftfaktormodellene enn SLSM. Variasjonen skyldes i hovedsak et splittet forhold mellom to shiftfaktormodeller som viser omtrent like modellkonstanter, og to som skiller seg fra disse. Om dette faktisk har en betydning for om GLSM bør vurderes som en mindre god modell er vanskelig å si, men det er tydelig at hvert par av shiftfaktormodeller påvirker mastekurven på forskjellige måter.

Det er også nevneverdig at modellkombinasjonene med WLF-funksjonen og polynomfunksjonen inneholder negativ λ -verdi. Betydningen som denne konstanten har for kurveforløpet til masterkurven er diskutert i delkapittel 5.1 og illustrert i Figur 34. For WLF-funksjonen og polynomfunksjonen betyr dette at kurveforløpet mister kontinuitet ved henholdsvis $\log(f_R) = -2,5$ og $\log(f_R) = -3$. $\log(f_R)$ -verdiene tilsvarer $|E^*|$ -verdier langs modellenes nedre asymptote, et område som det er usannsynlig å nå under feltforhold.

Til tross for at WLF-funksjonen og polynomfunksjonen er de eneste shiftfaktormodellene som estimerer $|E^*|_{min} \neq 0$, viser modellene samtidig til noe ulogisk høye $|E^*|_{min}$ -verdier. Arrhenius-funksjonen angir en $\lambda \approx 1$ som tilsvarer en SLSM. Kaelble-funksjonen viser også her til den svakeste statistikken, noe som er tilfelle ved alle masterkurvmodellene.

Tabell 23: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av generalisert logistisk sigmoidmodell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvemodellen

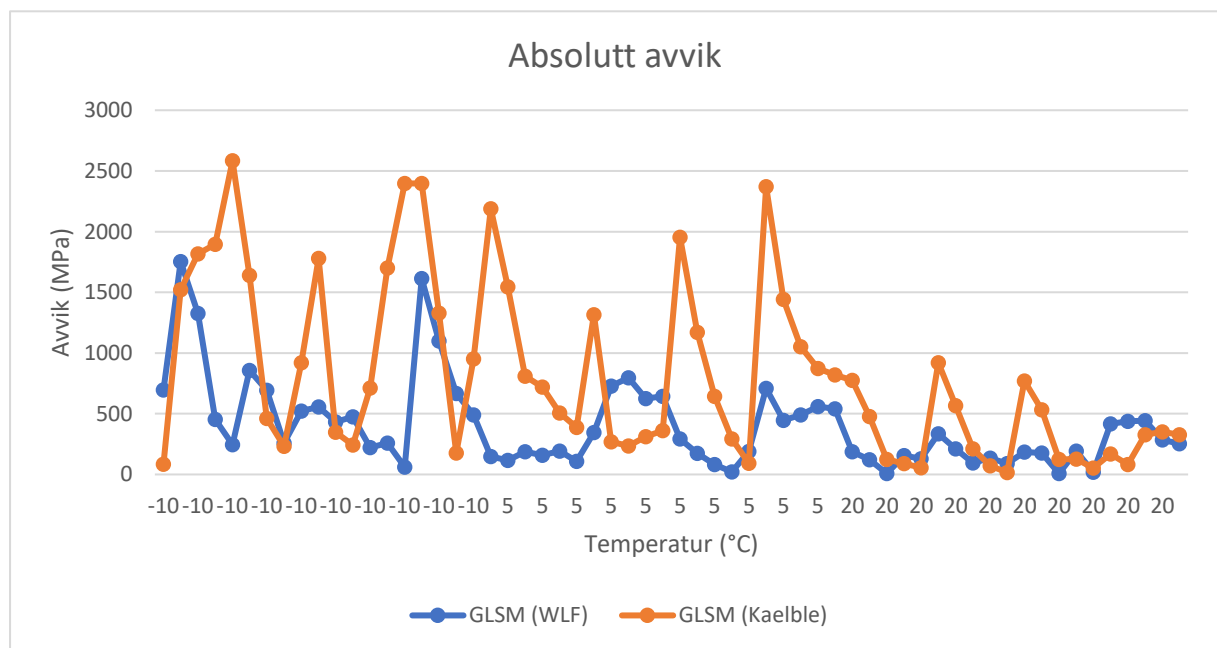
Konstanter	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Gj. Snitt	St. Av	C _v (%)
C _A	11119	-	-	-	-	-	-
C ₁	-	8	49480	-	-	-	-
C ₂	-	76	352810	-	-	-	-
b	-	-	-	-0,0845	-	-	-
c	-	-	-	0,0027	-	-	-
E* min [MPa]	0	2030	0	2028	1015	1171	115,5
E* maks [MPa]	35695	39620	34858	39609	37445	2527	6,7
β	1,9401	0,6557	2,3391	0,6564	1,3978	0,8719	62,4
γ	-0,6219	-0,2806	-0,7333	-0,2809	-0,4792	0,2336	48,7
λ	1,0405	-0,2474	1,3434	-0,2467	0,4724	0,8399	177,8



Figur 54: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for GLSM med en WLF- og Kaelble- funksjon innenfor det eksperimentelle området

Fra Tabell 20 kommer det frem at WLF- og Kaelble-funksjonen er henholdsvis den mest og minst presise modellkombinasjonen for GLSM. Figur 54 viser masterkurvene for begge modellene sammenlignet med de målte stivhetsverdiene innenfor det eksperimentelle området. Fra figuren kommer det tydelig frem at WLF-funksjonen også her, i større grad enn Kaelble-funksjonen «glatter ut» punktskyene for målte verdier. Dette er igjen spesielt merkbart i det øvre stivhetsområdet, der WLF-funksjonen på samme måte som for SLSM tilpasser verdier for redusert frekvens til de målte stivhetsverdiene mer presist enn Kaelble-funksjonen. At Kaelble-funksjonen sliter med tilpassning til målte stivhetsverdier i dette området, bekreftes også her.

Fra Figur 55 kommer det tydelig frem at Kaelble-funksjonen er preget av langt større avvik til målte verdier enn WLF-funksjonen innenfor hele det eksperimentelle området, som igjen trolig forklarer at R^2 er litt større for sistnevnte.



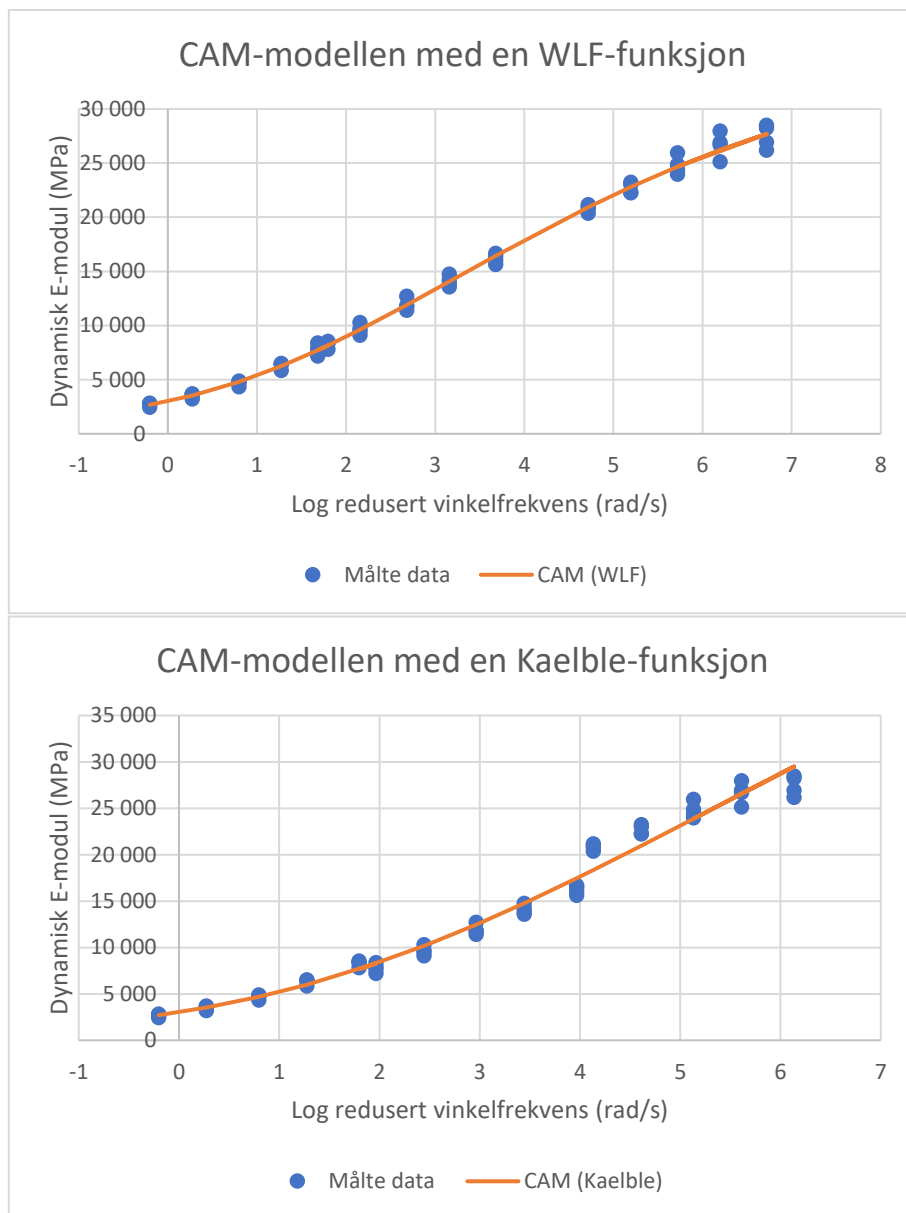
Figur 55: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier for GLSM

5.5.4 Christensen-Anderson-Marasteanu modell

Som nevnt i forrige avsnitt viser CAM-modellen generelt svært god «goodness-of-fit»-statistikk for dette materialet. Masterkurvemodellen estimerer i motsetning til GLSM, $|E^*|_{min} \neq 0$ for samtlige shiftfaktormodeller. Ved å studere Tabell 24 er det tydelig at CAM-modellen er preget av mye variasjon mellom modellkonstantene på tvers av shiftfaktormodellene. Dette gjenspeiles i relativt høye C_v -verdier ved samtlige modellkonstanter. På samme måte som for GLSM kan det stilles spørsmål til om dette har en betydning for om CAM-modellen bør vurderes som en mindre god modell. Oppgaven stiller seg derimot mer vagt til denne problemstillingen, da det er usikkert om variasjon på tvers av shiftfaktormodeller har en betydning for om en masterkurvemodell er god eller ikke når en eller flere av modellkombinasjonene faktisk viser god tilpassning til målte verdier. Spredingsmålene i Tabell 24 viser at omtrent hver shiftfaktormodell påvirker mastekurven på forskjellige måter, noe som kan tyde på ustabilitet internt i CAM-modellen. Samtidig kan WLF-funksjonen trekkes ut som et godt eksempel på en svært presis modell med modellkonstanter som har logiske verdier.

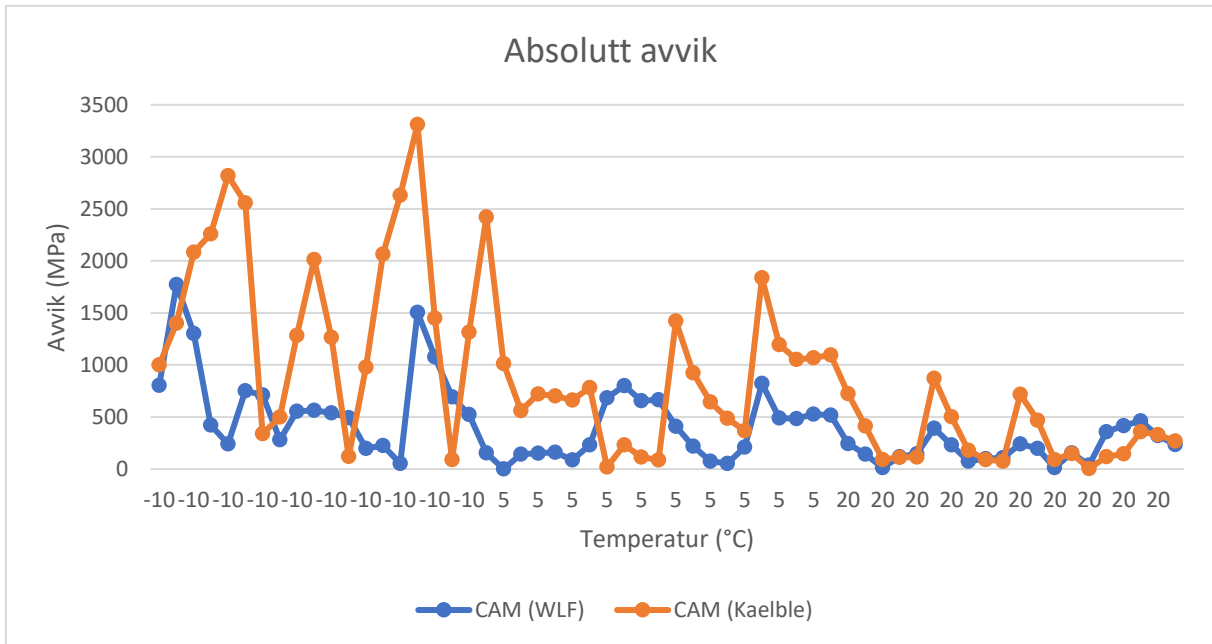
Tabell 24: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av Christensen–Anderson–Marasteanu modell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvemodellen

Konstanter	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Gj. Snitt	St. Av	C_v (%)
CA	11312	-	-	-	-	-	-
C1	-	8	17466	-	-	-	-
C2	-	79	120794	-	-	-	-
b	-	-	-	-0,0875	-	-	-
c	-	-	-	0,0025	-	-	-
$ E^* _{\min}$ [MPa]	844	1296	641	1173	988	300	30,4
$ E^* _{\max}$ [MPa]	51808	36092	64265	35679	46961	13764	29,3
ω_{cE} [rad/s]	0,00276	0,00004	0,00013	0,00380	0,00168	0,00189	112,4
v	0,1288	0,1597	0,1095	0,1659	0,1410	0,0265	18,8
w	1,0561	2,6597	1,1233	1,4572	1,5741	0,7447	47,3
Re	2,3376	1,8844	2,7481	1,4566	2,1067	0,5588	26,5



Figur 56: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for CAM-modellen med en WLF- og Kaelble- funksjon innenfor det eksperimentelle området

Fra Tabell 20 kommer det frem at WLF- og Kaelble-funksjonen er henholdsvis den mest og minst presise modellkombinasjonen for CAM-modellen. Figur 56 viser masterkurvene for begge modellene sammenlignet med de målte stivhetsverdiene innenfor det eksperimentelle området. Fra figuren kommer det tydelig frem at WLF-funksjonen også her, i større grad enn Kaelble-funksjonen «glatter ut» punktskyene for målte verdier. Dette er spesielt merkbart i det øvre stivhetsområdet der WLF-funksjonen tilpasser verdier for redusert vinkelfrekvens til de målte stivhetsverdiene mer presist enn Kaelble-funksjonen, som også ble observert for SLSM og GLSM. Sammen med avviksviklingen i Figur 57 er dette sannsynligvis en indikator på at WLF-funksjonen er en bedre modell enn Kaelble-funksjonen for dette materialet, og igjen en trolig grunn til at R^2 er litt større for førstnevnte.

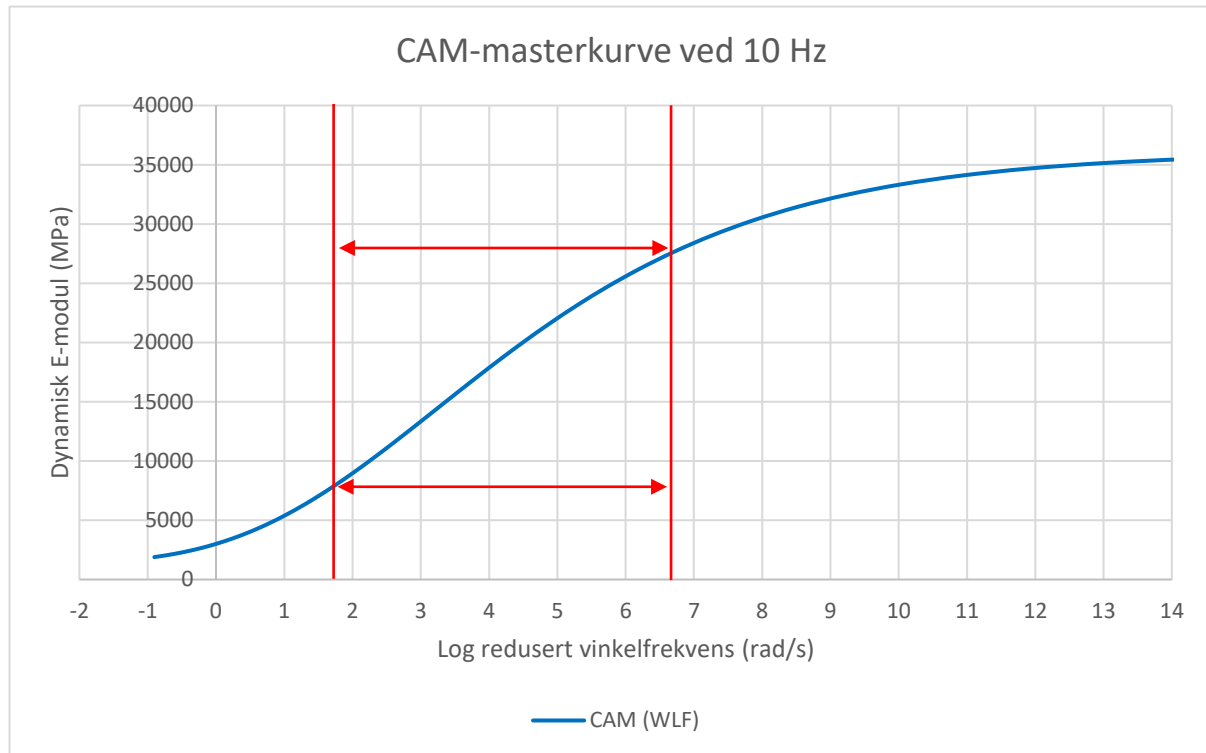


Figur 57: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier for CAM-modellen

5.5.5 Oppsummering

Basert på det som allerede er diskutert er det tydelig at WLF-funksjonen skiller seg ut som en god modell for å beskrive temperaturavhengigheten til AC 11 D S med polymermodifisert bindemiddel 25/55-55. Totalt sett er det kombinasjonen GLSM med WLF-funksjonen og polynomfunksjonen som viser den beste «goodness-of-fit»-statistikken. Polynomfunksjonen er utelatt på bakgrunn av diskusjon i avsnitt 5.5.1. Derimot er forskjellen mellom statistikken for noen av modellkombinasjonen så marginal, at det er vanskelig å si helt konkret hvilken modell som er den beste. Både GLSM og CAM-modellen viser omtrent til identisk statistikk. For å oppsummere resultatene av stivhetsmodelleringene for AC 11 D S er det valgt å fremstille materialets dynamiske E-modul over et redusert frekvensområde som dekker det eksperimentelle området og et definert område av ekstrapolerte verdier, ved hjelp av CAM-modellen med en WLF-funksjon. Den aktuelle modellkombinasjonen er valgt fordi den representeres av mer fornuftige og logiske modellkonstanter enn GLSM, til tross for at GLSM viser noe bedre «goodness-of-fit»-statistikk. CAM-modellen estimerer en mer logisk $|E^*|_{min}$ -verdi enn GLSM. Derimot betyr ikke dette at GLSM er en dårligere modell enn CAM-modellen.

De ekstrapolerte verdiene er basert på samme temperaturområdet som SMA-materialene og følgelig konstruksjonen av masterkurven. Figur 58 viser den resulterende masterkurven for AC 11 D S ved bruk av en CAM-modell med en WLF-funksjon. De røde linjene og pilene markerer det eksperimentelle området ved 10 Hz. Området er avgrenset av $1,80 \text{ rad/s} \leq \log(\omega\alpha T) \leq 6,72 \text{ rad/s}$ langs x-aksen som tilsvarer $8162 \text{ MPa} \leq |E^*| \leq 27\,684 \text{ MPa}$ langs y-aksen. Stivhetsområdene utenfor de røde linjene er ekstrapolerte verdier anslått av den aktuelle masterkurvemodellen.



Figur 58: CAM-masterkurve ved 10 Hz for AC 11 D S

5.6 AC 8 D S (50/70)

5.6.1 Oversikt over statistiske parametere og modellkonstanter

Tabell 25: Oppsummering av resultater for hver modellkombinasjon med et samlet statistisk spredningsmål mellom shiftfaktormodellene i forhold til hver masterkurvemodell

		SLSM				GLSM				CAM				Gj.snitt	St.Av	C _v
		Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	(MPa)	(MPa)	(%)
SSE		0,0403	0,0403	0,0412	0,0403	0,0320	0,0320	0,0340	0,0320	0,0320	0,0320	0,0341	0,0320	-	-	-
Justert R ²		0,9905	0,9906	0,9906	0,9907	0,9937	0,9937	0,9929	0,9937	0,9937	0,9937	0,9928	0,9937	-	-	-
SER		0,1020	0,1020	0,1024	0,1020	0,0836	0,0844	0,0896	0,0844	0,0836	0,0844	0,0905	0,0843	-	-	-
E* maks		22974	23090	23529	23094	27155	27020	27621	27020	27167	26922	28686	26955	25936	2100	8,1
E* min		0	0	0	0	624	665	299	664	626	628	552	638	391	305	77,9
log(αT)	-10 °C	4,165	4,122	3,979	4,121	4,310	4,345	4,134	4,344	4,310	4,342	4,141	4,342	4,221	0,125	3,0
	5 °C	1,970	1,974	1,990	1,974	2,039	2,034	2,068	2,035	2,039	2,035	2,071	2,035	2,022	0,036	1,8

Fra Tabell 25 kan det observeres at samtlige modelleringer for AC 8 D S gir en $R^2 > 0,99$. Dette betyr at samtlige modellkombinasjoner estimerer verdier som passer svært godt med de målte verdiene. Shiftfaktormodellene viser også til lite variasjon på tvers av masterkurvemodellene. Dette gjenspeiles i den relativt lave variasjonen i $|E^*|_{maks}$ og $|E^*|_{min}$. Utelukkes $|E^*|_{min}$ -verdiene fra SLSM, vil variasjonskoeffisienten reduseres med over 50%, noe som tyder på at det generelt er god enighet i grenseverdiene på tvers av modellene.

Selv om forskjellene mellom modellene i dette tilfelle er svært marginal er det i likhet med modelleringen av de andre materialene, SLSM som viser den svakeste «goodness-of-fit»-statistikken.

Kaelble-funksjonen er også for dette materialet den shiftfaktormodellen som viser de svakeste resultatene uansett masterkurvemodell. Samtidig er det langt mindre forskjeller mellom Kaelble-funksjonen og de andre shiftfaktormodellene enn det tidligere modelleringen har vist. I motsetning til de andre materialene der hovedsakelig WLF-funksjonen har vist å passe best med målte verdier, er det i denne sammenheng Arrhenius-funksjonen ved både GLSM og CAM-modellen som ser ut til å være den mest presise tilnæringsmodellen.

På samme måte som den nederste delen av Tabell 25 viser lite variasjon i $\log(\alpha T)$ på tvers av shiftfaktormodellene, viser også Tabell 26 lite variasjon i $\log(\alpha T)$ på tvers av masterkurvemodellene med lave C_v -verdier. I motsetning til de andre materialene er forholdet mellom modellkonstantene på tvers av masterkurvemodellene for dette materialet relativt stabilt. Fra tabellen kan det observeres at samtlige modelleringer ledet til svært like konstanter for beskrivelse av materialets temperaturavhengighet. Fra tabellen kan det observeres at alle modellkonstantene på tvers av masterkurvemodellene er i lik størrelsesorden, noe som tyder på at det er et godt samsvar mellom de ulike modellkombinasjonen for beskrivelse av materialets thermoreologiske egenskaper ved hjelp av prinsippet om tid-temperatur superposisjon.

Tabell 26: Oppsummering av resultater for hver modellkombinasjon med statistisk spredningsmål mellom masterkurvmodellene i forhold til hver shiftfaktormodell

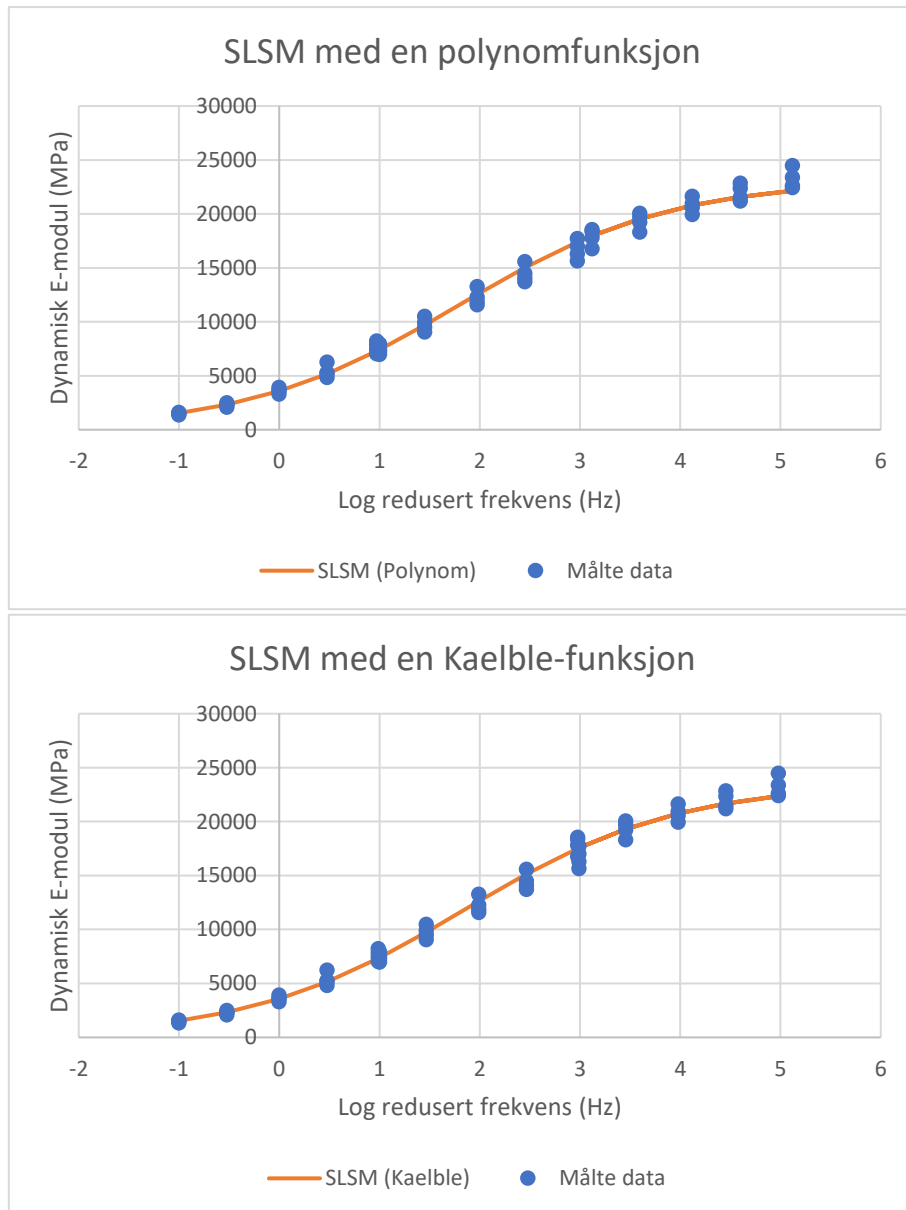
	Arrhenius			Gj.snitt	St.Av	C _v (%)
	SLSM	GLSM	CAM			
CA	10710	11083	11084	10959	216	2,0
log(α T) -10 °C	4,165	4,310	4,310	4,262	0,084	2,0
log(α T) 5 °C	1,970	2,039	2,039	2,016	0,040	2,0
	WLF			Gj.snitt	St.Av	C _v (%)
	SLSM	GLSM	CAM			
C ₁	46	32	32	37	8	22,1
C ₂	368	251	254	291	66	22,8
log(α T) -10 °C	4,122	4,345	4,342	4,270	0,128	3,0
log(α T) 5 °C	1,974	2,034	2,035	2,014	0,035	1,8
	Kaelble			Gj.snitt	St.Av	C _v (%)
	SLSM	GLSM	CAM			
C ₁	15614	13648	11954	13739	1832	13,3
C ₂	117707	99004	86574	101095	15671	15,5
log(α T) -10 °C	4,247	4,134	4,141	4,174	0,063	1,5
log(α T) 5 °C	2,123	2,068	2,071	2,087	0,031	1,5
	Polynom			Gj.snitt	St.Av	C _v (%)
	SLSM	GLSM	CAM			
b	-0,1258	-0,1265	-0,1266	-0,12628	0,00043	0,3
c	0,0004	0,0006	0,0006	0,00053	0,00013	24,0
log(α T) -10 °C	4,121	4,344	4,342	4,269	0,128	3,0
log(α T) 5 °C	1,974	2,035	2,035	2,014	0,035	1,7

5.6.2 Standard logistisk sigmoidmodell

Til tross for at SLSM tilpasser de målte verdiene svært godt, er den også for dette materialet den minst presise masterkurvmodellen. I tillegg til at modellen estimerer $|E^*|_{min} = 0$ for samtlige shiftfaktormodeller, estimerer den på samme måte som for SMA 8 S som også inneholder standard bitumen, en glassmodul som er mindre enn noen av de målte E-modulverdiene ved -10 °C og 10 Hz (se vedlegg 8 og figurene for SLSM). Dette indikerer at SLSM ikke fullstendig beskriver materialets faktiske stivhetsutvikling, som betyr at den ikke er en god modell for det aktuelle materialet. Lave C_v-verdier for modellkonstantene i Tabell 27 indikerer et svært stabilt forhold for SLSM på tvers av shiftfaktormodellene.

Tabell 27: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av standard logistisk sigmoidmodell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvmodellen

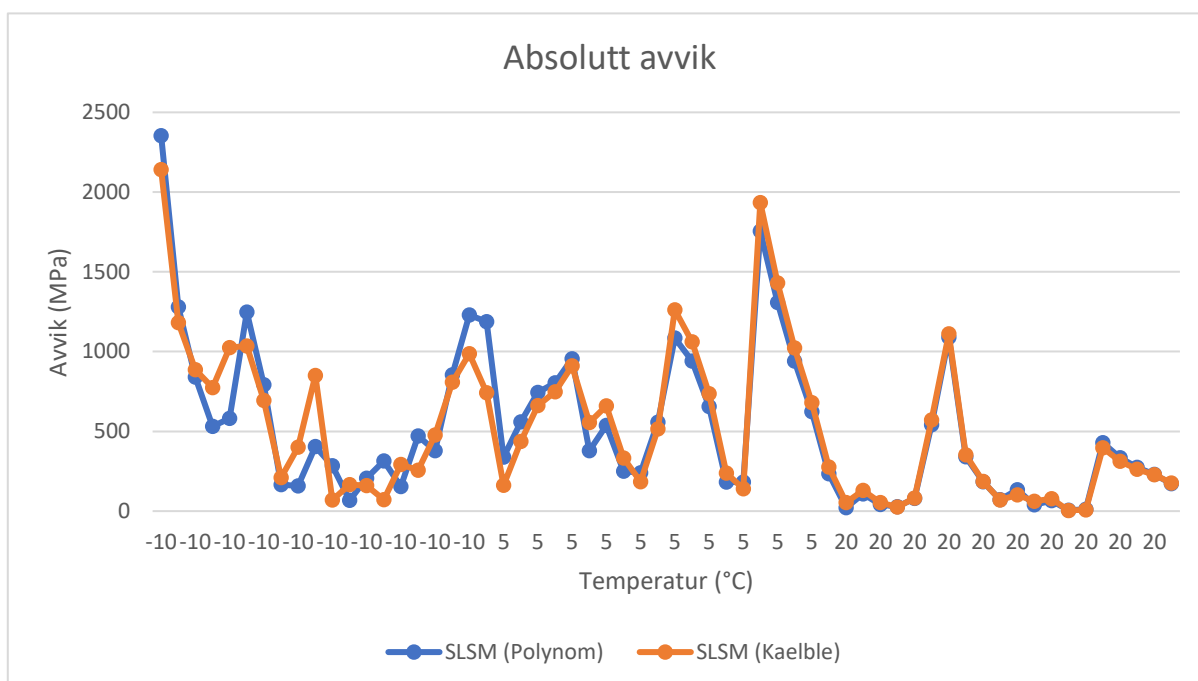
Konstanter	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Gj. Snitt	St. Av	C _v (%)
CA	10710	-	-	-	-	-	-
C ₁	-	46	15614	-	-	-	-
C ₂	-	368	117707	-	-	-	-
b	-	-	-	-0,1258	-	-	-
c	-	-	-	0,0004	-	-	-
E* _{min}	0	0	0	0	0	0	-
E* _{maks}	22974	23090	23529	23094	23172	244	1,1
β	1,6879	1,6948	1,7208	1,6951	1,6997	0,0145	0,9
γ	-0,9474	-0,9453	-0,9375	-0,9453	-0,9439	0,0044	0,5



Figur 59: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for SLSM med en WLF- og Kaelble-funksjon innenfor det eksperimentelle området

Fra Tabell 25 kommer det fram at polynomfunksjonen og Kaelble-funksjonen er henholdsvis den mest og minst presise modellkombinasjonen for SLSM. Selv om Arrhenius-funksjonen viser til nesten identisk R^2 -verdi, har Kaelble-funksjonen noe høyere SER-verdi og ble derfor valgt som den «minst» presise modellen. At modellene viser til omtrent identisk «goodness-of-fit»-statistikk kommer tydelig frem i Figur 59. Det er nesten helt umulig å peke ut om en modell er mer presis enn den andre. På samme måte som for SMA 8 S avviker kurvene mer til de målte verdiene i det øverste området for redusert frekvens. Dette gjenspeiler problemet med at SLSM estimerer for lave $|E^*|_{maks}$ -verdier.

Basert på avviksutviklingen i Figur 60 er det også vanskelig å skille hvilken modell som totalt sett er preget av de største avvikene mellom estimerte og målte verdier. De tydelige avvikene i det nedre temperaturområdet gjenspeiler kurveforløpet til modellene i det øverste området for redusert frekvens i Figur 59. I motsetning til avvikstrendene for de andre materialene, er avvikene for dette materialet spredt mer over hele temperaturområdet og ikke hovedsakelig konsentrert ved lave temperaturer.



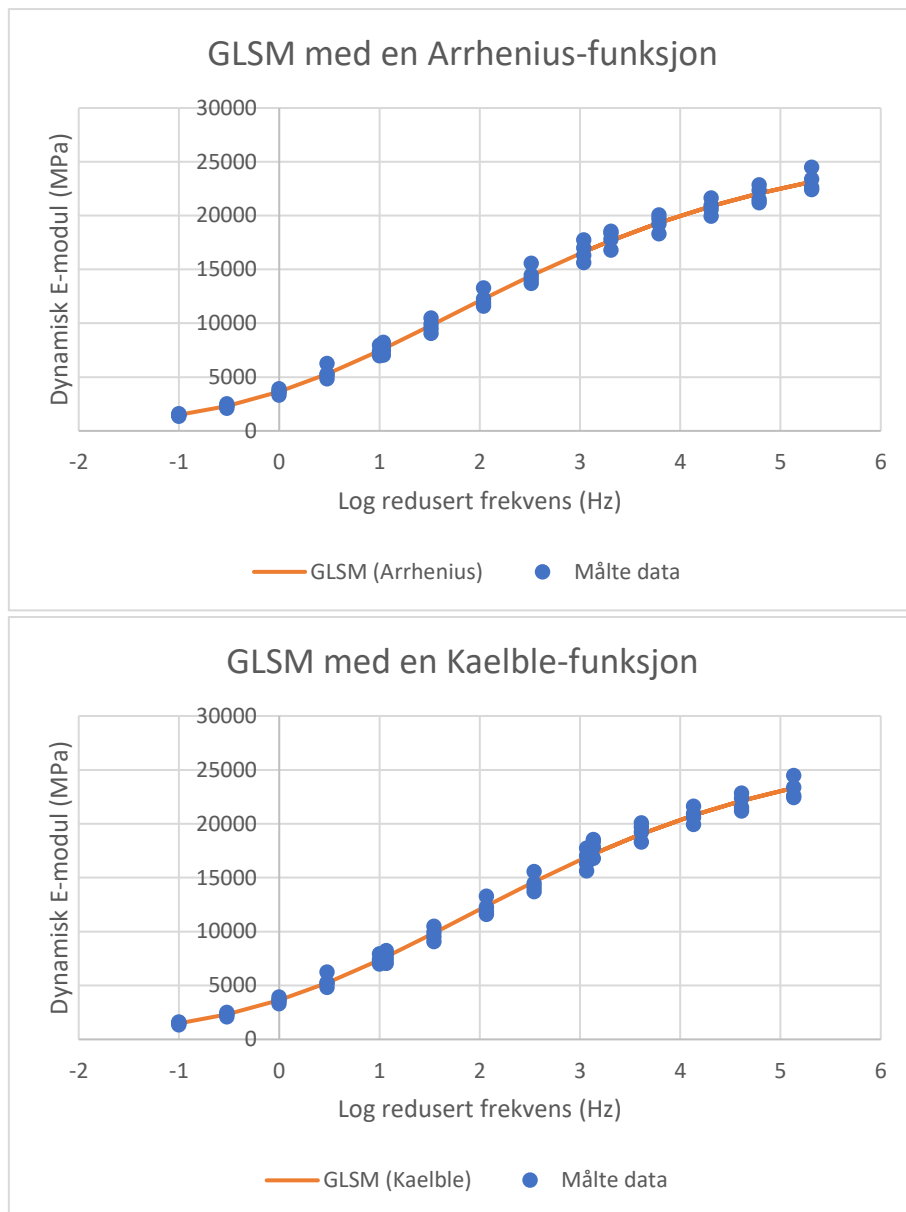
Figur 60: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier for SLSM

5.6.3 Generalisert logistisk sigmoidmodell

GLSM sammen med CAM-modellen viser den mest presise «goodnes-of-fit»-statistikken også for dette materialet. I motsetning til SLSM estimerer GLSM-modellene verdier for $|E^*|_{min} \neq 0$, en tilnærming som vurderes å være mer logisk. GLSM viser noe statistisk spredning, hovedsakelig ved verdiene for $|E^*|_{min}$ og λ . I dette tilfelle er det Kaelble-funksjonen som forstyrrer C_v , mens de andre shiftfaktormodellene estimerer relativt like verdier for $|E^*|_{min}$. Det samme gjelder for modellkonstanten λ , der Kaelble-funksjonen også forstyrrer C_v -verdien.

Tabell 28: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av generalisert logistisk sigmoidmodell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvemodellen

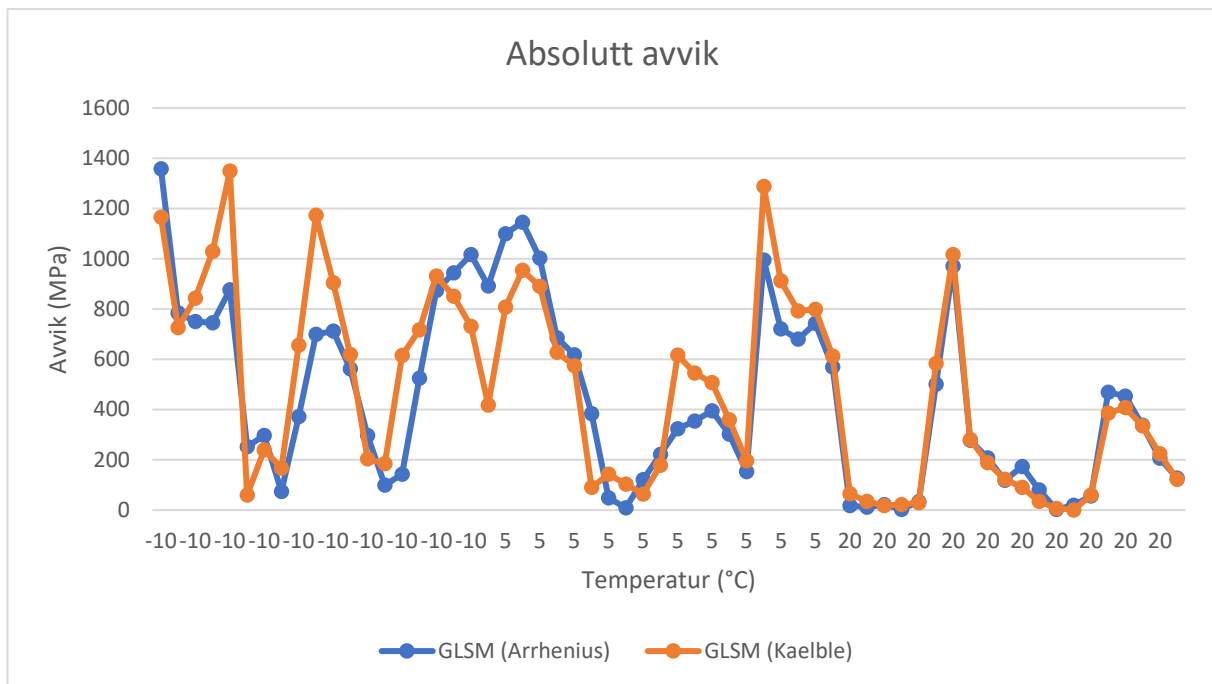
Konstanter	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Gj. Snitt	St. Av	C_v (%)
C_A	11083	-	-	-	-	-	-
C_1	-	32	13648	-	-	-	-
C_2	-	251	99004	-	-	-	-
b	-	-	-	-0,1265	-	-	-
c	-	-	-	0,0006	-	-	-
$ E^* _{min}$	624	665	299	664	563	177	31,4
$ E^* _{maks}$	27155	27020	27621	27020	27204	285	1,0
β	0,8550	0,8367	1,0007	0,8377	0,8825	0,0793	9,0
γ	-0,5001	-0,4971	-0,5351	-0,4974	-0,5074	0,0185	3,6
λ	0,0718	0,0524	0,2363	0,0536	0,1035	0,0889	85,9



Figur 61: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for GLSM med en WLF- og Kaelble-funksjon innenfor det eksperimentelle området

Fra Tabell 25 kommer det fram at Arrhenius- og Kaelble-funksjonen er henholdsvis den mest og minst presise modellkombinasjonen for GLSM. Figur 61 viser masterkurvene for begge modellene sammenlignet med de målte stivhetsverdiene innenfor det eksperimentelle området. Basert på de grafiske fremstillingene av modellene er det også i dette tilfelle nesten umulig å skille om den ene modellen er mer presis enn den andre. Dette gjenspeiles i at det er svært små forskjeller i verdiene for R^2 og SER mellom modellene. I motsetning til SLSM er GLSM-modellene bedre tilpasset stivhetsverdiene i det øvre området for redusert frekvens.

Basert på avviksutviklingen i Figur 62 er det også for GLSM vanskelig å skille hvilken modell som totalt sett er preget av de største avvikene mellom estimerte og målte verdier. Figuren viser omtrent den samme avvikstrenden som for SLSM.



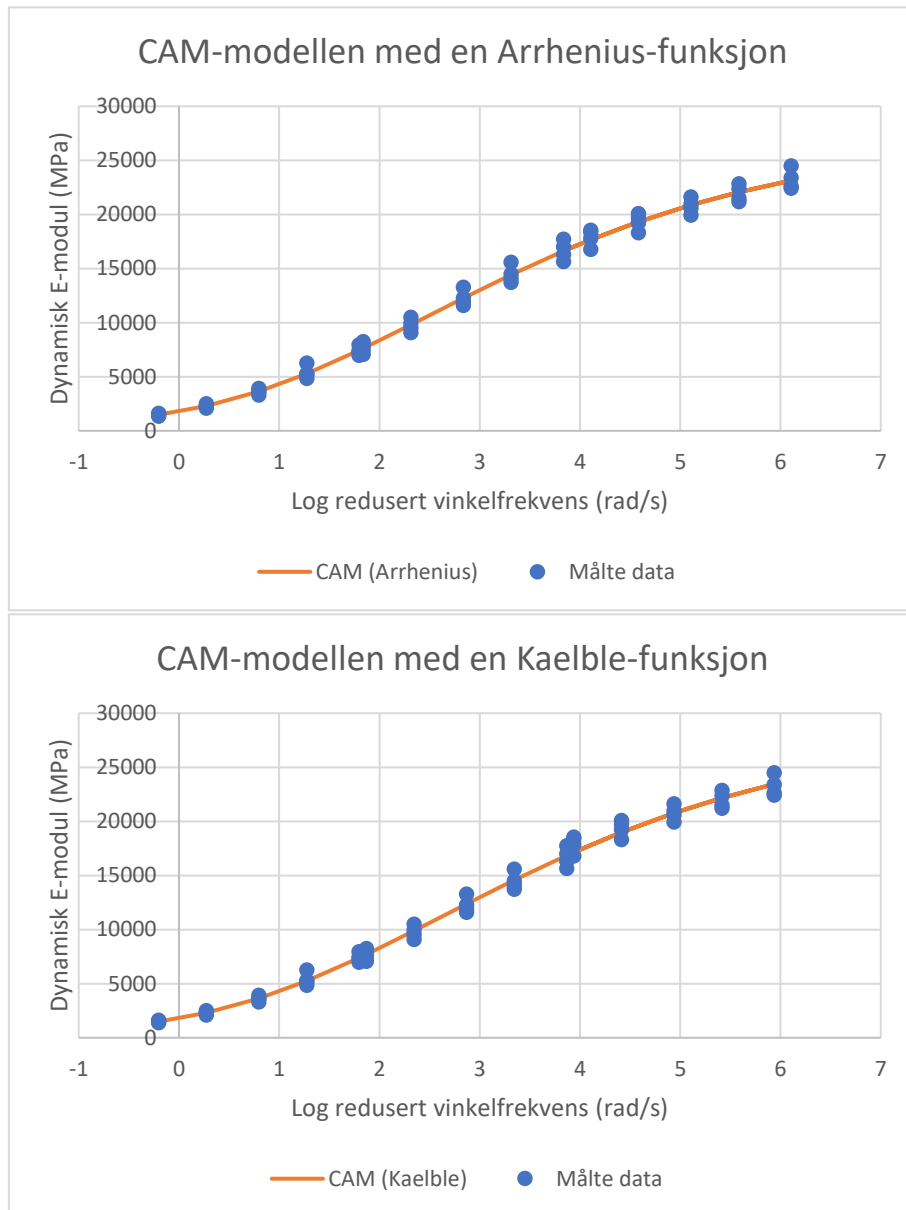
Figur 62: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier for GLSM

5.6.4 Christensen-Anderson-Marasteanu modell

Som nevnt i forrige avsnitt viser CAM-modellen svært god «goodness-of-fit»-statistikk for dette materialet. Masterkurvemodellen estimerer på samme måte som GLSM, verdier for $|E^*|_{min} \neq 0$. Ved å studere Tabell 29 er det tydelig at CAM-modellen er preget av mindre variasjon mellom modellkonstantene på tvers av shiftfaktormodellene enn GLSM. Dette gjenspeiles i lave verdier for C_v ved samtlige modellkonstanter. Kaelble-funksjonen skiller seg til en viss grad fra de andre shiftfaktormodellene med noe avvikende verdier for modellkonstantene. Sammenlignet med avvikene mellom Kaelble-funksjonen og de andre shiftfaktormodellene for GLSM er dette ubetydelig.

Tabell 29: Oversikt over modellkonstanter ved bruk av Christensen-Anderson-Marasteanu modell med statistisk spredningsmål mellom konstantene i masterkurvemodellen

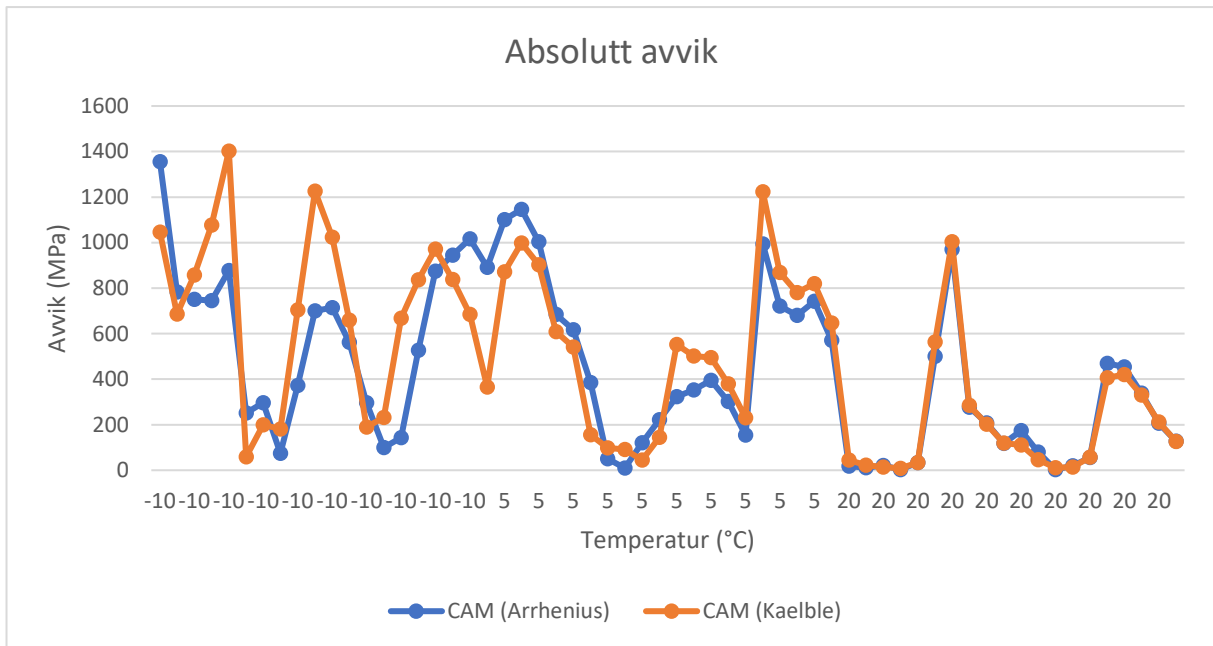
Konstanter	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Gj. Snitt	St. Av	C_v (%)
CA	11084	-	-	-	-	-	-
C1	-	32	11954	-	-	-	-
C2	-	254	86574	-	-	-	-
b	-	-	-	-0,1266	-	-	-
c	-	-	-	0,0006	-	-	-
$ E^* _{min}$ [MPa]	626	628	552	638	611	39	6,5
$ E^* _{maks}$ [MPa]	27167	26922	28686	26955	27432	843	3,1
ω_{cE} [rad/s]	0,0016	0,0021	0,0015	0,0014	0,0017	0,0003	20,1
v	0,2169	0,2190	0,2069	0,2181	0,2152	0,0056	2,6
w	3,0792	2,9530	2,7784	3,1959	3,0016	0,1789	6,0
Re	1,3878	1,3744	1,4552	1,4566	1,4185	0,0435	3,1



Figur 63: Sammenstilling av målte og estimerte verdier for CAM-modellen med en WLF- og Kaelble-funksjon innenfor det eksperimentelle området

Fra Tabell 25 kommer det fram at Arrhenius- og Kaelble-funksjonen er henholdsvis den mest og minst presise modellkombinasjonen for CAM-modellen. Figur 63 viser masterkurvene for begge modellene sammenlignet med de målte stivhetsverdiene innenfor det eksperimentelle området. Basert på de grafiske fremstillingene av modellene er det også i dette tilfelle nesten umulig å skille om den ene modellen er mer presis enn den andre. Dette gjenspeiles igjen av at det er svært små forskjeller i verdiene for R^2 og SER mellom modellene. CAM-modellen er på samme måte som GLSM-modellene bedre tilpasset stivhetsverdiene i det øvre frekvensområdet enn SLSM.

Basert på avviksutviklingen i Figur 64 er det også for CAM-modellen vanskelig å skille hvilken modell som totalt sett er preget av de største avvikene mellom estimerte og målte verdier. Figuren viser omtrent den samme avvikstrenden som for SLSM og GLSM.

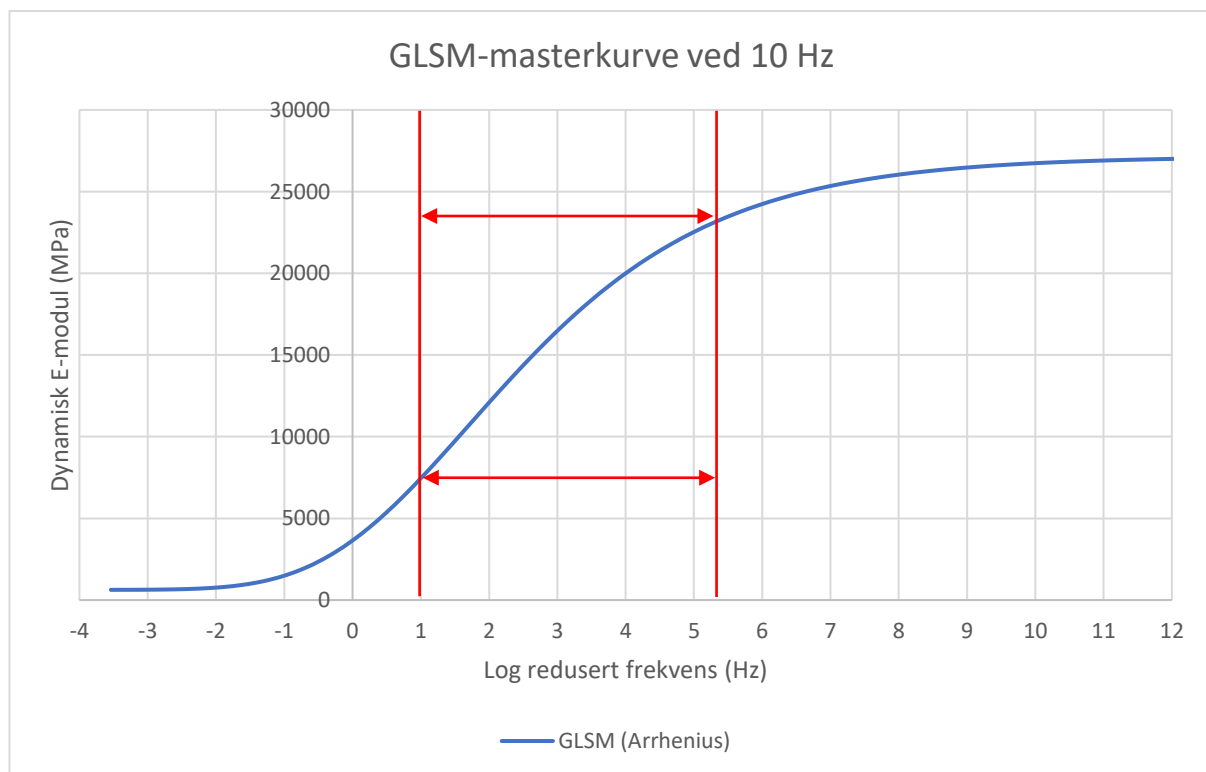


Figur 64: Absolutt avvik mellom målte og estimerte verdier for CAM-modellen

5.6.5 Oppsummering

Basert på det som er diskutert er det for dette materialet ikke entydig hvilken modellkombinasjon som skiller seg ut som den «beste». Både GLSM og CAM-modellen viser omtrent til identisk statistikk, og blant disse masterkurvmodellene er det Arrhenius-funksjonen som viser den beste tilpasningen til målte verdier. Til tross for at CAM-modellen viser til noe mindre statistisk variasjon på tvers av shiftfaktormodellene enn GLSM, er det valgt å representere masterkurven til AC 8 D S med standard bindemiddel 50/70, med modellkombinasjonen GLSM og Arrhenius-funksjonen. Dette betyr ikke at GLSM er en bedre modell for å modellere stivhetsegenskapene til materialet enn CAM-modellen.

Masterkurven er konstruert på samme måte som for de andre materialene. Figur 65 viser den resulterende masterkurven for AC 8 D S ved bruk av en GLSM med en Arrhenius-funksjon. De røde linjene og pilene markerer det eksperimentelle området ved 10 Hz. Området er avgrenset av $1,00 \text{ Hz} \leq \log(f_R) \leq 5,31 \text{ Hz}$ langs x-aksen som tilsvarer $7450 \text{ MPa} \leq |E^*| \leq 23\,137 \text{ MPa}$ langs y-aksen. Stivhetsområdene utenfor de røde linjene er ekstrapolerte verdier anslått av den aktuelle masterkurvmodellen.



Figur 65: GLSM-masterkurve ved 10 Hz for AC 8 D S

5.7 Sammenlikning av AC 11 D S og AC 8 D S

For dekkematerialene av asfaltbetong var det også CAM-modellen som totalt sett viste til de beste statistiske resultatene, i tillegg til at modellen inneholder logiske modellkonstanter som beskriver stivhetsegenskapene til materialene på en god måte. Det skal nevnes at GLSM også viste til gode resultater, men for å sammenlikne AC-materialene er det valgt å bruke CAM-modellen.

Materialutvalget består i dette tilfelle også av to materialer med ulik D_{maks} . Uavhengig av øvre kornstørrelse er det i hovedsak bindemiddeltype som er den dominerende faktoren for materialenes stivhetsutvikling. Forsøksgrunnlaget for begge materialene består av 60 stivhetsdata som inkluderer tre forsøks temperaturer og fem belastningsfrekvenser med fire prøver for hver temperatur. Et likt forsøksgrunnlag gir bedre forutsetninger for sammenlikning og vurderinger av hvordan de ulike modellene tilpasser seg materialene, som igjen gjør det mulig å beskrive de unike egenskapene til det enkelte materialet mer presist.

Fra Tabell 30 er det tydelig at de statistiske parameterne for AC 11 D S er langt mer varierende på tvers av shiftfaktormodellene, der Arrhenius- og Kaelble-funksjonen viser relativt svak «goodness-of-fit»-statistikk. Disse svakheten reflekteres blant annet i ulogiske verdier for $|E^*|_{maks}$. Resultatene for AC 8 D S viser langt mindre variasjon på tvers av shiftfaktormodellene, noe som gjenspeiles i relativt fornuftige grenseverdier for samtlige modeller. Disse forskjellene illustrerer kompleksiteten av å modellere stivhetsutviklingen til materialer som inneholder polymermodifiserte bindemidler. Samme trend ble også observert ved sammenlikning av SMA-materialene.

Modelltilnærmingene som gir gode tilpasningsresultater for AC 11 D S viser derimot til bedre «goodness-of-fit»-statistikk enn tilsvarende for AC 8 D S, noe som kanskje indikerer at enkelte shiftfaktormodeller er bedre til å beskrive polymermodifiserte bindemidler enn andre.

Ettersom forsøksgrunnlaget er likt for begge materialene er det lettere å sammenlikne modellenes estimat av stivhetsutviklingen direkte, slik at materialforskjellene kan skildres så presist som mulig. For å beskrive denne forskjellen er det valgt å ta utgangspunkt i en felles shiftfaktormodell som viser stabile resultater for begge materialene. I dette tilfelle er det WLF-funksjonen som samlet sett gir det beste grunnlaget, til tross for at Arrhenius-funksjonen ser ut til å best beskrive stivheten til AC 8 D S.

Tabell 30: Sammenlikning av statistisk parameterne samt verdier for shiftfaktor ved aktuelle forsøks temperaturer for CAM-modellen

		AC 11 D S				AC 8 D S			
		Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom
SSE		0,0423	0,0193	0,0591	0,0194	0,0320	0,0320	0,0341	0,0320
Justert R ²		0,9863	0,9959	0,9799	0,9959	0,9937	0,9937	0,9928	0,9937
SER		0,1236	0,0684	0,1510	0,0684	0,0836	0,0844	0,0905	0,0843
$ E^* _{maks}$		51808	36092	64265	35679	27167	26922	28686	26955
$ E^* _{min}$		844	1296	641	1173	626	628	552	638
log(αT)	-10 [°C]	4,399	4,922	4,337	4,914	4,310	4,342	4,141	4,342
	5 [°C]	2,081	1,884	2,169	1,885	2,039	2,035	2,071	2,035

Tabell 31 viser konstantene som inngår i både shiftfaktor- og masterkurvemodellene for begge materialene. Ved å sammenlikne shiftfaktor-konstantene til WLF-funksjonen, viser AC 11 D S til lavere verdier for C_1 og C_2 som betyr at $\log(\alpha T)$ øker hurtigere i det nedre temperaturområdet og saktere i det øvre temperaturområdet som vist i Figur 66. Dette gjør at masterkurvemodellen for AC 11 D S estimerer høyere stivhetsverdier enn AC 8 D S i det øvre og nedre området av redusert vinkelfrekvens (Figur 67). Det skal nevnes at kurvene i Figur 67 har ulike x-verdier, og er derfor ikke direkte sammenlignbare. De er presentert i samme graf for å prinsipielt illustrere forskjeller mellom materialene.

Modellkonstantene som angir grenseverdiene til materialene er som forventet høyere for AC 11 D S enn AC 8 D S på grunn av massesammensetning og bindemiddeltype.

I delkapittelet som omhandlet sammenlikningen av SMA 11 S og SMA 8 S ble det observert at ω_{cE} i synkende størrelsesorden indikerer et stivere materiale. Dette er også tilfelle for asfaltbetongmaterialene der AC 11 D S viser en lavere ω_{cE} -verdi som i prinsippet betyr at masterkurven er forskjøvet mer mot origo, og at den estimerer høyere stivhet i frekvensområdet som masterkurven dekker (Figur 67). Fra figuren kommer det ikke tydelig frem at kurven til AC 11 D S er forskjøvet mer mot origo, men kurven viser at den generelle stivheten er høyere over frekvensområdet som er dekket av masterkurven.

Modellkonstantene ν og Re viser også for denne sammenlikningen, at verdiene henholdsvis synker og stiger ved økende bindemiddelstivhet. Derimot er verdiforskjellene mindre i dette tilfelle, som betyr at kurvene har en relativt lik krumning mot den øvre grenseverdien.

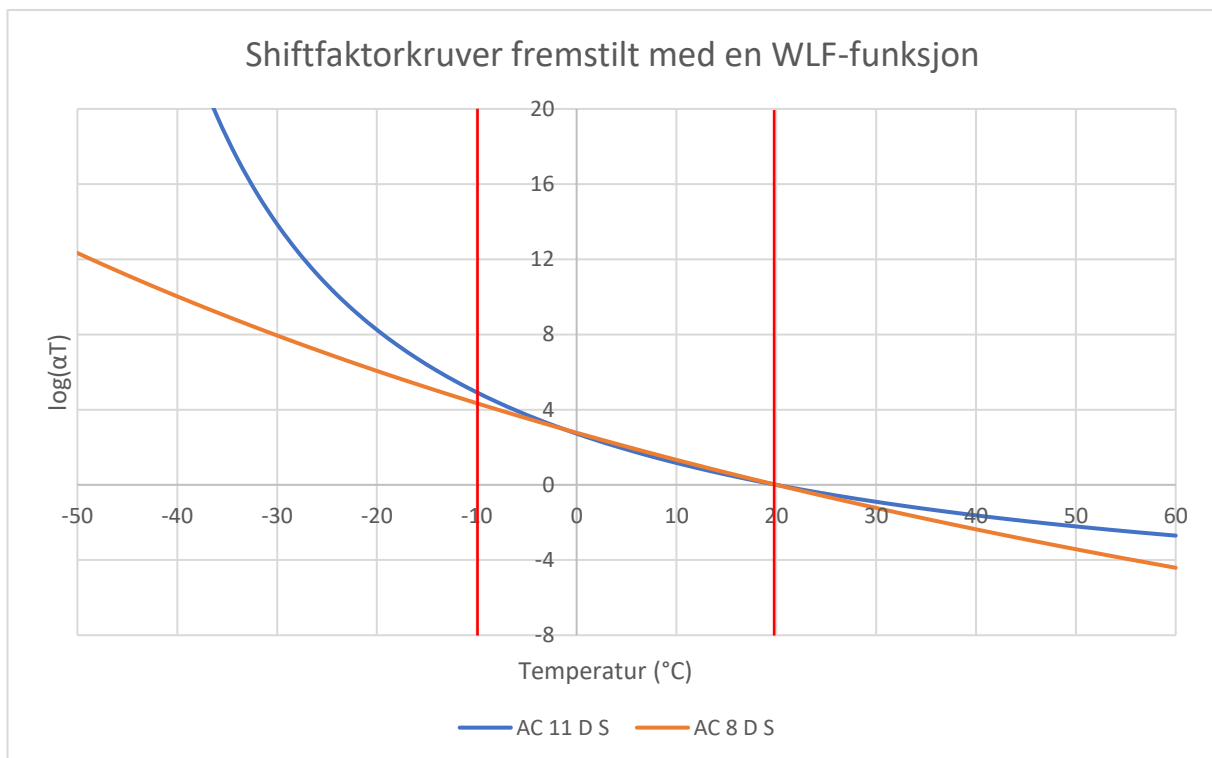
Sammenlignet med SMA-materialene er det også mindre forskjell i w -konstanten mellom AC-materialene. Som tidligere nevnt indikerer w -konstanten hvor raskt kurven konvergerer mot den nedre grenseverdien. Det er også tilfelle for AC-materialene at materialet som ikke inneholder polymermodifisert bindemiddel, raskere konvergerer mot den nedre grenseverdien, men forskjellen mellom materialene er mindre i dette tilfelle.

Tabell 31: Sammenlikning av modellkonstanter for CAM-modellen

Konstanter	AC 11 D S				AC 8 D S			
	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom
C_A	11312	-	-	-	11084	-	-	-
C_1	-	8	17466	-	-	32	11954	-
C_2	-	79	120794	-	-	254	86574	-
b	-	-	-	-0,0875	-	-	-	-0,1266
c	-	-	-	0,0025	-	-	-	0,0006
$ E^* _{\min}$ [MPa]	844	1296	641	1173	626	628	552	638
$ E^* _{\max}$ [MPa]	51808	36092	64265	35679	27167	26922	28686	26955
ω_{cE} [rad/s]	0,00276	0,00004	0,00013	0,00380	0,0016	0,0021	0,0015	0,0014
ν	0,1288	0,1597	0,1095	0,1659	0,2169	0,2190	0,2069	0,2181
w	1,0561	2,6597	1,1233	1,4572	3,0792	2,9530	2,7784	3,1959
Re	2,3376	1,8844	2,7481	1,4566	1,3878	1,3744	1,4552	1,4566

For å best mulig illustrerer forskjellen mellom materialene og innflytelsen bindemiddeltypen har på masterkurven er det i Figur 66 og Figur 67 valgt å presentere forholdsvis shiftfaktor- og masterkurvene grafisk ved bruk av WLF-funksjonen.

I Figur 66 er shiftfaktoren fremstilt som funksjon av temperatur både innenfor og utenfor det eksperimentelle området. De røde linjene markerer det eksperimentelle området. Innenfor det eksperimentelle området viser kurvene omtrent like shiftfaktorverdier for begge materialene. De ekstrapolerte verdiene er derimot relativt ulike for begge materialene, som reflekteres i avvikende kurveforløp mot lavere og høyere temperaturer. Avvikene er mest ekstreme i det nedre temperaturområdet, der materialet som inneholder det stiveste bindemiddelet viser en radikal økning i $\log(\alpha T)$, som impliserer økende stivhet i det øvre frekvensområdet.

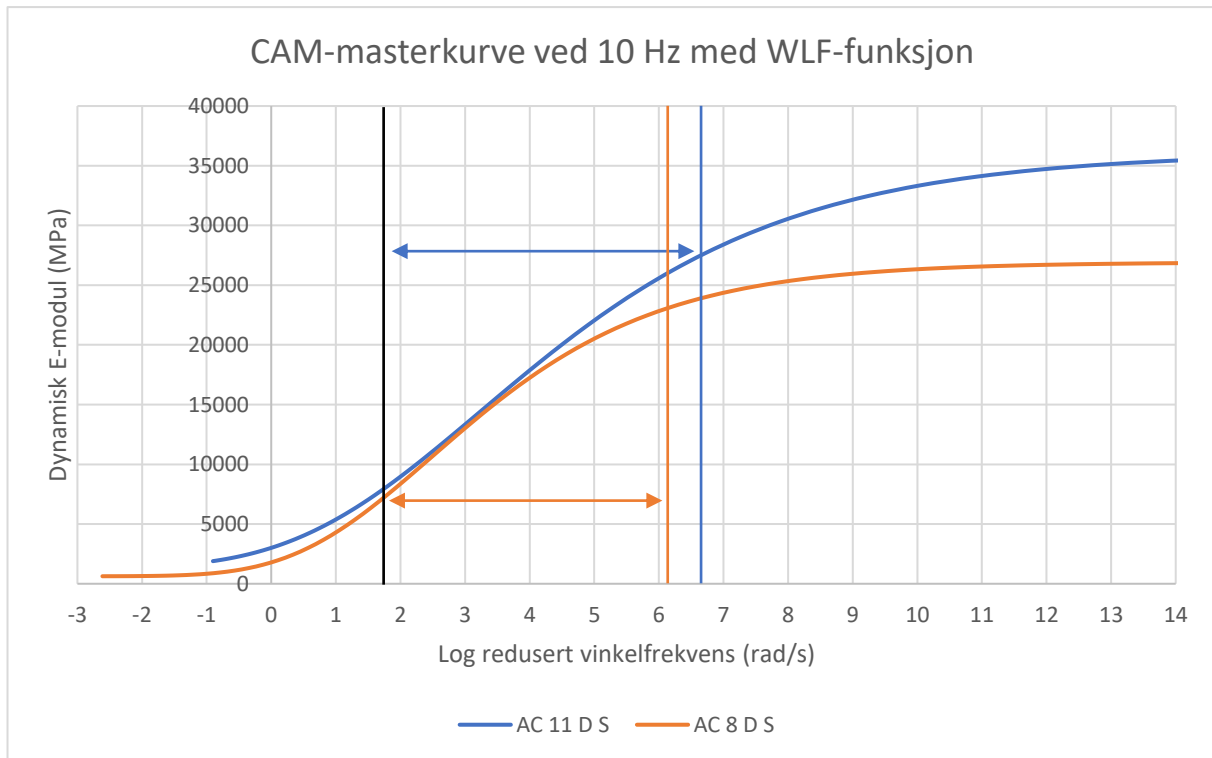


Figur 66: Shiftfaktorkurve for AC 11 D S og AC 8 D S med en WLF-funksjon

I Figur 67 markerer den svarte linjen den nedre grensen for det eksperimentelle området som er felles for begge materialene. Den blå linjen og pilen, og oransje linjen og pilen markerer den øvre grensen for henholdsvis AC 11 D S og AC 8 D S. Området til AC 11 D S er avgrenset av $1,80 \text{ rad/s} \leq \log(\omega\alpha T) \leq 6,72 \text{ rad/s}$ langs x-aksen som tilsvarer $8162 \text{ MPa} \leq |E^*| \leq 27\,684 \text{ MPa}$ langs y-aksen. Området til AC 8 D S er avgrenset av $1,80 \text{ rad/s} \leq \log(\omega\alpha T) \leq 6,14 \text{ rad/s}$ langs x-aksen som tilsvarer $7457 \text{ MPa} \leq |E^*| \leq 23\,084 \text{ MPa}$ langs y-aksen. Selv om kurvene ikke er direkte sammenlignbare på grunn av ulike x-verdier, kommer det frem fra figuren at både innenfor og utenfor det eksperimentelle området viser AC 11 D S, som inneholder polymermodifisert bindemiddel, generelt til utvidete og mer fleksible stivhetsegenskaper. I intervallet av redusert vinkelfrekvens mellom 2 rad/s og 4 rad/s, som er innenfor det eksperimentelle området, er kurvene omtrent identiske. Det er i de mer ekstreme områdene av redusert vinkelfrekvens de utvidete egenskapene til det modifiserte bindemiddelet blir tydeliggjort. Masterkurven til AC 11 D S viser økt stivhet i det nedre området av redusert vinkelfrekvens, noe som er ønskelig med tanke på motstand mot permanente deformasjoner. I tillegg viser kurven til økt stivhet i det øvre området av redusert vinkelfrekvens, noe som naturlig kan

forventes ettersom materialet blir stivere når frekvensen øker og temperaturen synker. Dette er derimot mindre ønskelige med tanke på sprekkedannelse ved lave temperaturer.

Som tidligere nevnt er det trolig usannsynlig at en kombinasjon av temperatur, og belastning fra vegtrafikk vil indusere en stivhet som er i nærheten av det øverste området av redusert vinkelfrekvens. Det er derfor mer aktuelt å vurdere hvor gunstig en modifisering av et materiale er, basert på stivhetsutviklingen i det nedre og midtre området av redusert vinkelfrekvens.



Figur 67: CAM-masterkurve ved 10 Hz for AC 11 D S og AC 8 D S

5.8 Oppsummering av resultater

Alle modellkombinasjonene gir for hvert materiale svært gode tilnærminger til de målte verdiene. Dette gjenspeiles i at samtlige modellkombinasjoner viser $R^2 > 0,98$, og nesten samtlige til $SER < 0,12$, som indikerer en svært god «goodness-of-fit» mellom målte og estimerte verdier (Angelone *et al.*, 2013). I tillegg er summen av de kvadrerte avvikene (SSE) svært lav ved alle modellkombinasjonene (størrelsesorden 10^{-2}).

Samtidig er det forskjeller i hvor god tilpasningen er internt mellom de ulike modellene men også mellom de ulike materialene. Eksempelvis viser omtrent alle modellkombinasjonene for materialene med standard bitumen og $D_{maks} = 8$ mm en $R^2 > 0,99$, og $SER < 0,10$. For materialene med modifisert bindemiddel og $D_{maks} = 11$ mm er det noe større variasjon i hvor god tilpasning de ulike modellene gir.

Til tross for at alle modellene passer godt med målte verdier viser standard logistisk sigmoidmodell til de svakeste resultatene. Dette er tilfelle for alle materialene. Samtidig er SLSM den mest stabile masterkurvemodellen med lite variasjon på tvers av shiftfaktormodellene med lavere C_v -verdier. For alle materialene med unntak av AC 11 D S kunne modellkonstantene i SLSM vise en $C_v < 10\%$, noe som indikerer statistisk likhet (Angelone *et al.*, 2013). SLSM var også den eneste modellen der likevektsmodulen ($|E^*|_{min}$) ble modellert til 0 MPa for alle materialene ved samtlige shiftfaktormodeller.

Blant sigmoidmodellene ble det observert at S-kurven til GLSM var langt mer langtrukket og mindre bratt enn for SLSM, noe som reflekteres i at GLSM estimerer lavere verdier for modellkonstantene β og γ enn SLSM. Årsaken er at GLSM har en mer fleksibel form som tillater høyere verdier for glass- og likevektsmodul.

Blant shiftfaktormodellene skilte Kaelble- og WLF-funksjonen seg ut som henholdsvis den svakeste og sterkeste tilnærmingsmodellen ved omtrent samtlige modelleringen. For de modifiserte materialene gir Kaelble-funksjonen i noen tilfeller ulogiske resultater for svært lave temperaturer. For AC 11 D S gir polynomfunksjonen ulogiske resultater for høye temperaturer.

Til tross for at Arrhenius-funksjonen generelt viser til gode resultater for flere av materialene, viser den til svært presis tilnærming for AC 8 D S og mindre presis tilnærming for SMA 8 S. Dette kan tyde på at Arrhenius-funksjonen bedre tilpasser seg mer tett/velgraderte materialer som asfaltbetong, enn mer åpen graderte materialer som skjellettasfalt. Denne forskjellen ble kun observert for umodifiserte materialer.

Modelleringene viser tydelig at resultatene for materialene som inneholder modifisert bindemiddel er langt mer varierende og ustabile enn resultatene for materialene som inneholder umodifisert bindemiddel. Dette gjenspeiles i store variasjoner (høye C_v -verdier) i modellkonstantene til den aktuelle masterkurvemodellen på tvers av shiftfaktormodellene for de modifiserte materialene. En høy verdi indikerer stor variasjon og statistisk ulikhet mellom modellene. «Angelone *et al.* (2013)» indikerer at $C_v < 20\%$ tyder på statistisk likhet mellom modellene. Flere av modelleringene for de modifiserte materialene viste C_v -verdier langt over 20% både på tvers av shiftfaktormodellene og mellom modellkonstanter.

CAM-modellen er den masterkurvemodellen som totalt sett viser den beste «goodness-of-fit»-statistikken, til tross for noe stor og variert modellvariasjon internt og på tvers av shiftfaktormodellene. CAM-modellen med WLF-funksjonen er den beste modellkombinasjonen til å beskrive modifiserte materialer.

6 Vurdering av modellegenskaper

Kapittelet inneholder en oppsummering og vurdering av hvor godt de ulike masterkurvemodellene passer med målte verdier for henholdsvis modifiserte og umodifiserte materialer. I tillegg vil det bli redegjort for hvilke modellkombinasjoner som best passer for de ulike materialene. Det skal nevnes at selv om materialutvalget inneholder modifiserte og umodifiserte bindemidler, er alle materialsammensetningene forskjellige. Det er derfor ikke entydig at bindemiddelegenskapene til eksempelvis modifiserte bindemidler blir fullstendig representert når to materialer med ulike D_{maks} sammenliknes.

For å best mulig kunne skildre material- og modellforskjeller er det i hvert delkapittel inkludert grafiske fremstillinger som inneholder to masterkurver for to utvalgte materialer. De grafiske fremstillingene for hver masterkurvemodell er kombinert med WLF-funksjonen, da denne generelt viser til de mest presise og stabile resultatene for samtlige materialer. Selv om det er valgt en felles modellkombinasjon for begge masterkurvene i den grafiske fremstillingen, er det viktig å presisere at begge kurvene består av shiftfaktor- og masterkurvemodeller med ulike verdier for modellkonstanter. Dette betyr at den enkelte kurven har unike x-verdier, og at kurvene derfor ikke er direkte sammenliknbare. Masterkurvene dekker et område av eksperimentelle og ekstrapolerte stivhetsverdier. I dette kapittelet er det ikke valgt å markere det eksperimentelle området i figurene som viser masterkurven, da markeringene i flere tilfeller forstyrret elementer i figuren.

6.1 SLSM for modifiserte og umodifiserte materialer

Fra resultatkapittelet kom det tydelig frem at SLSM var den masterkurvemodellen som viste den svakeste «goodness-of-fit»-statistikken for samtlige materialtyper. Samtlige modelleringen resulterte dessuten i en nedre grenseverdi $|E^*|_{min} = 0$, noe som i teorien er en mulig tilnærming, men i praktisk sammenheng ikke er reelt. Det ble også observert at SLSM estimerte $|E^*|_{maks}$ -verdier som er lavere enn målte verdier ved -10 °C og 10 Hz (vedlegg 6 og 8, se figurer for SLSM) for materialene med umodifisert bindemiddel. Selv om modellene hadde relativt god tilpasningsstatistikk, regnes en slik upresis tilnærming i det øvre området for redusert frekvens som en modellsvakhet.

Tabell 32 viser en oversikt over modellkonstantene for hvert materiale. Tabellen komplementeres av Figur 68 som viser SLSM-masterkurvene til SMA-materialene med en WLF-funksjon. Ved å studere modellkonstantene som bestemmer formen til masterkurven, kan forskjeller mellom materialene beskrives. β -verdien som bestemmer kurvens plassering, viser at kurvene for materialene som inneholder modifisert bindemiddel er forskjøvet mer mot origo, noe som indikerer en høyere stivhet i det midtre og nedre området for redusert frekvens. For AC-materialene er tabellen ikke helt entydig på at β er lavere for modifiserte bindemidler. Fra tabellen kommer det frem av γ -verdien som beskriver brattheten til kurven, viser mindre negative verdier for de modifiserte materialene. Når γ -verdien blir mer negativ, øker brattheten til kurven. At de modifiserte materialene har mindre negative verdier indikerer et slakere kurveforløp og dermed et større stivhetsspekter.

En interessant observasjon er at WLF-funksjonen ser ut til å best beskrive materialene med polymermodifiserte bindemidler (Tabell 8 og Tabell 20) og polynomfunksjonen de umodifiserte bindemidlene (Tabell 13 og Tabell 25). Det skal nevnes at det er langt mindre forskjeller mellom hvor godt de ulike shiftfaktormodellene passer de målte verdiene for de umodifiserte materialene enn for de modifiserte. Hvilken shiftfaktormodell som egner seg best for de ulike materialene vil bli nærmere diskutert senere i kapittelet, men det er tydelig fra resultat- og diskusjonskapittelet at WLF-

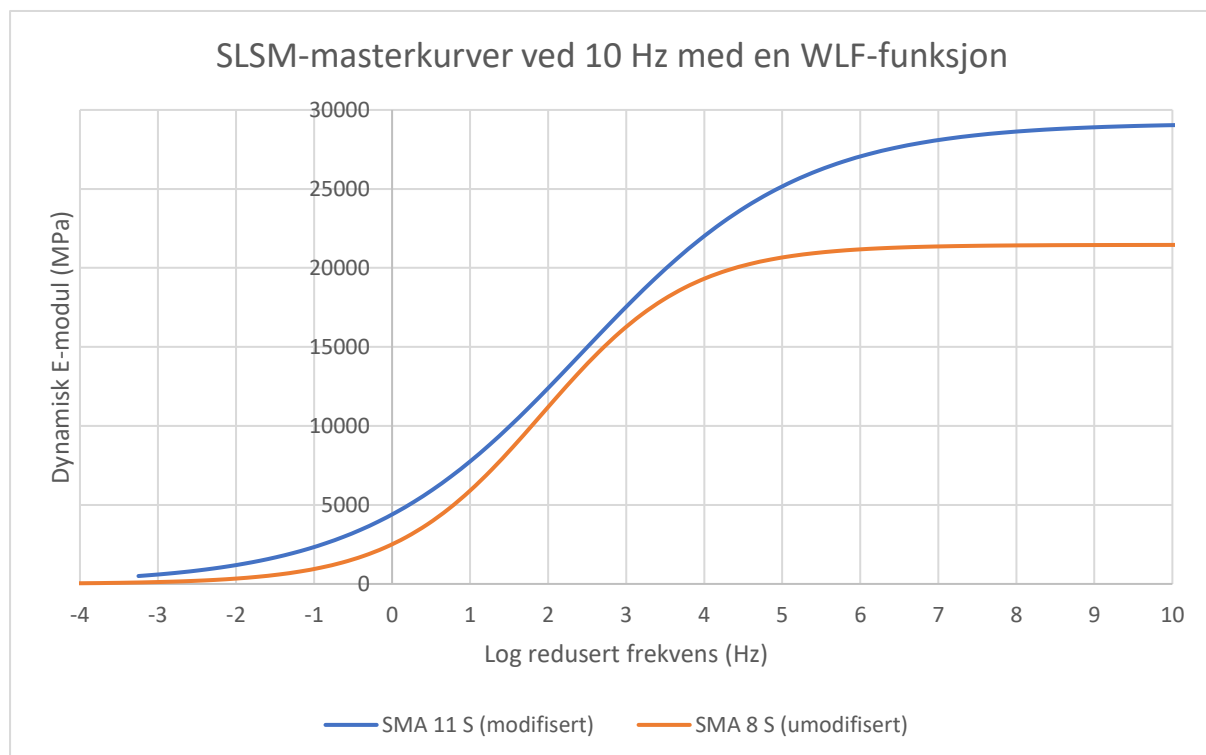
funksjonen skiller seg ut som den beste tilnæringsmodellen for de modifiserte materialene.

SLSM er den masterkurvemodellen som har lavest antall frihetsgrader og er derfor den minst fleksible modellen. Samtidig er SLSM den modellen som er lettest å modellere, fordi den inneholder færrest konstanter i optimeringssammenheng. På mange måter tyder dette på at modellen egner seg best til å modellere stivheten til mindre komplekse materialer som ikke inneholder modifiserte bindemidler. Dette har vist seg å ikke være tilfelle i denne oppgaven. På mange måter kan det se ut til at modellen bedre egner seg for mer komplekse materialer, da disse kan være så komplekse at de mer avanserte modellene som GLSM og CAM-modellen estimerer for varierende og radikale resultater. Dette fenomenet kan observeres i resultatene for de modifiserte materialene, der SLSM generelt viser mer stabile og mindre ekstreme tilnæringer enn de andre modellene.

Figur 68 viser stivhetsutviklingen til SMA-materialene med SLSM.

Tabell 32: Oversikt over modellkonstantene til SLSM for de ulike materialene

Konstanter	SMA 11 S (Modifisert)				SMA 8 S (Umodifisert)			
	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom
E* min [MPa]	0	0	0	0	0	0	0	0
E* maks [MPa]	29482	29167	32637	29573	21012	21460	21515	21510
β	1,7377	1,7292	1,8204	1,7425	1,9965	2,0238	2,0271	2,0268
γ	-0,7107	-0,7133	-0,6857	-0,7100	-1,0631	-1,0553	-1,0544	-1,0544
	AC 11 D S (Modifisert)				AC 8 D S (Umodifisert)			
E* min [MPa]	0	0	0	0	0	0	0	0
E* maks [MPa]	36129	30812	38483	30814	22974	23090	23529	23094
β	1,8993	1,6903	1,9796	1,6904	1,6879	1,6948	1,7208	1,6951
γ	-0,6046	-0,6518	-0,5865	-0,6518	-0,9474	-0,9453	-0,9375	-0,9453



Figur 68: SLSM-masterkurver ved 10 Hz med en WLF-funksjon for SMA-materialene

6.2 GLSM for modifiserte og umodifiserte materialer

GLSM viste svært god «goodness-of-fit»-statistikk for samtlige materialer, og skiller seg fra SLSM med tilleggsparameteren λ som tillater en mer fleksibel masterkurve. Dette gjenspeiles i hvordan modellen estimerer $|E^*|_{\min} \neq 0$ for samtlige materialer ved nesten alle shiftfaktormodellene, samt tillater langt høyere $|E^*|_{\max}$ -verdier. $|E^*|_{\min} \neq 0$ blir ansett som en mer logisk tilnærming av materialets nedre stivhetsgrense, da den bedre reflekterer reelle forhold i felt. I praktisk sammenheng vil det ikke være tilfelle at denne grensen nås, men den gir en god indikasjon på materialets faktiske stivhet ved høye temperaturer og lave belastningsfrekvenser.

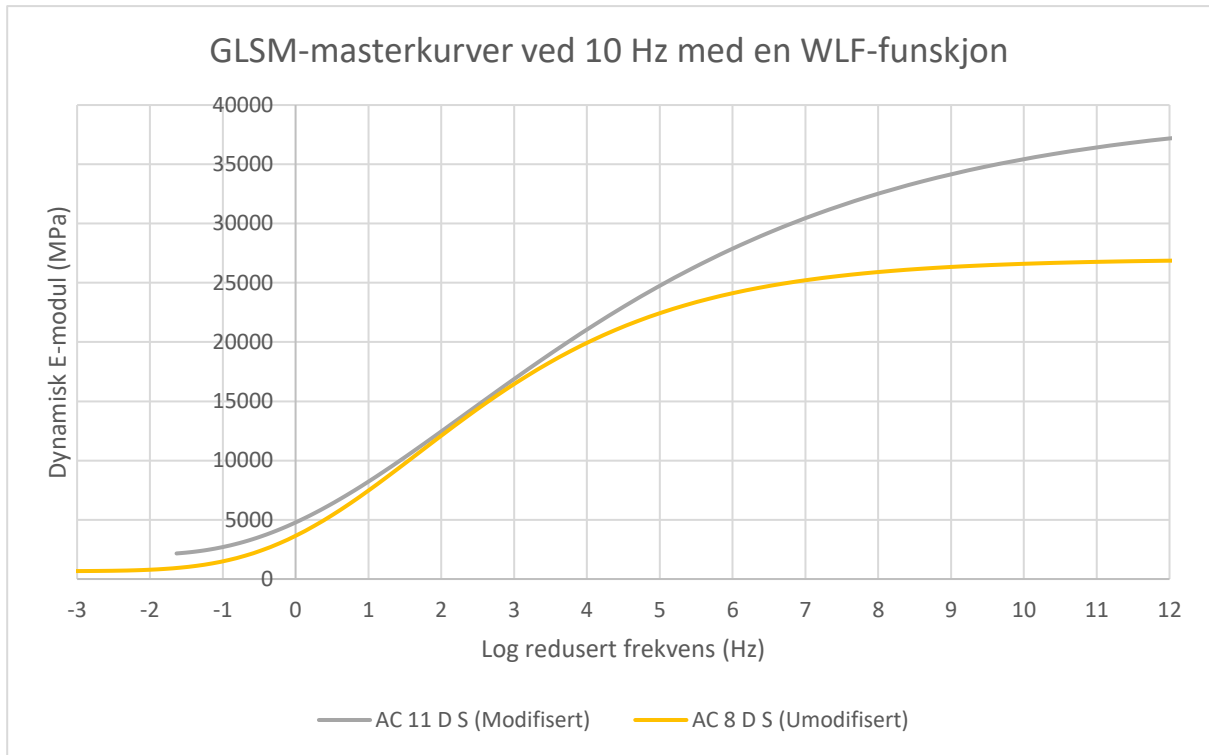
GLSM tillater også mer fleksible øvre grenseverdier. Her viser derimot flere av modellkombinasjonen til ekstreme resultater, med ulogisk høye verdier. Dette er spesielt synlig ved stivhetsmodelleringen av de modifiserte materialene. I kapittel 5 ble det observert at GLSM i noen tilfeller modellerte stivheten med en negativ verdi for modellkonstanten λ . I teoretisk sammenheng resulterer dette i diskontinuitet i kurveforløpet, som prinsipielt ikke er en god tilnærming. Men som tidligere diskutert er det trolig at dette ikke er et problem i praktisk sammenheng. Derimot er det et element ved GLSM som bør bevisstgjøres dersom modellen skal brukes i modelleringssammenheng.

GLSM viser generelt til mer stabile resultater ved stivhetsmodelleringen av de umodifiserte materialene. Dette er tydelig fra den statistiske tilpasningen presentert i resultatkapittelet (Tabell 13 og Tabell 25) og fra logiske modellkonstanter som varierer mindre på tvers av shiftfaktormodellene, enn tilsvarende konstanter for de modifiserte materialene (Tabell 33). Det er derfor rimelig å fastslå at GLSM er en svært god masterkurvemodell for å beskrive umodifiserte asfaltmaterialer.

Figur 69 viser stivhetsutviklingen til AC-materialene med GLSM. Til tross for ulike x -verdier kommer det frem fra figuren at modellen for det umodifiserte materialet bedre utfyller det nedre området for redusert frekvens med flere ekstrapolerte verdier.

Tabell 33: Oversikt over modellkonstantene til GLSM for de ulike materialene

Konstanter	SMA 11 S (Modifisert)				SMA 8 S (Umodifisert)			
	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom
$ E^* _{\min}$ [MPa]	454	597	147	593	280	196	152	196
$ E^* _{\max}$ [MPa]	56127	52007	46158	58901	25080	25708	25949	25716
β	0,8784	0,6691	1,3181	0,6864	1,0322	1,0922	1,1250	1,0921
γ	-0,2339	-0,1977	-0,3871	-0,1802	-0,5392	-0,5446	-0,5495	-0,5444
λ	-0,0587	-0,2235	0,3810	-0,2383	0,1372	0,1876	0,2162	0,1873
	AC 11 D S (Modifisert)				AC 8 D S (Umodifisert)			
$ E^* _{\min}$ [MPa]	0	2030	0	2028	624	665	299	664
$ E^* _{\max}$ [MPa]	35695	39620	34858	39609	27155	27020	27621	27020
β	1,9401	0,6557	2,3391	0,6564	0,8550	0,8367	1,0007	0,8377
γ	-0,6219	-0,2806	-0,7333	-0,2809	-0,5001	-0,4971	-0,5351	-0,4974
λ	1,0405	-0,2474	1,3434	-0,2467	0,0718	0,0524	0,2363	0,0536



Figur 69: GLSM-masterkurver ved 10 Hz med en WLF-funksjon for AC-materialene

6.3 CAM-modellen for modifiserte og umodifiserte materialer

Fra resultat og diskusjonskapittelet kommer det frem at CAM-masterkurvemodellen viser den beste tilpasningen til forsøksdata for nesten samtlige materialer. Modellen viser også til logiske modellkonstanter ved de fleste shiftfaktormodellene, og viser et tydelig skille for hvordan konstantene endrer seg med varierende bindemiddeltype (Tabell 34).

CAM-modellen er på samme måte som GLSM godt egnet til beskrivelse av stivhetsutviklingen til umodifiserte materialer.

CAM-modellen er den eneste masterkurvemodellen som estimerer $|E^*|_{\min} \neq 0$ for samtlige shiftfaktormodeller og materialer. Om dette er en indikasjon på at CAM-modellen er en bedre egnet modell enn de andre, er vanskelig å si. Det er allikevel en pekepinn om at CAM-modellen er en interessant modell for beskrivelse av stivhetsegenskaper til asfaltmaterialer.

På samme måte som for GLSM er det også stor variasjon mellom modellkonstantene på tvers av shiftfaktormodellene for de modifiserte materialene (Tabell 12 og Tabell 24). Dette reflekterer at CAM-modellen på samme måte som for GLSM varierer i hvor presist den estimerer stivhetsdataene til modifiserte materialer. I kombinasjon med WLF-funksjonen kan det fra resultatene i kap. 5 observeres at CAM-modellen uttrykker stivhetsegenskapene til de modifiserte materialene ved hjelp av mer logiske modellkonstanter enn GLSM. Dette gjelder bl.a. mindre ekstreme tilnærminger til grenseverdiene (kolonnen for WLF i Tabell 33 og Tabell 34), og at CAM-modellen ikke inneholder modellkonstanter som resulterer i et diskontinuerlig kurveforløp i det nedre området for redusert frekvens. WLF-funksjonen skiller seg igjen ut som en god shiftfaktormodell, som i kombinasjon med CAM-modellen ser ut til å beskrive modifiserte materialer svært godt.

Figur 50 og Figur 67 fra kap. 5 viser grafiske fremstillinger av CAM-modellen med en WLF-funksjonen for henholdsvis SMA- og AC-materialene.

Tabell 34: Oversikt over modellkonstantene til CAM-modellen for de ulike materialene

Konstanter	SMA 11 S (Modifisert)				SMA 8 S (umodifisert)			
	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom	Arrhenius	WLF	Kaelble	Polynom
$ E^* _{\min}$ [MPa]	363	378	304	359	287	330	303	195
$ E^* _{\max}$ [MPa]	48745	40526	59663	43136	25138	26561	27019	25725
ω_{CE} [rad/s]	0,0000023	0,0000017	0,0014041	0,0000022	0,0777	0,0016	0,0033	0,5384
ν	0,1230	0,1326	0,1200	0,1286	0,2325	0,2136	0,2122	0,2363
w	2,0016	2,3876	1,0055	2,1747	1,7990	3,3367	2,8402	1,2593
Re	2,4466	2,2696	2,5085	2,3415	1,2948	1,4091	1,4186	1,2737
	AC 11 D S (Modifisert)				AC 8 D S (umodifisert)			
$ E^* _{\min}$ [MPa]	844	1296	641	1173	626	628	552	638
$ E^* _{\max}$ [MPa]	51808	36092	64265	35679	27167	26922	28686	26955
ω_{CE} [rad/s]	0,00276	0,00004	0,00013	0,00380	0,0016	0,0021	0,0015	0,0014
ν	0,1288	0,1597	0,1095	0,1659	0,2169	0,2190	0,2069	0,2181
w	1,0561	2,6597	1,1233	1,4572	3,0792	2,9530	2,7784	3,1959
Re	2,3376	1,8844	2,7481	1,4566	1,3878	1,3744	1,4552	1,4566

6.4 Modellering av umodifiserte materialer

Fra resultat og diskusjonskapittelet ble det tydelig observert at GLSM og CAM-modellen var best egnet til å beskrive stivhetsutviklingen til umodifiserte materialer.

For SMA 8 S er det GLSM med en WLF- og polynomfunksjon som ser ut til å gi den mest presise beskrivelsen av materialets stivhetsutvikling. CAM-modellen viser også til svært gode tilnærmingsresultater, men i tillegg til å gi svært presis tilnærming til forsøksverdiene viser GLSM langt mer stabile resultater med lavere verdier for C_v på tvers av shiftfaktormodellene (Tabell 16) enn CAM-modellen (Tabell 17).

For AC 8 D S viser både GLSM og CAM-modellen til svært gode tilnærminger, i tillegg til å være omtrent like stabile på tvers av shiftfaktormodellene (Tabell 28 og Tabell 29). For både GLSM og CAM-modellen er det Arrhenius-funksjonen som viser den beste «goodness-of-fit»-statistikken.

På bakgrunn av dette er det valgt å illustrere modelleringen av de umodifiserte materialene med GLSM. Tabell 35 viser en oversikt over materialenes statistiske parametere og modellkonstanter for GLSM med en WLF-funksjonen. Tabellen komplementeres av Figur 70 som viser grafiske fremstillinger av GLSM-kurvene.

Fra tabellen er det tydelig at modelleringen av begge materialene er svært presis. Dette kommer av at begge modellene viser omtrent lik R^2 -verdi, der $R^2 > 0,99$. Det som skiller materialene og modellene i denne sammenheng er verdiene for SSE og SER, der SMA 8 S viser noe bedre statistikk. Derimot er disse forskjellene så marginale at de regnes som ubetydelige når modellenes beskrivelse av materialenes stivhetsutvikling skal diskuteres.

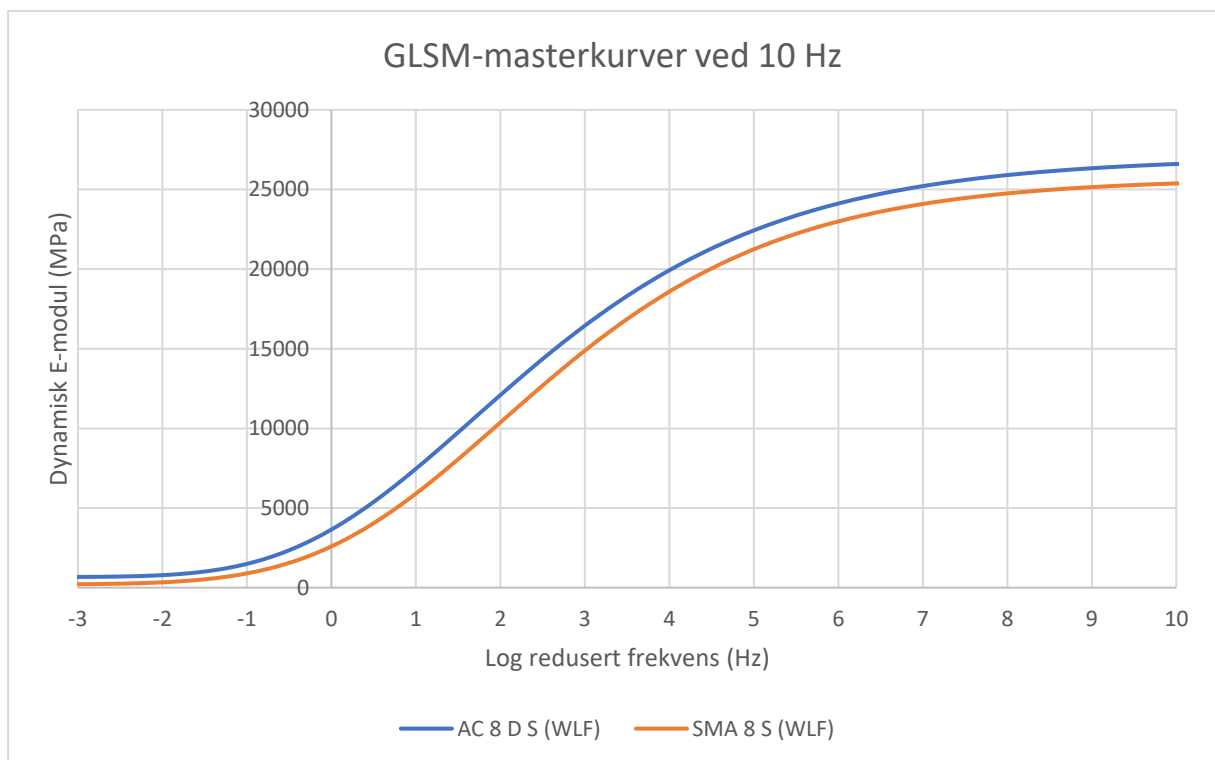
Fra tabellen er det hovedsakelig tre modellelementer som skiller materialene. Grenseverdiene, kurvens plassering (β) og konvergeringskoeffisient (λ). Den mest markante forskjellen er mellom modellenes grenseverdier, der AC 8 D S viser høyere verdier i både øvre og nedre grense. Til tross for ulike x-verdier viser figuren at kurveforløpet til AC 8 D S er forskjøvet nærmere origo enn SMA 8 S, noe som indikeres av en lavere β -verdi. I tillegg er λ -verdien lavere for AC 8 D S, som gjenspeiles i en kortere hale på kurvens S-form i det nedre området for redusert frekvens. Dette betyr at stivhetsverdiene konvergerer raskere mot den nedre grenseverdien.

Disse forskjellene viser at AC 8 D S har høyere stivhet enn SMA 8 S både innenfor og utenfor det eksperimentelle området, som omfatter et temperaturspenn fra -50 °C til 60 °C ved en frekvens på 10 Hz. Dersom kurveforskjellene tolkes i praktisk sammenheng, betyr dette at AC 8 D S har bedre ytelse i det øvre og midtre temperaturområdet med tanke på motstand mot permanente deformasjoner. Derimot er ikke resultatene i denne oppgaven en fasit på ytelsesevnen til de ulike materialene. Det viktigste funnet i denne sammenheng er at GLSM viser å være en svært god modell til både å modellere umodifiserte asfaltmaterialer, men også til å fange opp ulike materialers stivhetsegenskaper.

I forkant av modelleringen var det rimelig å forvente av SMA skulle vise til de høyeste stivhetsresultatene, da materialet regnes å være mer slitesterkt enn AC og i tillegg inneholder fiber. Forsøksdataene (vedlegg 8) viser at den gjennomsnittlige stivheten til AC 8 D S er høyere enn for SMA 8 S (vedlegg 6). Årsaken til dette er ukjent. Unøyaktigheter i både prøvetillaging og forsøksprosedyre kan være mulige årsaker, men dette vil være å spekulere i forhold som er utenfor oppgavens kontroll. Det skal nevnes at massesammenstillingen til SMA 8 S ikke var helt innenfor de tyske kravene til bindemiddelinnhold og hulrom, noe som kan ha påvirket stivhetsresultatene fra forsøket.

Tabell 35: Oversikt over statistiske parametere og modellkonstanter for GLSM for AC 8 D S og SMA 8 S

Konstanter	AC 8 D S	SMA 8 S
	WLF	WLF
SSE	0,0320	0,0086
Justert R ²	0,9937	0,9976
SER	0,0844	0,0514
E* min [MPa]	665	196
E* maks [MPa]	27020	25708
β	0,8367	1,0922
γ	-0,4971	-0,5446
λ	0,0524	0,1876



Figur 70: GLSM-masterkurver ved 10 Hz for AC 8 D S og SMA 8 S

6.5 Modellering av modifiserte materialer

For å beskrive stivheten til modifiserte materialer kom det tydelig frem fra resultatkapittelet at CAM-modellen skilte seg ut som en god masterkurvemodell. På et generelt nivå ble det observert ved samtlige modellkombinasjoner, at modelleringsprosessen for å beskrive modifiserte materialer ikke var enkel. Noen modellkombinasjoner viste til sterk tilpasningsstatistikk, men på bekostning av uheldige modellstrukturer med ulogiske modellkonstanter. Dette gjaldt spesielt GLSM.

CAM-modellen viste også til relativt stor variasjon på tvers av shiftfaktormodellene med høye C_v -verdier (Tabell 12 og Tabell 24). WLF-funksjonen skilte seg derimot ut som den beste til å beskrive logiske kurveforløp.

Tabell 36: Oversikt over statistiske parametere og modellkonstanter for CAM-modellen for AC 11 D S og SMA 11 S

Konstanter	AC 11 D S	SMA 11 S
	WLF	WLF
SSE	0,0193	0,0466
Justert R^2	0,9959	0,9934
SER	0,0684	0,0854
$ E^* _{\min}$ [MPa]	1296	378
$ E^* _{\max}$ [MPa]	36092	40526
ω_{cE} [rad/s]	0,00004	0,0000017
v	0,1597	0,1326
w	2,6597	2,3876
Re	1,8844	2,2696

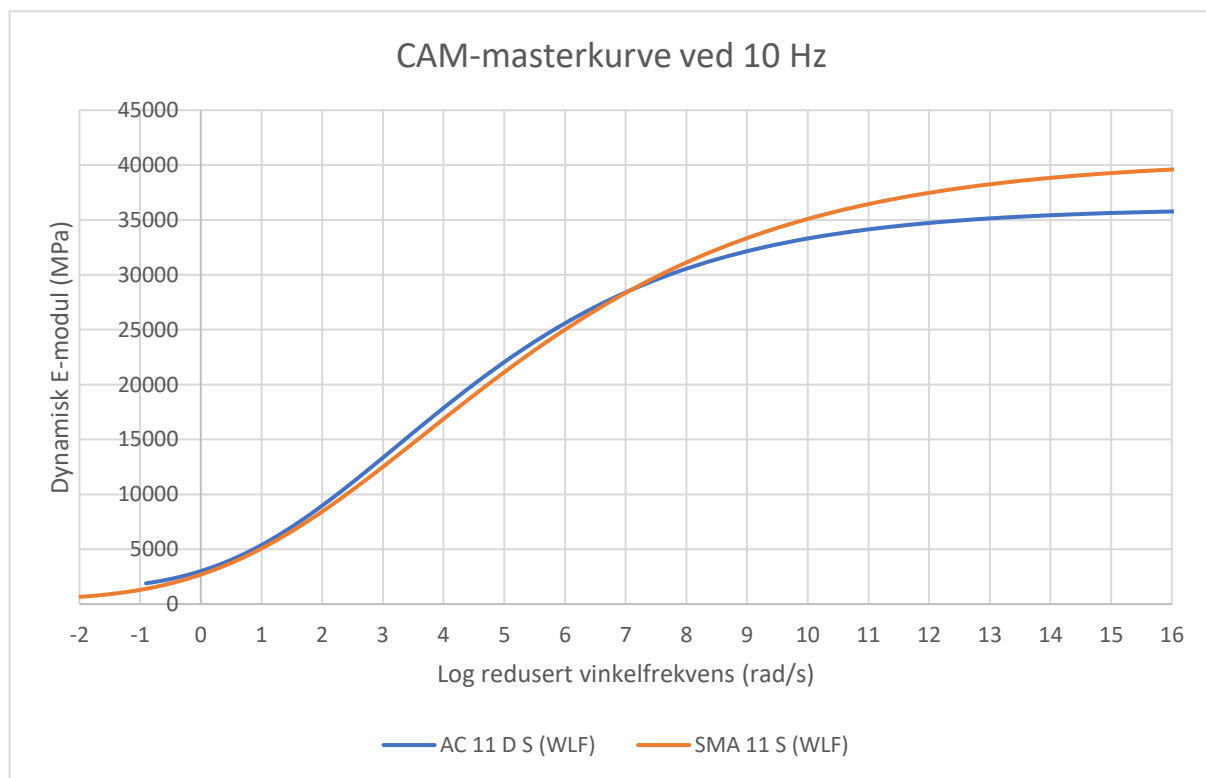
På samme måte som for de umodifiserte materialene kommer det tydelig frem fra Tabell 36 at modelleringen av begge materialene er svært presis. Modellene viser også i dette tilfelle til omtrent like R^2 -verdier, der $R^2 > 0,99$. Det som skiller materialene og modellene i denne sammenheng er også verdiene for SSE og SER, der AC 11 D S viser antydning til bedre statistikk. Noe av modellforskjellene kan antageligvis forklares med at materialene ble testet under ulike forhold. Derimot er disse forskjellene så marginale at de regnes som ubetydelige når modellenes beskrivelse av materialenes stivhetsutvikling skal diskuteres.

Selv om kurvene i Figur 71 ikke består av de samme x-verdiene og bør tolkes separat, kommer det frem fra figuren og Tabell 36 at modellene viser relativt ulike grenseverdier for materialene. AC 11 D S har en langt høyere nedre grenseverdi, men samtidig en lavere øvre grenseverdi enn SMA 11 S. Forskjellene i den nedre grenseverdien mellom materialene kan antageligvis forklares basert på at målte og estimert stivhetsverdier for SMA 11 S (vedlegg 5) i det øvre temperaturområdet er lavere, fordi stivheten er målt ved en høyere temperatur enn tilsvarende stivhetsverdier for AC 11 D S (vedlegg 7). Samtidig viser de målte og estimerte stivhetsverdiene innenfor det eksperimentelle området fra vedleggene, at stivheten for AC 11 D S er høyere enn SMA 11 S i det nedre temperaturområdet, noe som ikke gjenspeiles i forholdet mellom den øvre grenseverdien til modellene. Ettersom grunnlaget for stivhetsdataene til materialene er basert på ulike forsøksbetingelser er det vanskelig å gjøre en direkte sammenlikning mellom materialene, som igjen kompliserer forskjellene i forholdet mellom grenseverdiene.

Ved å sammenlikne modellkonstantene til AC 11 D S med SMA 11 S fra Tabell 36, samt studere kurveforløpene fra Figur 71 separat, er en konsekvens av forholdvis lavere og høyere, øvre og nedre grenseverdier at AC 11 D S estimeres å ha en lavere sammenlagt stivhet over hele området for redusert vinkelfrekvens (større ω_{cE}). I tillegg konvergerer kurven noe raskere mot den øvre grenseverdien (større v), og noe raskere mot den

nedre grenseverdien (større w). Materialforskjellene som beskrives av CAM-modellen for de modifiserte materialene er motsatt av det GLSM beskriver for de umodifiserte materialene. I dette tilfelle er det SMA-materialet som viser den høyeste sammenlagte stivheten over omtrent hele området for redusert vinkelfrekvens, med den høyeste øvre grenseverdien. Selv om dette ikke kommer frem fra Figur 71, er det rimelig å tro at materialforskjellene som CAM-modellen med en WLF-funksjon beskriver i dette tilfelle, er mer korrekt for hva som faktisk kan forventes av det aktuelle materialet. SMA er tross alt en mer slitesterk dekketype enn AC. Som tidligere nevnt er derimot ikke resultatene i denne oppgaven en fasit på ytelsesevnen til de ulike materialene, og det er vanskelig å vite hvilken modellkombinasjon som representerer det enkelte materiales virkelige stihetsutvikling når de statistiske resultatene mellom modellene omtrent er identiske.

Uansett viser «goodness-of-fit»-statistikken at CAM-modellen er den mest presise masterkurvemodellen for å beskrive stivhetsutviklingen til modifiserte materialer. Uavhengig av masterkurvemodell er det WLF-funksjonen som viser den beste tilnærmingen av modifiserte materialers temperaturavhengighet.



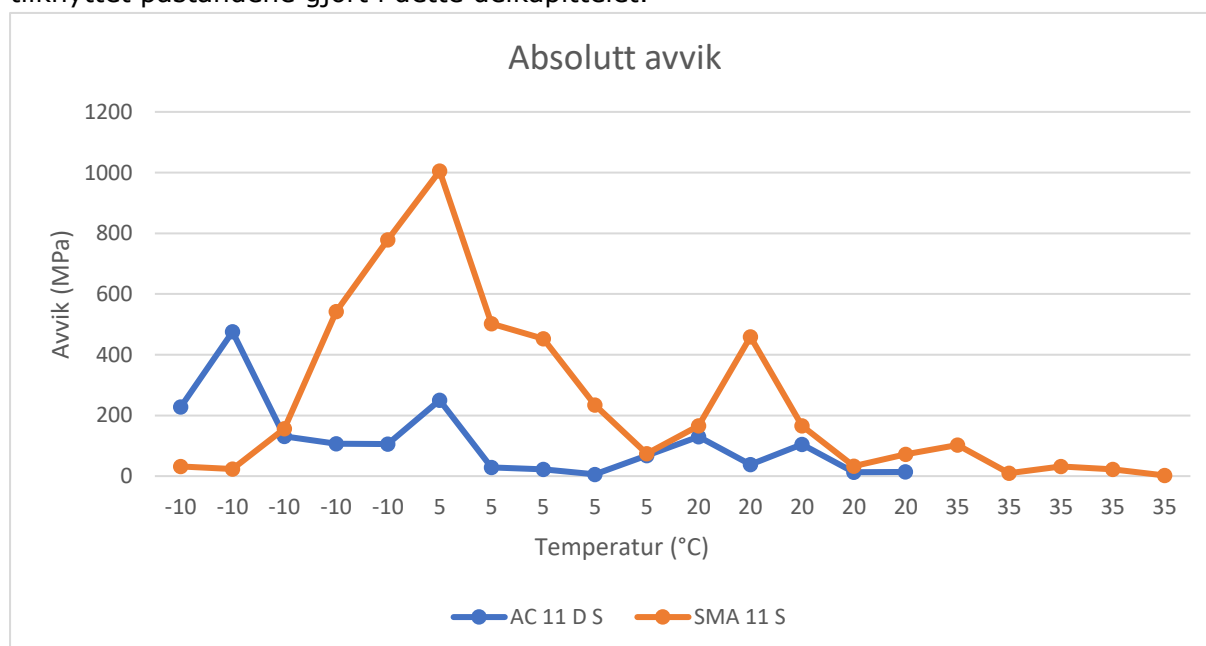
Figur 71: CAM-masterkurver ved 10 Hz for AC 11 D S og SMA 11 S

6.6 Vurdering av ulike forsøksbetingelser

Fra Tabell 36 kommer det frem at modelleringen av AC 11 D S gir lavere verdier for SSE og SER enn SMA 11 S, som indikerer at det totalt sett er mindre avvik mellom målte og estimerte stivhetsverdier. Dette kan henge sammen med at forsøksbetingelsene for materialene er ulike, der SMA 11 S har et større datasett av målte forsøksdata sammenlignet med AC 11 D S. Dette resulterer i at det totale avviket mellom målte og estimerte verdier øker, noe som gjenspeiles i en lavere SSE-verdi for AC 11 D S, fordi datasettet inneholder færre data enn SMA 11 S. Derimot var det rimelig å tro at et større og mer komplett datasett ga grunnlag for en bedre og mer presis tilpasningsstatistikk.

For å vurdere kvalitetsforskjellen mellom forsøksgrunnlagene for materialene, er det valgt å se på hvordan absolutt avvik utvikler seg med forsøkstemperaturene. For å få et likt sammenlikningsgrunnlag er avviket mellom modell og forsøksdata basert på snittverdien av antall prøver for hver forsøkstemperatur og belastningsfrekvens. Ettersom datasettet til AC 11 D S ikke inkluderer 5 Hz er det i denne sammenheng valgt å fjerne dette fra datasettet til SMA 11 S. For AC 11 D S er snittverdien basert på fire prøver i motsetning til tre prøver for SMA 11 S. Figur 72 viser resultatet av denne analysen. Avvikene i Figur 72 er basert på modellkombinasjonene i Tabell 36.

SMA 11 S viser større avvik over hele temperaturområdet enn AC 11 D S. De største avvikene kan observeres ved -10 °C og 5 °C . Det interessante er at utenfor temperaturområdet til AC 11 D S ved 35 °C , viser SMA 11 S til svært lave avvik. Dette reflekterer den generelle avvikstrenden for samtlige modeller. De største avvikene mellom målte og estimerte verdier har vist seg å oppstå i det nedre og midtre temperaturområdet. Ved høyere temperaturer representerer modellene de målte verdiene svært godt. Dette gir en indikasjon på at en reduksjon i antall forsøkstemperaturer samt belastningsfrekvenser ikke går på bekostning av kvaliteten på modelleringen. Om forsøksforholdene for AC 11 D S er bedre enn SMA 11 S er det ikke tilstrekkelig analysegrunnlag for å konkludere med, men at prosedyren gir et tilsvarende godt utgangspunkt for god modellering kan tenkes å være tilfelle. Det skal nevnes at sammenlikningen angår to ulike materialer, som betyr at avviksutviklingen basert på målte og estimerte verdier ikke direkte kan sammenliknes. Det er derfor usikkerhet tilknyttet påstandene gjort i dette delkapittelet.



Figur 72: Absolutt avvik mellom modell og forsøksdata basert på snittverdien av antall prøver for hver forsøkstemperatur og belastningsfrekvens.

7 Usikkerhet

En sentral del av oppgavens innhold omhandler bruk av utenlandske datamaterialer til å oppnå resultater som kan implementeres i et norsk system. Resultatene i oppgaven representerer derfor ikke norske forhold. Hadde forsøksgrunnlaget vært basert på norske materialer kunne resultatene blitt direkte inkludert i det norske systemet som inputverdier i VegDim og ERAPave. I denne sammenhengen er ikke dette mulig, og formålet til oppgaven har derfor dreiet seg om å gjøre en generell vurdering av hvordan norske asfaltmaterialers stivhet potensielt kan modelleres så presist som mulig basert på et tysk forsøksgrunnlag.

Selv om det er likhetstrekk mellom de tyske materialene og tilsvarende norske materialer er det allikevel forskjeller i både tilslagssammensetning og bindemiddeltipe. Den største forskjellen er bindemiddeltipe som utgjør den dominerende faktoren i materialenes stivhetsutvikling. De tyske materialene inneholder stivere bindemidler enn det som inngår i det norske systemet. I tillegg til at disse bindemidlene impliserer ulik materialoppførsel, vil omfanget av de utførte modelleringene i denne oppgaven ikke kunne gjenspeiles ved modellering av norske materialer. Årsaken er at både stivhets- og frekvensspennet til de tyske materialene vil være større og mer omfattende sammenlignet med norske materialer. Dette betyr at det på grunn av materialforskjeller er usikkerhet tilknyttet konklusjonene og anbefalingene som presenteres i denne oppgaven, og hvorvidt de er relevante for norske forhold. Det er derfor ikke gitt at de anbefalte modellkombinasjonene er de beste til å modellere norske materialer, men samtidig er det trolig at modellanbefalingene gir en god beskrivelse også for norske forhold.

I tillegg til at materialforskjellene gir grunnlag for usikkerhet, er det hovedsakelig forsøksgrunnlaget til stivhetsdataene som utgjør den største usikkerheten i oppgaven. Prøvetillaging, forsøksutførelse og bearbeiding av rådata er utført utenfor oppgavens kontroll. Det er derfor ikke mulig å dokumentere hele arbeidsprosessen som strekker seg fra proporsjoneringsfasen til konstruksjon av masterkurver. I dette tilfelle er analysefasen av forsøksdataene dokumentert fullstendig. Utgangspunktet for dokumentasjonen av forarbeidet er en tysk standard som beskriver forsøksutførelsen, og tilsendte materialdata som ga en indikasjon på kvaliteten av prøvetillagingen.

En annen kilde til usikkerhet er at produksjonsmetoden for prøvene som inngikk i forsøkene er ukjent. Etersom ulike produksjonsmetoder utsetter prøvene for ulike kompakteringsforhold, kan dette være en faktor som har påvirket forsøksresultatene.

Ingen av SMA-materialene tilfredsstilte tyske krav til bindemiddelinhold og hulrom. Dette kan være en indikasjon på at de målte stivhetsverdiene ikke er 100% representative for materialet. Sannsynligvis er feilkilden minimal, men helt klart et moment som kan ha påvirket resultatene.

Da grunnlaget for E-moduldataene ikke kunne dokumenteres av fysiske observasjoner, ble det derfor antatt at standardens beskrivelse av forsøksprosedyren var den faktiske utførelsen. Følgelig er det tilknyttet usikkerhet til denne antagelsen, men det er samtidig svært god grunn til å tro at det tilsendte analysegrunnlaget i form av E-moduldata består av valide data. Dette er fordi tyskerne har brukt dataene i sitt eget arbeid med utvikling av et ME-dimensjoneringsystem.

8 Konklusjon

Etter en gjennomgang av resultater og tilhørende drøftinger, er følgende konklusjoner lagt til grunn:

- SLSM er en mindre god modell til å beskrive masterkurven til umodifiserte materialer.
- Både GLSM og CAM-modellen er godt egnet til å beskrive masterkurven til umodifiserte materialer.
- Blant utvalget av masterkurvemodeller er CAM-modellen best egnet til å beskrive modifiserte materialer, og anbefales derfor til dette bruk. SLSM kan brukes i tilfeller der det er nødvendig å forenkle optimeringsprosessen. Prinsippet bak masterkurven og dens funksjon kan enklere tolkes og formidles ved bruk av SLSM.
- Kaelble-funksjonen viser samlet sett til de svakeste resultatene ved alle masterkurvemodellene og for alle materialene, og gir i noen tilfeller ulogiske resultater for svært lave temperaturer. På bakgrunn av dette er det ikke anbefalt å bruke denne funksjonen til beskrivelse av asfaltmaterialers temperaturavhengighet.
- For modifiserte materialer er det dokumentert at polynomfunksjonen kan gi ulogiske resultater for høye temperaturer. Dersom denne shiftfaktormodellen skal brukes til modellering av masterkurver for modifiserte materialer må den brukes varsomt.
- For umodifiserte materialer er Arrhenius-, WLF- og polynomfunksjonen gode tilnæringsmodeller. Arrhenius-funksjonen viser bedre resultater for AC 8 D S enn SMA 8 S. Uavhengig av dette anbefales nevnte shiftfaktormodeller til bruk ved konstruksjon av masterkurver for umodifiserte materialer.
- WLF-funksjonen viser samlet sett til de beste og mest presise tilnæringsresultatene for modifiserte materialer, og anbefales følgelig til dette bruk.

Oppnådde resultater har gitt grunnlag for å besvare oppgavens forskningsspørsmål på følgende måte:

- *Er fremgangsmåten for konstruksjon av masterkurver beskrevet i NS-EN 12697-26 best egnet for samtlige massesammensetninger som er beskrevet i testplanen til VegDim?*

Nei. På bakgrunn av oppnådde resultater er det dokumentert at ulike kombinasjoner av shiftfaktor- og masterkurvemodeller passer målte stivhetsverdier for modifiserte og umodifiserte materialer på forskjellige måter, med ulik grad av kvalitet. Det er derfor anbefalt at standardens fremgangsmåte åpnes for mer fleksible løsninger. Oppgavens resultater gir derimot ikke grunnlag til å peke ut modellkombinasjoner som fasitmodeller for en bestemt materialtype som asfaltbetong eller skjellettasfalt, men skiller mellom materialer som inneholder modifiserte eller umodifiserte bindemidler.

- *Hvilken kombinasjon av shiftfaktor- og masterkurvemodeller er best egnet for å beskrive umodifiserte og modifiserte asfaltmaterialer?*

De oppnådde resultatene peker på GLSM og CAM-modellen med Arrhenius-, WLF- og polynomfunksjonen som de beste modellkombinasjonene til å beskrive umodifiserte asfaltmaterialer. For modifiserte asfaltmaterialer er det CAM-modellen med en WLF-funksjon som viser de beste resultatene.

- *Er det mulig å oppnå presis modellering med avvikende forsøksbetingelser fra det som annex F i NS-EN 12697-26 beskriver?*

Kanskje. Oppgaven stiller seg mer vagt til dette spørsmålet, da grunnlaget for å gjøre en vurdering er mindre komplett. Basert på de vurderingen oppgaven tar stilling til, viser materialene som avviker fra standardens forsøksbetingelser i noen tilfeller til bedre statistisk tilpasning enn materialet som følger forsøksbetingelsene. Samtidig er det ingenting som tyder på at modellbeskrivelsene av materialene som ikke følger forsøksbetingelsene i standarden lider av mangler og svake tilnærminger. Det gir antageligvis et tilstrekkelig grunnlag for å vurdere de avvikende forsøksbetingelsene som like gode.

9 Videre arbeid

I tilknytning til VegDim's materialdatabank er det opprettet et utkast til testplan som inneholder asfaltmaterialene som skal inngå i databanken. Testplanen består av et utvalg norske bituminøse vegdekker som både inneholder standard, myk og polymermodifisert bitumen. Disse skal testes for dynamisk E-modul gjennom syklisk indirekte strekk-forsøk etter annex F i NS-EN 12697-26. Til tross for standardens beskrivelse av hvordan masterkurven skal konstrueres, vil en naturlig videreføring av oppgavens innhold være å utprøve de anbefalte modellkombinasjonene for konstruksjon av masterkurve til flere av materialenes som inngår i testplanen. På denne måten vil oppgavens konkluderings av hvilke modellkombinasjoner som er best egnet for modifiserte og umodifiserte asfaltmaterialer bli testet mot norske forhold. Dermed kan det bekreftes eller avkreftes om modellanbefalingene faktisk gir en bedre tilnærming enn metoden som er beskrevet i standarden.

En annen videreføring av oppgavens anbefalinger og konklusjoner vil være å prøve ut en mer forenklet forsøksprosedyre for testing av dynamisk E-modul enn det annex F beskriver. Den forenklete prosedyren innebærer testing av fire prøver, noe standarden også stiller krav til. Hver prøve skal testes ved tre temperaturer i motsetning til standardens krav til fire temperaturer, og belastes ved fem belastningsfrekvenser i motsetning til standardens krav til seks belastningsfrekvenser. Da det i denne oppgaven ble sett at den forenklete forsøksprosedyren kunne gi et grunnlag for like presis modellering, vil det være interessant å se om dette også er tilfelle for norske materialer.

10 Referanser

- 12697-26, N.-E. (2018) NS - EN 12697-26: Bituminiøse masser - Prøvningsmetoder - Del 26: Stivhet: Norsk Standard.
- AASHTO (2011) Standard Method of Test for: Determining Dynamic Modulus of Hot Mix Asphalt (HMA): American Association of State Highway and Transportations Officials.
- Aksnes, J. og Mork, H. (2019) *Enkel empirisk dimensjonering (nivå 1)*. Trondheim: INSTITUTT FOR VEG- OG JERNBANEBYGGING.
- Andersen, E. O. (1995) *NY ASFALTTEKNOLOGI: En innføring i SHRP-teknologi og terminologi for bindemidler*. Trondheim: SINTEF.
- Andersen, E. O. (1996) *Grunnleggende fysiske bindemiddelegenskaper*. NTNU, Trondheim: Institutt for veg- og jernbanebygging.
- Angelone, S. et al. (2013) Evaluation of Different Procedures and Models for the Construction of Dynamic Modulus Master Curves of Asphalt Mixtures, i *Proceedings of the international conferences on the bearing capacity of roads, railways and airfields*. s. 647-657.
- Arnevik, A. et al. (2019) *Retningslinjer asfalt 2019*. (Statens vegvesens rapporter): Drift, vedlikehold og vegteknologi. Tilgjengelig fra: [https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2617168/Retningslinjer asfalt 2019 SVVrapport 670.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2617168/Retningslinjer_asfalt_2019_SVVrapport_670.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Bakløkk, L. J. (2016) *Styrkeparametre for asfalt og mekaniske stabiliserte materialer*. Trondheim: INSTITUTT FOR VEG- OG JERNBANEBYGGING, NTNU.
- Christensen, D. W., Anderson, D. A. og Rowe, G. M. (2017) Relaxation spectra of asphalt binders and the Christensen-Anderson rheological model, *Road Materials and Pavement Design*, 18(sup1), s. 382-403.
- Deshpande, P. A. P. (2018) *Time-temperature superposition*. Department of chemical Engineering
- IIT Madras. Tilgjengelig fra: <https://www.youtube.com/watch?v=YG53m6roxR8&t=468s>.
- Dynamic Modulus (2019). Tilgjengelig fra: https://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_modulus.
- e.V., D. A. D. (2018) *6. Baustoffe und Baustoffgemische*. Tilgjengelig fra: <https://www.asphalt.de/themen/technik/6-baustoffe-und-baustoffgemische/?L=0> (2020).
- Erlingsson, S. og Ahmed, A. (2019) ERAPave ME

- Mechanistic Empirical Design of Flexible Pavements *Nytt dimensjoneringsystem for veier*. Teknologidagene, Trondheim. Tilgjengelig fra:
https://www.vegvesen.no/attachment/2847022/binary/1349557?fast_title=Hva+er+ERAPave.pdf.
- Fernando Oscar Martinez og Angelone, S. M. (2012) The indirect tensile test configuration in the determination of the complex modulus of asphalt mixtures, (P5EE-327).
- FGSV, F. f. S.-u. V. e. V. (2020) TL Asphalt-StB 07/13 *Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen* (s. 64): FGSV.
- Forough, S. A., Nejad, F. M. og Khodaii, A. (2014) A comparative study of temperature shifting techniques for construction of relaxation modulus master curve of asphalt mixes, *Construction and Building Materials*, 53, s. 74-82.
- Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV), A. A. (2018) TP Asphalt-StB Teil 26 *Spaltzug-Schwellversuch - Bestimmung der Steifigkeit*. FGSV Verlag, Wesselinger Str. 15-17, 50999 Köln: FGSV.
- Garba Saba, R. (2019) *Analytisk dimensjonering av vegkonstruksjoner*. (Nr.524).
- Kim, Y. R. et al. (2004) Dynamic Modulus Testing of Asphalt Concrete in Indirect Tension Mode, *Transportation Research Record*, 1891(1), s. 163-173. doi: 10.3141/1891-19.
- Kutay, M. E. (2015) Typical asphalt mixture and binder tests. Michigan State University
Tilgjengelig fra:
https://www.youtube.com/redirect?event=comments&stzid=Ugz87pDhwYkzK37LNy14AaABAq.8vQui0gBNDo93gfA23YBIC&redir_token=1SpGP7PMSGK_w12pmDxVuodLhrd8MTU4MTU4MDAyMUAxNTgxNDkzNjIx&q=https%3A%2F%2Ftinyurl.com%2FAsphaltEstar.
- Ling, M. et al. (2017) Time-temperature-aging-depth shift functions for dynamic modulus master curves of asphalt mixtures, *Construction and Building Materials*, 157, s. 943-951.
- Løvås, G. G. (2004) *Variasjonskoeffisient*. Tilgjengelig fra:
<https://no.wikipedia.org/wiki/Variasjonskoeffisient> (Hentet: 19.05.2020).
- Nordal, R. S. og Andersen, E. O. (2018) *Bituminøse bindemidler*. Trondheim: Institutt for bygg, anlegg og transpor, NTNU.
- Nordal, R. S. et al. (2019) *Oversikt over asfaltdekker*. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet NTNU: Institutt for bygg, anlegg og transport.
- Pellinen, T. K., Witczak, M. W. og Bonaquist, R. F. (2004) Asphalt mix master curve construction using sigmoidal fitting function with non-linear least squares optimization *Recent advances in materials characterization and modeling of pavement systems*. s. 83-101.

- Pintarelli, M. G. og Melo, J. V. S. d. (2019) Influence of Haversine and Sinusoidal Wave Load on Estimating Fatigue Life of Asphalt Layers, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(8), s. 04019131.
- Rowe, G. M. og Sharrock, M. (2011) Alternate shift factor relationship for describing temperature dependency of viscoelastic behavior of asphalt materials, *Transportation Research Record*, 2207(1), s. 125-135.
- Su, N. *et al.* (2018) Precision Analysis of Sigmoidal Master Curve Model for Dynamic Modulus of Asphalt Mixtures, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(11). doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002449.
- Toth, C. og Ureczky, J. (2010) Determination of master curves for asphalt mixtures by means of IT-CY tests, *Period. Polytech.-Civ. Eng.*, 54(2), s. 137-142. doi: 10.3311/pp.ci.2010-2.09.
- Vegdirektoratet (2019) *VegDim*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/forskning+og+utvikling/pagaende-fou-program/vegdim>.
- Wathne, P. (2019) *Dynamisk E-modul masterkurve for norske asfaltmaterialer*. NTNU.
- Wikipedia (2020a) *Sigmoid function*. Tilgjengelig fra: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Sigmoid_function&oldid=948126073 (Hentet: 1 April 2020 08:49 UTC).
- Wikipedia (2020b) *Logistic function*. Tilgjengelig fra: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Logistic_function&oldid=947659802 (Hentet: 1 April 2020 08:31 UTC).
- Wikipedia (2020c) *Generalised logistic function*. Tilgjengelig fra: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Generalised_logistic_function&oldid=945474789 (Hentet: 1 April 2020 09:29 UTC).
- Witczak, M. og Bari, J. (2004) Development of a master curve (E*) database for lime modified asphaltic mixtures, *Arizona State University Research Report, Tempe (Arizona, USA): Arizona State University*.
- Yusoff, N. I. M., Airey, G. D. og Hainin, M. R. (2010) Predictability of complex modulus using rheological models, *Asian Journal of Scientific Research*, 3(1), s. 18-30.

Vedlegg

Vedlegg 1: Materialdata for SMA 11 S

Vedlegg 2: Materialdata for SMA 8 S

Vedlegg 3: Materialdata for AC 11 D S

Vedlegg 4: Materialdata for AC 8 D S

Vedlegg 5: SMA 11 S – Målte og estimerte stivhetsverdier ved alle modellkombinasjoner

Vedlegg 6: SMA 8 S – Målte og estimerte stivhetsverdier ved alle modellkombinasjoner




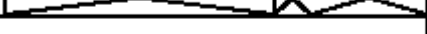
Vedlegg 7: AC 11 D S – Målte og estimerte stivhetsverdier ved alle modellkombinasjoner

Vedlegg 8: AC 8 D S – Målte og estimerte stivhetsverdier ved alle modellkombinasjoner

Vedlegg 9: Følgerev om COVID-19 fra NTNU

Vedlegg 1:

Materialdata for SMA 11 S

Blatt 1				Mischgutsorte: SMA 11 S feine KGV		Mischgut- untersuchung	
Kaltextraktion				6,00%			
1	Mischguteinwaage	5 - 6	1116,7	Rohdichte Pyknometer H ₂ O		Nr.	A 14
2	Zentrifugenhölse, leer		538,7	23	Dichte Wasser bei 25 °C		0,997
3	Zentrifugenhölse, voll		670,6	24	Pyknometer, voll		1289,2
4	Hölsenfüller	2 - 3	131,9	25	Pyknometer, leer Eichgewicht		693,6
5	Waschtrammel, leer		2638,8	26	Mischguteinwaage	24 - 25	595,6
6	Waschtrammel, voll		3755,5	27	Pyknometer+Mischgut+Wasser		2362,7
7	Waschtrammel, nach Extraktion		3559,3	28	Masse Wasser	27 - 24	1073,5
8	Gesamt-Mineral	1-(6-7)+7	1052,4	29	Pyknometer, Eichvolumen		1317,77
9	Lösl. Bindemittel + Wasser	1 - 8	64,3	30	Wasservolumen	28 : 23	1076,73
10	Lösl. Bindemittel + Wasser	(9:1)x100	5,76	31	Mischgut-Volumen	29 - 30	241,04
Rotationsverdampfer				32	Rohdichte	26 : 31	2,471
11	Kolben, voll			33			
12	Kolben, leer			Eigenschaften der Marshall-Probekörper			
13	Bindemittel	11 -12			MPK 1	MPK 2	MPK 3
14	13 + 0,7 g für Auftrieb			34	1174,6	1204,8	1218,3
15	Mischgut trocken	1		35	695	713	720
16	Lösliches Bindemittel	(14:15)x100		36	1176,3	1206	1219,2
17	Zuschlag für Unlösliches		0,28	37	2,433	2,436	2,433
18	Gesamt-Bindemittelgehalt	M.-%	6,03	38	2,434		Raumdicke im Mittel
Bindemittelleigenschaften				39	1,5		Hohlraum im Mittel
19	EP Ring und Kugel	°C					
20	Penetration	1/10 mm		40			
21	elastische Rückstellung	%		41			
Kornzusammensetzung							
	mm	aussortierte Körnung			Siebanalyse	Sieblinie	
		q	M.-%	q	M.-%	M.-%	
	Hölsenfüller	131,9		132,4	12,6	12,6	Füller 12,6
	0,0 - 0,063	0,5					Sand 18,1
	0,063 - 0,125	14,0		146,4	1,3	13,9	
	0,125 - 0,25	29,6		176,0	2,8	16,7	
	0,25 - 0,71	64,3		240,3	6,1	22,8	
	0,71 - 1,0	25,1		265,4	2,4	25,2	
	1,0 - 2,0	57,5		322,9	5,5	30,7	Splitt / Kies > 2,0 mm 69,3
	2,0 - 5,6	178,7		501,6	17,0	47,7	
	5,6 - 8,0	146,9		648,5	14,0	61,7	
	8,0 - 11,2	389,6		1038,1	37,0	98,7	
	11,2 - 16,0	13,6		1051,7	1,3	100,0	
	16,0 - 22,4						
	22,4 - 31,5						
	> 31,5						
	Gesteinsart:					Bearbeitet:	

Vedlegg 2:

Materialdata for SMA 8 S

Kontrollprüfung

Anlage

Asphaltmischgutsorte: SMA 8 S 50/70
 Variante: SMD-1 (0,3 M.-% Cellulose-Faser)
 Probenahmedatum: 07.08.2013

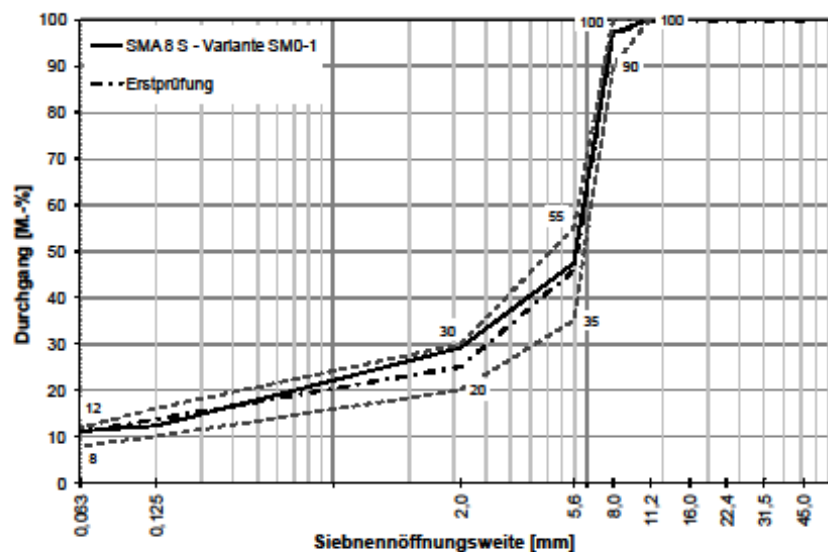
Asphaltmischgut und Bindemittel

Kennwert	Einheit	IST	EP-SOLL	Projekt-SOLL
Bindemittelgehalt B	M.-%	7,11	7,30	7,30
Rohdichte ρ_m	g/cm ³	2,477	2,473	
Raumdichte ρ_b	g/cm ³	2,443	2,409	
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	1,4	2,6	
Erweichungspunkt Ring u. Kugel	°C	-	59,0	

Kornzusammensetzung der Gesteinskörnung

Siebnennöffnungsweite	Einh.	IST [M.-%]		EP-SOLL [M.-%]	
		Durchgang	Anteile	Durchgang	Anteile
45,0 mm	M.-%	100,0		100,0	
31,5 mm	M.-%	100,0		100,0	
22,4 mm	M.-%	100,0		100,0	
16,0 mm	M.-%	100,0	70,7	100,0	74,9
11,2 mm	M.-%	100,0		100,0	
8,0 mm	M.-%	97,3		96,8	
5,6 mm	M.-%	47,4		48,0	
2,0 mm	M.-%	29,3		25,1	
0,125 mm	M.-%	12,2	18,2	13,7	14,2
0,083 mm	M.-%	11,1		10,9	
0,000 mm	M.-%	0,0	11,1	0,0	10,9

Sieblinie des Gesteinskörnungsgemisches



Vedlegg 3:

Materialdata for AC 11 D S

amo Asphalt-Mischwerke Oberfranken GmbH & Co. KG



Erstprüfungsbericht

Auftraggeber

Voigtsgrüner Asphalt-Mischwerke GmbH & Co. KG Hirschfeld
Schönfelder Straße 1

08144 Hirschfeld

Coburger Str. 35 96253 Untersiemau	
Ihr Ansprechpartner: Ulrich Vetter	
Tel:	09281/ 7554-60
Fax:	09281/ 7554-89
E-Mail:	U.Vetter@amo-debus.de
Internet:	www.amo-debus.de

Untersiemau, den 21.03.2013

Erstprüfungs - Nr.:	EP-101300058
Erstellungsdatum:	21.03.2013
Erstprüfung für:	1045 - AC 11 D S 25/55-55 A
geprüft für Werk:	Zwickau (MW)
Prüfstelle:	Labor - Triptis
Prüfungsauftrag:	Es ist eine Erstprüfung für AC 11 D S 25/55-55 A nach TL Asphalt - StB 07 mit den uns zur Verfügung gestellten Gesteinskörnungen durchzuführen.
geprüft nach:	TL Asphalt - StB 07 / TP Asphalt - StB
Bindemittelhersteller:	TOTAL Bitumen Deutschland GmbH c/o TOTAL Deutschland GmbH
zugegebenes Bindemittel:	Polymermodifiziertes Bitumen (25 / 55 - 55 - A)

Verwendete Gesteinskörnungen, Zusätze und Lieferwerke

Körnung	M.-%	Gesteinsk. / Zusätze	Kornklasse	d/D	Hersteller / Lieferant	Gew. - stätte
01	4,0	Dolomit	Füller	0/0,063	Debus Naturstein GmbH & Co. KG	Serkendorf (NW)
162	30,0	Diabas	feine Gesteinskörnung	0/2	Hartsteinwerke Vogtland GmbH & Co. KG	Bösenbrunn
49	11,0	Natursand	feine Gesteinskörnung	0/2	NK-Normkies GmbH & Co. KG	Zwickau
69	17,0	Homfels	grobe Gesteinskörnung	2/5,6	SBS Steinbruch Scheimberg GmbH & Co. KG	Kirchberg
70	12,0	Homfels	grobe Gesteinskörnung	5,6/8	SBS Steinbruch Scheimberg GmbH & Co. KG	Kirchberg
71	26,0	Homfels	grobe Gesteinskörnung	8/11,2	SBS Steinbruch Scheimberg GmbH & Co. KG	Kirchberg

Anteil feine Gesteinskörnungen mit ECS 35: 72 %
gefordert: 50 %

Korngrößenverteilung der Lieferkörnungen und Zusätze

Siebdurchgang in M.-%

mm	01	162	49	69	70	71
45,000						
31,500						
22,400						
16,000						100,0
11,200					100,0	90,2
8,000				100,0	94,9	13,3
5,600				98,6	14,5	2,0
4,000			100,0	50,6	1,3	1,5
2,800		100,0	99,0	13,9	1,3	1,5
2,000		89,3	95,2	12,6	1,2	1,2
1,000	100,0	61,0	69,8	3,4	1,2	1,2
0,125	89,1	16,0	6,5	3,2	1,0	1,2
0,063	72,3	12,2	2,6	1,3	0,8	0,9
Überkom	27,7	10,7	4,8	1,4	5,1	9,8
Soilkorn	72,3	89,3	95,2	86,0	80,4	76,9
Unterkorn				12,6	14,5	13,3
Rohdichte	2,740	2,834	2,658	2,788	2,790	2,787

Sitz der Kommanditgesellschaft: Untersiemau - Handelsregister: Amtsgericht Coburg HRA 22 58 - Persönlich haftende und geschäftsführende Gesellschafterin:
Asphalt-Mischwerke Oberfranken GmbH - Sitz: Untersiemau - Handelsregister: Amtsgericht Coburg HRB 239 -
Geschäftsführer: Dipl.-Kfm. Hans Ulrich Debus

Vedlegg 4:

Materialdata for AC 8 D S

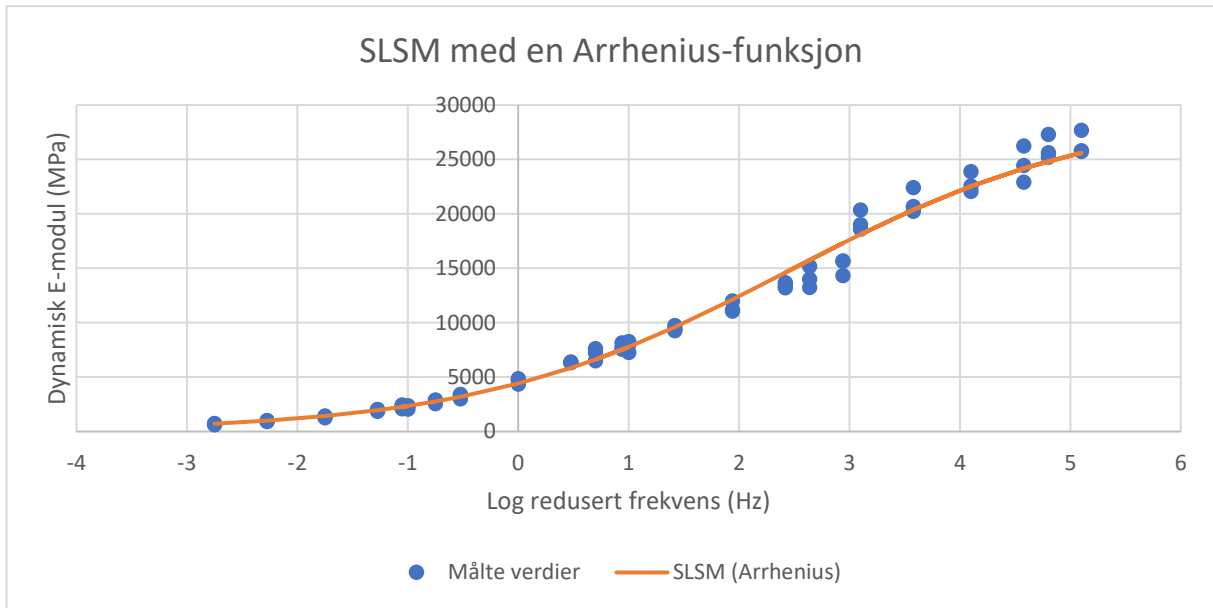
rechnerische Korngrößenverteilung				
mm	Rückstand [M.-%]	Durchgang [M.-%]	Sollwerte gem. TL Asphalt-StB 07/13	Anteil [M.-%]
11,2	0,0	100,0	100,0	Anteil an Gesteinskörnungen > 2 mm 51,0
8,0	2,2	97,8	90,0 - 100,0	
5,6	22,4	75,4	65,0 - 85,0	
2,0	26,4	49,0	40,0 - 55,0	Anteil an Gesteinskörnungen 0,063/2 39,4
0,125	36,0	13,0	8,0 - 20,0	
0,063	3,4	9,6	6,0 - 12,0	Anteil < 0,063 9,6
				Grobkornanteil 24,6

Ergebnisse der Erstprüfung:

Merkmal	Symbol	Ergebnis	Einheit	Sollwerte gem. TL Asphalt-StB 07/13
berechneter Mindest-Bindemittelgehalt		6,2	M.-%	-
Gesamtbindemittelgehalt	B	6,2	M.-%	≥6,2
Rohdichte von Asphalt	ρ_m	2,429	g/cm ³	-
Rohdichte Gesteinskörnungsgemisch	ρ_p	2,673	g/cm ³	-
Raumdichte	ρ_{bssd}	2,352	g/cm ³	-
Hohlraumgehalt	V_m	3,2	Vol.-%	2,0 - 3,5
Fiktiver Hohlraumgehalt	VMA	17,5	Vol.-%	-
Hohlraumfüllungsgrad	VFB	81,7	%	-
Bindemittelvolumen	B_{vol}	14,3	Vol.-%	-
Rechnerischer PSV-Wert	PSV	53		≥48
Verdichtungstemperatur	T	135	°C	130 - 140
Gesteinskörnung-Bitumen-Affinität (6 h)	BAA	65	%	≥60
rechn. EP Ring und Kugel	$T_{R\&B}$	50,0	°C	46,0 - 54,0
Anteil feiner Gesteinskörnung mit Ecs 35	Ecs_{35}	65	%	≥50
min. Mischguttemperatur / Baustelle	T	140	°C	-
max. Mischguttemperatur / Mischanlage	T	180	°C	-

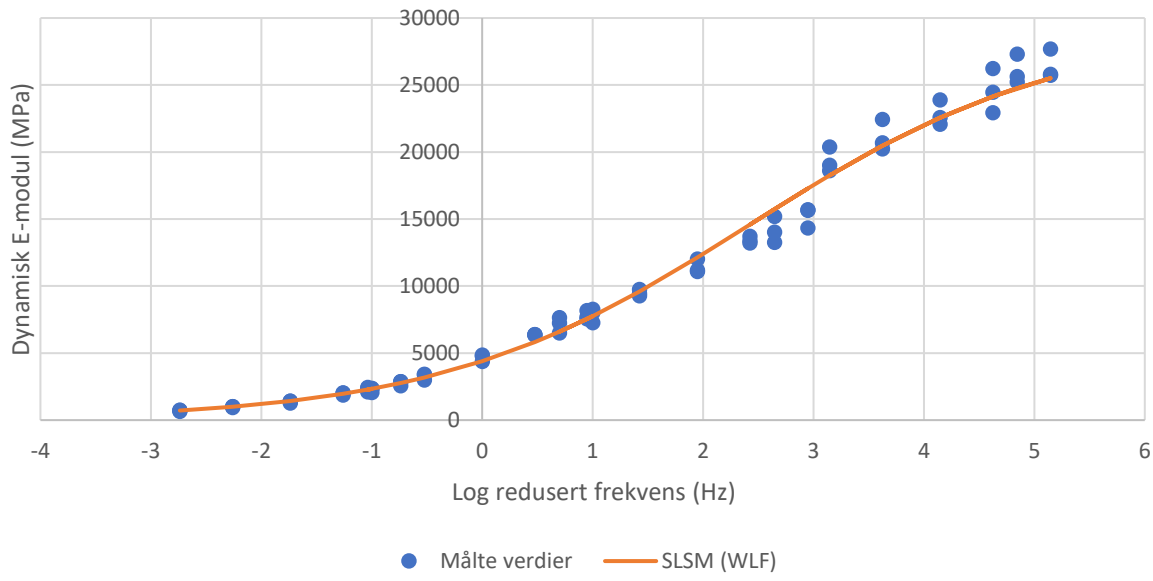
Vedlegg 5:

SMA 11 S – Målte og estimerte stivhetsverdier ved alle modellkombinasjoner



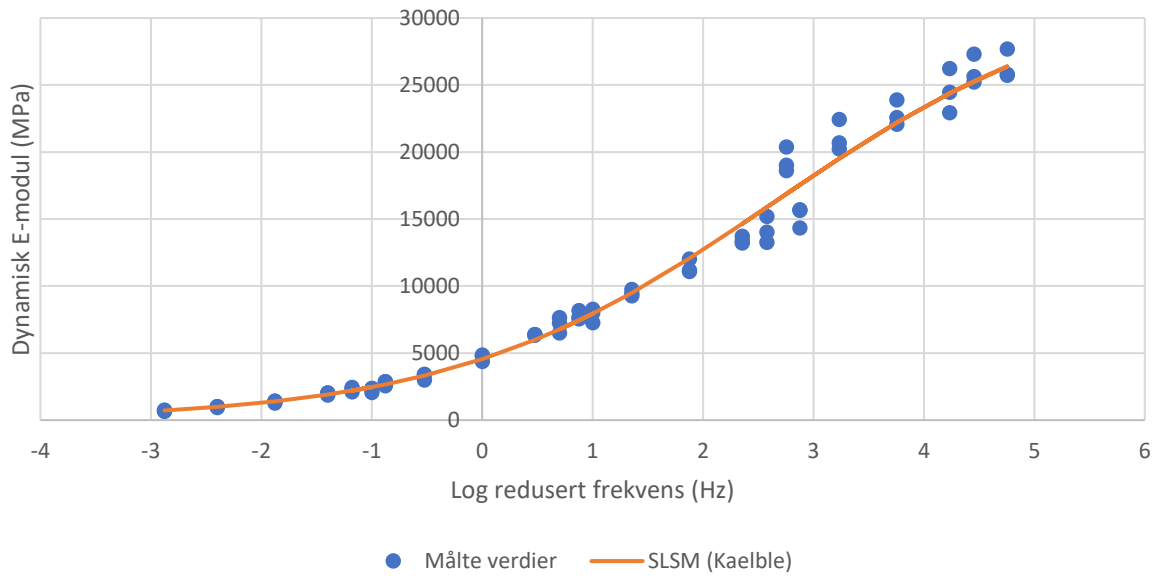
PK-Bez	T	f	Målte verdier for dynamisk E-modul	Shiftfaktor αT	Redusert frekvens f_r	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Residual	Residual ²	Snittverdi av målte verdier	Absolutt avvik
[]	[°C]	[Hz]	[MPa]	$\log(\alpha T) = C_1(T/T_1) - 1/T_1$	$\log(f_r/\log(\alpha T)) + \log(f)$	$[E^*] = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + \exp(\beta + \log(f_r)))$			[MPa]	[MPa]
D2-1-06	-10,00	10,00	25735,90	4,10	5,10	25602,02	0,00	0,00	10 560,45	134
D2-1-06	-10,00	5,00	25632,60	4,10	4,80	24822,69	0,01	0,00	10 560,45	810
D2-1-06	-10,00	3,00	24458,30	4,10	4,58	24170,33	0,01	0,00	10 560,45	288
D2-1-06	-10,00	1,00	22567,80	4,10	4,10	22531,64	0,00	0,00	10 560,45	36
D2-1-06	-10,00	0,30	20688,80	4,10	3,58	20370,31	0,01	0,00	10 560,45	318
D2-1-06	-10,00	0,10	19009,30	4,10	3,10	18110,89	0,02	0,00	10 560,45	898
D2-1-13	-10,00	10,00	25793,30	4,10	5,10	25602,02	0,00	0,00	10 560,45	191
D2-1-13	-10,00	5,00	25216,50	4,10	4,80	24822,69	0,01	0,00	10 560,45	394
D2-1-13	-10,00	3,00	22922,20	4,10	4,58	24170,33	-0,02	0,00	10 560,45	1248
D2-1-13	-10,00	1,00	22076,70	4,10	4,10	22531,64	-0,01	0,00	10 560,45	455
D2-1-13	-10,00	0,30	20234,50	4,10	3,58	20370,31	0,00	0,00	10 560,45	136
D2-1-13	-10,00	0,10	18607,00	4,10	3,10	18110,89	0,01	0,00	10 560,45	496
D2-1-20	-10,00	10,00	27689,00	4,10	5,10	25602,02	0,03	0,00	10 560,45	2087
D2-1-20	-10,00	5,00	27308,50	4,10	4,80	24822,69	0,04	0,00	10 560,45	2486
D2-1-20	-10,00	3,00	26234,40	4,10	4,58	24170,33	0,04	0,00	10 560,45	2064
D2-1-20	-10,00	1,00	23899,40	4,10	4,10	22531,64	0,03	0,00	10 560,45	1368
D2-1-20	-10,00	0,30	22421,90	4,10	3,58	20370,31	0,04	0,00	10 560,45	2052
D2-1-20	-10,00	0,10	20374,00	4,10	3,10	18110,89	0,05	0,00	10 560,45	2263
D2-1-06	5,00	10,00	14326,40	1,94	2,94	17303,88	-0,08	0,01	10 560,45	2977
D2-1-06	5,00	5,00	13248,90	1,94	2,64	15751,78	-0,08	0,01	10 560,45	2503
D2-1-06	5,00	3,00	13210,00	1,94	2,42	14591,33	-0,04	0,00	10 560,45	1381
D2-1-06	5,00	1,00	11078,00	1,94	1,94	12120,30	-0,04	0,00	10 560,45	1042
D2-1-06	5,00	0,30	9267,50	1,94	1,42	9581,06	-0,01	0,00	10 560,45	314
D2-1-06	5,00	0,10	7706,00	1,94	0,94	7529,49	0,01	0,00	10 560,45	177
D2-1-13	5,00	10,00	15684,00	1,94	2,94	17303,88	-0,04	0,00	10 560,45	1620
D2-1-13	5,00	5,00	15187,10	1,94	2,64	15751,78	-0,02	0,00	10 560,45	565
D2-1-13	5,00	3,00	13701,90	1,94	2,42	14591,33	-0,03	0,00	10 560,45	889
D2-1-13	5,00	1,00	12009,30	1,94	1,94	12120,30	0,00	0,00	10 560,45	111
D2-1-13	5,00	0,30	9750,00	1,94	1,42	9581,06	0,01	0,00	10 560,45	169
D2-1-13	5,00	0,10	8168,90	1,94	0,94	7529,49	0,04	0,00	10 560,45	639
D2-1-20	5,00	10,00	15650,30	1,94	2,94	17303,88	-0,04	0,00	10 560,45	1654
D2-1-20	5,00	5,00	14016,20	1,94	2,64	15751,78	-0,05	0,00	10 560,45	1736
D2-1-20	5,00	3,00	13381,70	1,94	2,42	14591,33	-0,04	0,00	10 560,45	1210
D2-1-20	5,00	1,00	11186,90	1,94	1,94	12120,30	-0,03	0,00	10 560,45	933
D2-1-20	5,00	0,30	9433,70	1,94	1,42	9581,06	-0,01	0,00	10 560,45	147
D2-1-20	5,00	0,10	7559,90	1,94	0,94	7529,49	0,00	0,00	10 560,45	30
D2-1-06	20,00	10,00	7262,40	0,00	0,00	7773,04	-0,03	0,00	10 560,45	511
D2-1-06	20,00	5,00	7237,90	0,00	0,70	6611,71	0,04	0,00	10 560,45	626
D2-1-06	20,00	3,00	6372,60	0,00	0,48	5838,30	0,04	0,00	10 560,45	534
D2-1-06	20,00	1,00	4861,90	0,00	0,00	4410,55	0,04	0,00	10 560,45	451
D2-1-06	20,00	0,30	3388,60	0,00	-0,52	3189,77	0,03	0,00	10 560,45	199
D2-1-06	20,00	0,10	2372,60	0,00	-1,00	2345,47	0,00	0,00	10 560,45	27
D2-1-13	20,00	10,00	8269,50	0,00	1,00	7773,04	0,03	0,00	10 560,45	496
D2-1-13	20,00	5,00	7636,90	0,00	0,70	6611,71	0,06	0,00	10 560,45	1025
D2-1-13	20,00	3,00	6392,00	0,00	0,48	5838,30	0,04	0,00	10 560,45	554
D2-1-13	20,00	1,00	4775,10	0,00	0,00	4410,55	0,03	0,00	10 560,45	365
D2-1-13	20,00	0,30	3422,70	0,00	-0,52	3189,77	0,03	0,00	10 560,45	233
D2-1-13	20,00	0,10	2352,70	0,00	-1,00	2345,47	0,00	0,00	10 560,45	7
D2-1-20	20,00	10,00	8015,30	0,00	1,00	7773,04	0,01	0,00	10 560,45	242
D2-1-20	20,00	5,00	6505,00	0,00	0,70	6611,71	-0,01	0,00	10 560,45	107
D2-1-20	20,00	3,00	6322,70	0,00	0,48	5838,30	0,03	0,00	10 560,45	484
D2-1-20	20,00	1,00	4369,90	0,00	0,00	4410,55	0,00	0,00	10 560,45	41
D2-1-20	20,00	0,30	2999,90	0,00	-0,52	3189,77	-0,03	0,00	10 560,45	190
D2-1-20	20,00	0,10	2053,40	0,00	-1,00	2345,47	-0,06	0,00	10 560,45	292
D2-1-02	35,00	10,00	2880,80	-1,75	-0,75	2757,59	0,02	0,00	10 560,45	123
D2-1-02	35,00	5,00	2443,40	-1,75	-1,05	2267,34	-0,03	0,00	10 560,45	176
D2-1-02	35,00	3,00	2036,80	-1,75	-1,27	1958,59	0,02	0,00	10 560,45	78
D2-1-02	35,00	1,00	1411,30	-1,75	-1,75	1422,53	0,00	0,00	10 560,45	11
D2-1-02	35,00	0,30	998,20	-1,75	-2,27	995,94	0,00	0,00	10 560,45	2
D2-1-02	35,00	0,10	748,00	-1,75	-2,75	716,50	0,02	0,00	10 560,45	32
D2-1-03	35,00	10,00	2879,20	-1,75	-0,75	2757,59	0,02	0,00	10 560,45	122
D2-1-03	35,00	5,00	2380,40	-1,75	-1,05	2267,34	0,02	0,00	10 560,45	113
D2-1-03	35,00	3,00	2018,90	-1,75	-1,27	1958,59	0,01	0,00	10 560,45	60
D2-1-03	35,00	1,00	1418,10	-1,75	-1,75	1422,53	0,00	0,00	10 560,45	4
D2-1-03	35,00	0,30	1004,00	-1,75	-2,27	995,94	0,00	0,00	10 560,45	8
D2-1-03	35,00	0,10	718,50	-1,75	-2,75	716,50	0,00	0,00	10 560,45	2
D2-1-22	35,00	10,00	2554,10	-1,75	-0,75	2757,59	-0,03	0,00	10 560,45	203
D2-1-22	35,00	5,00	2106,00	-1,75	-1,05	2267,34	-0,03	0,00	10 560,45	161
D2-1-22	35,00	3,00	1870,60	-1,75	-1,27	1958,59	-0,02	0,00	10 560,45	88
D2-1-22	35,00	1,00	1264,00	-1,75	-1,75	1422,53	-0,05	0,00	10 560,45	159
D2-1-22	35,00	0,30	931,40	-1,75	-2,27	995,94	-0,03	0,00	10 560,45	65
D2-1-22	35,00	0,10	640,90	-1,75	-2,75	716,50	-0,05	0,00	10 560,45	76

SLSM med en WLF-funksjon



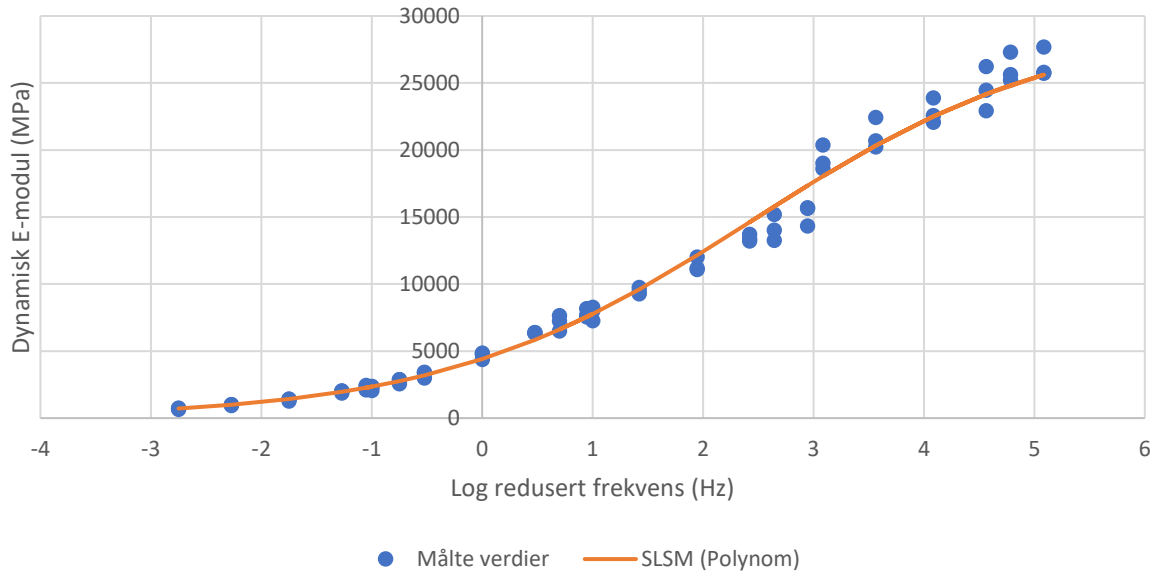
PK-Bez [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier [E-modul] [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = (-C1*(T - TR)/(C2+T-TR))$	Redusert frekvens f_r $\log(f_r) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $[E^*] = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + \exp(\beta + \gamma \log(f_r)))$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
D2-1-06	-10,00	10,00	25735,90	4,15	5,15	25507,33	0,00	0,00	10 560,45	229
D2-1-06	-10,00	5,00	25632,60	4,15	4,85	24763,20	0,01	0,00	10 560,45	869
D2-1-06	-10,00	3,00	24458,30	4,15	4,62	24138,40	0,01	0,00	10 560,45	320
D2-1-06	-10,00	1,00	22567,80	4,15	4,15	22561,57	0,00	0,00	10 560,45	6
D2-1-06	-10,00	0,30	20688,80	4,15	3,62	20466,49	0,00	0,00	10 560,45	222
D2-1-06	-10,00	0,10	19009,30	4,15	3,15	18258,51	0,02	0,00	10 560,45	751
D2-1-13	-10,00	10,00	25793,30	4,15	5,15	25507,33	0,00	0,00	10 560,45	286
D2-1-13	-10,00	5,00	25216,50	4,15	4,85	24763,20	0,01	0,00	10 560,45	453
D2-1-13	-10,00	3,00	22922,20	4,15	4,62	24138,40	-0,02	0,00	10 560,45	1216
D2-1-13	-10,00	1,00	22076,70	4,15	4,15	22561,57	-0,01	0,00	10 560,45	485
D2-1-13	-10,00	0,30	20234,50	4,15	3,62	20466,49	0,00	0,00	10 560,45	232
D2-1-13	-10,00	0,10	18607,00	4,15	3,15	18258,51	0,01	0,00	10 560,45	348
D2-1-20	-10,00	10,00	27689,00	4,15	5,15	25507,33	0,04	0,00	10 560,45	2182
D2-1-20	-10,00	5,00	27308,50	4,15	4,85	24763,20	0,04	0,00	10 560,45	2545
D2-1-20	-10,00	3,00	26234,40	4,15	4,62	24138,40	0,04	0,00	10 560,45	2096
D2-1-20	-10,00	1,00	23899,40	4,15	4,15	22561,57	0,03	0,00	10 560,45	1338
D2-1-20	-10,00	0,30	22421,90	4,15	3,62	20466,49	0,04	0,00	10 560,45	1955
D2-1-20	-10,00	0,10	20374,00	4,15	3,15	18258,51	0,05	0,00	10 560,45	2115
D2-1-06	5,00	10,00	14326,40	1,95	2,95	17274,63	-0,08	0,01	10 560,45	2948
D2-1-06	5,00	5,00	13248,90	1,95	2,65	15737,73	-0,07	0,01	10 560,45	2489
D2-1-06	5,00	3,00	13210,00	1,95	2,42	14586,31	-0,04	0,00	10 560,45	1376
D2-1-06	5,00	1,00	11078,00	1,95	1,95	12128,36	-0,04	0,00	10 560,45	1050
D2-1-06	5,00	0,30	9267,50	1,95	1,42	9594,74	-0,02	0,00	10 560,45	327
D2-1-06	5,00	0,10	7706,00	1,95	0,95	7542,79	0,01	0,00	10 560,45	163
D2-1-13	5,00	10,00	15684,00	1,95	2,95	17274,63	-0,04	0,00	10 560,45	1591
D2-1-13	5,00	5,00	15187,10	1,95	2,65	15737,73	-0,02	0,00	10 560,45	551
D2-1-13	5,00	3,00	13701,90	1,95	2,42	14586,31	-0,03	0,00	10 560,45	884
D2-1-13	5,00	1,00	12009,30	1,95	1,95	12128,36	0,00	0,00	10 560,45	119
D2-1-13	5,00	0,30	9750,00	1,95	1,42	9594,74	0,01	0,00	10 560,45	155
D2-1-13	5,00	0,10	8168,90	1,95	0,95	7542,79	0,03	0,00	10 560,45	626
D2-1-20	5,00	10,00	15650,30	1,95	2,95	17274,63	-0,04	0,00	10 560,45	1624
D2-1-20	5,00	5,00	14016,20	1,95	2,65	15737,73	-0,05	0,00	10 560,45	1722
D2-1-20	5,00	3,00	13381,70	1,95	2,42	14586,31	-0,04	0,00	10 560,45	1205
D2-1-20	5,00	1,00	11186,90	1,95	1,95	12128,36	-0,04	0,00	10 560,45	941
D2-1-20	5,00	0,30	9433,70	1,95	1,42	9594,74	-0,01	0,00	10 560,45	161
D2-1-20	5,00	0,10	7559,90	1,95	0,95	7542,79	0,00	0,00	10 560,45	17
D2-1-06	20,00	10,00	7262,40	0,00	1,00	7753,47	-0,03	0,00	10 560,45	491
D2-1-06	20,00	5,00	7237,90	0,00	0,70	6593,96	0,04	0,00	10 560,45	644
D2-1-06	20,00	3,00	6372,60	0,00	0,48	5821,51	0,04	0,00	10 560,45	551
D2-1-06	20,00	1,00	4861,90	0,00	0,00	4395,28	0,04	0,00	10 560,45	467
D2-1-06	20,00	0,30	3388,60	0,00	-0,52	3175,98	0,03	0,00	10 560,45	213
D2-1-06	20,00	0,10	2372,60	0,00	-1,00	2333,12	0,01	0,00	10 560,45	39
D2-1-13	20,00	10,00	8269,50	0,00	1,00	7753,47	0,03	0,00	10 560,45	516
D2-1-13	20,00	5,00	7636,90	0,00	0,70	6593,96	0,06	0,00	10 560,45	1043
D2-1-13	20,00	3,00	6392,00	0,00	0,48	5821,51	0,04	0,00	10 560,45	570
D2-1-13	20,00	1,00	4775,10	0,00	0,00	4395,28	0,04	0,00	10 560,45	380
D2-1-13	20,00	0,30	3422,70	0,00	-0,52	3175,98	0,03	0,00	10 560,45	247
D2-1-13	20,00	0,10	2352,70	0,00	-1,00	2333,12	0,00	0,00	10 560,45	20
D2-1-20	20,00	10,00	8015,30	0,00	1,00	7753,47	0,01	0,00	10 560,45	262
D2-1-20	20,00	5,00	6505,00	0,00	0,70	6593,96	-0,01	0,00	10 560,45	89
D2-1-20	20,00	3,00	6322,70	0,00	0,48	5821,51	0,04	0,00	10 560,45	501
D2-1-20	20,00	1,00	4369,90	0,00	0,00	4395,28	0,00	0,00	10 560,45	25
D2-1-20	20,00	0,30	2999,90	0,00	-0,52	3175,98	-0,02	0,00	10 560,45	176
D2-1-20	20,00	0,10	2053,40	0,00	-1,00	2333,12	-0,06	0,00	10 560,45	280
D2-1-02	35,00	10,00	2880,80	-1,74	-0,74	2768,38	0,02	0,00	10 560,45	112
D2-1-02	35,00	5,00	2443,40	-1,74	-1,04	2275,17	0,03	0,00	10 560,45	168
D2-1-02	35,00	3,00	2036,80	-1,74	-1,26	1964,61	0,02	0,00	10 560,45	72
D2-1-02	35,00	1,00	1411,30	-1,74	-1,74	1425,59	0,00	0,00	10 560,45	14
D2-1-02	35,00	0,30	998,20	-1,74	-2,26	996,96	0,00	0,00	10 560,45	1
D2-1-02	35,00	0,10	748,00	-1,74	-2,74	716,44	0,02	0,00	10 560,45	32
D2-1-03	35,00	10,00	2879,20	-1,74	-0,74	2768,38	0,02	0,00	10 560,45	111
D2-1-03	35,00	5,00	2380,40	-1,74	-1,04	2275,17	0,02	0,00	10 560,45	105
D2-1-03	35,00	3,00	2018,90	-1,74	-1,26	1964,61	0,01	0,00	10 560,45	54
D2-1-03	35,00	1,00	1418,10	-1,74	-1,74	1425,59	0,00	0,00	10 560,45	7
D2-1-03	35,00	0,30	1004,00	-1,74	-2,26	996,96	0,00	0,00	10 560,45	7
D2-1-03	35,00	0,10	718,50	-1,74	-2,74	716,44	0,00	0,00	10 560,45	2
D2-1-22	35,00	10,00	2554,10	-1,74	-0,74	2768,38	-0,03	0,00	10 560,45	214
D2-1-22	35,00	5,00	2106,00	-1,74	-1,04	2275,17	-0,03	0,00	10 560,45	169
D2-1-22	35,00	3,00	1870,60	-1,74	-1,26	1964,61	-0,02	0,00	10 560,45	94
D2-1-22	35,00	1,00	1264,00	-1,74	-1,74	1425,59	-0,05	0,00	10 560,45	162
D2-1-22	35,00	0,30	931,40	-1,74	-2,26	996,96	-0,03	0,00	10 560,45	66
D2-1-22	35,00	0,10	640,90	-1,74	-2,74	716,44	-0,05	0,00	10 560,45	76

SLSM med en Kaelble-funksjon



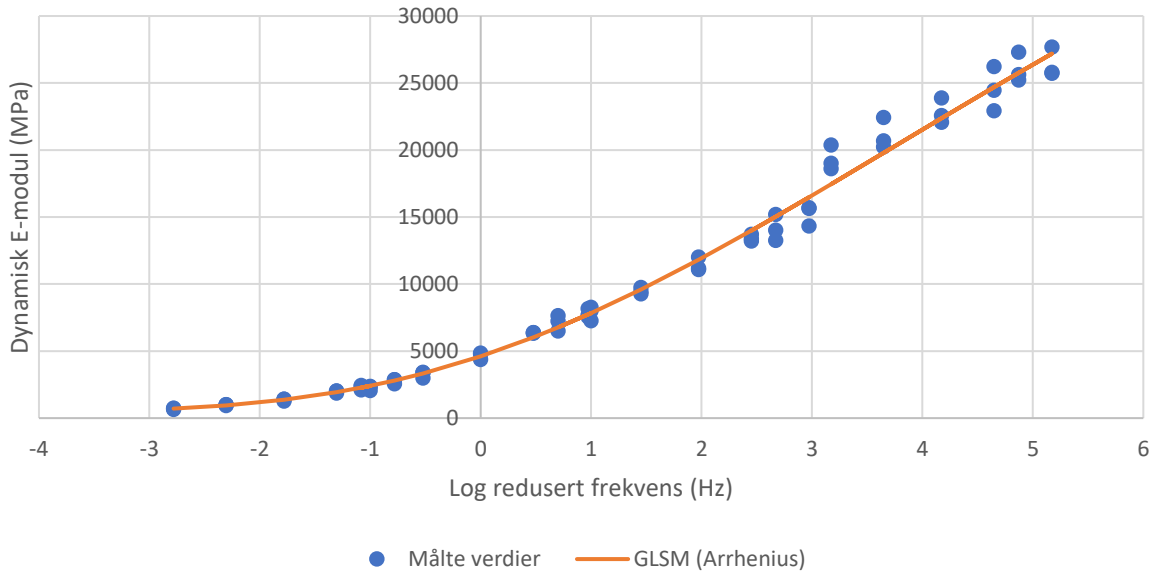
PK-Bez. [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier (E-modul) [MPa]	Skjffaktor αT $\log(\alpha T) = (-C1*(T - TR)/(C2+(T - TR)))$	Redusert frekvens f_R $\log(f_R) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $ E^* = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + \exp(\beta + \gamma \log(f_R)))$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
D2-1-06	-10,00	10,00	25735,90	3,75	4,75	26385,18	-0,01	0,00	10 560,45	649
D2-1-06	-10,00	5,00	25632,60	3,75	4,45	25274,89	0,01	0,00	10 560,45	358
D2-1-06	-10,00	3,00	24458,30	3,75	4,23	24371,44	0,00	0,00	10 560,45	87
D2-1-06	-10,00	1,00	22567,80	3,75	3,75	22195,55	0,01	0,00	10 560,45	372
D2-1-06	-10,00	0,30	20688,80	3,75	3,23	19504,40	0,03	0,00	10 560,45	1184
D2-1-06	-10,00	0,10	19009,30	3,75	2,75	16876,13	0,05	0,00	10 560,45	2133
D2-1-13	-10,00	10,00	25793,30	3,75	4,75	26385,18	-0,01	0,00	10 560,45	592
D2-1-13	-10,00	5,00	25216,50	3,75	4,45	25274,89	0,00	0,00	10 560,45	58
D2-1-13	-10,00	3,00	22922,20	3,75	4,23	24371,44	-0,03	0,00	10 560,45	1449
D2-1-13	-10,00	1,00	22076,70	3,75	3,75	22195,55	0,00	0,00	10 560,45	119
D2-1-13	-10,00	0,30	20234,50	3,75	3,23	19504,40	0,02	0,00	10 560,45	730
D2-1-13	-10,00	0,10	18607,00	3,75	2,75	16876,13	0,04	0,00	10 560,45	1731
D2-1-20	-10,00	10,00	27689,00	3,75	4,75	26385,18	0,02	0,00	10 560,45	1304
D2-1-20	-10,00	5,00	27308,50	3,75	4,45	25274,89	0,03	0,00	10 560,45	2034
D2-1-20	-10,00	3,00	26234,40	3,75	4,23	24371,44	0,03	0,00	10 560,45	1863
D2-1-20	-10,00	1,00	23899,40	3,75	3,75	22195,55	0,03	0,00	10 560,45	1704
D2-1-20	-10,00	0,30	22421,90	3,75	3,23	19504,40	0,06	0,00	10 560,45	2917
D2-1-20	-10,00	0,10	20374,00	3,75	2,75	16876,13	0,08	0,01	10 560,45	3498
D2-1-06	5,00	10,00	14326,40	1,88	2,88	17561,04	-0,09	0,01	10 560,45	3235
D2-1-06	5,00	5,00	13248,90	1,88	2,58	15879,32	-0,08	0,01	10 560,45	2630
D2-1-06	5,00	3,00	13210,00	1,88	2,35	14643,93	-0,04	0,00	10 560,45	1434
D2-1-06	5,00	1,00	11078,00	1,88	1,88	12068,83	-0,04	0,00	10 560,45	991
D2-1-06	5,00	0,30	9267,50	1,88	1,35	9489,86	-0,01	0,00	10 560,45	222
D2-1-06	5,00	0,10	7706,00	1,88	0,88	7446,07	0,01	0,00	10 560,45	260
D2-1-13	5,00	10,00	15684,00	1,88	2,88	17561,04	-0,05	0,00	10 560,45	1877
D2-1-13	5,00	5,00	15187,10	1,88	2,58	15879,32	-0,02	0,00	10 560,45	692
D2-1-13	5,00	3,00	13701,90	1,88	2,35	14643,93	-0,03	0,00	10 560,45	942
D2-1-13	5,00	1,00	12009,30	1,88	1,88	12068,83	0,00	0,00	10 560,45	60
D2-1-13	5,00	0,30	9750,00	1,88	1,35	9489,86	0,01	0,00	10 560,45	260
D2-1-13	5,00	0,10	8168,90	1,88	0,88	7446,07	0,04	0,00	10 560,45	723
D2-1-20	5,00	10,00	15650,30	1,88	2,88	17561,04	-0,05	0,00	10 560,45	1911
D2-1-20	5,00	5,00	14016,20	1,88	2,58	15879,32	-0,05	0,00	10 560,45	1863
D2-1-20	5,00	3,00	13381,70	1,88	2,35	14643,93	-0,04	0,00	10 560,45	1262
D2-1-20	5,00	1,00	11186,90	1,88	1,88	12068,83	-0,03	0,00	10 560,45	882
D2-1-20	5,00	0,30	9433,70	1,88	1,35	9489,86	0,00	0,00	10 560,45	56
D2-1-20	5,00	0,10	7559,90	1,88	0,88	7446,07	0,01	0,00	10 560,45	114
D2-1-06	20,00	10,00	7262,40	0,00	1,00	7940,31	-0,04	0,00	10 560,45	678
D2-1-06	20,00	5,00	7237,90	0,00	0,70	6766,47	0,03	0,00	10 560,45	471
D2-1-06	20,00	3,00	6372,60	0,00	0,48	5986,80	0,03	0,00	10 560,45	386
D2-1-06	20,00	1,00	4861,90	0,00	0,00	4549,19	0,03	0,00	10 560,45	313
D2-1-06	20,00	0,30	3388,60	0,00	-0,52	3317,90	0,01	0,00	10 560,45	71
D2-1-06	20,00	0,10	2372,60	0,00	-1,00	2461,97	-0,02	0,00	10 560,45	89
D2-1-13	20,00	10,00	8269,50	0,00	1,00	7940,31	0,02	0,00	10 560,45	329
D2-1-13	20,00	5,00	7636,90	0,00	0,70	6766,47	0,05	0,00	10 560,45	870
D2-1-13	20,00	3,00	6392,00	0,00	0,48	5986,80	0,03	0,00	10 560,45	405
D2-1-13	20,00	1,00	4775,10	0,00	0,00	4549,19	0,02	0,00	10 560,45	226
D2-1-13	20,00	0,30	3422,70	0,00	-0,52	3317,90	0,01	0,00	10 560,45	105
D2-1-13	20,00	0,10	2352,70	0,00	-1,00	2461,97	-0,02	0,00	10 560,45	109
D2-1-20	20,00	10,00	8015,30	0,00	1,00	7940,31	0,00	0,00	10 560,45	75
D2-1-20	20,00	5,00	6505,00	0,00	0,70	6766,47	-0,02	0,00	10 560,45	261
D2-1-20	20,00	3,00	6222,70	0,00	0,48	5986,80	0,02	0,00	10 560,45	336
D2-1-20	20,00	1,00	4369,90	0,00	0,00	4549,19	-0,02	0,00	10 560,45	179
D2-1-20	20,00	0,30	2999,90	0,00	-0,52	3317,90	-0,04	0,00	10 560,45	318
D2-1-20	20,00	0,10	2053,40	0,00	-1,00	2461,97	-0,08	0,01	10 560,45	409
D2-1-02	35,00	10,00	2880,80	-1,88	-0,88	2660,32	0,03	0,00	10 560,45	220
D2-1-02	35,00	5,00	2443,40	-1,88	-1,18	2197,58	0,05	0,00	10 560,45	246
D2-1-02	35,00	3,00	2036,80	-1,88	-1,40	1905,58	0,03	0,00	10 560,45	131
D2-1-02	35,00	1,00	1411,30	-1,88	-1,88	1396,63	0,00	0,00	10 560,45	15
D2-1-02	35,00	0,30	998,20	-1,88	-2,40	988,58	0,00	0,00	10 560,45	10
D2-1-02	35,00	0,10	748,00	-1,88	-2,88	718,81	0,02	0,00	10 560,45	29
D2-1-03	35,00	10,00	2879,20	-1,88	-0,88	2660,32	0,03	0,00	10 560,45	219
D2-1-03	35,00	5,00	2380,40	-1,88	-1,18	2197,58	0,03	0,00	10 560,45	183
D2-1-03	35,00	3,00	2018,90	-1,88	-1,40	1905,58	0,03	0,00	10 560,45	113
D2-1-03	35,00	1,00	1418,10	-1,88	-1,88	1396,63	0,01	0,00	10 560,45	21
D2-1-03	35,00	0,30	1004,00	-1,88	-2,40	988,58	0,01	0,00	10 560,45	15
D2-1-03	35,00	0,10	718,50	-1,88	-2,88	718,81	0,00	0,00	10 560,45	0
D2-1-22	35,00	10,00	2554,10	-1,88	-0,88	2660,32	-0,02	0,00	10 560,45	106
D2-1-22	35,00	5,00	2106,00	-1,88	-1,18	2197,58	-0,02	0,00	10 560,45	92
D2-1-22	35,00	3,00	1870,60	-1,88	-1,40	1905,58	-0,01	0,00	10 560,45	35
D2-1-22	35,00	1,00	1264,00	-1,88	-1,88	1396,63	-0,04	0,00	10 560,45	133
D2-1-22	35,00	0,30	931,40	-1,88	-2,40	988,58	-0,03	0,00	10 560,45	57
D2-1-22	35,00	0,10	640,90	-1,88	-2,88	718,81	-0,05	0,00	10 560,45	78

SLSM med en polynomfunksjon



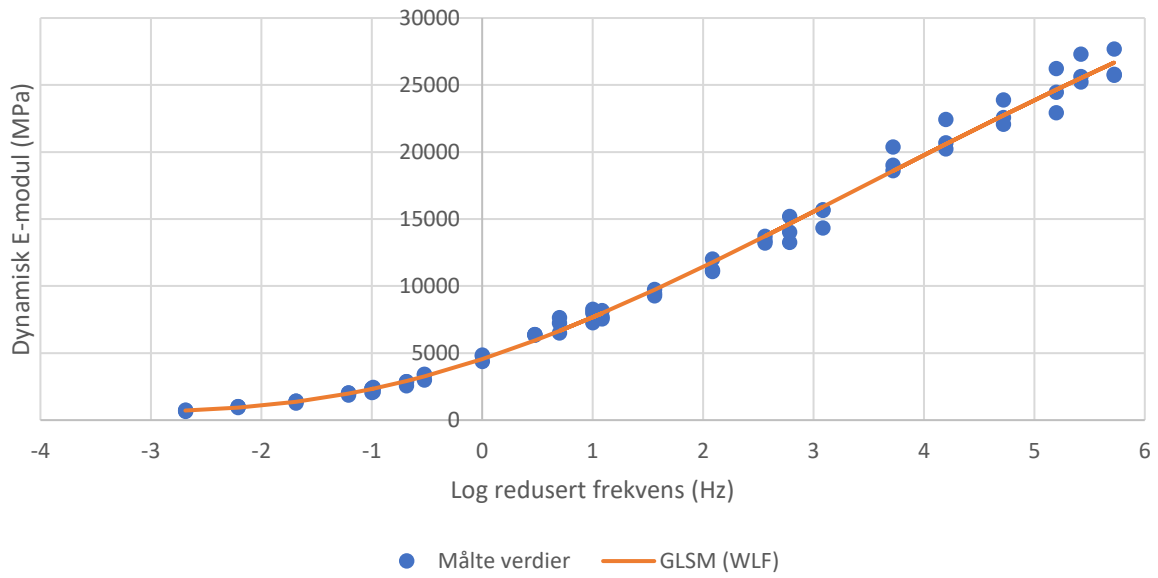
PK-Bez [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier (E-modul) [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = C2 \cdot (T_i - T_r) + C3 \cdot (T_i - T_r)^2$	Redusert frekvens f _s $\log(f_s) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $ E^* = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + \exp(\beta + \nu \log(f_r)))$	Residual	Residual ²	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
D2-1-06	-10,00	10,00	25735,90	4,08	5,08	25616,64	0,00	0,00	10 560,45	119
D2-1-06	-10,00	5,00	25632,60	4,08	4,78	24825,20	0,01	0,00	10 560,45	807
D2-1-06	-10,00	3,00	24458,30	4,08	4,56	24163,38	0,01	0,00	10 560,45	295
D2-1-06	-10,00	1,00	22567,80	4,08	4,08	22503,57	0,00	0,00	10 560,45	64
D2-1-06	-10,00	0,30	20688,80	4,08	3,56	20319,90	0,01	0,00	10 560,45	369
D2-1-06	-10,00	0,10	19009,30	4,08	3,08	18043,53	0,02	0,00	10 560,45	966
D2-1-13	-10,00	10,00	25793,30	4,08	5,08	25616,64	0,00	0,00	10 560,45	177
D2-1-13	-10,00	5,00	25216,50	4,08	4,78	24825,20	0,01	0,00	10 560,45	391
D2-1-13	-10,00	3,00	22922,20	4,08	4,56	24163,38	-0,02	0,00	10 560,45	1241
D2-1-13	-10,00	1,00	22076,70	4,08	4,08	22503,57	-0,01	0,00	10 560,45	427
D2-1-13	-10,00	0,30	20234,50	4,08	3,56	20319,90	0,00	0,00	10 560,45	85
D2-1-13	-10,00	0,10	18607,00	4,08	3,08	18043,53	0,01	0,00	10 560,45	563
D2-1-20	-10,00	10,00	27689,00	4,08	5,08	25616,64	0,03	0,00	10 560,45	2072
D2-1-20	-10,00	5,00	27308,50	4,08	4,78	24825,20	0,04	0,00	10 560,45	2483
D2-1-20	-10,00	3,00	26234,40	4,08	4,56	24163,38	0,04	0,00	10 560,45	2071
D2-1-20	-10,00	1,00	23899,40	4,08	4,08	22503,57	0,03	0,00	10 560,45	1396
D2-1-20	-10,00	0,30	22421,90	4,08	3,56	20319,90	0,04	0,00	10 560,45	2102
D2-1-20	-10,00	0,10	20374,00	4,08	3,08	18043,53	0,05	0,00	10 560,45	2330
D2-1-06	5,00	10,00	14326,40	1,94	2,94	17337,15	-0,08	0,01	10 560,45	3011
D2-1-06	5,00	5,00	13248,90	1,94	2,64	15781,22	-0,08	0,01	10 560,45	2532
D2-1-06	5,00	3,00	13210,00	1,94	2,42	14618,19	-0,04	0,00	10 560,45	1408
D2-1-06	5,00	1,00	11078,00	1,94	1,94	12142,39	-0,04	0,00	10 560,45	1064
D2-1-06	5,00	0,30	9267,50	1,94	1,42	9599,00	-0,02	0,00	10 560,45	331
D2-1-06	5,00	0,10	7706,00	1,94	0,94	7544,43	0,01	0,00	10 560,45	162
D2-1-13	5,00	10,00	15684,00	1,94	2,94	17337,15	-0,04	0,00	10 560,45	1653
D2-1-13	5,00	5,00	15187,10	1,94	2,64	15781,22	-0,02	0,00	10 560,45	594
D2-1-13	5,00	3,00	13701,90	1,94	2,42	14618,19	-0,03	0,00	10 560,45	916
D2-1-13	5,00	1,00	12009,30	1,94	1,94	12142,39	0,00	0,00	10 560,45	133
D2-1-13	5,00	0,30	9750,00	1,94	1,42	9599,00	0,01	0,00	10 560,45	151
D2-1-13	5,00	0,10	8168,90	1,94	0,94	7544,43	0,03	0,00	10 560,45	624
D2-1-20	5,00	10,00	15650,30	1,94	2,94	17337,15	-0,04	0,00	10 560,45	1687
D2-1-20	5,00	5,00	14016,20	1,94	2,64	15781,22	-0,05	0,00	10 560,45	1765
D2-1-20	5,00	3,00	13381,70	1,94	2,42	14618,19	-0,04	0,00	10 560,45	1236
D2-1-20	5,00	1,00	11186,90	1,94	1,94	12142,39	-0,04	0,00	10 560,45	955
D2-1-20	5,00	0,30	9433,70	1,94	1,42	9599,00	-0,01	0,00	10 560,45	165
D2-1-20	5,00	0,10	7559,90	1,94	0,94	7544,43	0,00	0,00	10 560,45	15
D2-1-06	20,00	10,00	7262,40	0,00	1,00	7766,13	-0,03	0,00	10 560,45	504
D2-1-06	20,00	5,00	7237,90	0,00	0,70	6605,45	0,04	0,00	10 560,45	632
D2-1-06	20,00	3,00	6372,60	0,00	0,48	5832,67	0,04	0,00	10 560,45	540
D2-1-06	20,00	1,00	4861,90	0,00	0,00	4406,40	0,04	0,00	10 560,45	455
D2-1-06	20,00	0,30	3388,60	0,00	-0,52	3187,14	0,03	0,00	10 560,45	201
D2-1-06	20,00	0,10	2372,60	0,00	-1,00	2343,91	0,01	0,00	10 560,45	29
D2-1-13	20,00	10,00	8269,50	0,00	1,00	7766,13	0,03	0,00	10 560,45	503
D2-1-13	20,00	5,00	7636,90	0,00	0,70	6605,45	0,06	0,00	10 560,45	1031
D2-1-13	20,00	3,00	6392,00	0,00	0,48	5832,67	0,04	0,00	10 560,45	559
D2-1-13	20,00	1,00	4775,10	0,00	0,00	4406,40	0,03	0,00	10 560,45	369
D2-1-13	20,00	0,30	3422,70	0,00	-0,52	3187,14	0,03	0,00	10 560,45	236
D2-1-13	20,00	0,10	2352,70	0,00	-1,00	2343,91	0,00	0,00	10 560,45	9
D2-1-20	20,00	10,00	8015,30	0,00	1,00	7766,13	0,01	0,00	10 560,45	249
D2-1-20	20,00	5,00	6505,00	0,00	0,70	6605,45	-0,01	0,00	10 560,45	100
D2-1-20	20,00	3,00	6322,70	0,00	0,48	5832,67	0,04	0,00	10 560,45	490
D2-1-20	20,00	1,00	4369,90	0,00	0,00	4406,40	0,00	0,00	10 560,45	37
D2-1-20	20,00	0,30	2999,90	0,00	-0,52	3187,14	-0,03	0,00	10 560,45	187
D2-1-20	20,00	0,10	2053,40	0,00	-1,00	2343,91	-0,06	0,00	10 560,45	291
D2-1-02	35,00	10,00	2880,80	-1,75	-0,75	2756,86	0,02	0,00	10 560,45	124
D2-1-02	35,00	5,00	2443,40	-1,75	-1,05	2267,01	0,03	0,00	10 560,45	176
D2-1-02	35,00	3,00	2036,80	-1,75	-1,27	1958,51	0,02	0,00	10 560,45	78
D2-1-02	35,00	1,00	1411,30	-1,75	-1,75	1422,81	0,00	0,00	10 560,45	12
D2-1-02	35,00	0,30	998,20	-1,75	-2,27	996,43	0,00	0,00	10 560,45	2
D2-1-02	35,00	0,10	748,00	-1,75	-2,75	717,05	0,02	0,00	10 560,45	31
D2-1-03	35,00	10,00	2879,20	-1,75	-0,75	2756,86	0,02	0,00	10 560,45	122
D2-1-03	35,00	5,00	2380,40	-1,75	-1,05	2267,01	0,02	0,00	10 560,45	113
D2-1-03	35,00	3,00	2018,90	-1,75	-1,27	1958,51	0,01	0,00	10 560,45	60
D2-1-03	35,00	1,00	1418,10	-1,75	-1,75	1422,81	0,00	0,00	10 560,45	5
D2-1-03	35,00	0,30	1004,00	-1,75	-2,27	996,43	0,00	0,00	10 560,45	8
D2-1-03	35,00	0,10	718,50	-1,75	-2,75	717,05	0,00	0,00	10 560,45	1
D2-1-22	35,00	10,00	2554,10	-1,75	-0,75	2756,86	-0,03	0,00	10 560,45	203
D2-1-22	35,00	5,00	2106,00	-1,75	-1,05	2267,01	-0,03	0,00	10 560,45	161
D2-1-22	35,00	3,00	1870,60	-1,75	-1,27	1958,51	-0,02	0,00	10 560,45	88
D2-1-22	35,00	1,00	1264,00	-1,75	-1,75	1422,81	-0,05	0,00	10 560,45	159
D2-1-22	35,00	0,30	931,40	-1,75	-2,27	996,43	-0,03	0,00	10 560,45	65
D2-1-22	35,00	0,10	640,90	-1,75	-2,75	717,05	-0,05	0,00	10 560,45	76

GLSM med en Arrhenius-funksjon



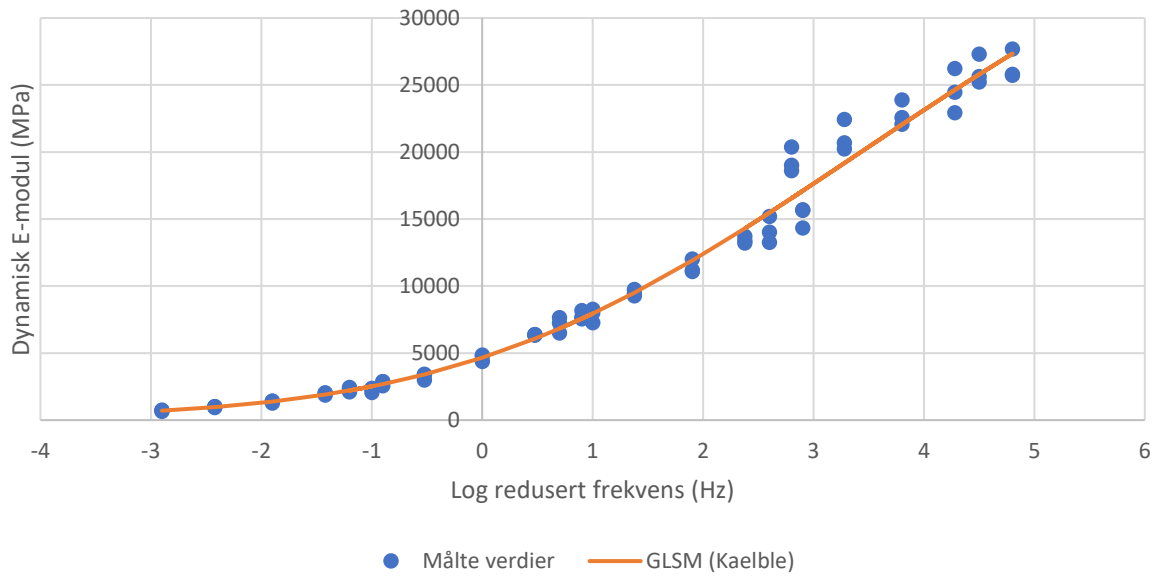
PK-Bez. [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier (E-modul) [MPa]	Skjutfaktor αT $\log(\alpha T) = (C \cdot (1/T_i - 1/T_r))$	Redusert frekvens f_R $\log(f_R) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $[E^*] = \delta + (\alpha \cdot \delta) / (1 + \alpha \cdot \exp(\log(f_R) \cdot \beta))^{1/A}$	Residual	Residual ²	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
D2-1-06	-10,00	10,00	25735,90	4,17	5,17	27187,73	-0,02	0,00	10 560,45	1452
D2-1-06	-10,00	5,00	25632,60	4,17	4,87	25763,03	0,00	0,00	10 560,45	130
D2-1-06	-10,00	3,00	24458,30	4,17	4,65	24697,23	0,00	0,00	10 560,45	239
D2-1-06	-10,00	1,00	22567,80	4,17	4,17	22370,97	0,00	0,00	10 560,45	197
D2-1-06	-10,00	0,30	20688,80	4,17	3,65	19793,65	0,02	0,00	10 560,45	895
D2-1-06	-10,00	0,10	19009,30	4,17	3,17	17448,54	0,04	0,00	10 560,45	1561
D2-1-13	-10,00	10,00	25793,30	4,17	5,17	27187,73	-0,02	0,00	10 560,45	1394
D2-1-13	-10,00	5,00	25216,50	4,17	4,87	25763,03	-0,01	0,00	10 560,45	547
D2-1-13	-10,00	3,00	22922,20	4,17	4,65	24697,23	-0,03	0,00	10 560,45	1775
D2-1-13	-10,00	1,00	22076,70	4,17	4,17	22370,97	-0,01	0,00	10 560,45	294
D2-1-13	-10,00	0,30	20234,50	4,17	3,65	19793,65	0,01	0,00	10 560,45	441
D2-1-13	-10,00	0,10	18607,00	4,17	3,17	17448,54	0,03	0,00	10 560,45	1158
D2-1-20	-10,00	10,00	27689,00	4,17	5,17	27187,73	0,01	0,00	10 560,45	501
D2-1-20	-10,00	5,00	27308,50	4,17	4,87	25763,03	0,03	0,00	10 560,45	1545
D2-1-20	-10,00	3,00	26234,40	4,17	4,65	24697,23	0,03	0,00	10 560,45	1537
D2-1-20	-10,00	1,00	23899,40	4,17	4,17	22370,97	0,03	0,00	10 560,45	1528
D2-1-20	-10,00	0,30	22421,90	4,17	3,65	19793,65	0,05	0,00	10 560,45	2628
D2-1-20	-10,00	0,10	20374,00	4,17	3,17	17448,54	0,07	0,00	10 560,45	2925
D2-1-06	5,00	10,00	14326,40	1,97	2,97	16482,68	-0,06	0,00	10 560,45	2156
D2-1-06	5,00	5,00	13248,90	1,97	2,67	15037,58	-0,05	0,00	10 560,45	1789
D2-1-06	5,00	3,00	13210,00	1,97	2,45	13992,18	-0,02	0,00	10 560,45	782
D2-1-06	5,00	1,00	11078,00	1,97	1,97	11819,40	-0,03	0,00	10 560,45	741
D2-1-06	5,00	0,30	9267,50	1,97	1,45	9593,01	-0,01	0,00	10 560,45	326
D2-1-06	5,00	0,10	7706,00	1,97	0,97	7740,47	0,00	0,00	10 560,45	34
D2-1-13	5,00	10,00	15684,00	1,97	2,97	16482,68	-0,02	0,00	10 560,45	799
D2-1-13	5,00	5,00	15187,10	1,97	2,67	15037,58	0,00	0,00	10 560,45	150
D2-1-13	5,00	3,00	13701,90	1,97	2,45	13992,18	-0,01	0,00	10 560,45	290
D2-1-13	5,00	1,00	12009,30	1,97	1,97	11819,40	0,01	0,00	10 560,45	190
D2-1-13	5,00	0,30	9750,00	1,97	1,45	9593,01	0,01	0,00	10 560,45	157
D2-1-13	5,00	0,10	8168,90	1,97	0,97	7740,47	0,02	0,00	10 560,45	428
D2-1-20	5,00	10,00	15650,30	1,97	2,97	16482,68	-0,02	0,00	10 560,45	832
D2-1-20	5,00	5,00	14016,20	1,97	2,67	15037,58	-0,03	0,00	10 560,45	1021
D2-1-20	5,00	3,00	13381,70	1,97	2,45	13992,18	-0,02	0,00	10 560,45	610
D2-1-20	5,00	1,00	11186,90	1,97	1,97	11819,40	-0,02	0,00	10 560,45	632
D2-1-20	5,00	0,30	9433,70	1,97	1,45	9593,01	-0,01	0,00	10 560,45	159
D2-1-20	5,00	0,10	7559,90	1,97	0,97	7740,47	-0,01	0,00	10 560,45	181
D2-1-06	20,00	10,00	7262,40	0,00	1,00	7838,10	-0,03	0,00	10 560,45	576
D2-1-06	20,00	5,00	7237,90	0,00	0,70	6764,17	0,03	0,00	10 560,45	474
D2-1-06	20,00	3,00	6372,60	0,00	0,48	6027,51	0,02	0,00	10 560,45	345
D2-1-06	20,00	1,00	4861,90	0,00	0,00	4610,29	0,02	0,00	10 560,45	252
D2-1-06	20,00	0,30	3388,60	0,00	-0,52	3329,07	0,01	0,00	10 560,45	60
D2-1-06	20,00	0,10	2372,60	0,00	-1,00	2407,56	-0,01	0,00	10 560,45	35
D2-1-13	20,00	10,00	8269,50	0,00	1,00	7838,10	0,02	0,00	10 560,45	431
D2-1-13	20,00	5,00	7636,90	0,00	0,70	6764,17	0,05	0,00	10 560,45	873
D2-1-13	20,00	3,00	6392,00	0,00	0,48	6027,51	0,03	0,00	10 560,45	364
D2-1-13	20,00	1,00	4775,10	0,00	0,00	4610,29	0,02	0,00	10 560,45	165
D2-1-13	20,00	0,30	3422,70	0,00	-0,52	3329,07	0,01	0,00	10 560,45	94
D2-1-13	20,00	0,10	2352,70	0,00	-1,00	2407,56	-0,01	0,00	10 560,45	55
D2-1-20	20,00	10,00	8015,30	0,00	1,00	7838,10	0,01	0,00	10 560,45	177
D2-1-20	20,00	5,00	6505,00	0,00	0,70	6764,17	-0,02	0,00	10 560,45	259
D2-1-20	20,00	3,00	6322,70	0,00	0,48	6027,51	0,02	0,00	10 560,45	295
D2-1-20	20,00	1,00	4369,90	0,00	0,00	4610,29	-0,02	0,00	10 560,45	240
D2-1-20	20,00	0,30	2999,90	0,00	-0,52	3329,07	-0,05	0,00	10 560,45	329
D2-1-20	20,00	0,10	2053,40	0,00	-1,00	2407,56	-0,07	0,00	10 560,45	354
D2-1-02	35,00	10,00	2880,80	-1,78	-0,78	2800,98	0,01	0,00	10 560,45	80
D2-1-02	35,00	5,00	2443,40	-1,78	-1,08	2271,44	0,03	0,00	10 560,45	172
D2-1-02	35,00	3,00	2036,80	-1,78	-1,30	1937,52	0,02	0,00	10 560,45	99
D2-1-02	35,00	1,00	1411,30	-1,78	-1,78	1368,69	0,01	0,00	10 560,45	43
D2-1-02	35,00	0,30	998,20	-1,78	-2,30	948,43	0,02	0,00	10 560,45	50
D2-1-02	35,00	0,10	748,00	-1,78	-2,78	710,93	0,02	0,00	10 560,45	37
D2-1-03	35,00	10,00	2879,20	-1,78	-0,78	2800,98	0,01	0,00	10 560,45	78
D2-1-03	35,00	5,00	2380,40	-1,78	-1,08	2271,44	0,02	0,00	10 560,45	109
D2-1-03	35,00	3,00	2018,90	-1,78	-1,30	1937,52	0,02	0,00	10 560,45	81
D2-1-03	35,00	1,00	1418,10	-1,78	-1,78	1368,69	0,02	0,00	10 560,45	49
D2-1-03	35,00	0,30	1004,00	-1,78	-2,30	948,43	0,02	0,00	10 560,45	56
D2-1-03	35,00	0,10	718,50	-1,78	-2,78	710,93	0,00	0,00	10 560,45	8
D2-1-22	35,00	10,00	2554,10	-1,78	-0,78	2800,98	-0,04	0,00	10 560,45	247
D2-1-22	35,00	5,00	2106,00	-1,78	-1,08	2271,44	-0,03	0,00	10 560,45	165
D2-1-22	35,00	3,00	1870,60	-1,78	-1,30	1937,52	-0,02	0,00	10 560,45	67
D2-1-22	35,00	1,00	1264,00	-1,78	-1,78	1368,69	-0,03	0,00	10 560,45	105
D2-1-22	35,00	0,30	931,40	-1,78	-2,30	948,43	-0,01	0,00	10 560,45	17
D2-1-22	35,00	0,10	640,90	-1,78	-2,78	710,93	-0,05	0,00	10 560,45	70

GLSM med en WLF-funksjon



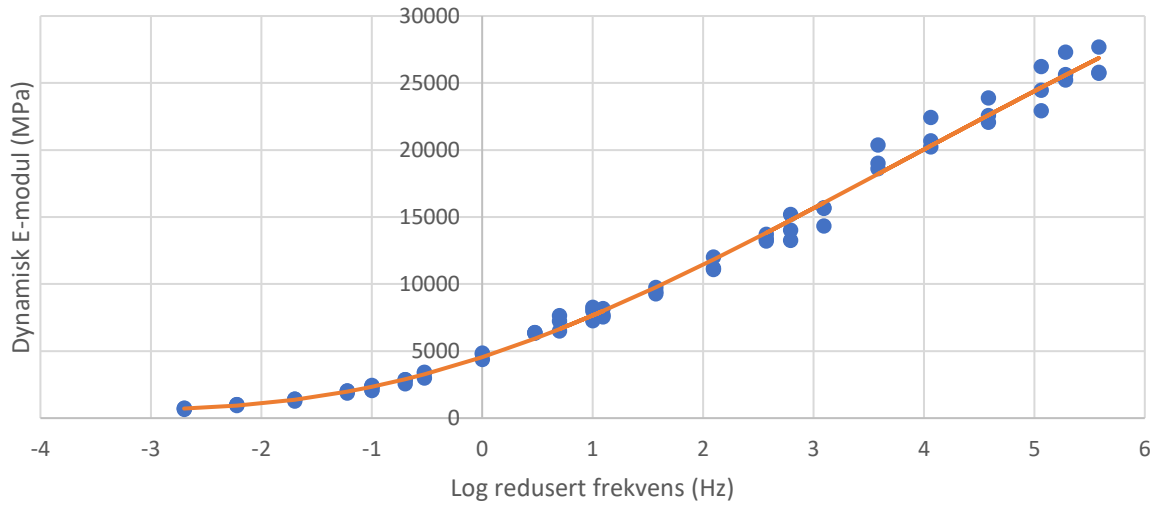
PK-Bez. [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier (E-modul) [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = (-C1*(T - TR)/(C2+T-TR))$	Redusert frekvens f_R $\log(f_R) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $[E^*] = 6 + (\alpha - \beta) / (1 + \alpha^* \exp(\log(f_R) - \beta))^2$	Residual	Residual*2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
D2-1-06	-10,00	10,00	25735,90	4,72	5,72	26666,09	-0,02	0,00	10 560,45	930
D2-1-06	-10,00	5,00	25632,60	4,72	5,42	25514,12	0,00	0,00	10 560,45	118
D2-1-06	-10,00	3,00	24458,30	4,72	5,20	24647,75	0,00	0,00	10 560,45	189
D2-1-06	-10,00	1,00	22567,80	4,72	4,72	22739,64	0,00	0,00	10 560,45	172
D2-1-06	-10,00	0,30	20688,80	4,72	4,20	20590,60	0,00	0,00	10 560,45	98
D2-1-06	-10,00	0,10	19009,30	4,72	3,72	18593,40	0,01	0,00	10 560,45	416
D2-1-13	-10,00	10,00	25793,30	4,72	5,72	26666,09	-0,01	0,00	10 560,45	873
D2-1-13	-10,00	5,00	25216,50	4,72	5,42	25514,12	-0,01	0,00	10 560,45	298
D2-1-13	-10,00	3,00	22922,20	4,72	5,20	24647,75	-0,03	0,00	10 560,45	1726
D2-1-13	-10,00	1,00	22076,70	4,72	4,72	22739,64	-0,01	0,00	10 560,45	663
D2-1-13	-10,00	0,30	20234,50	4,72	4,20	20590,60	-0,01	0,00	10 560,45	356
D2-1-13	-10,00	0,10	18607,00	4,72	3,72	18593,40	0,00	0,00	10 560,45	14
D2-1-20	-10,00	10,00	27689,00	4,72	5,72	26666,09	0,02	0,00	10 560,45	1023
D2-1-20	-10,00	5,00	27308,50	4,72	5,42	25514,12	0,03	0,00	10 560,45	1794
D2-1-20	-10,00	3,00	26234,40	4,72	5,20	24647,75	0,03	0,00	10 560,45	1587
D2-1-20	-10,00	1,00	23899,40	4,72	4,72	22739,64	0,02	0,00	10 560,45	1160
D2-1-20	-10,00	0,30	22421,90	4,72	4,20	20590,60	0,04	0,00	10 560,45	1831
D2-1-20	-10,00	0,10	20374,00	4,72	3,72	18593,40	0,04	0,00	10 560,45	1781
D2-1-06	5,00	10,00	14326,40	2,08	3,08	15905,68	-0,05	0,00	10 560,45	1579
D2-1-06	5,00	5,00	13248,90	2,08	2,78	14642,24	-0,04	0,00	10 560,45	1393
D2-1-06	5,00	3,00	13210,00	2,08	2,56	13718,86	-0,02	0,00	10 560,45	509
D2-1-06	5,00	1,00	11078,00	2,08	2,08	11769,60	-0,03	0,00	10 560,45	692
D2-1-06	5,00	0,30	9267,50	2,08	1,56	9720,41	-0,02	0,00	10 560,45	453
D2-1-06	5,00	0,10	7706,00	2,08	1,08	7964,23	-0,01	0,00	10 560,45	258
D2-1-13	5,00	10,00	15684,00	2,08	3,08	15905,68	-0,01	0,00	10 560,45	222
D2-1-13	5,00	5,00	15187,10	2,08	2,78	14642,24	0,02	0,00	10 560,45	545
D2-1-13	5,00	3,00	13701,90	2,08	2,56	13718,86	0,00	0,00	10 560,45	17
D2-1-13	5,00	1,00	12009,30	2,08	2,08	11769,60	0,01	0,00	10 560,45	240
D2-1-13	5,00	0,30	9750,00	2,08	1,56	9720,41	0,00	0,00	10 560,45	30
D2-1-13	5,00	0,10	8168,90	2,08	1,08	7964,23	0,01	0,00	10 560,45	205
D2-1-20	5,00	10,00	15650,30	2,08	3,08	15905,68	-0,01	0,00	10 560,45	255
D2-1-20	5,00	5,00	14016,20	2,08	2,78	14642,24	-0,02	0,00	10 560,45	626
D2-1-20	5,00	3,00	13381,70	2,08	2,56	13718,86	-0,01	0,00	10 560,45	337
D2-1-20	5,00	1,00	11186,90	2,08	2,08	11769,60	-0,02	0,00	10 560,45	583
D2-1-20	5,00	0,30	9433,70	2,08	1,56	9720,41	-0,01	0,00	10 560,45	287
D2-1-20	5,00	0,10	7559,90	2,08	1,08	7964,23	-0,02	0,00	10 560,45	404
D2-1-06	20,00	10,00	7262,40	0,00	1,00	7670,80	-0,02	0,00	10 560,45	408
D2-1-06	20,00	5,00	7237,90	0,00	0,70	6650,71	0,04	0,00	10 560,45	587
D2-1-06	20,00	3,00	6372,60	0,00	0,48	5941,03	0,03	0,00	10 560,45	432
D2-1-06	20,00	1,00	4861,90	0,00	0,00	4550,38	0,03	0,00	10 560,45	312
D2-1-06	20,00	0,30	3388,60	0,00	-0,52	3262,80	0,02	0,00	10 560,45	126
D2-1-06	20,00	0,10	2372,60	0,00	-1,00	2321,75	0,01	0,00	10 560,45	51
D2-1-13	20,00	10,00	8269,50	0,00	1,00	7670,80	0,03	0,00	10 560,45	599
D2-1-13	20,00	5,00	7636,90	0,00	0,70	6650,71	0,06	0,00	10 560,45	986
D2-1-13	20,00	3,00	6392,00	0,00	0,48	5941,03	0,03	0,00	10 560,45	451
D2-1-13	20,00	1,00	4775,10	0,00	0,00	4550,38	0,02	0,00	10 560,45	225
D2-1-13	20,00	0,30	3422,70	0,00	-0,52	3262,80	0,02	0,00	10 560,45	160
D2-1-13	20,00	0,10	2352,70	0,00	-1,00	2321,75	0,01	0,00	10 560,45	31
D2-1-20	20,00	10,00	8015,30	0,00	1,00	7670,80	0,02	0,00	10 560,45	344
D2-1-20	20,00	5,00	6505,00	0,00	0,70	6650,71	-0,01	0,00	10 560,45	146
D2-1-20	20,00	3,00	6322,70	0,00	0,48	5941,03	0,03	0,00	10 560,45	382
D2-1-20	20,00	1,00	4369,90	0,00	0,00	4550,38	-0,02	0,00	10 560,45	180
D2-1-20	20,00	0,30	2999,90	0,00	-0,52	3262,80	-0,04	0,00	10 560,45	263
D2-1-20	20,00	0,10	2053,40	0,00	-1,00	2321,75	-0,05	0,00	10 560,45	268
D2-1-02	35,00	10,00	2880,80	-1,69	-0,69	2912,46	0,00	0,00	10 560,45	32
D2-1-02	35,00	5,00	2443,40	-1,69	-0,99	2341,81	0,02	0,00	10 560,45	102
D2-1-02	35,00	3,00	2036,80	-1,69	-1,21	1979,70	0,01	0,00	10 560,45	57
D2-1-02	35,00	1,00	1411,30	-1,69	-1,69	1365,59	0,01	0,00	10 560,45	46
D2-1-02	35,00	0,30	998,20	-1,69	-2,21	931,57	0,03	0,00	10 560,45	67
D2-1-02	35,00	0,10	748,00	-1,69	-2,69	716,48	0,02	0,00	10 560,45	32
D2-1-03	35,00	10,00	2879,20	-1,69	-0,69	2912,46	0,00	0,00	10 560,45	33
D2-1-03	35,00	5,00	2380,40	-1,69	-0,99	2341,81	0,01	0,00	10 560,45	39
D2-1-03	35,00	3,00	2018,90	-1,69	-1,21	1979,70	0,01	0,00	10 560,45	39
D2-1-03	35,00	1,00	1418,10	-1,69	-1,69	1365,59	0,02	0,00	10 560,45	53
D2-1-03	35,00	0,30	1004,00	-1,69	-2,21	931,57	0,03	0,00	10 560,45	72
D2-1-03	35,00	0,10	718,50	-1,69	-2,69	716,48	0,00	0,00	10 560,45	2
D2-1-22	35,00	10,00	2554,10	-1,69	-0,69	2912,46	-0,06	0,00	10 560,45	358
D2-1-22	35,00	5,00	2106,00	-1,69	-0,99	2341,81	-0,05	0,00	10 560,45	236
D2-1-22	35,00	3,00	1870,60	-1,69	-1,21	1979,70	-0,02	0,00	10 560,45	109
D2-1-22	35,00	1,00	1264,00	-1,69	-1,69	1365,59	-0,03	0,00	10 560,45	102
D2-1-22	35,00	0,30	931,40	-1,69	-2,21	931,57	0,00	0,00	10 560,45	0
D2-1-22	35,00	0,10	640,90	-1,69	-2,69	716,48	-0,05	0,00	10 560,45	76

GLSM med en Kaelble-funksjon



PK-Bez. [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier [E-modul] [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = (-C_1 \cdot (T_1 - TR) / (C_2 + T_1 - TR))$	Redusert frekvens f_R $\log(f_R) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $[E^*] = \delta + (\alpha \cdot \delta) / (1 + A^* \exp(\log(f_R) + \beta))^{1/A}$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
D2-1-06	-10,00	10,00	25735,90	3,80	4,80	27338,66	-0,03	0,00	10 560,45	1603
D2-1-06	-10,00	5,00	25632,60	3,80	4,50	25799,80	0,00	0,00	10 560,45	167
D2-1-06	-10,00	3,00	24458,30	3,80	4,28	24632,89	0,00	0,00	10 560,45	175
D2-1-06	-10,00	1,00	22567,80	3,80	3,80	22052,69	0,01	0,00	10 560,45	515
D2-1-06	-10,00	0,30	20688,80	3,80	3,28	19168,67	0,03	0,00	10 560,45	1520
D2-1-06	-10,00	0,10	19009,30	3,80	2,80	16553,47	0,06	0,00	10 560,45	2456
D2-1-13	-10,00	10,00	25793,30	3,80	4,80	27338,66	-0,03	0,00	10 560,45	1545
D2-1-13	-10,00	5,00	25216,50	3,80	4,50	25799,80	-0,01	0,00	10 560,45	583
D2-1-13	-10,00	3,00	22922,20	3,80	4,28	24632,89	-0,03	0,00	10 560,45	1711
D2-1-13	-10,00	1,00	22076,70	3,80	3,80	22052,69	0,00	0,00	10 560,45	24
D2-1-13	-10,00	0,30	20234,50	3,80	3,28	19168,67	0,02	0,00	10 560,45	1066
D2-1-13	-10,00	0,10	18607,00	3,80	2,80	16553,47	0,05	0,00	10 560,45	2054
D2-1-20	-10,00	10,00	27689,00	3,80	4,80	27338,66	0,01	0,00	10 560,45	350
D2-1-20	-10,00	5,00	27308,50	3,80	4,50	25799,80	0,02	0,00	10 560,45	1509
D2-1-20	-10,00	3,00	26234,40	3,80	4,28	24632,89	0,03	0,00	10 560,45	1602
D2-1-20	-10,00	1,00	23899,40	3,80	3,80	22052,69	0,03	0,00	10 560,45	1847
D2-1-20	-10,00	0,30	22421,90	3,80	3,28	19168,67	0,07	0,00	10 560,45	3253
D2-1-20	-10,00	0,10	20374,00	3,80	2,80	16553,47	0,09	0,01	10 560,45	3821
D2-1-06	5,00	10,00	14326,40	1,90	2,90	17094,13	-0,08	0,01	10 560,45	2768
D2-1-06	5,00	5,00	13248,90	1,90	2,60	15470,44	-0,07	0,00	10 560,45	2222
D2-1-06	5,00	3,00	13210,00	1,90	2,38	14301,65	-0,03	0,00	10 560,45	1092
D2-1-06	5,00	1,00	11078,00	1,90	1,90	11900,38	-0,03	0,00	10 560,45	822
D2-1-06	5,00	0,30	9267,50	1,90	1,38	9499,39	-0,01	0,00	10 560,45	232
D2-1-06	5,00	0,10	7706,00	1,90	0,90	7564,96	0,01	0,00	10 560,45	141
D2-1-13	5,00	10,00	15684,00	1,90	2,90	17094,13	-0,04	0,00	10 560,45	1410
D2-1-13	5,00	5,00	15187,10	1,90	2,60	15470,44	-0,01	0,00	10 560,45	283
D2-1-13	5,00	3,00	13701,90	1,90	2,38	14301,65	-0,02	0,00	10 560,45	600
D2-1-13	5,00	1,00	12009,30	1,90	1,90	11900,38	0,00	0,00	10 560,45	109
D2-1-13	5,00	0,30	9750,00	1,90	1,38	9499,39	0,01	0,00	10 560,45	251
D2-1-13	5,00	0,10	8168,90	1,90	0,90	7564,96	0,03	0,00	10 560,45	604
D2-1-20	5,00	10,00	15650,30	1,90	2,90	17094,13	-0,04	0,00	10 560,45	1444
D2-1-20	5,00	5,00	14016,20	1,90	2,60	15470,44	-0,04	0,00	10 560,45	1454
D2-1-20	5,00	3,00	13381,70	1,90	2,38	14301,65	-0,03	0,00	10 560,45	920
D2-1-20	5,00	1,00	11186,90	1,90	1,90	11900,38	-0,03	0,00	10 560,45	713
D2-1-20	5,00	0,30	9433,70	1,90	1,38	9499,39	0,00	0,00	10 560,45	66
D2-1-20	5,00	0,10	7559,90	1,90	0,90	7564,96	0,00	0,00	10 560,45	5
D2-1-06	20,00	10,00	7262,40	0,00	1,00	7944,78	-0,04	0,00	10 560,45	682
D2-1-06	20,00	5,00	7237,90	0,00	0,70	6826,62	0,03	0,00	10 560,45	411
D2-1-06	20,00	3,00	6372,60	0,00	0,48	6072,73	0,02	0,00	10 560,45	300
D2-1-06	20,00	1,00	4861,90	0,00	0,00	4653,55	0,02	0,00	10 560,45	208
D2-1-06	20,00	0,30	3388,60	0,00	-0,52	3403,52	0,00	0,00	10 560,45	15
D2-1-06	20,00	0,10	2372,60	0,00	-1,00	2516,04	-0,03	0,00	10 560,45	143
D2-1-13	20,00	10,00	8269,50	0,00	1,00	7944,78	0,02	0,00	10 560,45	325
D2-1-13	20,00	5,00	7636,90	0,00	0,70	6826,62	0,05	0,00	10 560,45	810
D2-1-13	20,00	3,00	6392,00	0,00	0,48	6072,73	0,02	0,00	10 560,45	319
D2-1-13	20,00	1,00	4775,10	0,00	0,00	4653,55	0,01	0,00	10 560,45	122
D2-1-13	20,00	0,30	3422,70	0,00	-0,52	3403,52	0,00	0,00	10 560,45	19
D2-1-13	20,00	0,10	2352,70	0,00	-1,00	2516,04	-0,03	0,00	10 560,45	163
D2-1-20	20,00	10,00	8015,30	0,00	1,00	7944,78	0,00	0,00	10 560,45	71
D2-1-20	20,00	5,00	6505,00	0,00	0,70	6826,62	-0,02	0,00	10 560,45	322
D2-1-20	20,00	3,00	6322,70	0,00	0,48	6072,73	0,02	0,00	10 560,45	250
D2-1-20	20,00	1,00	4369,90	0,00	0,00	4653,55	-0,03	0,00	10 560,45	284
D2-1-20	20,00	0,30	2999,90	0,00	-0,52	3403,52	-0,05	0,00	10 560,45	404
D2-1-20	20,00	0,10	2053,40	0,00	-1,00	2516,04	-0,09	0,01	10 560,45	463
D2-1-02	35,00	10,00	2880,80	-1,90	-0,90	2681,95	0,03	0,00	10 560,45	199
D2-1-02	35,00	5,00	2443,40	-1,90	-1,20	2205,18	0,04	0,00	10 560,45	238
D2-1-02	35,00	3,00	2036,80	-1,90	-1,42	1903,66	0,03	0,00	10 560,45	133
D2-1-02	35,00	1,00	1411,30	-1,90	-1,90	1380,07	0,01	0,00	10 560,45	31
D2-1-02	35,00	0,30	998,20	-1,90	-2,42	967,71	0,01	0,00	10 560,45	30
D2-1-02	35,00	0,10	748,00	-1,90	-2,90	704,17	0,03	0,00	10 560,45	44
D2-1-03	35,00	10,00	2879,20	-1,90	-0,90	2681,95	0,03	0,00	10 560,45	197
D2-1-03	35,00	5,00	2380,40	-1,90	-1,20	2205,18	0,03	0,00	10 560,45	175
D2-1-03	35,00	3,00	2018,90	-1,90	-1,42	1903,66	0,03	0,00	10 560,45	115
D2-1-03	35,00	1,00	1418,10	-1,90	-1,90	1380,07	0,01	0,00	10 560,45	38
D2-1-03	35,00	0,30	1004,00	-1,90	-2,42	967,71	0,02	0,00	10 560,45	36
D2-1-03	35,00	0,10	718,50	-1,90	-2,90	704,17	0,01	0,00	10 560,45	14
D2-1-22	35,00	10,00	2554,10	-1,90	-0,90	2681,95	-0,02	0,00	10 560,45	128
D2-1-22	35,00	5,00	2106,00	-1,90	-1,20	2205,18	-0,02	0,00	10 560,45	99
D2-1-22	35,00	3,00	1870,60	-1,90	-1,42	1903,66	-0,01	0,00	10 560,45	33
D2-1-22	35,00	1,00	1264,00	-1,90	-1,90	1380,07	-0,04	0,00	10 560,45	116
D2-1-22	35,00	0,30	931,40	-1,90	-2,42	967,71	-0,02	0,00	10 560,45	36
D2-1-22	35,00	0,10	640,90	-1,90	-2,90	704,17	-0,04	0,00	10 560,45	63

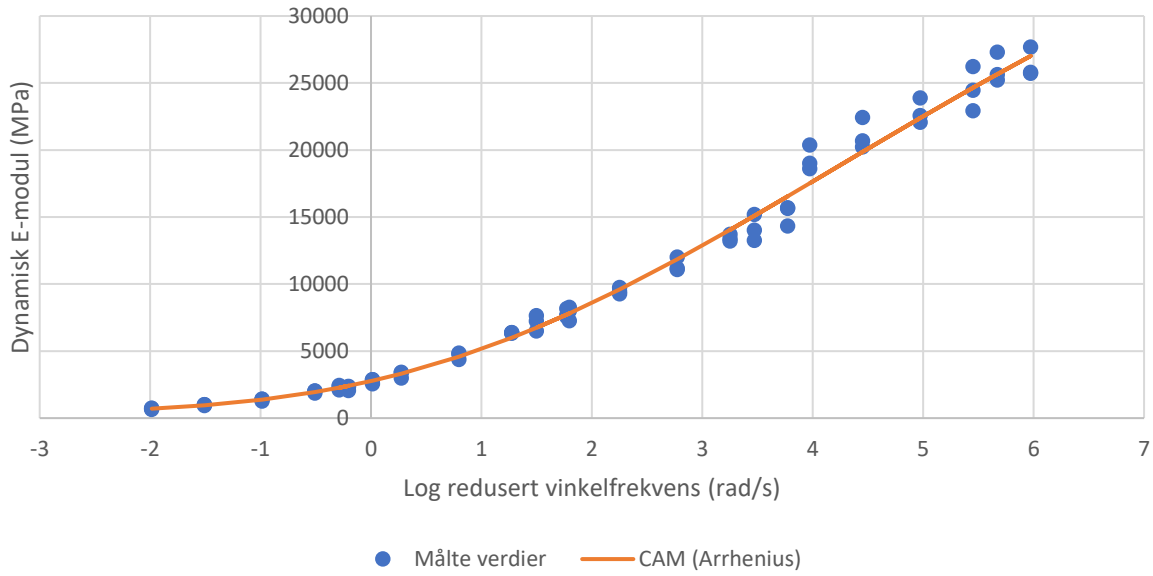
GLSM med en Polynom-funksjon



● Målte verdier — GLSM (Polynom)

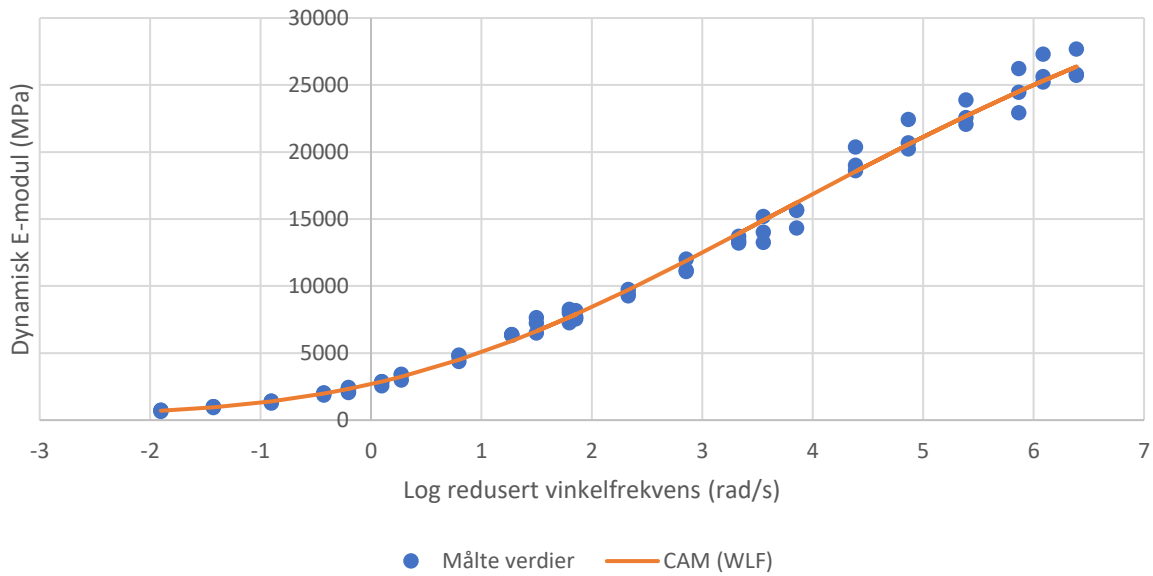
PK-Bez [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier (E-modul) [MPa]	Skjefaktor αT $\log(\alpha T) = C2 \cdot (T - TR) + C3 \cdot (T - TR)^2$	Redusert frekvens fa $\log(fa) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $ E^* = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + \alpha \cdot \exp(\log(R) \cdot \beta))^{1/ \alpha }$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
D2-1-06	-10,00	10,00	25735,90	4,58	5,58	26863,10	-0,02	0,00	10 560,45	1127
D2-1-06	-10,00	5,00	25632,60	4,58	5,28	25600,78	0,00	0,00	10 560,45	32
D2-1-06	-10,00	3,00	24458,30	4,58	5,06	24657,72	0,00	0,00	10 560,45	199
D2-1-06	-10,00	1,00	22567,80	4,58	4,58	22599,31	0,00	0,00	10 560,45	32
D2-1-06	-10,00	0,30	20688,80	4,58	4,06	20310,64	0,01	0,00	10 560,45	378
D2-1-06	-10,00	0,10	19009,30	4,58	3,58	18211,00	0,02	0,00	10 560,45	798
D2-1-13	-10,00	10,00	25793,30	4,58	5,58	26863,10	-0,02	0,00	10 560,45	1070
D2-1-13	-10,00	5,00	25216,50	4,58	5,28	25600,78	-0,01	0,00	10 560,45	384
D2-1-13	-10,00	3,00	22922,20	4,58	5,06	24657,72	-0,03	0,00	10 560,45	1736
D2-1-13	-10,00	1,00	22076,70	4,58	4,58	22599,31	-0,01	0,00	10 560,45	523
D2-1-13	-10,00	0,30	20234,50	4,58	4,06	20310,64	0,00	0,00	10 560,45	76
D2-1-13	-10,00	0,10	18607,00	4,58	3,58	18211,00	0,01	0,00	10 560,45	396
D2-1-20	-10,00	10,00	27689,00	4,58	5,58	26863,10	0,01	0,00	10 560,45	826
D2-1-20	-10,00	5,00	27308,50	4,58	5,28	25600,78	0,03	0,00	10 560,45	1708
D2-1-20	-10,00	3,00	26234,40	4,58	5,06	24657,72	0,03	0,00	10 560,45	1577
D2-1-20	-10,00	1,00	23899,40	4,58	4,58	22599,31	0,02	0,00	10 560,45	1300
D2-1-20	-10,00	0,30	22421,90	4,58	4,06	20310,64	0,04	0,00	10 560,45	2111
D2-1-20	-10,00	0,10	20374,00	4,58	3,58	18211,00	0,05	0,00	10 560,45	2163
D2-1-06	5,00	10,00	14326,40	2,09	3,09	16067,32	-0,05	0,00	10 560,45	1741
D2-1-06	5,00	5,00	13248,90	2,09	2,79	14765,19	-0,05	0,00	10 560,45	1516
D2-1-06	5,00	3,00	13210,00	2,09	2,57	13817,85	-0,02	0,00	10 560,45	608
D2-1-06	5,00	1,00	11078,00	2,09	2,09	11829,39	-0,03	0,00	10 560,45	751
D2-1-06	5,00	0,30	9267,50	2,09	1,57	9754,51	-0,02	0,00	10 560,45	487
D2-1-06	5,00	0,10	7706,00	2,09	1,09	7987,67	-0,02	0,00	10 560,45	282
D2-1-13	5,00	10,00	15684,00	2,09	3,09	16067,32	-0,01	0,00	10 560,45	383
D2-1-13	5,00	5,00	15187,10	2,09	2,79	14765,19	0,01	0,00	10 560,45	422
D2-1-13	5,00	3,00	13701,90	2,09	2,57	13817,85	0,00	0,00	10 560,45	116
D2-1-13	5,00	1,00	12009,30	2,09	2,09	11829,39	0,01	0,00	10 560,45	180
D2-1-13	5,00	0,30	9750,00	2,09	1,57	9754,51	0,00	0,00	10 560,45	5
D2-1-13	5,00	0,10	8168,90	2,09	1,09	7987,67	0,01	0,00	10 560,45	181
D2-1-20	5,00	10,00	15650,30	2,09	3,09	16067,32	-0,01	0,00	10 560,45	417
D2-1-20	5,00	5,00	14016,20	2,09	2,79	14765,19	-0,02	0,00	10 560,45	749
D2-1-20	5,00	3,00	13381,70	2,09	2,57	13817,85	-0,01	0,00	10 560,45	436
D2-1-20	5,00	1,00	11186,90	2,09	2,09	11829,39	-0,02	0,00	10 560,45	642
D2-1-20	5,00	0,30	9433,70	2,09	1,57	9754,51	-0,01	0,00	10 560,45	321
D2-1-20	5,00	0,10	7559,90	2,09	1,09	7987,67	-0,02	0,00	10 560,45	428
D2-1-06	20,00	10,00	7262,40	0,00	1,00	7655,58	-0,02	0,00	10 560,45	393
D2-1-06	20,00	5,00	7237,90	0,00	0,70	6636,64	0,04	0,00	10 560,45	601
D2-1-06	20,00	3,00	6372,60	0,00	0,48	5929,46	0,03	0,00	10 560,45	443
D2-1-06	20,00	1,00	4861,90	0,00	0,00	4547,00	0,03	0,00	10 560,45	315
D2-1-06	20,00	0,30	3388,60	0,00	-0,52	3269,12	0,02	0,00	10 560,45	119
D2-1-06	20,00	0,10	2372,60	0,00	-1,00	2334,31	0,01	0,00	10 560,45	38
D2-1-13	20,00	10,00	8269,50	0,00	1,00	7655,58	0,03	0,00	10 560,45	614
D2-1-13	20,00	5,00	7636,90	0,00	0,70	6636,64	0,06	0,00	10 560,45	1000
D2-1-13	20,00	3,00	6392,00	0,00	0,48	5929,46	0,03	0,00	10 560,45	463
D2-1-13	20,00	1,00	4775,10	0,00	0,00	4547,00	0,02	0,00	10 560,45	228
D2-1-13	20,00	0,30	3422,70	0,00	-0,52	3269,12	0,02	0,00	10 560,45	154
D2-1-13	20,00	0,10	2352,70	0,00	-1,00	2334,31	0,00	0,00	10 560,45	18
D2-1-20	20,00	10,00	8015,30	0,00	1,00	7655,58	0,02	0,00	10 560,45	360
D2-1-20	20,00	5,00	6505,00	0,00	0,70	6636,64	-0,01	0,00	10 560,45	132
D2-1-20	20,00	3,00	6322,70	0,00	0,48	5929,46	0,03	0,00	10 560,45	393
D2-1-20	20,00	1,00	4369,90	0,00	0,00	4547,00	-0,02	0,00	10 560,45	177
D2-1-20	20,00	0,30	2999,90	0,00	-0,52	3269,12	-0,04	0,00	10 560,45	269
D2-1-20	20,00	0,10	2053,40	0,00	-1,00	2334,31	-0,06	0,00	10 560,45	281
D2-1-02	35,00	10,00	2880,80	-1,70	-0,70	2898,09	0,00	0,00	10 560,45	17
D2-1-02	35,00	5,00	2443,40	-1,70	-1,00	2334,42	0,02	0,00	10 560,45	109
D2-1-02	35,00	3,00	2036,80	-1,70	-1,22	1976,31	0,01	0,00	10 560,45	60
D2-1-02	35,00	1,00	1411,30	-1,70	-1,70	1367,12	0,01	0,00	10 560,45	44
D2-1-02	35,00	0,30	998,20	-1,70	-2,22	933,23	0,03	0,00	10 560,45	65
D2-1-02	35,00	0,10	748,00	-1,70	-2,70	715,54	0,02	0,00	10 560,45	32
D2-1-03	35,00	10,00	2879,20	-1,70	-0,70	2898,09	0,00	0,00	10 560,45	19
D2-1-03	35,00	5,00	2380,40	-1,70	-1,00	2334,42	0,01	0,00	10 560,45	46
D2-1-03	35,00	3,00	2018,90	-1,70	-1,22	1976,31	0,01	0,00	10 560,45	43
D2-1-03	35,00	1,00	1418,10	-1,70	-1,70	1367,12	0,02	0,00	10 560,45	51
D2-1-03	35,00	0,30	1004,00	-1,70	-2,22	933,23	0,03	0,00	10 560,45	71
D2-1-03	35,00	0,10	718,50	-1,70	-2,70	715,54	0,00	0,00	10 560,45	3
D2-1-22	35,00	10,00	2554,10	-1,70	-0,70	2898,09	-0,05	0,00	10 560,45	344
D2-1-22	35,00	5,00	2106,00	-1,70	-1,00	2334,42	-0,04	0,00	10 560,45	228
D2-1-22	35,00	3,00	1870,60	-1,70	-1,22	1976,31	-0,02	0,00	10 560,45	106
D2-1-22	35,00	1,00	1264,00	-1,70	-1,70	1367,12	-0,03	0,00	10 560,45	103
D2-1-22	35,00	0,30	931,40	-1,70	-2,22	933,23	0,00	0,00	10 560,45	2
D2-1-22	35,00	0,10	640,90	-1,70	-2,70	715,54	-0,05	0,00	10 560,45	75

CAM-modellen med en Arrhenius-funksjon



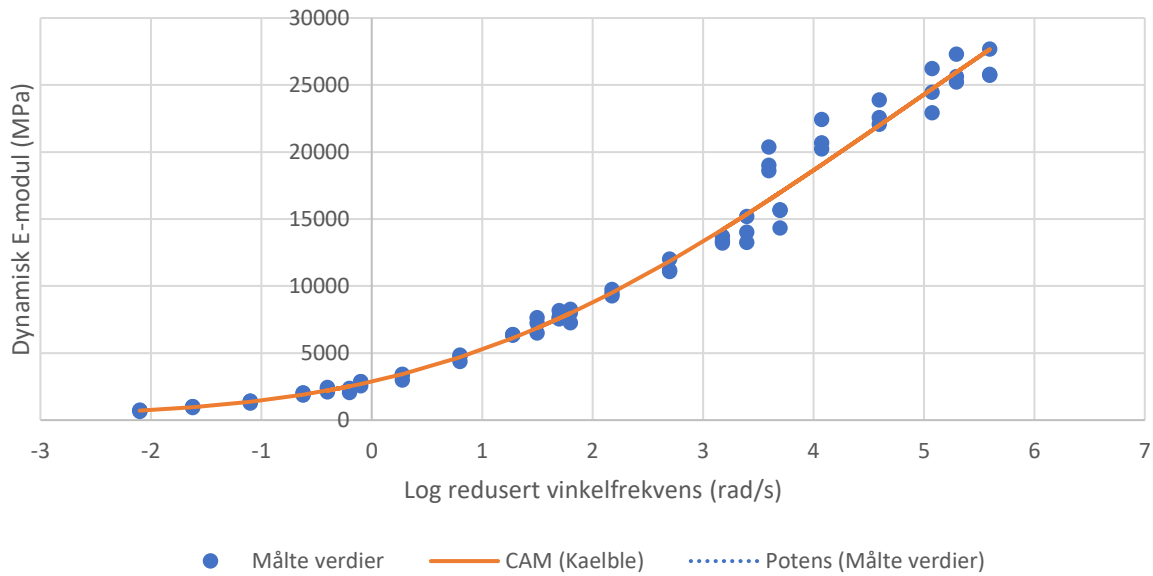
PK-Bez. [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier (E-modul) [MPa]	Skiftfaktor αT log(αT) = (C*(1/Ti - 1/Ts))	Crossover frekvens ωαT log(ωαT) = αT + log(f*2*π)	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa]		Residual	Residual ²	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
						[E* = E_min + (E_maks - E_min)/(1+(ωCE/10*log(ωαT))^n)]*(w/v)					
D2-1-06	-10,00	10,00	25735,90	4,18	5,97		27022,97	-0,02	0,00	10 560,45	1287
D2-1-06	-10,00	5,00	25632,60	4,18	5,67		25671,72	0,00	0,00	10 560,45	39
D2-1-06	-10,00	3,00	24458,30	4,18	5,45		24651,26	0,00	0,00	10 560,45	193
D2-1-06	-10,00	1,00	22567,80	4,18	4,97		22397,86	0,00	0,00	10 560,45	170
D2-1-06	-10,00	0,30	20688,80	4,18	4,45		19864,48	0,02	0,00	10 560,45	824
D2-1-06	-10,00	0,10	19009,30	4,18	3,97		17531,62	0,04	0,00	10 560,45	1478
D2-1-13	-10,00	10,00	25793,30	4,18	5,97		27022,97	-0,02	0,00	10 560,45	1230
D2-1-13	-10,00	5,00	25216,50	4,18	5,67		25671,72	-0,01	0,00	10 560,45	455
D2-1-13	-10,00	3,00	22922,20	4,18	5,45		24651,26	-0,03	0,00	10 560,45	1729
D2-1-13	-10,00	1,00	22076,70	4,18	4,97		22397,86	-0,01	0,00	10 560,45	321
D2-1-13	-10,00	0,30	20234,50	4,18	4,45		19864,48	0,01	0,00	10 560,45	370
D2-1-13	-10,00	0,10	18607,00	4,18	3,97		17531,62	0,03	0,00	10 560,45	1075
D2-1-20	-10,00	10,00	27689,00	4,18	5,97		27022,97	0,01	0,00	10 560,45	666
D2-1-20	-10,00	5,00	27308,50	4,18	5,67		25671,72	0,03	0,00	10 560,45	1637
D2-1-20	-10,00	3,00	26234,40	4,18	5,45		24651,26	0,03	0,00	10 560,45	1583
D2-1-20	-10,00	1,00	23899,40	4,18	4,97		22397,86	0,03	0,00	10 560,45	1502
D2-1-20	-10,00	0,30	22421,90	4,18	4,45		19864,48	0,05	0,00	10 560,45	2557
D2-1-20	-10,00	0,10	20374,00	4,18	3,97		17531,62	0,07	0,00	10 560,45	2842
D2-1-06	5,00	10,00	14326,40	1,98	3,77		16553,89	-0,06	0,00	10 560,45	2227
D2-1-06	5,00	5,00	13248,90	1,98	3,47		15101,61	-0,06	0,00	10 560,45	1853
D2-1-06	5,00	3,00	13210,00	1,98	3,25		14047,76	-0,03	0,00	10 560,45	838
D2-1-06	5,00	1,00	11078,00	1,98	2,77		11851,69	-0,03	0,00	10 560,45	774
D2-1-06	5,00	0,30	9267,50	1,98	2,25		9599,08	-0,02	0,00	10 560,45	332
D2-1-06	5,00	0,10	7706,00	1,98	1,77		7728,56	0,00	0,00	10 560,45	23
D2-1-13	5,00	10,00	15684,00	1,98	3,77		16553,89	-0,02	0,00	10 560,45	870
D2-1-13	5,00	5,00	15187,10	1,98	3,47		15101,61	0,00	0,00	10 560,45	85
D2-1-13	5,00	3,00	13701,90	1,98	3,25		14047,76	-0,01	0,00	10 560,45	346
D2-1-13	5,00	1,00	12009,30	1,98	2,77		11851,69	0,01	0,00	10 560,45	158
D2-1-13	5,00	0,30	9750,00	1,98	2,25		9599,08	0,01	0,00	10 560,45	151
D2-1-13	5,00	0,10	8168,90	1,98	1,77		7728,56	0,02	0,00	10 560,45	440
D2-1-20	5,00	10,00	15650,30	1,98	3,77		16553,89	-0,02	0,00	10 560,45	904
D2-1-20	5,00	5,00	14016,20	1,98	3,47		15101,61	-0,03	0,00	10 560,45	1085
D2-1-20	5,00	3,00	13381,70	1,98	3,25		14047,76	-0,02	0,00	10 560,45	666
D2-1-20	5,00	1,00	11186,90	1,98	2,77		11851,69	-0,03	0,00	10 560,45	665
D2-1-20	5,00	0,30	9433,70	1,98	2,25		9599,08	-0,01	0,00	10 560,45	165
D2-1-20	5,00	0,10	7559,90	1,98	1,77		7728,56	-0,01	0,00	10 560,45	169
D2-1-06	20,00	10,00	7262,40	0,00	1,80		7819,61	-0,03	0,00	10 560,45	557
D2-1-06	20,00	5,00	7237,90	0,00	1,50		6739,31	0,03	0,00	10 560,45	499
D2-1-06	20,00	3,00	6372,60	0,00	1,28		6000,60	0,03	0,00	10 560,45	376
D2-1-06	20,00	1,00	4851,90	0,00	0,80		4586,23	0,03	0,00	10 560,45	272
D2-1-06	20,00	0,30	3388,60	0,00	0,28		3316,53	0,01	0,00	10 560,45	72
D2-1-06	20,00	0,10	2372,60	0,00	-0,20		2408,01	-0,01	0,00	10 560,45	35
D2-1-13	20,00	10,00	8269,50	0,00	1,80		7819,61	0,02	0,00	10 560,45	450
D2-1-13	20,00	5,00	7636,90	0,00	1,50		6739,31	0,05	0,00	10 560,45	898
D2-1-13	20,00	3,00	6392,00	0,00	1,28		6000,60	0,03	0,00	10 560,45	391
D2-1-13	20,00	1,00	4775,10	0,00	0,80		4586,23	0,02	0,00	10 560,45	189
D2-1-13	20,00	0,30	3422,70	0,00	0,28		3316,53	0,01	0,00	10 560,45	106
D2-1-13	20,00	0,10	2352,70	0,00	-0,20		2408,01	-0,01	0,00	10 560,45	55
D2-1-20	20,00	10,00	8015,30	0,00	1,80		7819,61	0,01	0,00	10 560,45	196
D2-1-20	20,00	5,00	6505,00	0,00	1,50		6739,31	-0,02	0,00	10 560,45	234
D2-1-20	20,00	3,00	6322,70	0,00	1,28		6000,60	0,02	0,00	10 560,45	322
D2-1-20	20,00	1,00	4369,90	0,00	0,80		4586,23	-0,02	0,00	10 560,45	216
D2-1-20	20,00	0,30	2999,90	0,00	0,28		3316,53	-0,04	0,00	10 560,45	317
D2-1-20	20,00	0,10	2053,40	0,00	-0,20		2408,01	-0,07	0,00	10 560,45	355
D2-1-02	35,00	10,00	2880,80	-1,78	0,01		2792,22	0,01	0,00	10 560,45	89
D2-1-02	35,00	5,00	2443,40	-1,78	-0,29		2271,14	0,03	0,00	10 560,45	172
D2-1-02	35,00	3,00	2036,80	-1,78	-0,51		1942,44	0,02	0,00	10 560,45	94
D2-1-02	35,00	1,00	1411,30	-1,78	-0,99		1379,68	0,01	0,00	10 560,45	32
D2-1-02	35,00	0,30	998,20	-1,78	-1,51		955,66	0,02	0,00	10 560,45	43
D2-1-02	35,00	0,10	748,00	-1,78	-1,99		705,49	0,03	0,00	10 560,45	43
D2-1-03	35,00	10,00	2879,20	-1,78	0,01		2792,22	0,01	0,00	10 560,45	87
D2-1-03	35,00	5,00	2380,40	-1,78	-0,29		2271,14	0,02	0,00	10 560,45	109
D2-1-03	35,00	3,00	2018,90	-1,78	-0,51		1942,44	0,02	0,00	10 560,45	76
D2-1-03	35,00	1,00	1418,10	-1,78	-0,99		1379,68	0,01	0,00	10 560,45	38
D2-1-03	35,00	0,30	1004,00	-1,78	-1,51		955,66	0,02	0,00	10 560,45	48
D2-1-03	35,00	0,10	718,50	-1,78	-1,99		705,49	0,01	0,00	10 560,45	13
D2-1-22	35,00	10,00	2554,10	-1,78	0,01		2792,22	-0,04	0,00	10 560,45	238
D2-1-22	35,00	5,00	2106,00	-1,78	-0,29		2271,14	-0,03	0,00	10 560,45	165
D2-1-22	35,00	3,00	1870,60	-1,78	-0,51		1942,44	-0,02	0,00	10 560,45	72
D2-1-22	35,00	1,00	1264,00	-1,78	-0,99		1379,68	-0,04	0,00	10 560,45	116
D2-1-22	35,00	0,30	931,40	-1,78	-1,51		955,66	-0,01	0,00	10 560,45	24
D2-1-22	35,00	0,10	640,90	-1,78	-1,99		705,49	-0,04	0,00	10 560,45	65

CAM-modellen med en WLF-funksjon



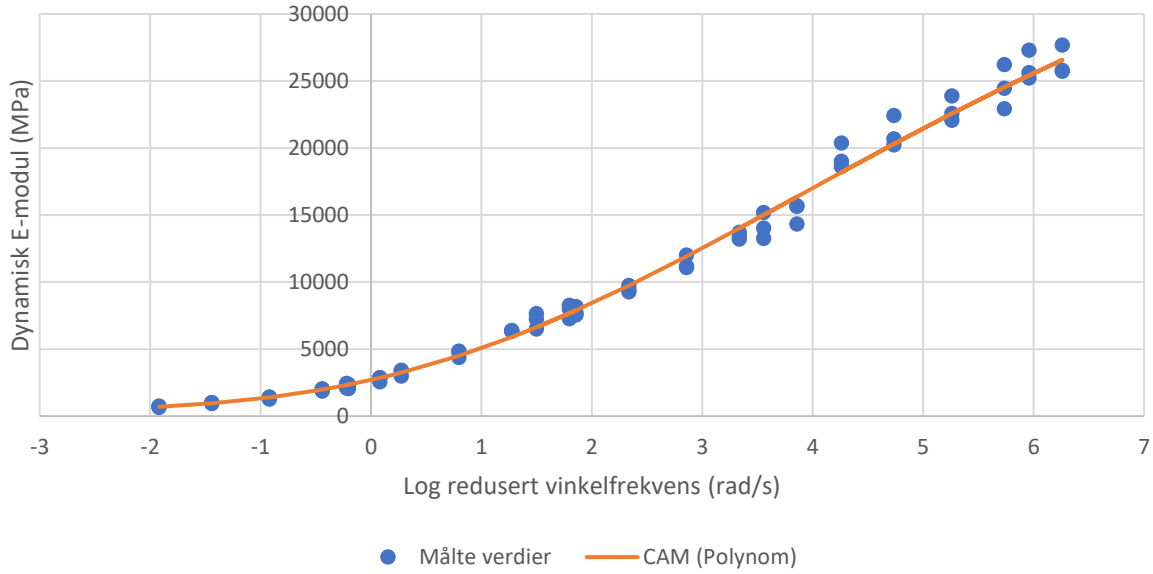
PK-Bez. [.]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier (E-modul) [MPa]	Skiffaktor αT $\log(\alpha T) = (-C_1 \cdot (T_i - TR)) / (C_2 + T_i - TR)$	Crossover frekvens $\omega \alpha T$ $\log(\omega \alpha T) = \alpha T + \log(f \cdot 2 \pi)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $E^* = E_{\min} + (E_{\max} - E_{\min}) / (1 + (\omega \alpha T / 10^{\log(\omega \alpha T)})^v)^{1/v}$	Residual	Residual ²	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
D2-1-06	-10,00	10,00	25735,90	4,59	6,39	26373,74	-0,01	0,00	10 560,45	638
D2-1-06	-10,00	5,00	25632,60	4,59	6,09	25321,89	0,01	0,00	10 560,45	311
D2-1-06	-10,00	3,00	24458,30	4,59	5,87	24514,68	0,00	0,00	10 560,45	56
D2-1-06	-10,00	1,00	22567,80	4,59	5,39	22691,77	0,00	0,00	10 560,45	124
D2-1-06	-10,00	0,30	20688,80	4,59	4,87	20572,77	0,00	0,00	10 560,45	116
D2-1-06	-10,00	0,10	19009,30	4,59	4,39	18551,71	0,01	0,00	10 560,45	458
D2-1-13	-10,00	10,00	25793,30	4,59	6,39	26373,74	-0,01	0,00	10 560,45	580
D2-1-13	-10,00	5,00	25216,50	4,59	6,09	25321,89	0,00	0,00	10 560,45	105
D2-1-13	-10,00	3,00	22922,20	4,59	5,87	24514,68	-0,03	0,00	10 560,45	1592
D2-1-13	-10,00	1,00	22076,70	4,59	5,39	22691,77	-0,01	0,00	10 560,45	615
D2-1-13	-10,00	0,30	20234,50	4,59	4,87	20572,77	-0,01	0,00	10 560,45	338
D2-1-13	-10,00	0,10	18607,00	4,59	4,39	18551,71	0,00	0,00	10 560,45	55
D2-1-20	-10,00	10,00	27689,00	4,59	6,39	26373,74	0,02	0,00	10 560,45	1315
D2-1-20	-10,00	5,00	27308,50	4,59	6,09	25321,89	0,03	0,00	10 560,45	1987
D2-1-20	-10,00	3,00	26234,40	4,59	5,87	24514,68	0,02	0,00	10 560,45	1720
D2-1-20	-10,00	1,00	23899,40	4,59	5,39	22691,77	0,02	0,00	10 560,45	1208
D2-1-20	-10,00	0,30	22421,90	4,59	4,87	20572,77	0,04	0,00	10 560,45	1849
D2-1-20	-10,00	0,10	20374,00	4,59	4,39	18551,71	0,04	0,00	10 560,45	1822
D2-1-06	5,00	10,00	14326,40	2,06	3,85	16225,29	-0,05	0,00	10 560,45	1899
D2-1-06	5,00	5,00	13248,90	2,06	3,55	14904,43	-0,05	0,00	10 560,45	1656
D2-1-06	5,00	3,00	13210,00	2,06	3,33	13933,78	-0,02	0,00	10 560,45	724
D2-1-06	5,00	1,00	11078,00	2,06	2,85	11877,30	-0,03	0,00	10 560,45	799
D2-1-06	5,00	0,30	9267,50	2,06	2,33	9718,49	-0,02	0,00	10 560,45	451
D2-1-06	5,00	0,10	7706,00	2,06	1,85	7885,98	-0,01	0,00	10 560,45	180
D2-1-13	5,00	10,00	15684,00	2,06	3,85	16225,29	-0,01	0,00	10 560,45	541
D2-1-13	5,00	5,00	15187,10	2,06	3,55	14904,43	0,01	0,00	10 560,45	283
D2-1-13	5,00	3,00	13701,90	2,06	3,33	13933,78	-0,01	0,00	10 560,45	232
D2-1-13	5,00	1,00	12009,30	2,06	2,85	11877,30	0,00	0,00	10 560,45	132
D2-1-13	5,00	0,30	9750,00	2,06	2,33	9718,49	0,00	0,00	10 560,45	32
D2-1-13	5,00	0,10	8168,90	2,06	1,85	7885,98	0,02	0,00	10 560,45	283
D2-1-20	5,00	10,00	15650,30	2,06	3,85	16225,29	-0,02	0,00	10 560,45	575
D2-1-20	5,00	5,00	14016,20	2,06	3,55	14904,43	-0,03	0,00	10 560,45	888
D2-1-20	5,00	3,00	13381,70	2,06	3,33	13933,78	-0,02	0,00	10 560,45	552
D2-1-20	5,00	1,00	11186,90	2,06	2,85	11877,30	-0,03	0,00	10 560,45	690
D2-1-20	5,00	0,30	9433,70	2,06	2,33	9718,49	-0,01	0,00	10 560,45	285
D2-1-20	5,00	0,10	7559,90	2,06	1,85	7885,98	-0,02	0,00	10 560,45	326
D2-1-06	20,00	10,00	7262,40	0,00	1,80	7683,80	-0,02	0,00	10 560,45	421
D2-1-06	20,00	5,00	7237,90	0,00	1,50	6629,34	0,04	0,00	10 560,45	609
D2-1-06	20,00	3,00	6372,60	0,00	1,28	5903,40	0,03	0,00	10 560,45	469
D2-1-06	20,00	1,00	4861,90	0,00	0,80	4503,41	0,03	0,00	10 560,45	358
D2-1-06	20,00	0,30	3388,60	0,00	0,28	3238,00	0,02	0,00	10 560,45	151
D2-1-06	20,00	0,10	2372,60	0,00	-0,20	2331,17	0,01	0,00	10 560,45	41
D2-1-13	20,00	10,00	8269,50	0,00	1,80	7683,80	0,03	0,00	10 560,45	586
D2-1-13	20,00	5,00	7636,90	0,00	1,50	6629,34	0,06	0,00	10 560,45	1008
D2-1-13	20,00	3,00	6392,00	0,00	1,28	5903,40	0,03	0,00	10 560,45	489
D2-1-13	20,00	1,00	4775,10	0,00	0,80	4503,41	0,03	0,00	10 560,45	272
D2-1-13	20,00	0,30	3422,70	0,00	0,28	3238,00	0,02	0,00	10 560,45	185
D2-1-13	20,00	0,10	2352,70	0,00	-0,20	2331,17	0,00	0,00	10 560,45	22
D2-1-20	20,00	10,00	8015,30	0,00	1,80	7683,80	0,02	0,00	10 560,45	332
D2-1-20	20,00	5,00	6505,00	0,00	1,50	6629,34	-0,01	0,00	10 560,45	124
D2-1-20	20,00	3,00	6322,70	0,00	1,28	5903,40	0,03	0,00	10 560,45	419
D2-1-20	20,00	1,00	4369,90	0,00	0,80	4503,41	-0,01	0,00	10 560,45	134
D2-1-20	20,00	0,30	2999,90	0,00	0,28	3238,00	-0,03	0,00	10 560,45	238
D2-1-20	20,00	0,10	2053,40	0,00	-0,20	2331,17	-0,06	0,00	10 560,45	278
D2-1-02	35,00	10,00	2880,80	-1,70	0,10	2873,39	0,00	0,00	10 560,45	7
D2-1-02	35,00	5,00	2443,40	-1,70	-0,20	2328,79	0,02	0,00	10 560,45	115
D2-1-02	35,00	3,00	2036,80	-1,70	-0,43	1984,60	0,01	0,00	10 560,45	52
D2-1-02	35,00	1,00	1411,30	-1,70	-0,90	1395,78	0,00	0,00	10 560,45	16
D2-1-02	35,00	0,30	998,20	-1,70	-1,43	955,53	0,02	0,00	10 560,45	43
D2-1-02	35,00	0,10	748,00	-1,70	-1,90	700,27	0,03	0,00	10 560,45	48
D2-1-03	35,00	10,00	2879,20	-1,70	0,10	2873,39	0,00	0,00	10 560,45	6
D2-1-03	35,00	5,00	2380,40	-1,70	-0,20	2328,79	0,01	0,00	10 560,45	52
D2-1-03	35,00	3,00	2018,90	-1,70	-0,43	1984,60	0,01	0,00	10 560,45	34
D2-1-03	35,00	1,00	1418,10	-1,70	-0,90	1395,78	0,01	0,00	10 560,45	22
D2-1-03	35,00	0,30	1004,00	-1,70	-1,43	955,53	0,02	0,00	10 560,45	48
D2-1-03	35,00	0,10	718,50	-1,70	-1,90	700,27	0,01	0,00	10 560,45	18
D2-1-22	35,00	10,00	2554,10	-1,70	0,10	2873,39	-0,05	0,00	10 560,45	319
D2-1-22	35,00	5,00	2106,00	-1,70	-0,20	2328,79	-0,04	0,00	10 560,45	223
D2-1-22	35,00	3,00	1870,60	-1,70	-0,43	1984,60	-0,03	0,00	10 560,45	114
D2-1-22	35,00	1,00	1264,00	-1,70	-0,90	1395,78	-0,04	0,00	10 560,45	132
D2-1-22	35,00	0,30	931,40	-1,70	-1,43	955,53	-0,01	0,00	10 560,45	24
D2-1-22	35,00	0,10	640,90	-1,70	-1,90	700,27	-0,04	0,00	10 560,45	59

CAM-modellen med en Kaelble-funksjon



PK-Bez. [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier (E-modul) [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = (-C1*(T1 - TR)/(C2 + T1 - TR))$	Crossover frekvens ωαT $\log(\omega \alpha T) = \alpha T + \log(f^* 2^{\pi})$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $[E^*] = E_{\min} + (E_{\max} - E_{\min}) / (1 + (\omega CE / 10^{\log(\omega \alpha T)})^n)^{1/w/v}$	Residual	Residual*2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
D2-1-06	-10,00	10,00	25735,90	3,80	5,60	27658,41	-0,03	0,00	10 560,45	1923
D2-1-06	-10,00	5,00	25632,60	3,80	5,29	25964,13	-0,01	0,00	10 560,45	332
D2-1-06	-10,00	3,00	24458,30	3,80	5,07	24705,34	0,00	0,00	10 560,45	247
D2-1-06	-10,00	1,00	22567,80	3,80	4,60	21988,90	0,01	0,00	10 560,45	579
D2-1-06	-10,00	0,30	20688,80	3,80	4,07	19039,41	0,04	0,00	10 560,45	1649
D2-1-06	-10,00	0,10	19009,30	3,80	3,60	16422,27	0,06	0,00	10 560,45	2587
D2-1-13	-10,00	10,00	25793,30	3,80	5,60	27658,41	-0,03	0,00	10 560,45	1865
D2-1-13	-10,00	5,00	25216,50	3,80	5,29	25964,13	-0,01	0,00	10 560,45	748
D2-1-13	-10,00	3,00	22922,20	3,80	5,07	24705,34	-0,03	0,00	10 560,45	1783
D2-1-13	-10,00	1,00	22076,70	3,80	4,60	21988,90	0,00	0,00	10 560,45	88
D2-1-13	-10,00	0,30	20234,50	3,80	4,07	19039,41	0,03	0,00	10 560,45	1195
D2-1-13	-10,00	0,10	18607,00	3,80	3,60	16422,27	0,05	0,00	10 560,45	2185
D2-1-20	-10,00	10,00	27689,00	3,80	5,60	27658,41	0,00	0,00	10 560,45	31
D2-1-20	-10,00	5,00	27308,50	3,80	5,29	25964,13	0,02	0,00	10 560,45	1344
D2-1-20	-10,00	3,00	26234,40	3,80	5,07	24705,34	0,03	0,00	10 560,45	1529
D2-1-20	-10,00	1,00	23899,40	3,80	4,60	21988,90	0,04	0,00	10 560,45	1910
D2-1-20	-10,00	0,30	22421,90	3,80	4,07	19039,41	0,07	0,01	10 560,45	3382
D2-1-20	-10,00	0,10	20374,00	3,80	3,60	16422,27	0,09	0,01	10 560,45	3952
D2-1-06	5,00	10,00	14326,40	1,90	3,70	16970,66	-0,07	0,01	10 560,45	2644
D2-1-06	5,00	5,00	13248,90	1,90	3,40	15360,37	-0,06	0,00	10 560,45	2111
D2-1-06	5,00	3,00	13210,00	1,90	3,17	14208,12	-0,03	0,00	10 560,45	998
D2-1-06	5,00	1,00	11078,00	1,90	2,70	11851,38	-0,03	0,00	10 560,45	773
D2-1-06	5,00	0,30	9267,50	1,90	2,17	9496,92	-0,01	0,00	10 560,45	229
D2-1-06	5,00	0,10	7706,00	1,90	1,70	7590,65	0,01	0,00	10 560,45	115
D2-1-13	5,00	10,00	15684,00	1,90	3,70	16970,66	-0,03	0,00	10 560,45	1287
D2-1-13	5,00	5,00	15187,10	1,90	3,40	15360,37	0,00	0,00	10 560,45	173
D2-1-13	5,00	3,00	13701,90	1,90	3,17	14208,12	-0,02	0,00	10 560,45	506
D2-1-13	5,00	1,00	12009,30	1,90	2,70	11851,38	0,01	0,00	10 560,45	158
D2-1-13	5,00	0,30	9750,00	1,90	2,17	9496,92	0,01	0,00	10 560,45	253
D2-1-13	5,00	0,10	8168,90	1,90	1,70	7590,65	0,03	0,00	10 560,45	578
D2-1-20	5,00	10,00	15650,30	1,90	3,70	16970,66	-0,04	0,00	10 560,45	1320
D2-1-20	5,00	5,00	14016,20	1,90	3,40	15360,37	-0,04	0,00	10 560,45	1344
D2-1-20	5,00	3,00	13381,70	1,90	3,17	14208,12	-0,03	0,00	10 560,45	826
D2-1-20	5,00	1,00	11186,90	1,90	2,70	11851,38	-0,03	0,00	10 560,45	664
D2-1-20	5,00	0,30	9433,70	1,90	2,17	9496,92	0,00	0,00	10 560,45	63
D2-1-20	5,00	0,10	7559,90	1,90	1,70	7590,65	0,00	0,00	10 560,45	31
D2-1-06	20,00	10,00	7262,40	1,90	1,80	7973,28	-0,04	0,00	10 560,45	711
D2-1-06	20,00	5,00	7237,90	0,00	1,50	6865,38	0,02	0,00	10 560,45	373
D2-1-06	20,00	3,00	6372,60	0,00	1,28	6114,41	0,02	0,00	10 560,45	258
D2-1-06	20,00	1,00	4861,90	0,00	0,80	4690,03	0,02	0,00	10 560,45	172
D2-1-06	20,00	0,30	3388,60	0,00	0,28	3422,71	0,00	0,00	10 560,45	34
D2-1-06	20,00	0,10	2372,60	0,00	-0,20	2517,33	-0,03	0,00	10 560,45	145
D2-1-13	20,00	10,00	8269,50	0,00	1,80	7973,28	0,02	0,00	10 560,45	296
D2-1-13	20,00	5,00	7636,90	0,00	1,50	6865,38	0,05	0,00	10 560,45	772
D2-1-13	20,00	3,00	6392,00	0,00	1,28	6114,41	0,02	0,00	10 560,45	278
D2-1-13	20,00	1,00	4775,10	0,00	0,80	4690,03	0,01	0,00	10 560,45	85
D2-1-13	20,00	0,30	3422,70	0,00	0,28	3422,71	0,00	0,00	10 560,45	0
D2-1-13	20,00	0,10	2352,70	0,00	-0,20	2517,33	-0,03	0,00	10 560,45	165
D2-1-20	20,00	10,00	8015,30	0,00	1,80	7973,28	0,00	0,00	10 560,45	42
D2-1-20	20,00	5,00	6505,00	0,00	1,50	6865,38	-0,02	0,00	10 560,45	360
D2-1-20	20,00	3,00	6322,70	0,00	1,28	6114,41	0,01	0,00	10 560,45	208
D2-1-20	20,00	1,00	4369,90	0,00	0,80	4690,03	-0,03	0,00	10 560,45	320
D2-1-20	20,00	0,30	2999,90	0,00	0,28	3422,71	-0,06	0,00	10 560,45	423
D2-1-20	20,00	0,10	2053,40	0,00	-0,20	2517,33	-0,09	0,01	10 560,45	464
D2-1-02	35,00	10,00	2880,80	-1,90	-0,10	2690,03	0,03	0,00	10 560,45	191
D2-1-02	35,00	5,00	2443,40	-1,90	-0,40	2202,84	0,05	0,00	10 560,45	241
D2-1-02	35,00	3,00	2036,80	-1,90	-0,62	1895,47	0,03	0,00	10 560,45	141
D2-1-02	35,00	1,00	1411,30	-1,90	-1,10	1366,30	0,01	0,00	10 560,45	45
D2-1-02	35,00	0,30	998,20	-1,90	-1,62	959,73	0,02	0,00	10 560,45	38
D2-1-02	35,00	0,10	748,00	-1,90	-2,10	710,87	0,02	0,00	10 560,45	37
D2-1-03	35,00	10,00	2879,20	-1,90	-0,10	2690,03	0,03	0,00	10 560,45	189
D2-1-03	35,00	5,00	2380,40	-1,90	-0,40	2202,84	0,03	0,00	10 560,45	178
D2-1-03	35,00	3,00	2018,90	-1,90	-0,62	1895,47	0,03	0,00	10 560,45	123
D2-1-03	35,00	1,00	1418,10	-1,90	-1,10	1366,30	0,02	0,00	10 560,45	52
D2-1-03	35,00	0,30	1004,00	-1,90	-1,62	959,73	0,02	0,00	10 560,45	44
D2-1-03	35,00	0,10	718,50	-1,90	-2,10	710,87	0,00	0,00	10 560,45	8
D2-1-22	35,00	10,00	2554,10	-1,90	-0,10	2690,03	-0,02	0,00	10 560,45	136
D2-1-22	35,00	5,00	2106,00	-1,90	-0,40	2202,84	-0,02	0,00	10 560,45	97
D2-1-22	35,00	3,00	1870,60	-1,90	-0,62	1895,47	-0,01	0,00	10 560,45	25
D2-1-22	35,00	1,00	1264,00	-1,90	-1,10	1366,30	-0,03	0,00	10 560,45	102
D2-1-22	35,00	0,30	931,40	-1,90	-1,62	959,73	-0,01	0,00	10 560,45	28
D2-1-22	35,00	0,10	640,90	-1,90	-2,10	710,87	-0,05	0,00	10 560,45	70

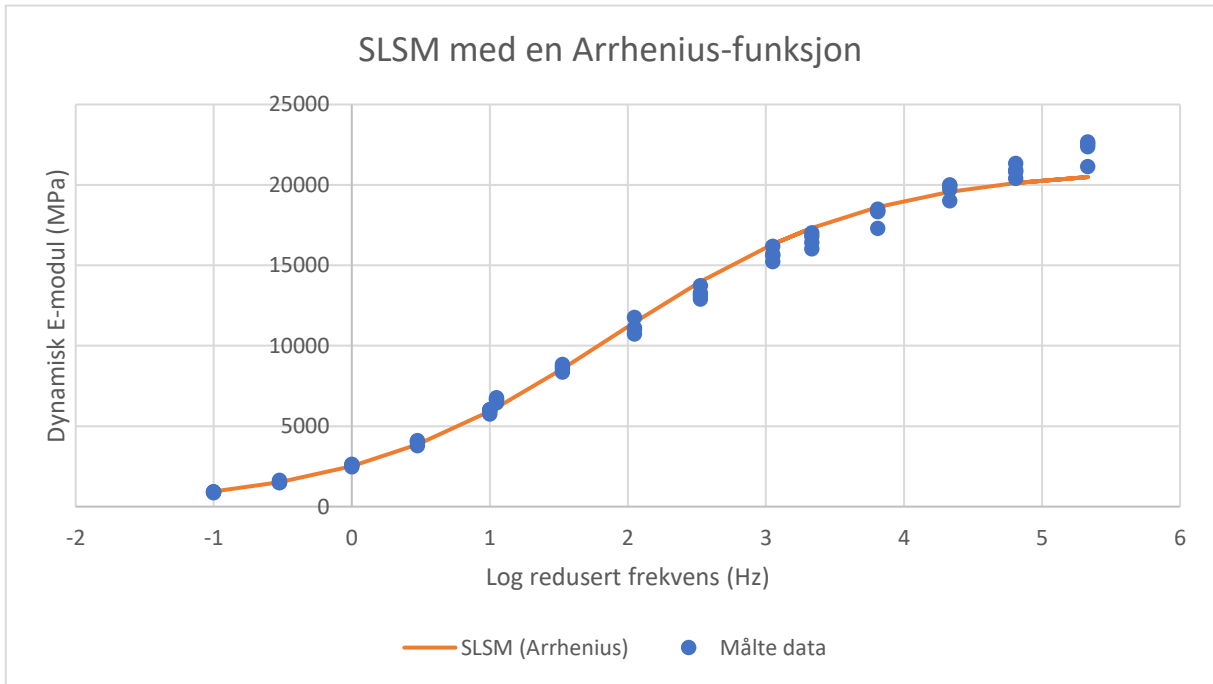
CAM-modellen med en polynomfunksjon



PK-Bez. [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier (E-modul) [MPa]	Skjffaktor αT $\log(\alpha T) = C2 \cdot (T - TR) + C3 \cdot (T - TR)^2$	Crossover frekvens $\omega \alpha T$ $\log(\omega \alpha T) = \alpha T + \log(f \cdot 2 \cdot \pi)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $[E^*] = E_{min} + (E_{maks} - E_{min}) / (1 + (\omega CE / 10 \cdot \log(\omega \alpha T))^2)^{1/2}$	Residual	Residual ²	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
D2-1-06	-10,00	10,00	25735,90	4,46	6,26	26568,92	-0,01	0,00	10560,45	833
D2-1-06	-10,00	5,00	25632,60	4,46	5,96	25417,07	0,00	0,00	10560,45	216
D2-1-06	-10,00	3,00	24458,30	4,46	5,74	24538,39	0,00	0,00	10560,45	80
D2-1-06	-10,00	1,00	22567,80	4,46	5,26	22570,54	0,00	0,00	10560,45	3
D2-1-06	-10,00	0,30	20688,80	4,46	4,74	20311,12	0,01	0,00	10560,45	378
D2-1-06	-10,00	0,10	19009,30	4,46	4,26	18183,70	0,02	0,00	10560,45	826
D2-1-13	-10,00	10,00	25793,30	4,46	6,26	26568,92	-0,01	0,00	10560,45	776
D2-1-13	-10,00	5,00	25216,50	4,46	5,96	25417,07	0,00	0,00	10560,45	201
D2-1-13	-10,00	3,00	22922,20	4,46	5,74	24538,39	-0,03	0,00	10560,45	1616
D2-1-13	-10,00	1,00	22076,70	4,46	5,26	22570,54	-0,01	0,00	10560,45	494
D2-1-13	-10,00	0,30	20234,50	4,46	4,74	20311,12	0,00	0,00	10560,45	77
D2-1-13	-10,00	0,10	18607,00	4,46	4,26	18183,70	0,01	0,00	10560,45	423
D2-1-20	-10,00	10,00	27689,00	4,46	6,26	26568,92	0,02	0,00	10560,45	1120
D2-1-20	-10,00	5,00	27308,50	4,46	5,96	25417,07	0,03	0,00	10560,45	1891
D2-1-20	-10,00	3,00	26234,40	4,46	5,74	24538,39	0,03	0,00	10560,45	1696
D2-1-20	-10,00	1,00	23899,40	4,46	5,26	22570,54	0,02	0,00	10560,45	1329
D2-1-20	-10,00	0,30	22421,90	4,46	4,74	20311,12	0,04	0,00	10560,45	2111
D2-1-20	-10,00	0,10	20374,00	4,46	4,26	18183,70	0,05	0,00	10560,45	2190
D2-1-06	5,00	10,00	14326,40	2,06	3,86	16368,82	-0,06	0,00	10560,45	2042
D2-1-06	5,00	5,00	13248,90	2,06	3,56	15009,09	-0,05	0,00	10560,45	1760
D2-1-06	5,00	3,00	13210,00	2,06	3,33	14014,13	-0,03	0,00	10560,45	804
D2-1-06	5,00	1,00	11078,00	2,06	2,86	11917,65	-0,03	0,00	10560,45	840
D2-1-06	5,00	0,30	9267,50	2,06	2,33	9732,96	-0,02	0,00	10560,45	465
D2-1-06	5,00	0,10	7706,00	2,06	1,86	7890,55	-0,01	0,00	10560,45	185
D2-1-13	5,00	10,00	15684,00	2,06	3,86	16368,82	-0,02	0,00	10560,45	685
D2-1-13	5,00	5,00	15187,10	2,06	3,56	15009,09	0,01	0,00	10560,45	178
D2-1-13	5,00	3,00	13701,90	2,06	3,33	14014,13	-0,01	0,00	10560,45	312
D2-1-13	5,00	1,00	12009,30	2,06	2,86	11917,65	0,00	0,00	10560,45	92
D2-1-13	5,00	0,30	9750,00	2,06	2,33	9732,96	0,00	0,00	10560,45	17
D2-1-13	5,00	0,10	8168,90	2,06	1,86	7890,55	0,02	0,00	10560,45	278
D2-1-20	5,00	10,00	15650,30	2,06	3,86	16368,82	-0,02	0,00	10560,45	719
D2-1-20	5,00	5,00	14016,20	2,06	3,56	15009,09	-0,03	0,00	10560,45	993
D2-1-20	5,00	3,00	13381,70	2,06	3,33	14014,13	-0,02	0,00	10560,45	632
D2-1-20	5,00	1,00	11186,90	2,06	2,86	11917,65	-0,03	0,00	10560,45	731
D2-1-20	5,00	0,30	9433,70	2,06	2,33	9732,96	-0,01	0,00	10560,45	299
D2-1-20	5,00	0,10	7559,90	2,06	1,86	7890,55	-0,02	0,00	10560,45	331
D2-1-06	20,00	10,00	7262,40	0,00	1,80	7673,68	-0,02	0,00	10560,45	411
D2-1-06	20,00	5,00	7237,90	0,00	1,50	6619,73	0,04	0,00	10560,45	618
D2-1-06	20,00	3,00	6372,60	0,00	1,28	5895,95	0,03	0,00	10560,45	477
D2-1-06	20,00	1,00	4861,90	0,00	0,80	4503,57	0,03	0,00	10560,45	358
D2-1-06	20,00	0,30	3388,60	0,00	0,28	3247,38	0,02	0,00	10560,45	141
D2-1-06	20,00	0,10	2372,60	0,00	-0,20	2346,56	0,00	0,00	10560,45	26
D2-1-13	20,00	10,00	8269,50	0,00	1,80	7673,68	0,03	0,00	10560,45	596
D2-1-13	20,00	5,00	7636,90	0,00	1,50	6619,73	0,06	0,00	10560,45	1017
D2-1-13	20,00	3,00	6392,00	0,00	1,28	5895,95	0,04	0,00	10560,45	496
D2-1-13	20,00	1,00	4775,10	0,00	0,80	4503,57	0,03	0,00	10560,45	272
D2-1-13	20,00	0,30	3422,70	0,00	0,28	3247,38	0,02	0,00	10560,45	175
D2-1-13	20,00	0,10	2352,70	0,00	-0,20	2346,56	0,00	0,00	10560,45	6
D2-1-20	20,00	10,00	8015,30	0,00	1,80	7673,68	0,02	0,00	10560,45	342
D2-1-20	20,00	5,00	6505,00	0,00	1,50	6619,73	-0,01	0,00	10560,45	115
D2-1-20	20,00	3,00	6322,70	0,00	1,28	5895,95	0,03	0,00	10560,45	427
D2-1-20	20,00	1,00	4369,90	0,00	0,80	4503,57	-0,01	0,00	10560,45	134
D2-1-20	20,00	0,30	2999,90	0,00	0,28	3247,38	-0,03	0,00	10560,45	247
D2-1-20	20,00	0,10	2053,40	0,00	-0,20	2346,56	-0,06	0,00	10560,45	293
D2-1-02	35,00	10,00	2880,80	-1,72	0,08	2853,29	0,00	0,00	10560,45	28
D2-1-02	35,00	5,00	2443,40	-1,72	-0,22	2317,02	0,02	0,00	10560,45	126
D2-1-02	35,00	3,00	2036,80	-1,72	-0,44	1977,75	0,01	0,00	10560,45	59
D2-1-02	35,00	1,00	1411,30	-1,72	-0,92	1395,68	0,00	0,00	10560,45	16
D2-1-02	35,00	0,30	998,20	-1,72	-1,44	957,17	0,02	0,00	10560,45	41
D2-1-02	35,00	0,10	748,00	-1,72	-1,92	699,72	0,03	0,00	10560,45	48
D2-1-03	35,00	10,00	2879,20	-1,72	0,08	2853,29	0,00	0,00	10560,45	26
D2-1-03	35,00	5,00	2380,40	-1,72	-0,22	2317,02	0,01	0,00	10560,45	63
D2-1-03	35,00	3,00	2018,90	-1,72	-0,44	1977,75	0,01	0,00	10560,45	41
D2-1-03	35,00	1,00	1418,10	-1,72	-0,92	1395,68	0,01	0,00	10560,45	22
D2-1-03	35,00	0,30	1004,00	-1,72	-1,44	957,17	0,02	0,00	10560,45	47
D2-1-03	35,00	0,10	718,50	-1,72	-1,92	699,72	0,01	0,00	10560,45	19
D2-1-22	35,00	10,00	2554,10	-1,72	0,08	2853,29	-0,05	0,00	10560,45	299
D2-1-22	35,00	5,00	2106,00	-1,72	-0,22	2317,02	-0,04	0,00	10560,45	211
D2-1-22	35,00	3,00	1870,60	-1,72	-0,44	1977,75	-0,02	0,00	10560,45	107
D2-1-22	35,00	1,00	1264,00	-1,72	-0,92	1395,68	-0,04	0,00	10560,45	132
D2-1-22	35,00	0,30	931,40	-1,72	-1,44	957,17	-0,01	0,00	10560,45	26
D2-1-22	35,00	0,10	640,90	-1,72	-1,92	699,72	-0,04	0,00	10560,45	59

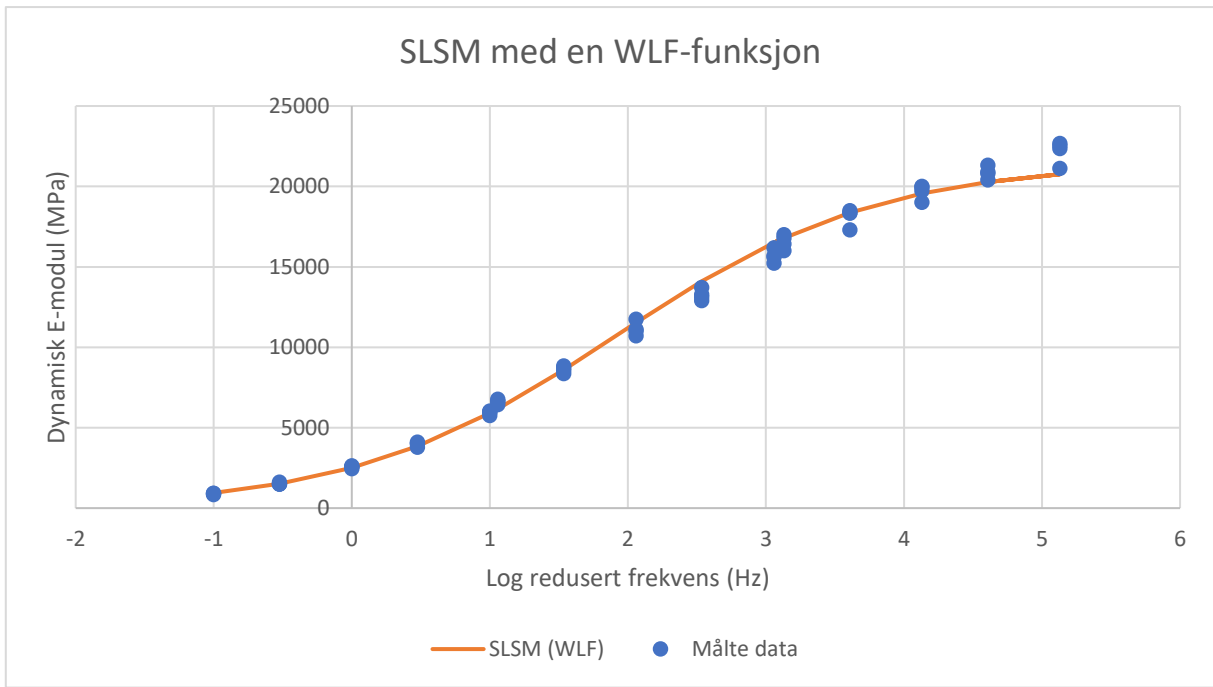
Vedlegg 6:

SMA 8 S – Målte og estimerte stivhetsverdier ved alle modellkombinasjoner



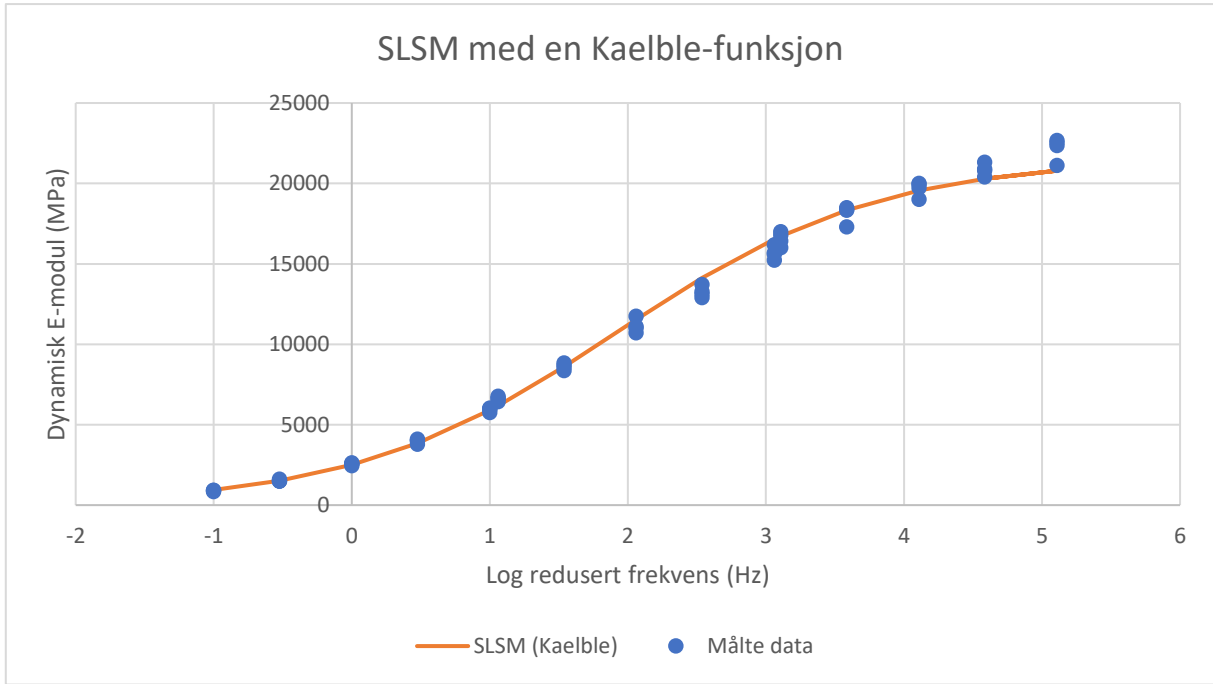
PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = (C \cdot (1/T) - 1/T_s)$	Redusert frekvens f_a $\log(f_a) = \log(\alpha T) - \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $E^* = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + \exp(\log(f_a) + \beta))$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	absolutt avvik [MPa]
PK-7-3	-10	10	22 671,80	4,33	5,33	20491,11	0,04	0,00	11 173,01	2181
PK-7-3	-10	3	20 810,90	4,33	4,81	20120,40	0,01	0,00	11 173,01	691
PK-7-3	-10	1	19 719,70	4,33	4,33	19571,82	0,00	0,00	11 173,01	148
PK-7-3	-10	0,3	18 324,30	4,33	3,81	18622,97	-0,01	0,00	11 173,01	299
PK-7-3	-10	0,1	16 425,30	4,33	3,33	17321,92	-0,02	0,00	11 173,01	897
PK-4-3	-10	10	22 538,40	4,33	5,33	20491,11	0,04	0,00	11 173,01	2047
PK-4-3	-10	3	21 324,30	4,33	4,81	20120,40	0,03	0,00	11 173,01	1204
PK-4-3	-10	1	20 001,50	4,33	4,33	19571,82	0,01	0,00	11 173,01	430
PK-4-3	-10	0,3	18 371,90	4,33	3,81	18622,97	-0,01	0,00	11 173,01	251
PK-4-3	-10	0,1	17 009,80	4,33	3,33	17321,92	-0,01	0,00	11 173,01	312
PK-4-2	-10	10	22 361,80	4,33	5,33	20491,11	0,04	0,00	11 173,01	1871
PK-4-2	-10	3	20 907,90	4,33	4,81	20120,40	0,02	0,00	11 173,01	788
PK-4-2	-10	1	19 941,40	4,33	4,33	19571,82	0,01	0,00	11 173,01	370
PK-4-2	-10	0,3	18 496,20	4,33	3,81	18622,97	0,00	0,00	11 173,01	127
PK-4-2	-10	0,1	16 791,10	4,33	3,33	17321,92	-0,01	0,00	11 173,01	531
PK-7-2	-10	10	21 126,20	4,33	5,33	20491,11	0,01	0,00	11 173,01	635
PK-7-2	-10	3	20 407,10	4,33	4,81	20120,40	0,01	0,00	11 173,01	287
PK-7-2	-10	1	19 009,50	4,33	4,33	19571,82	-0,01	0,00	11 173,01	562
PK-7-2	-10	0,3	17 300,90	4,33	3,81	18622,97	-0,03	0,00	11 173,01	1322
PK-7-2	-10	0,1	16 013,00	4,33	3,33	17321,92	-0,03	0,00	11 173,01	1309
PK-7-3	5	10	16 182,40	2,05	3,05	16315,38	0,00	0,00	11 173,01	133
PK-7-3	5	3	13 723,80	2,05	2,53	13990,62	-0,01	0,00	11 173,01	267
PK-7-3	5	1	11 753,10	2,05	2,05	11460,59	0,01	0,00	11 173,01	293
PK-7-3	5	0,3	8 842,00	2,05	1,53	8565,90	0,01	0,00	11 173,01	276
PK-7-3	5	0,1	6 773,00	2,05	1,05	6156,67	0,04	0,00	11 173,01	616
PK-4-3	5	10	15 611,50	2,05	3,05	16315,38	-0,02	0,00	11 173,01	704
PK-4-3	5	3	13 117,50	2,05	2,53	13990,62	-0,03	0,00	11 173,01	873
PK-4-3	5	1	11 018,60	2,05	2,05	11460,59	-0,02	0,00	11 173,01	442
PK-4-3	5	0,3	8 699,90	2,05	1,53	8565,90	0,01	0,00	11 173,01	134
PK-4-3	5	0,1	6 657,20	2,05	1,05	6156,67	0,03	0,00	11 173,01	501
PK-4-2	5	10	15 680,20	2,05	3,05	16315,38	-0,02	0,00	11 173,01	635
PK-4-2	5	3	13 281,50	2,05	2,53	13990,62	-0,02	0,00	11 173,01	709
PK-4-2	5	1	11 106,30	2,05	2,05	11460,59	-0,01	0,00	11 173,01	354
PK-4-2	5	0,3	8 556,20	2,05	1,53	8565,90	0,00	0,00	11 173,01	10
PK-4-2	5	0,1	6 640,10	2,05	1,05	6156,67	0,03	0,00	11 173,01	483
PK-7-2	5	10	15 222,20	2,05	3,05	16315,38	-0,03	0,00	11 173,01	1093
PK-7-2	5	3	12 894,70	2,05	2,53	13990,62	-0,04	0,00	11 173,01	1096
PK-7-2	5	1	10 719,80	2,05	2,05	11460,59	-0,03	0,00	11 173,01	741
PK-7-2	5	0,3	8 363,00	2,05	1,53	8565,90	-0,01	0,00	11 173,01	203
PK-7-2	5	0,1	6 442,00	2,05	1,05	6156,67	0,02	0,00	11 173,01	285
PK-7-3	20	10	6 000,10	0,00	1,00	5929,90	0,01	0,00	11 173,01	70
PK-7-3	20	3	4 014,90	0,00	0,48	3866,62	0,02	0,00	11 173,01	148
PK-7-3	20	1	2 579,50	0,00	0,00	2512,31	0,01	0,00	11 173,01	67
PK-7-3	20	0,3	1 500,10	0,00	-0,52	1518,44	-0,01	0,00	11 173,01	18
PK-7-3	20	0,1	896	0,00	-1,00	941,43	-0,02	0,00	11 173,01	45
PK-4-3	20	10	5 938,40	0,00	1,00	5929,90	0,00	0,00	11 173,01	8
PK-4-3	20	3	4 094,90	0,00	0,48	3866,62	0,02	0,00	11 173,01	228
PK-4-3	20	1	2 627,40	0,00	0,00	2512,31	0,02	0,00	11 173,01	115
PK-4-3	20	0,3	1 620,30	0,00	-0,52	1518,44	0,03	0,00	11 173,01	102
PK-4-3	20	0,1	916,8	0,00	-1,00	941,43	-0,01	0,00	11 173,01	25
PK-4-2	20	10	6 036,60	0,00	1,00	5929,90	0,01	0,00	11 173,01	107
PK-4-2	20	3	4 012,70	0,00	0,48	3866,62	0,02	0,00	11 173,01	146
PK-4-2	20	1	2 573,80	0,00	0,00	2512,31	0,01	0,00	11 173,01	61
PK-4-2	20	0,3	1 491,60	0,00	-0,52	1518,44	-0,01	0,00	11 173,01	27
PK-4-2	20	0,1	843,7	0,00	-1,00	941,43	-0,05	0,00	11 173,01	98
PK-7-2	20	10	5 746,70	0,00	1,00	5929,90	-0,01	0,00	11 173,01	183
PK-7-2	20	3	3 783,50	0,00	0,48	3866,62	-0,01	0,00	11 173,01	83
PK-7-2	20	1	2 458,10	0,00	0,00	2512,31	-0,01	0,00	11 173,01	54
PK-7-2	20	0,3	1 489,40	0,00	-0,52	1518,44	-0,01	0,00	11 173,01	29
PK-7-2	20	0,1	917,8	0,00	-1,00	941,43	-0,01	0,00	11 173,01	24

SLSM med en WLF-funksjon

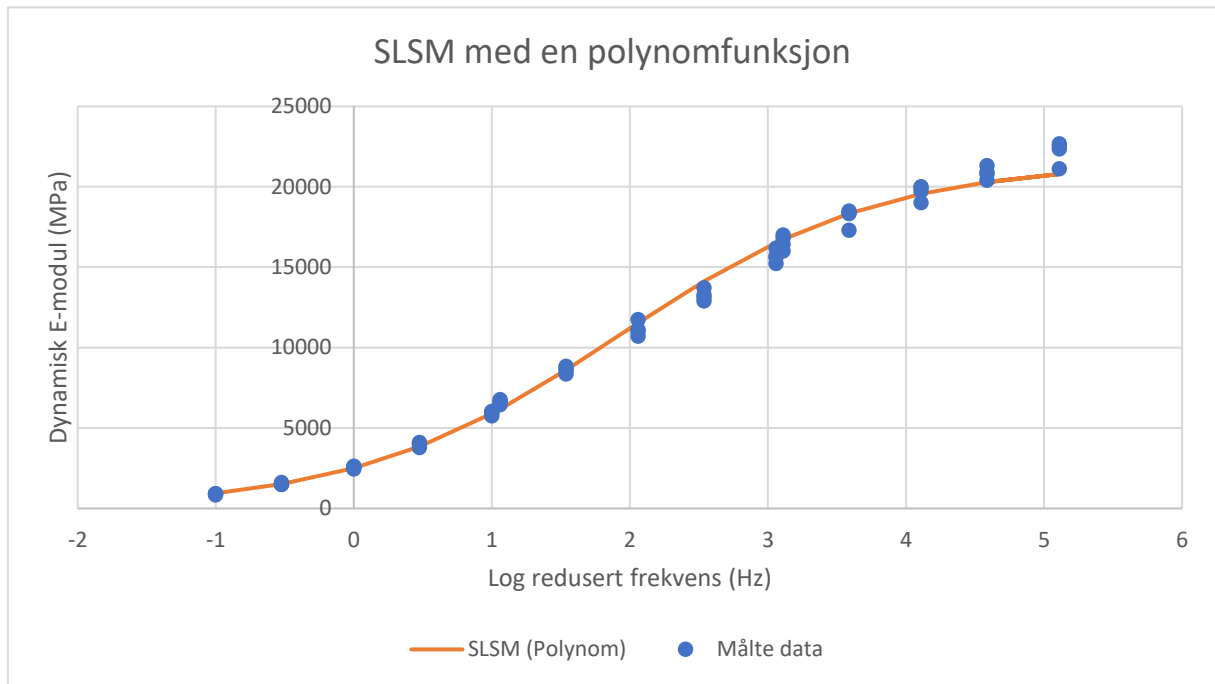


PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = (-C1 \cdot (T - TR) / (C2 + T - TR))$	Redusert frekvens f_r $\log(f_r) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $[E^*] = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + \exp(\gamma \log(f_r) + \beta))$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
PK-7-3	-10	10	22 671,80	4,13	5,13	20760,81	0,04	0,00	11 173,01	1911
PK-7-3	-10	3	20 810,90	4,13	4,61	20274,35	0,01	0,00	11 173,01	537
PK-7-3	-10	1	19 719,70	4,13	4,13	19566,74	0,00	0,00	11 173,01	153
PK-7-3	-10	0,3	18 324,30	4,13	3,61	18373,08	0,00	0,00	11 173,01	49
PK-7-3	-10	0,1	16 425,30	4,13	3,13	16792,08	-0,01	0,00	11 173,01	367
PK-4-3	-10	10	22 538,40	4,13	5,13	20760,81	0,04	0,00	11 173,01	1778
PK-4-3	-10	3	21 324,30	4,13	4,61	20274,35	0,02	0,00	11 173,01	1050
PK-4-3	-10	1	20 001,50	4,13	4,13	19566,74	0,01	0,00	11 173,01	435
PK-4-3	-10	0,3	18 371,90	4,13	3,61	18373,08	0,00	0,00	11 173,01	1
PK-4-3	-10	0,1	17 009,80	4,13	3,13	16792,08	0,01	0,00	11 173,01	218
PK-4-2	-10	10	22 361,80	4,13	5,13	20760,81	0,03	0,00	11 173,01	1601
PK-4-2	-10	3	20 907,90	4,13	4,61	20274,35	0,01	0,00	11 173,01	634
PK-4-2	-10	1	19 941,40	4,13	4,13	19566,74	0,01	0,00	11 173,01	375
PK-4-2	-10	0,3	18 496,20	4,13	3,61	18373,08	0,00	0,00	11 173,01	123
PK-4-2	-10	0,1	16 791,10	4,13	3,13	16792,08	0,00	0,00	11 173,01	1
PK-7-2	-10	10	21 126,20	4,13	5,13	20760,81	0,01	0,00	11 173,01	365
PK-7-2	-10	3	20 407,10	4,13	4,61	20274,35	0,00	0,00	11 173,01	133
PK-7-2	-10	1	19 009,50	4,13	4,13	19566,74	-0,01	0,00	11 173,01	557
PK-7-2	-10	0,3	17 300,90	4,13	3,61	18373,08	-0,03	0,00	11 173,01	1072
PK-7-2	-10	0,1	16 013,00	4,13	3,13	16792,08	-0,02	0,00	11 173,01	779
PK-7-3	5	10	16 182,40	2,06	3,06	16509,54	-0,01	0,00	11 173,01	327
PK-7-3	5	3	13 723,80	2,06	2,54	14112,26	-0,01	0,00	11 173,01	388
PK-7-3	5	1	11 753,10	2,06	2,06	11528,63	0,01	0,00	11 173,01	224
PK-7-3	5	0,3	8 842,00	2,06	1,54	8598,41	0,01	0,00	11 173,01	244
PK-7-3	5	0,1	6 773,00	2,06	1,06	6175,79	0,04	0,00	11 173,01	597
PK-4-3	5	10	15 611,50	2,06	3,06	16509,54	-0,02	0,00	11 173,01	898
PK-4-3	5	3	13 117,50	2,06	2,54	14112,26	-0,03	0,00	11 173,01	995
PK-4-3	5	1	11 018,60	2,06	2,06	11528,63	-0,02	0,00	11 173,01	510
PK-4-3	5	0,3	8 699,90	2,06	1,54	8598,41	0,01	0,00	11 173,01	101
PK-4-3	5	0,1	6 657,20	2,06	1,06	6175,79	0,03	0,00	11 173,01	481
PK-4-2	5	10	15 680,20	2,06	3,06	16509,54	-0,02	0,00	11 173,01	829
PK-4-2	5	3	13 281,50	2,06	2,54	14112,26	-0,03	0,00	11 173,01	831
PK-4-2	5	1	11 106,30	2,06	2,06	11528,63	-0,02	0,00	11 173,01	422
PK-4-2	5	0,3	8 556,20	2,06	1,54	8598,41	0,00	0,00	11 173,01	42
PK-4-2	5	0,1	6 640,10	2,06	1,06	6175,79	0,03	0,00	11 173,01	464
PK-7-2	5	10	15 222,20	2,06	3,06	16509,54	-0,04	0,00	11 173,01	1287
PK-7-2	5	3	12 894,70	2,06	2,54	14112,26	-0,04	0,00	11 173,01	1218
PK-7-2	5	1	10 719,80	2,06	2,06	11528,63	-0,03	0,00	11 173,01	809
PK-7-2	5	0,3	8 363,00	2,06	1,54	8598,41	-0,01	0,00	11 173,01	235
PK-7-2	5	0,1	6 442,00	2,06	1,06	6175,79	0,02	0,00	11 173,01	266
PK-7-3	20	10	6 000,10	0,00	1,00	5905,56	0,01	0,00	11 173,01	95
PK-7-3	20	3	4 014,90	0,00	0,48	3850,44	0,02	0,00	11 173,01	164
PK-7-3	20	1	2 579,50	0,00	0,00	2505,02	0,01	0,00	11 173,01	74
PK-7-3	20	0,3	1 500,10	0,00	-0,52	1517,80	-0,01	0,00	11 173,01	18
PK-7-3	20	0,1	896	0,00	-1,00	943,77	-0,02	0,00	11 173,01	48
PK-4-3	20	10	5 938,40	0,00	1,00	5905,56	0,00	0,00	11 173,01	33
PK-4-3	20	3	4 094,90	0,00	0,48	3850,44	0,03	0,00	11 173,01	244
PK-4-3	20	1	2 627,40	0,00	0,00	2505,02	0,02	0,00	11 173,01	122
PK-4-3	20	0,3	1 620,30	0,00	-0,52	1517,80	0,03	0,00	11 173,01	102
PK-4-3	20	0,1	916,8	0,00	-1,00	943,77	-0,01	0,00	11 173,01	27
PK-4-2	20	10	6 036,60	0,00	1,00	5905,56	0,01	0,00	11 173,01	131
PK-4-2	20	3	4 012,70	0,00	0,48	3850,44	0,02	0,00	11 173,01	162
PK-4-2	20	1	2 573,80	0,00	0,00	2505,02	0,01	0,00	11 173,01	69
PK-4-2	20	0,3	1 491,60	0,00	-0,52	1517,80	-0,01	0,00	11 173,01	26
PK-4-2	20	0,1	843,7	0,00	-1,00	943,77	-0,05	0,00	11 173,01	100
PK-7-2	20	10	5 746,70	0,00	1,00	5905,56	-0,01	0,00	11 173,01	159
PK-7-2	20	3	3 783,50	0,00	0,48	3850,44	-0,01	0,00	11 173,01	67
PK-7-2	20	1	2 458,10	0,00	0,00	2505,02	-0,01	0,00	11 173,01	47
PK-7-2	20	0,3	1 489,40	0,00	-0,52	1517,80	-0,01	0,00	11 173,01	28
PK-7-2	20	0,1	917,8	0,00	-1,00	943,77	-0,01	0,00	11 173,01	26

SLSM med en Kaelble-funksjon

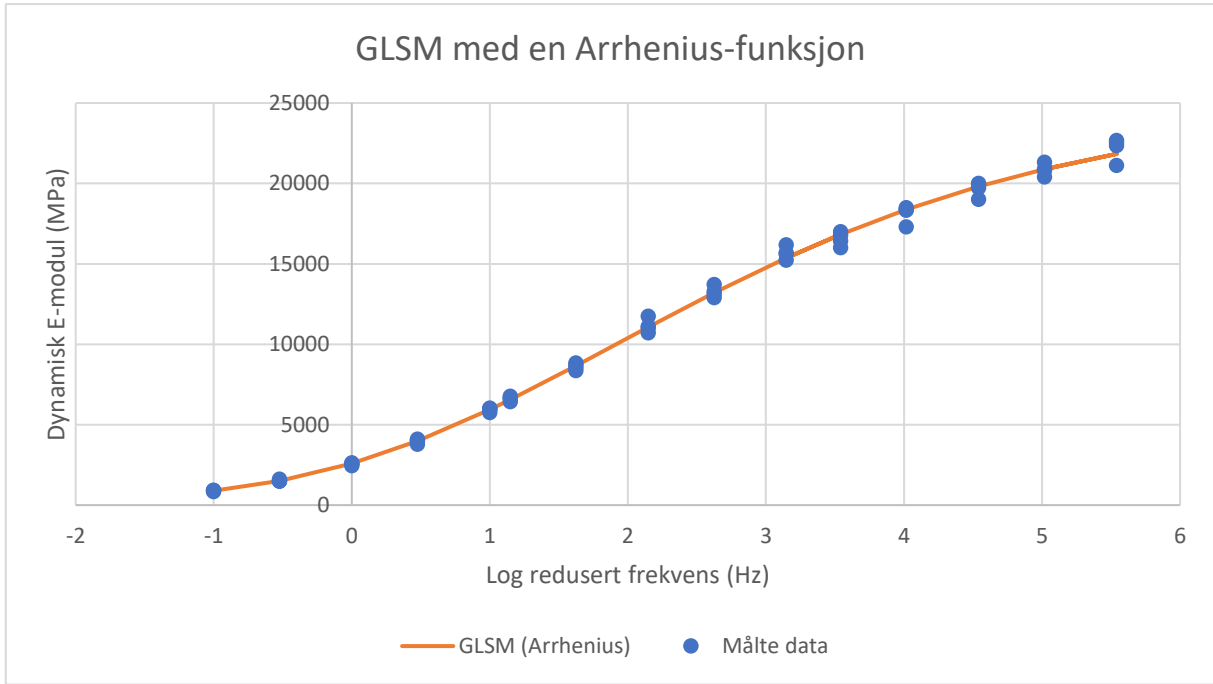


PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = (-C1*(Ti - TR))/(C2+ Ti - Tr)$	Redusert frekvens f_r $\log(f_r) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $[E^*] = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + \exp(\beta + \nu \log(f_r)))$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	absolutt avvik [MPa]
PK-7-3	-10	10	22 671,80	4,11	5,11	20792,11	0,04	0,00	11 173,01	1880
PK-7-3	-10	3	20 810,90	4,11	4,59	20290,98	0,01	0,00	11 173,01	520
PK-7-3	-10	1	19 719,70	4,11	4,11	19563,59	0,00	0,00	11 173,01	156
PK-7-3	-10	0,3	18 324,30	4,11	3,59	18340,35	0,00	0,00	11 173,01	16
PK-7-3	-10	0,1	16 425,30	4,11	3,11	16726,95	-0,01	0,00	11 173,01	302
PK-4-3	-10	10	22 538,40	4,11	5,11	20792,11	0,04	0,00	11 173,01	1746
PK-4-3	-10	3	21 324,30	4,11	4,59	20290,98	0,02	0,00	11 173,01	1033
PK-4-3	-10	1	20 001,50	4,11	4,11	19563,59	0,01	0,00	11 173,01	438
PK-4-3	-10	0,3	18 371,90	4,11	3,59	18340,35	0,00	0,00	11 173,01	32
PK-4-3	-10	0,1	17 009,80	4,11	3,11	16726,95	0,01	0,00	11 173,01	283
PK-4-2	-10	10	22 361,80	4,11	5,11	20792,11	0,03	0,00	11 173,01	1570
PK-4-2	-10	3	20 907,90	4,11	4,59	20290,98	0,01	0,00	11 173,01	617
PK-4-2	-10	1	19 941,40	4,11	4,11	19563,59	0,01	0,00	11 173,01	378
PK-4-2	-10	0,3	18 496,20	4,11	3,59	18340,35	0,00	0,00	11 173,01	156
PK-4-2	-10	0,1	16 791,10	4,11	3,11	16726,95	0,00	0,00	11 173,01	64
PK-7-2	-10	10	21 126,20	4,11	5,11	20792,11	0,01	0,00	11 173,01	334
PK-7-2	-10	3	20 407,10	4,11	4,59	20290,98	0,00	0,00	11 173,01	116
PK-7-2	-10	1	19 009,50	4,11	4,11	19563,59	-0,01	0,00	11 173,01	554
PK-7-2	-10	0,3	17 300,90	4,11	3,59	18340,35	-0,03	0,00	11 173,01	1039
PK-7-2	-10	0,1	16 013,00	4,11	3,11	16726,95	-0,02	0,00	11 173,01	714
PK-7-3	5	10	16 182,40	2,06	3,06	16534,06	-0,01	0,00	11 173,01	352
PK-7-3	5	3	13 723,80	2,06	2,54	14128,45	-0,01	0,00	11 173,01	405
PK-7-3	5	1	11 753,10	2,06	2,06	11538,66	0,01	0,00	11 173,01	214
PK-7-3	5	0,3	8 842,00	2,06	1,54	8604,23	0,01	0,00	11 173,01	238
PK-7-3	5	0,1	6 773,00	2,06	1,06	6179,81	0,04	0,00	11 173,01	593
PK-4-3	5	10	15 611,50	2,06	3,06	16534,06	-0,02	0,00	11 173,01	923
PK-4-3	5	3	13 117,50	2,06	2,54	14128,45	-0,03	0,00	11 173,01	1011
PK-4-3	5	1	11 018,60	2,06	2,06	11538,66	-0,02	0,00	11 173,01	520
PK-4-3	5	0,3	8 699,90	2,06	1,54	8604,23	0,00	0,00	11 173,01	96
PK-4-3	5	0,1	6 657,20	2,06	1,06	6179,81	0,03	0,00	11 173,01	477
PK-4-2	5	10	15 680,20	2,06	3,06	16534,06	-0,02	0,00	11 173,01	854
PK-4-2	5	3	13 281,50	2,06	2,54	14128,45	-0,03	0,00	11 173,01	847
PK-4-2	5	1	11 106,30	2,06	2,06	11538,66	-0,02	0,00	11 173,01	432
PK-4-2	5	0,3	8 556,20	2,06	1,54	8604,23	0,00	0,00	11 173,01	48
PK-4-2	5	0,1	6 640,10	2,06	1,06	6179,81	0,03	0,00	11 173,01	460
PK-7-2	5	10	15 222,20	2,06	3,06	16534,06	-0,04	0,00	11 173,01	1312
PK-7-2	5	3	12 894,70	2,06	2,54	14128,45	-0,04	0,00	11 173,01	1234
PK-7-2	5	1	10 719,80	2,06	2,06	11538,66	-0,03	0,00	11 173,01	819
PK-7-2	5	0,3	8 363,00	2,06	1,54	8604,23	-0,01	0,00	11 173,01	241
PK-7-2	5	0,1	6 442,00	2,06	1,06	6179,81	0,02	0,00	11 173,01	262
PK-7-3	20	10	6 000,10	0,00	1,00	5902,26	0,01	0,00	11 173,01	98
PK-7-3	20	3	4 014,90	0,00	0,48	3848,29	0,02	0,00	11 173,01	167
PK-7-3	20	1	2 579,50	0,00	0,00	2504,03	0,01	0,00	11 173,01	75
PK-7-3	20	0,3	1 500,10	0,00	-0,52	1517,67	-0,01	0,00	11 173,01	18
PK-7-3	20	0,1	896	0,00	-1,00	944,02	-0,02	0,00	11 173,01	48
PK-4-3	20	10	5 938,40	0,00	1,00	5902,26	0,00	0,00	11 173,01	36
PK-4-3	20	3	4 094,90	0,00	0,48	3848,29	0,03	0,00	11 173,01	247
PK-4-3	20	1	2 627,40	0,00	0,00	2504,03	0,02	0,00	11 173,01	123
PK-4-3	20	0,3	1 620,30	0,00	-0,52	1517,67	0,03	0,00	11 173,01	103
PK-4-3	20	0,1	916,8	0,00	-1,00	944,02	-0,01	0,00	11 173,01	27
PK-4-2	20	10	6 036,60	0,00	1,00	5902,26	0,01	0,00	11 173,01	134
PK-4-2	20	3	4 012,70	0,00	0,48	3848,29	0,02	0,00	11 173,01	164
PK-4-2	20	1	2 573,80	0,00	0,00	2504,03	0,01	0,00	11 173,01	70
PK-4-2	20	0,3	1 491,60	0,00	-0,52	1517,67	-0,01	0,00	11 173,01	26
PK-4-2	20	0,1	843,7	0,00	-1,00	944,02	-0,05	0,00	11 173,01	100
PK-7-2	20	10	5 746,70	0,00	1,00	5902,26	-0,01	0,00	11 173,01	156
PK-7-2	20	3	3 783,50	0,00	0,48	3848,29	-0,01	0,00	11 173,01	65
PK-7-2	20	1	2 458,10	0,00	0,00	2504,03	-0,01	0,00	11 173,01	46
PK-7-2	20	0,3	1 489,40	0,00	-0,52	1517,67	-0,01	0,00	11 173,01	28
PK-7-2	20	0,1	917,8	0,00	-1,00	944,02	-0,01	0,00	11 173,01	26

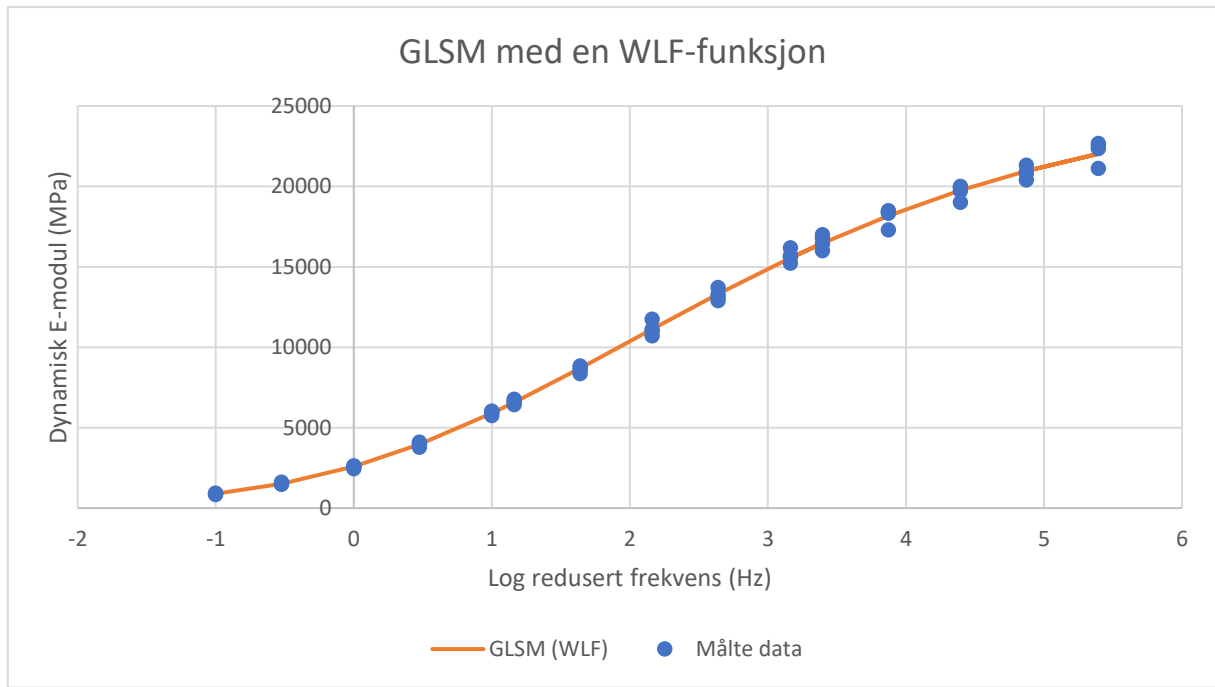


PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = C2 \cdot (T - Tr) + C3 \cdot (T - Tr)^2$	Redusert frekvens f_R $\log(f_R) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $[E^*] = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + \exp(\gamma \log(f_R) + \beta))$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
Pk-7-3	-10	10	22 671,80	4,11	5,11	20789,58	0,04	0,00	11 173,01	1882
Pk-7-3	-10	3	20 810,90	4,11	4,59	20289,61	0,01	0,00	11 173,01	521
Pk-7-3	-10	1	19 719,70	4,11	4,11	19563,78	0,00	0,00	11 173,01	156
Pk-7-3	-10	0,3	18 324,30	4,11	3,59	18342,86	0,00	0,00	11 173,01	19
Pk-7-3	-10	0,1	16 425,30	4,11	3,11	16731,99	-0,01	0,00	11 173,01	307
Pk-4-3	-10	10	22 538,40	4,11	5,11	20789,58	0,04	0,00	11 173,01	1749
Pk-4-3	-10	3	21 324,30	4,11	4,59	20289,61	0,02	0,00	11 173,01	1035
Pk-4-3	-10	1	20 001,50	4,11	4,11	19563,78	0,01	0,00	11 173,01	438
Pk-4-3	-10	0,3	18 371,90	4,11	3,59	18342,86	0,00	0,00	11 173,01	29
Pk-4-3	-10	0,1	17 009,80	4,11	3,11	16731,99	0,01	0,00	11 173,01	278
Pk-4-2	-10	10	22 361,80	4,11	5,11	20789,58	0,03	0,00	11 173,01	1572
Pk-4-2	-10	3	20 907,90	4,11	4,59	20289,61	0,01	0,00	11 173,01	618
Pk-4-2	-10	1	19 941,40	4,11	4,11	19563,78	0,01	0,00	11 173,01	378
Pk-4-2	-10	0,3	18 496,20	4,11	3,59	18342,86	0,00	0,00	11 173,01	153
Pk-4-2	-10	0,1	16 791,10	4,11	3,11	16731,99	0,00	0,00	11 173,01	59
Pk-7-2	-10	10	21 126,20	4,11	5,11	20789,58	0,01	0,00	11 173,01	337
Pk-7-2	-10	3	20 407,10	4,11	4,59	20289,61	0,00	0,00	11 173,01	117
Pk-7-2	-10	1	19 009,50	4,11	4,11	19563,78	-0,01	0,00	11 173,01	554
Pk-7-2	-10	0,3	17 300,90	4,11	3,59	18342,86	-0,03	0,00	11 173,01	1042
Pk-7-2	-10	0,1	16 013,00	4,11	3,11	16731,99	-0,02	0,00	11 173,01	719
Pk-7-3	5	10	16 182,40	2,06	3,06	16532,11	-0,01	0,00	11 173,01	350
Pk-7-3	5	3	13 723,80	2,06	2,54	14127,17	-0,01	0,00	11 173,01	403
Pk-7-3	5	1	11 753,10	2,06	2,06	11537,87	0,01	0,00	11 173,01	215
Pk-7-3	5	0,3	8 842,00	2,06	1,54	8603,78	0,01	0,00	11 173,01	238
Pk-7-3	5	0,1	6 773,00	2,06	1,06	6179,50	0,04	0,00	11 173,01	593
Pk-4-3	5	10	15 611,50	2,06	3,06	16532,11	-0,02	0,00	11 173,01	921
Pk-4-3	5	3	13 117,50	2,06	2,54	14127,17	-0,03	0,00	11 173,01	1010
Pk-4-3	5	1	11 018,60	2,06	2,06	11537,87	-0,02	0,00	11 173,01	519
Pk-4-3	5	0,3	8 699,90	2,06	1,54	8603,78	0,00	0,00	11 173,01	96
Pk-4-3	5	0,1	6 657,20	2,06	1,06	6179,50	0,03	0,00	11 173,01	478
Pk-4-2	5	10	15 680,20	2,06	3,06	16532,11	-0,02	0,00	11 173,01	852
Pk-4-2	5	3	13 281,50	2,06	2,54	14127,17	-0,03	0,00	11 173,01	846
Pk-4-2	5	1	11 106,30	2,06	2,06	11537,87	-0,02	0,00	11 173,01	432
Pk-4-2	5	0,3	8 556,20	2,06	1,54	8603,78	0,00	0,00	11 173,01	48
Pk-4-2	5	0,1	6 640,10	2,06	1,06	6179,50	0,03	0,00	11 173,01	461
Pk-7-2	5	10	15 222,20	2,06	3,06	16532,11	-0,04	0,00	11 173,01	1310
Pk-7-2	5	3	12 894,70	2,06	2,54	14127,17	-0,04	0,00	11 173,01	1232
Pk-7-2	5	1	10 719,80	2,06	2,06	11537,87	-0,03	0,00	11 173,01	818
Pk-7-2	5	0,3	8 363,00	2,06	1,54	8603,78	-0,01	0,00	11 173,01	241
Pk-7-2	5	0,1	6 442,00	2,06	1,06	6179,50	0,02	0,00	11 173,01	262
Pk-7-3	20	10	6 000,10	0,00	1,00	5902,52	0,01	0,00	11 173,01	98
Pk-7-3	20	3	4 014,90	0,00	0,48	3848,46	0,02	0,00	11 173,01	166
Pk-7-3	20	1	2 579,50	0,00	0,00	2504,11	0,01	0,00	11 173,01	75
Pk-7-3	20	0,3	1 500,10	0,00	-0,52	1517,68	-0,01	0,00	11 173,01	18
Pk-7-3	20	0,1	896	0,00	-1,00	944,01	-0,02	0,00	11 173,01	48
Pk-4-3	20	10	5 938,40	0,00	1,00	5902,52	0,00	0,00	11 173,01	36
Pk-4-3	20	3	4 094,90	0,00	0,48	3848,46	0,03	0,00	11 173,01	246
Pk-4-3	20	1	2 627,40	0,00	0,00	2504,11	0,02	0,00	11 173,01	123
Pk-4-3	20	0,3	1 620,30	0,00	-0,52	1517,68	0,03	0,00	11 173,01	103
Pk-4-3	20	0,1	916,8	0,00	-1,00	944,01	-0,01	0,00	11 173,01	27
Pk-4-2	20	10	6 036,60	0,00	1,00	5902,52	0,01	0,00	11 173,01	134
Pk-4-2	20	3	4 012,70	0,00	0,48	3848,46	0,02	0,00	11 173,01	164
Pk-4-2	20	1	2 573,80	0,00	0,00	2504,11	0,01	0,00	11 173,01	70
Pk-4-2	20	0,3	1 491,60	0,00	-0,52	1517,68	-0,01	0,00	11 173,01	26
Pk-4-2	20	0,1	843,7	0,00	-1,00	944,01	-0,05	0,00	11 173,01	100
Pk-7-2	20	10	5 746,70	0,00	1,00	5902,52	-0,01	0,00	11 173,01	156
Pk-7-2	20	3	3 783,50	0,00	0,48	3848,46	-0,01	0,00	11 173,01	65
Pk-7-2	20	1	2 458,10	0,00	0,00	2504,11	-0,01	0,00	11 173,01	46
Pk-7-2	20	0,3	1 489,40	0,00	-0,52	1517,68	-0,01	0,00	11 173,01	28
Pk-7-2	20	0,1	917,8	0,00	-1,00	944,01	-0,01	0,00	11 173,01	26

GLSM med en Arrhenius-funksjon

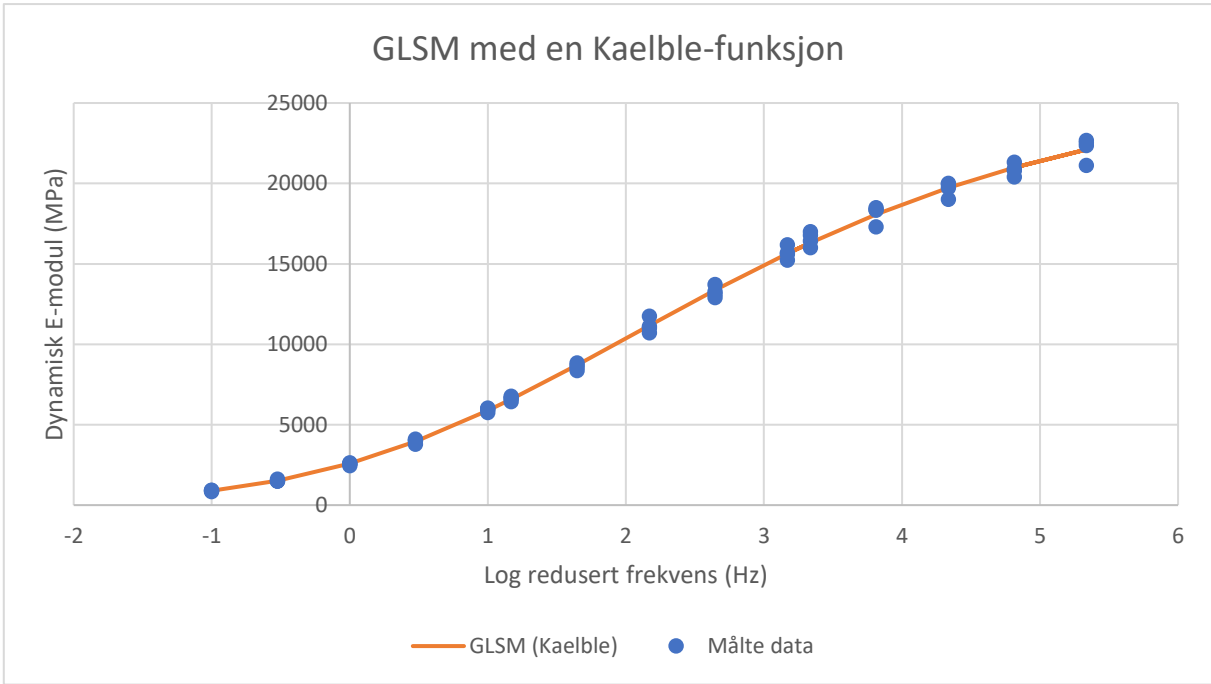


PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skjutfaktor αT $\log(\alpha T) = (C \cdot (1/T_i - 1/T_r))$	Redusert frekvens f_R $\log(f_R) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $ E^* = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + \Lambda^* \exp(-\log(f_R) + \beta))^{1/\Lambda}$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
Pk-7-3	-10	10	22 671,80	4,54	5,54	21836,49	0,02	0,00	11 173,01	835
Pk-7-3	-10	3	20 810,90	4,54	5,02	20886,48	0,00	0,00	11 173,01	76
Pk-7-3	-10	1	19 719,70	4,54	4,54	19813,78	0,00	0,00	11 173,01	94
Pk-7-3	-10	0,3	18 324,30	4,54	4,02	18382,81	0,00	0,00	11 173,01	59
Pk-7-3	-10	0,1	16 425,30	4,54	3,54	16827,66	-0,01	0,00	11 173,01	402
Pk-4-3	-10	10	22 538,40	4,54	5,54	21836,49	0,01	0,00	11 173,01	702
Pk-4-3	-10	3	21 324,30	4,54	5,02	20886,48	0,01	0,00	11 173,01	438
Pk-4-3	-10	1	20 001,50	4,54	4,54	19813,78	0,00	0,00	11 173,01	188
Pk-4-3	-10	0,3	18 371,90	4,54	4,02	18382,81	0,00	0,00	11 173,01	11
Pk-4-3	-10	0,1	17 009,80	4,54	3,54	16827,66	0,00	0,00	11 173,01	182
Pk-4-2	-10	10	22 361,80	4,54	5,54	21836,49	0,01	0,00	11 173,01	525
Pk-4-2	-10	3	20 907,90	4,54	5,02	20886,48	0,00	0,00	11 173,01	21
Pk-4-2	-10	1	19 941,40	4,54	4,54	19813,78	0,00	0,00	11 173,01	128
Pk-4-2	-10	0,3	18 496,20	4,54	4,02	18382,81	0,00	0,00	11 173,01	113
Pk-4-2	-10	0,1	16 791,10	4,54	3,54	16827,66	0,00	0,00	11 173,01	37
Pk-7-2	-10	10	21 126,20	4,54	5,54	21836,49	-0,01	0,00	11 173,01	710
Pk-7-2	-10	3	20 407,10	4,54	5,02	20886,48	-0,01	0,00	11 173,01	479
Pk-7-2	-10	1	19 009,50	4,54	4,54	19813,78	-0,02	0,00	11 173,01	804
Pk-7-2	-10	0,3	17 300,90	4,54	4,02	18382,81	-0,03	0,00	11 173,01	1082
Pk-7-2	-10	0,1	16 013,00	4,54	3,54	16827,66	-0,02	0,00	11 173,01	815
PK-7-3	5	10	16 182,40	2,15	3,15	15369,00	0,02	0,00	11 173,01	813
PK-7-3	5	3	13 723,80	2,15	2,63	13205,42	0,02	0,00	11 173,01	518
PK-7-3	5	1	11 753,10	2,15	2,15	11069,56	0,03	0,00	11 173,01	684
PK-7-3	5	0,3	8 842,00	2,15	1,63	8668,29	0,01	0,00	11 173,01	174
PK-7-3	5	0,1	6 773,00	2,15	1,15	6558,80	0,01	0,00	11 173,01	214
PK-4-3	5	10	15 611,50	2,15	3,15	15369,00	0,01	0,00	11 173,01	242
PK-4-3	5	3	13 117,50	2,15	2,63	13205,42	0,00	0,00	11 173,01	88
PK-4-3	5	1	11 018,60	2,15	2,15	11069,56	0,00	0,00	11 173,01	51
PK-4-3	5	0,3	8 699,90	2,15	1,63	8668,29	0,00	0,00	11 173,01	32
PK-4-3	5	0,1	6 657,20	2,15	1,15	6558,80	0,01	0,00	11 173,01	98
PK-4-2	5	10	15 680,20	2,15	3,15	15369,00	0,01	0,00	11 173,01	311
PK-4-2	5	3	13 281,50	2,15	2,63	13205,42	0,00	0,00	11 173,01	76
PK-4-2	5	1	11 106,30	2,15	2,15	11069,56	0,00	0,00	11 173,01	37
PK-4-2	5	0,3	8 556,20	2,15	1,63	8668,29	-0,01	0,00	11 173,01	112
PK-4-2	5	0,1	6 640,10	2,15	1,15	6558,80	0,01	0,00	11 173,01	81
PK-7-2	5	10	15 222,20	2,15	3,15	15369,00	0,00	0,00	11 173,01	147
PK-7-2	5	3	12 894,70	2,15	2,63	13205,42	-0,01	0,00	11 173,01	311
PK-7-2	5	1	10 719,80	2,15	2,15	11069,56	-0,01	0,00	11 173,01	350
PK-7-2	5	0,3	8 363,00	2,15	1,63	8668,29	-0,02	0,00	11 173,01	305
PK-7-2	5	0,1	6 442,00	2,15	1,15	6558,80	-0,01	0,00	11 173,01	117
PK-7-3	20	10	6 000,10	0,00	1,00	5942,67	0,00	0,00	11 173,01	57
PK-7-3	20	3	4 014,90	0,00	0,48	3989,93	0,00	0,00	11 173,01	25
PK-7-3	20	1	2 579,50	0,00	0,00	2587,58	0,00	0,00	11 173,01	8
PK-7-3	20	0,3	1 500,10	0,00	-0,52	1506,78	0,00	0,00	11 173,01	7
PK-7-3	20	0,1	896	0,00	-1,00	895,89	0,00	0,00	11 173,01	0
PK-4-3	20	10	5 938,40	0,00	1,00	5942,67	0,00	0,00	11 173,01	4
PK-4-3	20	3	4 094,90	0,00	0,48	3989,93	0,01	0,00	11 173,01	105
PK-4-3	20	1	2 627,40	0,00	0,00	2587,58	0,01	0,00	11 173,01	40
PK-4-3	20	0,3	1 620,30	0,00	-0,52	1506,78	0,03	0,00	11 173,01	114
PK-4-3	20	0,1	916,8	0,00	-1,00	895,89	0,01	0,00	11 173,01	21
PK-4-2	20	10	6 036,60	0,00	1,00	5942,67	0,01	0,00	11 173,01	94
PK-4-2	20	3	4 012,70	0,00	0,48	3989,93	0,00	0,00	11 173,01	23
PK-4-2	20	1	2 573,80	0,00	0,00	2587,58	0,00	0,00	11 173,01	14
PK-4-2	20	0,3	1 491,60	0,00	-0,52	1506,78	0,00	0,00	11 173,01	15
PK-4-2	20	0,1	843,7	0,00	-1,00	895,89	-0,03	0,00	11 173,01	52
PK-7-2	20	10	5 746,70	0,00	1,00	5942,67	-0,01	0,00	11 173,01	196
PK-7-2	20	3	3 783,50	0,00	0,48	3989,93	-0,02	0,00	11 173,01	206
PK-7-2	20	1	2 458,10	0,00	0,00	2587,58	-0,02	0,00	11 173,01	129
PK-7-2	20	0,3	1 489,40	0,00	-0,52	1506,78	-0,01	0,00	11 173,01	17
PK-7-2	20	0,1	917,8	0,00	-1,00	895,89	0,01	0,00	11 173,01	22



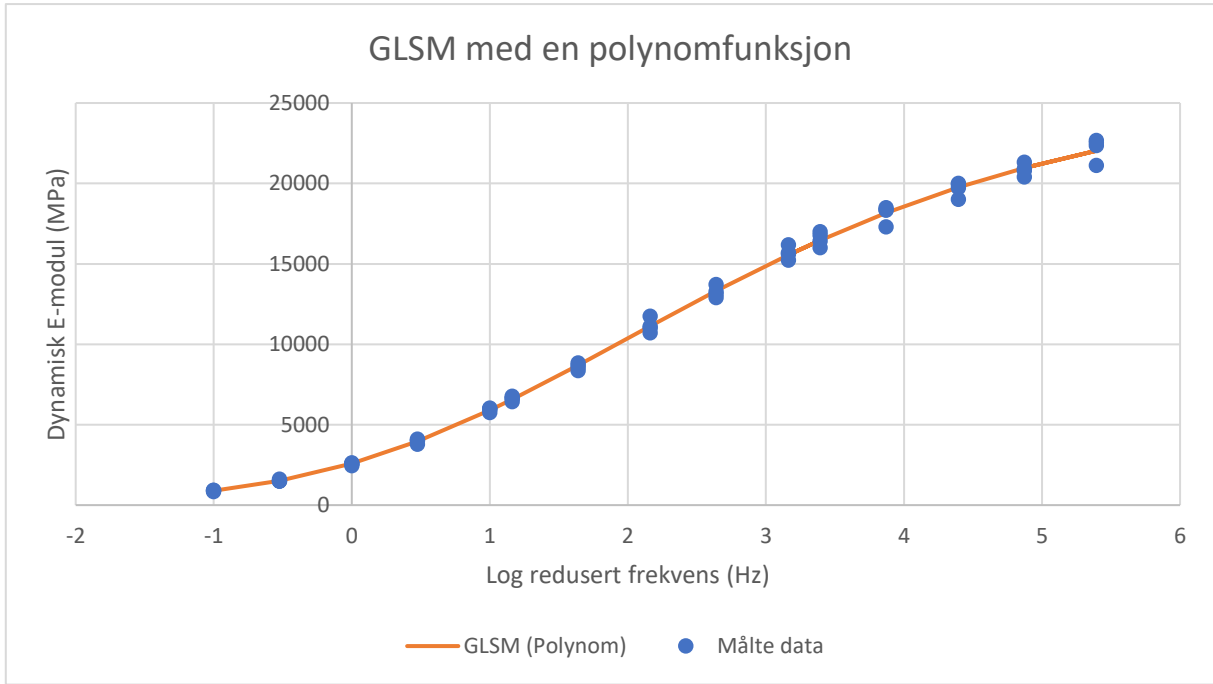
PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = (-C1*(T_i - TR)/(C2+T_i - Tr))$	Redusert frekvens f_r $\log(f_r) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $ E^* = \delta + (\alpha - \delta)/(1 + A * \exp(-y \log(f_r) + B))^{1/L}$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
PK-7-3	-10	10	22 671,80	4,40	5,40	22032,06	0,01	0,00	11 173,01	640
PK-7-3	-10	3	20 810,90	4,40	4,87	20961,40	0,00	0,00	11 173,01	150
PK-7-3	-10	1	19 719,70	4,40	4,40	19760,30	0,00	0,00	11 173,01	41
PK-7-3	-10	0,3	18 324,30	4,40	3,87	18172,77	0,00	0,00	11 173,01	152
PK-7-3	-10	0,1	16 425,30	4,40	3,40	16468,65	0,00	0,00	11 173,01	43
PK-4-3	-10	10	22 538,40	4,40	5,40	22032,06	0,01	0,00	11 173,01	506
PK-4-3	-10	3	21 324,30	4,40	4,87	20961,40	0,01	0,00	11 173,01	363
PK-4-3	-10	1	20 001,50	4,40	4,40	19760,30	0,01	0,00	11 173,01	241
PK-4-3	-10	0,3	18 371,90	4,40	3,87	18172,77	0,00	0,00	11 173,01	199
PK-4-3	-10	0,1	17 009,80	4,40	3,40	16468,65	0,01	0,00	11 173,01	541
PK-4-2	-10	10	22 361,80	4,40	5,40	22032,06	0,01	0,00	11 173,01	330
PK-4-2	-10	3	20 907,90	4,40	4,87	20961,40	0,00	0,00	11 173,01	53
PK-4-2	-10	1	19 941,40	4,40	4,40	19760,30	0,00	0,00	11 173,01	181
PK-4-2	-10	0,3	18 496,20	4,40	3,87	18172,77	0,01	0,00	11 173,01	323
PK-4-2	-10	0,1	16 791,10	4,40	3,40	16468,65	0,01	0,00	11 173,01	322
PK-7-2	-10	10	21 126,20	4,40	5,40	22032,06	-0,02	0,00	11 173,01	906
PK-7-2	-10	3	20 407,10	4,40	4,87	20961,40	-0,01	0,00	11 173,01	554
PK-7-2	-10	1	19 009,50	4,40	4,40	19760,30	-0,02	0,00	11 173,01	751
PK-7-2	-10	0,3	17 300,90	4,40	3,87	18172,77	-0,02	0,00	11 173,01	872
PK-7-2	-10	0,1	16 013,00	4,40	3,40	16468,65	-0,01	0,00	11 173,01	456
PK-7-3	5	10	16 182,40	2,16	3,16	15553,87	0,02	0,00	11 173,01	629
PK-7-3	5	3	13 723,80	2,16	2,64	13320,61	0,01	0,00	11 173,01	403
PK-7-3	5	1	11 753,10	2,16	2,16	11133,85	0,02	0,00	11 173,01	619
PK-7-3	5	0,3	8 842,00	2,16	1,64	8698,11	0,01	0,00	11 173,01	144
PK-7-3	5	0,1	6 773,00	2,16	1,16	6578,39	0,01	0,00	11 173,01	195
PK-4-3	5	10	15 611,50	2,16	3,16	15553,87	0,00	0,00	11 173,01	58
PK-4-3	5	3	13 117,50	2,16	2,64	13320,61	-0,01	0,00	11 173,01	203
PK-4-3	5	1	11 018,60	2,16	2,16	11133,85	0,00	0,00	11 173,01	115
PK-4-3	5	0,3	8 699,90	2,16	1,64	8698,11	0,00	0,00	11 173,01	2
PK-4-3	5	0,1	6 657,20	2,16	1,16	6578,39	0,01	0,00	11 173,01	79
PK-4-2	5	10	15 680,20	2,16	3,16	15553,87	0,00	0,00	11 173,01	126
PK-4-2	5	3	13 281,50	2,16	2,64	13320,61	0,00	0,00	11 173,01	39
PK-4-2	5	1	11 106,30	2,16	2,16	11133,85	0,00	0,00	11 173,01	28
PK-4-2	5	0,3	8 556,20	2,16	1,64	8698,11	-0,01	0,00	11 173,01	142
PK-4-2	5	0,1	6 640,10	2,16	1,16	6578,39	0,00	0,00	11 173,01	62
PK-7-2	5	10	15 222,20	2,16	3,16	15553,87	-0,01	0,00	11 173,01	332
PK-7-2	5	3	12 894,70	2,16	2,64	13320,61	-0,01	0,00	11 173,01	426
PK-7-2	5	1	10 719,80	2,16	2,16	11133,85	-0,02	0,00	11 173,01	414
PK-7-2	5	0,3	8 363,00	2,16	1,64	8698,11	-0,02	0,00	11 173,01	335
PK-7-2	5	0,1	6 442,00	2,16	1,16	6578,39	-0,01	0,00	11 173,01	136
PK-7-3	20	10	6 000,10	0,00	1,00	5901,83	0,01	0,00	11 173,01	98
PK-7-3	20	3	4 014,90	0,00	0,48	3968,89	0,01	0,00	11 173,01	46
PK-7-3	20	1	2 579,50	0,00	0,00	2586,22	0,00	0,00	11 173,01	7
PK-7-3	20	0,3	1 500,10	0,00	-0,52	1513,97	0,00	0,00	11 173,01	14
PK-7-3	20	0,1	896	0,00	-1,00	894,40	0,00	0,00	11 173,01	2
PK-4-3	20	10	5 938,40	0,00	1,00	5901,83	0,00	0,00	11 173,01	37
PK-4-3	20	3	4 094,90	0,00	0,48	3968,89	0,01	0,00	11 173,01	126
PK-4-3	20	1	2 627,40	0,00	0,00	2586,22	0,01	0,00	11 173,01	41
PK-4-3	20	0,3	1 620,30	0,00	-0,52	1513,97	0,03	0,00	11 173,01	106
PK-4-3	20	0,1	916,8	0,00	-1,00	894,40	0,01	0,00	11 173,01	22
PK-4-2	20	10	6 036,60	0,00	1,00	5901,83	0,01	0,00	11 173,01	135
PK-4-2	20	3	4 012,70	0,00	0,48	3968,89	0,00	0,00	11 173,01	44
PK-4-2	20	1	2 573,80	0,00	0,00	2586,22	0,00	0,00	11 173,01	12
PK-4-2	20	0,3	1 491,60	0,00	-0,52	1513,97	-0,01	0,00	11 173,01	22
PK-4-2	20	0,1	843,7	0,00	-1,00	894,40	-0,03	0,00	11 173,01	51
PK-7-2	20	10	5 746,70	0,00	1,00	5901,83	-0,01	0,00	11 173,01	155
PK-7-2	20	3	3 783,50	0,00	0,48	3968,89	-0,02	0,00	11 173,01	185
PK-7-2	20	1	2 458,10	0,00	0,00	2586,22	-0,02	0,00	11 173,01	128
PK-7-2	20	0,3	1 489,40	0,00	-0,52	1513,97	-0,01	0,00	11 173,01	25
PK-7-2	20	0,1	917,8	0,00	-1,00	894,40	0,01	0,00	11 173,01	23

GLSM med en Kaelble-funksjon



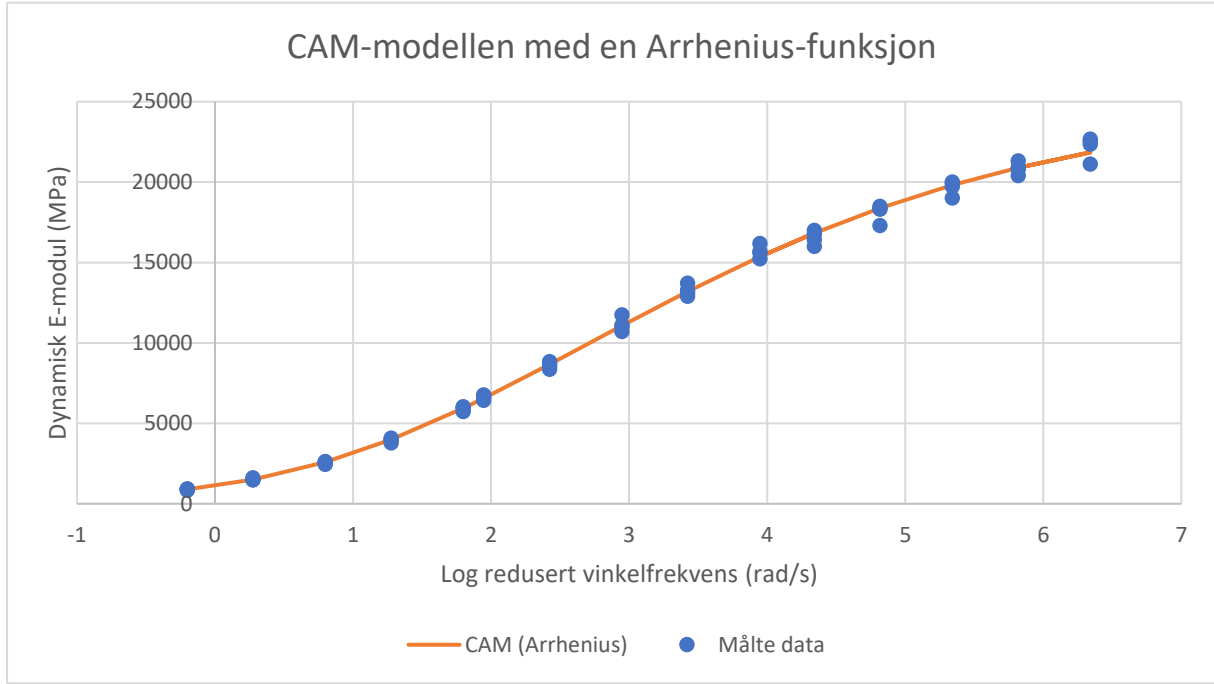
PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skjutfaktor αT $\log(\alpha T) = (-C1*(Ti - TR)/(C2+(Ti-Tr)))$	Redusert frekvens f_a $\log(f_a) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $[E^*] = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + A * \exp(-y \cdot \log(f_r) + \beta))^{(1/A)}$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
Pk-7-3	-10	10	22 671,80	4,34	5,34	22109,28	0,01	0,00	11 173,01	563
Pk-7-3	-10	3	20 810,90	4,34	4,81	20987,76	0,00	0,00	11 173,01	177
Pk-7-3	-10	1	19 719,70	4,34	4,34	19732,10	0,00	0,00	11 173,01	12
Pk-7-3	-10	0,3	18 324,30	4,34	3,81	18077,98	0,01	0,00	11 173,01	246
Pk-7-3	-10	0,1	16 425,30	4,34	3,34	16311,07	0,00	0,00	11 173,01	114
Pk-4-3	-10	10	22 538,40	4,34	5,34	22109,28	0,01	0,00	11 173,01	429
Pk-4-3	-10	3	21 324,30	4,34	4,81	20987,76	0,01	0,00	11 173,01	337
Pk-4-3	-10	1	20 001,50	4,34	4,34	19732,10	0,01	0,00	11 173,01	269
Pk-4-3	-10	0,3	18 371,90	4,34	3,81	18077,98	0,01	0,00	11 173,01	294
Pk-4-3	-10	0,1	17 009,80	4,34	3,34	16311,07	0,02	0,00	11 173,01	699
Pk-4-2	-10	10	22 361,80	4,34	5,34	22109,28	0,00	0,00	11 173,01	253
Pk-4-2	-10	3	20 907,90	4,34	4,81	20987,76	0,00	0,00	11 173,01	80
Pk-4-2	-10	1	19 941,40	4,34	4,34	19732,10	0,00	0,00	11 173,01	209
Pk-4-2	-10	0,3	18 496,20	4,34	3,81	18077,98	0,01	0,00	11 173,01	418
Pk-4-2	-10	0,1	16 791,10	4,34	3,34	16311,07	0,01	0,00	11 173,01	480
Pk-7-2	-10	10	21 126,20	4,34	5,34	22109,28	-0,02	0,00	11 173,01	983
Pk-7-2	-10	3	20 407,10	4,34	4,81	20987,76	-0,01	0,00	11 173,01	581
Pk-7-2	-10	1	19 009,50	4,34	4,34	19732,10	-0,02	0,00	11 173,01	723
Pk-7-2	-10	0,3	17 300,90	4,34	3,81	18077,98	-0,02	0,00	11 173,01	777
Pk-7-2	-10	0,1	16 013,00	4,34	3,34	16311,07	-0,01	0,00	11 173,01	298
Pk-7-3	5	10	16 182,40	2,17	3,17	15640,41	0,01	0,00	11 173,01	542
Pk-7-3	5	3	13 723,80	2,17	2,65	13375,92	0,01	0,00	11 173,01	348
Pk-7-3	5	1	11 753,10	2,17	2,17	11165,94	0,02	0,00	11 173,01	587
Pk-7-3	5	0,3	8 842,00	2,17	1,65	8714,24	0,01	0,00	11 173,01	128
Pk-7-3	5	0,1	6 773,00	2,17	1,17	6589,65	0,01	0,00	11 173,01	183
Pk-4-3	5	10	15 611,50	2,17	3,17	15640,41	0,00	0,00	11 173,01	29
Pk-4-3	5	3	13 117,50	2,17	2,65	13375,92	-0,01	0,00	11 173,01	258
Pk-4-3	5	1	11 018,60	2,17	2,17	11165,94	-0,01	0,00	11 173,01	147
Pk-4-3	5	0,3	8 699,90	2,17	1,65	8714,24	0,00	0,00	11 173,01	14
Pk-4-3	5	0,1	6 657,20	2,17	1,17	6589,65	0,00	0,00	11 173,01	68
Pk-4-2	5	10	15 680,20	2,17	3,17	15640,41	0,00	0,00	11 173,01	40
Pk-4-2	5	3	13 281,50	2,17	2,65	13375,92	0,00	0,00	11 173,01	94
Pk-4-2	5	1	11 106,30	2,17	2,17	11165,94	0,00	0,00	11 173,01	60
Pk-4-2	5	0,3	8 556,20	2,17	1,65	8714,24	-0,01	0,00	11 173,01	158
Pk-4-2	5	0,1	6 640,10	2,17	1,17	6589,65	0,00	0,00	11 173,01	50
Pk-7-2	5	10	15 222,20	2,17	3,17	15640,41	-0,01	0,00	11 173,01	418
Pk-7-2	5	3	12 894,70	2,17	2,65	13375,92	-0,02	0,00	11 173,01	481
Pk-7-2	5	1	10 719,80	2,17	2,17	11165,94	-0,02	0,00	11 173,01	446
Pk-7-2	5	0,3	8 363,00	2,17	1,65	8714,24	-0,02	0,00	11 173,01	351
Pk-7-2	5	0,1	6 442,00	2,17	1,17	6589,65	-0,01	0,00	11 173,01	148
Pk-7-3	20	10	6 000,10	0,00	1,00	5882,17	0,01	0,00	11 173,01	118
Pk-7-3	20	3	4 014,90	0,00	0,48	3958,90	0,01	0,00	11 173,01	56
Pk-7-3	20	1	2 579,50	0,00	0,00	2585,58	0,00	0,00	11 173,01	6
Pk-7-3	20	0,3	1 500,10	0,00	-0,52	1517,36	0,00	0,00	11 173,01	17
Pk-7-3	20	0,1	896	0,00	-1,00	893,73	0,00	0,00	11 173,01	2
Pk-4-3	20	10	5 938,40	0,00	1,00	5882,17	0,00	0,00	11 173,01	56
Pk-4-3	20	3	4 094,90	0,00	0,48	3958,90	0,01	0,00	11 173,01	136
Pk-4-3	20	1	2 627,40	0,00	0,00	2585,58	0,01	0,00	11 173,01	42
Pk-4-3	20	0,3	1 620,30	0,00	-0,52	1517,36	0,03	0,00	11 173,01	103
Pk-4-3	20	0,1	916,8	0,00	-1,00	893,73	0,01	0,00	11 173,01	23
Pk-4-2	20	10	6 036,60	0,00	1,00	5882,17	0,01	0,00	11 173,01	154
Pk-4-2	20	3	4 012,70	0,00	0,48	3958,90	0,01	0,00	11 173,01	54
Pk-4-2	20	1	2 573,80	0,00	0,00	2585,58	0,00	0,00	11 173,01	12
Pk-4-2	20	0,3	1 491,60	0,00	-0,52	1517,36	-0,01	0,00	11 173,01	26
Pk-4-2	20	0,1	843,7	0,00	-1,00	893,73	-0,03	0,00	11 173,01	50
Pk-7-2	20	10	5 746,70	0,00	1,00	5882,17	-0,01	0,00	11 173,01	135
Pk-7-2	20	3	3 783,50	0,00	0,48	3958,90	-0,02	0,00	11 173,01	175
Pk-7-2	20	1	2 458,10	0,00	0,00	2585,58	-0,02	0,00	11 173,01	127
Pk-7-2	20	0,3	1 489,40	0,00	-0,52	1517,36	-0,01	0,00	11 173,01	28
Pk-7-2	20	0,1	917,8	0,00	-1,00	893,73	0,01	0,00	11 173,01	24

GLSM med en polynomfunksjon



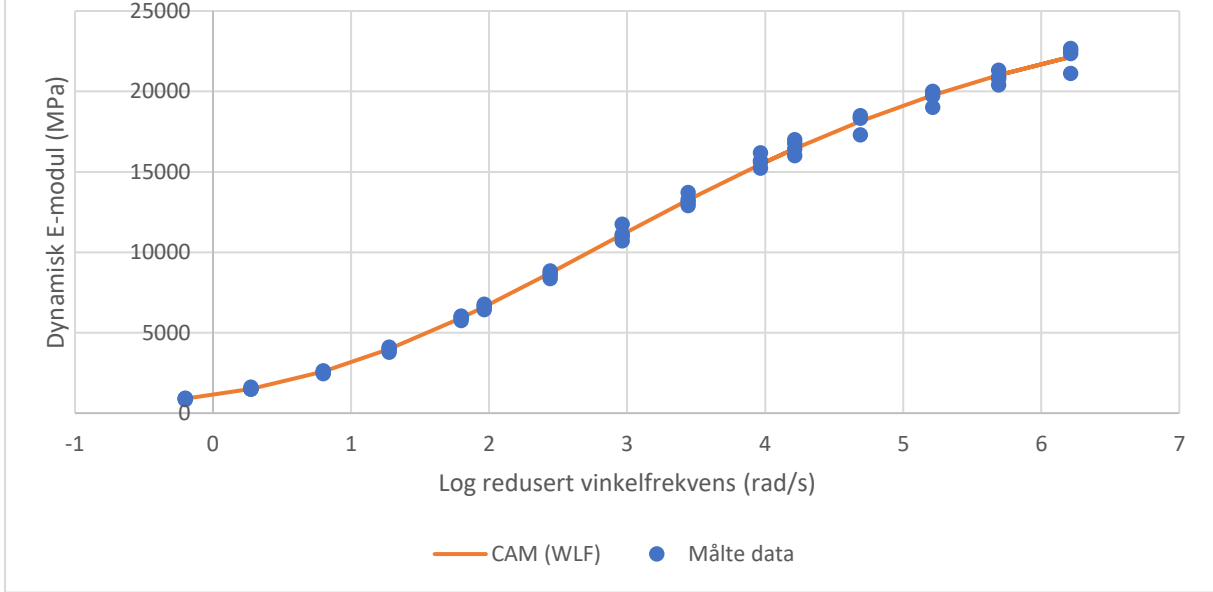
PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skjutfaktor αT $\log(\alpha T) = C2 \cdot (T - T_r) + C3 \cdot (T - T_r)^2$	Redusert frekvens f_a $\log(f_a) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $ E^* = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + \lambda \cdot \exp(-\gamma \log(f_r) + \beta))^\lambda (1/\lambda)$	Residual	Residual ²	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
PK-7-3	-10	10	22 671,80	4,39	5,39	22033,80	0,01	0,00	11 173,01	638
PK-7-3	-10	3	20 810,90	4,39	4,87	20962,01	0,00	0,00	11 173,01	151
PK-7-3	-10	1	19 719,70	4,39	4,39	19759,82	0,00	0,00	11 173,01	40
PK-7-3	-10	0,3	18 324,30	4,39	3,87	18171,10	0,00	0,00	11 173,01	153
PK-7-3	-10	0,1	16 425,30	4,39	3,39	16465,96	0,00	0,00	11 173,01	41
PK-4-3	-10	10	22 538,40	4,39	5,39	22033,80	0,01	0,00	11 173,01	505
PK-4-3	-10	3	21 324,30	4,39	4,87	20962,01	0,01	0,00	11 173,01	362
PK-4-3	-10	1	20 001,50	4,39	4,39	19759,82	0,01	0,00	11 173,01	242
PK-4-3	-10	0,3	18 371,90	4,39	3,87	18171,10	0,00	0,00	11 173,01	201
PK-4-3	-10	0,1	17 009,80	4,39	3,39	16465,96	0,01	0,00	11 173,01	544
PK-4-2	-10	10	22 361,80	4,39	5,39	22033,80	0,01	0,00	11 173,01	328
PK-4-2	-10	3	20 907,90	4,39	4,87	20962,01	0,00	0,00	11 173,01	54
PK-4-2	-10	1	19 941,40	4,39	4,39	19759,82	0,00	0,00	11 173,01	182
PK-4-2	-10	0,3	18 496,20	4,39	3,87	18171,10	0,01	0,00	11 173,01	325
PK-4-2	-10	0,1	16 791,10	4,39	3,39	16465,96	0,01	0,00	11 173,01	325
PK-7-2	-10	10	21 126,20	4,39	5,39	22033,80	-0,02	0,00	11 173,01	908
PK-7-2	-10	3	20 407,10	4,39	4,87	20962,01	-0,01	0,00	11 173,01	555
PK-7-2	-10	1	19 009,50	4,39	4,39	19759,82	-0,02	0,00	11 173,01	750
PK-7-2	-10	0,3	17 300,90	4,39	3,87	18171,10	-0,02	0,00	11 173,01	870
PK-7-2	-10	0,1	16 013,00	4,39	3,39	16465,96	-0,01	0,00	11 173,01	453
PK-7-3	5	10	16 182,40	2,16	3,16	15554,91	0,02	0,00	11 173,01	627
PK-7-3	5	3	13 723,80	2,16	2,64	13321,29	0,01	0,00	11 173,01	403
PK-7-3	5	1	11 753,10	2,16	2,16	11134,33	0,02	0,00	11 173,01	619
PK-7-3	5	0,3	8 842,00	2,16	1,64	8698,47	0,01	0,00	11 173,01	144
PK-7-3	5	0,1	6 773,00	2,16	1,16	6578,71	0,01	0,00	11 173,01	194
PK-4-3	5	10	15 611,50	2,16	3,16	15554,91	0,00	0,00	11 173,01	57
PK-4-3	5	3	13 117,50	2,16	2,64	13321,29	-0,01	0,00	11 173,01	204
PK-4-3	5	1	11 018,60	2,16	2,16	11134,33	0,00	0,00	11 173,01	116
PK-4-3	5	0,3	8 699,90	2,16	1,64	8698,47	0,00	0,00	11 173,01	1
PK-4-3	5	0,1	6 657,20	2,16	1,16	6578,71	0,01	0,00	11 173,01	78
PK-4-2	5	10	15 680,20	2,16	3,16	15554,91	0,00	0,00	11 173,01	125
PK-4-2	5	3	13 281,50	2,16	2,64	13321,29	0,00	0,00	11 173,01	40
PK-4-2	5	1	11 106,30	2,16	2,16	11134,33	0,00	0,00	11 173,01	28
PK-4-2	5	0,3	8 556,20	2,16	1,64	8698,47	-0,01	0,00	11 173,01	142
PK-4-2	5	0,1	6 640,10	2,16	1,16	6578,71	0,00	0,00	11 173,01	61
PK-7-2	5	10	15 222,20	2,16	3,16	15554,91	-0,01	0,00	11 173,01	333
PK-7-2	5	3	12 894,70	2,16	2,64	13321,29	-0,01	0,00	11 173,01	427
PK-7-2	5	1	10 719,80	2,16	2,16	11134,33	-0,02	0,00	11 173,01	415
PK-7-2	5	0,3	8 363,00	2,16	1,64	8698,47	-0,02	0,00	11 173,01	335
PK-7-2	5	0,1	6 442,00	2,16	1,16	6578,71	-0,01	0,00	11 173,01	137
PK-7-3	20	10	6 000,10	0,00	1,00	5901,67	0,01	0,00	11 173,01	98
PK-7-3	20	3	4 014,90	0,00	0,48	3968,77	0,01	0,00	11 173,01	46
PK-7-3	20	1	2 579,50	0,00	0,00	2586,15	0,00	0,00	11 173,01	7
PK-7-3	20	0,3	1 500,10	0,00	-0,52	1513,95	0,00	0,00	11 173,01	14
PK-7-3	20	0,1	896	0,00	-1,00	894,43	0,00	0,00	11 173,01	2
PK-4-3	20	10	5 938,40	0,00	1,00	5901,67	0,00	0,00	11 173,01	37
PK-4-3	20	3	4 094,90	0,00	0,48	3968,77	0,01	0,00	11 173,01	126
PK-4-3	20	1	2 627,40	0,00	0,00	2586,15	0,01	0,00	11 173,01	41
PK-4-3	20	0,3	1 620,30	0,00	-0,52	1513,95	0,03	0,00	11 173,01	106
PK-4-3	20	0,1	916,8	0,00	-1,00	894,43	0,01	0,00	11 173,01	22
PK-4-2	20	10	6 036,60	0,00	1,00	5901,67	0,01	0,00	11 173,01	135
PK-4-2	20	3	4 012,70	0,00	0,48	3968,77	0,00	0,00	11 173,01	44
PK-4-2	20	1	2 573,80	0,00	0,00	2586,15	0,00	0,00	11 173,01	12
PK-4-2	20	0,3	1 491,60	0,00	-0,52	1513,95	-0,01	0,00	11 173,01	22
PK-4-2	20	0,1	843,7	0,00	-1,00	894,43	-0,03	0,00	11 173,01	51
PK-7-2	20	10	5 746,70	0,00	1,00	5901,67	-0,01	0,00	11 173,01	155
PK-7-2	20	3	3 783,50	0,00	0,48	3968,77	-0,02	0,00	11 173,01	185
PK-7-2	20	1	2 458,10	0,00	0,00	2586,15	-0,02	0,00	11 173,01	128
PK-7-2	20	0,3	1 489,40	0,00	-0,52	1513,95	-0,01	0,00	11 173,01	25
PK-7-2	20	0,1	917,8	0,00	-1,00	894,43	0,01	0,00	11 173,01	23

CAM-modellen med en Arrhenius-funksjon

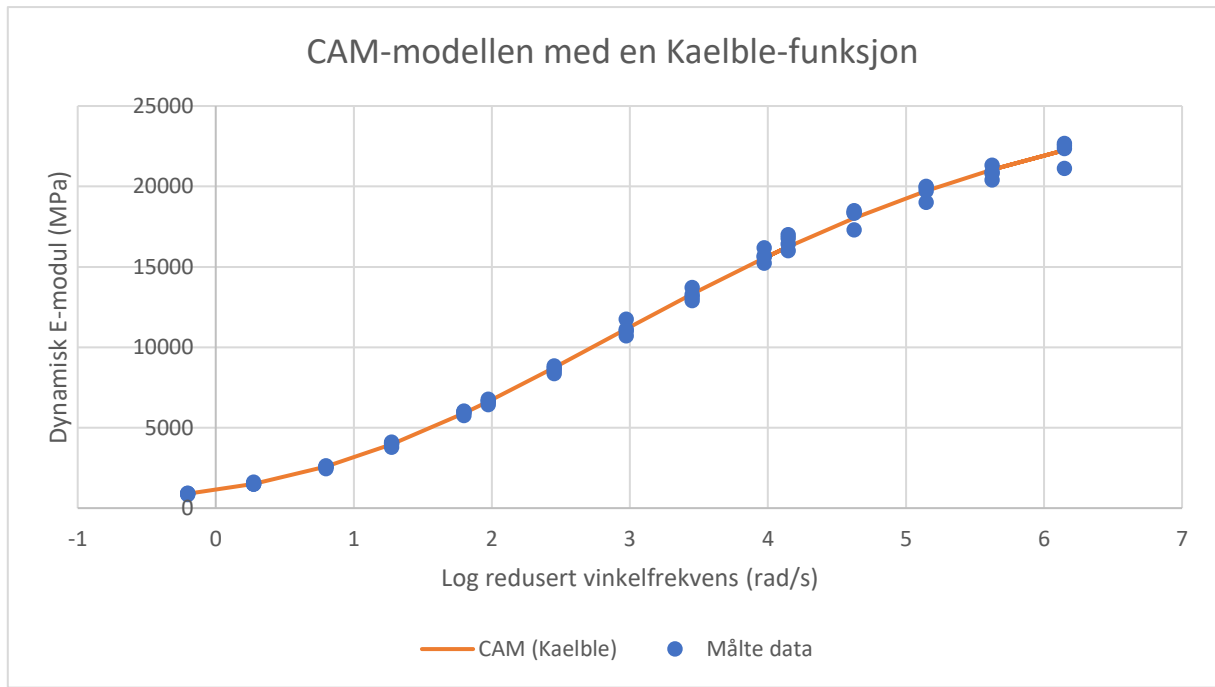


PK	T	f	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = (C^*/T) - 1/T_0$	Crossover frekvens $\omega \alpha T$ $\log(\omega \alpha T) = \alpha T + \log(f^* 2 \pi)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa]		Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
						$[E^*] = E_{\min} + (E_{\max} - E_{\min}) / (1 + (\omega CE / 10^{\log(\omega \alpha T)})^n)$	(ω/ν)				
PK-7-3	-10	10	22 671,80	4,54	6,34	21847,38	0,02	0,00	11 173,01	824	
PK-7-3	-10	3	20 810,90	4,54	5,82	20891,81	0,00	0,00	11 173,01	81	
PK-7-3	-10	1	19 719,70	4,54	5,34	19814,75	0,00	0,00	11 173,01	95	
PK-7-3	-10	0,3	18 324,30	4,54	4,82	18380,33	0,00	0,00	11 173,01	56	
PK-7-3	-10	0,1	16 425,30	4,54	4,34	16823,70	-0,01	0,00	11 173,01	398	
PK-4-3	-10	10	22 538,40	4,54	6,34	21847,38	0,01	0,00	11 173,01	691	
PK-4-3	-10	3	21 324,30	4,54	5,82	20891,81	0,01	0,00	11 173,01	432	
PK-4-3	-10	1	20 001,50	4,54	5,34	19814,75	0,00	0,00	11 173,01	187	
PK-4-3	-10	0,3	18 371,90	4,54	4,82	18380,33	0,00	0,00	11 173,01	8	
PK-4-3	-10	0,1	17 009,80	4,54	4,34	16823,70	0,00	0,00	11 173,01	186	
PK-4-2	-10	10	22 361,80	4,54	6,34	21847,38	0,01	0,00	11 173,01	514	
PK-4-2	-10	3	20 907,90	4,54	5,82	20891,81	0,00	0,00	11 173,01	16	
PK-4-2	-10	1	19 941,40	4,54	5,34	19814,75	0,00	0,00	11 173,01	127	
PK-4-2	-10	0,3	18 496,20	4,54	4,82	18380,33	0,00	0,00	11 173,01	116	
PK-4-2	-10	0,1	16 791,10	4,54	4,34	16823,70	0,00	0,00	11 173,01	33	
PK-7-2	-10	10	21 126,20	4,54	6,34	21847,38	-0,01	0,00	11 173,01	721	
PK-7-2	-10	3	20 407,10	4,54	5,82	20891,81	-0,01	0,00	11 173,01	485	
PK-7-2	-10	1	19 009,50	4,54	5,34	19814,75	-0,02	0,00	11 173,01	805	
PK-7-2	-10	0,3	17 300,90	4,54	4,82	18380,33	-0,03	0,00	11 173,01	1079	
PK-7-2	-10	0,1	16 013,00	4,54	4,34	16823,70	-0,02	0,00	11 173,01	811	
PK-7-3	5	10	16 182,40	2,15	3,95	15362,17	0,02	0,00	11 173,01	820	
PK-7-3	5	3	13 723,80	2,15	3,42	13200,18	0,02	0,00	11 173,01	524	
PK-7-3	5	1	11 753,10	2,15	2,95	11067,07	0,03	0,00	11 173,01	686	
PK-7-3	5	0,3	8 842,00	2,15	2,42	8669,08	0,01	0,00	11 173,01	173	
PK-7-3	5	0,1	6 773,00	2,15	1,95	6561,68	0,01	0,00	11 173,01	211	
PK-4-3	5	10	15 611,50	2,15	3,95	15362,17	0,01	0,00	11 173,01	249	
PK-4-3	5	3	13 117,50	2,15	3,42	13200,18	0,00	0,00	11 173,01	83	
PK-4-3	5	1	11 018,60	2,15	2,95	11067,07	0,00	0,00	11 173,01	48	
PK-4-3	5	0,3	8 699,90	2,15	2,42	8669,08	0,00	0,00	11 173,01	31	
PK-4-3	5	0,1	6 657,20	2,15	1,95	6561,68	0,01	0,00	11 173,01	96	
PK-4-2	5	10	15 680,20	2,15	3,95	15362,17	0,01	0,00	11 173,01	318	
PK-4-2	5	3	13 281,50	2,15	3,42	13200,18	0,00	0,00	11 173,01	81	
PK-4-2	5	1	11 106,30	2,15	2,95	11067,07	0,00	0,00	11 173,01	39	
PK-4-2	5	0,3	8 556,20	2,15	2,42	8669,08	-0,01	0,00	11 173,01	113	
PK-4-2	5	0,1	6 640,10	2,15	1,95	6561,68	0,01	0,00	11 173,01	78	
PK-7-2	5	10	15 222,20	2,15	3,95	15362,17	0,00	0,00	11 173,01	140	
PK-7-2	5	3	12 894,70	2,15	3,42	13200,18	-0,01	0,00	11 173,01	305	
PK-7-2	5	1	10 719,80	2,15	2,95	11067,07	-0,01	0,00	11 173,01	347	
PK-7-2	5	0,3	8 363,00	2,15	2,42	8669,08	-0,02	0,00	11 173,01	306	
PK-7-2	5	0,1	6 442,00	2,15	1,95	6561,68	-0,01	0,00	11 173,01	120	
PK-7-3	20	10	6 000,10	0,00	1,80	5943,08	0,00	0,00	11 173,01	57	
PK-7-3	20	3	4 014,90	0,00	1,28	3990,78	0,00	0,00	11 173,01	24	
PK-7-3	20	1	2 579,50	0,00	0,80	2587,78	0,00	0,00	11 173,01	8	
PK-7-3	20	0,3	1 500,10	0,00	0,28	1506,36	0,00	0,00	11 173,01	6	
PK-7-3	20	0,1	896	0,00	-0,20	895,91	0,00	0,00	11 173,01	0	
PK-4-3	20	10	5 938,40	0,00	1,80	5943,08	0,00	0,00	11 173,01	5	
PK-4-3	20	3	4 094,90	0,00	1,28	3990,78	0,01	0,00	11 173,01	104	
PK-4-3	20	1	2 627,40	0,00	0,80	2587,78	0,01	0,00	11 173,01	40	
PK-4-3	20	0,3	1 620,30	0,00	0,28	1506,36	0,03	0,00	11 173,01	114	
PK-4-3	20	0,1	916,8	0,00	-0,20	895,91	0,01	0,00	11 173,01	21	
PK-4-2	20	10	6 036,60	0,00	1,80	5943,08	0,01	0,00	11 173,01	94	
PK-4-2	20	3	4 012,70	0,00	1,28	3990,78	0,00	0,00	11 173,01	22	
PK-4-2	20	1	2 573,80	0,00	0,80	2587,78	0,00	0,00	11 173,01	14	
PK-4-2	20	0,3	1 491,60	0,00	0,28	1506,36	0,00	0,00	11 173,01	15	
PK-4-2	20	0,1	843,7	0,00	-0,20	895,91	-0,03	0,00	11 173,01	52	
PK-7-2	20	10	5 746,70	0,00	1,80	5943,08	-0,01	0,00	11 173,01	196	
PK-7-2	20	3	3 783,50	0,00	1,28	3990,78	-0,02	0,00	11 173,01	207	
PK-7-2	20	1	2 458,10	0,00	0,80	2587,78	-0,02	0,00	11 173,01	130	
PK-7-2	20	0,3	1 489,40	0,00	0,28	1506,36	0,00	0,00	11 173,01	17	
PK-7-2	20	0,1	917,8	0,00	-0,20	895,91	0,01	0,00	11 173,01	22	

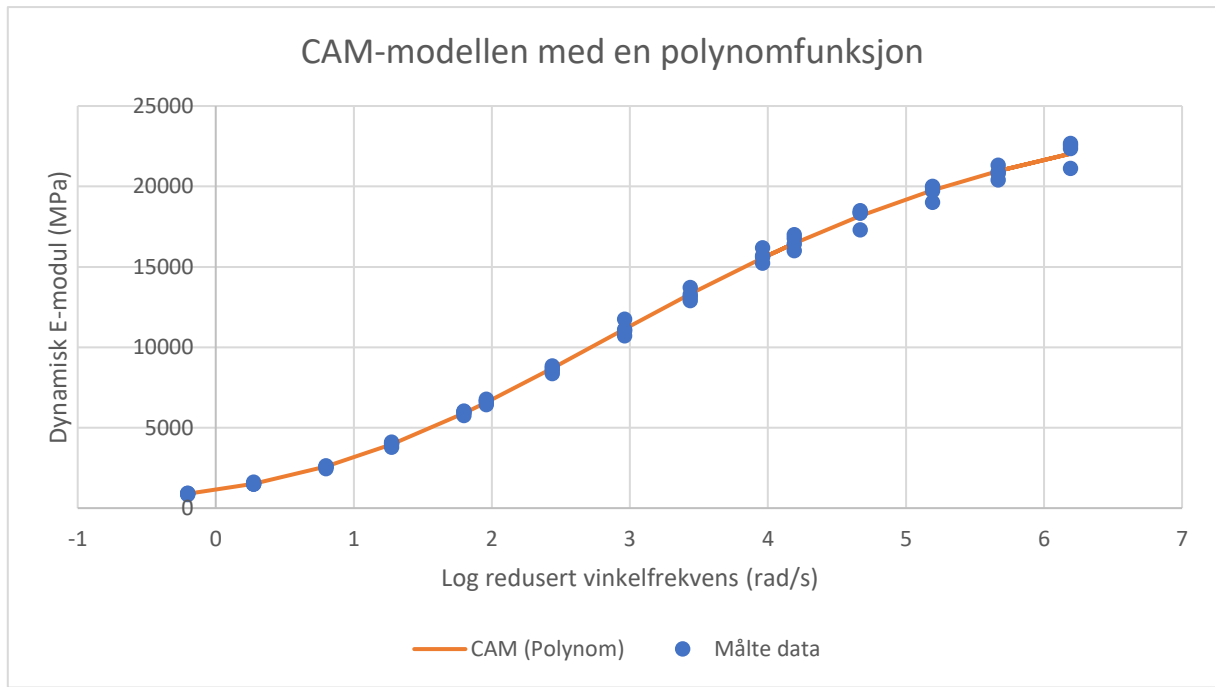
CAM-modellen med en WLF-funksjon



PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = (-C_1 \cdot (T - T_R) / (C_2 + T - T_R))$	Crossover frekvens $\omega \alpha T$ $\log(\omega \alpha T) = \alpha T + \log(\omega^2 \pi)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $E^* = E_{\min} + (E_{\max} - E_{\min}) / (1 + (\omega CE / 10 \log(\omega \alpha T))^{\nu})^{(w/\nu)}$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
Pk-7-3	-10	10	22 671,80	4,41	6,21	22149,51	0,01	0,00	11 173,01	522
Pk-7-3	-10	3	20 810,90	4,41	5,69	21010,80	0,00	0,00	11 173,01	200
Pk-7-3	-10	1	19 719,70	4,41	5,21	19761,97	0,00	0,00	11 173,01	42
Pk-7-3	-10	0,3	18 324,30	4,41	4,69	18144,32	0,00	0,00	11 173,01	180
Pk-7-3	-10	0,1	16 425,30	4,41	4,21	16436,62	0,00	0,00	11 173,01	11
Pk-4-3	-10	10	22 538,40	4,41	6,21	22149,51	0,01	0,00	11 173,01	389
Pk-4-3	-10	3	21 324,30	4,41	5,69	21010,80	0,01	0,00	11 173,01	314
Pk-4-3	-10	1	20 001,50	4,41	5,21	19761,97	0,01	0,00	11 173,01	240
Pk-4-3	-10	0,3	18 371,90	4,41	4,69	18144,32	0,01	0,00	11 173,01	228
Pk-4-3	-10	0,1	17 009,80	4,41	4,21	16436,62	0,01	0,00	11 173,01	573
Pk-4-2	-10	10	22 361,80	4,41	6,21	22149,51	0,00	0,00	11 173,01	212
Pk-4-2	-10	3	20 907,90	4,41	5,69	21010,80	0,00	0,00	11 173,01	103
Pk-4-2	-10	1	19 941,40	4,41	5,21	19761,97	0,00	0,00	11 173,01	179
Pk-4-2	-10	0,3	18 496,20	4,41	4,69	18144,32	0,01	0,00	11 173,01	352
Pk-4-2	-10	0,1	16 791,10	4,41	4,21	16436,62	0,01	0,00	11 173,01	354
Pk-7-2	-10	10	21 126,20	4,41	6,21	22149,51	-0,02	0,00	11 173,01	1023
Pk-7-2	-10	3	20 407,10	4,41	5,69	21010,80	-0,01	0,00	11 173,01	604
Pk-7-2	-10	1	19 009,50	4,41	5,21	19761,97	-0,02	0,00	11 173,01	752
Pk-7-2	-10	0,3	17 300,90	4,41	4,69	18144,32	-0,02	0,00	11 173,01	843
Pk-7-2	-10	0,1	16 013,00	4,41	4,21	16436,62	-0,01	0,00	11 173,01	424
Pk-7-3	5	10	16 182,40	2,17	3,97	15466,45	0,02	0,00	11 173,01	716
Pk-7-3	5	3	13 723,80	2,17	3,44	13258,52	0,01	0,00	11 173,01	465
Pk-7-3	5	1	11 753,10	2,17	2,97	11108,12	0,02	0,00	11 173,01	645
Pk-7-3	5	0,3	8 842,00	2,17	2,44	8710,96	0,01	0,00	11 173,01	131
Pk-7-3	5	0,1	6 773,00	2,17	1,97	6611,31	0,01	0,00	11 173,01	162
Pk-4-3	5	10	15 611,50	2,17	3,97	15466,45	0,00	0,00	11 173,01	145
Pk-4-3	5	3	13 117,50	2,17	3,44	13258,52	0,00	0,00	11 173,01	141
Pk-4-3	5	1	11 018,60	2,17	2,97	11108,12	0,00	0,00	11 173,01	90
Pk-4-3	5	0,3	8 699,90	2,17	2,44	8710,96	0,00	0,00	11 173,01	11
Pk-4-3	5	0,1	6 657,20	2,17	1,97	6611,31	0,00	0,00	11 173,01	46
Pk-4-2	5	10	15 680,20	2,17	3,97	15466,45	0,01	0,00	11 173,01	214
Pk-4-2	5	3	13 281,50	2,17	3,44	13258,52	0,00	0,00	11 173,01	23
Pk-4-2	5	1	11 106,30	2,17	2,97	11108,12	0,00	0,00	11 173,01	2
Pk-4-2	5	0,3	8 556,20	2,17	2,44	8710,96	-0,01	0,00	11 173,01	155
Pk-4-2	5	0,1	6 640,10	2,17	1,97	6611,31	0,00	0,00	11 173,01	29
Pk-7-2	5	10	15 222,20	2,17	3,97	15466,45	-0,01	0,00	11 173,01	244
Pk-7-2	5	3	12 894,70	2,17	3,44	13258,52	-0,01	0,00	11 173,01	364
Pk-7-2	5	1	10 719,80	2,17	2,97	11108,12	-0,02	0,00	11 173,01	388
Pk-7-2	5	0,3	8 363,00	2,17	2,44	8710,96	-0,02	0,00	11 173,01	348
Pk-7-2	5	0,1	6 442,00	2,17	1,97	6611,31	-0,01	0,00	11 173,01	169
Pk-7-3	20	10	6 000,10	0,00	1,80	5920,55	0,01	0,00	11 173,01	80
Pk-7-3	20	3	4 014,90	0,00	1,28	3981,84	0,00	0,00	11 173,01	33
Pk-7-3	20	1	2 579,50	0,00	0,80	2584,14	0,00	0,00	11 173,01	5
Pk-7-3	20	0,3	1 500,10	0,00	0,28	1504,07	0,00	0,00	11 173,01	4
Pk-7-3	20	0,1	896	0,00	-0,20	897,00	0,00	0,00	11 173,01	1
Pk-4-3	20	10	5 938,40	0,00	1,80	5920,55	0,00	0,00	11 173,01	18
Pk-4-3	20	3	4 094,90	0,00	1,28	3981,84	0,01	0,00	11 173,01	113
Pk-4-3	20	1	2 627,40	0,00	0,80	2584,14	0,01	0,00	11 173,01	43
Pk-4-3	20	0,3	1 620,30	0,00	0,28	1504,07	0,03	0,00	11 173,01	116
Pk-4-3	20	0,1	916,8	0,00	-0,20	897,00	0,01	0,00	11 173,01	20
Pk-4-2	20	10	6 036,60	0,00	1,80	5920,55	0,01	0,00	11 173,01	116
Pk-4-2	20	3	4 012,70	0,00	1,28	3981,84	0,00	0,00	11 173,01	31
Pk-4-2	20	1	2 573,80	0,00	0,80	2584,14	0,00	0,00	11 173,01	10
Pk-4-2	20	0,3	1 491,60	0,00	0,28	1504,07	0,00	0,00	11 173,01	12
Pk-4-2	20	0,1	843,7	0,00	-0,20	897,00	-0,03	0,00	11 173,01	53
Pk-7-2	20	10	5 746,70	0,00	1,80	5920,55	-0,01	0,00	11 173,01	174
Pk-7-2	20	3	3 783,50	0,00	1,28	3981,84	-0,02	0,00	11 173,01	198
Pk-7-2	20	1	2 458,10	0,00	0,80	2584,14	-0,02	0,00	11 173,01	126
Pk-7-2	20	0,3	1 489,40	0,00	0,28	1504,07	-0,02	0,00	11 173,01	15
Pk-7-2	20	0,1	917,8	0,00	-0,20	897,00	0,01	0,00	11 173,01	21



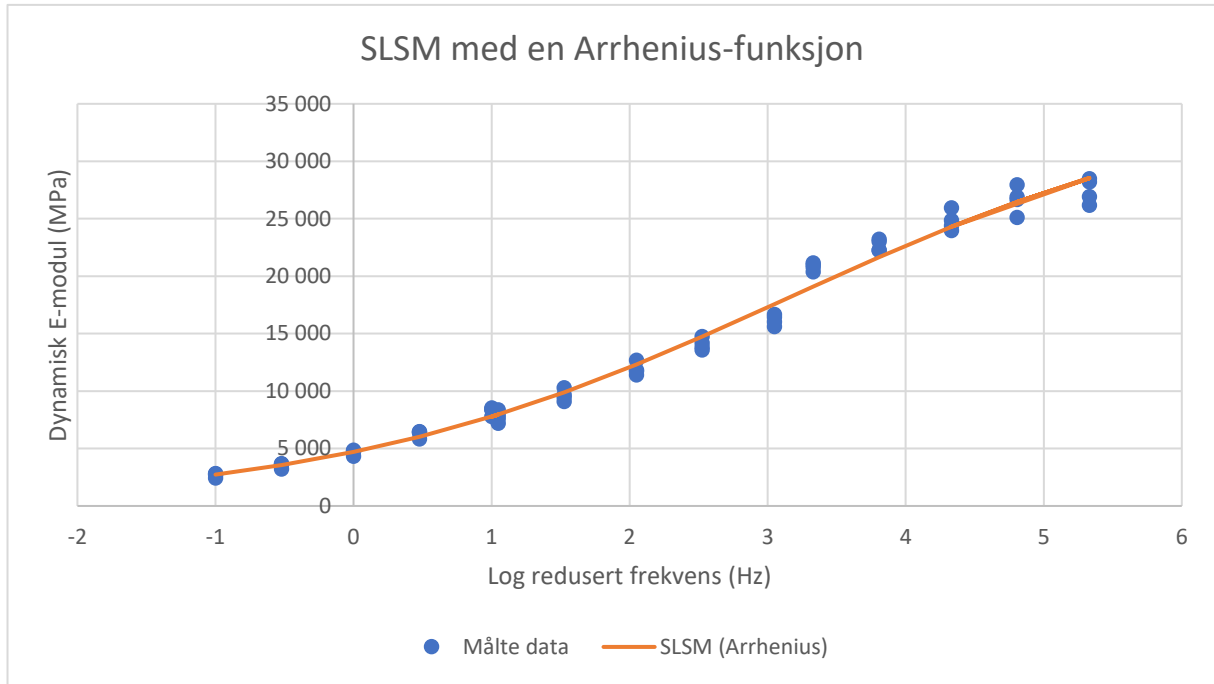
PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skiffaktor αT $\log(\alpha T) = (-C1*(T - TR)/(C2 + T - TR))$	Crossover frekvens $\omega \alpha T$ $\log(\omega \alpha T) = \alpha T + \log(f * 2 * \pi)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $[E^*] = E_{\min} + (E_{\max} - E_{\min}) / (1 + (\omega CE / 10 * \log(\omega \alpha T))^2)^{1/2}$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
PK-7-3	-10	10	22 671,80	4,35	6,15	22253,57	0,01	0,00	11 173,01	418
PK-7-3	-10	3	20 810,90	4,35	5,63	21044,65	0,00	0,00	11 173,01	234
PK-7-3	-10	1	19 719,70	4,35	5,15	19726,39	0,00	0,00	11 173,01	7
PK-7-3	-10	0,3	18 324,30	4,35	4,63	18030,12	0,01	0,00	11 173,01	294
PK-7-3	-10	0,1	16 425,30	4,35	4,15	16253,08	0,00	0,00	11 173,01	172
PK-4-3	-10	10	22 538,40	4,35	6,15	22253,57	0,01	0,00	11 173,01	285
PK-4-3	-10	3	21 324,30	4,35	5,63	21044,65	0,01	0,00	11 173,01	280
PK-4-3	-10	1	20 001,50	4,35	5,15	19726,39	0,01	0,00	11 173,01	275
PK-4-3	-10	0,3	18 371,90	4,35	4,63	18030,12	0,01	0,00	11 173,01	342
PK-4-3	-10	0,1	17 009,80	4,35	4,15	16253,08	0,02	0,00	11 173,01	757
PK-4-2	-10	10	22 361,80	4,35	6,15	22253,57	0,00	0,00	11 173,01	108
PK-4-2	-10	3	20 907,90	4,35	5,63	21044,65	0,00	0,00	11 173,01	137
PK-4-2	-10	1	19 941,40	4,35	5,15	19726,39	0,00	0,00	11 173,01	215
PK-4-2	-10	0,3	18 496,20	4,35	4,63	18030,12	0,01	0,00	11 173,01	466
PK-4-2	-10	0,1	16 791,10	4,35	4,15	16253,08	0,01	0,00	11 173,01	538
PK-7-2	-10	10	21 126,20	4,35	6,15	22253,57	-0,02	0,00	11 173,01	1127
PK-7-2	-10	3	20 407,10	4,35	5,63	21044,65	-0,01	0,00	11 173,01	638
PK-7-2	-10	1	19 009,50	4,35	5,15	19726,39	-0,02	0,00	11 173,01	717
PK-7-2	-10	0,3	17 300,90	4,35	4,63	18030,12	-0,02	0,00	11 173,01	729
PK-7-2	-10	0,1	16 013,00	4,35	4,15	16253,08	-0,01	0,00	11 173,01	240
PK-7-3	5	10	16 182,40	2,18	3,97	15555,01	0,02	0,00	11 173,01	627
PK-7-3	5	3	13 723,80	2,18	3,45	13314,88	0,01	0,00	11 173,01	409
PK-7-3	5	1	11 753,10	2,18	2,97	11142,89	0,02	0,00	11 173,01	610
PK-7-3	5	0,3	8 842,00	2,18	2,45	8732,21	0,01	0,00	11 173,01	110
PK-7-3	5	0,1	6 773,00	2,18	1,97	6628,83	0,01	0,00	11 173,01	144
PK-4-3	5	10	15 611,50	2,18	3,97	15555,01	0,00	0,00	11 173,01	56
PK-4-3	5	3	13 117,50	2,18	3,45	13314,88	-0,01	0,00	11 173,01	197
PK-4-3	5	1	11 018,60	2,18	2,97	11142,89	0,00	0,00	11 173,01	124
PK-4-3	5	0,3	8 699,90	2,18	2,45	8732,21	0,00	0,00	11 173,01	32
PK-4-3	5	0,1	6 657,20	2,18	1,97	6628,83	0,00	0,00	11 173,01	28
PK-4-2	5	10	15 680,20	2,18	3,97	15555,01	0,00	0,00	11 173,01	125
PK-4-2	5	3	13 281,50	2,18	3,45	13314,88	0,00	0,00	11 173,01	33
PK-4-2	5	1	11 106,30	2,18	2,97	11142,89	0,00	0,00	11 173,01	37
PK-4-2	5	0,3	8 556,20	2,18	2,45	8732,21	-0,01	0,00	11 173,01	176
PK-4-2	5	0,1	6 640,10	2,18	1,97	6628,83	0,00	0,00	11 173,01	11
PK-7-2	5	10	15 222,20	2,18	3,97	15555,01	-0,01	0,00	11 173,01	333
PK-7-2	5	3	12 894,70	2,18	3,45	13314,88	-0,01	0,00	11 173,01	420
PK-7-2	5	1	10 719,80	2,18	2,97	11142,89	-0,02	0,00	11 173,01	423
PK-7-2	5	0,3	8 365,00	2,18	2,45	8732,21	-0,02	0,00	11 173,01	369
PK-7-2	5	0,1	6 442,00	2,18	1,97	6628,83	-0,01	0,00	11 173,01	187
PK-7-3	20	10	6 000,10	0,00	1,80	5901,39	0,01	0,00	11 173,01	95
PK-7-3	20	3	4 014,90	0,00	1,28	3971,93	0,00	0,00	11 173,01	43
PK-7-3	20	1	2 579,50	0,00	0,80	2582,81	0,00	0,00	11 173,01	3
PK-7-3	20	0,3	1 500,10	0,00	0,28	1506,61	0,00	0,00	11 173,01	7
PK-7-3	20	0,1	896	0,00	-0,20	896,46	0,00	0,00	11 173,01	0
PK-4-3	20	10	5 938,40	0,00	1,80	5901,39	0,00	0,00	11 173,01	37
PK-4-3	20	3	4 094,90	0,00	1,28	3971,93	0,01	0,00	11 173,01	123
PK-4-3	20	1	2 627,40	0,00	0,80	2582,81	0,01	0,00	11 173,01	45
PK-4-3	20	0,3	1 620,30	0,00	0,28	1506,61	0,03	0,00	11 173,01	114
PK-4-3	20	0,1	916,8	0,00	-0,20	896,46	0,01	0,00	11 173,01	20
PK-4-2	20	10	6 036,60	0,00	1,80	5901,39	0,01	0,00	11 173,01	135
PK-4-2	20	3	4 012,70	0,00	1,28	3971,93	0,00	0,00	11 173,01	41
PK-4-2	20	1	2 573,80	0,00	0,80	2582,81	0,00	0,00	11 173,01	9
PK-4-2	20	0,3	1 491,60	0,00	0,28	1506,61	0,00	0,00	11 173,01	15
PK-4-2	20	0,1	843,7	0,00	-0,20	896,46	-0,03	0,00	11 173,01	53
PK-7-2	20	10	5 746,70	0,00	1,80	5901,39	-0,01	0,00	11 173,01	155
PK-7-2	20	3	3 783,50	0,00	1,28	3971,93	-0,02	0,00	11 173,01	188
PK-7-2	20	1	2 458,10	0,00	0,80	2582,81	-0,02	0,00	11 173,01	125
PK-7-2	20	0,3	1 489,40	0,00	0,28	1506,61	0,00	0,00	11 173,01	17
PK-7-2	20	0,1	917,8	0,00	-0,20	896,46	0,01	0,00	11 173,01	21



PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skiffaktor αT $\log(\alpha T) = C2 \cdot (T - TR) + C3 \cdot (T - TR)^2$	Crossover frekvens $\omega \alpha T$ $\log(\omega \alpha T) = \alpha T + \log(f^2 \cdot \pi)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $[E^*] = E_{\min} + (E_{\max} - E_{\min}) / (1 + (\omega C E / 10^4 \log(\omega \alpha T))^2)^{1/2}$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
Pk-7-3	-10	10	22 671,80	4,39	6,19	22036,52	0,01	0,00	11 173,01	635
Pk-7-3	-10	3	20 810,90	4,39	5,67	20963,39	0,00	0,00	11 173,01	152
Pk-7-3	-10	1	19 719,70	4,39	5,19	19759,94	0,00	0,00	11 173,01	40
Pk-7-3	-10	0,3	18 324,30	4,39	4,67	18169,84	0,00	0,00	11 173,01	154
Pk-7-3	-10	0,1	16 425,30	4,39	4,19	16463,61	0,00	0,00	11 173,01	38
Pk-4-3	-10	10	22 538,40	4,39	6,19	22036,52	0,01	0,00	11 173,01	502
Pk-4-3	-10	3	21 324,30	4,39	5,67	20963,39	0,01	0,00	11 173,01	361
Pk-4-3	-10	1	20 001,50	4,39	5,19	19759,94	0,01	0,00	11 173,01	242
Pk-4-3	-10	0,3	18 371,90	4,39	4,67	18169,84	0,00	0,00	11 173,01	202
Pk-4-3	-10	0,1	17 009,80	4,39	4,19	16463,61	0,01	0,00	11 173,01	546
Pk-4-2	-10	10	22 361,80	4,39	6,19	22036,52	0,01	0,00	11 173,01	325
Pk-4-2	-10	3	20 907,90	4,39	5,67	20963,39	0,00	0,00	11 173,01	55
Pk-4-2	-10	1	19 941,40	4,39	5,19	19759,94	0,00	0,00	11 173,01	181
Pk-4-2	-10	0,3	18 496,20	4,39	4,67	18169,84	0,01	0,00	11 173,01	326
Pk-4-2	-10	0,1	16 791,10	4,39	4,19	16463,61	0,01	0,00	11 173,01	327
Pk-7-2	-10	10	21 126,20	4,39	6,19	22036,52	-0,02	0,00	11 173,01	910
Pk-7-2	-10	3	20 407,10	4,39	5,67	20963,39	-0,01	0,00	11 173,01	556
Pk-7-2	-10	1	19 009,50	4,39	5,19	19759,94	-0,02	0,00	11 173,01	750
Pk-7-2	-10	0,3	17 300,90	4,39	4,67	18169,84	-0,02	0,00	11 173,01	869
Pk-7-2	-10	0,1	16 013,00	4,39	4,19	16463,61	-0,01	0,00	11 173,01	451
Pk-7-3	5	10	16 182,40	2,16	3,96	15555,15	0,02	0,00	11 173,01	627
Pk-7-3	5	3	13 723,80	2,16	3,44	13321,14	0,01	0,00	11 173,01	403
Pk-7-3	5	1	11 753,10	2,16	2,96	11134,15	0,02	0,00	11 173,01	619
Pk-7-3	5	0,3	8 842,00	2,16	2,44	8698,58	0,01	0,00	11 173,01	143
Pk-7-3	5	0,1	6 773,00	2,16	1,96	6579,24	0,01	0,00	11 173,01	194
Pk-4-3	5	10	15 611,50	2,16	3,96	15555,15	0,00	0,00	11 173,01	56
Pk-4-3	5	3	13 117,50	2,16	3,44	13321,14	-0,01	0,00	11 173,01	204
Pk-4-3	5	1	11 018,60	2,16	2,96	11134,15	0,00	0,00	11 173,01	116
Pk-4-3	5	0,3	8 699,90	2,16	2,44	8698,58	0,00	0,00	11 173,01	1
Pk-4-3	5	0,1	6 657,20	2,16	1,96	6579,24	0,01	0,00	11 173,01	78
Pk-4-2	5	10	15 680,20	2,16	3,96	15555,15	0,00	0,00	11 173,01	125
Pk-4-2	5	3	13 281,50	2,16	3,44	13321,14	0,00	0,00	11 173,01	40
Pk-4-2	5	1	11 106,30	2,16	2,96	11134,15	0,00	0,00	11 173,01	28
Pk-4-2	5	0,3	8 556,20	2,16	2,44	8698,58	-0,01	0,00	11 173,01	142
Pk-4-2	5	0,1	6 640,10	2,16	1,96	6579,24	0,00	0,00	11 173,01	61
Pk-7-2	5	10	15 222,20	2,16	3,96	15555,15	-0,01	0,00	11 173,01	333
Pk-7-2	5	3	12 894,70	2,16	3,44	13321,14	-0,01	0,00	11 173,01	426
Pk-7-2	5	1	10 719,80	2,16	2,96	11134,15	-0,02	0,00	11 173,01	414
Pk-7-2	5	0,3	8 363,00	2,16	2,44	8698,58	-0,02	0,00	11 173,01	336
Pk-7-2	5	0,1	6 442,00	2,16	1,96	6579,24	-0,01	0,00	11 173,01	137
Pk-7-3	20	10	6 000,10	0,00	1,80	5900,89	0,01	0,00	11 173,01	99
Pk-7-3	20	3	4 014,90	0,00	1,28	3968,63	0,01	0,00	11 173,01	46
Pk-7-3	20	1	2 579,50	0,00	0,80	2586,34	0,00	0,00	11 173,01	7
Pk-7-3	20	0,3	1 500,10	0,00	0,28	1514,14	0,00	0,00	11 173,01	14
Pk-7-3	20	0,1	896	0,00	-0,20	894,34	0,00	0,00	11 173,01	2
Pk-4-3	20	10	5 938,40	0,00	1,80	5900,89	0,00	0,00	11 173,01	38
Pk-4-3	20	3	4 094,90	0,00	1,28	3968,63	0,01	0,00	11 173,01	126
Pk-4-3	20	1	2 627,40	0,00	0,80	2586,34	0,01	0,00	11 173,01	41
Pk-4-3	20	0,3	1 620,30	0,00	0,28	1514,14	0,03	0,00	11 173,01	106
Pk-4-3	20	0,1	916,8	0,00	-0,20	894,34	0,01	0,00	11 173,01	22
Pk-4-2	20	10	6 036,60	0,00	1,80	5900,89	0,01	0,00	11 173,01	136
Pk-4-2	20	3	4 012,70	0,00	1,28	3968,63	0,00	0,00	11 173,01	44
Pk-4-2	20	1	2 573,80	0,00	0,80	2586,34	0,00	0,00	11 173,01	13
Pk-4-2	20	0,3	1 491,60	0,00	0,28	1514,14	-0,01	0,00	11 173,01	23
Pk-4-2	20	0,1	843,7	0,00	-0,20	894,34	-0,03	0,00	11 173,01	51
Pk-7-2	20	10	5 746,70	0,00	1,80	5900,89	-0,01	0,00	11 173,01	154
Pk-7-2	20	3	3 783,50	0,00	1,28	3968,63	-0,02	0,00	11 173,01	185
Pk-7-2	20	1	2 458,10	0,00	0,80	2586,34	-0,02	0,00	11 173,01	128
Pk-7-2	20	0,3	1 489,40	0,00	0,28	1514,14	-0,01	0,00	11 173,01	25
Pk-7-2	20	0,1	917,8	0,00	-0,20	894,34	0,01	0,00	11 173,01	23

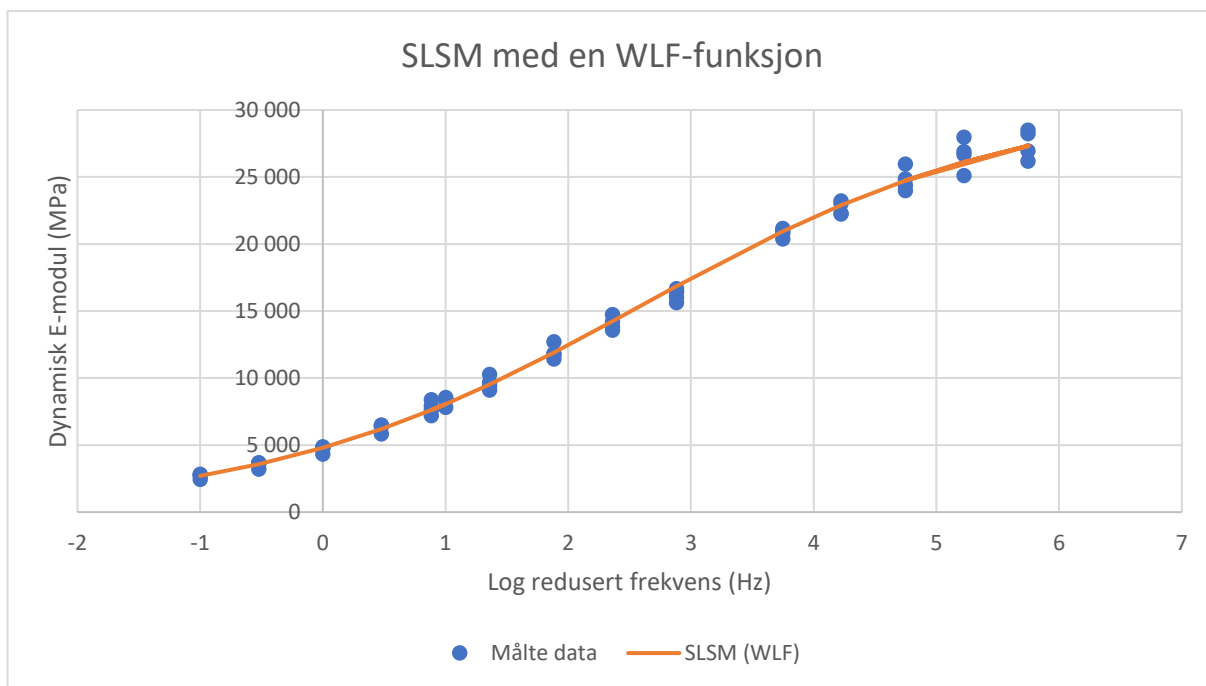
Vedlegg 7:

AC 11 D S – Målte og estimerte stivhetsverdier ved alle modellkombinasjoner



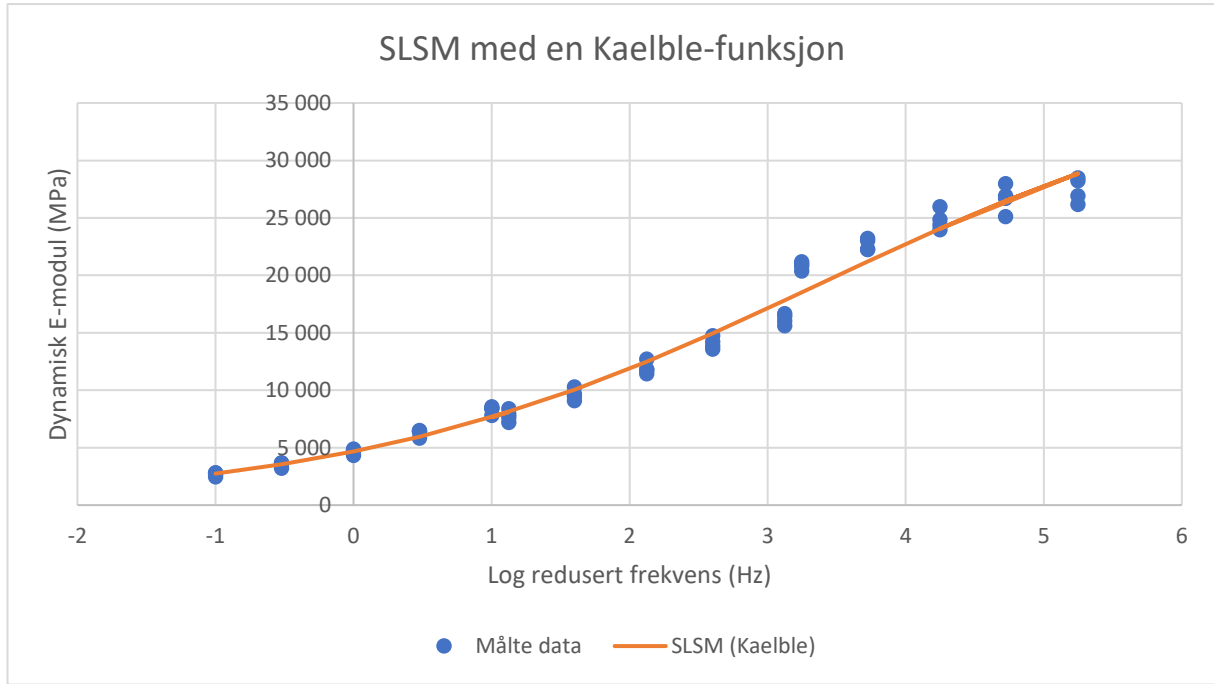
PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = (C^*(1/T_r - 1)/T_s)$	Redusert frekvens f_s $\log(f_s) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $ E^* = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + \exp(\gamma(\log(f_s) + \beta)))$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
DS-A-9	-10	10	28 488,70	4,33	5,33	28532,25	0,00	0,00	13 839,18	44
DS-A-9	-10	3	27 968,60	4,33	4,81	26463,32	0,02	0,00	13 839,18	1505
DS-A-9	-10	1	25 967,90	4,33	4,33	24290,32	0,03	0,00	13 839,18	1678
DS-A-9	-10	0,3	23 222,20	4,33	3,81	21652,25	-0,03	0,00	13 839,18	1570
DS-A-9	-10	0,1	21 173,90	4,33	3,33	19093,86	-0,04	0,00	13 839,18	2080
DS-A-8	-10	10	26 933,10	4,33	5,33	28532,25	-0,03	0,00	13 839,18	1599
DS-A-8	-10	3	26 908,80	4,33	4,81	26463,32	0,01	0,00	13 839,18	445
DS-A-8	-10	1	24 383,00	4,33	4,33	24290,32	0,00	0,00	13 839,18	93
DS-A-8	-10	0,3	22 245,50	4,33	3,81	21652,25	0,01	0,00	13 839,18	593
DS-A-8	-10	0,1	20 370,80	4,33	3,33	19093,86	0,03	0,00	13 839,18	1277
DS-A-12	-10	10	28 224,90	4,33	5,33	28532,25	0,00	0,00	13 839,18	307
DS-A-12	-10	3	26 690,00	4,33	4,81	26463,32	0,00	0,00	13 839,18	227
DS-A-12	-10	1	24 862,50	4,33	4,33	24290,32	0,01	0,00	13 839,18	572
DS-A-12	-10	0,3	23 026,30	4,33	3,81	21652,25	0,03	0,00	13 839,18	1374
DS-A-12	-10	0,1	20 988,00	4,33	3,33	19093,86	0,04	0,00	13 839,18	1894
DS-A-5	-10	10	26 177,80	4,33	5,33	28532,25	-0,04	0,00	13 839,18	2354
DS-A-5	-10	3	25 117,10	4,33	4,81	26463,32	-0,02	0,00	13 839,18	1346
DS-A-5	-10	1	23 973,20	4,33	4,33	24290,32	-0,01	0,00	13 839,18	317
DS-A-5	-10	0,3	22 275,80	4,33	3,81	21652,25	0,01	0,00	13 839,18	624
DS-A-5	-10	0,1	20 780,00	4,33	3,33	19093,86	0,04	0,00	13 839,18	1686
DS-A-9	5	10	16 446,40	2,05	3,05	17556,49	-0,03	0,00	13 839,18	1110
DS-A-9	5	3	14 206,00	2,05	2,53	14739,21	-0,02	0,00	13 839,18	533
DS-A-9	5	1	11 748,20	2,05	2,05	12303,43	-0,02	0,00	13 839,18	555
DS-A-9	5	0,3	9 464,90	2,05	1,53	9880,64	-0,02	0,00	13 839,18	416
DS-A-9	5	0,1	7 627,90	2,05	1,05	7949,38	-0,02	0,00	13 839,18	321
DS-A-8	5	10	16 677,40	2,05	3,05	17556,49	-0,02	0,00	13 839,18	879
DS-A-8	5	3	14 746,60	2,05	2,53	14739,21	0,00	0,00	13 839,18	7
DS-A-8	5	1	12 702,40	2,05	2,05	12303,43	0,01	0,00	13 839,18	399
DS-A-8	5	0,3	10 283,60	2,05	1,53	9880,64	0,02	0,00	13 839,18	403
DS-A-8	5	0,1	8 378,40	2,05	1,05	7949,38	0,02	0,00	13 839,18	429
DS-A-12	5	10	16 037,50	2,05	3,05	17556,49	-0,04	0,00	13 839,18	1519
DS-A-12	5	3	13 844,70	2,05	2,53	14739,21	-0,03	0,00	13 839,18	895
DS-A-12	5	1	11 825,20	2,05	2,05	12303,43	-0,02	0,00	13 839,18	478
DS-A-12	5	0,3	9 679,70	2,05	1,53	9880,64	-0,01	0,00	13 839,18	201
DS-A-12	5	0,1	7 924,60	2,05	1,05	7949,38	0,00	0,00	13 839,18	25
DS-A-5	5	10	15 622,70	2,05	3,05	17556,49	-0,05	0,00	13 839,18	1934
DS-A-5	5	3	13 573,60	2,05	2,53	14739,21	-0,04	0,00	13 839,18	1166
DS-A-5	5	1	11 416,30	2,05	2,05	12303,43	-0,03	0,00	13 839,18	887
DS-A-5	5	0,3	9 099,40	2,05	1,53	9880,64	-0,04	0,00	13 839,18	781
DS-A-5	5	0,1	7 195,20	2,05	1,05	7949,38	-0,04	0,00	13 839,18	754
DS-A-9	20	10	8 407,50	0,00	1,00	7770,02	0,03	0,00	13 839,18	637
DS-A-9	20	3	6 399,90	0,00	0,48	6014,59	0,03	0,00	13 839,18	385
DS-A-9	20	1	4 783,70	0,00	0,00	4703,57	0,01	0,00	13 839,18	80
DS-A-9	20	0,3	3 649,30	0,00	-0,52	3554,09	0,01	0,00	13 839,18	95
DS-A-9	20	0,1	2 826,90	0,00	-1,00	2730,76	0,02	0,00	13 839,18	96
DS-A-8	20	10	8 554,60	0,00	1,00	7770,02	0,04	0,00	13 839,18	785
DS-A-8	20	3	6 489,80	0,00	0,48	6014,59	0,03	0,00	13 839,18	475
DS-A-8	20	1	4 870,20	0,00	0,00	4703,57	0,02	0,00	13 839,18	167
DS-A-8	20	0,3	3 629,10	0,00	-0,52	3554,09	0,01	0,00	13 839,18	75
DS-A-8	20	0,1	2 788,30	0,00	-1,00	2730,76	0,01	0,00	13 839,18	58
DS-A-12	20	10	8 403,20	0,00	1,00	7770,02	0,03	0,00	13 839,18	633
DS-A-12	20	3	6 455,30	0,00	0,48	6014,59	0,03	0,00	13 839,18	441
DS-A-12	20	1	4 782,30	0,00	0,00	4703,57	0,01	0,00	13 839,18	79
DS-A-12	20	0,3	3 686,40	0,00	-0,52	3554,09	0,02	0,00	13 839,18	132
DS-A-12	20	0,1	2 717,60	0,00	-1,00	2730,76	0,00	0,00	13 839,18	13
DS-A-5	20	10	7 802,90	0,00	1,00	7770,02	0,00	0,00	13 839,18	33
DS-A-5	20	3	5 840,60	0,00	0,48	6014,59	-0,01	0,00	13 839,18	174
DS-A-5	20	1	4 332,30	0,00	0,00	4703,57	-0,04	0,00	13 839,18	371
DS-A-5	20	0,3	3 208,20	0,00	-0,52	3554,09	-0,04	0,00	13 839,18	346
DS-A-5	20	0,1	2 443,80	0,00	-1,00	2730,76	-0,05	0,00	13 839,18	287

SLSM med en WLF-funksjon



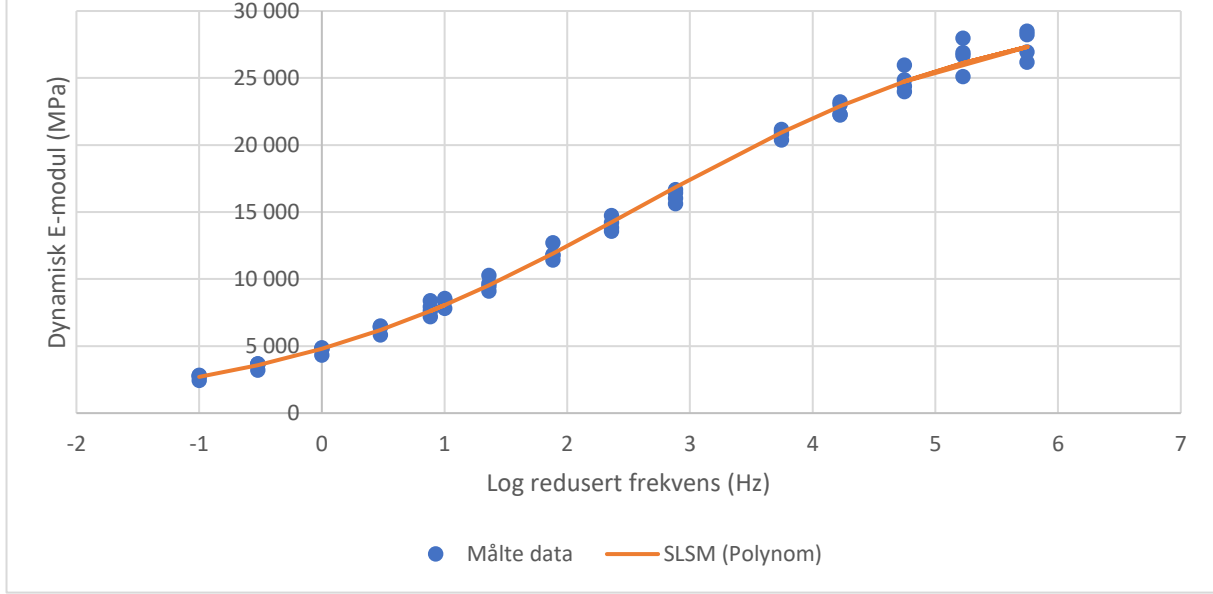
PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skjuffaktor αT $\log(\alpha T) = -(C1*(T1 - TR)/(C2+T1-TR))$	Redusert frekvens f_n $\log(f_n) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $ E^* = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + \exp(\log(f_n) + \beta))$	Residual	Residual*2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
DS-A-9	-10	10	28 488,70	4,75	5,75	27314,09	0,02	0,00	13 839,18	1175
DS-A-9	-10	3	27 968,60	4,75	5,22	26110,28	0,03	0,00	13 839,18	1858
DS-A-9	-10	1	25 967,90	4,75	4,75	24733,50	0,02	0,00	13 839,18	1234
DS-A-9	-10	0,3	23 222,20	4,75	4,22	22898,95	0,01	0,00	13 839,18	323
DS-A-9	-10	0,1	21 173,90	4,75	3,75	20937,49	0,00	0,00	13 839,18	236
DS-A-8	-10	10	26 933,10	4,75	5,75	27314,09	-0,01	0,00	13 839,18	381
DS-A-8	-10	3	26 908,80	4,75	5,22	26110,28	0,01	0,00	13 839,18	799
DS-A-8	-10	1	24 383,00	4,75	4,75	24733,50	-0,01	0,00	13 839,18	350
DS-A-8	-10	0,3	22 245,50	4,75	4,22	22898,95	-0,01	0,00	13 839,18	653
DS-A-8	-10	0,1	20 370,80	4,75	3,75	20937,49	-0,01	0,00	13 839,18	567
DS-A-12	-10	10	28 224,90	4,75	5,75	27314,09	0,01	0,00	13 839,18	911
DS-A-12	-10	3	26 690,00	4,75	5,22	26110,28	0,01	0,00	13 839,18	580
DS-A-12	-10	1	24 862,50	4,75	4,75	24733,50	0,00	0,00	13 839,18	129
DS-A-12	-10	0,3	23 026,30	4,75	4,22	22898,95	0,00	0,00	13 839,18	127
DS-A-12	-10	0,1	20 988,00	4,75	3,75	20937,49	0,00	0,00	13 839,18	51
DS-A-5	-10	10	26 177,80	4,75	5,75	27314,09	-0,02	0,00	13 839,18	1136
DS-A-5	-10	3	25 117,10	4,75	5,22	26110,28	-0,02	0,00	13 839,18	993
DS-A-5	-10	1	23 973,20	4,75	4,75	24733,50	-0,01	0,00	13 839,18	760
DS-A-5	-10	0,3	22 275,80	4,75	4,22	22898,95	-0,01	0,00	13 839,18	623
DS-A-5	-10	0,1	20 780,00	4,75	3,75	20937,49	0,00	0,00	13 839,18	157
DS-A-9	5	10	16 446,40	1,88	2,88	16852,29	-0,01	0,00	13 839,18	406
DS-A-9	5	3	14 206,00	1,88	2,36	14233,55	0,00	0,00	13 839,18	28
DS-A-9	5	1	11 748,20	1,88	1,88	11898,32	-0,01	0,00	13 839,18	150
DS-A-9	5	0,3	9 464,90	1,88	1,36	9524,19	0,00	0,00	13 839,18	59
DS-A-9	5	0,1	7 627,90	1,88	0,88	7607,08	0,00	0,00	13 839,18	21
DS-A-8	5	10	16 677,40	1,88	2,88	16852,29	0,00	0,00	13 839,18	175
DS-A-8	5	3	14 746,60	1,88	2,36	14233,55	0,02	0,00	13 839,18	513
DS-A-8	5	1	12 702,40	1,88	1,88	11898,32	0,03	0,00	13 839,18	804
DS-A-8	5	0,3	10 283,60	1,88	1,36	9524,19	0,03	0,00	13 839,18	759
DS-A-8	5	0,1	8 378,40	1,88	0,88	7607,08	0,04	0,00	13 839,18	771
DS-A-12	5	10	16 037,50	1,88	2,88	16852,29	-0,02	0,00	13 839,18	815
DS-A-12	5	3	13 844,70	1,88	2,36	14233,55	-0,01	0,00	13 839,18	389
DS-A-12	5	1	11 825,20	1,88	1,88	11898,32	0,00	0,00	13 839,18	73
DS-A-12	5	0,3	9 679,70	1,88	1,36	9524,19	0,01	0,00	13 839,18	156
DS-A-12	5	0,1	7 924,60	1,88	0,88	7607,08	0,02	0,00	13 839,18	318
DS-A-5	5	10	15 622,70	1,88	2,88	16852,29	-0,03	0,00	13 839,18	1230
DS-A-5	5	3	13 573,60	1,88	2,36	14233,55	-0,02	0,00	13 839,18	660
DS-A-5	5	1	11 416,30	1,88	1,88	11898,32	-0,02	0,00	13 839,18	482
DS-A-5	5	0,3	9 099,40	1,88	1,36	9524,19	-0,02	0,00	13 839,18	425
DS-A-5	5	0,1	7 195,20	1,88	0,88	7607,08	-0,02	0,00	13 839,18	412
DS-A-9	20	10	8 407,50	0,00	1,00	8055,62	0,02	0,00	13 839,18	352
DS-A-9	20	3	6 399,90	0,00	0,48	6197,02	0,01	0,00	13 839,18	203
DS-A-9	20	1	4 783,70	0,00	0,00	4798,67	0,00	0,00	13 839,18	15
DS-A-9	20	0,3	3 649,30	0,00	-0,52	3573,52	0,01	0,00	13 839,18	76
DS-A-9	20	0,1	2 826,90	0,00	-1,00	2702,17	0,02	0,00	13 839,18	125
DS-A-8	20	10	8 554,60	0,00	1,00	8055,62	0,03	0,00	13 839,18	499
DS-A-8	20	3	6 489,80	0,00	0,48	6197,02	0,02	0,00	13 839,18	293
DS-A-8	20	1	4 870,20	0,00	0,00	4798,67	0,01	0,00	13 839,18	72
DS-A-8	20	0,3	3 629,10	0,00	-0,52	3573,52	0,01	0,00	13 839,18	56
DS-A-8	20	0,1	2 788,30	0,00	-1,00	2702,17	0,01	0,00	13 839,18	86
DS-A-12	20	10	8 403,20	0,00	1,00	8055,62	0,02	0,00	13 839,18	348
DS-A-12	20	3	6 455,30	0,00	0,48	6197,02	0,02	0,00	13 839,18	258
DS-A-12	20	1	4 782,30	0,00	0,00	4798,67	0,00	0,00	13 839,18	16
DS-A-12	20	0,3	3 686,40	0,00	-0,52	3573,52	0,01	0,00	13 839,18	113
DS-A-12	20	0,1	2 717,60	0,00	-1,00	2702,17	0,00	0,00	13 839,18	15
DS-A-5	20	10	7 802,90	0,00	1,00	8055,62	-0,01	0,00	13 839,18	253
DS-A-5	20	3	5 840,60	0,00	0,48	6197,02	-0,03	0,00	13 839,18	356
DS-A-5	20	1	4 332,30	0,00	0,00	4798,67	-0,04	0,00	13 839,18	466
DS-A-5	20	0,3	3 208,20	0,00	-0,52	3573,52	-0,05	0,00	13 839,18	365
DS-A-5	20	0,1	2 443,80	0,00	-1,00	2702,17	-0,04	0,00	13 839,18	258

SLSM med en Kaelble-funksjon



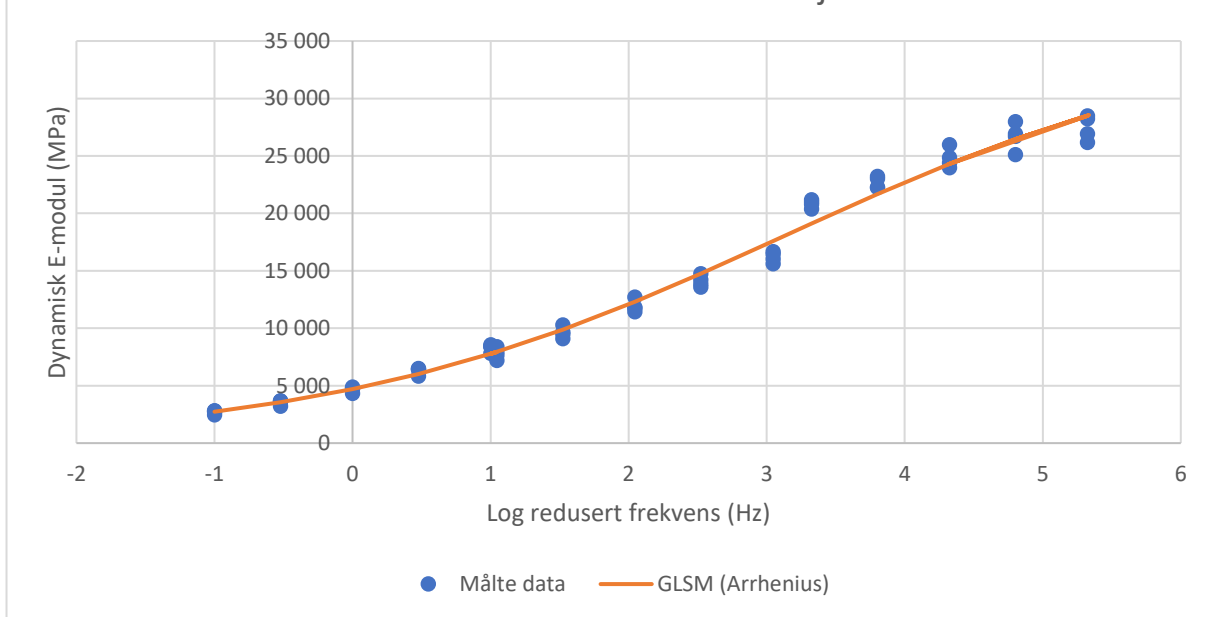
PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skjffaktor αT $\log(\alpha T) = (-C1 \cdot (T_i - TR) / (C2 + T_i - TR))$	Redusert frekvens f_a $\log(f_a) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $[E^*] = \delta + (\alpha \cdot \delta) / (1 + \exp(\log(f_a) + \beta))$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
DS-A-9	-10	10	28 488,70	4,25	5,25	28854,91	-0,01	0,00	13 839,18	366
DS-A-9	-10	3	27 968,60	4,25	4,72	26477,36	0,02	0,00	13 839,18	1491
DS-A-9	-10	1	25 967,90	4,25	4,25	24054,07	0,03	0,00	13 839,18	1914
DS-A-9	-10	0,3	23 222,20	4,25	3,72	21201,03	0,04	0,00	13 839,18	2021
DS-A-9	-10	0,1	21 173,90	4,25	3,25	18515,88	0,06	0,00	13 839,18	2658
DS-A-8	-10	10	26 933,10	4,25	5,25	28854,91	-0,03	0,00	13 839,18	1922
DS-A-8	-10	3	26 908,80	4,25	4,72	26477,36	0,01	0,00	13 839,18	431
DS-A-8	-10	1	24 383,00	4,25	4,25	24054,07	0,01	0,00	13 839,18	329
DS-A-8	-10	0,3	22 245,50	4,25	3,72	21201,03	0,02	0,00	13 839,18	1044
DS-A-8	-10	0,1	20 370,80	4,25	3,25	18515,88	0,04	0,00	13 839,18	1855
DS-A-12	-10	10	28 224,90	4,25	5,25	28854,91	-0,01	0,00	13 839,18	630
DS-A-12	-10	3	26 690,00	4,25	4,72	26477,36	0,00	0,00	13 839,18	213
DS-A-12	-10	1	24 862,50	4,25	4,25	24054,07	0,01	0,00	13 839,18	808
DS-A-12	-10	0,3	23 026,30	4,25	3,72	21201,03	0,04	0,00	13 839,18	1825
DS-A-12	-10	0,1	20 988,00	4,25	3,25	18515,88	0,05	0,00	13 839,18	2472
DS-A-5	-10	10	26 177,80	4,25	5,25	28854,91	-0,04	0,00	13 839,18	2677
DS-A-5	-10	3	25 117,10	4,25	4,72	26477,36	-0,02	0,00	13 839,18	1360
DS-A-5	-10	1	23 973,20	4,25	4,25	24054,07	0,00	0,00	13 839,18	81
DS-A-5	-10	0,3	22 275,80	4,25	3,72	21201,03	0,02	0,00	13 839,18	1075
DS-A-5	-10	0,1	20 780,00	4,25	3,25	18515,88	0,05	0,00	13 839,18	2264
DS-A-9	5	10	16 446,40	2,12	3,12	17822,96	-0,03	0,00	13 839,18	1377
DS-A-9	5	3	14 206,00	2,12	2,60	14943,56	-0,02	0,00	13 839,18	738
DS-A-9	5	1	11 748,20	2,12	2,12	12478,67	-0,03	0,00	13 839,18	730
DS-A-9	5	0,3	9 464,90	2,12	1,60	10042,97	-0,03	0,00	13 839,18	578
DS-A-9	5	0,1	7 627,90	2,12	1,12	8107,99	-0,03	0,00	13 839,18	480
DS-A-8	5	10	16 677,40	2,12	3,12	17822,96	-0,03	0,00	13 839,18	1146
DS-A-8	5	3	14 746,60	2,12	2,60	14943,56	-0,01	0,00	13 839,18	197
DS-A-8	5	1	12 702,40	2,12	2,12	12478,67	0,01	0,00	13 839,18	224
DS-A-8	5	0,3	10 283,60	2,12	1,60	10042,97	0,01	0,00	13 839,18	241
DS-A-8	5	0,1	8 378,40	2,12	1,12	8107,99	0,01	0,00	13 839,18	270
DS-A-12	5	10	16 037,50	2,12	3,12	17822,96	-0,05	0,00	13 839,18	1785
DS-A-12	5	3	13 844,70	2,12	2,60	14943,56	-0,03	0,00	13 839,18	1099
DS-A-12	5	1	11 825,20	2,12	2,12	12478,67	-0,02	0,00	13 839,18	653
DS-A-12	5	0,3	9 679,70	2,12	1,60	10042,97	-0,02	0,00	13 839,18	363
DS-A-12	5	0,1	7 924,60	2,12	1,12	8107,99	-0,01	0,00	13 839,18	183
DS-A-5	5	10	15 622,70	2,12	3,12	17822,96	-0,06	0,00	13 839,18	2200
DS-A-5	5	3	13 573,60	2,12	2,60	14943,56	-0,04	0,00	13 839,18	1370
DS-A-5	5	1	11 416,30	2,12	2,12	12478,67	-0,04	0,00	13 839,18	1062
DS-A-5	5	0,3	9 099,40	2,12	1,60	10042,97	-0,04	0,00	13 839,18	944
DS-A-5	5	0,1	7 195,20	2,12	1,12	8107,99	-0,05	0,00	13 839,18	913
DS-A-9	20	10	8 407,50	0,00	1,00	7654,71	0,04	0,00	13 839,18	753
DS-A-9	20	3	6 399,90	0,00	0,48	5945,32	0,03	0,00	13 839,18	455
DS-A-9	20	1	4 783,70	0,00	0,00	4670,19	0,01	0,00	13 839,18	114
DS-A-9	20	0,3	3 649,30	0,00	-0,52	3550,52	0,01	0,00	13 839,18	99
DS-A-9	20	0,1	2 826,90	0,00	-1,00	2745,67	0,01	0,00	13 839,18	81
DS-A-8	20	10	8 554,60	0,00	1,00	7654,71	0,05	0,00	13 839,18	900
DS-A-8	20	3	6 489,80	0,00	0,48	5945,32	0,04	0,00	13 839,18	544
DS-A-8	20	1	4 870,20	0,00	0,00	4670,19	0,02	0,00	13 839,18	200
DS-A-8	20	0,3	3 629,10	0,00	-0,52	3550,52	0,01	0,00	13 839,18	79
DS-A-8	20	0,1	2 788,30	0,00	-1,00	2745,67	0,01	0,00	13 839,18	43
DS-A-12	20	10	8 403,20	0,00	1,00	7654,71	0,04	0,00	13 839,18	748
DS-A-12	20	3	6 455,30	0,00	0,48	5945,32	0,04	0,00	13 839,18	510
DS-A-12	20	1	4 782,30	0,00	0,00	4670,19	0,01	0,00	13 839,18	112
DS-A-12	20	0,3	3 686,40	0,00	-0,52	3550,52	0,02	0,00	13 839,18	136
DS-A-12	20	0,1	2 717,60	0,00	-1,00	2745,67	0,00	0,00	13 839,18	28
DS-A-5	20	10	7 802,90	0,00	1,00	7654,71	0,01	0,00	13 839,18	148
DS-A-5	20	3	5 840,60	0,00	0,48	5945,32	-0,01	0,00	13 839,18	105
DS-A-5	20	1	4 332,30	0,00	0,00	4670,19	-0,03	0,00	13 839,18	338
DS-A-5	20	0,3	3 208,20	0,00	-0,52	3550,52	-0,04	0,00	13 839,18	342
DS-A-5	20	0,1	2 443,80	0,00	-1,00	2745,67	-0,05	0,00	13 839,18	302

SLSM med en polynomfunksjon



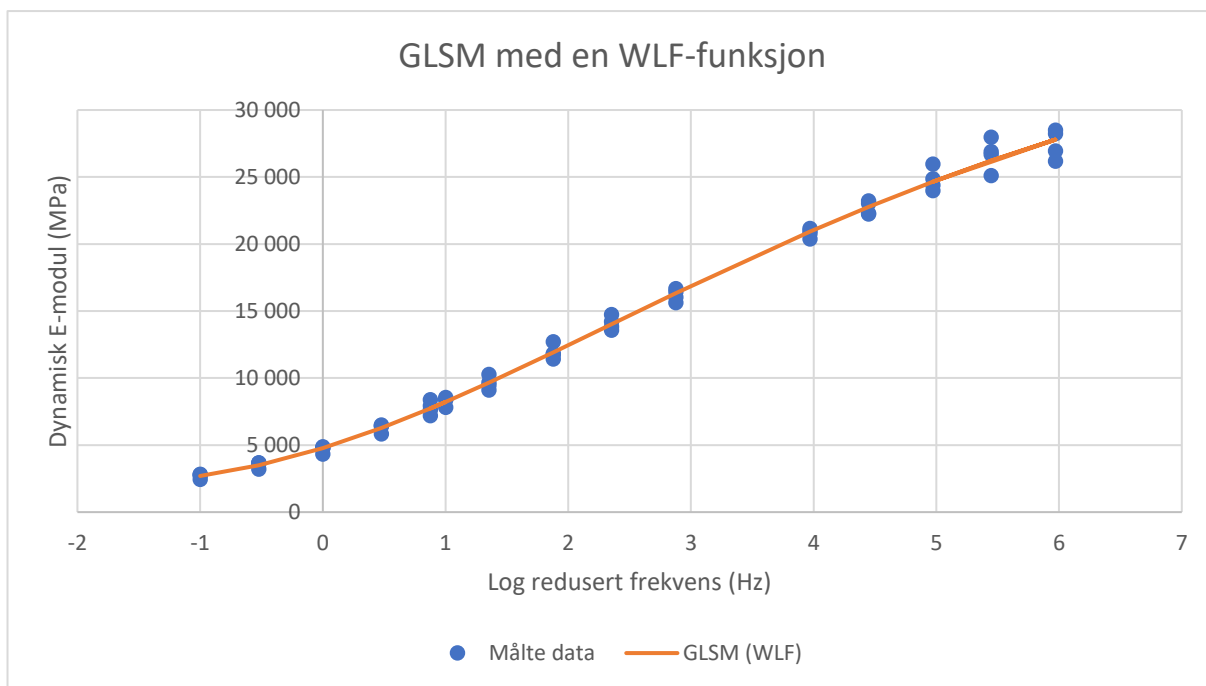
PK	T	f	Målte verdier for dynamisk E-modul	Skiftfaktor αT	Redusert frekvens f_R	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Residual	Residual*2	Snittverdi av målte verdier	Absolutt avvik
[-]	[°C]	[Hz]	[MPa]	$\log(\alpha T) = C2 \cdot (T - Tr) + C3 \cdot (T - Tr)^2$	$\log(f_R) = \log(\alpha T) + \log(f)$	$[E^*] = \delta + (\alpha \cdot \delta) / (1 + \exp(\gamma \log(f_R) + \beta))$			[MPa]	[MPa]
DS-A-9	-10	10	28 488,70	4,75	5,75	27314,57	0,02	0,00	13 839,18	1174,130043
DS-A-9	-10	3	27 968,60	4,75	5,22	26110,41	0,03	0,00	13 839,18	1858,191589
DS-A-9	-10	1	25 967,90	4,75	4,75	24733,26	0,02	0,00	13 839,18	1234,636115
DS-A-9	-10	0,3	23 222,20	4,75	4,22	22898,32	0,01	0,00	13 839,18	323,8842567
DS-A-9	-10	0,1	21 173,90	4,75	3,75	20936,52	0,00	0,00	13 839,18	237,383201
DS-A-8	-10	10	26 933,10	4,75	5,75	27314,57	-0,01	0,00	13 839,18	381,4699569
DS-A-8	-10	3	26 908,80	4,75	5,22	26110,41	0,01	0,00	13 839,18	798,3915888
DS-A-8	-10	1	24 383,00	4,75	4,75	24733,26	-0,01	0,00	13 839,18	350,2638852
DS-A-8	-10	0,3	22 245,50	4,75	4,22	22898,32	-0,01	0,00	13 839,18	652,8157433
DS-A-8	-10	0,1	20 370,80	4,75	3,75	20936,52	-0,01	0,00	13 839,18	565,716799
DS-A-12	-10	10	28 224,90	4,75	5,75	27314,57	0,01	0,00	13 839,18	910,3300431
DS-A-12	-10	3	26 690,00	4,75	5,22	26110,41	0,01	0,00	13 839,18	579,5915888
DS-A-12	-10	1	24 862,50	4,75	4,75	24733,26	0,00	0,00	13 839,18	129,2361148
DS-A-12	-10	0,3	23 026,30	4,75	4,22	22898,32	0,00	0,00	13 839,18	127,9842567
DS-A-12	-10	0,1	20 988,00	4,75	3,75	20936,52	0,00	0,00	13 839,18	51,48320095
DS-A-5	-10	10	26 177,80	4,75	5,75	27314,57	-0,02	0,00	13 839,18	1136,769957
DS-A-5	-10	3	25 117,10	4,75	5,22	26110,41	-0,02	0,00	13 839,18	993,3084112
DS-A-5	-10	1	23 973,20	4,75	4,75	24733,26	-0,01	0,00	13 839,18	760,0638852
DS-A-5	-10	0,3	22 275,80	4,75	4,22	22898,32	-0,01	0,00	13 839,18	622,5157433
DS-A-5	-10	0,1	20 780,00	4,75	3,75	20936,52	0,00	0,00	13 839,18	156,516799
DS-A-9	5	10	16 446,40	1,88	2,88	16852,64	-0,01	0,00	13 839,18	406,2424933
DS-A-9	5	3	14 206,00	1,88	2,36	14233,82	0,00	0,00	13 839,18	27,82125707
DS-A-9	5	1	11 748,20	1,88	1,88	11898,54	-0,01	0,00	13 839,18	150,3398559
DS-A-9	5	0,3	9 464,90	1,88	1,36	9524,38	0,00	0,00	13 839,18	59,48492954
DS-A-9	5	0,1	7 627,90	1,88	0,88	7607,26	0,00	0,00	13 839,18	20,64330885
DS-A-8	5	10	16 577,40	1,88	2,88	16852,64	0,00	0,00	13 839,18	175,2424933
DS-A-8	5	3	14 746,60	1,88	2,36	14233,82	0,02	0,00	13 839,18	512,7787429
DS-A-8	5	1	12 702,40	1,88	1,88	11898,54	0,03	0,00	13 839,18	803,8601441
DS-A-8	5	0,3	10 283,60	1,88	1,36	9524,38	0,03	0,00	13 839,18	759,2150705
DS-A-8	5	0,1	8 378,40	1,88	0,88	7607,26	0,04	0,00	13 839,18	771,1433088
DS-A-12	5	10	16 037,50	1,88	2,88	16852,64	-0,02	0,00	13 839,18	815,1424933
DS-A-12	5	3	13 844,70	1,88	2,36	14233,82	-0,01	0,00	13 839,18	389,1212571
DS-A-12	5	1	11 825,20	1,88	1,88	11898,54	0,00	0,00	13 839,18	73,33985591
DS-A-12	5	0,3	9 679,70	1,88	1,36	9524,38	0,01	0,00	13 839,18	155,3150705
DS-A-12	5	0,1	7 924,60	1,88	0,88	7607,26	0,02	0,00	13 839,18	317,3433088
DS-A-5	5	10	15 622,70	1,88	2,88	16852,64	-0,03	0,00	13 839,18	1229,942493
DS-A-5	5	3	13 573,60	1,88	2,36	14233,82	-0,02	0,00	13 839,18	660,2212571
DS-A-5	5	1	11 416,30	1,88	1,88	11898,54	-0,02	0,00	13 839,18	482,2398559
DS-A-5	5	0,3	9 099,40	1,88	1,36	9524,38	-0,02	0,00	13 839,18	424,9849295
DS-A-5	5	0,1	7 195,20	1,88	0,88	7607,26	-0,02	0,00	13 839,18	412,0566912
DS-A-9	20	10	8 407,50	0,00	1,00	8055,48	0,02	0,00	13 839,18	352,015081
DS-A-9	20	3	6 399,90	0,00	0,48	6196,93	0,01	0,00	13 839,18	202,968731
DS-A-9	20	1	4 783,70	0,00	0,00	4798,61	0,00	0,00	13 839,18	14,91095678
DS-A-9	20	0,3	3 649,30	0,00	-0,52	3573,49	0,01	0,00	13 839,18	75,80580442
DS-A-9	20	0,1	2 826,90	0,00	-1,00	2702,17	0,02	0,00	13 839,18	124,7338766
DS-A-8	20	10	8 554,60	0,00	1,00	8055,48	0,03	0,00	13 839,18	499,115081
DS-A-8	20	3	6 489,80	0,00	0,48	6196,93	0,02	0,00	13 839,18	292,868731
DS-A-8	20	1	4 870,20	0,00	0,00	4798,61	0,01	0,00	13 839,18	71,58904322
DS-A-8	20	0,3	3 629,10	0,00	-0,52	3573,49	0,01	0,00	13 839,18	55,60580442
DS-A-8	20	0,1	2 788,30	0,00	-1,00	2702,17	0,01	0,00	13 839,18	86,13387656
DS-A-12	20	10	8 403,20	0,00	1,00	8055,48	0,02	0,00	13 839,18	347,715081
DS-A-12	20	3	6 455,30	0,00	0,48	6196,93	0,02	0,00	13 839,18	258,368731
DS-A-12	20	1	4 782,30	0,00	0,00	4798,61	0,00	0,00	13 839,18	16,31095678
DS-A-12	20	0,3	3 686,40	0,00	-0,52	3573,49	0,01	0,00	13 839,18	112,9058044
DS-A-12	20	0,1	2 717,60	0,00	-1,00	2702,17	0,00	0,00	13 839,18	15,43387656
DS-A-5	20	10	7 802,90	0,00	1,00	8055,48	-0,01	0,00	13 839,18	252,584919
DS-A-5	20	3	5 840,60	0,00	0,48	6196,93	-0,03	0,00	13 839,18	356,331269
DS-A-5	20	1	4 332,30	0,00	0,00	4798,61	-0,04	0,00	13 839,18	466,3109568
DS-A-5	20	0,3	3 208,20	0,00	-0,52	3573,49	-0,05	0,00	13 839,18	365,2941956
DS-A-5	20	0,1	2 443,80	0,00	-1,00	2702,17	-0,04	0,00	13 839,18	258,3661234

GLSM med en Arrhenius-funksjon



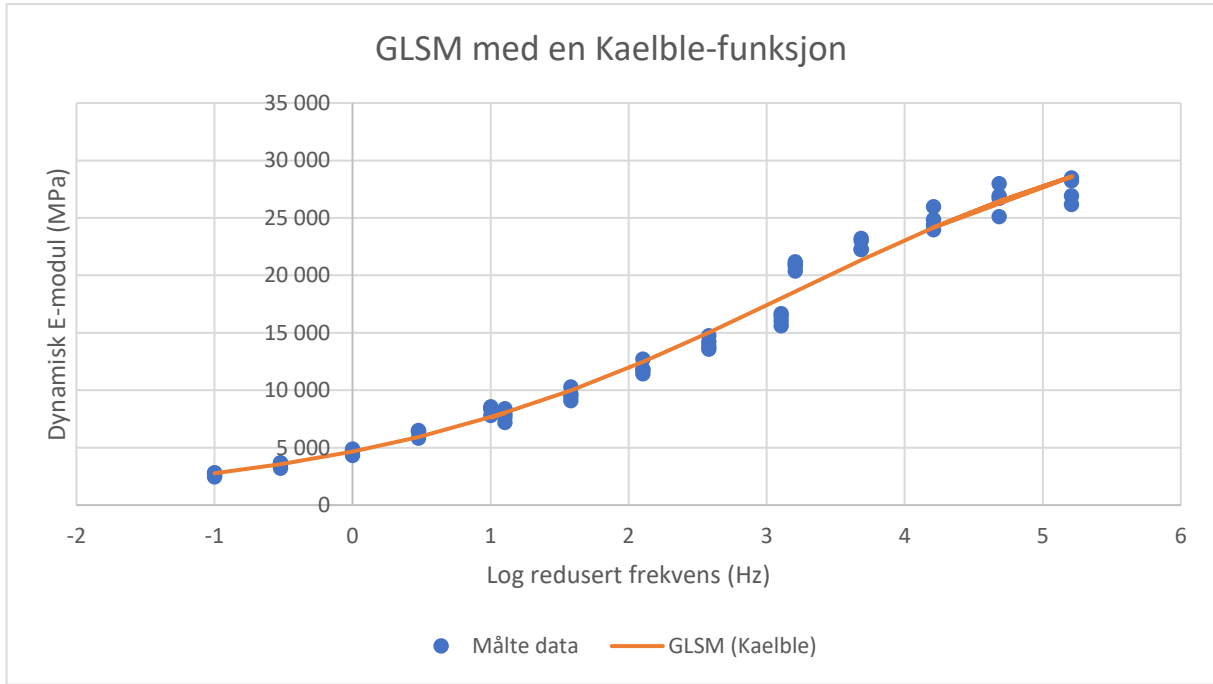
PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = (C \cdot (1/T) - 1/T_r)$	Redusert frekvens f_r $\log(f_r) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $[E^*] = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + \lambda \cdot \exp(\log(f_r) + \beta))^{\lambda} \cdot (1/\lambda)$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
DS-A-9	-10	10	28 488,70	4,32	5,32	28495,60	0,00	0,00	13 839,18	7
DS-A-9	-10	3	27 968,60	4,32	4,80	26457,04	0,02	0,00	13 839,18	1512
DS-A-9	-10	1	25 967,90	4,32	4,32	24300,74	0,03	0,00	13 839,18	1667
DS-A-9	-10	0,3	23 222,20	4,32	3,80	21668,28	0,03	0,00	13 839,18	1554
DS-A-9	-10	0,1	21 173,90	4,32	3,32	19105,40	0,04	0,00	13 839,18	2068
DS-A-8	-10	10	26 933,10	4,32	5,32	28495,60	-0,02	0,00	13 839,18	1562
DS-A-8	-10	3	26 908,80	4,32	4,80	26457,04	0,01	0,00	13 839,18	452
DS-A-8	-10	1	24 383,00	4,32	4,32	24300,74	0,00	0,00	13 839,18	82
DS-A-8	-10	0,3	22 245,50	4,32	3,80	21668,28	0,01	0,00	13 839,18	577
DS-A-8	-10	0,1	20 370,80	4,32	3,32	19105,40	0,03	0,00	13 839,18	1265
DS-A-12	-10	10	28 224,90	4,32	5,32	28495,60	0,00	0,00	13 839,18	271
DS-A-12	-10	3	26 690,00	4,32	4,80	26457,04	0,00	0,00	13 839,18	233
DS-A-12	-10	1	24 862,50	4,32	4,32	24300,74	0,01	0,00	13 839,18	562
DS-A-12	-10	0,3	23 026,30	4,32	3,80	21668,28	0,03	0,00	13 839,18	1358
DS-A-12	-10	0,1	20 988,00	4,32	3,32	19105,40	0,04	0,00	13 839,18	1883
DS-A-5	-10	10	26 177,80	4,32	5,32	28495,60	-0,04	0,00	13 839,18	2318
DS-A-5	-10	3	25 117,10	4,32	4,80	26457,04	-0,02	0,00	13 839,18	1340
DS-A-5	-10	1	23 973,20	4,32	4,32	24300,74	-0,01	0,00	13 839,18	328
DS-A-5	-10	0,3	22 275,80	4,32	3,80	21668,28	0,01	0,00	13 839,18	608
DS-A-5	-10	0,1	20 780,00	4,32	3,32	19105,40	0,04	0,00	13 839,18	1675
DS-A-9	5	10	16 446,40	2,05	3,05	17579,21	-0,03	0,00	13 839,18	1133
DS-A-9	5	3	14 206,00	2,05	2,52	14749,22	-0,02	0,00	13 839,18	543
DS-A-9	5	1	11 748,20	2,05	2,05	12302,49	-0,02	0,00	13 839,18	554
DS-A-9	5	0,3	9 464,90	2,05	1,52	9871,52	-0,02	0,00	13 839,18	407
DS-A-9	5	0,1	7 627,90	2,05	1,05	7937,12	-0,02	0,00	13 839,18	309
DS-A-8	5	10	16 677,40	2,05	3,05	17579,21	-0,02	0,00	13 839,18	902
DS-A-8	5	3	14 746,60	2,05	2,52	14749,22	0,00	0,00	13 839,18	3
DS-A-8	5	1	12 702,40	2,05	2,05	12302,49	0,01	0,00	13 839,18	400
DS-A-8	5	0,3	10 283,60	2,05	1,52	9871,52	0,02	0,00	13 839,18	412
DS-A-8	5	0,1	8 378,40	2,05	1,05	7937,12	0,02	0,00	13 839,18	441
DS-A-12	5	10	16 037,50	2,05	3,05	17579,21	-0,04	0,00	13 839,18	1542
DS-A-12	5	3	13 844,70	2,05	2,52	14749,22	-0,03	0,00	13 839,18	905
DS-A-12	5	1	11 825,20	2,05	2,05	12302,49	-0,02	0,00	13 839,18	477
DS-A-12	5	0,3	9 679,70	2,05	1,52	9871,52	-0,01	0,00	13 839,18	192
DS-A-12	5	0,1	7 924,60	2,05	1,05	7937,12	0,00	0,00	13 839,18	13
DS-A-5	5	10	15 622,70	2,05	3,05	17579,21	-0,05	0,00	13 839,18	1957
DS-A-5	5	3	13 573,60	2,05	2,52	14749,22	-0,04	0,00	13 839,18	1176
DS-A-5	5	1	11 416,30	2,05	2,05	12302,49	-0,03	0,00	13 839,18	886
DS-A-5	5	0,3	9 099,40	2,05	1,52	9871,52	-0,04	0,00	13 839,18	772
DS-A-5	5	0,1	7 195,20	2,05	1,05	7937,12	-0,04	0,00	13 839,18	742
DS-A-9	20	10	8 407,50	0,00	1,00	7767,73	0,03	0,00	13 839,18	640
DS-A-9	20	3	6 399,90	0,00	0,48	6011,37	0,03	0,00	13 839,18	389
DS-A-9	20	1	4 783,70	0,00	0,00	4701,81	0,01	0,00	13 839,18	82
DS-A-9	20	0,3	3 649,30	0,00	-0,52	3555,03	0,01	0,00	13 839,18	94
DS-A-9	20	0,1	2 826,90	0,00	-1,00	2734,22	0,01	0,00	13 839,18	93
DS-A-8	20	10	8 554,60	0,00	1,00	7767,73	0,04	0,00	13 839,18	787
DS-A-8	20	3	6 489,80	0,00	0,48	6011,37	0,03	0,00	13 839,18	478
DS-A-8	20	1	4 870,20	0,00	0,00	4701,81	0,02	0,00	13 839,18	168
DS-A-8	20	0,3	3 629,10	0,00	-0,52	3555,03	0,01	0,00	13 839,18	74
DS-A-8	20	0,1	2 788,30	0,00	-1,00	2734,22	0,01	0,00	13 839,18	54
DS-A-12	20	10	8 403,20	0,00	1,00	7767,73	0,03	0,00	13 839,18	635
DS-A-12	20	3	6 455,30	0,00	0,48	6011,37	0,03	0,00	13 839,18	444
DS-A-12	20	1	4 782,30	0,00	0,00	4701,81	0,01	0,00	13 839,18	80
DS-A-12	20	0,3	3 686,40	0,00	-0,52	3555,03	0,02	0,00	13 839,18	131
DS-A-12	20	0,1	2 717,60	0,00	-1,00	2734,22	0,00	0,00	13 839,18	17
DS-A-5	20	10	7 802,90	0,00	1,00	7767,73	0,00	0,00	13 839,18	35
DS-A-5	20	3	5 840,60	0,00	0,48	6011,37	-0,01	0,00	13 839,18	171
DS-A-5	20	1	4 332,30	0,00	0,00	4701,81	-0,04	0,00	13 839,18	370
DS-A-5	20	0,3	3 208,20	0,00	-0,52	3555,03	-0,04	0,00	13 839,18	347
DS-A-5	20	0,1	2 443,80	0,00	-1,00	2734,22	-0,05	0,00	13 839,18	290

GLSM med en WLF-funksjon



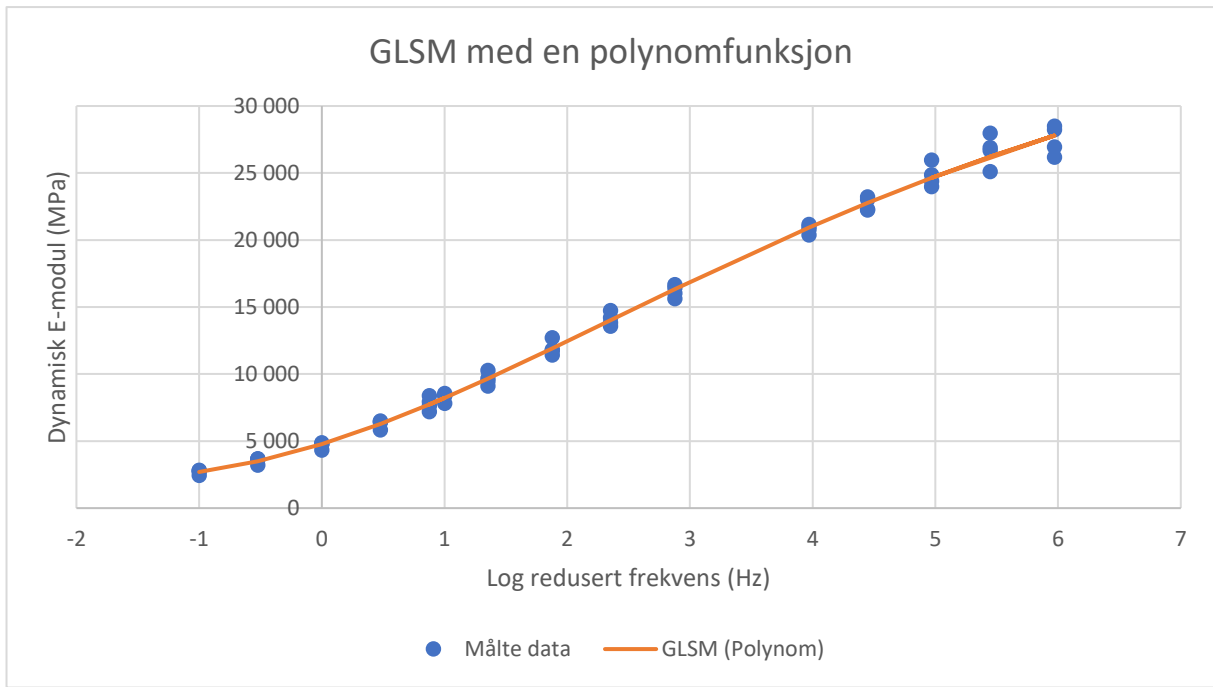
PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skjiftfaktor αT $\log(\alpha T) = (-C_1 \cdot (T_i - T_R)) / (C_2 + T_i - T_R)$	Redusert frekvens f_R $\log(f_R) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $ E^* = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + A \cdot \exp(\log(f_R) + \beta))^{\lambda} (1/A)$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Asolutt avvik [MPa]
DS-A-9	-10	10	28 488,70	4,97	5,97	27791,07	0,01	0,00	13 839,18	698
DS-A-9	-10	3	27 968,60	4,97	5,45	26215,93	0,03	0,00	13 839,18	1753
DS-A-9	-10	1	25 967,90	4,97	4,97	24641,50	0,02	0,00	13 839,18	1326
DS-A-9	-10	0,3	23 222,20	4,97	4,45	22767,33	0,01	0,00	13 839,18	455
DS-A-9	-10	0,1	21 173,90	4,97	3,97	20928,19	0,01	0,00	13 839,18	246
DS-A-8	-10	10	26 933,10	4,97	5,97	27791,07	-0,01	0,00	13 839,18	858
DS-A-8	-10	3	26 908,80	4,97	5,45	26215,93	0,01	0,00	13 839,18	693
DS-A-8	-10	1	24 383,00	4,97	4,97	24641,50	0,00	0,00	13 839,18	259
DS-A-8	-10	0,3	22 245,50	4,97	4,45	22767,33	-0,01	0,00	13 839,18	522
DS-A-8	-10	0,1	20 370,80	4,97	3,97	20928,19	-0,01	0,00	13 839,18	557
DS-A-12	-10	10	28 224,90	4,97	5,97	27791,07	0,01	0,00	13 839,18	434
DS-A-12	-10	3	26 690,00	4,97	5,45	26215,93	0,01	0,00	13 839,18	474
DS-A-12	-10	1	24 862,50	4,97	4,97	24641,50	0,00	0,00	13 839,18	221
DS-A-12	-10	0,3	23 026,30	4,97	4,45	22767,33	0,00	0,00	13 839,18	259
DS-A-12	-10	0,1	20 988,00	4,97	3,97	20928,19	0,00	0,00	13 839,18	60
DS-A-5	-10	10	26 177,80	4,97	5,97	27791,07	-0,03	0,00	13 839,18	1613
DS-A-5	-10	3	25 117,10	4,97	5,45	26215,93	-0,02	0,00	13 839,18	1099
DS-A-5	-10	1	23 973,20	4,97	4,97	24641,50	-0,01	0,00	13 839,18	668
DS-A-5	-10	0,3	22 275,80	4,97	4,45	22767,33	-0,01	0,00	13 839,18	492
DS-A-5	-10	0,1	20 780,00	4,97	3,97	20928,19	0,00	0,00	13 839,18	148
DS-A-9	5	10	16 446,40	1,88	2,88	16331,12	0,00	0,00	13 839,18	115
DS-A-9	5	3	14 206,00	1,88	2,35	14019,09	0,01	0,00	13 839,18	187
DS-A-9	5	1	11 748,20	1,88	1,88	11906,96	-0,01	0,00	13 839,18	159
DS-A-9	5	0,3	9 464,90	1,88	1,35	9657,45	-0,01	0,00	13 839,18	193
DS-A-9	5	0,1	7 627,90	1,88	0,88	7735,24	-0,01	0,00	13 839,18	107
DS-A-8	5	10	16 677,40	1,88	2,88	16331,12	0,01	0,00	13 839,18	346
DS-A-8	5	3	14 746,60	1,88	2,35	14019,09	0,02	0,00	13 839,18	728
DS-A-8	5	1	12 702,40	1,88	1,88	11906,96	0,03	0,00	13 839,18	795
DS-A-8	5	0,3	10 283,60	1,88	1,35	9657,45	0,03	0,00	13 839,18	626
DS-A-8	5	0,1	8 378,40	1,88	0,88	7735,24	0,03	0,00	13 839,18	643
DS-A-12	5	10	16 037,50	1,88	2,88	16331,12	-0,01	0,00	13 839,18	294
DS-A-12	5	3	13 844,70	1,88	2,35	14019,09	-0,01	0,00	13 839,18	174
DS-A-12	5	1	11 825,20	1,88	1,88	11906,96	0,00	0,00	13 839,18	82
DS-A-12	5	0,3	9 679,70	1,88	1,35	9657,45	0,00	0,00	13 839,18	22
DS-A-12	5	0,1	7 924,60	1,88	0,88	7735,24	0,01	0,00	13 839,18	189
DS-A-5	5	10	15 622,70	1,88	2,88	16331,12	-0,02	0,00	13 839,18	708
DS-A-5	5	3	13 573,60	1,88	2,35	14019,09	-0,01	0,00	13 839,18	445
DS-A-5	5	1	11 416,30	1,88	1,88	11906,96	-0,02	0,00	13 839,18	491
DS-A-5	5	0,3	9 099,40	1,88	1,35	9657,45	-0,03	0,00	13 839,18	558
DS-A-5	5	0,1	7 195,20	1,88	0,88	7735,24	-0,03	0,00	13 839,18	540
DS-A-9	20	10	8 407,50	0,00	1,00	8219,07	0,01	0,00	13 839,18	188
DS-A-9	20	3	6 399,90	0,00	0,48	6277,86	0,01	0,00	13 839,18	122
DS-A-9	20	1	4 783,70	0,00	0,00	4774,33	0,00	0,00	13 839,18	9
DS-A-9	20	0,3	3 649,30	0,00	-0,52	3494,14	0,02	0,00	13 839,18	155
DS-A-9	20	0,1	2 826,90	0,00	-1,00	2697,72	0,02	0,00	13 839,18	129
DS-A-8	20	10	8 554,60	0,00	1,00	8219,07	0,02	0,00	13 839,18	336
DS-A-8	20	3	6 489,80	0,00	0,48	6277,86	0,01	0,00	13 839,18	212
DS-A-8	20	1	4 870,20	0,00	0,00	4774,33	0,01	0,00	13 839,18	96
DS-A-8	20	0,3	3 629,10	0,00	-0,52	3494,14	0,02	0,00	13 839,18	135
DS-A-8	20	0,1	2 788,30	0,00	-1,00	2697,72	0,01	0,00	13 839,18	91
DS-A-12	20	10	8 403,20	0,00	1,00	8219,07	0,01	0,00	13 839,18	184
DS-A-12	20	3	6 455,30	0,00	0,48	6277,86	0,01	0,00	13 839,18	177
DS-A-12	20	1	4 782,30	0,00	0,00	4774,33	0,00	0,00	13 839,18	8
DS-A-12	20	0,3	3 686,40	0,00	-0,52	3494,14	0,02	0,00	13 839,18	192
DS-A-12	20	0,1	2 717,60	0,00	-1,00	2697,72	0,00	0,00	13 839,18	20
DS-A-5	20	10	7 802,90	0,00	1,00	8219,07	-0,02	0,00	13 839,18	416
DS-A-5	20	3	5 840,60	0,00	0,48	6277,86	-0,03	0,00	13 839,18	437
DS-A-5	20	1	4 332,30	0,00	0,00	4774,33	-0,04	0,00	13 839,18	442
DS-A-5	20	0,3	3 208,20	0,00	-0,52	3494,14	-0,04	0,00	13 839,18	286
DS-A-5	20	0,1	2 443,80	0,00	-1,00	2697,72	-0,04	0,00	13 839,18	254

GLSM med en Kaelble-funksjon



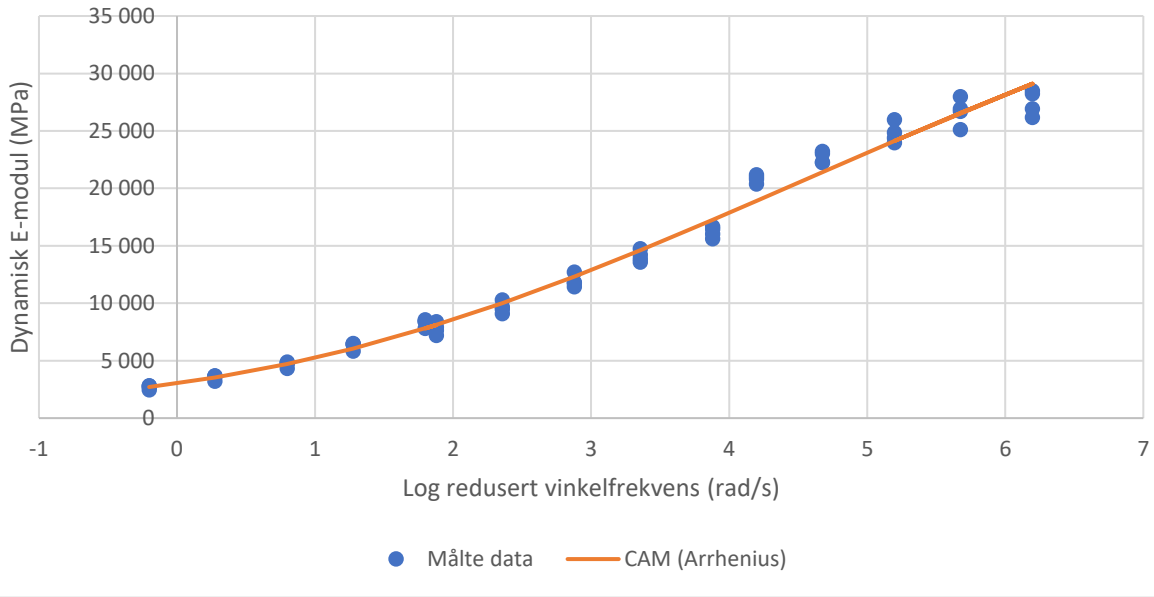
PK	T	f	Målte verdier for dynamisk E-modul	Skiftfaktor αT	Redusert frekvens f_R	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier	Absolutt avvik
[-]	[°C]	[Hz]	[MPa]	$\log(\alpha T) = (-C1*(T1 - TR)/(C2+(T1-Tr)))$	$\log(f_R) = \log(\alpha T) + \log(f)$	$E^* = \delta + (\alpha - \delta)/(1 + A * \exp(\log(f_R) + \beta))^{1/A}$			[MPa]	[MPa]
DS-A-9	-10	10	28 488,70	4,21	5,21	28573,90	0,00	0,00	13 839,18	85
DS-A-9	-10	3	27 968,60	4,21	4,68	26446,77	0,02	0,00	13 839,18	1522
DS-A-9	-10	1	25 967,90	4,21	4,21	24149,71	0,03	0,00	13 839,18	1818
DS-A-9	-10	0,3	23 222,20	4,21	3,68	21324,98	0,04	0,00	13 839,18	1897
DS-A-9	-10	0,1	21 173,90	4,21	3,21	18590,85	0,06	0,00	13 839,18	2583
DS-A-8	-10	10	26 933,10	4,21	5,21	28573,90	-0,03	0,00	13 839,18	1641
DS-A-8	-10	3	26 908,80	4,21	4,68	26446,77	0,01	0,00	13 839,18	462
DS-A-8	-10	1	24 383,00	4,21	4,21	24149,71	0,00	0,00	13 839,18	233
DS-A-8	-10	0,3	22 245,50	4,21	3,68	21324,98	0,02	0,00	13 839,18	921
DS-A-8	-10	0,1	20 370,80	4,21	3,21	18590,85	0,04	0,00	13 839,18	1780
DS-A-12	-10	10	28 224,90	4,21	5,21	28573,90	-0,01	0,00	13 839,18	349
DS-A-12	-10	3	26 690,00	4,21	4,68	26446,77	0,00	0,00	13 839,18	243
DS-A-12	-10	1	24 862,50	4,21	4,21	24149,71	0,01	0,00	13 839,18	713
DS-A-12	-10	0,3	23 026,30	4,21	3,68	21324,98	0,03	0,00	13 839,18	1701
DS-A-12	-10	0,1	20 988,00	4,21	3,21	18590,85	0,05	0,00	13 839,18	2397
DS-A-5	-10	10	26 177,80	4,21	5,21	28573,90	-0,04	0,00	13 839,18	2396
DS-A-5	-10	3	25 117,10	4,21	4,68	26446,77	-0,02	0,00	13 839,18	1330
DS-A-5	-10	1	23 973,20	4,21	4,21	24149,71	0,00	0,00	13 839,18	177
DS-A-5	-10	0,3	22 275,80	4,21	3,68	21324,98	0,02	0,00	13 839,18	951
DS-A-5	-10	0,1	20 780,00	4,21	3,21	18590,85	0,05	0,00	13 839,18	2189
DS-A-9	5	10	16 446,40	2,10	3,10	17992,67	-0,04	0,00	13 839,18	1546
DS-A-9	5	3	14 206,00	2,10	2,58	15015,28	-0,02	0,00	13 839,18	809
DS-A-9	5	1	11 748,20	2,10	2,10	12467,55	-0,03	0,00	13 839,18	719
DS-A-9	5	0,3	9 464,90	2,10	1,58	9972,27	-0,02	0,00	13 839,18	507
DS-A-9	5	0,1	7 627,90	2,10	1,10	8016,08	-0,02	0,00	13 839,18	388
DS-A-8	5	10	16 677,40	2,10	3,10	17992,67	-0,03	0,00	13 839,18	1315
DS-A-8	5	3	14 746,60	2,10	2,58	15015,28	-0,01	0,00	13 839,18	269
DS-A-8	5	1	12 702,40	2,10	2,10	12467,55	0,01	0,00	13 839,18	235
DS-A-8	5	0,3	10 283,60	2,10	1,58	9972,27	0,01	0,00	13 839,18	311
DS-A-8	5	0,1	8 378,40	2,10	1,10	8016,08	0,02	0,00	13 839,18	362
DS-A-12	5	10	16 037,50	2,10	3,10	17992,67	-0,05	0,00	13 839,18	1955
DS-A-12	5	3	13 844,70	2,10	2,58	15015,28	-0,04	0,00	13 839,18	1171
DS-A-12	5	1	11 825,20	2,10	2,10	12467,55	-0,02	0,00	13 839,18	642
DS-A-12	5	0,3	9 679,70	2,10	1,58	9972,27	-0,01	0,00	13 839,18	293
DS-A-12	5	0,1	7 924,60	2,10	1,10	8016,08	0,00	0,00	13 839,18	91
DS-A-5	5	10	15 622,70	2,10	3,10	17992,67	-0,06	0,00	13 839,18	2370
DS-A-5	5	3	13 573,60	2,10	2,58	15015,28	-0,04	0,00	13 839,18	1442
DS-A-5	5	1	11 416,30	2,10	2,10	12467,55	-0,04	0,00	13 839,18	1051
DS-A-5	5	0,3	9 099,40	2,10	1,58	9972,27	-0,04	0,00	13 839,18	873
DS-A-5	5	0,1	7 195,20	2,10	1,10	8016,08	-0,05	0,00	13 839,18	821
DS-A-9	20	10	8 407,50	0,00	1,00	7633,22	0,04	0,00	13 839,18	774
DS-A-9	20	3	6 399,90	0,00	0,48	5921,40	0,03	0,00	13 839,18	479
DS-A-9	20	1	4 783,70	0,00	0,00	4658,68	0,01	0,00	13 839,18	125
DS-A-9	20	0,3	3 649,30	0,00	-0,52	3558,60	0,01	0,00	13 839,18	91
DS-A-9	20	0,1	2 826,90	0,00	-1,00	2771,12	0,01	0,00	13 839,18	56
DS-A-8	20	10	8 554,60	0,00	1,00	7633,22	0,05	0,00	13 839,18	921
DS-A-8	20	3	6 489,80	0,00	0,48	5921,40	0,04	0,00	13 839,18	568
DS-A-8	20	1	4 870,20	0,00	0,00	4658,68	0,02	0,00	13 839,18	212
DS-A-8	20	0,3	3 629,10	0,00	-0,52	3558,60	0,01	0,00	13 839,18	70
DS-A-8	20	0,1	2 788,30	0,00	-1,00	2771,12	0,00	0,00	13 839,18	17
DS-A-12	20	10	8 403,20	0,00	1,00	7633,22	0,04	0,00	13 839,18	770
DS-A-12	20	3	6 455,30	0,00	0,48	5921,40	0,04	0,00	13 839,18	534
DS-A-12	20	1	4 782,30	0,00	0,00	4658,68	0,01	0,00	13 839,18	124
DS-A-12	20	0,3	3 686,40	0,00	-0,52	3558,60	0,02	0,00	13 839,18	128
DS-A-12	20	0,1	2 717,60	0,00	-1,00	2771,12	-0,01	0,00	13 839,18	54
DS-A-5	20	10	7 802,90	0,00	1,00	7633,22	0,01	0,00	13 839,18	170
DS-A-5	20	3	5 840,60	0,00	0,48	5921,40	-0,01	0,00	13 839,18	81
DS-A-5	20	1	4 332,30	0,00	0,00	4658,68	-0,03	0,00	13 839,18	326
DS-A-5	20	0,3	3 208,20	0,00	-0,52	3558,60	-0,05	0,00	13 839,18	350
DS-A-5	20	0,1	2 443,80	0,00	-1,00	2771,12	-0,05	0,00	13 839,18	327

GLSM med en polynomfunksjon



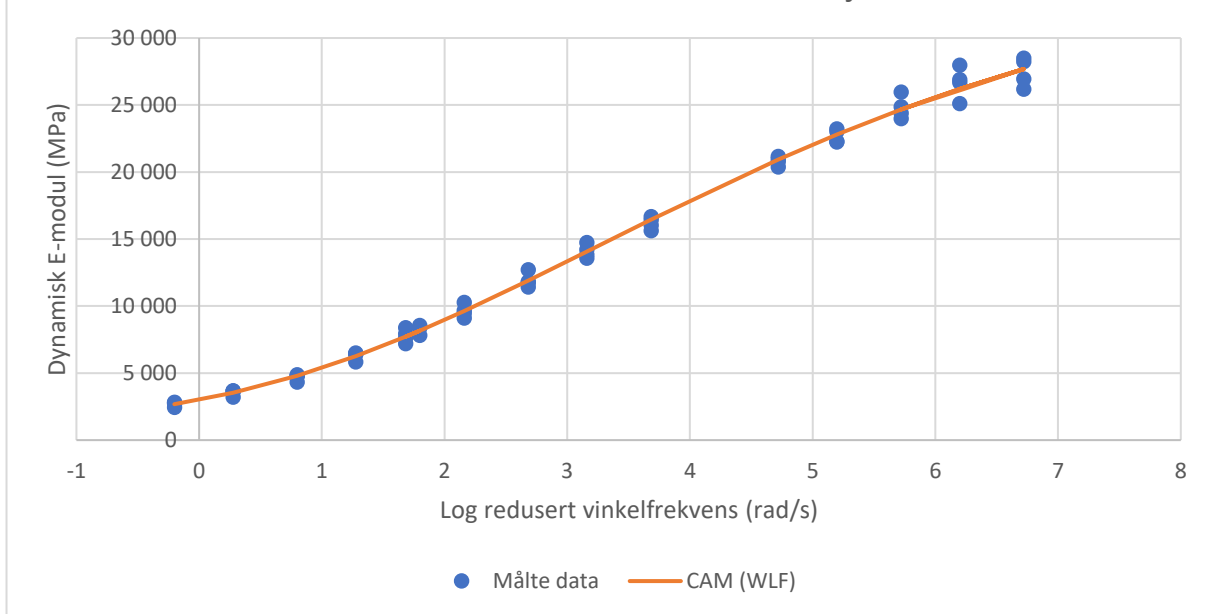
PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = C2 \cdot (T - Tr) + C3 \cdot (T - Tr)^2$	Redusert frekvens f_R $\log(f_R) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $\log[E^*] = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + A \cdot \exp(\gamma f_R + \beta))^{1/L}$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
DS-A-9	-10	10	28 488,70	4,97	5,97	27790,84	0,01	0,00	13 839,18	698
DS-A-9	-10	3	27 968,60	4,97	5,45	26215,80	0,03	0,00	13 839,18	1753
DS-A-9	-10	1	25 967,90	4,97	4,97	24641,36	0,02	0,00	13 839,18	1327
DS-A-9	-10	0,3	23 222,20	4,97	4,45	22767,07	0,01	0,00	13 839,18	455
DS-A-9	-10	0,1	21 173,90	4,97	3,97	20927,72	0,01	0,00	13 839,18	246
DS-A-8	-10	10	26 933,10	4,97	5,97	27790,84	-0,01	0,00	13 839,18	858
DS-A-8	-10	3	26 908,80	4,97	5,45	26215,80	0,01	0,00	13 839,18	693
DS-A-8	-10	1	24 383,00	4,97	4,97	24641,36	0,00	0,00	13 839,18	258
DS-A-8	-10	0,3	22 245,50	4,97	4,45	22767,07	-0,01	0,00	13 839,18	522
DS-A-8	-10	0,1	20 370,80	4,97	3,97	20927,72	-0,01	0,00	13 839,18	557
DS-A-12	-10	10	28 224,90	4,97	5,97	27790,84	0,01	0,00	13 839,18	434
DS-A-12	-10	3	26 690,00	4,97	5,45	26215,80	0,01	0,00	13 839,18	474
DS-A-12	-10	1	24 862,50	4,97	4,97	24641,36	0,00	0,00	13 839,18	221
DS-A-12	-10	0,3	23 026,30	4,97	4,45	22767,07	0,00	0,00	13 839,18	259
DS-A-12	-10	0,1	20 988,00	4,97	3,97	20927,72	0,00	0,00	13 839,18	60
DS-A-5	-10	10	26 177,80	4,97	5,97	27790,84	-0,03	0,00	13 839,18	1613
DS-A-5	-10	3	25 117,10	4,97	5,45	26215,80	-0,02	0,00	13 839,18	1099
DS-A-5	-10	1	23 973,20	4,97	4,97	24641,36	-0,01	0,00	13 839,18	668
DS-A-5	-10	0,3	22 275,80	4,97	4,45	22767,07	-0,01	0,00	13 839,18	491
DS-A-5	-10	0,1	20 780,00	4,97	3,97	20927,72	0,00	0,00	13 839,18	148
DS-A-9	5	10	16 446,40	1,88	2,88	16331,83	0,00	0,00	13 839,18	115
DS-A-9	5	3	14 206,00	1,88	2,35	14019,50	0,01	0,00	13 839,18	187
DS-A-9	5	1	11 748,20	1,88	1,88	11907,14	-0,01	0,00	13 839,18	159
DS-A-9	5	0,3	9 464,90	1,88	1,35	9657,46	-0,01	0,00	13 839,18	193
DS-A-9	5	0,1	7 627,90	1,88	0,88	7735,21	-0,01	0,00	13 839,18	107
DS-A-8	5	10	16 677,40	1,88	2,88	16331,83	0,01	0,00	13 839,18	346
DS-A-8	5	3	14 746,60	1,88	2,35	14019,50	0,02	0,00	13 839,18	727
DS-A-8	5	1	12 702,40	1,88	1,88	11907,14	0,03	0,00	13 839,18	795
DS-A-8	5	0,3	10 283,60	1,88	1,35	9657,46	0,03	0,00	13 839,18	626
DS-A-8	5	0,1	8 378,40	1,88	0,88	7735,21	0,03	0,00	13 839,18	643
DS-A-12	5	10	16 037,50	1,88	2,88	16331,83	-0,01	0,00	13 839,18	294
DS-A-12	5	3	13 844,70	1,88	2,35	14019,50	-0,01	0,00	13 839,18	175
DS-A-12	5	1	11 825,20	1,88	1,88	11907,14	0,00	0,00	13 839,18	82
DS-A-12	5	0,3	9 679,70	1,88	1,35	9657,46	0,00	0,00	13 839,18	22
DS-A-12	5	0,1	7 924,60	1,88	0,88	7735,21	0,01	0,00	13 839,18	189
DS-A-5	5	10	15 622,70	1,88	2,88	16331,83	-0,02	0,00	13 839,18	709
DS-A-5	5	3	13 573,60	1,88	2,35	14019,50	-0,01	0,00	13 839,18	446
DS-A-5	5	1	11 416,30	1,88	1,88	11907,14	-0,02	0,00	13 839,18	491
DS-A-5	5	0,3	9 099,40	1,88	1,35	9657,46	-0,03	0,00	13 839,18	558
DS-A-5	5	0,1	7 195,20	1,88	0,88	7735,21	-0,03	0,00	13 839,18	540
DS-A-9	20	10	8 407,50	0,00	1,00	8218,84	0,01	0,00	13 839,18	189
DS-A-9	20	3	6 399,90	0,00	0,48	6277,71	0,01	0,00	13 839,18	122
DS-A-9	20	1	4 783,70	0,00	0,00	4774,33	0,00	0,00	13 839,18	9
DS-A-9	20	0,3	3 649,30	0,00	-0,52	3494,24	0,02	0,00	13 839,18	155
DS-A-9	20	0,1	2 826,90	0,00	-1,00	2697,70	0,02	0,00	13 839,18	129
DS-A-8	20	10	8 554,60	0,00	1,00	8218,84	0,02	0,00	13 839,18	336
DS-A-8	20	3	6 489,80	0,00	0,48	6277,71	0,01	0,00	13 839,18	212
DS-A-8	20	1	4 870,20	0,00	0,00	4774,33	0,01	0,00	13 839,18	96
DS-A-8	20	0,3	3 629,10	0,00	-0,52	3494,24	0,02	0,00	13 839,18	135
DS-A-8	20	0,1	2 788,30	0,00	-1,00	2697,70	0,01	0,00	13 839,18	91
DS-A-12	20	10	8 403,20	0,00	1,00	8218,84	0,01	0,00	13 839,18	184
DS-A-12	20	3	6 455,30	0,00	0,48	6277,71	0,01	0,00	13 839,18	178
DS-A-12	20	1	4 782,30	0,00	0,00	4774,33	0,00	0,00	13 839,18	8
DS-A-12	20	0,3	3 686,40	0,00	-0,52	3494,24	0,02	0,00	13 839,18	192
DS-A-12	20	0,1	2 717,60	0,00	-1,00	2697,70	0,00	0,00	13 839,18	20
DS-A-5	20	10	7 802,90	0,00	1,00	8218,84	-0,02	0,00	13 839,18	416
DS-A-5	20	3	5 840,60	0,00	0,48	6277,71	-0,03	0,00	13 839,18	437
DS-A-5	20	1	4 332,30	0,00	0,00	4774,33	-0,04	0,00	13 839,18	442
DS-A-5	20	0,3	3 208,20	0,00	-0,52	3494,24	-0,04	0,00	13 839,18	286
DS-A-5	20	0,1	2 443,80	0,00	-1,00	2697,70	-0,04	0,00	13 839,18	254

CAM-modellen med en Arrhenius-funksjon



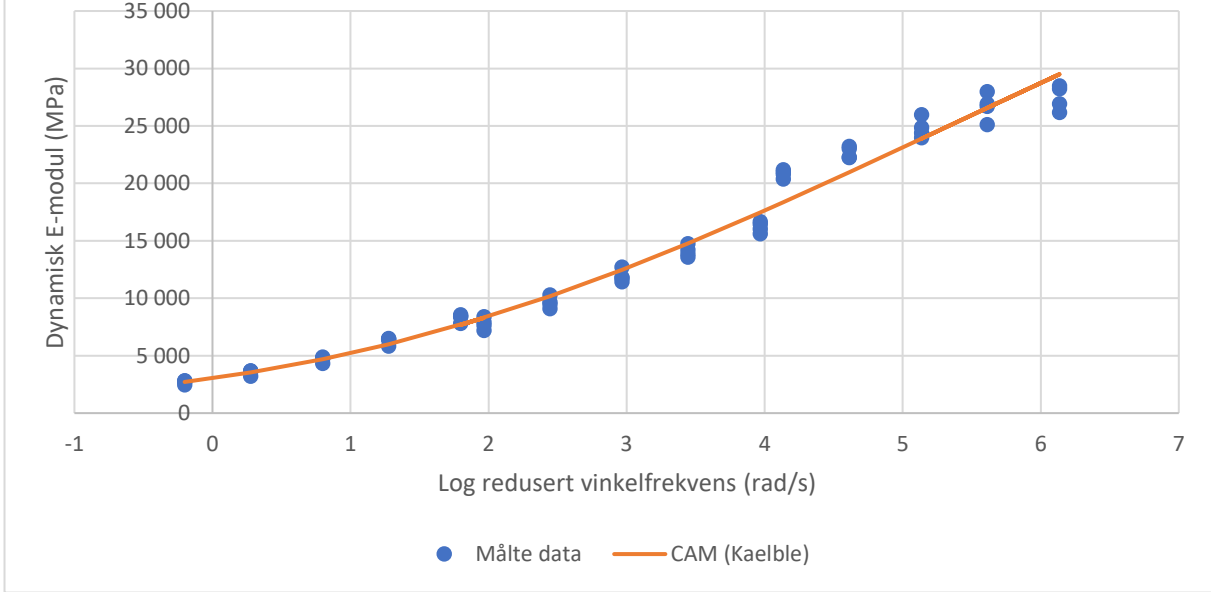
PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Stiff faktor αT $\log(\alpha T) = (C \cdot (1/T) - 1/T_0)$	Crossover frekvens $\omega \alpha T$ $\log(\omega \alpha T) = \alpha T + \log(f \cdot 2 \cdot \pi)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $ E^* = E_{\min} + E_{\max} \cdot \exp(-(\omega \alpha T)^n) \cdot (v/w)^m$	Residual	Residual ²	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
DS-A-9	-10	10	28 488,70	4,40	6,20	29109,87	-0,01	0,00	13 839,18	621
DS-A-9	-10	3	27 968,60	4,40	5,67	26552,35	0,02	0,00	13 839,18	1416
DS-A-9	-10	1	25 967,90	4,40	5,20	24125,11	0,03	0,00	13 839,18	1843
DS-A-9	-10	0,3	23 222,20	4,40	4,67	21402,51	0,04	0,00	13 839,18	1820
DS-A-9	-10	0,1	21 173,90	4,40	4,20	18903,97	0,05	0,00	13 839,18	2270
DS-A-8	-10	10	26 933,10	4,40	6,20	29109,87	-0,03	0,00	13 839,18	2177
DS-A-8	-10	3	26 908,80	4,40	5,67	26552,35	0,01	0,00	13 839,18	356
DS-A-8	-10	1	24 383,00	4,40	5,20	24125,11	0,00	0,00	13 839,18	258
DS-A-8	-10	0,3	22 245,50	4,40	4,67	21402,51	0,02	0,00	13 839,18	843
DS-A-8	-10	0,1	20 370,80	4,40	4,20	18903,97	0,03	0,00	13 839,18	1467
DS-A-12	-10	10	28 224,90	4,40	6,20	29109,87	-0,01	0,00	13 839,18	885
DS-A-12	-10	3	26 690,00	4,40	5,67	26552,35	0,00	0,00	13 839,18	138
DS-A-12	-10	1	24 862,50	4,40	5,20	24125,11	0,01	0,00	13 839,18	737
DS-A-12	-10	0,3	23 026,30	4,40	4,67	21402,51	0,03	0,00	13 839,18	1624
DS-A-12	-10	0,1	20 988,00	4,40	4,20	18903,97	0,05	0,00	13 839,18	2084
DS-A-5	-10	10	26 177,80	4,40	6,20	29109,87	-0,05	0,00	13 839,18	2932
DS-A-5	-10	3	25 117,10	4,40	5,67	26552,35	-0,02	0,00	13 839,18	1435
DS-A-5	-10	1	23 973,20	4,40	5,20	24125,11	0,00	0,00	13 839,18	152
DS-A-5	-10	0,3	22 275,80	4,40	4,67	21402,51	0,02	0,00	13 839,18	873
DS-A-5	-10	0,1	20 780,00	4,40	4,20	18903,97	0,04	0,00	13 839,18	1876
DS-A-9	5	10	16 446,40	2,08	3,88	17252,70	-0,02	0,00	13 839,18	806
DS-A-9	5	3	14 206,00	2,08	3,36	14609,80	-0,01	0,00	13 839,18	404
DS-A-9	5	1	11 748,20	2,08	2,88	12321,16	-0,02	0,00	13 839,18	573
DS-A-9	5	0,3	9 464,90	2,08	2,36	10004,31	-0,02	0,00	13 839,18	539
DS-A-9	5	0,1	7 627,90	2,08	1,88	8107,46	-0,03	0,00	13 839,18	480
DS-A-8	5	10	16 677,40	2,08	3,88	17252,70	-0,01	0,00	13 839,18	575
DS-A-8	5	3	14 746,60	2,08	3,36	14609,80	0,00	0,00	13 839,18	137
DS-A-8	5	1	12 702,40	2,08	2,88	12321,16	0,01	0,00	13 839,18	381
DS-A-8	5	0,3	10 283,60	2,08	2,36	10004,31	0,01	0,00	13 839,18	279
DS-A-8	5	0,1	8 378,40	2,08	1,88	8107,46	0,01	0,00	13 839,18	271
DS-A-12	5	10	16 037,50	2,08	3,88	17252,70	-0,03	0,00	13 839,18	1215
DS-A-12	5	3	13 844,70	2,08	3,36	14609,80	-0,02	0,00	13 839,18	765
DS-A-12	5	1	11 825,20	2,08	2,88	12321,16	-0,02	0,00	13 839,18	496
DS-A-12	5	0,3	9 679,70	2,08	2,36	10004,31	-0,01	0,00	13 839,18	325
DS-A-12	5	0,1	7 924,60	2,08	1,88	8107,46	-0,01	0,00	13 839,18	183
DS-A-5	5	10	15 622,70	2,08	3,88	17252,70	-0,04	0,00	13 839,18	1630
DS-A-5	5	3	13 573,60	2,08	3,36	14609,80	-0,03	0,00	13 839,18	1036
DS-A-5	5	1	11 416,30	2,08	2,88	12321,16	-0,03	0,00	13 839,18	905
DS-A-5	5	0,3	9 099,40	2,08	2,36	10004,31	-0,04	0,00	13 839,18	905
DS-A-5	5	0,1	7 195,20	2,08	1,88	8107,46	-0,05	0,00	13 839,18	912
DS-A-9	20	10	8 407,50	0,00	1,80	7808,25	0,03	0,00	13 839,18	599
DS-A-9	20	3	6 399,90	0,00	1,28	6049,12	0,02	0,00	13 839,18	351
DS-A-9	20	1	4 783,70	0,00	0,80	4710,79	0,01	0,00	13 839,18	73
DS-A-9	20	0,3	3 649,30	0,00	0,28	3533,90	0,01	0,00	13 839,18	115
DS-A-9	20	0,1	2 826,90	0,00	-0,20	2707,04	0,02	0,00	13 839,18	120
DS-A-8	20	10	8 554,60	0,00	1,80	7808,25	0,04	0,00	13 839,18	746
DS-A-8	20	3	6 489,80	0,00	1,28	6049,12	0,03	0,00	13 839,18	441
DS-A-8	20	1	4 870,20	0,00	0,80	4710,79	0,01	0,00	13 839,18	159
DS-A-8	20	0,3	3 629,10	0,00	0,28	3533,90	0,01	0,00	13 839,18	95
DS-A-8	20	0,1	2 788,30	0,00	-0,20	2707,04	0,01	0,00	13 839,18	81
DS-A-12	20	10	8 403,20	0,00	1,80	7808,25	0,03	0,00	13 839,18	595
DS-A-12	20	3	6 455,30	0,00	1,28	6049,12	0,03	0,00	13 839,18	406
DS-A-12	20	1	4 782,30	0,00	0,80	4710,79	0,01	0,00	13 839,18	72
DS-A-12	20	0,3	3 686,40	0,00	0,28	3533,90	0,02	0,00	13 839,18	152
DS-A-12	20	0,1	2 711,60	0,00	-0,20	2707,04	0,00	0,00	13 839,18	11
DS-A-5	20	10	7 803,90	0,00	1,80	7808,25	0,00	0,00	13 839,18	5
DS-A-5	20	3	5 840,60	0,00	1,28	6049,12	-0,02	0,00	13 839,18	209
DS-A-5	20	1	4 332,30	0,00	0,80	4710,79	-0,04	0,00	13 839,18	378
DS-A-5	20	0,3	3 208,20	0,00	0,28	3533,90	-0,04	0,00	13 839,18	326
DS-A-5	20	0,1	2 443,80	0,00	-0,20	2707,04	-0,04	0,00	13 839,18	263

CAM-modellen med en WLF-funksjon



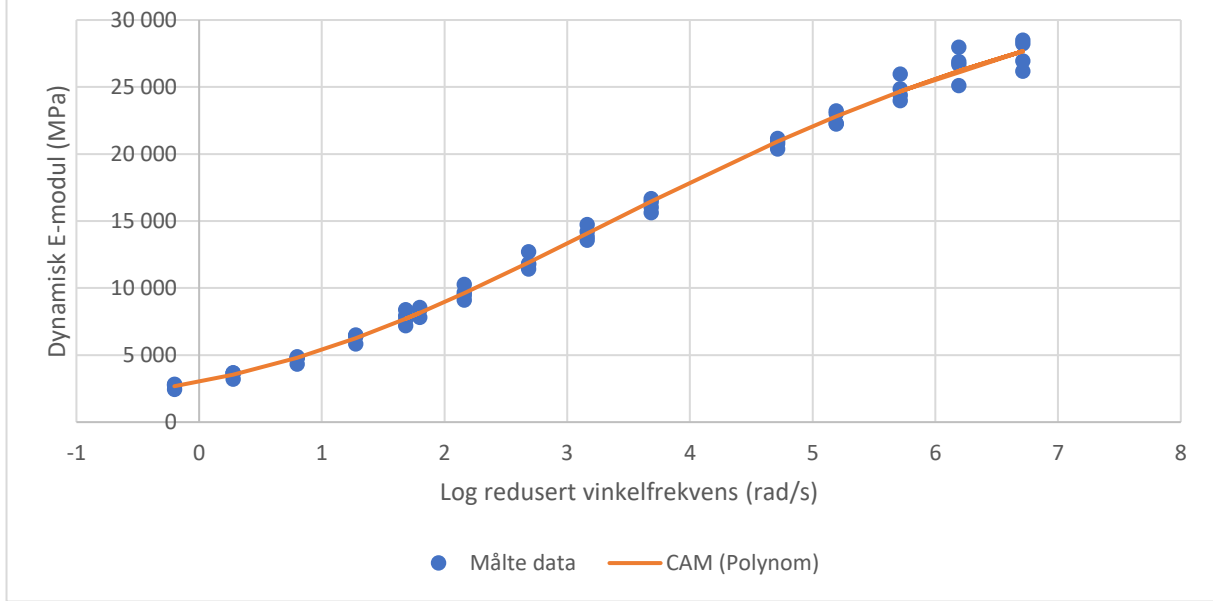
PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skjffaktor α_T $\log(\alpha_T) = (-C_1*(T_i - T_R)/(C_2+T_i-T_R))$	Crossover frekvens ω_T $\log(\omega_T) = \alpha_T + \log(f^*2^p)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $ E^* = E_{min} + (E_{maks} - E_{min}) / (1 + (\omega/\omega_T)^{2n})$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
DS-A-9	-10	10	28 488,70	4,92	6,72	27684,39	0,01	0,00	13 839,18	804
DS-A-9	-10	3	27 968,60	4,92	6,20	26195,75	0,03	0,00	13 839,18	1773
DS-A-9	-10	1	25 967,90	4,92	5,72	24665,28	0,02	0,00	13 839,18	1303
DS-A-9	-10	0,3	23 222,20	4,92	5,20	22799,44	0,01	0,00	13 839,18	423
DS-A-9	-10	0,1	21 173,90	4,92	4,72	20933,73	0,00	0,00	13 839,18	240
DS-A-8	-10	10	26 933,10	4,92	6,72	27684,39	-0,01	0,00	13 839,18	751
DS-A-8	-10	3	26 908,80	4,92	6,20	26195,75	0,01	0,00	13 839,18	713
DS-A-8	-10	1	24 383,00	4,92	5,72	24665,28	0,00	0,00	13 839,18	282
DS-A-8	-10	0,3	22 245,50	4,92	5,20	22799,44	-0,01	0,00	13 839,18	554
DS-A-8	-10	0,1	20 370,80	4,92	4,72	20933,73	-0,01	0,00	13 839,18	563
DS-A-12	-10	10	28 224,90	4,92	6,72	27684,39	0,01	0,00	13 839,18	541
DS-A-12	-10	3	26 690,00	4,92	6,20	26195,75	0,01	0,00	13 839,18	494
DS-A-12	-10	1	24 862,50	4,92	5,72	24665,28	0,00	0,00	13 839,18	197
DS-A-12	-10	0,3	23 026,30	4,92	5,20	22799,44	0,00	0,00	13 839,18	227
DS-A-12	-10	0,1	20 988,00	4,92	4,72	20933,73	0,00	0,00	13 839,18	54
DS-A-5	-10	10	26 177,80	4,92	6,72	27684,39	-0,02	0,00	13 839,18	1507
DS-A-5	-10	3	25 117,10	4,92	6,20	26195,75	-0,02	0,00	13 839,18	1079
DS-A-5	-10	1	23 973,20	4,92	5,72	24665,28	-0,01	0,00	13 839,18	692
DS-A-5	-10	0,3	22 275,80	4,92	5,20	22799,44	-0,01	0,00	13 839,18	524
DS-A-5	-10	0,1	20 780,00	4,92	4,72	20933,73	0,00	0,00	13 839,18	154
DS-A-9	5	10	16 446,40	1,88	3,68	16446,61	0,00	0,00	13 839,18	0
DS-A-9	5	3	14 206,00	1,88	3,16	14063,81	0,00	0,00	13 839,18	142
DS-A-9	5	1	11 748,20	1,88	2,68	11900,81	-0,01	0,00	13 839,18	153
DS-A-9	5	0,3	9 464,90	1,88	2,16	9626,03	-0,01	0,00	13 839,18	161
DS-A-9	5	0,1	7 627,90	1,88	1,68	7713,97	0,00	0,00	13 839,18	86
DS-A-8	5	10	16 677,40	1,88	3,68	16446,61	0,01	0,00	13 839,18	231
DS-A-8	5	3	14 746,60	1,88	3,16	14063,81	0,02	0,00	13 839,18	683
DS-A-8	5	1	12 702,40	1,88	2,68	11900,81	0,03	0,00	13 839,18	802
DS-A-8	5	0,3	10 283,60	1,88	2,16	9626,03	0,03	0,00	13 839,18	658
DS-A-8	5	0,1	8 378,40	1,88	1,68	7713,97	0,04	0,00	13 839,18	664
DS-A-12	5	10	16 037,50	1,88	3,68	16446,61	-0,01	0,00	13 839,18	409
DS-A-12	5	3	13 844,70	1,88	3,16	14063,81	-0,01	0,00	13 839,18	219
DS-A-12	5	1	11 825,20	1,88	2,68	11900,81	0,00	0,00	13 839,18	76
DS-A-12	5	0,3	9 679,70	1,88	2,16	9626,03	0,00	0,00	13 839,18	54
DS-A-12	5	0,1	7 924,60	1,88	1,68	7713,97	0,01	0,00	13 839,18	211
DS-A-5	5	10	15 622,70	1,88	3,68	16446,61	-0,02	0,00	13 839,18	824
DS-A-5	5	3	13 573,60	1,88	3,16	14063,81	-0,02	0,00	13 839,18	490
DS-A-5	5	1	11 416,30	1,88	2,68	11900,81	-0,02	0,00	13 839,18	485
DS-A-5	5	0,3	9 099,40	1,88	2,16	9626,03	-0,02	0,00	13 839,18	527
DS-A-5	5	0,1	7 195,20	1,88	1,68	7713,97	-0,03	0,00	13 839,18	519
DS-A-9	20	10	8 407,50	0,00	1,80	8161,67	0,01	0,00	13 839,18	246
DS-A-9	20	3	6 399,90	0,00	1,28	6257,84	0,01	0,00	13 839,18	142
DS-A-9	20	1	4 783,70	0,00	0,80	4796,22	0,00	0,00	13 839,18	13
DS-A-9	20	0,3	3 649,30	0,00	0,28	3530,36	0,01	0,00	13 839,18	119
DS-A-9	20	0,1	2 826,90	0,00	-0,20	2680,43	0,02	0,00	13 839,18	146
DS-A-8	20	10	8 554,60	0,00	1,80	8161,67	0,02	0,00	13 839,18	393
DS-A-8	20	3	6 489,80	0,00	1,28	6257,84	0,02	0,00	13 839,18	232
DS-A-8	20	1	4 870,20	0,00	0,80	4796,22	0,01	0,00	13 839,18	74
DS-A-8	20	0,3	3 629,10	0,00	0,28	3530,36	0,01	0,00	13 839,18	99
DS-A-8	20	0,1	2 788,30	0,00	-0,20	2680,43	0,02	0,00	13 839,18	108
DS-A-12	20	10	8 403,20	0,00	1,80	8161,67	0,01	0,00	13 839,18	242
DS-A-12	20	3	6 455,30	0,00	1,28	6257,84	0,01	0,00	13 839,18	197
DS-A-12	20	1	4 782,30	0,00	0,80	4796,22	0,00	0,00	13 839,18	14
DS-A-12	20	0,3	3 686,40	0,00	0,28	3530,36	0,02	0,00	13 839,18	156
DS-A-12	20	0,1	2 717,60	0,00	-0,20	2680,43	0,01	0,00	13 839,18	37
DS-A-5	20	10	7 802,90	0,00	1,80	8161,67	-0,02	0,00	13 839,18	359
DS-A-5	20	3	5 840,60	0,00	1,28	6257,84	-0,03	0,00	13 839,18	417
DS-A-5	20	1	4 332,30	0,00	0,80	4796,22	-0,04	0,00	13 839,18	464
DS-A-5	20	0,3	3 208,20	0,00	0,28	3530,36	-0,04	0,00	13 839,18	322
DS-A-5	20	0,1	2 443,80	0,00	-0,20	2680,43	-0,04	0,00	13 839,18	237

CAM-modellen med en Kaelble-funksjon



PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul		Skiftfaktor αT		Crossover frekvens ωT		Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa]		Residual	Residual ²	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
			[MPa]	[MPa]	$\log(\alpha T) = (-C1 \cdot (T1 - TR) / (C2 + T1 - TR))$	$\log(\omega T) = a + \log(f \cdot 2 \cdot \pi)$	$ E^* = E_{\min} + (E_{\max} - E_{\min}) / (1 + (\omega CE / 10 \cdot \log(\omega T))^n) \cdot (w/v)$	[MPa]						
DS-A-9	-10	10	28 488,70	4,34	6,13	29489,45	-0,01	0,00	13 839,18	1001				
DS-A-9	-10	3	27 968,60	4,34	5,61	26568,44	0,02	0,00	13 839,18	1400				
DS-A-9	-10	1	25 967,90	4,34	5,13	23883,17	0,04	0,00	13 839,18	2085				
DS-A-9	-10	0,3	23 222,20	4,34	4,61	20961,56	0,04	0,00	13 839,18	2261				
DS-A-9	-10	0,1	21 173,90	4,34	4,13	18356,20	0,06	0,00	13 839,18	2818				
DS-A-8	-10	10	26 933,10	4,34	6,13	29489,45	-0,04	0,00	13 839,18	2556				
DS-A-8	-10	3	26 908,80	4,34	5,61	26568,44	0,01	0,00	13 839,18	340				
DS-A-8	-10	1	24 383,00	4,34	5,13	23883,17	0,01	0,00	13 839,18	500				
DS-A-8	-10	0,3	22 245,50	4,34	4,61	20961,56	0,03	0,00	13 839,18	1284				
DS-A-8	-10	0,1	20 370,80	4,34	4,13	18356,20	0,05	0,00	13 839,18	2015				
DS-A-12	-10	10	28 224,90	4,34	6,13	29489,45	-0,02	0,00	13 839,18	1265				
DS-A-12	-10	3	26 690,00	4,34	5,61	26568,44	0,00	0,00	13 839,18	122				
DS-A-12	-10	1	24 862,50	4,34	5,13	23883,17	0,02	0,00	13 839,18	979				
DS-A-12	-10	0,3	23 026,30	4,34	4,61	20961,56	0,04	0,00	13 839,18	2065				
DS-A-12	-10	0,1	20 988,00	4,34	4,13	18356,20	0,06	0,00	13 839,18	2632				
DS-A-5	-10	10	26 177,80	4,34	6,13	29489,45	-0,05	0,00	13 839,18	3312				
DS-A-5	-10	3	25 117,10	4,34	5,61	26568,44	-0,02	0,00	13 839,18	1451				
DS-A-5	-10	1	23 973,20	4,34	5,13	23883,17	0,00	0,00	13 839,18	90				
DS-A-5	-10	0,3	22 275,80	4,34	4,61	20961,56	0,03	0,00	13 839,18	1314				
DS-A-5	-10	0,1	20 780,00	4,34	4,13	18356,20	0,05	0,00	13 839,18	2424				
DS-A-9	5	10	16 446,40	2,17	3,97	17459,62	-0,03	0,00	13 839,18	1013				
DS-A-9	5	3	14 206,00	2,17	3,44	14767,70	-0,02	0,00	13 839,18	562				
DS-A-9	5	1	11 748,20	2,17	2,97	12470,66	-0,03	0,00	13 839,18	722				
DS-A-9	5	0,3	9 464,90	2,17	2,44	10168,34	-0,03	0,00	13 839,18	703				
DS-A-9	5	0,1	7 627,90	2,17	1,97	8292,11	-0,04	0,00	13 839,18	664				
DS-A-8	5	10	16 677,40	2,17	3,97	17459,62	-0,02	0,00	13 839,18	782				
DS-A-8	5	3	14 746,60	2,17	3,44	14767,70	0,00	0,00	13 839,18	21				
DS-A-8	5	1	12 702,40	2,17	2,97	12470,66	0,01	0,00	13 839,18	232				
DS-A-8	5	0,3	10 283,60	2,17	2,44	10168,34	0,00	0,00	13 839,18	115				
DS-A-8	5	0,1	8 378,40	2,17	1,97	8292,11	0,00	0,00	13 839,18	86				
DS-A-12	5	10	16 037,50	2,17	3,97	17459,62	-0,04	0,00	13 839,18	1422				
DS-A-12	5	3	13 844,70	2,17	3,44	14767,70	-0,03	0,00	13 839,18	923				
DS-A-12	5	1	11 825,20	2,17	2,97	12470,66	-0,02	0,00	13 839,18	645				
DS-A-12	5	0,3	9 679,70	2,17	2,44	10168,34	-0,02	0,00	13 839,18	489				
DS-A-12	5	0,1	7 924,60	2,17	1,97	8292,11	-0,02	0,00	13 839,18	368				
DS-A-5	5	10	15 622,70	2,17	3,97	17459,62	-0,05	0,00	13 839,18	1837				
DS-A-5	5	3	13 573,60	2,17	3,44	14767,70	-0,04	0,00	13 839,18	1194				
DS-A-5	5	1	11 416,30	2,17	2,97	12470,66	-0,04	0,00	13 839,18	1054				
DS-A-5	5	0,3	9 099,40	2,17	2,44	10168,34	-0,05	0,00	13 839,18	1069				
DS-A-5	5	0,1	7 195,20	2,17	1,97	8292,11	-0,06	0,00	13 839,18	1097				
DS-A-9	20	10	8 407,50	0,00	1,80	7683,90	0,04	0,00	13 839,18	724				
DS-A-9	20	3	6 399,90	0,00	1,28	5987,81	0,03	0,00	13 839,18	412				
DS-A-9	20	1	4 783,70	0,00	0,80	4691,81	0,01	0,00	13 839,18	92				
DS-A-9	20	0,3	3 649,30	0,00	0,28	3538,74	0,01	0,00	13 839,18	111				
DS-A-9	20	0,1	2 826,90	0,00	-0,20	2712,67	0,02	0,00	13 839,18	114				
DS-A-8	20	10	8 554,60	0,00	1,80	7683,90	0,05	0,00	13 839,18	871				
DS-A-8	20	3	6 489,80	0,00	1,28	5987,81	0,03	0,00	13 839,18	502				
DS-A-8	20	1	4 870,20	0,00	0,80	4691,81	0,02	0,00	13 839,18	178				
DS-A-8	20	0,3	3 629,10	0,00	0,28	3538,74	0,01	0,00	13 839,18	90				
DS-A-8	20	0,1	2 788,30	0,00	-0,20	2712,67	0,01	0,00	13 839,18	76				
DS-A-12	20	10	8 403,20	0,00	1,80	7683,90	0,04	0,00	13 839,18	719				
DS-A-12	20	3	6 455,30	0,00	1,28	5987,81	0,03	0,00	13 839,18	467				
DS-A-12	20	1	4 782,30	0,00	0,80	4691,81	0,01	0,00	13 839,18	90				
DS-A-12	20	0,3	3 686,40	0,00	0,28	3538,74	0,02	0,00	13 839,18	148				
DS-A-12	20	0,1	2 717,60	0,00	-0,20	2712,67	0,00	0,00	13 839,18	5				
DS-A-5	20	10	7 802,90	0,00	1,80	7683,90	0,01	0,00	13 839,18	119				
DS-A-5	20	3	5 840,60	0,00	1,28	5987,81	-0,01	0,00	13 839,18	147				
DS-A-5	20	1	4 332,30	0,00	0,80	4691,81	-0,03	0,00	13 839,18	360				
DS-A-5	20	0,3	3 208,20	0,00	0,28	3538,74	-0,04	0,00	13 839,18	331				
DS-A-5	20	0,1	2 443,80	0,00	-0,20	2712,67	-0,05	0,00	13 839,18	269				

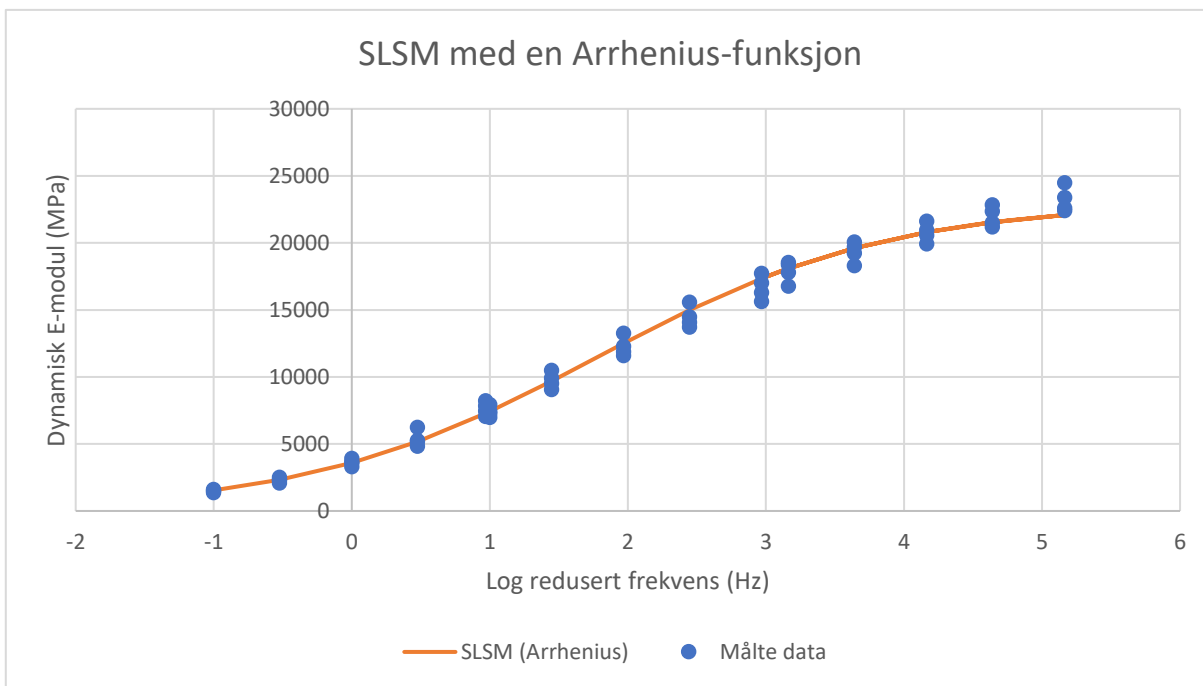
CAM-modellen med en polynomfunksjon



PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = C2 * (T - Tr) + C3 * (T - Tr)^2$	Crossover frekvens $\omega \alpha T$ $\log(\omega \alpha T) = \alpha T + \log(f * 2 * \pi)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $[E^*] = E_{\min} + (E_{\max} - E_{\min}) / (1 + (\omega C / 10^4 \log(\omega \alpha T))^2)^{1/2}$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
DS-A-9	-10	10	28 488,70	4,91	6,71	27671,23	0,01	0,00	13 839,18	817
DS-A-9	-10	3	27 968,60	4,91	6,19	26194,75	0,03	0,00	13 839,18	1774
DS-A-9	-10	1	25 967,90	4,91	5,71	24669,88	0,02	0,00	13 839,18	1298
DS-A-9	-10	0,3	23 222,20	4,91	5,19	22803,84	0,01	0,00	13 839,18	418
DS-A-9	-10	0,1	21 173,90	4,91	4,71	20932,66	0,00	0,00	13 839,18	241
DS-A-8	-10	10	26 933,10	4,91	6,71	27671,23	-0,01	0,00	13 839,18	738
DS-A-8	-10	3	26 908,80	4,91	6,19	26194,75	0,01	0,00	13 839,18	714
DS-A-8	-10	1	24 383,00	4,91	5,71	24669,88	-0,01	0,00	13 839,18	287
DS-A-8	-10	0,3	22 245,50	4,91	5,19	22803,84	-0,01	0,00	13 839,18	558
DS-A-8	-10	0,1	20 370,80	4,91	4,71	20932,66	-0,01	0,00	13 839,18	562
DS-A-12	-10	10	28 224,90	4,91	6,71	27671,23	0,01	0,00	13 839,18	554
DS-A-12	-10	3	26 690,00	4,91	6,19	26194,75	0,01	0,00	13 839,18	495
DS-A-12	-10	1	24 862,50	4,91	5,71	24669,88	0,00	0,00	13 839,18	193
DS-A-12	-10	0,3	23 026,30	4,91	5,19	22803,84	0,00	0,00	13 839,18	222
DS-A-12	-10	0,1	20 988,00	4,91	4,71	20932,66	0,00	0,00	13 839,18	55
DS-A-5	-10	10	26 177,80	4,91	6,71	27671,23	-0,02	0,00	13 839,18	1493
DS-A-5	-10	3	25 117,10	4,91	6,19	26194,75	-0,02	0,00	13 839,18	1078
DS-A-5	-10	1	23 973,20	4,91	5,71	24669,88	-0,01	0,00	13 839,18	697
DS-A-5	-10	0,3	22 275,80	4,91	5,19	22803,84	-0,01	0,00	13 839,18	528
DS-A-5	-10	0,1	20 780,00	4,91	4,71	20932,66	0,00	0,00	13 839,18	153
DS-A-9	5	10	16 446,40	1,89	3,68	16462,01	0,00	0,00	13 839,18	16
DS-A-9	5	3	14 206,00	1,89	3,16	14068,63	0,00	0,00	13 839,18	137
DS-A-9	5	1	11 748,20	1,89	2,68	11898,76	-0,01	0,00	13 839,18	151
DS-A-9	5	0,3	9 464,90	1,89	2,16	9621,49	-0,01	0,00	13 839,18	157
DS-A-9	5	0,1	7 627,90	1,89	1,68	7711,86	0,00	0,00	13 839,18	84
DS-A-8	5	10	16 677,40	1,89	3,68	16462,01	0,01	0,00	13 839,18	215
DS-A-8	5	3	14 746,60	1,89	3,16	14068,63	0,02	0,00	13 839,18	678
DS-A-8	5	1	12 702,40	1,89	2,68	11898,76	0,03	0,00	13 839,18	804
DS-A-8	5	0,3	10 283,60	1,89	2,16	9621,49	0,03	0,00	13 839,18	662
DS-A-8	5	0,1	8 378,40	1,89	1,68	7711,86	0,04	0,00	13 839,18	667
DS-A-12	5	10	16 037,50	1,89	3,68	16462,01	-0,01	0,00	13 839,18	425
DS-A-12	5	3	13 844,70	1,89	3,16	14068,63	-0,01	0,00	13 839,18	224
DS-A-12	5	1	11 825,20	1,89	2,68	11898,76	0,00	0,00	13 839,18	74
DS-A-12	5	0,3	9 679,70	1,89	2,16	9621,49	0,00	0,00	13 839,18	58
DS-A-12	5	0,1	7 924,60	1,89	1,68	7711,86	0,01	0,00	13 839,18	213
DS-A-5	5	10	15 622,70	1,89	3,68	16462,01	-0,02	0,00	13 839,18	839
DS-A-5	5	3	13 573,60	1,89	3,16	14068,63	-0,02	0,00	13 839,18	495
DS-A-5	5	1	11 416,30	1,89	2,68	11898,76	-0,02	0,00	13 839,18	482
DS-A-5	5	0,3	9 099,40	1,89	2,16	9621,49	-0,02	0,00	13 839,18	522
DS-A-5	5	0,1	7 195,20	1,89	1,68	7711,86	-0,03	0,00	13 839,18	517
DS-A-9	20	10	8 407,50	0,00	1,80	8153,50	0,01	0,00	13 839,18	254
DS-A-9	20	3	6 399,90	0,00	1,28	6255,65	0,01	0,00	13 839,18	144
DS-A-9	20	1	4 783,70	0,00	0,80	4799,54	0,00	0,00	13 839,18	16
DS-A-9	20	0,3	3 649,30	0,00	0,28	3534,92	0,01	0,00	13 839,18	114
DS-A-9	20	0,1	2 826,90	0,00	-0,20	2678,38	0,02	0,00	13 839,18	149
DS-A-8	20	10	8 554,60	0,00	1,80	8153,50	0,02	0,00	13 839,18	401
DS-A-8	20	3	6 489,80	0,00	1,28	6255,65	0,02	0,00	13 839,18	234
DS-A-8	20	1	4 870,20	0,00	0,80	4799,54	0,01	0,00	13 839,18	71
DS-A-8	20	0,3	3 629,10	0,00	0,28	3534,92	0,01	0,00	13 839,18	94
DS-A-8	20	0,1	2 788,30	0,00	-0,20	2678,38	0,02	0,00	13 839,18	110
DS-A-12	20	10	8 403,20	0,00	1,80	8153,50	0,01	0,00	13 839,18	250
DS-A-12	20	3	6 455,30	0,00	1,28	6255,65	0,01	0,00	13 839,18	200
DS-A-12	20	1	4 782,30	0,00	0,80	4799,54	0,00	0,00	13 839,18	17
DS-A-12	20	0,3	3 686,40	0,00	0,28	3534,92	0,02	0,00	13 839,18	151
DS-A-12	20	0,1	2 717,60	0,00	-0,20	2678,38	0,01	0,00	13 839,18	39
DS-A-5	20	10	7 802,90	0,00	1,80	8153,50	-0,02	0,00	13 839,18	351
DS-A-5	20	3	5 840,60	0,00	1,28	6255,65	-0,03	0,00	13 839,18	415
DS-A-5	20	1	4 332,30	0,00	0,80	4799,54	-0,04	0,00	13 839,18	467
DS-A-5	20	0,3	3 208,20	0,00	0,28	3534,92	-0,04	0,00	13 839,18	327
DS-A-5	20	0,1	2 443,80	0,00	-0,20	2678,38	-0,04	0,00	13 839,18	235

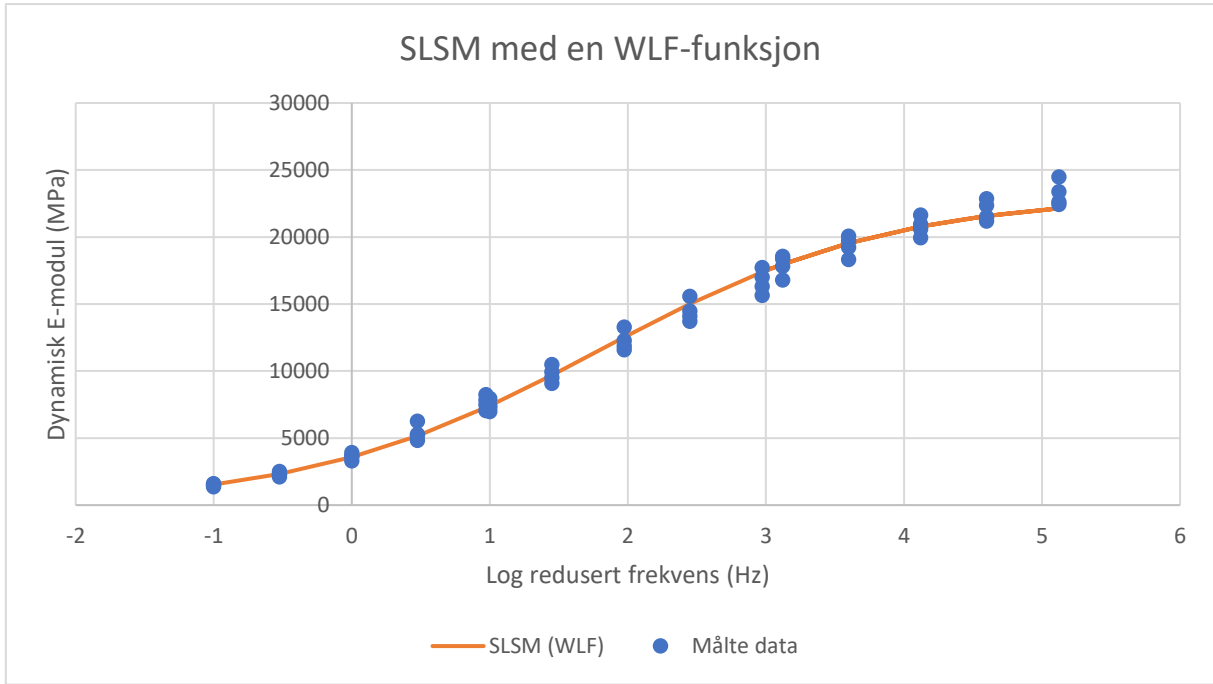
Vedlegg 8:

AC 8 D S – Målte og estimerte stivhetsverdier ved alle modellkombinasjoner



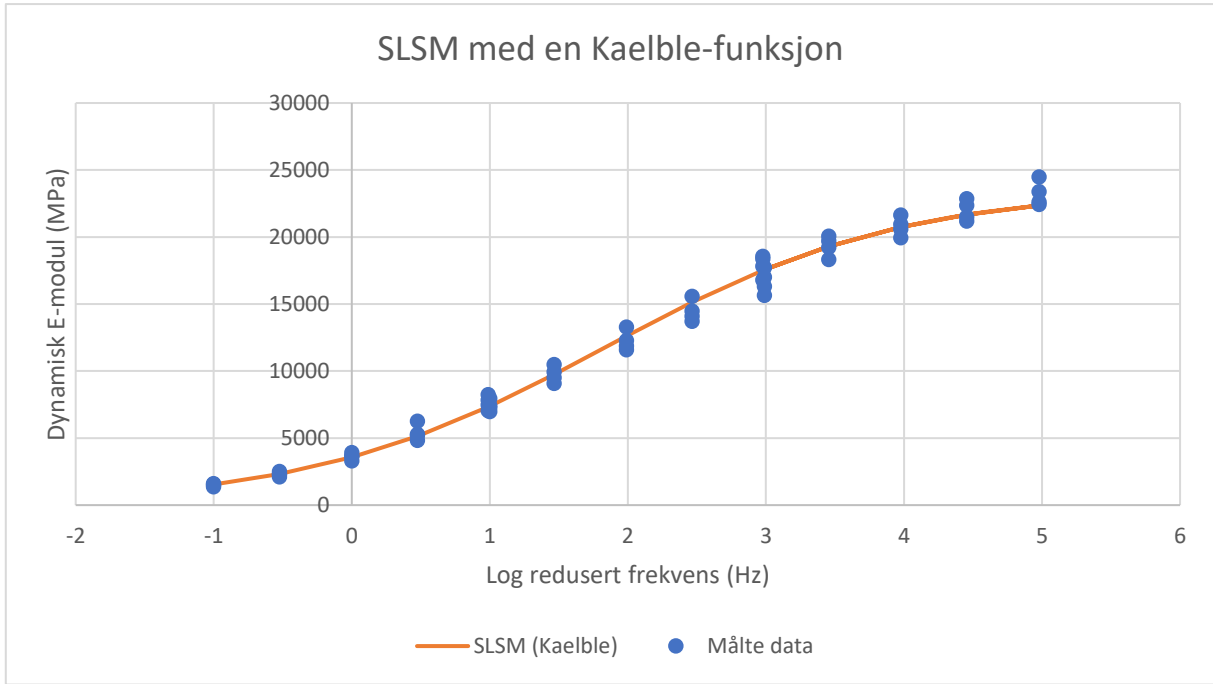
PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = (C \cdot (1/T_i - 1/T_s))$	Redusert frekvens f_s $\log(f_s) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $[E^*] = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + \exp(\log(f_s) + \beta))$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
A0 4-2	-10	10	24 494,40	4,16	5,16	22078,71	0,05	0,00	12 282,04	2416
A0 4-2	-10	3	22 851,10	4,16	4,64	21540,58	0,03	0,00	12 282,04	1311
A0 4-2	-10	1	21 632,20	4,16	4,16	20798,98	0,02	0,00	12 282,04	833
A0 4-2	-10	0,3	20 076,40	4,16	3,64	19608,82	0,01	0,00	12 282,04	468
A0 4-2	-10	0,1	18 552,00	4,16	3,16	18094,15	0,01	0,00	12 282,04	458
A0 1-1	-10	10	23 389,70	4,16	5,16	22078,71	0,03	0,00	12 282,04	1311
A0 1-1	-10	3	22 364,10	4,16	4,64	21540,58	0,02	0,00	12 282,04	824
A0 1-1	-10	1	20 956,50	4,16	4,16	20798,98	0,00	0,00	12 282,04	158
A0 1-1	-10	0,3	19 703,30	4,16	3,64	19608,82	0,00	0,00	12 282,04	94
A0 1-1	-10	0,1	18 375,80	4,16	3,16	18094,15	0,01	0,00	12 282,04	282
A0 2-4	-10	10	22 425,10	4,16	5,16	22078,71	0,01	0,00	12 282,04	346
A0 2-4	-10	3	21 505,10	4,16	4,64	21540,58	0,00	0,00	12 282,04	35
A0 2-4	-10	1	20 585,30	4,16	4,16	20798,98	0,00	0,00	12 282,04	214
A0 2-4	-10	0,3	19 231,30	4,16	3,64	19608,82	-0,01	0,00	12 282,04	378
A0 2-4	-10	0,1	17 818,30	4,16	3,16	18094,15	-0,01	0,00	12 282,04	276
A0 1-3	-10	10	22 611,60	4,16	5,16	22078,71	0,01	0,00	12 282,04	533
A0 1-3	-10	3	21 192,70	4,16	4,64	21540,58	-0,01	0,00	12 282,04	348
A0 1-3	-10	1	19 937,60	4,16	4,16	20798,98	-0,02	0,00	12 282,04	861
A0 1-3	-10	0,3	18 314,80	4,16	3,64	19608,82	-0,03	0,00	12 282,04	1294
A0 1-3	-10	0,1	16 784,30	4,16	3,16	18094,15	-0,03	0,00	12 282,04	1310
A0 4-2	5	10	17 733,50	1,97	2,97	17347,63	0,01	0,00	12 282,04	386
A0 4-2	5	3	15 583,60	1,97	2,45	14993,48	0,02	0,00	12 282,04	590
A0 4-2	5	1	13 273,00	1,97	1,97	12509,97	0,03	0,00	12 282,04	763
A0 4-2	5	0,3	10 498,70	1,97	1,45	9682,53	0,04	0,00	12 282,04	816
A0 4-2	5	0,1	8 239,80	1,97	0,97	7276,60	0,05	0,00	12 282,04	963
A0 1-1	5	10	17 016,80	1,97	2,97	17347,63	-0,01	0,00	12 282,04	331
A0 1-1	5	3	14 487,10	1,97	2,45	14993,48	-0,01	0,00	12 282,04	506
A0 1-1	5	1	12 278,90	1,97	1,97	12509,97	-0,01	0,00	12 282,04	231
A0 1-1	5	0,3	9 934,80	1,97	1,45	9682,53	0,01	0,00	12 282,04	252
A0 1-1	5	0,1	7 843,70	1,97	0,97	7276,60	0,03	0,00	12 282,04	567
A0 2-4	5	10	16 309,20	1,97	2,97	17347,63	-0,03	0,00	12 282,04	1038
A0 2-4	5	3	14 084,30	1,97	2,45	14993,48	-0,03	0,00	12 282,04	909
A0 2-4	5	1	11 874,80	1,97	1,97	12509,97	-0,02	0,00	12 282,04	635
A0 2-4	5	0,3	9 511,40	1,97	1,45	9682,53	-0,01	0,00	12 282,04	171
A0 2-4	5	0,1	7 468,50	1,97	0,97	7276,60	0,01	0,00	12 282,04	192
A0 1-3	5	10	15 638,50	1,97	2,97	17347,63	-0,05	0,00	12 282,04	1709
A0 1-3	5	3	13 716,50	1,97	2,45	14993,48	-0,04	0,00	12 282,04	1277
A0 1-3	5	1	11 589,40	1,97	1,97	12509,97	-0,03	0,00	12 282,04	921
A0 1-3	5	0,3	9 070,80	1,97	1,45	9682,53	-0,03	0,00	12 282,04	612
A0 1-3	5	0,1	7 051,90	1,97	0,97	7276,60	-0,01	0,00	12 282,04	225
A0 4-2	20	10	7 431,80	0,00	1,00	7418,06	0,00	0,00	12 282,04	14
A0 4-2	20	3	5 274,70	0,00	0,48	5172,57	0,01	0,00	12 282,04	102
A0 4-2	20	1	3 624,00	0,00	0,00	3585,02	0,00	0,00	12 282,04	39
A0 4-2	20	0,3	2 298,20	0,00	-0,52	2326,30	-0,01	0,00	12 282,04	28
A0 4-2	20	0,1	1 458,30	0,00	-1,00	1536,90	-0,02	0,00	12 282,04	79
A0 1-1	20	10	7 950,40	0,00	1,00	7418,06	0,03	0,00	12 282,04	532
A0 1-1	20	3	6 256,30	0,00	0,48	5172,57	0,08	0,01	12 282,04	1084
A0 1-1	20	1	3 923,00	0,00	0,00	3585,02	0,04	0,00	12 282,04	338
A0 1-1	20	0,3	2 509,20	0,00	-0,52	2326,30	0,03	0,00	12 282,04	183
A0 1-1	20	0,1	1 610,20	0,00	-1,00	1536,90	0,02	0,00	12 282,04	73
A0 2-4	20	10	7 276,10	0,00	1,00	7418,06	-0,01	0,00	12 282,04	142
A0 2-4	20	3	5 205,60	0,00	0,48	5172,57	0,00	0,00	12 282,04	33
A0 2-4	20	1	3 648,70	0,00	0,00	3585,02	0,01	0,00	12 282,04	64
A0 2-4	20	0,3	2 320,50	0,00	-0,52	2326,30	0,00	0,00	12 282,04	6
A0 2-4	20	0,1	1 548,30	0,00	-1,00	1536,90	0,00	0,00	12 282,04	11
A0 1-3	20	10	6 980,60	0,00	1,00	7418,06	-0,03	0,00	12 282,04	437
A0 1-3	20	3	4 831,90	0,00	0,48	5172,57	-0,03	0,00	12 282,04	341
A0 1-3	20	1	3 307,50	0,00	0,00	3585,02	-0,03	0,00	12 282,04	278
A0 1-3	20	0,3	2 095,30	0,00	-0,52	2326,30	-0,05	0,00	12 282,04	231
A0 1-3	20	0,1	1 364,70	0,00	-1,00	1536,90	-0,05	0,00	12 282,04	172

SLSM med en WLF-funksjon

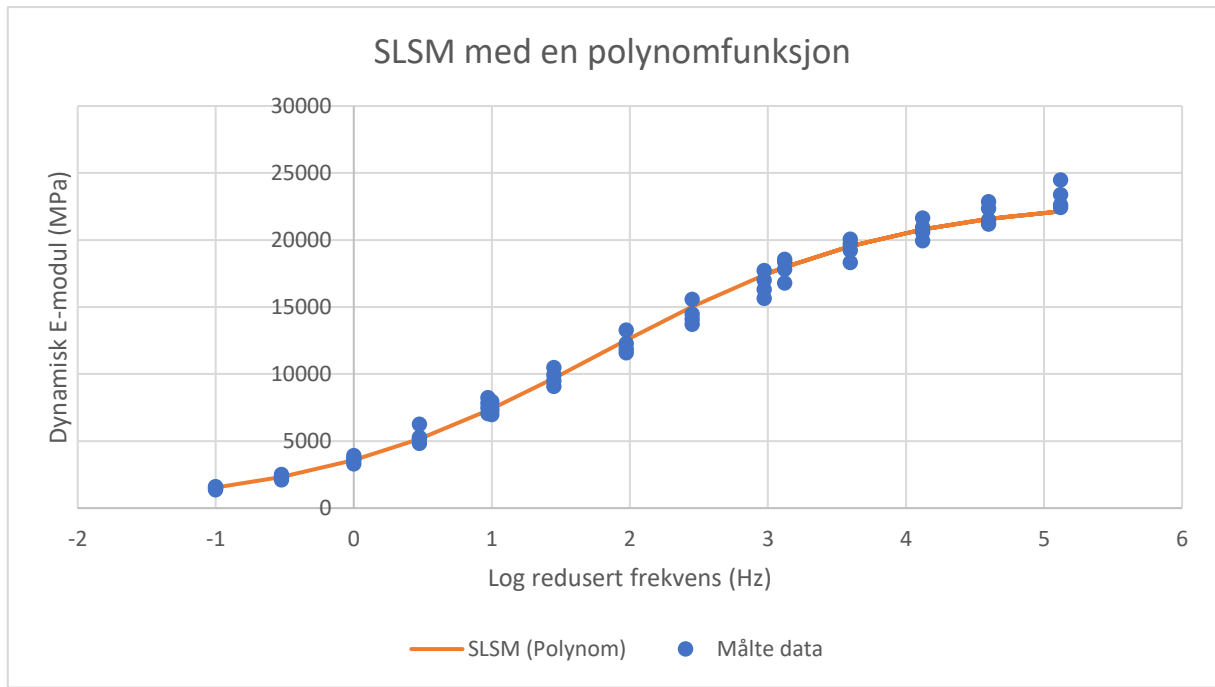


PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skjffaktor αT $\log(\alpha T) = (-C_1*(T_i - T_R)/(C_2+T_i-T_R))$	Redusert frekvens f_R $\log(f_R) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $[E^*] = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + \exp(\gamma \log(f_R) + \beta))$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
A0 4-2	-10	10	24 494,40	4,12	5,12	22139,27	0,04	0,00	12 282,04	2355
A0 4-2	-10	3	22 851,10	4,12	4,60	21571,23	0,03	0,00	12 282,04	1280
A0 4-2	-10	1	21 632,20	4,12	4,12	20791,65	0,02	0,00	12 282,04	841
A0 4-2	-10	0,3	20 076,40	4,12	3,60	19547,53	0,01	0,00	12 282,04	529
A0 4-2	-10	0,1	18 552,00	4,12	3,12	17975,64	0,01	0,00	12 282,04	576
A0 1-1	-10	10	23 389,70	4,12	5,12	22139,27	0,02	0,00	12 282,04	1250
A0 1-1	-10	3	22 364,10	4,12	4,60	21571,23	0,02	0,00	12 282,04	793
A0 1-1	-10	1	20 956,50	4,12	4,12	20791,65	0,00	0,00	12 282,04	165
A0 1-1	-10	0,3	19 703,30	4,12	3,60	19547,53	0,00	0,00	12 282,04	156
A0 1-1	-10	0,1	18 375,80	4,12	3,12	17975,64	0,01	0,00	12 282,04	400
A0 2-4	-10	10	22 425,10	4,12	5,12	22139,27	0,01	0,00	12 282,04	286
A0 2-4	-10	3	21 505,10	4,12	4,60	21571,23	0,00	0,00	12 282,04	66
A0 2-4	-10	1	20 585,30	4,12	4,12	20791,65	0,00	0,00	12 282,04	206
A0 2-4	-10	0,3	19 231,30	4,12	3,60	19547,53	-0,01	0,00	12 282,04	316
A0 2-4	-10	0,1	17 818,30	4,12	3,12	17975,64	0,00	0,00	12 282,04	157
A0 1-3	-10	10	22 611,60	4,12	5,12	22139,27	0,01	0,00	12 282,04	472
A0 1-3	-10	3	21 192,70	4,12	4,60	21571,23	-0,01	0,00	12 282,04	379
A0 1-3	-10	1	19 937,60	4,12	4,12	20791,65	-0,02	0,00	12 282,04	854
A0 1-3	-10	0,3	18 314,80	4,12	3,60	19547,53	-0,03	0,00	12 282,04	1233
A0 1-3	-10	0,1	16 784,30	4,12	3,12	17975,64	-0,03	0,00	12 282,04	1191
A0 4-2	5	10	17 733,50	1,97	2,97	17393,24	0,01	0,00	12 282,04	340
A0 4-2	5	3	15 583,60	1,97	2,45	15023,42	0,02	0,00	12 282,04	560
A0 4-2	5	1	13 273,00	1,97	1,97	12528,78	0,03	0,00	12 282,04	744
A0 4-2	5	0,3	10 498,70	1,97	1,45	9693,96	0,03	0,00	12 282,04	805
A0 4-2	5	0,1	8 239,80	1,97	0,97	7285,08	0,05	0,00	12 282,04	955
A0 1-1	5	10	17 016,80	1,97	2,97	17393,24	-0,01	0,00	12 282,04	376
A0 1-1	5	3	14 487,10	1,97	2,45	15023,42	-0,02	0,00	12 282,04	536
A0 1-1	5	1	12 278,90	1,97	1,97	12528,78	-0,01	0,00	12 282,04	250
A0 1-1	5	0,3	9 934,80	1,97	1,45	9693,96	0,01	0,00	12 282,04	241
A0 1-1	5	0,1	7 843,70	1,97	0,97	7285,08	0,03	0,00	12 282,04	559
A0 2-4	5	10	16 309,20	1,97	2,97	17393,24	-0,03	0,00	12 282,04	1084
A0 2-4	5	3	14 084,30	1,97	2,45	15023,42	-0,03	0,00	12 282,04	939
A0 2-4	5	1	11 874,80	1,97	1,97	12528,78	-0,02	0,00	12 282,04	654
A0 2-4	5	0,3	9 511,40	1,97	1,45	9693,96	-0,01	0,00	12 282,04	183
A0 2-4	5	0,1	7 468,50	1,97	0,97	7285,08	0,01	0,00	12 282,04	183
A0 1-3	5	10	15 638,50	1,97	2,97	17393,24	-0,05	0,00	12 282,04	1755
A0 1-3	5	3	13 716,50	1,97	2,45	15023,42	-0,04	0,00	12 282,04	1307
A0 1-3	5	1	11 589,40	1,97	1,97	12528,78	-0,03	0,00	12 282,04	939
A0 1-3	5	0,3	9 070,80	1,97	1,45	9693,96	-0,03	0,00	12 282,04	623
A0 1-3	5	0,1	7 051,90	1,97	0,97	7285,08	-0,01	0,00	12 282,04	233
A0 4-2	20	10	7 431,80	0,00	1,00	7410,31	0,00	0,00	12 282,04	21
A0 4-2	20	3	5 274,70	0,00	0,48	5167,01	0,01	0,00	12 282,04	108
A0 4-2	20	1	3 624,00	0,00	0,00	3582,22	0,01	0,00	12 282,04	42
A0 4-2	20	0,3	2 298,20	0,00	-0,52	2325,87	-0,01	0,00	12 282,04	28
A0 4-2	20	0,1	1 458,30	0,00	-1,00	1537,70	-0,02	0,00	12 282,04	79
A0 1-1	20	10	7 950,40	0,00	1,00	7410,31	0,03	0,00	12 282,04	540
A0 1-1	20	3	6 256,30	0,00	0,48	5167,01	0,08	0,01	12 282,04	1089
A0 1-1	20	1	3 923,00	0,00	0,00	3582,22	0,04	0,00	12 282,04	341
A0 1-1	20	0,3	2 509,20	0,00	-0,52	2325,87	0,03	0,00	12 282,04	183
A0 1-1	20	0,1	1 610,20	0,00	-1,00	1537,70	0,02	0,00	12 282,04	72
A0 2-4	20	10	7 276,10	0,00	1,00	7410,31	-0,01	0,00	12 282,04	134
A0 2-4	20	3	5 205,60	0,00	0,48	5167,01	0,00	0,00	12 282,04	39
A0 2-4	20	1	3 648,70	0,00	0,00	3582,22	0,01	0,00	12 282,04	66
A0 2-4	20	0,3	2 320,50	0,00	-0,52	2325,87	0,00	0,00	12 282,04	5
A0 2-4	20	0,1	1 548,30	0,00	-1,00	1537,70	0,00	0,00	12 282,04	11
A0 1-3	20	10	6 980,60	0,00	1,00	7410,31	-0,03	0,00	12 282,04	430
A0 1-3	20	3	4 831,90	0,00	0,48	5167,01	-0,03	0,00	12 282,04	335
A0 1-3	20	1	3 307,50	0,00	0,00	3582,22	-0,03	0,00	12 282,04	275
A0 1-3	20	0,3	2 095,30	0,00	-0,52	2325,87	-0,05	0,00	12 282,04	231
A0 1-3	20	0,1	1 364,70	0,00	-1,00	1537,70	-0,05	0,00	12 282,04	173

SLSM med en Kaelble-funksjon

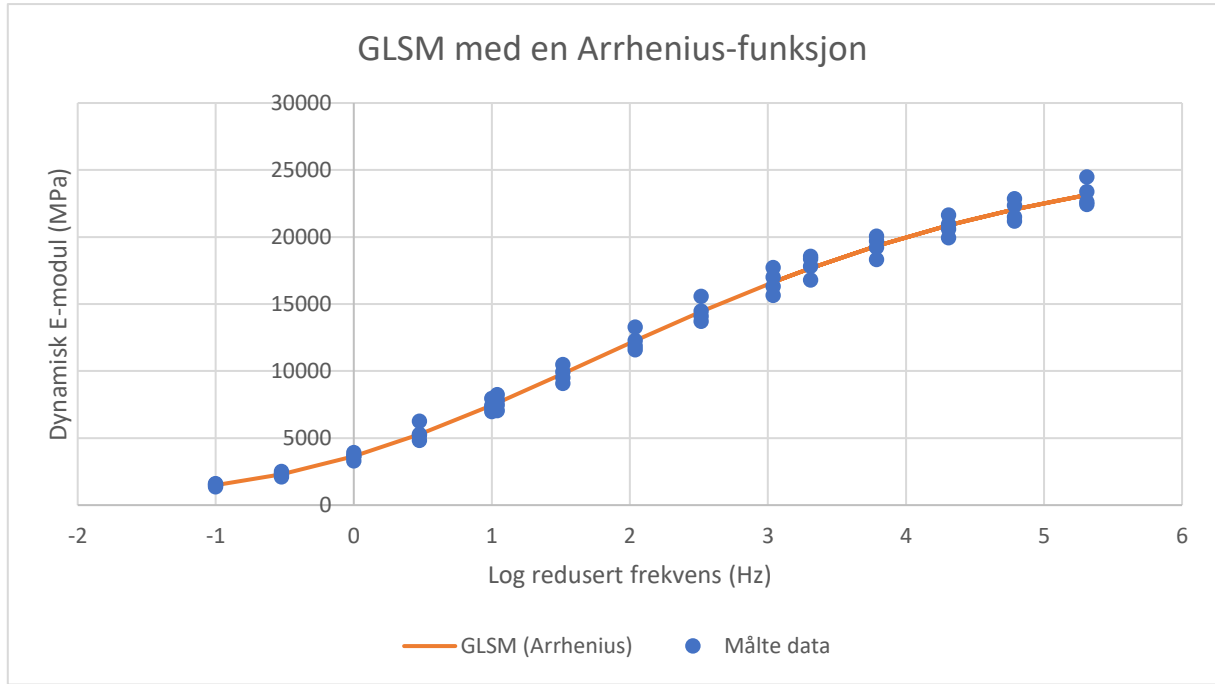


PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = (-C1 * (T - TR)) / (C2 + T - TR)$	Redusert frekvens f_R $\log(f_R) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $[E^*] = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + \exp(\log(f_R) + \beta))$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
A0 4-2	-10	10	24 494,40	3,98	4,98	22354,54	0,04	0,00	12 282,04	2140
A0 4-2	-10	3	22 851,10	3,98	4,46	21670,39	0,02	0,00	12 282,04	1181
A0 4-2	-10	1	21 632,20	3,98	3,98	20746,15	0,02	0,00	12 282,04	886
A0 4-2	-10	0,3	20 076,40	3,98	3,46	19302,09	0,02	0,00	12 282,04	774
A0 4-2	-10	0,1	18 552,00	3,98	2,98	17526,24	0,02	0,00	12 282,04	1026
A0 1-1	-10	10	23 389,70	3,98	4,98	22354,54	0,02	0,00	12 282,04	1035
A0 1-1	-10	3	22 364,10	3,98	4,46	21670,39	0,01	0,00	12 282,04	694
A0 1-1	-10	1	20 956,50	3,98	3,98	20746,15	0,00	0,00	12 282,04	210
A0 1-1	-10	0,3	19 703,30	3,98	3,46	19302,09	0,01	0,00	12 282,04	401
A0 1-1	-10	0,1	18 375,80	3,98	2,98	17526,24	0,02	0,00	12 282,04	850
A0 2-4	-10	10	22 425,10	3,98	4,98	22354,54	0,00	0,00	12 282,04	71
A0 2-4	-10	3	21 505,10	3,98	4,46	21670,39	0,00	0,00	12 282,04	165
A0 2-4	-10	1	20 585,30	3,98	3,98	20746,15	0,00	0,00	12 282,04	161
A0 2-4	-10	0,3	19 231,30	3,98	3,46	19302,09	0,00	0,00	12 282,04	71
A0 2-4	-10	0,1	17 818,30	3,98	2,98	17526,24	0,01	0,00	12 282,04	292
A0 1-3	-10	10	22 611,60	3,98	4,98	22354,54	0,00	0,00	12 282,04	257
A0 1-3	-10	3	21 192,70	3,98	4,46	21670,39	-0,01	0,00	12 282,04	478
A0 1-3	-10	1	19 937,60	3,98	3,98	20746,15	-0,02	0,00	12 282,04	809
A0 1-3	-10	0,3	18 314,80	3,98	3,46	19302,09	-0,02	0,00	12 282,04	987
A0 1-3	-10	0,1	16 784,30	3,98	2,98	17526,24	-0,02	0,00	12 282,04	742
A0 4-2	5	10	17 733,50	1,99	2,99	17571,91	0,00	0,00	12 282,04	162
A0 4-2	5	3	15 583,60	1,99	2,47	15146,13	0,01	0,00	12 282,04	437
A0 4-2	5	1	13 273,00	1,99	1,99	12611,73	0,02	0,00	12 282,04	661
A0 4-2	5	0,3	10 498,70	1,99	1,47	9749,93	0,03	0,00	12 282,04	749
A0 4-2	5	0,1	8 239,80	1,99	0,99	7329,02	0,05	0,00	12 282,04	911
A0 1-1	5	10	17 016,80	1,99	2,99	17571,91	-0,01	0,00	12 282,04	555
A0 1-1	5	3	14 487,10	1,99	2,47	15146,13	-0,02	0,00	12 282,04	659
A0 1-1	5	1	12 278,90	1,99	1,99	12611,73	-0,01	0,00	12 282,04	333
A0 1-1	5	0,3	9 934,80	1,99	1,47	9749,93	0,01	0,00	12 282,04	185
A0 1-1	5	0,1	7 843,70	1,99	0,99	7329,02	0,03	0,00	12 282,04	515
A0 2-4	5	10	16 309,20	1,99	2,99	17571,91	-0,03	0,00	12 282,04	1263
A0 2-4	5	3	14 084,30	1,99	2,47	15146,13	-0,03	0,00	12 282,04	1062
A0 2-4	5	1	11 874,80	1,99	1,99	12611,73	-0,03	0,00	12 282,04	737
A0 2-4	5	0,3	9 511,40	1,99	1,47	9749,93	-0,01	0,00	12 282,04	239
A0 2-4	5	0,1	7 468,50	1,99	0,99	7329,02	0,01	0,00	12 282,04	139
A0 1-3	5	10	15 638,50	1,99	2,99	17571,91	-0,05	0,00	12 282,04	1933
A0 1-3	5	3	13 716,50	1,99	2,47	15146,13	-0,04	0,00	12 282,04	1430
A0 1-3	5	1	11 589,40	1,99	1,99	12611,73	-0,04	0,00	12 282,04	1022
A0 1-3	5	0,3	9 070,80	1,99	1,47	9749,93	-0,03	0,00	12 282,04	679
A0 1-3	5	0,1	7 051,90	1,99	0,99	7329,02	-0,02	0,00	12 282,04	277
A0 4-2	20	10	7 431,80	0,00	1,00	7378,39	0,00	0,00	12 282,04	53
A0 4-2	20	3	5 274,70	0,00	0,48	5144,51	0,01	0,00	12 282,04	130
A0 4-2	20	1	3 624,00	0,00	0,00	3570,78	0,01	0,00	12 282,04	53
A0 4-2	20	0,3	2 298,20	0,00	-0,52	2323,82	0,00	0,00	12 282,04	26
A0 4-2	20	0,1	1 458,30	0,00	-1,00	1540,64	-0,02	0,00	12 282,04	82
A0 1-1	20	10	7 950,40	0,00	1,00	7378,39	0,03	0,00	12 282,04	572
A0 1-1	20	3	6 256,30	0,00	0,48	5144,51	0,08	0,01	12 282,04	1112
A0 1-1	20	1	3 923,00	0,00	0,00	3570,78	0,04	0,00	12 282,04	352
A0 1-1	20	0,3	2 509,20	0,00	-0,52	2323,82	0,03	0,00	12 282,04	185
A0 1-1	20	0,1	1 610,20	0,00	-1,00	1540,64	0,02	0,00	12 282,04	70
A0 2-4	20	10	7 276,10	0,00	1,00	7378,39	-0,01	0,00	12 282,04	102
A0 2-4	20	3	5 205,60	0,00	0,48	5144,51	0,01	0,00	12 282,04	61
A0 2-4	20	1	3 648,70	0,00	0,00	3570,78	0,01	0,00	12 282,04	78
A0 2-4	20	0,3	2 320,50	0,00	-0,52	2323,82	0,00	0,00	12 282,04	3
A0 2-4	20	0,1	1 548,30	0,00	-1,00	1540,64	0,00	0,00	12 282,04	8
A0 1-3	20	10	6 980,60	0,00	1,00	7378,39	-0,02	0,00	12 282,04	398
A0 1-3	20	3	4 831,90	0,00	0,48	5144,51	-0,03	0,00	12 282,04	313
A0 1-3	20	1	3 307,50	0,00	0,00	3570,78	-0,03	0,00	12 282,04	263
A0 1-3	20	0,3	2 095,30	0,00	-0,52	2323,82	-0,04	0,00	12 282,04	229
A0 1-3	20	0,1	1 364,70	0,00	-1,00	1540,64	-0,05	0,00	12 282,04	176



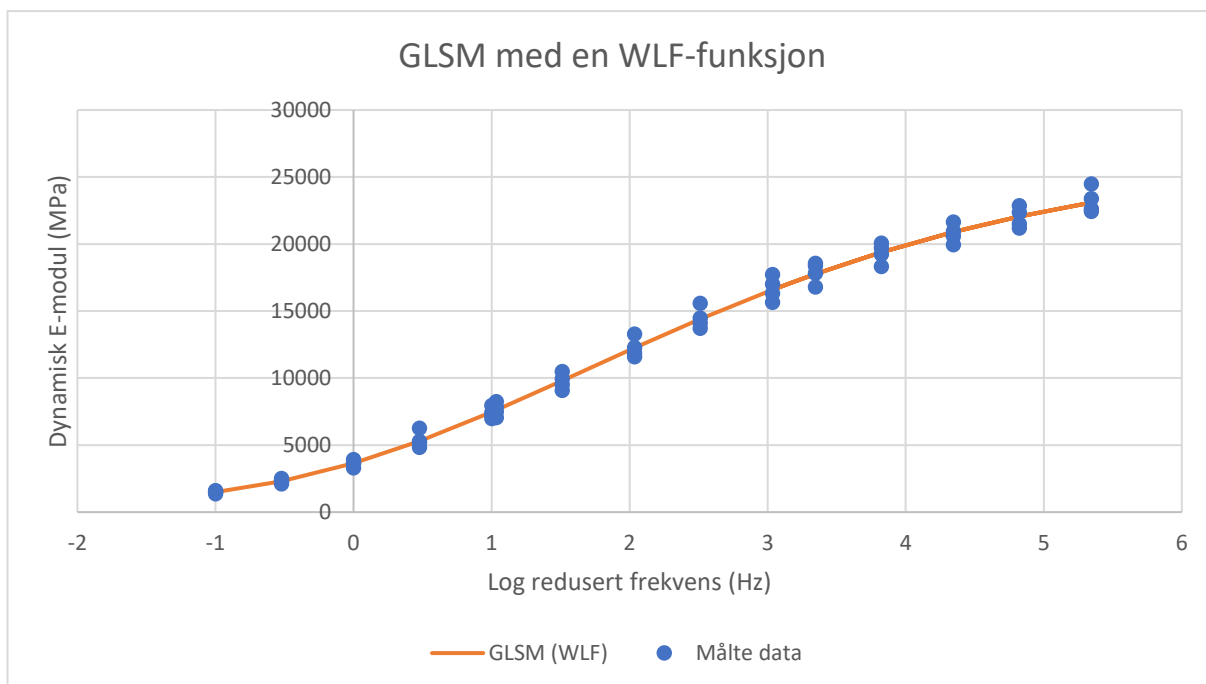
PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = C2 \cdot (T - Tr) + C3 \cdot (T - Tr)^2$	Redusert frekvens f_a $\log(f_a) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $[E^*] = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + \exp(\log(f_a) + \beta))$	Residual	Residual ²	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
AO 4-2	-10	10	24 494,40	4,12	5,12	22141,11	0,04	0,00	12 282,04	2353
AO 4-2	-10	3	22 851,10	4,12	4,60	21572,06	0,03	0,00	12 282,04	1279
AO 4-2	-10	1	21 632,20	4,12	4,12	20791,18	0,02	0,00	12 282,04	841
AO 4-2	-10	0,3	20 076,40	4,12	3,60	19545,21	0,01	0,00	12 282,04	531
AO 4-2	-10	0,1	18 552,00	4,12	3,12	17971,36	0,01	0,00	12 282,04	581
AO 1-1	-10	10	23 389,70	4,12	5,12	22141,11	0,02	0,00	12 282,04	1249
AO 1-1	-10	3	22 364,10	4,12	4,60	21572,06	0,02	0,00	12 282,04	792
AO 1-1	-10	1	20 956,50	4,12	4,12	20791,18	0,00	0,00	12 282,04	165
AO 1-1	-10	0,3	19 703,30	4,12	3,60	19545,21	0,00	0,00	12 282,04	158
AO 1-1	-10	0,1	18 375,80	4,12	3,12	17971,36	0,01	0,00	12 282,04	404
AO 2-4	-10	10	22 425,10	4,12	5,12	22141,11	0,01	0,00	12 282,04	284
AO 2-4	-10	3	21 505,10	4,12	4,60	21572,06	0,00	0,00	12 282,04	67
AO 2-4	-10	1	20 585,30	4,12	4,12	20791,18	0,00	0,00	12 282,04	206
AO 2-4	-10	0,3	19 231,30	4,12	3,60	19545,21	-0,01	0,00	12 282,04	314
AO 2-4	-10	0,1	17 818,30	4,12	3,12	17971,36	0,00	0,00	12 282,04	153
AO 1-3	-10	10	22 611,60	4,12	5,12	22141,11	0,01	0,00	12 282,04	470
AO 1-3	-10	3	21 192,70	4,12	4,60	21572,06	-0,01	0,00	12 282,04	379
AO 1-3	-10	1	19 937,60	4,12	4,12	20791,18	-0,02	0,00	12 282,04	854
AO 1-3	-10	0,3	18 314,80	4,12	3,60	19545,21	-0,03	0,00	12 282,04	1230
AO 1-3	-10	0,1	16 784,30	4,12	3,12	17971,36	-0,03	0,00	12 282,04	1187
AO 4-2	5	10	17 733,50	1,97	2,97	17394,93	0,01	0,00	12 282,04	339
AO 4-2	5	3	15 583,60	1,97	2,45	15024,60	0,02	0,00	12 282,04	559
AO 4-2	5	1	13 273,00	1,97	1,97	12529,57	0,03	0,00	12 282,04	743
AO 4-2	5	0,3	10 498,70	1,97	1,45	9694,46	0,03	0,00	12 282,04	804
AO 4-2	5	0,1	8 239,80	1,97	0,97	7285,42	0,05	0,00	12 282,04	954
AO 1-1	5	10	17 016,80	1,97	2,97	17394,93	-0,01	0,00	12 282,04	378
AO 1-1	5	3	14 487,10	1,97	2,45	15024,60	-0,02	0,00	12 282,04	538
AO 1-1	5	1	12 278,90	1,97	1,97	12529,57	-0,01	0,00	12 282,04	251
AO 1-1	5	0,3	9 934,80	1,97	1,45	9694,46	0,01	0,00	12 282,04	240
AO 1-1	5	0,1	7 843,70	1,97	0,97	7285,42	0,03	0,00	12 282,04	558
AO 2-4	5	10	16 309,20	1,97	2,97	17394,93	-0,03	0,00	12 282,04	1086
AO 2-4	5	3	14 084,30	1,97	2,45	15024,60	-0,03	0,00	12 282,04	940
AO 2-4	5	1	11 874,80	1,97	1,97	12529,57	-0,02	0,00	12 282,04	655
AO 2-4	5	0,3	9 511,40	1,97	1,45	9694,46	-0,01	0,00	12 282,04	183
AO 2-4	5	0,1	7 468,50	1,97	0,97	7285,42	0,01	0,00	12 282,04	183
AO 1-3	5	10	15 638,50	1,97	2,97	17394,93	-0,05	0,00	12 282,04	1756
AO 1-3	5	3	13 716,50	1,97	2,45	15024,60	-0,04	0,00	12 282,04	1308
AO 1-3	5	1	11 589,40	1,97	1,97	12529,57	-0,03	0,00	12 282,04	940
AO 1-3	5	0,3	9 070,80	1,97	1,45	9694,46	-0,03	0,00	12 282,04	624
AO 1-3	5	0,1	7 051,90	1,97	0,97	7285,42	-0,01	0,00	12 282,04	234
AO 4-2	20	10	7 431,80	0,00	1,00	7410,06	0,00	0,00	12 282,04	22
AO 4-2	20	3	5 274,70	0,00	0,48	5166,81	0,01	0,00	12 282,04	108
AO 4-2	20	1	3 624,00	0,00	0,00	3582,10	0,01	0,00	12 282,04	42
AO 4-2	20	0,3	2 298,20	0,00	-0,52	2325,84	-0,01	0,00	12 282,04	28
AO 4-2	20	0,1	1 458,30	0,00	-1,00	1537,74	-0,02	0,00	12 282,04	79
AO 1-1	20	10	7 950,40	0,00	1,00	7410,06	0,03	0,00	12 282,04	540
AO 1-1	20	3	6 256,30	0,00	0,48	5166,81	0,08	0,01	12 282,04	1089
AO 1-1	20	1	3 923,00	0,00	0,00	3582,10	0,04	0,00	12 282,04	341
AO 1-1	20	0,3	2 509,20	0,00	-0,52	2325,84	0,03	0,00	12 282,04	183
AO 1-1	20	0,1	1 610,20	0,00	-1,00	1537,74	0,02	0,00	12 282,04	72
AO 2-4	20	10	7 276,10	0,00	1,00	7410,06	-0,01	0,00	12 282,04	134
AO 2-4	20	3	5 205,60	0,00	0,48	5166,81	0,00	0,00	12 282,04	39
AO 2-4	20	1	3 648,70	0,00	0,00	3582,10	0,01	0,00	12 282,04	67
AO 2-4	20	0,3	2 320,50	0,00	-0,52	2325,84	0,00	0,00	12 282,04	5
AO 2-4	20	0,1	1 548,30	0,00	-1,00	1537,74	0,00	0,00	12 282,04	11
AO 1-3	20	10	6 980,60	0,00	1,00	7410,06	-0,03	0,00	12 282,04	429
AO 1-3	20	3	4 831,90	0,00	0,48	5166,81	-0,03	0,00	12 282,04	335
AO 1-3	20	1	3 307,50	0,00	0,00	3582,10	-0,03	0,00	12 282,04	275
AO 1-3	20	0,3	2 095,30	0,00	-0,52	2325,84	-0,05	0,00	12 282,04	231
AO 1-3	20	0,1	1 364,70	0,00	-1,00	1537,74	-0,05	0,00	12 282,04	173

GLSM med en Arrhenius-funksjon



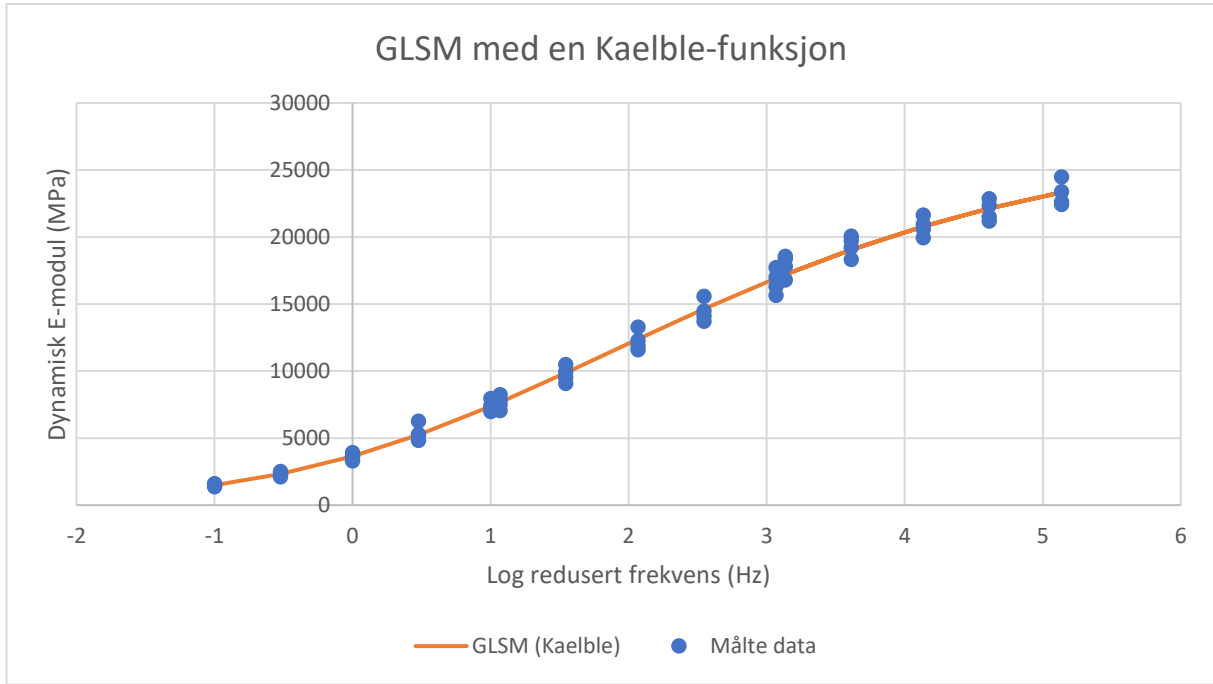
PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skjffaktor αT $\log(\alpha T) = (C*(1/T_i - 1/T_r))$	Redusert frekvens f_r $\log(f_r) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $ E^* = \delta + (\alpha \cdot \delta) / (1 + \lambda \cdot \exp(\log(f_r) + \beta))^{(1/\lambda)}$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
AD 4-2	-10	10	24 494,40	4,31	5,31	23136,83	0,02	0,00	12 282,04	1358
AD 4-2	-10	3	22 851,10	4,31	4,79	22066,50	0,02	0,00	12 282,04	785
AD 4-2	-10	1	21 632,20	4,31	4,31	20881,89	0,02	0,00	12 282,04	750
AD 4-2	-10	0,3	20 076,40	4,31	3,79	19331,48	0,02	0,00	12 282,04	745
AD 4-2	-10	0,1	18 552,00	4,31	3,31	17675,72	0,02	0,00	12 282,04	876
AD 1-1	-10	10	23 389,70	4,31	5,31	23136,83	0,00	0,00	12 282,04	253
AD 1-1	-10	3	22 364,10	4,31	4,79	22066,50	0,01	0,00	12 282,04	298
AD 1-1	-10	1	20 956,50	4,31	4,31	20881,89	0,00	0,00	12 282,04	75
AD 1-1	-10	0,3	19 703,30	4,31	3,79	19331,48	0,01	0,00	12 282,04	372
AD 1-1	-10	0,1	18 375,80	4,31	3,31	17675,72	0,02	0,00	12 282,04	700
AD 2-4	-10	10	22 425,10	4,31	5,31	23136,83	-0,01	0,00	12 282,04	712
AD 2-4	-10	3	21 505,10	4,31	4,79	22066,50	-0,01	0,00	12 282,04	561
AD 2-4	-10	1	20 585,30	4,31	4,31	20881,89	-0,01	0,00	12 282,04	297
AD 2-4	-10	0,3	19 231,30	4,31	3,79	19331,48	0,00	0,00	12 282,04	100
AD 2-4	-10	0,1	17 818,30	4,31	3,31	17675,72	0,00	0,00	12 282,04	143
AD 1-3	-10	10	22 611,60	4,31	5,31	23136,83	-0,01	0,00	12 282,04	525
AD 1-3	-10	3	21 192,70	4,31	4,79	22066,50	-0,02	0,00	12 282,04	874
AD 1-3	-10	1	19 937,60	4,31	4,31	20881,89	-0,02	0,00	12 282,04	944
AD 1-3	-10	0,3	18 314,80	4,31	3,79	19331,48	-0,02	0,00	12 282,04	1017
AD 1-3	-10	0,1	16 784,30	4,31	3,31	17675,72	-0,02	0,00	12 282,04	891
AD 4-2	5	10	17 733,50	2,04	3,04	16633,36	0,03	0,00	12 282,04	1100
AD 4-2	5	3	15 583,60	2,04	2,52	14438,21	0,03	0,00	12 282,04	1145
AD 4-2	5	1	13 273,00	2,04	2,04	12269,79	0,03	0,00	12 282,04	1003
AD 4-2	5	0,3	10 498,70	2,04	1,52	9813,29	0,03	0,00	12 282,04	685
AD 4-2	5	0,1	8 239,80	2,04	1,04	7621,96	0,03	0,00	12 282,04	618
AD 1-1	5	10	17 016,80	2,04	3,04	16633,36	0,01	0,00	12 282,04	383
AD 1-1	5	3	14 487,10	2,04	2,52	14438,21	0,00	0,00	12 282,04	49
AD 1-1	5	1	12 278,90	2,04	2,04	12269,79	0,00	0,00	12 282,04	9
AD 1-1	5	0,3	9 934,80	2,04	1,52	9813,29	0,01	0,00	12 282,04	122
AD 1-1	5	0,1	7 843,70	2,04	1,04	7621,96	0,01	0,00	12 282,04	222
AD 2-4	5	10	16 309,20	2,04	3,04	16633,36	-0,01	0,00	12 282,04	324
AD 2-4	5	3	14 084,30	2,04	2,52	14438,21	-0,01	0,00	12 282,04	354
AD 2-4	5	1	11 874,80	2,04	2,04	12269,79	-0,01	0,00	12 282,04	395
AD 2-4	5	0,3	9 511,40	2,04	1,52	9813,29	-0,01	0,00	12 282,04	302
AD 2-4	5	0,1	7 468,50	2,04	1,04	7621,96	-0,01	0,00	12 282,04	153
AD 1-3	5	10	15 638,50	2,04	3,04	16633,36	-0,03	0,00	12 282,04	995
AD 1-3	5	3	13 716,50	2,04	2,52	14438,21	-0,02	0,00	12 282,04	722
AD 1-3	5	1	11 589,40	2,04	2,04	12269,79	-0,02	0,00	12 282,04	680
AD 1-3	5	0,3	9 070,80	2,04	1,52	9813,29	-0,03	0,00	12 282,04	742
AD 1-3	5	0,1	7 051,90	2,04	1,04	7621,96	-0,03	0,00	12 282,04	570
AD 4-2	20	10	7 431,80	0,00	1,00	7449,83	0,00	0,00	12 282,04	18
AD 4-2	20	3	5 274,70	0,00	0,48	5285,87	0,00	0,00	12 282,04	11
AD 4-2	20	1	3 624,00	0,00	0,00	3645,49	0,00	0,00	12 282,04	21
AD 4-2	20	0,3	2 298,20	0,00	-0,52	2301,38	0,00	0,00	12 282,04	3
AD 4-2	20	0,1	1 458,30	0,00	-1,00	1491,81	-0,01	0,00	12 282,04	34
AD 1-1	20	10	7 950,40	0,00	1,00	7449,83	0,03	0,00	12 282,04	501
AD 1-1	20	3	6 256,30	0,00	0,48	5285,87	0,07	0,01	12 282,04	970
AD 1-1	20	1	3 923,00	0,00	0,00	3645,49	0,03	0,00	12 282,04	278
AD 1-1	20	0,3	2 509,20	0,00	-0,52	2301,38	0,04	0,00	12 282,04	208
AD 1-1	20	0,1	1 610,20	0,00	-1,00	1491,81	0,03	0,00	12 282,04	118
AD 2-4	20	10	7 276,10	0,00	1,00	7449,83	-0,01	0,00	12 282,04	174
AD 2-4	20	3	5 205,60	0,00	0,48	5285,87	-0,01	0,00	12 282,04	80
AD 2-4	20	1	3 648,70	0,00	0,00	3645,49	0,00	0,00	12 282,04	3
AD 2-4	20	0,3	2 320,50	0,00	-0,52	2301,38	0,00	0,00	12 282,04	19
AD 2-4	20	0,1	1 548,30	0,00	-1,00	1491,81	0,02	0,00	12 282,04	56
AD 1-3	20	10	6 980,60	0,00	1,00	7449,83	-0,03	0,00	12 282,04	469
AD 1-3	20	3	4 831,90	0,00	0,48	5285,87	-0,04	0,00	12 282,04	454
AD 1-3	20	1	3 307,50	0,00	0,00	3645,49	-0,04	0,00	12 282,04	338
AD 1-3	20	0,3	2 095,30	0,00	-0,52	2301,38	-0,04	0,00	12 282,04	206
AD 1-3	20	0,1	1 364,70	0,00	-1,00	1491,81	-0,04	0,00	12 282,04	127

GLSM med en WLF-funksjon



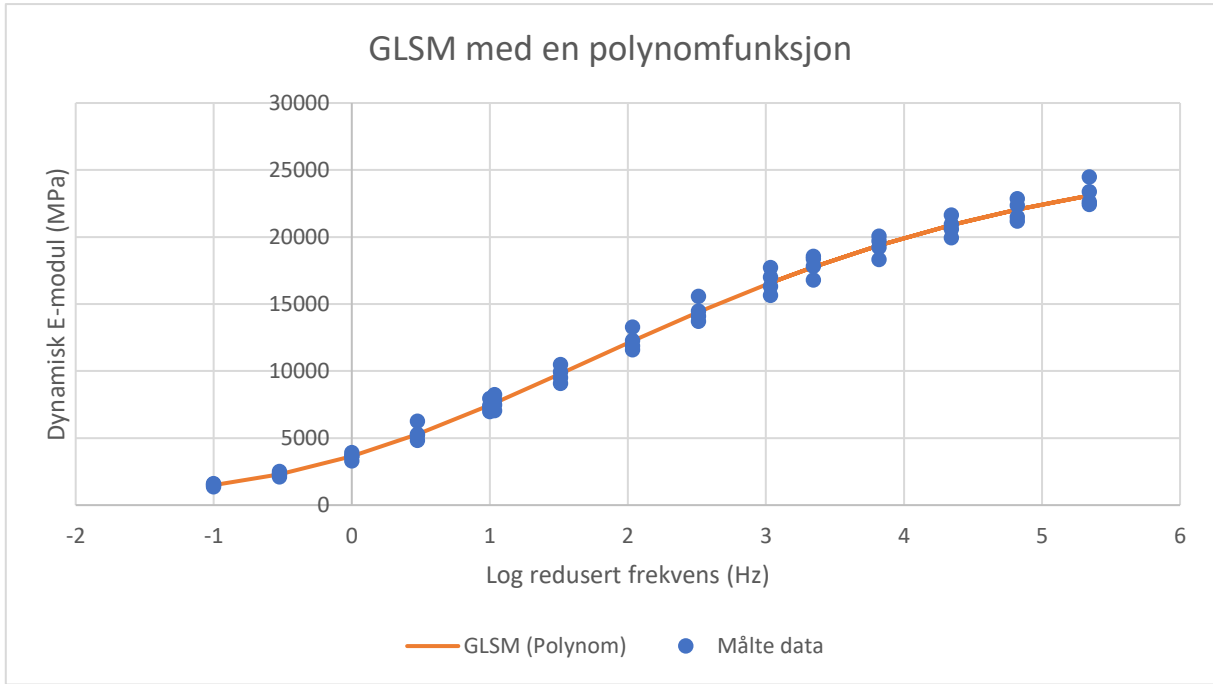
PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = (-C_1(T_i - T_R)/(C_2 + T_i - T_R))$	Redusert frekvens f_a $\log(f_a) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $ E^* = \delta + (\alpha - \delta)/(1 + A \cdot \exp(\log(f_R) + B))^{(1/I)}$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
AD 4-2	-10	10	24 494,40	4,35	5,35	23094,53	0,03	0,00	12 282,04	1400
AD 4-2	-10	3	22 851,10	4,35	4,82	22051,60	0,02	0,00	12 282,04	799
AD 4-2	-10	1	21 632,20	4,35	4,35	20896,39	0,02	0,00	12 282,04	736
AD 4-2	-10	0,3	20 076,40	4,35	3,82	19382,25	0,02	0,00	12 282,04	694
AD 4-2	-10	0,1	18 552,00	4,35	3,35	17761,57	0,02	0,00	12 282,04	790
AD 1-1	-10	10	23 389,70	4,35	5,35	23094,53	0,01	0,00	12 282,04	295
AD 1-1	-10	3	22 364,10	4,35	4,82	22051,60	0,01	0,00	12 282,04	312
AD 1-1	-10	1	20 956,50	4,35	4,35	20896,39	0,00	0,00	12 282,04	60
AD 1-1	-10	0,3	19 703,30	4,35	3,82	19382,25	0,01	0,00	12 282,04	321
AD 1-1	-10	0,1	18 375,80	4,35	3,35	17761,57	0,01	0,00	12 282,04	614
AD 2-4	-10	10	22 425,10	4,35	5,35	23094,53	-0,01	0,00	12 282,04	669
AD 2-4	-10	3	21 505,10	4,35	4,82	22051,60	-0,01	0,00	12 282,04	547
AD 2-4	-10	1	20 585,30	4,35	4,35	20896,39	-0,01	0,00	12 282,04	311
AD 2-4	-10	0,3	19 231,30	4,35	3,82	19382,25	0,00	0,00	12 282,04	151
AD 2-4	-10	0,1	17 818,30	4,35	3,35	17761,57	0,00	0,00	12 282,04	57
AD 1-3	-10	10	22 611,60	4,35	5,35	23094,53	-0,01	0,00	12 282,04	483
AD 1-3	-10	3	21 192,70	4,35	4,82	22051,60	-0,02	0,00	12 282,04	859
AD 1-3	-10	1	19 937,60	4,35	4,35	20896,39	-0,02	0,00	12 282,04	959
AD 1-3	-10	0,3	18 314,80	4,35	3,82	19382,25	-0,02	0,00	12 282,04	1067
AD 1-3	-10	0,1	16 784,30	4,35	3,35	17761,57	-0,02	0,00	12 282,04	977
AD 4-2	5	10	17 733,50	2,03	3,03	16584,91	0,03	0,00	12 282,04	1149
AD 4-2	5	3	15 583,60	2,03	2,51	14407,18	0,03	0,00	12 282,04	1176
AD 4-2	5	1	13 273,00	2,03	2,03	12251,91	0,03	0,00	12 282,04	1021
AD 4-2	5	0,3	10 498,70	2,03	1,51	9804,52	0,03	0,00	12 282,04	694
AD 4-2	5	0,1	8 239,80	2,03	1,03	7615,68	0,03	0,00	12 282,04	624
AD 1-1	5	10	17 016,80	2,03	3,03	16584,91	0,01	0,00	12 282,04	432
AD 1-1	5	3	14 487,10	2,03	2,51	14407,18	0,00	0,00	12 282,04	80
AD 1-1	5	1	12 278,90	2,03	2,03	12251,91	0,00	0,00	12 282,04	27
AD 1-1	5	0,3	9 934,80	2,03	1,51	9804,52	0,01	0,00	12 282,04	130
AD 1-1	5	0,1	7 843,70	2,03	1,03	7615,68	0,01	0,00	12 282,04	228
AD 2-4	5	10	16 309,20	2,03	3,03	16584,91	-0,01	0,00	12 282,04	276
AD 2-4	5	3	14 084,30	2,03	2,51	14407,18	-0,01	0,00	12 282,04	323
AD 2-4	5	1	11 874,80	2,03	2,03	12251,91	-0,01	0,00	12 282,04	377
AD 2-4	5	0,3	9 511,40	2,03	1,51	9804,52	-0,01	0,00	12 282,04	293
AD 2-4	5	0,1	7 468,50	2,03	1,03	7615,68	-0,01	0,00	12 282,04	147
AD 1-3	5	10	15 638,50	2,03	3,03	16584,91	-0,03	0,00	12 282,04	946
AD 1-3	5	3	13 716,50	2,03	2,51	14407,18	-0,02	0,00	12 282,04	691
AD 1-3	5	1	11 589,40	2,03	2,03	12251,91	-0,02	0,00	12 282,04	663
AD 1-3	5	0,3	9 070,80	2,03	1,51	9804,52	-0,03	0,00	12 282,04	734
AD 1-3	5	0,1	7 051,90	2,03	1,03	7615,68	-0,03	0,00	12 282,04	564
AD 4-2	20	10	7 431,80	0,00	1,00	7462,75	0,00	0,00	12 282,04	31
AD 4-2	20	3	5 274,70	0,00	0,48	5293,49	0,00	0,00	12 282,04	19
AD 4-2	20	1	3 624,00	0,00	0,00	3646,35	0,00	0,00	12 282,04	22
AD 4-2	20	0,3	2 298,20	0,00	-0,52	2298,53	0,00	0,00	12 282,04	0
AD 4-2	20	0,1	1 458,30	0,00	-1,00	1492,42	-0,01	0,00	12 282,04	34
AD 1-1	20	10	7 950,40	0,00	1,00	7462,75	0,03	0,00	12 282,04	488
AD 1-1	20	3	6 256,30	0,00	0,48	5293,49	0,07	0,01	12 282,04	963
AD 1-1	20	1	3 923,00	0,00	0,00	3646,35	0,03	0,00	12 282,04	277
AD 1-1	20	0,3	2 509,20	0,00	-0,52	2298,53	0,04	0,00	12 282,04	211
AD 1-1	20	0,1	1 610,20	0,00	-1,00	1492,42	0,03	0,00	12 282,04	118
AD 2-4	20	10	7 276,10	0,00	1,00	7462,75	-0,01	0,00	12 282,04	187
AD 2-4	20	3	5 205,60	0,00	0,48	5293,49	-0,01	0,00	12 282,04	88
AD 2-4	20	1	3 648,70	0,00	0,00	3646,35	0,00	0,00	12 282,04	2
AD 2-4	20	0,3	2 320,50	0,00	-0,52	2298,53	0,00	0,00	12 282,04	22
AD 2-4	20	0,1	1 548,30	0,00	-1,00	1492,42	0,02	0,00	12 282,04	56
AD 1-3	20	10	6 980,60	0,00	1,00	7462,75	-0,03	0,00	12 282,04	482
AD 1-3	20	3	4 831,90	0,00	0,48	5293,49	-0,04	0,00	12 282,04	462
AD 1-3	20	1	3 307,50	0,00	0,00	3646,35	-0,04	0,00	12 282,04	339
AD 1-3	20	0,3	2 095,30	0,00	-0,52	2298,53	-0,04	0,00	12 282,04	203
AD 1-3	20	0,1	1 364,70	0,00	-1,00	1492,42	-0,04	0,00	12 282,04	128

GLSM med en Kaelble-funksjon



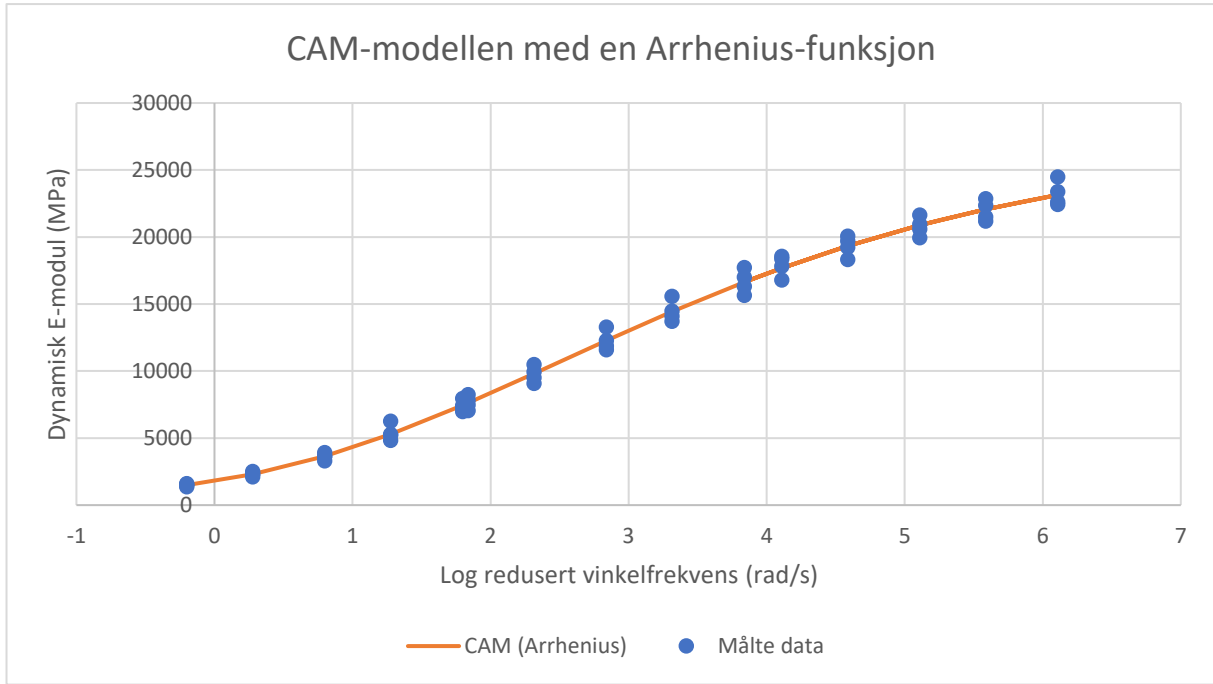
PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = (-C1*(T_i - TR)/(C2 + T_i - TR))$	Redusert frekvens f_x $\log(f_x) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $[E^*] = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + A * \exp(\log(fR) + \beta))^{1/A}$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
A0 4-2	-10	10	24 494,40	4,13	5,13	23329,26	0,02	0,00	12 282,04	1165
A0 4-2	-10	3	22 851,10	4,13	4,61	22124,59	0,01	0,00	12 282,04	727
A0 4-2	-10	1	21 632,20	4,13	4,13	20788,95	0,02	0,00	12 282,04	843
A0 4-2	-10	0,3	20 076,40	4,13	3,61	19046,58	0,02	0,00	12 282,04	1030
A0 4-2	-10	0,1	18 552,00	4,13	3,13	17202,76	0,03	0,00	12 282,04	1349
A0 1-1	-10	10	23 389,70	4,13	5,13	23329,26	0,00	0,00	12 282,04	60
A0 1-1	-10	3	22 364,10	4,13	4,61	22124,59	0,00	0,00	12 282,04	240
A0 1-1	-10	1	20 956,50	4,13	4,13	20788,95	0,00	0,00	12 282,04	168
A0 1-1	-10	0,3	19 703,30	4,13	3,61	19046,58	0,01	0,00	12 282,04	657
A0 1-1	-10	0,1	18 375,80	4,13	3,13	17202,76	0,03	0,00	12 282,04	1173
A0 2-4	-10	10	22 425,10	4,13	5,13	23329,26	-0,02	0,00	12 282,04	904
A0 2-4	-10	3	21 505,10	4,13	4,61	22124,59	-0,01	0,00	12 282,04	619
A0 2-4	-10	1	20 585,30	4,13	4,13	20788,95	0,00	0,00	12 282,04	204
A0 2-4	-10	0,3	19 231,30	4,13	3,61	19046,58	0,00	0,00	12 282,04	185
A0 2-4	-10	0,1	17 818,30	4,13	3,13	17202,76	0,02	0,00	12 282,04	616
A0 1-3	-10	10	22 611,60	4,13	5,13	23329,26	-0,01	0,00	12 282,04	718
A0 1-3	-10	3	21 192,70	4,13	4,61	22124,59	-0,02	0,00	12 282,04	932
A0 1-3	-10	1	19 937,60	4,13	4,13	20788,95	-0,02	0,00	12 282,04	851
A0 1-3	-10	0,3	18 314,80	4,13	3,61	19046,58	-0,02	0,00	12 282,04	732
A0 1-3	-10	0,1	16 784,30	4,13	3,13	17202,76	-0,01	0,00	12 282,04	418
A0 4-2	5	10	17 733,50	2,07	3,07	16926,00	0,02	0,00	12 282,04	808
A0 4-2	5	3	15 583,60	2,07	2,54	14629,37	0,03	0,00	12 282,04	954
A0 4-2	5	1	13 273,00	2,07	2,07	12381,94	0,03	0,00	12 282,04	891
A0 4-2	5	0,3	10 498,70	2,07	1,54	9870,28	0,03	0,00	12 282,04	628
A0 4-2	5	0,1	8 239,80	2,07	1,07	7664,77	0,03	0,00	12 282,04	575
A0 1-1	5	10	17 016,80	2,07	3,07	16926,00	0,00	0,00	12 282,04	91
A0 1-1	5	3	14 487,10	2,07	2,54	14629,37	0,00	0,00	12 282,04	142
A0 1-1	5	1	12 278,90	2,07	2,07	12381,94	0,00	0,00	12 282,04	103
A0 1-1	5	0,3	9 934,80	2,07	1,54	9870,28	0,00	0,00	12 282,04	65
A0 1-1	5	0,1	7 843,70	2,07	1,07	7664,77	0,01	0,00	12 282,04	179
A0 2-4	5	10	16 309,20	2,07	3,07	16926,00	-0,02	0,00	12 282,04	617
A0 2-4	5	3	14 084,30	2,07	2,54	14629,37	-0,02	0,00	12 282,04	545
A0 2-4	5	1	11 874,80	2,07	2,07	12381,94	-0,02	0,00	12 282,04	507
A0 2-4	5	0,3	9 511,40	2,07	1,54	9870,28	-0,02	0,00	12 282,04	359
A0 2-4	5	0,1	7 468,50	2,07	1,07	7664,77	-0,01	0,00	12 282,04	196
A0 1-3	5	10	15 638,50	2,07	3,07	16926,00	-0,03	0,00	12 282,04	1287
A0 1-3	5	3	13 716,50	2,07	2,54	14629,37	-0,03	0,00	12 282,04	913
A0 1-3	5	1	11 589,40	2,07	2,07	12381,94	-0,03	0,00	12 282,04	793
A0 1-3	5	0,3	9 070,80	2,07	1,54	9870,28	-0,04	0,00	12 282,04	799
A0 1-3	5	0,1	7 051,90	2,07	1,07	7664,77	-0,04	0,00	12 282,04	613
A0 4-2	20	10	7 431,80	0,00	1,00	7367,00	0,00	0,00	12 282,04	65
A0 4-2	20	3	5 274,70	0,00	0,48	5239,78	0,00	0,00	12 282,04	35
A0 4-2	20	1	3 624,00	0,00	0,00	3642,33	0,00	0,00	12 282,04	18
A0 4-2	20	0,3	2 298,20	0,00	-0,52	2320,00	0,00	0,00	12 282,04	22
A0 4-2	20	0,1	1 458,30	0,00	-1,00	1487,60	-0,01	0,00	12 282,04	29
A0 1-1	20	10	7 950,40	0,00	1,00	7367,00	0,03	0,00	12 282,04	583
A0 1-1	20	3	6 256,30	0,00	0,48	5239,78	0,08	0,01	12 282,04	1017
A0 1-1	20	1	3 923,00	0,00	0,00	3642,33	0,03	0,00	12 282,04	281
A0 1-1	20	0,3	2 509,20	0,00	-0,52	2320,00	0,03	0,00	12 282,04	189
A0 1-1	20	0,1	1 610,20	0,00	-1,00	1487,60	0,03	0,00	12 282,04	123
A0 2-4	20	10	7 276,10	0,00	1,00	7367,00	-0,01	0,00	12 282,04	91
A0 2-4	20	3	5 205,60	0,00	0,48	5239,78	0,00	0,00	12 282,04	34
A0 2-4	20	1	3 648,70	0,00	0,00	3642,33	0,00	0,00	12 282,04	6
A0 2-4	20	0,3	2 320,50	0,00	-0,52	2320,00	0,00	0,00	12 282,04	1
A0 2-4	20	0,1	1 548,30	0,00	-1,00	1487,60	0,02	0,00	12 282,04	61
A0 1-3	20	10	6 980,60	0,00	1,00	7367,00	-0,02	0,00	12 282,04	386
A0 1-3	20	3	4 831,90	0,00	0,48	5239,78	-0,04	0,00	12 282,04	408
A0 1-3	20	1	3 307,50	0,00	0,00	3642,33	-0,04	0,00	12 282,04	335
A0 1-3	20	0,3	2 095,30	0,00	-0,52	2320,00	-0,04	0,00	12 282,04	225
A0 1-3	20	0,1	1 364,70	0,00	-1,00	1487,60	-0,04	0,00	12 282,04	123

GLSM med en polynomfunksjon



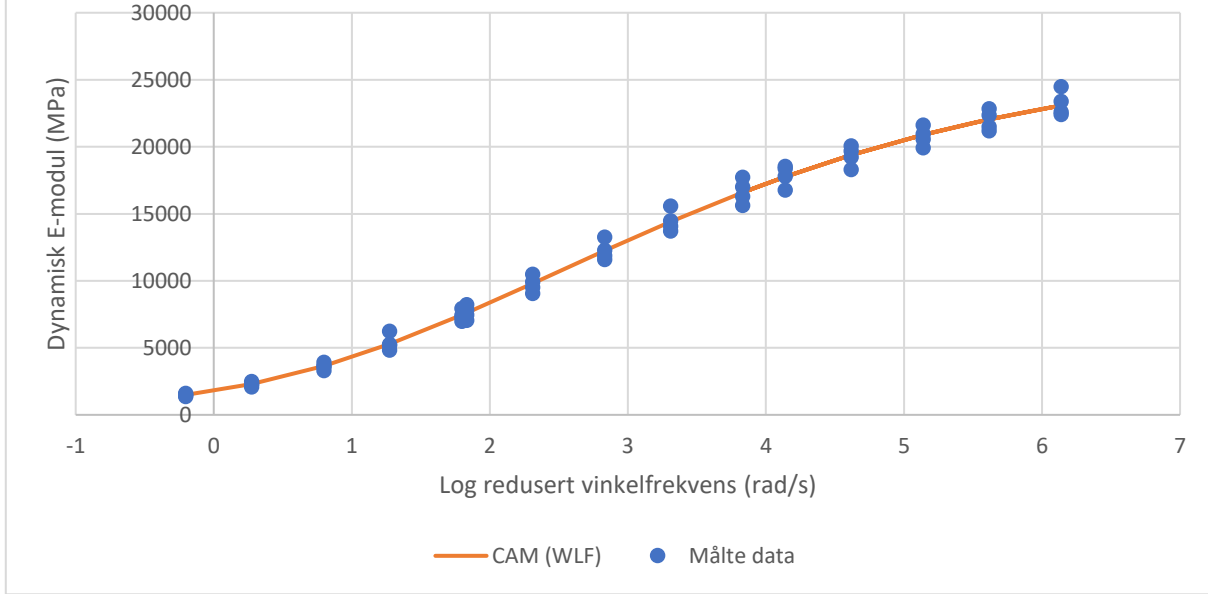
PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = C2 \cdot (T_i - T_r) + C3 \cdot (T_i - T_r)^2$	Redusert frekvens f_x $\log(f_x) = \log(\alpha T) + \log(f)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $[E^*] = \delta + (\alpha - \delta) / (1 + \lambda \cdot \exp(\log(f_r) + \beta))^{1/\lambda}$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
A0 4-2	-10	10	24 494,40	4,34	5,34	23095,21	0,03	0,00	12 282,04	1399
A0 4-2	-10	3	22 851,10	4,34	4,82	22051,87	0,02	0,00	12 282,04	799
A0 4-2	-10	1	21 632,20	4,34	4,34	20896,10	0,02	0,00	12 282,04	736
A0 4-2	-10	0,3	20 076,40	4,34	3,82	19381,12	0,02	0,00	12 282,04	695
A0 4-2	-10	0,1	18 552,00	4,34	3,34	17759,50	0,02	0,00	12 282,04	792
A0 1-1	-10	10	23 389,70	4,34	5,34	23095,21	0,01	0,00	12 282,04	294
A0 1-1	-10	3	22 364,10	4,34	4,82	22051,87	0,01	0,00	12 282,04	312
A0 1-1	-10	1	20 956,50	4,34	4,34	20896,10	0,00	0,00	12 282,04	60
A0 1-1	-10	0,3	19 703,30	4,34	3,82	19381,12	0,01	0,00	12 282,04	322
A0 1-1	-10	0,1	18 375,80	4,34	3,34	17759,50	0,01	0,00	12 282,04	616
A0 2-4	-10	10	22 425,10	4,34	5,34	23095,21	-0,01	0,00	12 282,04	670
A0 2-4	-10	3	21 505,10	4,34	4,82	22051,87	-0,01	0,00	12 282,04	547
A0 2-4	-10	1	20 585,30	4,34	4,34	20896,10	-0,01	0,00	12 282,04	311
A0 2-4	-10	0,3	19 231,30	4,34	3,82	19381,12	0,00	0,00	12 282,04	150
A0 2-4	-10	0,1	17 818,30	4,34	3,34	17759,50	0,00	0,00	12 282,04	59
A0 1-3	-10	10	22 611,60	4,34	5,34	23095,21	-0,01	0,00	12 282,04	484
A0 1-3	-10	3	21 192,70	4,34	4,82	22051,87	-0,02	0,00	12 282,04	859
A0 1-3	-10	1	19 937,60	4,34	4,34	20896,10	-0,02	0,00	12 282,04	958
A0 1-3	-10	0,3	18 314,80	4,34	3,82	19381,12	-0,02	0,00	12 282,04	1066
A0 1-3	-10	0,1	16 784,30	4,34	3,34	17759,50	-0,02	0,00	12 282,04	975
A0 4-2	5	10	17 733,50	2,03	3,03	16586,71	0,03	0,00	12 282,04	1147
A0 4-2	5	3	15 583,60	2,03	2,51	14408,36	0,03	0,00	12 282,04	1175
A0 4-2	5	1	13 273,00	2,03	2,03	12252,52	0,03	0,00	12 282,04	1020
A0 4-2	5	0,3	10 498,70	2,03	1,51	9804,65	0,03	0,00	12 282,04	694
A0 4-2	5	0,1	8 239,80	2,03	1,03	7615,60	0,03	0,00	12 282,04	624
A0 1-1	5	10	17 016,80	2,03	3,03	16586,71	0,01	0,00	12 282,04	430
A0 1-1	5	3	14 487,10	2,03	2,51	14408,36	0,00	0,00	12 282,04	79
A0 1-1	5	1	12 278,90	2,03	2,03	12252,52	0,00	0,00	12 282,04	26
A0 1-1	5	0,3	9 934,80	2,03	1,51	9804,65	0,01	0,00	12 282,04	130
A0 1-1	5	0,1	7 843,70	2,03	1,03	7615,60	0,01	0,00	12 282,04	228
A0 2-4	5	10	16 309,20	2,03	3,03	16586,71	-0,01	0,00	12 282,04	278
A0 2-4	5	3	14 084,30	2,03	2,51	14408,36	-0,01	0,00	12 282,04	324
A0 2-4	5	1	11 874,80	2,03	2,03	12252,52	-0,01	0,00	12 282,04	378
A0 2-4	5	0,3	9 511,40	2,03	1,51	9804,65	-0,01	0,00	12 282,04	293
A0 2-4	5	0,1	7 468,50	2,03	1,03	7615,60	-0,01	0,00	12 282,04	147
A0 1-3	5	10	15 638,50	2,03	3,03	16586,71	-0,03	0,00	12 282,04	948
A0 1-3	5	3	13 716,50	2,03	2,51	14408,36	-0,02	0,00	12 282,04	692
A0 1-3	5	1	11 589,40	2,03	2,03	12252,52	-0,02	0,00	12 282,04	663
A0 1-3	5	0,3	9 070,80	2,03	1,51	9804,65	-0,03	0,00	12 282,04	734
A0 1-3	5	0,1	7 051,90	2,03	1,03	7615,60	-0,03	0,00	12 282,04	564
A0 4-2	20	10	7 431,80	0,00	1,00	7462,33	0,00	0,00	12 282,04	31
A0 4-2	20	3	5 274,70	0,00	0,48	5293,18	0,00	0,00	12 282,04	18
A0 4-2	20	1	3 624,00	0,00	0,00	3646,29	0,00	0,00	12 282,04	22
A0 4-2	20	0,3	2 298,20	0,00	-0,52	2298,65	0,00	0,00	12 282,04	0
A0 4-2	20	0,1	1 458,30	0,00	-1,00	1492,42	-0,01	0,00	12 282,04	34
A0 1-1	20	10	7 950,40	0,00	1,00	7462,33	0,03	0,00	12 282,04	488
A0 1-1	20	3	6 256,30	0,00	0,48	5293,18	0,07	0,01	12 282,04	963
A0 1-1	20	1	3 923,00	0,00	0,00	3646,29	0,03	0,00	12 282,04	277
A0 1-1	20	0,3	2 509,20	0,00	-0,52	2298,65	0,04	0,00	12 282,04	211
A0 1-1	20	0,1	1 610,20	0,00	-1,00	1492,42	0,03	0,00	12 282,04	118
A0 2-4	20	10	7 276,10	0,00	1,00	7462,33	-0,01	0,00	12 282,04	186
A0 2-4	20	3	5 205,60	0,00	0,48	5293,18	-0,01	0,00	12 282,04	88
A0 2-4	20	1	3 648,70	0,00	0,00	3646,29	0,00	0,00	12 282,04	2
A0 2-4	20	0,3	2 320,50	0,00	-0,52	2298,65	0,00	0,00	12 282,04	22
A0 2-4	20	0,1	1 548,30	0,00	-1,00	1492,42	0,02	0,00	12 282,04	56
A0 1-3	20	10	6 980,60	0,00	1,00	7462,33	-0,03	0,00	12 282,04	482
A0 1-3	20	3	4 831,90	0,00	0,48	5293,18	-0,04	0,00	12 282,04	461
A0 1-3	20	1	3 307,50	0,00	0,00	3646,29	-0,04	0,00	12 282,04	339
A0 1-3	20	0,3	2 095,30	0,00	-0,52	2298,65	-0,04	0,00	12 282,04	203
A0 1-3	20	0,1	1 364,70	0,00	-1,00	1492,42	-0,04	0,00	12 282,04	128

CAM-modellen med en Arrhenius-funksjon



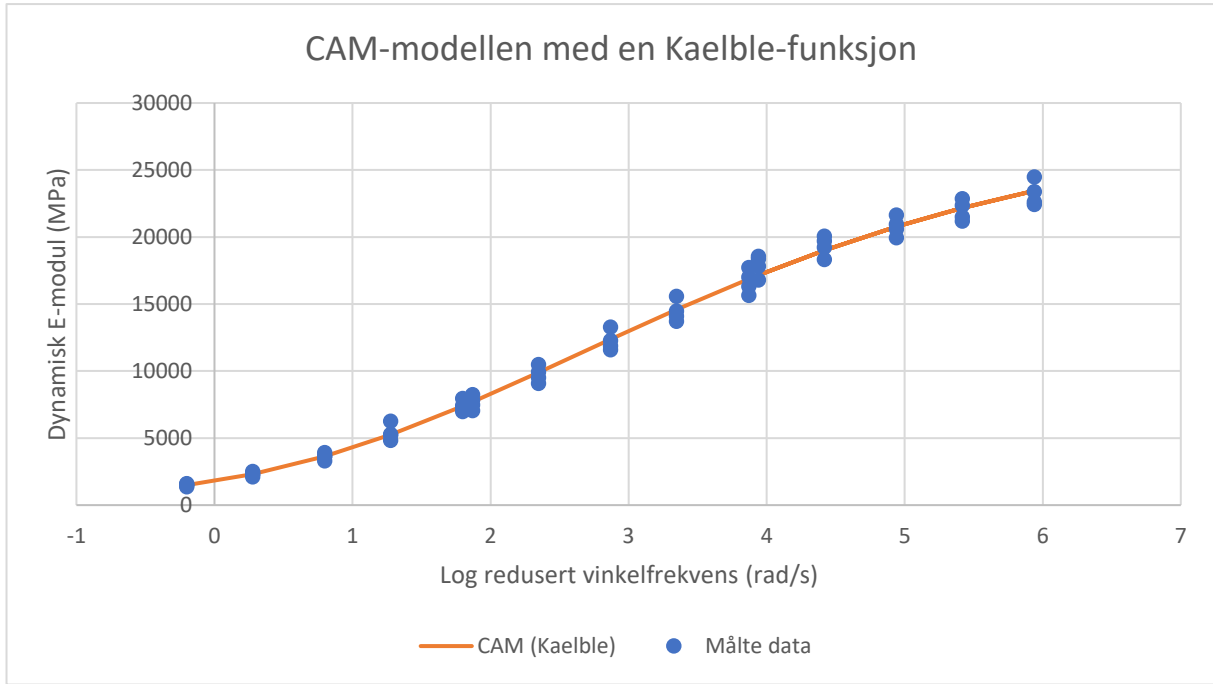
PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skiftfaktor αT $\log(\alpha T) = (C^*(1/T_i - 1/T_s))$	Crossover frekvens ωT $\log(\omega T) = \alpha T + \log(f^* 2^* \pi)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa]			Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
						$E^* = E_{\min} + (E_{\max} - E_{\min}) / (1 + (\omega CE / 10^6 \log(\omega T))^2)^{1/2}$	(w/v)	(w/v)				
AO 4-2	-10	10	24 494,40	4,31	6,11	23138,66	0,02	0,00	12 282,04	1356		
AO 4-2	-10	3	22 851,10	4,31	5,59	22067,41	0,02	0,00	12 282,04	784		
AO 4-2	-10	1	21 632,20	4,31	5,11	20882,11	0,02	0,00	12 282,04	750		
AO 4-2	-10	0,3	20 076,40	4,31	4,59	19331,19	0,02	0,00	12 282,04	745		
AO 4-2	-10	0,1	18 552,00	4,31	4,11	17675,24	0,02	0,00	12 282,04	877		
AO 1-1	-10	10	23 389,70	4,31	6,11	23138,66	0,00	0,00	12 282,04	251		
AO 1-1	-10	3	22 364,10	4,31	5,59	22067,41	0,01	0,00	12 282,04	297		
AO 1-1	-10	1	20 956,50	4,31	5,11	20882,11	0,00	0,00	12 282,04	74		
AO 1-1	-10	0,3	19 703,30	4,31	4,59	19331,19	0,01	0,00	12 282,04	372		
AO 1-1	-10	0,1	18 375,80	4,31	4,11	17675,24	0,02	0,00	12 282,04	701		
AO 2-4	-10	10	22 425,10	4,31	6,11	23138,66	-0,01	0,00	12 282,04	714		
AO 2-4	-10	3	21 505,10	4,31	5,59	22067,41	-0,01	0,00	12 282,04	562		
AO 2-4	-10	1	20 585,30	4,31	5,11	20882,11	-0,01	0,00	12 282,04	297		
AO 2-4	-10	0,3	19 231,30	4,31	4,59	19331,19	0,00	0,00	12 282,04	100		
AO 2-4	-10	0,1	17 818,30	4,31	4,11	17675,24	0,00	0,00	12 282,04	143		
AO 1-3	-10	10	22 611,60	4,31	6,11	23138,66	-0,01	0,00	12 282,04	527		
AO 1-3	-10	3	21 192,70	4,31	5,59	22067,41	-0,02	0,00	12 282,04	875		
AO 1-3	-10	1	19 937,60	4,31	5,11	20882,11	-0,02	0,00	12 282,04	945		
AO 1-3	-10	0,3	18 314,80	4,31	4,59	19331,19	-0,02	0,00	12 282,04	1016		
AO 1-3	-10	0,1	16 784,30	4,31	4,11	17675,24	-0,02	0,00	12 282,04	891		
AO 4-2	5	10	17 733,50	2,04	3,84	16632,28	0,03	0,00	12 282,04	1101		
AO 4-2	5	3	15 583,60	2,04	3,31	14437,35	0,03	0,00	12 282,04	1146		
AO 4-2	5	1	13 273,00	2,04	2,84	12269,35	0,03	0,00	12 282,04	1004		
AO 4-2	5	0,3	10 498,70	2,04	2,31	9813,38	0,03	0,00	12 282,04	685		
AO 4-2	5	0,1	8 239,80	2,04	1,84	7622,41	0,03	0,00	12 282,04	617		
AO 1-1	5	10	17 016,80	2,04	3,84	16632,28	0,01	0,00	12 282,04	385		
AO 1-1	5	3	14 487,10	2,04	3,31	14437,35	0,00	0,00	12 282,04	50		
AO 1-1	5	1	12 278,90	2,04	2,84	12269,35	0,00	0,00	12 282,04	10		
AO 1-1	5	0,3	9 934,80	2,04	2,31	9813,38	0,01	0,00	12 282,04	121		
AO 1-1	5	0,1	7 843,70	2,04	1,84	7622,41	0,01	0,00	12 282,04	221		
AO 2-4	5	10	16 309,20	2,04	3,84	16632,28	-0,01	0,00	12 282,04	323		
AO 2-4	5	3	14 084,30	2,04	3,31	14437,35	-0,01	0,00	12 282,04	353		
AO 2-4	5	1	11 874,80	2,04	2,84	12269,35	-0,01	0,00	12 282,04	395		
AO 2-4	5	0,3	9 511,40	2,04	2,31	9813,38	-0,01	0,00	12 282,04	302		
AO 2-4	5	0,1	7 468,50	2,04	1,84	7622,41	-0,01	0,00	12 282,04	154		
AO 1-3	5	10	15 638,50	2,04	3,84	16632,28	-0,03	0,00	12 282,04	994		
AO 1-3	5	3	13 716,50	2,04	3,31	14437,35	-0,02	0,00	12 282,04	721		
AO 1-3	5	1	11 589,40	2,04	2,84	12269,35	-0,02	0,00	12 282,04	680		
AO 1-3	5	0,3	9 070,80	2,04	2,31	9813,38	-0,03	0,00	12 282,04	743		
AO 1-3	5	0,1	7 051,90	2,04	1,84	7622,41	-0,03	0,00	12 282,04	571		
AO 4-2	20	10	7 431,80	0,00	1,80	7449,68	0,00	0,00	12 282,04	18		
AO 4-2	20	3	5 274,70	0,00	1,28	5285,92	0,00	0,00	12 282,04	11		
AO 4-2	20	1	3 624,00	0,00	0,80	3645,51	0,00	0,00	12 282,04	22		
AO 4-2	20	0,3	2 298,20	0,00	0,28	2301,32	0,00	0,00	12 282,04	3		
AO 4-2	20	0,1	1 458,30	0,00	-0,20	1491,85	-0,01	0,00	12 282,04	34		
AO 1-1	20	10	7 950,40	0,00	1,80	7449,68	0,03	0,00	12 282,04	501		
AO 1-1	20	3	6 256,30	0,00	1,28	5285,92	0,07	0,01	12 282,04	970		
AO 1-1	20	1	3 923,00	0,00	0,80	3645,51	0,03	0,00	12 282,04	277		
AO 1-1	20	0,3	2 509,20	0,00	0,28	2301,32	0,04	0,00	12 282,04	208		
AO 1-1	20	0,1	1 610,20	0,00	-0,20	1491,85	0,03	0,00	12 282,04	118		
AO 2-4	20	10	7 276,10	0,00	1,80	7449,68	-0,01	0,00	12 282,04	174		
AO 2-4	20	3	5 205,60	0,00	1,28	5285,92	-0,01	0,00	12 282,04	80		
AO 2-4	20	1	3 648,70	0,00	0,80	3645,51	0,00	0,00	12 282,04	3		
AO 2-4	20	0,3	2 320,50	0,00	0,28	2301,32	0,00	0,00	12 282,04	19		
AO 2-4	20	0,1	1 548,30	0,00	-0,20	1491,85	-0,02	0,00	12 282,04	56		
AO 1-3	20	10	6 980,60	0,00	1,80	7449,68	-0,03	0,00	12 282,04	469		
AO 1-3	20	3	4 831,90	0,00	1,28	5285,92	-0,04	0,00	12 282,04	454		
AO 1-3	20	1	3 307,50	0,00	0,80	3645,51	-0,04	0,00	12 282,04	338		
AO 1-3	20	0,3	2 095,30	0,00	0,28	2301,32	-0,04	0,00	12 282,04	206		
AO 1-3	20	0,1	1 364,70	0,00	-0,20	1491,85	-0,04	0,00	12 282,04	127		

CAM-modellen med en WLF-funksjon



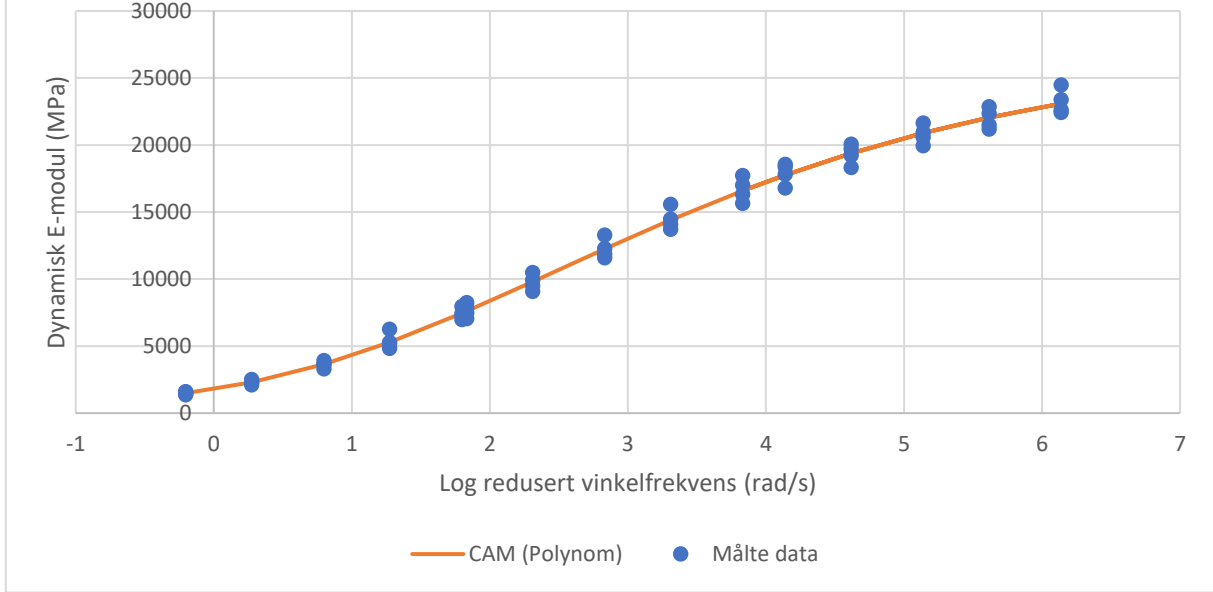
PK	T	f	Målte verdier for dynamisk E-modul	Skiffaktor αT	Crossover frekvens ωT	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Residual	Residual ²	Snittverdi av målte verdier	Absolutt avvik
[-]	[°C]	[Hz]	[MPa]	$\log(\alpha T) = (-C1 \cdot (T_i - TR) / (C2 + T_i - TR))$	$\log(\omega T) = \alpha T + \log(f \cdot 2 \cdot \pi)$	$ E^* = E_{\min} + (E_{\max} - E_{\min}) / (1 + (\omega CE / 10 \cdot \log(\omega T))^2)^{0.5}$			[MPa]	[MPa]
A0 4-2	-10	10	24 494,40	4,34	6,14	23084,38	0,03	0,00	12 282,04	1410
A0 4-2	-10	3	22 851,10	4,34	5,62	22048,20	0,02	0,00	12 282,04	803
A0 4-2	-10	1	21 632,20	4,34	5,14	20897,17	0,02	0,00	12 282,04	735
A0 4-2	-10	0,3	20 076,40	4,34	4,62	19384,78	0,02	0,00	12 282,04	692
A0 4-2	-10	0,1	18 552,00	4,34	4,14	17762,77	0,02	0,00	12 282,04	789
A0 1-1	-10	10	23 389,70	4,34	6,14	23084,38	0,01	0,00	12 282,04	305
A0 1-1	-10	3	22 364,10	4,34	5,62	22048,20	0,01	0,00	12 282,04	316
A0 1-1	-10	1	20 956,50	4,34	5,14	20897,17	0,00	0,00	12 282,04	59
A0 1-1	-10	0,3	19 703,30	4,34	4,62	19384,78	0,01	0,00	12 282,04	319
A0 1-1	-10	0,1	18 375,80	4,34	4,14	17762,77	0,01	0,00	12 282,04	613
A0 2-4	-10	10	22 425,10	4,34	6,14	23084,38	-0,01	0,00	12 282,04	659
A0 2-4	-10	3	21 505,10	4,34	5,62	22048,20	-0,01	0,00	12 282,04	543
A0 2-4	-10	1	20 585,30	4,34	5,14	20897,17	-0,01	0,00	12 282,04	312
A0 2-4	-10	0,3	19 231,30	4,34	4,62	19384,78	0,00	0,00	12 282,04	153
A0 2-4	-10	0,1	17 818,30	4,34	4,14	17762,77	0,00	0,00	12 282,04	56
A0 1-3	-10	10	22 611,60	4,34	6,14	23084,38	-0,01	0,00	12 282,04	473
A0 1-3	-10	3	21 192,70	4,34	5,62	22048,20	-0,02	0,00	12 282,04	855
A0 1-3	-10	1	19 937,60	4,34	5,14	20897,17	-0,02	0,00	12 282,04	960
A0 1-3	-10	0,3	18 314,80	4,34	4,62	19384,78	-0,02	0,00	12 282,04	1070
A0 1-3	-10	0,1	16 784,30	4,34	4,14	17762,77	-0,02	0,00	12 282,04	978
A0 4-2	5	10	17 733,50	2,03	3,83	16596,61	0,03	0,00	12 282,04	1137
A0 4-2	5	3	15 583,60	2,03	3,31	14414,57	0,03	0,00	12 282,04	1169
A0 4-2	5	1	13 273,00	2,03	2,83	12254,30	0,03	0,00	12 282,04	1019
A0 4-2	5	0,3	10 498,70	2,03	2,31	9802,44	0,03	0,00	12 282,04	696
A0 4-2	5	0,1	8 239,80	2,03	1,83	7612,21	0,03	0,00	12 282,04	628
A0 1-1	5	10	17 016,80	2,03	3,83	16596,61	0,01	0,00	12 282,04	420
A0 1-1	5	3	14 487,10	2,03	3,31	14414,57	0,00	0,00	12 282,04	73
A0 1-1	5	1	12 278,90	2,03	2,83	12254,30	0,00	0,00	12 282,04	25
A0 1-1	5	0,3	9 934,80	2,03	2,31	9802,44	0,01	0,00	12 282,04	132
A0 1-1	5	0,1	7 843,70	2,03	1,83	7612,21	0,01	0,00	12 282,04	231
A0 2-4	5	10	16 309,20	2,03	3,83	16596,61	-0,01	0,00	12 282,04	287
A0 2-4	5	3	14 084,30	2,03	3,31	14414,57	-0,01	0,00	12 282,04	330
A0 2-4	5	1	11 874,80	2,03	2,83	12254,30	-0,01	0,00	12 282,04	380
A0 2-4	5	0,3	9 511,40	2,03	2,31	9802,44	-0,01	0,00	12 282,04	291
A0 2-4	5	0,1	7 468,50	2,03	1,83	7612,21	-0,01	0,00	12 282,04	144
A0 1-3	5	10	15 638,50	2,03	3,83	16596,61	-0,03	0,00	12 282,04	958
A0 1-3	5	3	13 716,50	2,03	3,31	14414,57	-0,02	0,00	12 282,04	698
A0 1-3	5	1	11 589,40	2,03	2,83	12254,30	-0,02	0,00	12 282,04	665
A0 1-3	5	0,3	9 070,80	2,03	2,31	9802,44	-0,03	0,00	12 282,04	732
A0 1-3	5	0,1	7 051,90	2,03	1,83	7612,21	-0,03	0,00	12 282,04	560
A0 4-2	20	10	7 431,80	0,00	1,80	7457,48	0,00	0,00	12 282,04	26
A0 4-2	20	3	5 274,70	0,00	1,28	5290,68	0,00	0,00	12 282,04	16
A0 4-2	20	1	3 624,00	0,00	0,80	3647,27	0,00	0,00	12 282,04	23
A0 4-2	20	0,3	2 298,20	0,00	0,28	2301,20	0,00	0,00	12 282,04	3
A0 4-2	20	0,1	1 458,30	0,00	-0,20	1491,61	-0,01	0,00	12 282,04	33
A0 1-1	20	10	7 950,40	0,00	1,80	7457,48	0,03	0,00	12 282,04	493
A0 1-1	20	3	6 256,30	0,00	1,28	5290,68	0,07	0,01	12 282,04	966
A0 1-1	20	1	3 923,00	0,00	0,80	3647,27	0,03	0,00	12 282,04	276
A0 1-1	20	0,3	2 509,20	0,00	0,28	2301,20	0,04	0,00	12 282,04	208
A0 1-1	20	0,1	1 610,20	0,00	-0,20	1491,61	0,03	0,00	12 282,04	119
A0 2-4	20	10	7 276,10	0,00	1,80	7457,48	-0,01	0,00	12 282,04	181
A0 2-4	20	3	5 205,60	0,00	1,28	5290,68	-0,01	0,00	12 282,04	85
A0 2-4	20	1	3 648,70	0,00	0,80	3647,27	0,00	0,00	12 282,04	1
A0 2-4	20	0,3	2 320,50	0,00	0,28	2301,20	0,00	0,00	12 282,04	19
A0 2-4	20	0,1	1 548,30	0,00	-0,20	1491,61	0,02	0,00	12 282,04	57
A0 1-3	20	10	6 980,60	0,00	1,80	7457,48	-0,03	0,00	12 282,04	477
A0 1-3	20	3	4 831,90	0,00	1,28	5290,68	-0,04	0,00	12 282,04	459
A0 1-3	20	1	3 307,50	0,00	0,80	3647,27	-0,04	0,00	12 282,04	340
A0 1-3	20	0,3	2 095,30	0,00	0,28	2301,20	-0,04	0,00	12 282,04	206
A0 1-3	20	0,1	1 364,70	0,00	-0,20	1491,61	-0,04	0,00	12 282,04	127

CAM-modellen med en Kaelble-funksjon



PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skjifaktor αT $\log(\alpha T) = (-C1*(T_i - TR)/(C2+ T_i-TR))$	Crossover frekvens $\omega \alpha T$ $\log(\omega \alpha T) = \alpha T + \log(f^* 2^* \rho)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $ E^* = E_{min} + (E_{maks} - E_{min}) / (1 + (\omega CE / 10^* \log(\omega \alpha T))^n (v))^{w/v}$	Residual	Residual^2	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
AO 4-2	-10	10	24 494,40	4,14	5,94	23448,32	0,02	0,00	12 282,04	1046
AO 4-2	-10	3	22 851,10	4,14	5,42	22164,81	0,01	0,00	12 282,04	686
AO 4-2	-10	1	21 632,20	4,14	4,94	20775,10	0,02	0,00	12 282,04	857
AO 4-2	-10	0,3	20 076,40	4,14	4,42	18999,11	0,02	0,00	12 282,04	1077
AO 4-2	-10	0,1	18 552,00	4,14	3,94	17150,37	0,03	0,00	12 282,04	1402
AO 1-1	-10	10	23 389,70	4,14	5,94	23448,32	0,00	0,00	12 282,04	59
AO 1-1	-10	3	22 364,10	4,14	5,42	22164,81	0,00	0,00	12 282,04	199
AO 1-1	-10	1	20 956,50	4,14	4,94	20775,10	0,00	0,00	12 282,04	181
AO 1-1	-10	0,3	19 703,30	4,14	4,42	18999,11	0,02	0,00	12 282,04	704
AO 1-1	-10	0,1	18 375,80	4,14	3,94	17150,37	0,03	0,00	12 282,04	1225
AO 2-4	-10	10	22 425,10	4,14	5,94	23448,32	-0,02	0,00	12 282,04	1023
AO 2-4	-10	3	21 505,10	4,14	5,42	22164,81	-0,01	0,00	12 282,04	660
AO 2-4	-10	1	20 585,30	4,14	4,94	20775,10	0,00	0,00	12 282,04	190
AO 2-4	-10	0,3	19 231,30	4,14	4,42	18999,11	0,01	0,00	12 282,04	232
AO 2-4	-10	0,1	17 818,30	4,14	3,94	17150,37	0,02	0,00	12 282,04	668
AO 1-3	-10	10	22 611,60	4,14	5,94	23448,32	-0,02	0,00	12 282,04	837
AO 1-3	-10	3	21 192,70	4,14	5,42	22164,81	-0,02	0,00	12 282,04	972
AO 1-3	-10	1	19 937,60	4,14	4,94	20775,10	-0,02	0,00	12 282,04	837
AO 1-3	-10	0,3	18 314,80	4,14	4,42	18999,11	-0,02	0,00	12 282,04	684
AO 1-3	-10	0,1	16 784,30	4,14	3,94	17150,37	-0,01	0,00	12 282,04	366
AO 4-2	5	10	17 733,50	2,07	3,87	16861,36	0,02	0,00	12 282,04	872
AO 4-2	5	3	15 583,60	2,07	3,35	14585,81	0,03	0,00	12 282,04	998
AO 4-2	5	1	13 273,00	2,07	2,87	12370,02	0,03	0,00	12 282,04	903
AO 4-2	5	0,3	10 498,70	2,07	2,35	9890,58	0,03	0,00	12 282,04	608
AO 4-2	5	0,1	8 239,80	2,07	1,87	7698,93	0,03	0,00	12 282,04	541
AO 1-1	5	10	17 016,80	2,07	3,87	16861,36	0,00	0,00	12 282,04	155
AO 1-1	5	3	14 487,10	2,07	3,35	14585,81	0,00	0,00	12 282,04	99
AO 1-1	5	1	12 278,90	2,07	2,87	12370,02	0,00	0,00	12 282,04	91
AO 1-1	5	0,3	9 934,80	2,07	2,35	9890,58	0,00	0,00	12 282,04	44
AO 1-1	5	0,1	7 843,70	2,07	1,87	7698,93	0,01	0,00	12 282,04	145
AO 2-4	5	10	16 309,20	2,07	3,87	16861,36	-0,01	0,00	12 282,04	552
AO 2-4	5	3	14 084,30	2,07	3,35	14585,81	-0,02	0,00	12 282,04	502
AO 2-4	5	1	11 874,80	2,07	2,87	12370,02	-0,02	0,00	12 282,04	495
AO 2-4	5	0,3	9 511,40	2,07	2,35	9890,58	-0,02	0,00	12 282,04	379
AO 2-4	5	0,1	7 468,50	2,07	1,87	7698,93	-0,01	0,00	12 282,04	230
AO 1-3	5	10	15 638,50	2,07	3,87	16861,36	-0,03	0,00	12 282,04	1223
AO 1-3	5	3	13 716,50	2,07	3,35	14585,81	-0,03	0,00	12 282,04	869
AO 1-3	5	1	11 589,40	2,07	2,87	12370,02	-0,03	0,00	12 282,04	781
AO 1-3	5	0,3	9 070,80	2,07	2,35	9890,58	-0,04	0,00	12 282,04	820
AO 1-3	5	0,1	7 051,90	2,07	1,87	7698,93	-0,04	0,00	12 282,04	647
AO 4-2	20	10	7 431,80	0,00	1,80	7386,93	0,00	0,00	12 282,04	45
AO 4-2	20	3	5 274,70	0,00	1,28	5251,78	0,00	0,00	12 282,04	23
AO 4-2	20	1	3 624,00	0,00	0,80	3637,46	0,00	0,00	12 282,04	13
AO 4-2	20	0,3	2 298,20	0,00	0,28	2306,86	0,00	0,00	12 282,04	9
AO 4-2	20	0,1	1 458,30	0,00	-0,20	1491,53	-0,01	0,00	12 282,04	33
AO 1-1	20	10	7 950,40	0,00	1,80	7386,93	0,03	0,00	12 282,04	563
AO 1-1	20	3	6 256,30	0,00	1,28	5251,78	0,08	0,01	12 282,04	1005
AO 1-1	20	1	3 923,00	0,00	0,80	3637,46	0,03	0,00	12 282,04	286
AO 1-1	20	0,3	2 509,20	0,00	0,28	2306,86	0,04	0,00	12 282,04	202
AO 1-1	20	0,1	1 610,20	0,00	-0,20	1491,53	0,03	0,00	12 282,04	119
AO 2-4	20	10	7 276,10	0,00	1,80	7386,93	-0,01	0,00	12 282,04	111
AO 2-4	20	3	5 205,60	0,00	1,28	5251,78	0,00	0,00	12 282,04	46
AO 2-4	20	1	3 648,70	0,00	0,80	3637,46	0,00	0,00	12 282,04	11
AO 2-4	20	0,3	2 320,50	0,00	0,28	2306,86	0,00	0,00	12 282,04	14
AO 2-4	20	0,1	1 548,30	0,00	-0,20	1491,53	0,02	0,00	12 282,04	57
AO 1-3	20	10	6 980,60	0,00	1,80	7386,93	-0,02	0,00	12 282,04	406
AO 1-3	20	3	4 831,90	0,00	1,28	5251,78	-0,04	0,00	12 282,04	420
AO 1-3	20	1	3 307,50	0,00	0,80	3637,46	-0,04	0,00	12 282,04	330
AO 1-3	20	0,3	2 095,30	0,00	0,28	2306,86	-0,04	0,00	12 282,04	212
AO 1-3	20	0,1	1 364,70	0,00	-0,20	1491,53	-0,04	0,00	12 282,04	127

CAM-modellen med en polynomfunksjon



PK [-]	T [°C]	f [Hz]	Målte verdier for dynamisk E-modul [MPa]	Skjuffaktor αT $\log(\alpha T) = C2 \cdot (T_i - T_r) + C3 \cdot (T_i - T_r)^2$	Crossover frekvens $\omega \alpha T$ $\log(\omega \alpha T) = \alpha T + \log(f \cdot 2 \cdot \pi)$	Estimerte verdier for dynamisk E-modul [MPa] $ E^* = E_{\min} + (E_{\max} - E_{\min}) / (1 + (\omega CE / 10 \cdot \log(\omega \alpha T))^2)^{1/2}$	Residual	Residual ²	Snittverdi av målte verdier [MPa]	Absolutt avvik [MPa]
AD 4-2	-10	10	24 494,40	4,34	6,14	23088,90	0,03	0,00	12 282,04	1405
AD 4-2	-10	3	22 851,10	4,34	5,62	22049,84	0,02	0,00	12 282,04	801
AD 4-2	-10	1	21 632,20	4,34	5,14	20896,64	0,02	0,00	12 282,04	736
AD 4-2	-10	0,3	20 076,40	4,34	4,62	19382,57	0,02	0,00	12 282,04	694
AD 4-2	-10	0,1	18 552,00	4,34	4,14	17759,84	0,02	0,00	12 282,04	792
AD 1-1	-10	10	23 389,70	4,34	6,14	23088,90	0,01	0,00	12 282,04	301
AD 1-1	-10	3	22 364,10	4,34	5,62	22049,84	0,01	0,00	12 282,04	314
AD 1-1	-10	1	20 956,50	4,34	5,14	20896,64	0,00	0,00	12 282,04	60
AD 1-1	-10	0,3	19 703,30	4,34	4,62	19382,57	0,01	0,00	12 282,04	321
AD 1-1	-10	0,1	18 375,80	4,34	4,14	17759,84	0,01	0,00	12 282,04	616
AD 2-4	-10	10	22 425,10	4,34	6,14	23088,90	-0,01	0,00	12 282,04	664
AD 2-4	-10	3	21 505,10	4,34	5,62	22049,84	-0,01	0,00	12 282,04	545
AD 2-4	-10	1	20 585,30	4,34	5,14	20896,64	-0,01	0,00	12 282,04	311
AD 2-4	-10	0,3	19 231,30	4,34	4,62	19382,57	0,00	0,00	12 282,04	151
AD 2-4	-10	0,1	17 818,30	4,34	4,14	17759,84	0,00	0,00	12 282,04	58
AD 1-3	-10	10	22 611,60	4,34	6,14	23088,90	-0,01	0,00	12 282,04	477
AD 1-3	-10	3	21 192,70	4,34	5,62	22049,84	-0,02	0,00	12 282,04	857
AD 1-3	-10	1	19 937,60	4,34	5,14	20896,64	-0,02	0,00	12 282,04	959
AD 1-3	-10	0,3	18 314,80	4,34	4,62	19382,57	-0,02	0,00	12 282,04	1068
AD 1-3	-10	0,1	16 784,30	4,34	4,14	17759,84	-0,02	0,00	12 282,04	976
AD 4-2	5	10	17 733,50	2,03	3,83	16594,65	0,03	0,00	12 282,04	1139
AD 4-2	5	3	15 583,60	2,03	3,31	14413,31	0,03	0,00	12 282,04	1170
AD 4-2	5	1	13 273,00	2,03	2,83	12254,09	0,03	0,00	12 282,04	1019
AD 4-2	5	0,3	10 498,70	2,03	2,31	9803,25	0,03	0,00	12 282,04	695
AD 4-2	5	0,1	8 239,80	2,03	1,83	7613,33	0,03	0,00	12 282,04	626
AD 1-1	5	10	17 016,80	2,03	3,83	16594,65	0,01	0,00	12 282,04	422
AD 1-1	5	3	14 487,10	2,03	3,31	14413,31	0,00	0,00	12 282,04	74
AD 1-1	5	1	12 278,90	2,03	2,83	12254,09	0,00	0,00	12 282,04	25
AD 1-1	5	0,3	9 934,80	2,03	2,31	9803,25	0,01	0,00	12 282,04	132
AD 1-1	5	0,1	7 843,70	2,03	1,83	7613,33	0,01	0,00	12 282,04	230
AD 2-4	5	10	16 309,20	2,03	3,83	16594,65	-0,01	0,00	12 282,04	285
AD 2-4	5	3	14 084,30	2,03	3,31	14413,31	-0,01	0,00	12 282,04	329
AD 2-4	5	1	11 874,80	2,03	2,83	12254,09	-0,01	0,00	12 282,04	379
AD 2-4	5	0,3	9 511,40	2,03	2,31	9803,25	-0,01	0,00	12 282,04	292
AD 2-4	5	0,1	7 468,50	2,03	1,83	7613,33	-0,01	0,00	12 282,04	145
AD 1-3	5	10	15 638,50	2,03	3,83	16594,65	-0,03	0,00	12 282,04	956
AD 1-3	5	3	13 716,50	2,03	3,31	14413,31	-0,02	0,00	12 282,04	697
AD 1-3	5	1	11 589,40	2,03	2,83	12254,09	-0,02	0,00	12 282,04	665
AD 1-3	5	0,3	9 070,80	2,03	2,31	9803,25	-0,03	0,00	12 282,04	732
AD 1-3	5	0,1	7 051,90	2,03	1,83	7613,33	-0,03	0,00	12 282,04	561
AD 4-2	20	10	7 431,80	0,00	1,80	7458,74	0,00	0,00	12 282,04	27
AD 4-2	20	3	5 274,70	0,00	1,28	5291,33	0,00	0,00	12 282,04	17
AD 4-2	20	1	3 624,00	0,00	0,80	3646,99	0,00	0,00	12 282,04	23
AD 4-2	20	0,3	2 298,20	0,00	0,28	2300,50	0,00	0,00	12 282,04	2
AD 4-2	20	0,1	1 458,30	0,00	-0,20	1491,80	-0,01	0,00	12 282,04	34
AD 1-1	20	10	7 950,40	0,00	1,80	7458,74	0,03	0,00	12 282,04	492
AD 1-1	20	3	6 256,30	0,00	1,28	5291,33	0,07	0,01	12 282,04	965
AD 1-1	20	1	3 923,00	0,00	0,80	3646,99	0,03	0,00	12 282,04	276
AD 1-1	20	0,3	2 509,20	0,00	0,28	2300,50	0,04	0,00	12 282,04	209
AD 1-1	20	0,1	1 610,20	0,00	-0,20	1491,80	0,03	0,00	12 282,04	118
AD 2-4	20	10	7 276,10	0,00	1,80	7458,74	-0,01	0,00	12 282,04	183
AD 2-4	20	3	5 205,60	0,00	1,28	5291,33	-0,01	0,00	12 282,04	86
AD 2-4	20	1	3 648,70	0,00	0,80	3646,99	0,00	0,00	12 282,04	2
AD 2-4	20	0,3	2 320,50	0,00	0,28	2300,50	0,00	0,00	12 282,04	20
AD 2-4	20	0,1	1 548,30	0,00	-0,20	1491,80	0,02	0,00	12 282,04	56
AD 1-3	20	10	6 980,60	0,00	1,80	7458,74	-0,03	0,00	12 282,04	478
AD 1-3	20	3	4 831,90	0,00	1,28	5291,33	-0,04	0,00	12 282,04	459
AD 1-3	20	1	3 307,50	0,00	0,80	3646,99	-0,04	0,00	12 282,04	339
AD 1-3	20	0,3	2 095,30	0,00	0,28	2300,50	-0,04	0,00	12 282,04	205
AD 1-3	20	0,1	1 364,70	0,00	-0,20	1491,80	-0,04	0,00	12 282,04	127

Vedlegg 9:

Følgerev om COVID-19 fra NTNU

To Whom it Might Concern

Master thesis spring 2020 - consequences of the Covid 19 pandemic

The pandemic situation in spring 2020 made it necessary to change or adjust the topic for master theses at NTNU. The university closed including laboratories and did not allow any type of field work, thus made it impossible to continue planned work for many students.

Sincerely yours



Inge Hoff
Professor



This letter was sent to all students with specialisation in Transport, Road or Railways in the Civil and Environmental study program to be included as an attachment in their thesis.

Address	Org. no. 974 767 880	Location	Phone	Executive officer
7491 Trondheim Norway	postmottak@iv.ntnu.no www.ntnu.no/ibm	Høgskoleringen 7 A	+47 73594640	Inge Hoff inge.hoff@ntnu Phone: 934 26 463

Please address all correspondence to the organizational unit and include your reference.

