



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Konstruksjoner og materialer – Byggkonstruksjoner	Vårsemesteret, 2019 Åpen / Konfidensiell
Forfatter: Birk Brede Bjørklund Vebjørn Nagell Fjelde	 (signatur forfatter)  (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Kjell Tore Fosså	
Veileder(e):	
Tittel på masteroppgaven: Betongens reologiske egenskaper	
Engelsk tittel: The rheological properties of concrete	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Betong Reologi Laboratorieprogram Rheometer	Sidetall: 87 + vedlegg/annet: 220 Stavanger, 15.06.2018

Forord

Vi ønsker å takke Kjell Tore Fosså for veiledende samtaler før valg av emne, og innspill underveis i prosessen. En stor takk fortjener også Samdar Kakay som alltid er tilgjengelig i laben, behjelpelig med det som trengs, et lurt smil om munnen og prøver alltid å bringe godt humør. Det er "tanken" som teller. Samdar har også sørget for å gi oss nødvendig og relevant litteratur om tidligere erfaringer og eksperimenter. Vi er takknemlige for det.

Testene ble utført ved betong laboratoriet til Universitetet i Stavanger i Ivar Langens Hus.

Vi takker for muligheten til å gjøre de eksperimentelle testene med utgifter dekket av det Teknisk Naturvitenskapelige fakultetet ved UiS. Vi håper at vår oppgave og erfaringer kan være til nytte for fremtidige studenter og veiledere ved laben, da utstyret er nytt og ukjent.

Stavanger 15.06.2019

Vebjørn N. Fjelde og Birk B. Bjørklund

Sammendrag

Gjennom denne detaljerte labrapporten hadde vi flere oppgaver. Først og fremst måtte vi gjøre oss kjent med utstyret da det var helt nytt og ingen hadde brukt det før. Vi leste litt tidligere litteratur på lignende prosjekter og brukermanualer til utstyret. Vi foretok to prøvetester for å se hvordan alt fungerte og optimalisere metoden til de reelle testene. Vi studerte betongens reologiske egenskaper med 24 forskjellige resepter, hvorav alle hadde en sammenheng for at de skulle være mulig å sammenligne. Dermed hadde vi lagt opp til et system hvor vi "enkelt" kunne se hvordan ulike parametre påvirket egenskapene til den ferske betongen.

En gjennomgang av relevant teori kjent fra tidligere litteratur, forsøk, erfaringer blir beskrevet. Vi legger vekt på informasjon som er relevant for de reologiske egenskapene. Deretter en beskrivelse av metode brukt under laboratoriearbeid. Dette er både for å vise til hva vi har gjort, men også til hjelp for fremtidig bruk av utstyr, ettersom oppgaven vil være en slags veiledning, da vi er de første som tester det.

Sammen med veileder ble vi enige om en prøveplan. Vi valgte en referanse blanding som er mulig å sammenligne med alle de 21 andre reseptene, uten at man bytter mer enn 1 parameter. Valgte 1 % superplastiserende for alle reseptene. Dette var for å oppnå en synk på minst 75 mm ved 0 min. Dette oppnådde vi for alle utenom for 10% SF, 0.35 og 0.40 V/C med 300 matriksvolum.

Forskjeller, likheter, grad av påvirkning, usikkerhet og feilkilder blir alt diskutert nøye i resultatdelen. Der går vi gjennom steg for steg resultatene, både med tabell over verdier, men også gjennom referanser til vedlegg, hvor det er grafer til de relevante verdiene. Disse grafene er satt sammen slik at man ser på påvirkning av endringen til kun en parameter om gangen, for 0, 10 og 30 minutt. Altså man ser på effekten til silika når man holder matriksvolum og V/C-tall konstant. På samme måte holder vi silika og matriksvolum konstant når vi ser på V/C-tall, mens silika og V/C-tall er konstant når vi ønsker effekten av matriksvolumet isolert sett.

Vi kom frem til at rheometeret er best egnet til å fremstille en bingham modell når betongblandingen er ferskest mulig. Det er også viktig å erkjenne utstyrets begrensninger,

Betongens reologiske egenskaper

da verken for stiv eller løs betong er brukbart. Vi konkluderte med at et matriksvolum på 320, V/C-tall på 0.40 og silikainnhold på 6% var det mest kompatible for ICAR plus rheometeret. Sist men ikke minst har vi erfart at rheometeret er mer pålitelig enn synk tester da man neglisjerer muligheten for menneskelige tabber. Rheometeret gir oss en "mse" og en R^2 verdi. R^2 forteller hvor pålitelige de relative parametrene torsjonsmoment og proporsjonalitetskoeffisient er, imens "mse" avdekker sikkerheten til bingham parametrene flyte skjærspenning og plastisk viskositet. Det er likevell ingen grunn til å anbefale kun en av metodene, og det vil derfor kun være til fordel om man gjør begge to. Synk testen er basert på empirisk data i motsetning til rheometeret med eksakte målinger registrert på en PC.

Vi ønsker også å understreke viktigheten av en kvalitativ analyse. Det vil gi grunnlag for å kartlegge reproduserbarheten til en resept. Dette krever flere gjennomganger av samme blanding, for å produsere et gjennomsnitt som er representativt.

Innholdsfortegnelse

Forord	2
Sammendrag	4
Innholdsfortegnelse	6
Liste over figurer og tabeller	9
1 Introduksjon	11
1.1 Bakgrunn	11
1.2 Mål med oppgaven	12
2 Teori	13
2.1 Reologi og viskositet	13
2.2 Partikkel matriks modell	14
2.3 Sement	16
2.4 Tilslag	17
2.5 Pozzolaner	19
2.6 Tilsetningsstoffer	21
2.7 Effekten av silikastøv i fersk betong	22
2.8 Støpelighet	23
2.9 To-punkts konsistensmåling	29
3 Metode/Laboratoriearbeid	32
3.1 Blandeprosessen	32
3.2 synk Test	33
3.3 Luftinnhold	34
3.4 Rheometer brukerveiledning	35
3.4.1 Utførelse av tester	37
3.5 Eksportere ICAR Rheometer data	38
4 Prøveplan	47
4.1 Plan for testing	47

4.2 Referanse blanding	49
4.3 Betongresepter	50
4.4 Siktekurver	54
5 Resultater og drøfting	57
5.1 Luftinnhold, synk og utbredelse	58
5.1.1 - 300 matriksvolum	58
5.1.2 - 320 matriksvolum	60
5.1.3 - 320 matriksvolum, tilpasset SP	62
5.1.4 - 340 matriksvolum	63
5.2 Bingham og relative parametre	64
5.2.1 - 300 matriksvolum, 0 % SF	64
5.2.2 - 300 matriksvolum, 6 % SF	66
5.2.3 - 300 matriksvolum, 10 % SF	68
5.2.4 - 320 matriksvolum, 0 % SF	71
5.2.5 - 320 matriksvolum, 6 % SF	73
5.2.6 - 320 matriksvolum, 10 % SF	75
5.2.7 - 320 matriksvolum, 6 % SF, tilpasset SP	77
5.2.8 - 340 matriksvolum, 6 % SF	79
5.2.9 - Effekten av silikastøv på bingham parameterne	81
5.2.10 - Effekten av mengde sement på bingham parameterne	82
6 Konklusjon	83
7 Fremtidig arbeid	84
8 Kilder	85
9 Vedlegg	87
9.1 Bingham modell	89
9.1.1 - 300 matriksvolum, 0 % SF	89
9.1.2 - 300 matriksvolum, 6 % SF	95
9.1.3 - 300 matriksvolum, 10 % SF	101
9.1.4 - 320 matriksvolum, 0 % SF	107

Betongens reologiske egenskaper

9.1.5 - 320 matriksvolum, 6 % SF	113
9.1.6 - 320 matriksvolum, 10 % SF	119
8.1.7 - 320 matriksvolum, 6 % SF, tilpasset SP	125
9.1.8 - 340 matriksvolum, 6 % SF	131
9.2 Stress growth & flow curve	137
9.2.1 - 300 matriksvolum, 0 % SF	137
9.2.2 - 300 matriksvolum, 6 % SF	152
9.2.3 - 300 matriksvolum, 10 % SF	167
9.2.4 - 320 matriksvolum, 0 % SF	182
9.2.5 - 320 matriksvolum, 6 % SF	197
9.2.6 - 320 matriksvolum, 10 % SF	212
9.2.7 - 320 matriksvolum, 6 % SF, tilpasset SP	227
9.2.8 - 340 matriksvolum, 6 % SF	242
9.3 Synk og utbredelse	257
9.3.1 - 300 matriksvolum, 0 % SF	257
9.3.2 - 300 matriksvolum, 6 % SF	259
9.3.3 - 300 matriksvolum, 10 % SF	261
9.3.4 - 320 matriksvolum, 0 % SF	263
9.3.5 - 320 matriksvolum, 6 % SF	265
9.3.6 - 320 matriksvolum, 10 % SF	267
9.3.7 - 320 matriksvolum, 6 % SF, tilpasset SP	269
9.3.8 - 340 matriksvolum, 6 % SF	271
9.4 Sammenligning av SF	273
9.4.1 - 300 matriksvolum, V/C-tall 0,35	273
9.4.2 - 300 matriksvolum, V/C-tall 0,40	275
9.4.3 - 300 matriksvolum, V/C-tall 0,60	277
9.4.4 - 320 matriksvolum, V/C-tall 0,35	279
9.4.5 - 320 matriksvolum, V/C-tall 0,40	281
9.4.6 - 320 matriksvolum, V/C-tall 0,60	283
9.5 Sammenligning av matriksvolum med samme % SF og V/C-tall	285
9.5.1 - 0 % SF & V/C-tall 0,35	285

Betongens reologiske egenskaper

9.5.2 - 0 % SF & V/C-tall 0,40	286
9.5.3 - 0 % SF & V/C-tall 0,60	287
9.5.4 - 6 % SF & V/C-tall 0,35	288
9.5.5 - 6 % SF & V/C-tall 0,40	289
9.5.6 - 6 % SF & V/C-tall 0,60	290
9.5.7 - 10 % SF & V/C-tall 0,35	291
9.5.8 - 10 % SF & V/C-tall 0,40	292
9.5.9 - 10 % SF & V/C-tall 0,60	293
9.6 Effekten av V/C-tall på bingham parameterne	294
9.6.1 - 320 matriksvolum	294
9.6.2 - 300 matriksvolum	296
9.6.3 - 320 matriksvolum, 6% SF, tilpasset SP	298
8.6.4 - 340 matriksvolum, 6% SF	299
9.7 Effekten av SF på bingham parameterne	300
9.7.1 - 320 matriksvolum	300
9.7.2 - 300 matriksvolum	302
9.8 Effekten av mengde sement på bingham parameterne	304
9.8.1 - V/C-tall 0,35	304
9.8.2 - V/C-tall 0,40	305
9.8.3 - V/C-tall 0,60	306

Liste over figurer og tabeller

Figur 1 - Volumfordeling [5]	17
Figur 2 - Kornform - Stenglighet og flisighet [5]	17
Figur 3 - Betongens reologiske egenskaper	25
Figur 4 - Materialets oppførsel på fersk betong	26
Figur 5 - Deformasjonsforløpet del 1 (Ref O. Wallevik)	27
Figur 6 - Deformasjonsforløpet del 2 (Ref O. Wallevik)	27
Figur 7 - Deformasjonsforløpet del 3 (Ref O. Wallevik)	27
Figur 8 - Deformasjonsforløpet del 4 (Ref O. Wallevik)	28
Figur 9 - Bingham modellen	29
Figur 10 - Torsjonsmoment/Omdreiningmoment	29
Figur 11 - Plastisk viskositet/Flyteskjærspenning	31
Figur 12 - Betongblander	32
Figur 13 - Synkmål	33
Figur 14 - Utbredelse	33
Figur 15 - Luftporemåler	34
Figur 16 - Manometer	34
Figur 17 - Bingham modell	35
Figur 18 - ICAR Rheometer	37
Figur 19 - Lagre Excel-fil	38
Figur 20 - Hurtigmarkere kolonner	38
Figur 21 - Tekst til kolonner	39
Figur 22 - Tekst til kolonner avslutning	39
Figur 23 - Tekst til kolonner resultat	39
Figur 24 - Punktdiagram med rette linjer	40
Figur 25 - Merk data	40
Figur 26 - Velg datakilde	41
Figur 27 - Rediger serie	41
Figur 28 - Søk og erstatt	42
Figur 29 - Søk og erstatt, resultat	42
Figur 30 - Flow curve points	43
Figur 31 - Flow curve points, resultat	43
Figur 32 - Punktdiagram	43

Betongens reologiske egenskaper

Figur 33 - Rediger serie, gjentakelse	44
Figur 34 - Lineær trendlinje	44
Figur 35 - Vis formel/R-kvadrert	45
Figur 36 - Flow curve illustrasjon	45
Figur 37 - Stress Growth illustrasjon	46
Figur 38 - Siktekurve for 0-8 mm Årdal	54
Figur 39 - Siktekurve for 8-16 mm Årdal	55
Figur 40 - Siktekurve for sammensatt tilslag	56
Tabell 1 - Anleggsement FA	16
Tabell 2 - Testrekkefølge betongresepter	47
Tabell 3 - Referanseblanding	49
Tabell 4 - Matriksvolum 300 l/m ³	50
Tabell 5 - Matriksvolum 320 l/m ³	51
Tabell 6 - Matriksvolum 340 l/m ³	52
Tabell 7 - Matriksvolum 320 l/m ³ , tilpasset SP	53
Tabell 8 - Siktekurve for 0-8 mm Årdal	54
Tabell 9 - Siktekurve for 8-16 mm Årdal	55
Tabell 10 - Sammensatt tilslag	56
Tabell 11 - Matriksvolum 300 l/m ³ , synk/utbredelse resultat	58
Tabell 12 - Matriksvolum 320 l/m ³ , synk/utbredelse resultat	60
Tabell 13 - Matriksvolum 320 l/m ³ tilpasset SP, synk/utbredelse resultat	62
Tabell 14 - Matriksvolum 340 l/m ³ , synk/utbredelse resultat	63
Tabell 15 - Matriksvolum 300 l/m ³ 0 % SF, Bingham/relative parametre	64
Tabell 16 - Matriksvolum 300 l/m ³ 6 % SF, Bingham/relative parametre	66
Tabell 17 - Matriksvolum 300 l/m ³ 10 % SF, Bingham/relative parametre	68
Tabell 18 - Matriksvolum 320 l/m ³ 0 % SF, Bingham/relative parametre	71
Tabell 19 - Matriksvolum 320 l/m ³ 6 % SF, Bingham/relative parametre	73
Tabell 20 - Matriksvolum 320 l/m ³ 10 % SF, Bingham/relative parametre	75
Tabell 21 - Matriksvolum 320 l/m ³ 6 % SF tilpasset SP, Bingham/relative parametre	77
Tabell 22 - Matriksvolum 340 l/m ³ 6 % SF, Bingham/relative parametre	79

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Uavhengig av størrelse på et prosjekt er det viktig at betongen har en tilfredsstillende støpelighet. Det avgjør først og fremst om det er mulig å få betongen plassert slik man ønsker. Om det er en dyp, tynn eller tett armert forskaling. Økonomisk sett ønsker man mest mulig effektiv utstøping for å minimere tidsbruk, samtidig som fasthets krav opprettholdes. Det vil si at den skal være god å jobbe med og passende for den bruken man har.

Spekteret for bruk av betong er veldig stort, og man har mange parametere å arbeide med. Det er ofte små justeringer som skal til. Man kan få en betong til å størkne nærmest umiddelbart, slik som man ønsker ved 3D printing, men det kan også være større dekker som trenger lengre avbindingstid, for at man skal få tid til å plassere og jevne ut alt. Det kan være bruk for en luftigere betong, for å hindre frostskafer, eller man kan ønske en tettere betong for mindre inntrengning av kjemiske stoffer som kan skade og ødelegge armering.

Effekten av disse justeringene/tilsetningene på den ferske betongen måles som regel kun ved hjelp av en synk test, oftest synk, av og til utbredelse. For velkjente resepter kan det være tilstrekkelig, men synk tester har potensial for flere menneskelige feilkilder enn et rheometer og er basert på erfaringsmessig data. Derfor sammenligner vi i denne oppgaven hva som er å finne av forskjeller i informasjon mellom de to metodene.

Et rheometer kan gi oss en bingham modell som er en lineær funksjon av av skjærspenning. Den ser slik ut:

$$\tau = \tau_0 + \eta\dot{\gamma}$$

Hvor τ er skjærspenning og $\dot{\gamma}$ er skjærhastighet. De to parametrene τ_0 som er flyteskjærspenning (skjæring med y-aksen) og η som er plastisk viskositet (stigning til grafen) blir gitt fra den ene testen man gjør med rheometeret. Flyteskjærspenningen er ekvivalent med mengden skjærspenning som kreves for å starte bevegelse av massen, mens plastisk viskositet beskriver motstanden til flyt når massen er i bevegelse. Vi skal i oppgaven se nærmere på sammenheng mellom flyteskjærspenning og synk test [10].

1.2 Mål med oppgaven

Målet med oppgaven var i første omgang å bli kjent med utstyret, da alt er nyinnkjøpt og aldri har vært brukt ved UiS tidligere. Denne masteroppgaven/labrapporten vil være utgangspunktet for videre bruk, og skal være som en veileder/bruksanvisning for studenter og de ansvarlige på laboratoriet.

Vi valgte å teste hvordan forskjellige blandinger med ulike tilsetningsstoffer og doseringer påvirket egenskapene til fersk betong. Vi skulle se på om et rheometer kunne gi oss andre opplysninger om egenskapene til fersk betong enn det vi finner ut fra en synk test.

Vi startet med en plan over 9 tester i første omgang, der vi bestemte oss for å se på forskjellen mellom 0, 6 og 10 prosent silika, i en blanding med matriks mengde på 300 kg/m^3 , 1 prosent superplastiserende og V/C-tall på henholdsvis 0.35, 0.40 og 0.60. Underveis i testingen så vi at det kunne vært interessant å se på effekten av økt matriks mengde. Dermed ble omfanget økt og det ble planlagt å gjennomføre de samme testene, men med matriks mengde på 320 kg/m^3 . Referanseblandingen ble bestemt til 6% silika, 320 kg/m^3 matriks mengde for henholdsvis 0.35, 0.40 og 0.60 V/C-tall. De siste testene var for matriks mengde 340 kg/m^3 , 6% silika 0.35, 0.40 og 0.60 V/C-tall, og tre tester der vi forsøkte å oppnå samme synk for 0.60, 0.40 og 0.35 V/C-tall ved kun å tilsette mer SP stoff på 0.40 og 0.35 V/C-tall. Målet med de tre siste var å sammenligne grafene fra rheometeret, ettersom synk var omtrent lik for alle V/C-tallene.

2 Teori

Under dette kapitlet vil det være relevant informasjon om materialer og dens sammenheng/påvirkning på betong. Vi fokuserer mest på støpelighet og de ferske egenskapene til betongen, ettersom oppgaven vår er å se på betongens reologi. Informasjonen blir hentet fra pålitelige kilder og kryssjekket der det er nødvendig.

2.1 Reologi og viskositet

Viskositet er et mål på motstanden en væske har mot påført spenning. Mer hverdagslig kan man se på det som hvor "tjukk" en væske opptrer. Deriblant vann som har en tynn konsistens, mens honning, maling eller olje er "tykkere", seigere og dermed har høyere viskositet. Viskositet er en slags indre motstand mot strømning og man kan tenke seg at det skyldes en indre friksjon mellom partiklene i massen [11].

Måling av viskositet er relativt lett og resultatet gis ved et enkelt nummer. Ønsker man sammenligne en væske med en annen er det viktig at temperaturen er lik ettersom kulde øker og varme minker viskositeten [11].

Reologi er mer sammensatt enn viskositet. Det er en lære om stoffets strømning, hovedsakelig væsker, men også geler, pastaer og mykere faste stoffer. Strømningen til disse komplekse stoffene kan ikke bli karakterisert av en enkelt verdi slik som viskositet, fordi de endrer viskositet avhengig av bevegelse [12]. Ketchup får mindre viskositet ved bevegelse mens maizena stivner og blir mer viskøs. Reologi gjelder for materialer som ikke kan beskrives av klassiske teorier for bevegelse [11].

Forskjellen mellom et viscometer og et rheometer er kvaliteten av komponentene og mulighet for justeringer. Altså bedre kontroll og flere muligheter med et rheometer, mer allsidig. Viskosimeter er rimeligere, ofte mer portabelt og fungerer bra til måling av et simpelt stoff. På den andre siden har vi et rheometer som er mye dyrere, men også tilbyr en rekke muligheter for testing. Man kan velge målinger med store skritt i rotasjonshastighet og man kan ha en oscillerende bevegelse der hastigheten går opp og ned. For å simulere virkeligheten er et rheometer det beste alternativet [11].

2.2 Partikkel matriks modell

Egenskapene til betongen avhenger av hvilke rå materialer som blir brukt. Det er først og fremst kravet til styrke og varighet som bestemmer sammensetningen. Men det er like viktig at støpeligheten er tilstrekkelig for å kunne arbeide med den og få den plassert der man ønsker, ellers hjelper det ikke at man har en sterk betong. I denne oppgaven fokuserer vi på egenskapene i fersk betong.

En betongblanding består ofte av 6-8 bestanddeler. Det er ikke alltid lett å forutsi hvilken effekt disse utgjør alene eller sammen, på støpeligheten.

Matriks er den flytende komponenten i partikkel-matriks modellen. Den omringer og fyller tomrom mellom tilslaget. Matriks består av vann, tilsetningsstoffer og alle solide partikler under 0.125 mm som sement, silika, flyveaske, slagg og de minste partiklene i tilslaget. Matriks kan betraktes som en kraftig viskøs væske [1].

Partikkelfasen er da det gjenstående i betongen, alle partikler over 0.125 mm. Partikkelfasen er karakterisert som friksjons basert materiale. Det er størrelsesfordelingen av partiklene, formen, hvor mye komprimering som er gjort og om partiklene er tørre eller våte som alle er med på å avgjør volumet av luft i løst tilslag. Dersom det er luftinnhold på 30 % i en partikkelfase for en betong, trenger vi 300 l/m³ eller mer matriks for å fylle opp dette tomrommet. Ønsker man en synk på 0-20 mm trengs et matriks volum på 20-40 l/m³ større enn tomrommet i tilslaget. For å få en synk på over 200 mm må vi øke matriks volumet ytterligere 30-40 l/m³. Det som skjer er at man øker mellomrommet mellom partiklene i tilslaget og dermed minker kontaktflaten/friksjonen, slik at de beveger seg enklere i forhold til hverandre. Tilslagets form vil da ha mindre påvirkning på støpeligheten.

Man pleier å skille mellom matriks- og partikkel dominert betong. Vi sier den er matriks dominert når den har fylt alle tomrom og begynner å øke avstand mellom partikler > 0.125 mm. I motsatt fall er den partikkel dominert dersom den er påvirket av friksjon og kontaktflaten mellom partikler > 0.125 mm. Det finnes ingen bestemt grense for når man går fra partikkel til matriks dominert blanding, men for høyere fasthetsklasser vil man gå over til matriks dominert for relativt lave synk verdier ettersom matriksen har høy viskositet. Dersom matriksen har lav flytmotstand vil kun små endringer i matriks mengde være med på å skifte om betongen fra partikkel til matriks dominert. Dermed vil en kunne gå fra en stabil blanding

Betongens reologiske egenskaper

med passelig støpelighet til en ustabil betong som separerer seg ved kun små svingninger, og bli mer som en "suppe" [1].

2.3 Sement

Sement er det bindende elementet i mørtel og betong. Det brukes forskjellige materialer for å fremstille sement, men hovedmaterialene er kalkstein og leire. Ofte refererer man til "Portland" sement og det er kun fordi det først ble produsert på 1800-tallet fra en øy kalt Portland ved Englands kyst. Det er i dag den mest brukte sementen og fremstilles ved smelting (1400-1500 °C) av fint pulverisert råmateriale, deretter tilsettes gips og eventuelt hydraulisk aktivt materiale som for eksempel flyveaske [2].

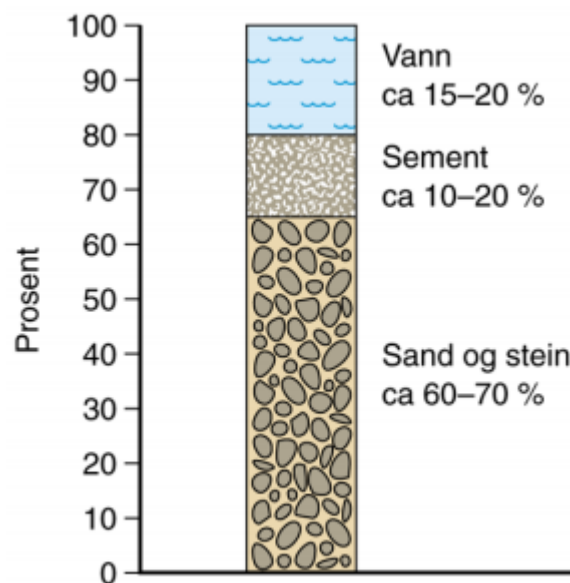
Vi valgte å bruke Anlegg FA, det er en portland sement med 17% flyveaske, utviklet for bruk innen infrastruktur, bruer, tunneler og havner. Sementen er god å jobbe med selv med lave V/C-tall. Den lave varmeutviklingen gjør at sementen er godt egnet til bruk for tykkere og større konstruksjoner, da disse ofte er utsatt for sprekkdannelse pga. temperaturøkning. God støpelighet og høy slutfasthet er grunner til å velge Anlegg FA. Sementen kan bli brukt med alkalireaktivt tilslag [1].

ANLEGGSEMENT FA (CEM II/A-V 42.5N)	
Finhet (Blaine) [m ² /kg]	390
Spesifikk vekt [kg/m ³]	3.02
Begynnende størkning [min]	165
Sulfat (SO ₃) [%]	≤ 3.5
Klorid (Cl ⁻) [%]	≤ 0.085
Alkalier (Na ₂ O _{ekv}) [%]	0.6
Klinker [%]	83
Flyveaske [%]	17

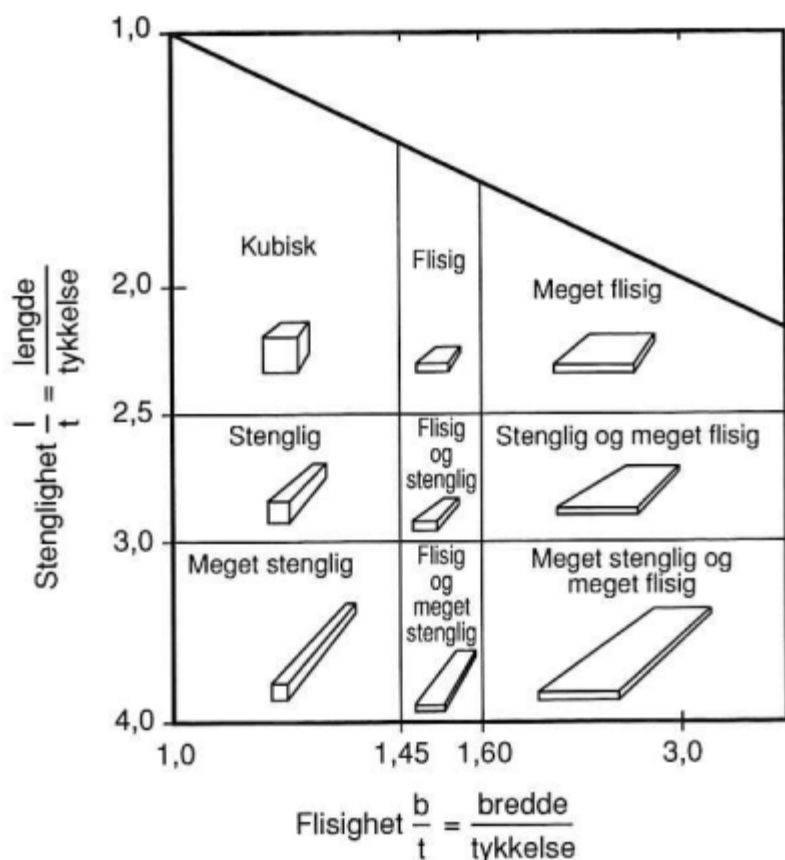
Tabell 1 - Anleggsement FA

2.4 Tilslag

Tilslaget er det som fyller mest av volumet i betongen og har en effekt på alle betongens egenskaper som V/C-tall, støpelighet, mekaniske egenskaper og bestandighet, og dermed viktig med tanke på kostnad. Kornform, korngradering, finstoff, glimmer og slaminnhold påvirker all støpeligheten og kostnaden for resepten. Derfor er dette i fokus både for produsent og entreprenøren. Fasthet blir også tatt i betraktning, men egenskaper som slår ut på bestandighet er det viktigste da alkalireaktivitet, svovelinhold, frostbestandighet, kloridinnhold osv kan være med på å bryte ned betongen/armering og i det tilfellet vil ikke fasthet lengre ha mye betydning [5]. Er det fremstilt industrielt vil det ha en mer kantete form, mens tilslag fra naturen er rundere. Fordelen med runde partikler er en tettere pakningsgrad, slik at det krever mindre matriks for å fylle tomrommet mellom dem og mindre friksjon. Siktekurvene deles opp i fraksjoner som for eksempel 0-8 mm, 8-16 mm, 8-24 mm, 16-32 mm osv. Det åpner for ulike sammensetninger av betongen, avhengig av ønskelige egenskaper.



Figur 1 - Volumfordeling [5]



Figur 2 - Kornform - Stenglighet og flisighet [5]

Høy flisighet eller stenglighet er begge ugunstige egenskaper for kornpartiklene i en betongblanding da de trenger mer plass for å bevege seg i forhold til hverandre, som igjen betyr at vi må øke vann/semnt innholdet (V/C-tallet). I Norge brukes flisighetsindeks (FI) for å måle disse to parametrene. Metoden blir brukt for tilslag over 4 mm, og en FI > 15-20 er dårlig. Statens vegvesen har et minstekrav om FI = 20 eller bedre. Det

Betongens reologiske egenskaper

aktuelle tilslaget har krav om prøving minst en gang i måneden [5].

På 90-tallet brukte man tilslag fra lokale grustak og blandet det rett inn i betongen uten siktekurver. Man var ikke klar over effekten til en jevn siktekurve, og man fikk utdelt en tilfeldig fordeling av stort og smått, støpeligheten og styrken ble deretter. Mye av ekspertisen på området ble utviklet her i Norge under byggingen av offshore plattformene i nordsjøen. [3]

Man utarbeider en siktekurve for et tilslag gjennom en sikteanalyse. En siktesats består av flere sikter med forskjellig maskevidder plassert ovenfor hverandre. For fint tilslag brukes 8, 4, 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125, og 0.063 mm. Grovt tilslag bruker 32, 22.4, 16, og 11.2 mm. Det er viktig at massen er tørr slik at den ikke klumper seg. Man måler vekten på massen før man legger det i sikte satsen og rister. Da all gjennomgang har stoppet, måles mengden i hver sikt opp mot totalmengden slik at vi får prosentvis gjennomgang. Som kan sees på figurene under så har man en kolonne for sikterest og en for gjennomgang. Sikteresten på en gitt sikt er summen av massen på den sikten og alle ovenfor som har større maskevidde, og som ikke klarte passere. Gjennomgang er det motsatte og er alt som har passert den gitte sikten. Summen skal bli 100%.

2.5 Pozzolaner

Pozzolaner er aktive tilsetningsstoffer som innebærer kjemisk reaktivitet, enten alene eller sammen med portland sement klinker og/eller hydratiserings produktene. Fillers reagerer ikke kjemisk men fyller opp tomrom og har kornstørrelse < 0.125 mm. Pozzolaner har også "filler effekten", men samtidig et aktivt tillegg som reagerer med vann og kalsiumhydroksid. De mest brukte i Norge er silikastøv og flyveaske. Slagg er mye brukt andre steder i Europa. Vi brukte kun silikastøv i våre forsøk da det begrenser seg hvor mange tester man har mulighet for å gjennomføre. Alle tre er biprodukter fra industrien, derfor er det både økonomisk og miljøvennlig med tanke på at man kan bruke det til å redusere mengde sement/klinker, da sementproduksjon slipper ut store mengder CO_2 . Opp gjennom historien er det brukt flere naturlige pozzolan materialer, hvor de fleste er utvunnet fra vulkanske steiner og mineraler [3].

Den kjemiske reaksjonen fra pozzolanene gir mer C-S-H per gram sement. Dermed blir tettheten av bindemiddel større per volumenhet, og det gir bedre egenskaper med tanke på støpelighet, styrke og bestandighet.

Ved bruk av silika opp til 10% av bindemiddelmengde så vil den ikke ha stor påvirkning på temperaturutvikling. Silika reaksjonen produserer mer energi i form av varme enn det sement gjør, men det skjer saktere slik at den høyeste temperaturen er lavere. Mikrosilika er et veldig populært pozzolan da det gir en tettere mikrostruktur, lavere permeabilitet og høyere elektrisk motstand som gir bedre bestandighet [4].

Flyveaske bedrer vanligvis støpeligheten dersom den virker som erstatning for sement, men dersom man bruker en sement med FA er ikke alltid dette tilfelle [4].

Betongens reologiske egenskaper

Aktivitetstfaktoren K sier noe om hvor mye sement du kan erstatte med de forskjellige pozzolanene. Den brukes når man regner forholdet mellom vann og blandemiddel: [3]

$$V/B = \frac{v}{s + k*p}$$

Hvor

V/B Vann / Bindemiddel

v Vann

s Portlandsement

k Aktivitetstfaktoren

p Pozzolaner

Betong med høy flyteevne har en tendens til å separere seg. Bruk av pozzolaner som for eksempel silikastøv bidrar til å binde opp og stabilisere betongen. Det er derfor mye brukt for blandinger med høy synk verdi og i SKB. [1]

2.6 Tilsetningsstoffer

Det finnes en rekke forskjellige tilsetningsstoffer avhengig av bruksområde, plastiserende/vannreducerende, luftinnførende, akselererende og retarderende stoffer, hvor plastiserende/superplastiserende består av ca 95% av alle tilsetning som blir solgt i Norge. Det skal ikke brukes en mengde som overstiger 5% av vekten til sementen. Norsk Standard NS-EN 206-1 definerer tilsetningsstoffer som: «Materiale som tilsettes under blanding i små mengder i forhold til sementmengden for å endre egenskapene til fersk eller herdnet betong».

Kjemiske tilsetningsstoffer er ikke noe nytt fenomen i betongproduksjon. Det ble en nødvendighet for offshore industrien å finne måter å forbedre støpeligheten, men samtidig øke styrken. Derfor har Norge vært betydningsfull i utvikling av betong og dens tilsetningsstoffer. Det er også viktig å huske at tilsetningsstoffene i seg selv kan ikke lage en god betongblanding, slik at man er fortsatt avhengig av at man har en bra sammensetning med riktig siktekurve osv. for at effekten av tilsetningene skal være maksimal [3].

SP stoff reduserer flytmotstand og blir brukt til:

- Øke støpelighet uten å øke matriksvolum
- Redusere matriksvolum ved å redusere flyt motstanden i matriksen slik at man minsker sement innholdet uten å senke støpeligheten [1]

2.7 Effekten av silikastøv i fersk betong

Effekten silikastøv har på betongens støpelighet er veldig avhengig av hva slags betongblanding det er og dens sammensetning. Betongens kohesjon øker vanligvis og blir mer sammenhengende. Bleeding kan også forsvinne på grunn av alt vannet silikastøvet tar til seg i den ferske betongen. Det er da viktig å passe på at betongen ikke oppnår uttørkingssvinn eller riss. Silikastøv har en stor positiv påvirkning på blandinger som synker mye ved synk tester. Den økte kohesjonen reduserer segregering i blandingen og gir en økt stabilitet [1].

For betongblandinger med tilsatt silika er det vanlig å ha et synkmål på 20-30 mm over det man ville fått uten. Den vil da kunne ha omtrent samme "støpelighet", men dette er også selvfølgelig veldig avhengig av betongenes resept og mengde silikastøv.

Det kreves en viss mengde vann for å fylle tomme hulrom og gjøre betongen flytende. Vann kan reduseres ved å tilsette silikastøv, fordi de kan erstatte vannet som finnes i hulrommene. Man kan også øke støpeligheten ved å tilsette superplastiserende tilsetningsstoff. Men som nevnt ovenfor må man passe på uttørkingssvinn og riss [1].

Silikastøvet størrelse har en stor innvirkning på deres egenskaper. Med en blainefinhet på omkring $20000\text{m}^2/\text{kg}$ blir det en veldig effektiv filler. Den bidrar til å jevne ut C-S-H pastaen bedre og dermed blir den ferske betongen mer homogen. Silikastøv reduserer ikke den totale porøsiteten, men den er med på å dele porevolumet til mindre porer [1].

2.8 Støpelighet

Egenskapene til fersk betong blir beskrevet gjennom betongens støpelighet. Det er flere faktorer som spesifiserer god og dårlig støpelighet. Betongen krever forskjellig type støpelighet i forhold til type støpeform, transport av massen og hva som er tilgjengelig i nærheten fra lokale distributører.

Støpelighet kan deles inn i tre kategorier; mobilitet, komprimerbarhet og stabilitet. Mobilitet som er den ferske betongens egenskaper til å bevege på seg i forhold til kreftene som tilføres betongen. Motstand som kan påvirke mobiliteten er friksjon mellom partiklene. Betong med høyt vanninnhold og mindre prosent av stort tilslag som 8-16mm grus vil kunne ha høy mobilitet. Denne type sammensetning vil gi lav intern friksjon, lav intern flytmotstand og lavt kohesjon. Det negative med denne type sammensetning er at det er en høy andel sementpasta som kan føre til uttørkingssvinn og deretter riss når betongens strekkapasitet overskrides. En løsning på dette kan være å tilsette vannreducerende tilsetningsstoffer.

Redusert mobilitet fører til at mer komprimeringsarbeid må utføres. Altså redusert mobilitet gir redusert komprimerbarhet. Dersom den ferske betongen har lav komprimerbarhet og lav stabilitet vil man støte på problemer. Betongen krever da komprimering, f.eks vibrering. Ved lav stabilitet og vibrasjonsarbeid vil det kunne føre til separasjon av delmaterialene [1].

Stabilitet er definert som betongens evne til å holde seg homogen gjennom hele den ferske fasen. Dette gjelder for alle områdene hvor betongen er fersk. Helt fra betongen er laget og fram til den er plassert. Betongen skal holde seg homogen ved transport, fylling i forskaling og ved komprimering. Dårlig stabilitet kan føre til separasjon av betongen. Separasjon skjer når den totale summen av intern friksjon og kohesjon blir for lav for å motvirke de ulike densitetene for materialene i den ferske betongen. Hastigheten for separasjon er påvirket av den interne viskøse flytmotstanden [1].

Ut i fra dette finner man tre forskjellige typer separasjoner. For vanlig betong så er separasjon av vann vanlig. For høyfastbetong kan det bli separasjon av sementpastaen. Separasjon av 0-8 mm (sand) og 8-16 mm (grus) kan skje i begge tilfellene.

Betongens reologiske egenskaper

Separasjon av vann er ofte karakterisert ved at vannet i betongen beveger seg oppover mot overflaten. Samtidig med dette kan partiklene synke litt nedover i betongmassen. Der hvor partiklene synker og vannet presses oppover mot betongens overflate får man det som kalles bleeding. Et lag med vann på overflaten vil føre til at man får et høyere V/C-tall lokalt på overflaten. Dette vil kunne redusere kvaliteten og bestandigheten på betongen. Litt vann separasjon kan være positivt for betong som tørker raskt, for svinn eller riss. Den lille mengden med vann på overflaten vil kunne fungere som en film som hindrer at betongen tørker ut før den satte tiden. Å finne en balanse mellom hva som er ønsket og ikke ønsket av bleeding er veldig sensitivt og kan dermed være vanskelig å beregne.

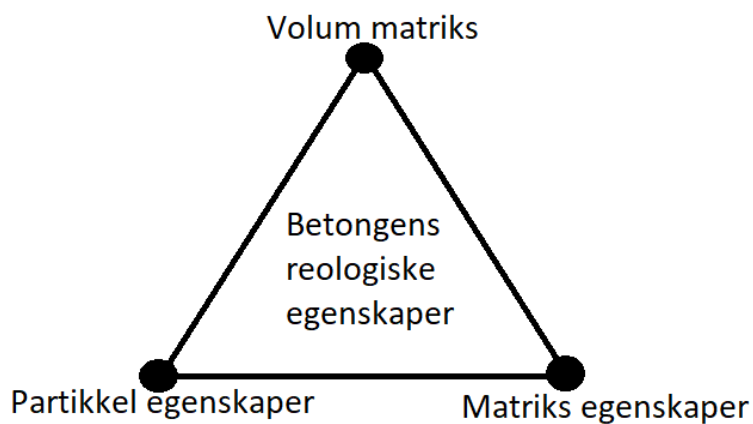
Man kan hindre separasjon av vann i betongen ved å redusere vannmengden. Det å øke mengde med pozzolaner, sement og større andel av fine korn i sanden kan redusere separasjon. Dette øker den interne kohesjonen i betongen ved at kontaktflatene mellom partiklene og vannet øker [1].

Mobilitet, komprimerbarhet og stabilitet beskriver den ferske betongen kvalitativt, men uten å gi oss de grunnleggende egenskapene. Det finnes ingen modeller som kan entydig ha sammenhengen mellom oppførselen til fersk betong og de fysiske egenskapene som kohesjon, viskositet og friksjon. Når man prøver å utvikle modeller som skal beskrive sammenhengen mellom betongens sammensetning og støpelighet ser en på mobiliteten til massen. Dette kan gjøres med den tradisjonelle empiriske metoden synk test som ofte er brukt, eller med et rheometer som blir diskutert i denne oppgaven [1].

Betongens reologiske egenskaper

En matriksdominert blanding vil ha en lavere partikkelkonsentrasjon og vil dermed ha en mer viskøs oppførsel. Vi antar at partikkelkonsentrasjonen er såpass lav slik at kohesjon og friksjonen ikke påvirker flyteegenskapene. En partikkeldominert blanding vil ha en lavere matrikskonsentrasjon og partiklene vil ha en større kontaktflate mellom seg. Dette fører til at partikkeldominert betong sin oppførsel ofte styres av friksjon [1].

En modell som kan beskrive betongens støpelighet som en funksjon av egenskapene til matriksfasen, partikkelfasen og den volumetriske sammenhengen mellom disse to fasene kaller man for partikkel-matriksmodellen. Se figur 3 under.



Figur 3 - Betongens reologiske egenskaper

Betongens reologiske egenskaper

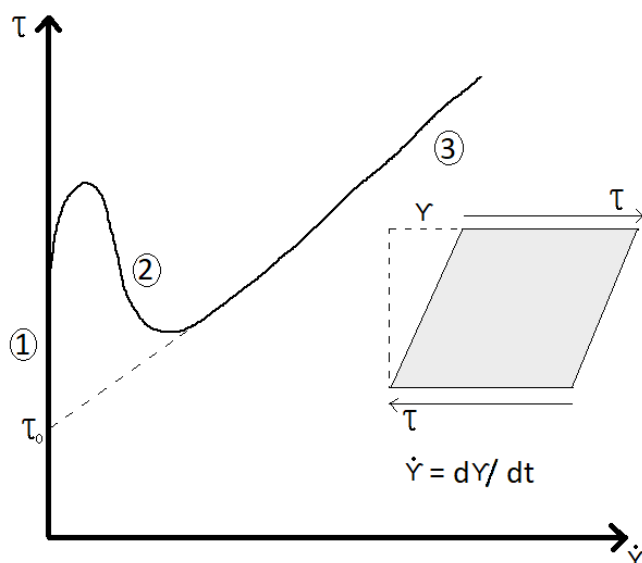
Figur 4 gitt under viser relasjonen mellom skjærhastighet, $\dot{\gamma}$ [1/s] (deformasjonshastighet) og lokal skjærkraft, τ [Pa] (deformasjonsmotstand) for et gitt volum med fersk betong.

Skjærkraften øker omtrent lineært etterhvert som første deformasjon/kraft blir påført den ferske betongen. Dette er på grunn av interne partikkelsammensetninger som gir den ferske betongen en viss styrke hvor de elastiske kreftene er mest dominante. Når skjærkraften overskrider den elastiske grensen får vi glideflater der deler av massen har forskjellig hastighet. Se figur 4, punkt 1

Etterhvert som antall glideflater øker i massen, synker kohesjonskreftene. Dette kommer av at bindingene mellom partiklene brytes opp gradvis. De største partiklene orienterer seg slik at friksjonen mellom glideflatene minker. Den ferske betongen går da over til en plastisk fase hvor skjærtøyningen er veldig stor. Det er da lettere å gjøre deformasjonen tidsavhengig for å beskrive den ferske betongens egenskaper. Se figur 4, punkt 2

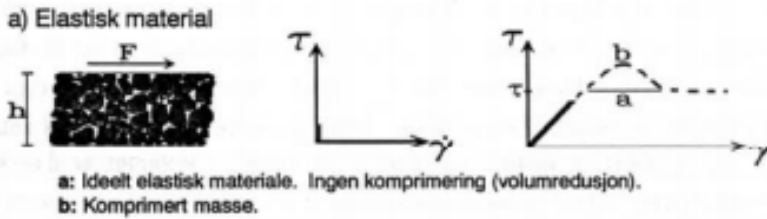
Den ferske betongen vil gå fra å være plastisk til viskøs når det er et tilstrekkelig antall glideflater. Det viskøse blandingen vil omtrent opptre lineært når man ser på sammenhengen mellom skjærhastighet og skjærspenning. Se figur 4, punkt 3

Betongen går fra elastisk til plastisk og deretter til viskøst. Fersk betong er et viskøst-plastisk materiale med elastiske egenskaper som er uavhengige av deformasjonshastigheten.



Figur 4 - Materialets oppførsel på fersk betong

Betongens reologiske egenskaper

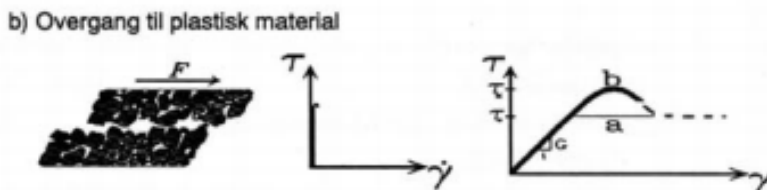


Figur 5 -
Deformasjonsforløpet del 1
(Ref O. Wallevik)

Her er kraften påført mindre enn skjærspenningen som kreves for å bryte den elastiske sammensetningen i materialet. Fra den første grafen ser vi at både skjærspenning og skjærhastighet er lave. Fra graf nummer to kan vi se at skjærtøyningen er lineær med skjærspenningen, slik at økt kraft øker deformasjon.

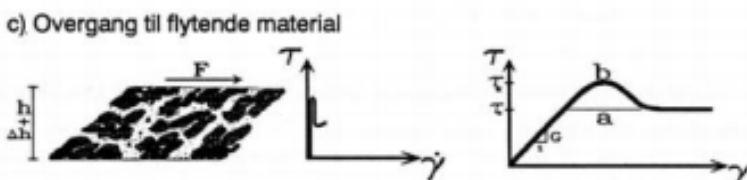
FIGURFORKLARING

- γ : skjærtøyning
- $\dot{\gamma}$: skjærhastighet
- τ : skjærspenning
- τ_0 : flyteskjærspenning
- τ_b : kritisk flyteskjærspenning
- G : den ferske massens skjærmodul



Figur 6 -
Deformasjonsforløpet del 2
(Ref O. Wallevik)

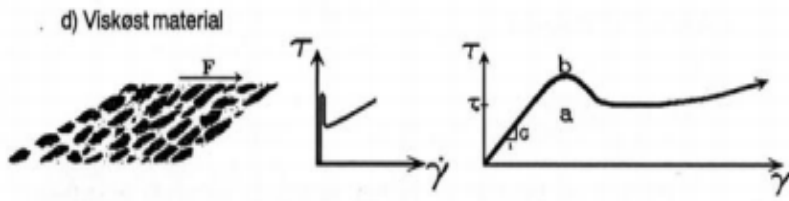
Når kraften øker kommer overgangen til plastisk materiale, der strukturen i materialet ikke lenger kan reverseres og man oppnår maks friksjon mellom partiklenes glideflater. Fra den første grafen ser vi at skjærhastigheten fortsatt er lav og nokså lik som i stad, men skjærspenningen øker drastisk til et kritisk toppunkt. Graf nummer to viser at skjærtøyningen ikke lenger er lineær med skjærspenningen, men at det kreves en lavere mer konstant spenning for å deformere materiale videre.



Figur 7 -
Deformasjonsforløpet del 3
(Ref O. Wallevik)

Figur 7 viser oppnådd kritisk skjærspenningen til det plastiske materialet og dens glideflate, brudd har oppstått og mange flere glideflater slik at materiale er blitt flytende. Fra første graf kan vi se at skjærhastigheten er høyere enn de to foregående, men skjærspenningen som kreves er lavere på grunn av flere glideflater og dermed flytende konsistens i materiale. Graf nummer to viser det del 2 indikerte, jevn skjærspenning for økt skjærtøyning/deformasjon.

Betongens reologiske egenskaper

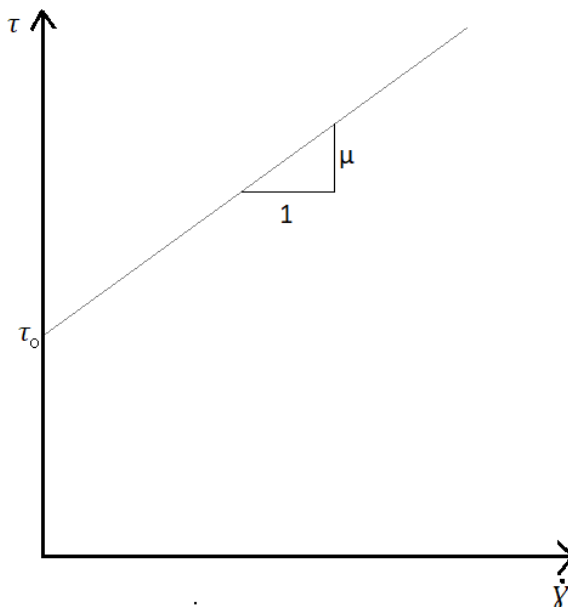


Figur 8 -
Deformasjonsforløpet del 4
(Ref O. Wallevik)

Etter at materiale er blitt flytende og man fra graf nummer en kan se at skjærspenning øker lineært med skjærhastighet, har også glideflatene økt ytterligere og materiale er nå viskøst.

2.9 To-punkts konsistensmåling

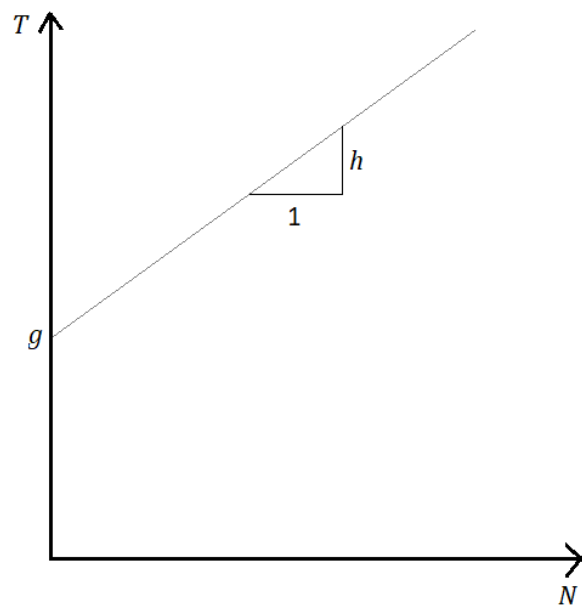
To-punkts konsistensmåling er basert på at den ferske betongen kan bli karakterisert som en Bingham væske. Dersom den ferske betongen kan bli karakterisert som bingham væske, kan man bruke de to parametrene g og h for videre analyse. Her er momentet når flyt oppstår i betongen (g) og proporsjonalitetskoeffisienten (h). Disse to parameterne er omtrent proporsjonale med flyteskjærspenningen (τ_0) og den plastiske viskositeten (μ) [1]. Se figur 9



$$\tau = \tau_0 + \mu \cdot \dot{\gamma}$$

τ - skjærspenning (Pa)
 τ_0 - flyteskjærspenning (Pa)
 μ - plastisk viskositet (Pa·s)
 $\dot{\gamma}$ - skjærhastighet (1/s)

Figur 9 - Bingham modellen



$$T = g + h \cdot N$$

T - torsjonsmoment (Nm)
 g - momentet når flyt oppstår i betongen (Nm)
 h - proporsjonalitetskoeffisient (Nm·s)
 N - omdreiningshastighet (1/s)

Figur 10 -
 Torsjonsmoment/Omdreiningmoment

Figur 9 vist ovenfor viser at materialet har en viss elastisk skjærkapasitet som krever at en gitt flyteskjærspenning må til for at den ferske betongen skal begynne å flyte. Det er så en lineær sammenheng mellom skjærspenningen og skjærhastigheten. Fra en to-punkts konsistensmåling vil relasjonen mellom torsjonsmomentet og den gitte omdreiningshastigheten gi to parametre. Som nevnt ovenfor i forrige avsnitt er disse to

Betongens reologiske egenskaper

parameterne omtrent like Bingham parameterne og derfor kan en to-punkts konsistensmåling for en fersk betongblanding regnes som en Bingham væske. Men en slik test gir for det meste verdier for mobilitet. Den er lite effektiv for komprimerbarhet og ikke egnet for å kartlegge den ferske betongens stabilitet.

Vanligvis er det bare betong som har plastisk eller flytende egenskaper som kan bli karakterisert gjennom Bingham modellen. Betonger som er stive og som har mindre plastiske eller flytende egenskaper vil ha en høy interne friksjon og kohesjon. Denne type betong vil kun oppnå en viskøs eller flytende form ved veldig høye skjærspenninger [1].

En to-punkts konsistensmåling vil kunne gi mer informasjon om betongens mobilitet enn en vanlig synktest. Det finnes ingen nøyaktige relasjoner mellom en to-punkts konsistensmåling og synk- og utbredelsestest. Men det er blitt observert gjennom mange tester der utbredelsestesten er relatert til den plastiske viskositeten og der måles betongens mobilitet/utflytningsevne. Synkmålet for synktesten er relatert til flyteskjærspenninger og egner seg best for betonger med lave synkmål [1].

Effekten av betongens delmaterialer

Silikastøv:

Ved lave tilsetninger av silikastøv vil den plastiske viskositeten synke, men samtidig blir flyteskjærspenning omtrent den samme. Det tilsatte silikastøvet vil kunne hindre koagulering i den ferske betongen. Dette øker dispergeringen av sementen og holder sementpartiklene fra hverandre. Silikastøvet hindrer at sementpartiklene hoper seg opp og danner avsetninger. Denne dispergerende effekten skal egentlig redusere flyteskjærspenningen, men silikastøvet bruker også vannet som finnes i den ferske betongen og dermed holder den seg konstant.

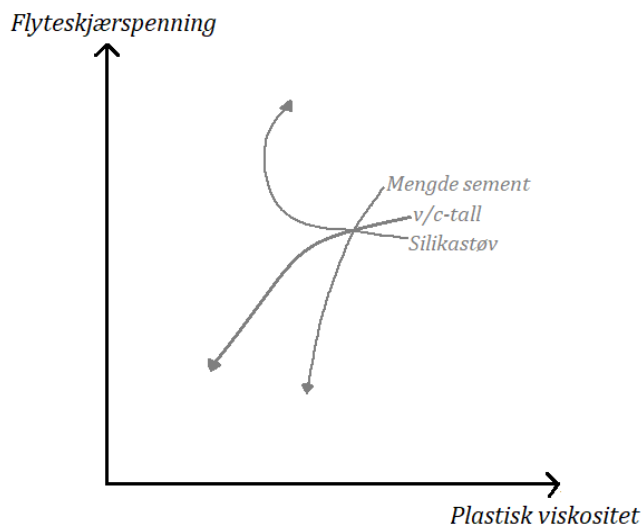
Ved enda høyere doseringer med silikastøv vil den binde til seg mye mer vann. Dette er på grunn av silikastøvet sin store overflate og sterke overflatekrefter som binder til seg mye vann. Resultatet av dette er at flyteskjærspenningen øker kraftig, men den plastiske viskositeten vil holde seg ganske stabil [7]. Dette vises i figur 11 nedenfor

V/C-tall:

Flyteskjærspenningen og viskositeten reduseres ved økt v/c-tall. Ved det økende forholdet vil den ferske betongmassen lettere flyte og ha en lavere motstand mot økt bevegelse. Mobiliteten øker, men stabiliteten kan synke.

Mengde sement:

Ved likt v/c-tall, men økt sementmengde så øker avstanden mellom de store partiklene i blandingen, dermed mindre friksjonsavhengig og lavere flyteskjærspenning. Den plastiske viskositeten holder seg moderat, men ved ytterligere tilsetning av sement vil den ferske betongen bli mer viskøs.



Figur 11 - Plastisk viskositet/Flyteskjærspenning

3 Metode/Laboratoriearbeid

Her beskrives de generelle metodene som blir benyttet under testing på laboratoriet, samt bemerkelser vi gjorde underveis som bidro til en mer nøyaktig gjennomførelse. Det er viktig å presisere at flere prosedyrer er ekstra grundig forklart ettersom denne labrapporten vil bli brukt til videre undervisning og veiledning.

3.1 Blandeprosessen

Det ble gitt at Årdal 0-8mm hadde 1 % fuktighet. Fuktigheten ble ikke kontrollert med en fuktmåler. Denne vannmengden ble beregnet og trukket fra den totale vannmengden som ble tilsatt i betongblandingen. Hver blanding bestod av 32 liter betong. Dette var da nok til å fylle ICAR Rheometer, samtidig som synk test og luftmåling ble målt.

Før blandingen ble betongblanderen fuktet. For blanding av betong ble det brukt en betongblender Atika Compact 100L. Annet utstyr som betongen kom i kontakt med ble også fuktet. Som synk kjege, synk bord, luftmåler og mørtelbalje.



Figur 12 - Betongblender

Blandeprosedyre:

- 2 minutter tørrblanding (Tyngste materialene i bunn)
- 1 minutt blanding etter tilsatt vann
- 1 minutt blanding etter tilsatt superplastiserende tilsetningsstoff
- 1 minutt stopp (Løsner uberørt masse fra bunn og sider manuelt)
- 1 minutt blanding

Blandingen ble tømt i en fuktet mørtelbalje før utførelse av de ulike testene

3.2 synk Test

NS-EN 12350 (2000): Prøving av fersk betong Del 2: Synkmål

- Fukt innside av kjele og underlaget
- Plasser kjele i midten av synk brettet
 - Brettet skal være plant, støtt, vannrett og glatt
- Hold kjelel nedre når du skal fylle lagvis i 3 omtrent like tykke lag
 - Hvert lag skal komprimeres med 25 jevnt fordelte støt fra stålstangen
 - Her merket vi at det ble bedre resultat dersom personen som fylte betong i kjelel helte fra annenhver side, slik at ikke alt det tunge tilslaget falt over til en side
 - Lag nummer 2 og 3 skal ikke komprimeres forbi foregående lag
 - Retter av toppen av kjelel for å fjerne overskuddsmasse
 - Trekker kjelel forsiktig opp i løpet av 5-10 sekund, uten å vri eller riste den
 - Etter man har trukket opp kjelel og massen har kommet til ro, bruker vi kjelel til å måle synk, sammen med en stålstang og en tommestokk [6]



Figur 13 - Synkmål



Figur 14 - Utbredelse

3.3 Luftinnhold

Måling av luftinnhold ble gjort rett etter første synk test. Det ble brukt en FTS B2020 luftporemåler. Beholderen ble fylt i tre lag. Hvert lag stemples med cirka 25 slag med en stikkstang. Samme som brukes til synk test. Slagene går ikke ned i forrige lag. Når beholderen er fylt med 8 liter betong til randen, avsluttet det med 15 jevnt fordelte slag rundt beholderen. Her ble det brukt en gummihammer.

Så rengjøres kanten på beholderen og lokket blir festet med hurtigklemmene. Begge kuleventilene skal nå være åpne. Deretter brukes en sprøyteflaske til å fylle vann i beholderen. Det fylles på via den ene ventilen og når vann renner ut av den andre ventilen, lukkes begge. Det skal komme en jevn strøm med vann ut av ventilen som ikke fylles, og denne må være fri for luftbobler.

Luftpumpehåndtaket løsnes og trykket blir pumpet opp til manometerverseren står cirka 10 mm forbi justering merket. Justeringsventilen letter på trykket helt til manometerverseren står på justeringsmerket. Deretter lukkes justeringsventilen og luftpumpehåndtaket, før hevarmen trykkes ned i cirka 20 sekunder. Manometerverseren har dermed falt til ro og luftmengden leses av.



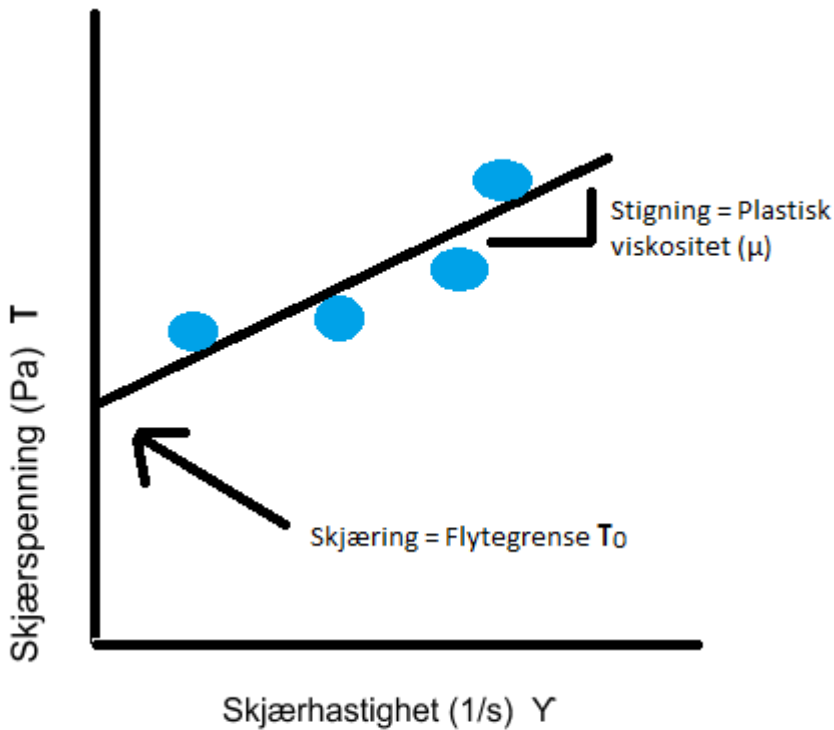
Figur 15 - Luftporemåler



Figur 16 - Manometer

3.4 Rheometer brukerveiledning

Testene ble utført med et ICAR Rheometer fra GERMANN INDUSTRIES. Den måler skjærspenning i forhold til skjærhastighet, slik at det kan plottes i en flow curve.



Figur 17 - Bingham modell

Statisk flytegrense: Minimum spenning som må til for å få flyt i massen når den har vært i ro (relatert til synk, høy flytegrense = lav synk)

Dynamisk flytegrense: Minste spenning som kreves for å holde vedlike flyt i massen når den tiksotropiske strukturen er brutt ned

Plastisk viskositet: Endring av skjærspenning per endring av skjærhastighet, over flytegrensen, altså hvor stor endring av spenning som kreves når man endrer hastighet. [8]

Tiksotropi: Tidsavhengig reduksjon av viskositet i et materiale som blir påført skjærkraft.

Etter at materiale har vært i ro en viss periode vil det oppnå en geleaktig konsistens. Det er dette som kalles tiksotropi og det vil brytes ved omrøring. [9]

Betongens reologiske egenskaper

Rheometeret bruker en visp med bestemte mål, hvor høyde og diameter er 125 mm. Den blir plassert i midten av beholderen og registrerer torsjons kraften som kreves for å holde vispen i rotasjon med en gitt hastighet. Beholderen har riller i plast langs kanten/siden som forhindrer at massen glir rundt. Volumet/størrelsen til beholderen er avhengig av maks diameter i tilslaget som blir brukt. Mellomrommet mellom rillene og vispen skal minst være fire ganger større enn maks diameter i tilslaget. [8]

Det første man gjør før testing er å velge hvor man skal lagre filen, oppe til venstre i programmet. Etter man har gjort det bør man gi filen et navn som man kan huske/slå opp. Dette er spesielt viktig dersom man skal gjøre en rekke eksperimenter/testing, da det er umulig å holde styr på alle filene, hvilke som er hva.

Det neste man sjekker er under "geometry", hvor parametrene er forhåndsinnstilte til de mest brukte verdiene. Det eneste man bytter på her er beholderens radius, ettersom den kan variere avhengig av diameteren på tilslaget. Sørg for at rheometeret faktisk viser 0 Nm når det ikke er noe torsjon som virker på vispen. For å gjøre dette må rheometeret være satt opp slik at ingenting kommer borti vispen under rotasjon. Deretter trykker vi på "Reset" knappen og venter til den stopper å spinne. Dette skal gjøres på starten av dagen og mellom hver gang vi tester en ny resept.

Det blir gjort to forskjellige tester ved hvert tidsintervall, det er en såkalt "Stress Growth Test" (SGT) og en "Flow Curve Test" (FCT). SGT måler den statiske flytegrensen og roterer med den samme lave hastigheten gjennom hele testen. Under FCT testen opererer vispen i forskjellige hastigheter, kan justeres til alt fra 0-0.6 rotasjoner per sekund (rps). Vi får flow curve, bingham parametere, plastisk viskositet og flytegrense fra denne testen. [8]

For SGT skal man sette hastigheten "Test Speed" på 0.025 rps før start. Den kan avsluttes når vi har nådd en maksverdi for torsjon, som vil representere statisk flytegrense.

For FCT er det satt opp "standardverdier" i programvaren for parametrene. De kan justeres, men disse ble bestemt etter at de ble observert som passende verdier for de fleste betongsammensetninger, av produsenten. I starten av FCT har vi en såkalt nedbrytningsfase, hvor vi velger tid "Breakdown Time (s)" og hastighet "Breakdown Speed (rps)". Det eliminerer effekten av tiksotropi i betong massen. Etter nedbrytningen som vanligvis er satt til 20 sekund ved 0.5 rotasjoner per sekund, så begynner selve testingen. Man velger antall punkter den lineære kurven skal tilpasses (standard med 7), hvor lang tid den skal registrere data ved hvert punkt (standard 5 s), starthastigheten (0.5 rps) og

Betongens reologiske egenskaper

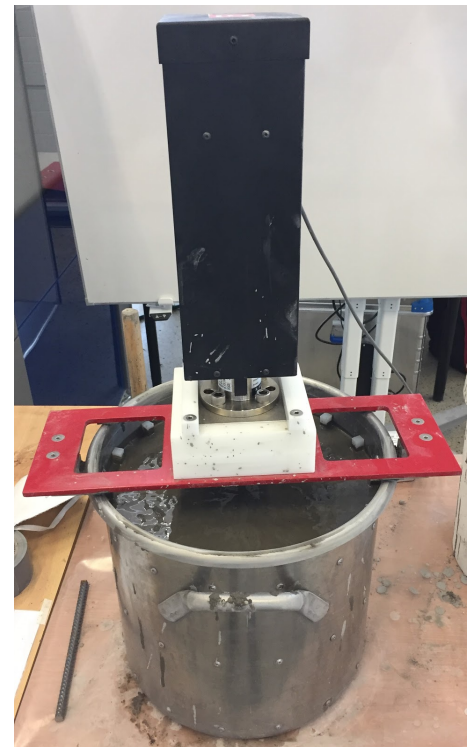
slutthastighet (0.05 rps). Dermed deler den automatisk opp slik at man får en lik endring i omdreiningshastighet mellom hvert punkt for å kunne tilpasse en lineær graf. [8]

Etter at testen er gjennomført får vi ut to sett med parametere under grafen i programmet. Det ene er relative parametere som brukes til å tegne en lineær graf av torsjon (y-aksen) mot rotasjonshastighet (x-aksen). Vi får også en R^2 verdi som forteller hvor god tilnærming den lineære grafen har til de 7 punktene. Desto nærmere R^2 er til 1.0 = bedre tilnærming. Det andre settet er bingham parametere som passer inn i en bingham modell. Man får flytegrense og plastisk viskositet hentet ut i fra dataene som programmet registrerer i løpet av testen. Det blir også gitt en parameter kalt "mse" som er "mean squared error", denne skal være nærmest mulig 0 for best tilnærming.

Etter hver test lages det tekstfiler som inneholder et "sammendrag" med navn, dato/tidspunkt, parametrene, geometrien, registrerte målinger for torsjon og hastighet.

3.4.1 Utførelse av tester

Ved start fylles betong til toppen av rillene i beholderen. Etter kalibrering føres vispen ned uten å presse på den, men man kan gjerne bruke en gummihammer til å dunke på sidene slik at vispen enkelt sklir ned i blandingen. Etter første test lar vi den stå i 10 minutt før vi tester på nytt. Vi kaller denne andre testen for "10 min rørt". Etter at den er gjort, løfter vi opp vispen og bruker et langt skaft til å røre rundt og "mikse" betongen på nytt, for å hindre at det fester seg langs kantene og kun er det i midten som blir testet. Bruker 1-2 min på dette avhengig av hvor tøff konsistens det er og hvordan ting har festet seg i bunn og langs kanten. Deretter føres vispen ned igjen, på samme måte som før, og gjør en ny test som vi kaller "10 min urørt". 20 minutt senere tar vi "30 min rørt". Prosessen etterpå er lik som ved 10 minutt, vi tar ut vispen og mikser om på nytt før vi plasserer den tilbake.



Figur 18 - ICAR Rheometer

3.5 Eksportere ICAR Rheometer data

Flow Curve Test

For å få frem Flow Curve Test for grafene for “Torque vs Time” og “Torque vs Speed” følg de 13 punktene nedenfor.

Punkt 1. Den originale filen må endre filtype. Endre filen fra “csv” (kommadelt) til “xlsx” og lagre som. Åpne så den nye FCT-filen som er lagret i xlsx-formatet.



Figur 19 - Lagre Excel-fil

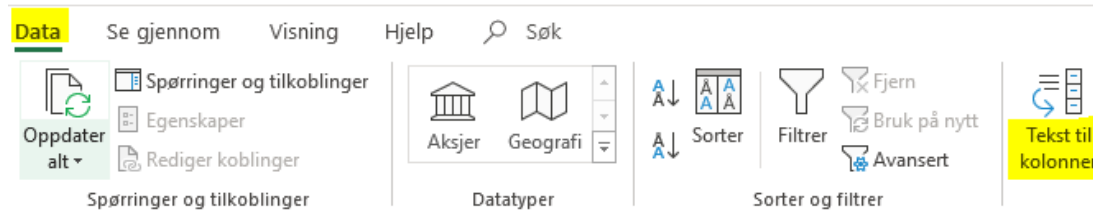
Punkt 2. Marker rute A7 og deretter CTRL+Shift+Down (piltast ned). Denne kommandoen markerer hele kolonnen fra topp til bunn.

Elapsed Time				
	A	B	C	D
1	ICAR Rheometer			
2	Original File Name: C:\Users\ICAR Rheometer\Desktc			
3	Date: 3/30/2019			
4	Time: 3:51:56 AM			
5	Test Type: Flow Curve			
6				
7	Elapsed Time	Step	Target Speed	Actual SpeedTorque
8	0.3000000.00	00000.5000000.0800933.652790		
9	0.3500000.00	00000.5000000.2275939.039649		
10	0.4000000.00	00000.5000000.38652814.102646		
11	0.4500000.00	00000.5000000.47300915.386656		
12	0.5000000.00	00000.5000000.48953714.728500		
13	0.5500000.00	00000.5000000.49208312.733484		
14	0.6000000.00	00000.5000000.49333311.069020		
15	0.6500000.00	00000.5000000.4920839.420937		
16	0.7000000.00	00000.5000000.4920837.846772		
17	0.7500000.00	00000.5000000.4946308.100332		
18	0.8000000.00	00000.5000000.4907879.075338		

Figur 20 - Hurtigmarkere kolonner

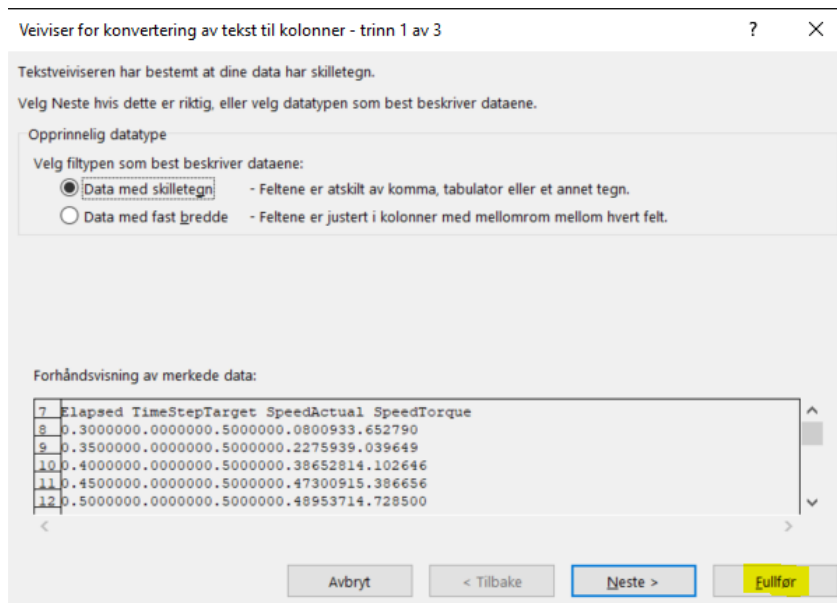
Betongens reologiske egenskaper

Punkt 3. På menylinjen, trykk på “Data” fanen og deretter “Tekst til kolonner”. Markert gult under.



Figur 21 - Tekst til kolonner

Punkt 4. Trykk direkte på “Fullfør”. Viktig at kolonnen fortsatt er markert når punkt 4 utføres.



Figur 22 - Tekst til kolonner avslutning

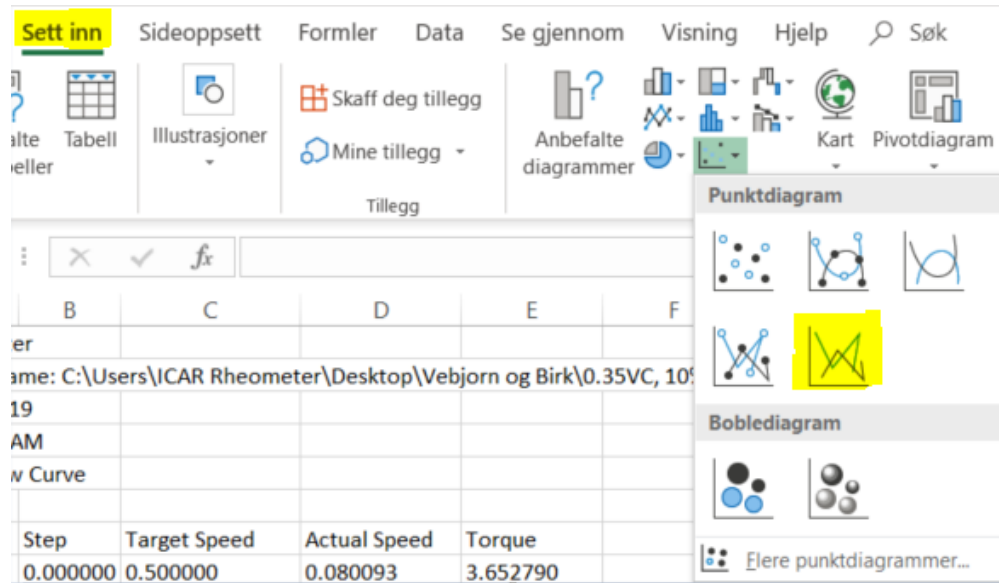
Det er nå dannet fem forskjellige kolonner. Se utklipp av resultat under.

A7	Elapsed Time				
	A	B	C	D	E
1	ICAR Rheometer				
2	Original File Name: C:\Users\ICAR Rheometer\Desktop\Vebjorn og Birk				
3	Date: 3/30/2019				
4	Time: 3:51:56 AM				
5	Test Type: Flow Curve				
6					
7	Elapsed Time	Step	Target Speed	Actual Speed	Torque
8	0.300000	0.000000	0.500000	0.080093	3.652790
9	0.350000	0.000000	0.500000	0.227593	9.039649
10	0.400000	0.000000	0.500000	0.386528	14.102646

Figur 23 - Tekst til kolonner resultat

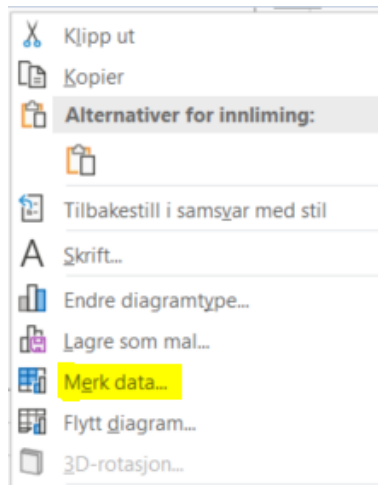
Betongens reologiske egenskaper

Punkt 5. På menylinjen, trykk på “Sett inn” og velg “Punktdiagram med rette linjer”. Som vist under:



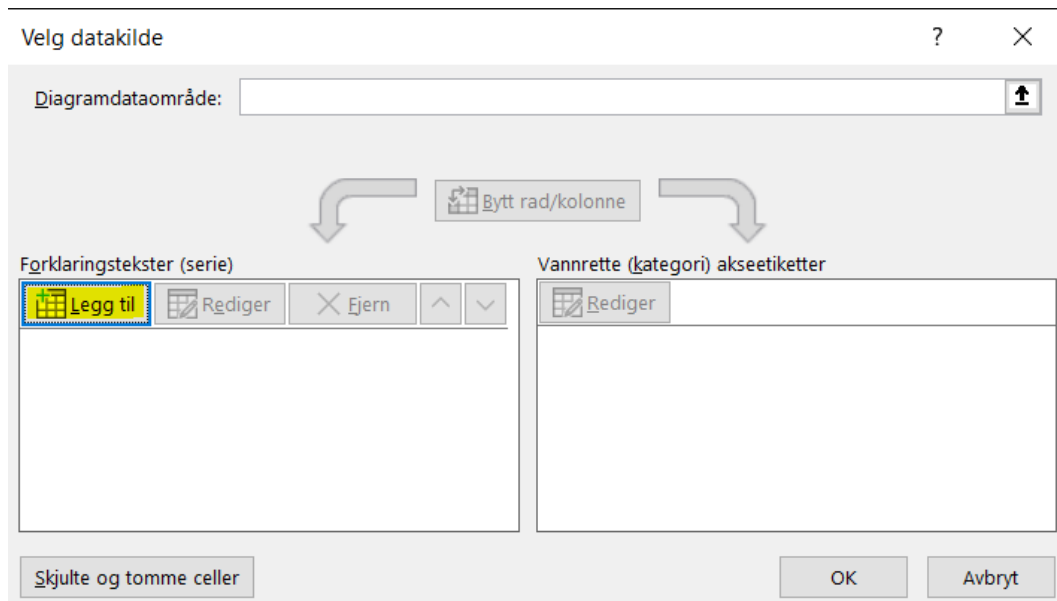
Figur 24 - Punktdiagram med rette linjer

Punkt 6. Høyreklikk på diagrammet og velg “Merk data...” som vist under:



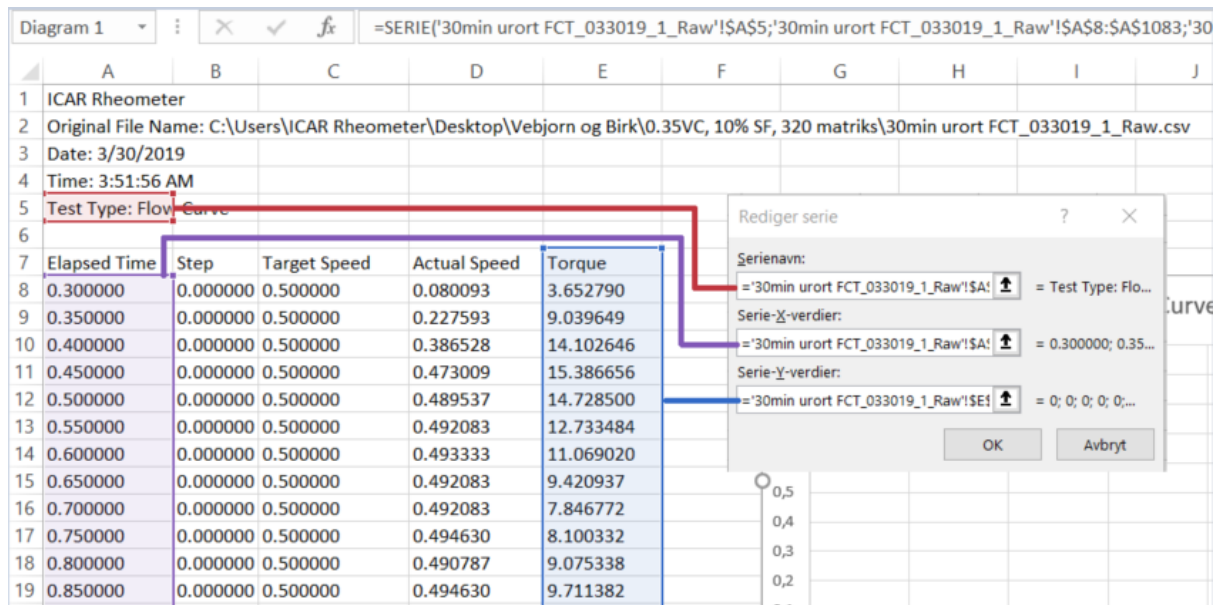
Figur 25 - Merk data

Punkt 7. Ved menyen “Velg datakilde” trykk på “Legg til” som vist under:



Figur 26 - Velg datakilde

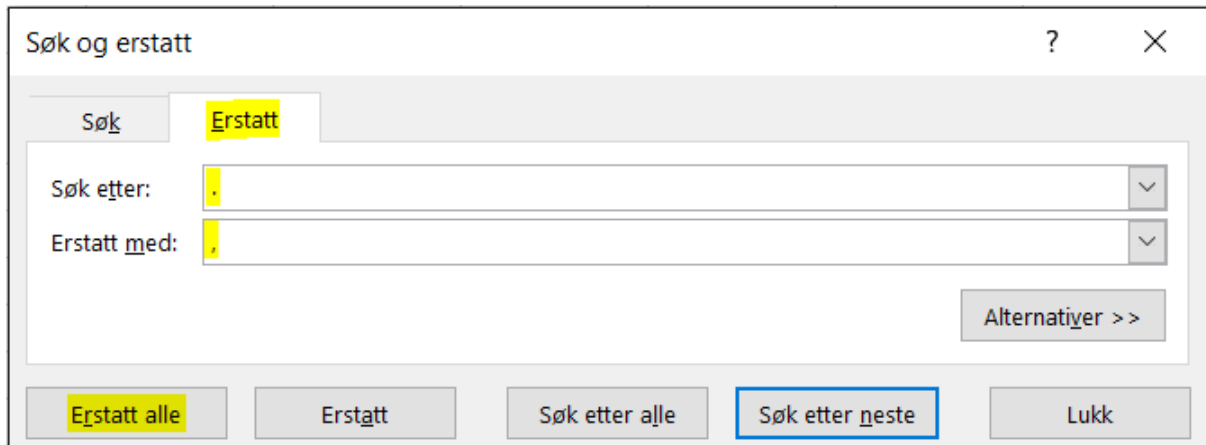
Marker så kolonnene “Elapsed Time” for x-aksen og “Torque” for y-aksen. Det er ikke nødvendig å markere teksten, holder med verdiene. Trykk “OK” i menyen “Rediger serie” og det samme for menyen “Velg datakilde”.



Figur 27 - Rediger serie

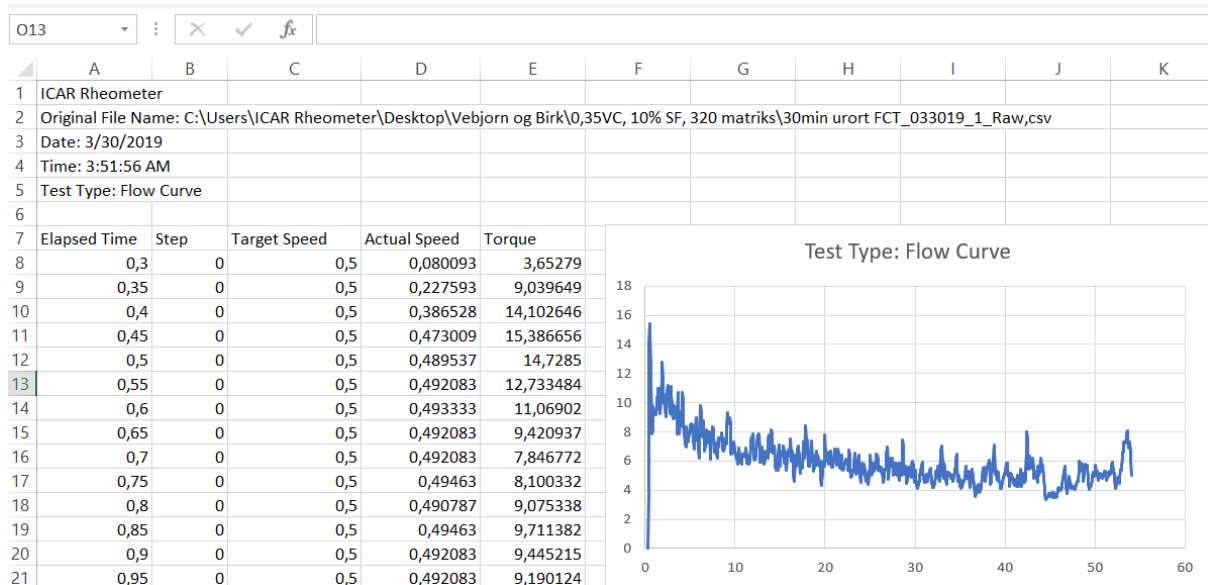
Betongens reologiske egenskaper

Punkt 8. Trykk så på CTRL+B for å åpne “Søk og erstatt”. Under menyen “Søk og erstatt” søk etter [.] punktum og erstatt med [,] komma. Deretter velg “Erstatt alle”.



Figur 28 - Søk og erstatt

Alle punktum er blitt erstattet med komma og første “flow curve” grafen for “Torque vs time” er dannet. Resultatet er vist under.



Figur 29 - Søk og erstatt, resultat

Betongens reologiske egenskaper

Punkt 9. Åpne så FCT dokumentet lagret i .txt-format. Marker og kopier “Flow curve points” og lim inn i excel.

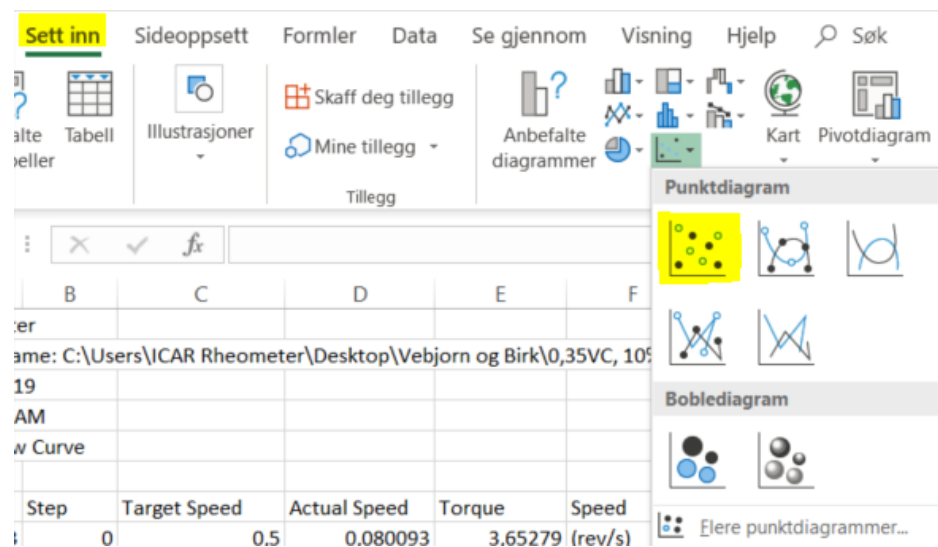
Flow Curve Points		r:\Desktop\Vebjorn og Birk\0,35VC, 10% SF, 320 matriks\30min urc			
Speed (rev/s)	Torque (Nm)	Actual Speed	Torque	Speed (rev/s)	Torque (Nm)
0.501	5.704	0,080093	3,65279	0.501	5.704
0.425	5.505	0,227593	9,039649	0.425	5.505
0.350	5.094	0,386528	14,102646	0.350	5.094
0.275	4.956	0,473009	15,386656	0.275	4.956
0.200	5.174	0,489537	14,7285	0.200	5.174
0.125	4.581	0,492083	12,733484	0.125	4.581
0.050	5.557	0,493333	11,06902	0.050	5.557
		0,492083	9,420937		
		0,492083	7,846772		

Figur 30 - Flow curve points

Figur 31 - Flow curve points, resultat

Her er begge kolonnene gitt med punktum og dette må endres til komma. Gjør første del av Punkt 8. på nytt.

Punkt 10. På menylinjen, trykk på “Sett inn” og velg “Punktdiagram”.



Figur 32 - Punktdiagram

Betongens reologiske egenskaper

Punkt 11. Her er det samme prosedyre som Punkt 6. og Punkt 7. gitt tidligere. Gjenta denne metoden og velg kolonnen “Speed” for x-aksen og “Torque” for y-aksen.

ICAR Rheometer
Original File Name: C:\Users\ICAR Rheometer\Desktop\Vebjorn og Birk\0,35VC, 10% SF, 320 matriks\30mir
Date: 3/30/2019
Time: 3:51:56 AM
Test Type: Flow Curve

Elapsed Time	Step	Target Speed	Actual Speed	Torque	Speed	Torque
					(rev/s)	(Nm)
0,3	0	0,5	0,080093	3,65279		
0,35	0	0,5	0,227593	9,039649	0,501	5,704
				14,102646	0,425	5,505
				15,386656	0,35	5,094
				14,7285	0,275	4,956
				12,733484	0,2	5,174
				11,06902	0,125	4,581
				9,420937	0,05	5,557
				7,846772		
				6,100332		
				9,075338		
				9,711382		
0,9	0	0,5	0,492083	9,445215		
0,95	0	0,5	0,492083	9,190124		
1	0	0,5	0,492083	9,309954		
1,05	0	0,5	0,49463	9,397512		
1,1	0	0,5	0,493333	9,33816		

Figur 33 - Rediger serie, gjentakelse

Punkt 12. Venstreklikk på diagrammet. På menylinjen, trykk på “Utforming” og velg “Legg til diamelement”. Deretter velg “Trendlinje” og bruk “Lineær”. En lineær linje er så dannet mellom de syv punktene gitt i diagrammet.

Excel ribbon: **Utforming**

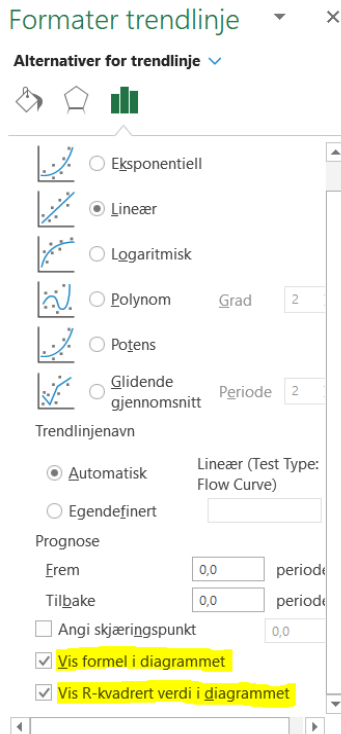
Diagramstiler

Step	Target Speed	Actual Speed	Torque	Speed	Torque
				(rev/s)	(Nm)
93			3,65279		
93			9,039649	0,501	5,704
128			14,102646	0,425	5,505
109			15,386656	0,35	5,094
137			14,7285	0,275	4,956
183			12,733484	0,2	5,174

Figur 34 - Lineær trendlinje

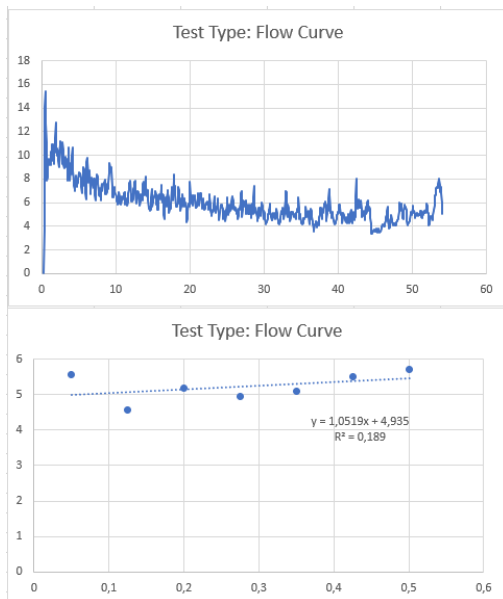
Betongens reologiske egenskaper

Punkt 13. Dobbeltklikk med venstre musetast på den lineære linjen. Under sidemenyen “Formater trendlinje”, kryss av på “Vis formel i diagrammet” og “Vis R-kvadrert verdi i diagrammet”.



Figur 35 - Vis formel/R-kvadrert

Begge grafene for Flow Curve test er nå laget og identiske med programmet ICAR Rheometer. Et eksempel på et resultat er gitt under.

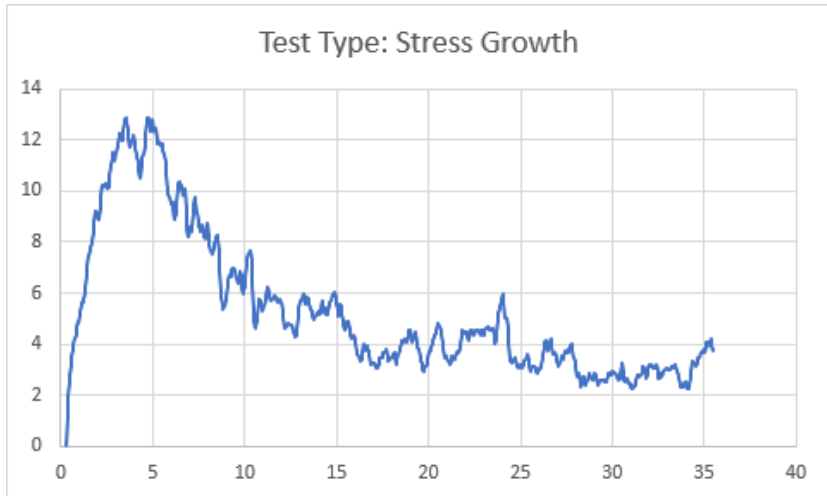


Figur 36 - Flow Curve illustrasjon

Stress Growth Test

For å få frem Stress Growth Test for grafen for "Torque vs Time" følg punkt 14 nedenfor.

Punkt 14. For Stress Growth Test er det nøyaktig samme prosedyre som for Flow Curve Test. For å lage en identisk graf som gitt i ICAR Rheometer følges Punkt 1-8 som for Flow Curve Test. Et eksempel på et resultat er gitt under.



Figur 37 - Stress Growth illustrasjon

4 Prøveplan

Laboratoriearbeidet ble gjennomført for å undersøke hvilken tilleggsinformasjon ICAR Rheometer gir oss sammenlignet med synk test på anleggsområdet. Det ble gjennomført 26 tester men kun 24 av de praktiske forsøkene oppnådde gode nok resultater. De to første ble forkastet. Alle testene ble gjennomført på betonglaboratoriet (Ivar Langens hus) ved Universitetet i Stavanger.

4.1 Plan for testing

Test nr	Betongresept
1	6 % SF, V/C-tall 0.40, 300 l/m ³
2	6 % SF, V/C-tall 0.60, 300 l/m ³
3	6 % SF, V/C-tall 0.35, 300 l/m ³
4	6 % SF, V/C-tall 0.40, 320 l/m ³
5	6 % SF, V/C-tall 0.60, 320 l/m ³
6	6 % SF, V/C-tall 0.35, 320 l/m ³
7	Uten SF, V/C-tall 0.40, 320 l/m ³
8	Uten SF, V/C-tall 0.60, 320 l/m ³
9	Uten SF, V/C-tall 0.35, 320 l/m ³
10	10% SF, V/C-tall 0.40, 320 l/m ³
11	10% SF, V/C-tall 0.60, 320 l/m ³
12	10% SF, V/C-tall 0.35, 320 l/m ³
13	Uten SF, V/C-tall 0.40, 300 l/m ³
14	Uten SF, V/C-tall 0.60, 300 l/m ³
15	Uten SF, V/C-tall 0.35, 300 l/m ³
16	10% SF, V/C-tall 0.40, 300 l/m ³
17	10% SF, V/C-tall 0.60, 300 l/m ³
18	10% SF, V/C-tall 0.35, 300 l/m ³
19	6 % SF, V/C-tall 0.40, 340 l/m ³
20	6 % SF, V/C-tall 0.60, 340 l/m ³
21	6 % SF, V/C-tall 0.35, 340 l/m ³
22	6 % SF, V/C-tall 0.60, 320 l/m ³ , 1% SP
23	6 % SF, V/C-tall 0.40, 320 l/m ³ , tilpasset SP stoff - oppnå lik synk som V/C 0.60
24	6 % SF, V/C-tall 0.35, 320 l/m ³ , tilpasset SP stoff - oppnå lik synk som V/C 0.60

Tabell 2 - Testrekkefølge betongresepter

Betongens reologiske egenskaper

I denne oppgaven fokuseres det på plastiserende/superplastiserende tilsetningsstoffer og deres egenskaper da antall tester er begrenset og det er desidert mest brukt av alle tilsetningsstoffer.

SP stoff reduserer flytmotstand og blir brukt til:

- Øke støpelighet uten å øke matriksvolum
- Redusere matriksvolum ved å redusere flyt motstanden i matriksen slik at man minsker sement innholdet uten å senke støpeligheten [1]

Valgte 1 % av bindemiddelet til å være superplastiserende, for alle reseptene. Dette var for å oppnå en synk på minst 75 mm ved 0 min. Dette oppnådde vi for alle utenom for 10% SF (Silikastøv), 0.35 og 0.40 VC med 300 matriksvolum. Vi hadde også to tester før disse 24, som ikke var resepter bestemt av oss, men andre grupper som skulle støpe bjelker. Vi ble enige om dette på forhånd og målet var å bli litt kjent med maskinen før vi skulle gjøre de "skikkelige" testene.

4.2 Referanse blanding

Betong som skal brukes i ICAR Rheometer må ha et synkmål på mer enn 50-75mm. Oppfyller ikke blandingen dette kravet vil betongen være for stiv og dermed "kutter" betongen slik at vispen får en stiv masse mellom bladene, den blir som en sylinder som spinner rundt mens betongen rundt blir skilt fra vispen hver gang den faller tilbake etter avkutting. Laboratoriearbeidet tar kun for seg fersk betong, så det er ikke tatt spesielle hensyn til herdet betong eller hvor tett en armering er plassert.

Referanse Blandingen ble bestemt til å være med 6% SF og matriksvolum 320, ettersom denne er mulig å sammenligne med alle de andre testene. Blandingen er en ordinær konstruksjonsbetong (OKB) med tre forskjellige V/C-tall. Sammensetningen gitt under:

Materialer	Resept [kg/m ³] (V/C-tall 0,35)	Resept [kg/m ³] (V/C-tall 0,40)	Resept [kg/m ³] (V/C-tall 0,40)
Norcem Anlegg FA	377,7	350,8	273,1
Elkem Microsilika	24,1	22,4	17,4
Fritt vann	157,5	167,2	195,3
Absorbent vann	13,8	13,8	13,8
Årdal 0-8mm	918,7	918,7	918,7
Årdal 8-16mm	923,3	923,3	923,3
Mapei Dynamon SX-N	4,0	3,7	2,9

Tabell 3 - Referanseblanding

4.3 Betongresepter

Matriksvolum: 300 l/m³

Tabell 4 viser ni ulike resepter for matriksvolum 300 l/m³. Her er det tre ulike V/C-tall, 0,35, 0,40 og 0,60. Hvert V/C-tall testes for 0 %, 6 % og 10 % silikastøv. Dette gir totalt ni ulike betongresepter presentert i hver sin kolonne. Radene beskriver hva slags materiale som betongen inneholder og mengden er oppgitt i kilogram per kubikk.

Resept [kg/m³]

V/C tall	0,35	0,40	0,60	0,35	0,40	0,60	0,35	0,40	0,60
Silika [%]	0	0	0	6	6	6	10	10	10
Norcem Anlegg FA	400,4	373,1	293,0	351,0	326,0	253,8	321,6	298,2	230,9
Elkem Microsilika	0	0	0	22,4	20,8	16,2	35,7	33,1	25,7
Fritt vann	140,1	149,2	175,8	146,4	155,4	181,5	150,1	159,0	184,8
Absorbert vann	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2
Årdal 0-8mm	946,6	946,6	946,6	946,6	946,6	946,6	946,6	946,6	946,6
Årdal 8-16mm	951,3	951,3	951,3	951,3	951,3	951,3	951,3	951,3	951,3
Mapei Dynamon SX-N	4,0 (1%*)	3,7 (1%*)	2,9 (1%*)	3,7 (1%*)	3,5 (1%*)	2,7 (1%*)	3,6 (1%*)	3,3 (1%*)	2,6 (1%*)

* prosent av bindemiddel

Tabell 4 - Matriksvolum 300 l/m³

Betongens reologiske egenskaper

Matriksvolum: 320 l/m³

Tabell 5 viser ni ulike resepter for matriksvolum 320 l/m³. Her er det tre ulike V/C-tall, 0,35, 0,40 og 0,60. Hvert V/C-tall testes for 0 %, 6 % og 10 % silikastøv. Dette gir totalt ni ulike betongresepter presentert i hver sin kolonne. Radene beskriver hva slags materiale som betongen inneholder og mengden er oppgitt i kilogram per kubikk.

Resept [kg/m³]

V/C tall	0,35	0,40	0,60	0,35	0,40	0,60	0,35	0,40	0,60
Silika [%]	0	0	0	6	6	6	10	10	10
Norcem Anlegg FA	430,9	401,5	315,3	377,7	350,8	273,1	346,0	320,9	248,5
Elkem Microsilika	0	0	0	24,1	22,4	17,4	38,4	35,7	27,6
Fritt vann	150,8	160,6	189,2	157,5	167,2	195,3	161,5	171,1	198,8
Absorbent vann	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8
Årdal 0-8mm	918,7	918,7	918,7	918,7	918,7	918,7	918,7	918,7	918,7
Årdal 8-16mm	923,3	923,3	923,3	923,3	923,3	923,3	923,3	923,3	923,9
Mapei Dynamon SX-N	4,3 (1%*)	4,0 (1%*)	3,2 (1%*)	4,0 (1%*)	3,7 (1%*)	2,9 (1%*)	3,8 (1%*)	3,6 (1%*)	2,8 (1%*)

* prosent av bindemiddel

Tabell 5 - Matriksvolum 320 l/m³

Betongens reologiske egenskaper

Matriksvolum: 340 l/m³

Tabell 6 viser tre ulike resepter for matriksvolum 340 l/m³. Her er det tre ulike V/C-tall, 0.35, 0.40 og 0.60. Hvert V/C-tall testes for 6 % silikastøv. Dette gir totalt tre ulike betongresepter presentert i hver sin kolonne. Radene beskriver hva slags materiale som betongen inneholder og mengden er oppgitt i kilogram per kubikk.

Resept [kg/m³]

V/C tall	0,35	0,40	0,60	0,35	0,40	0,60	0,35	0,40	0,60
Silika [%]	0	0	0	6	6	6	10	10	10
Norcem Anlegg FA				404,4	375,7	292,5			
Elkem Microsilika				25,8	24,0	18,7			
Fritt vann				168,6	179,0	209,1			
Absorbent vann				13,4	13,4	13,4			
Årdal 0-8mm				890,9	890,9	890,9			
Årdal 8-16mm				895,3	895,3	895,3			
Mapei Dynamon SX-N				4,3 (1%*)	4,0 (1%*)	3,1 (1%*)			

* prosent av bindemiddel

Tabell 6 - Matriksvolum 340 l/m³

Betongens reologiske egenskaper

Matriksvolum: 320 l/m³ tilpasset SP

Tabell 7 viser tre ulike resepter for matriksvolum 320 l/m³, tilpasset SP. Her er det tre ulike V/C-tall, 0.35, 0.40 og 0.60. Hvert V/C-tall testes for 6 % silikastøv. Dette gir totalt tre ulike betongresepter presentert i hver sin kolonne. Radene beskriver hva slags materiale som betongen inneholder og mengden er oppgitt i kilogram per kubikk.

Resept [kg/m³]

V/C tall	0,35	0,40	0,60	0,35	0,40	0,60	0,35	0,40	0,60
Silika [%]	0	0	0	6	6	6	10	10	10
Norcem Anlegg FA				377,7	350,8	273,1			
Elkem Microsilika				24,1	22,4	17,4			
Fritt vann				157,5	167,2	195,3			
Absorbent vann				13,8	13,8	13,8			
Årdal 0-8mm				918,7	918,7	918,7			
Årdal 8-16mm				923,3	923,3	923,3			
Mapei Dynamon SX-N				4,7 (1,16%*)	4,0 (1,08%*)	2,9 (1%*)			

* prosent av bindemiddel

Tabell 7 - Matriksvolum 320 l/m³, tilpasset SP

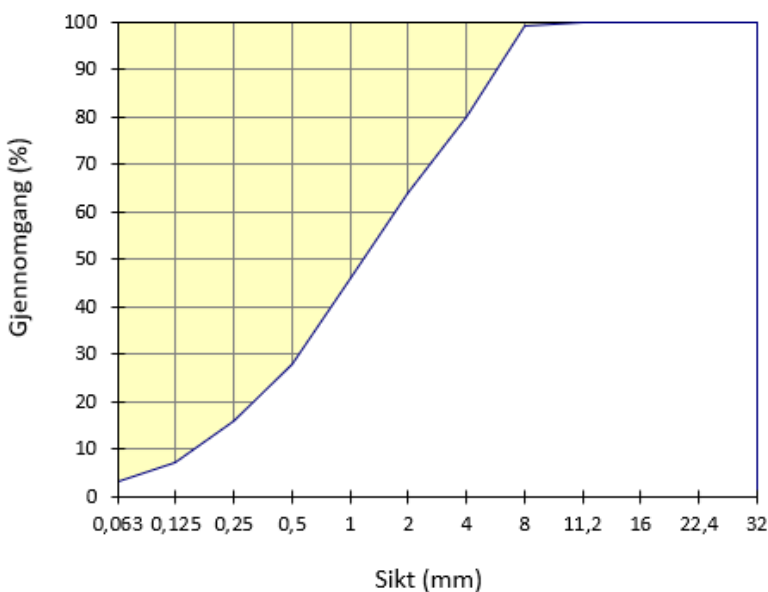
4.4 Siktekurver

Vi valgte å bruke tilslag fra Årdal som er naturlig, dermed har både sand og grus (grovt og fint tilslag) en rundere form. Sikte kurvene fra det fine tilslaget 0-8 mm (sand) og det grove tilslaget 8-16mm (grus) kan sees under:

Type:	Årdal 0/8 mm nat. vask.
Dato:	01.10.2018
FM =	3,14

Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)	Gjennomgang (%)
	1	2		
32	0	0	0,0	100,0
22,4	0	0	0,0	100,0
16	0	0	0,0	100,0
11,2	0	0	0,0	100,0
8	1	1	1,0	99,0
4	20	20	20,0	80,0
2	36	36	36,0	64,0
1	54	54	54,0	46,0
0,5	72	72	72,0	28,0
0,25	84	84	84,0	16,0
0,125	93,0	93,0	93,0	7,0
0,063	97,0	97,0	97,0	3,0
Bunn	100	100		

Tabell 8 - Siktekurve for 0-8 mm Årdal



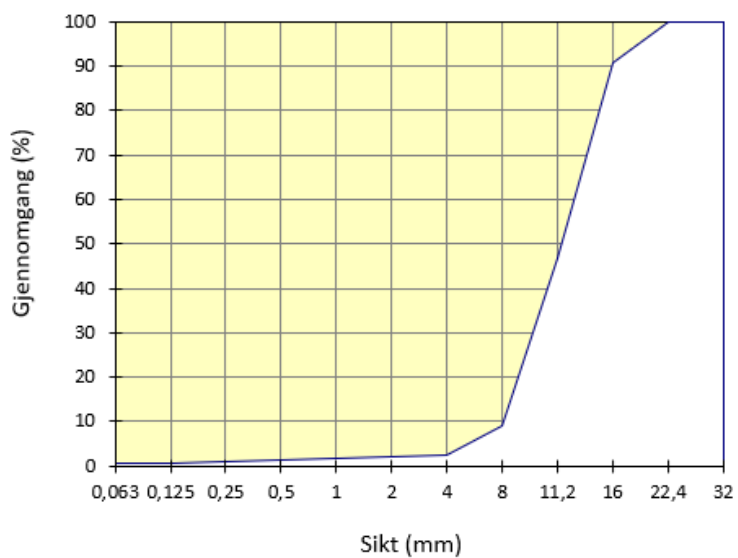
Figur 38 - Siktekurve for 0-8 mm Årdal

Betongens reologiske egenskaper

Type:	Årdal 8/16mm
Dato:	01.10.2018
FM =	6,42

Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)	Gjennomgang (%)
	1	2		
32	0	0	0,0	100,0
22,4	0	0	0,0	100,0
16	9,2	9,2	9,2	90,8
11,2	53,1	53,1	53,1	46,9
8	91,1	91,1	91,1	8,9
4	98	98	97,7	2,3
2	98	98	98,0	2,0
1	98	98	98,3	1,7
0,5	99	99	98,7	1,3
0,25	99	99	99,1	0,9
0,125	99	99	99,4	0,6
0,063	100	100	99,6	0,4
Bunn	100	100		

Tabell 9 - Siktekurve for 0-8 mm Årdal



Figur 39 - Siktekurve for 8-16 mm Årdal

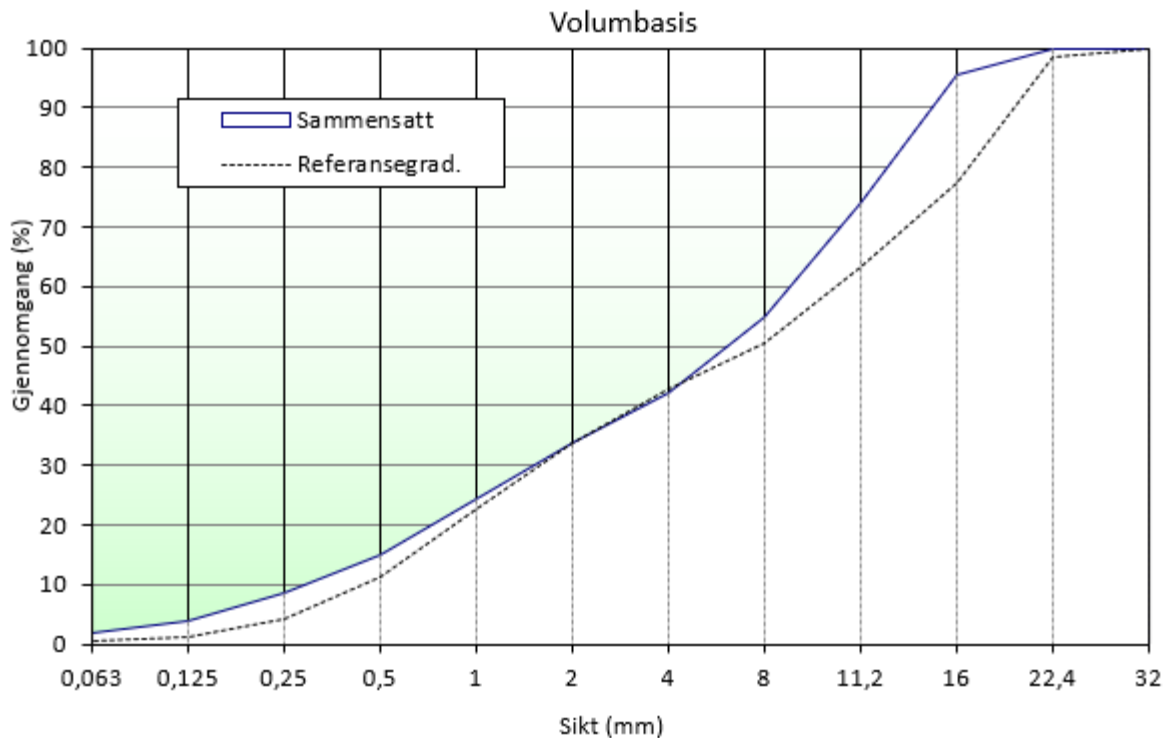
Betongens reologiske egenskaper

For å oppnå en betongblanding som har minst mulig tomrom og mest mulig homogen ønsker man at det er en jevn fordeling av kornstørrelse. Det kan man sjekke ved å se på siktekurven til det sammensatte tilslaget:

Sammensatt tilslag

Åpning	Gjennomgang		Ref. grad. [vol. %]	Vekt ved tilpasning
	vol. [%]	vekt [%]		
32	100,0	100,0	100,0	1
22,4	100,0	100,0	98,6	1
16	95,5	95,5	77,3	1
11,2	74,0	74,0	63,2	1
8	55,0	54,9	50,5	1
4	42,0	41,9	42,9	1
2	33,7	33,6	33,6	1
1	24,3	24,3	22,7	2
0,5	14,9	14,9	11,2	2
0,25	8,6	8,6	4,2	2
0,125	3,9	3,9	1,3	2
0,063	1,7	1,7	0,7	2

Tabell 10 - S sammensatt tilslag



Figur 40 - Siktekurve for sammensatt tilslag

5 Resultater og drøfting

I dette kapittelet presenterer vi resultatene fra de ulike testene gitt i tabeller og sammenligner med grafer i vedleggene. Samtidig diskuterer vi påliteligheten til verdiene og eventuelle feilkilder.

Sammenligner hvordan grafene ser ut før og etter manuell omrøring gjort av oss, "rørt" og "urørt".

Vi hadde ingen faste rutiner for rekkefølgen vi tilsatte materialene i starten av laboratoriearbeidet. Vi stoppet heller ikke mikseren for å grave opp langs kantene i bunnen, hvor det hang seg mye tørt materiale, som dermed ble liggende ubrukt. Dette er variabler som er med på å bidra til at det oppstår en viss usikkerhet i målingene som blir gjort i begynnelsen, spesielt når man kun har en verdi man refererer til og ikke et snitt av flere. Når man har et gjennomsnitt kan man velge å se bort ifra en ekstremalverdi som er utenom det vanlige, men med kun 1 verdi vet man ikke om verdien skiller seg ut.

En annen mulig feilkilde er metoden for synk test. Vi stampet etter hver tredjedel var fylt, men vi helte kun betongen fra en side ved de første testene, slik at det samlet seg mer av de store "tyngre" partiklene langs den ene kanten. Dermed ble det noen ganger stående igjen et skjevt tårn etter testing. Måling av luft ble gjort på hver enkelt test men ettersom det kun ble foretatt en test per blanding er sikkerhet noe svak som nevnt. En annen feilkilde med tanke på luft målinger er størknet betong i beholderne, ettersom det var flere som brukte disse. Vi rengjorde den ene så godt vi kunne, men det var enkelte tilfeller av væske som piplet ut fra kanten. Vi brukte standard prosedyre ved fylling og passet alltid på å holde toppen som var i kontakt med gummien, ren.

5.1 Luftinnhold, synk og utbredelse

5.1.1 - 300 matriksvolum

Grafene til synk og utbredelse for 300 matriksvolum 0% SF (Silikastøv) finner man i vedlegg under [9.3.1](#). Det forventes at høyere V/C-tall skal gi høyere synk og utbredelse, samt bli mindre ettersom tiden går. Vi forventer lavere synk for samme blanding på 30 min enn på 0 min. Alle tester har som nevnt en konstant mengde på 1 % SP stoff, av total bindemiddelmengde.

Matriksvolum		300	300	300	300	300	300	300	300	
V/C tall		0,35	0,40	0,60	0,35	0,40	0,60	0,35	0,40	0,60
Silika %		0	0	0	6	6	6	10	10	10
Luftinnhold [%]		1,1	1,0	0,7	2,1	2,0	0,1	3,0	2,2	2,4
0 min	(synk) [mm]	180	165	220	150	165	210	30	35	180
0 min	(utbredelse) [mm]	375	365	575	230	300	505	200	210	415
10 min	(synk) [mm]	115	145	185	55	160	205	15	70	170
10 min	(utbredelse) [mm]	370	370	440	205	270	500	210	220	385
30 min	(synk) [mm]	25	175	180	45	165	200	12	75	165
30 min	(utbredelse) [mm]	200	390	375	205	280	420	210	220	370

Tabell 11 - Matriksvolum 300l/m³, synk/utbredelse resultat

Ut fra tabellen ovenfor og grafene i vedlegget kan vi lese av nokså gode tilnærminger. 0.60 V/C har høyere synk enn 0.40 og 0.35 V/C, samtidig som verdien blir lavere for 10 og 30 minutt. 0.40 V/C stiger litt både for synk og utbredelse mellom 10 og 30 minutters målingen. 0.35 VC får derimot mye lavere synk og utbredelses verdier ved 30 minutt. Det kan være at synk testen ikke var optimal da rutinene ikke var helt fastsatt enda. Dette var blant de første testene som vi gjennomførte og vi byttet da på hvem som tok synk testen. Men det er vanskelig å kommentere grunnen til dette da det ofte er et sammensatt problem og vi helst skulle sett at det var flere tester av hver blanding for mer pålitelig resultat.

For 300 matriks 6% og 10% SF (vedlegg [9.3.2](#) og [9.3.3](#)) er utbredelse og synk verdi fra 0 til 10 og 30 minutt relativt jevne bortsett fra et fall i synk for 0.35 V/C mellom 0 og 10 min. Ellers har V/C 0.60 høyest synk og utbredelse for alle målinger, etterfulgt av V/C 0.40 som er et tegn på gode målinger opp mot teorien.

Betongens reologiske egenskaper

Man kan se effekten av silika på både synk og utbredelses verdiene (Synkmål for V/C-tall 0.35, sammenligning av SF - [9.4.1](#)). Det er generelt sett lavere verdier for testene med høyere silikainnhold og samme V/C-tall. Det gjelder fra 0 til 30 min.

Noe annet som ble sjekket var effekten av matriksvolum, da det ikke er en enkelt endring. Det består av vann, tilsetningsstoffer og alle solide partikler under 0.125 mm som sement, silika, flyveaske, slagg og de minste partiklene i tilslaget. Samtidig som vi endrer matriksvolumet ser vi på forskjellig innhold av silika og V/C-tall for samme matriksvolum, slik at det er veldig innviklet å tolke uforutsette forandringer.

Som vi kan se fra [9.5.1](#) - 0% SF, 0.35 V/C - kurven for 320 liter matriksvolum holder seg jevnt over 300 liter for synk verdi. Går vi over til [9.5.2](#) ved 0% SF og 0.40 VC kan vi se at både synk og utbredelse for 320 er et stykke over verdiene for 300 matriksvolum. For [9.5.3](#) SF 0% og V/C 0.60 fikk vi problemer med begge blandingene da de ble separert og vi fikk bleeding. Luftmålingen gikk ikke som planlagt, vi prøvde 3 ganger med forskjellig mengde, vasket kanten osv, men fikk den ikke til å bli tett. Det førte til at tidsbruken ble feil og testene forskjøvet, dermed valgte vi å droppe videre testing da resultatene ville vært for unøyaktige.

300 matriksvolum fikk som forventet lavest synk og utbredelse for stort sett alle testene. Den har minst matriksvolum og derfor størst friksjon mellom tilslaget. 320 matriksvolum fikk større synk og utbredelse enn både 300 og 340 ved V/C 0.35 ([9.5.4](#)). Ved 0.40 V/C ([9.5.5](#)) jevnet det seg litt mer ut, men på V/C 0.60 ([9.5.6](#)) fikk 340 matriksvolum mye større utbredelse og synk enn de foregående. Dette må skyldes vannmengde i forhold til mengde finstoff. Altså matriksen som er den flytende komponenten i blandingen hadde en stivere konsistens for 340 ved 0.35 og 0.40 V/C enn tilsvarende V/C tall for matriksvolum 320, slik at den fikk lavere støpelighet. Dette til tross for større matriksvolum og dermed større avstand mellom tilslaget, altså redusert friksjon mellom de større partiklene, så er synk verdien lavere for 340 enn både 320 og 320 tilpasset. Ser man på bingham verdiene fra rheometeret ([5.2.5](#) - 320 , [5.2.7](#) - 320 tilpasset og [5.2.8](#) - 340) og sammenligner disse, har også 320 og 320 tilpasset høyere flyte skjærspenning enn 340. Det henger sammen med synk verdiene og bekrefter derfor dette.

5.1.2 - 320 matriksvolum

Grafene til synk og utbredelse for 320 matriksvolum, finner man i vedlegg under [9.3.4](#) - 0% SF, [9.3.5](#) - 6% SF, [9.3.6](#) 10% SF.

Matriksvolum		320	320	320	320	320	320	320	320	
V/C tall		0,35	0,40	0,60	0,35	0,40	0,60	0,35	0,40	0,60
Silika %		0	0	0	6	6	6	10	10	10
Luftinnhold [%]		1,6	2,4	0,1	2,9	1,5	0,9	4,8	2,2	1,2
0 min	(synk) [mm]	220	220	210	200	165	205	85	220	210
0 min	(utbredelse) [mm]	540	510	540	380	315	515	220	425	545
10 min	(synk) [mm]	165	225	205	190	185	200	40	195	200
10 min	(utbredelse) [mm]	310	505	445	360	320	480	200	385	470
30 min	(synk) [mm]	55	220	-	175	180	180	25	180	180
30 min	(utbredelse) [mm]	200	450	-	360	330	420	200	345	430

Tabell 12 - Matriksvolum 320/m³,
synk/utbredelse resultat

Som nevnt tidligere fikk vi problemer med 0.60 V/C 0% SF, luftmålingene gikk ikke som de skulle og dermed brukte vi for lang tid før synk og rheometer testene ved 10 min ble gjennomført. Dermed valgte vi å avslutte forsøket, ettersom verdiene ville vært unøyaktige/feil. Ellers kan vi se at 0.40 V/C holder seg over tilsvarende betong med V/C 0.35 for både synk og utbredelse gjennom testløpet, med unntak fra startverdien til utbredelsen. Det skyldes mest sannsynlig en mindre nøyaktig synk test, som kunne vært unngått dersom man gjennomfører flere tester av samme blanding. Vi ser også at verdiene synker generelt sett fra 0 til 30 min, som indikerer reduksjon av støpelighet over tid etter at man har mikset betongen.

Synk verdiene til betong med 0.35 V/C henger sammen med verdiene for skjærspenning, som øker fra 96.13 Pa ved 0 min, 234.60 Pa ved 10 min og 377.99 Pa ved 30 min. Synk verdiene som kan leses av fra tabellen eller grafen er 220 mm ved start, 165 mm ved 10 min og 55 mm ved 30 min.

For 6% SF fikk vi gode verdier for 0.35 og 0.60 V/C, men målingen ved start for 0.40 V/C ble noe unøyaktig. Dersom man hadde et gjennomsnitt fra flere målinger ville man kunne målt

Betongens reologiske egenskaper

avviket fra standarden og sett bort i fra ekstreme verdier, som i dette tilfellet. Ellers er trenden fra 0 til 30 minutt bra for både 0.35 og 0.60 V/C, utviklingen er jevn og fin.

Når det gjelder 10% SF så er grafene for 0.40 og 0.60 V/C nesten identiske, hvor begge har en jevn negativ trend ettersom tiden går. 0.35 V/C ligger godt over 100 mm lavere i synk verdi og mer enn 200 mm under i utbredelse. Nok en gang ville et gjennomsnitt av flere verdier gitt en mer representativ fremstilling av resultatene. Ser man på verdiene fra rheometeret så er resultatene mer pålitelige enn synk og utbredelse, pga R^2 og mse. Flyteskjærspenningen til 0.35 V/C og 0.40 V/C stiger jevnt, som stemmer overens med lavere synk verdi.

Sjekker effekten av silika. [9.4.4](#) - 0.35 V/C, viser at 6% SF har høyere synk verdi enn 0% SF på 10 og 30 min målingene. Sjekker man rheometer verdiene ser man at flyte skjærspenningen for 0% SF er 377.99 Pa som er høyere enn 325.20 Pa for 6% SF ved 30 min urørt. Her er nok et eksempel på riktige verdier fra rheometeret men ikke fra synk testen, som nok skyldes menneskelig feil. Verdiene fra 10% SF stemmer for begge, riktig tidsutvikling både for synk verdi og bingham parametere.

For V/C 0.40 - [9.4.5](#) kan vi se en grei representasjon for 0 og 10% SF, mens 6% SF har en dårlig kurve. Tilsvarende verdier til synk har vi fra skjærspenning. Leser man av disse verdiene fra [5.2.5](#) V/C 0.40 ser man utviklingen fra 145.34 Pa - 174.67 Pa - 209.01 Pa.

Men man kan se effekten av silika på både synk og utbredelses verdiene (Synkmål for V/C-tall 0.35, sammenligning av SF - [9.4.1](#)). Det er generelt sett lavere verdier for testene med høyere silikainnhold og samme V/C tall. Det gjelder fra 0 til 30 min.

5.1.3 - 320 matriksvolum, tilpasset SP

Grafene til synk og utbredelse for 320 matriksvolum, 6 % SF med tilpasset mengde superplastiserende stoff finner man i vedlegg under [9.3.7](#). Her er det 1% SP stoff for 0.60 V/C, 1.08 % for 0.40 V/C og 1.16 % for 0.35 V/C. Prosent er oppgitt i forhold til bindemiddelmengde.

Matriksvolum		320	320	320
V/C tall		0,35	0,40	0,60
Silika %		6	6	6
Luftinnhold [%]		0,9	1,0	0,9
0 min	(synk) [mm]	210	220	230
0 min	(utbredelse) [mm]	490	490	550
10 min	(synk) [mm]	195	210	215
10 min	(utbredelse) [mm]	390	380	525
30 min	(synk) [mm]	170	190	200
30 min	(utbredelse) [mm]	350	375	470

Tabell 13 - Matriksvolum 300l/m³ tilpasset SP, synk/utbredelse resultat

Tabell 13 ovenfor, eller i vedlegg 9.3.7, viser veldig gode verdier og riktig trend for alle betongblandingene. Målingene til synk for 0.35, 0.40 og 0.60 V/C starter alle øverst ved 0 min, og reduseres jevnt med tiden 10 og 30 min. 0.60 V/C har også større verdi enn 0.40 V/C ved alle tidspunkt. Samme gjelder 0.40 V/C, som har høyere verdier enn 0.35 V/C for 0, 10 og 30 min. Utbredelsen er nesten like bra. Her er 0.35 og 0.40 V/C litt nærmere hverandre.

Dersom vi sammenligner synkmål med flyte skjærspenning fra rheometeret ser vi at verdiene stemmer overens. For V/C 0.35 har vi flyte skjærspenning 260.73 Pa - 0 min, 327.43 Pa - 10 min, 395.74 Pa - 30 min. For V/C 0.40 har vi 161.40 Pa - 0 min, 166.35 Pa - 10 min, 217.22 Pa - 30 min. Det man observerer her er en jevn økning i skjærspenning likt som vi ser en jevn reduksjon i synkmål. Alt i alt veldig fine resultater.

5.1.4 - 340 matriksvolum

Grafene til synk og utbredelse for 340 matriksvolum med 6 % SF finner man i vedlegg under [9.3.8.](#)

Matriksvolum		340	340	340
V/C tall		0,35	0,40	0,60
Silika %		6	6	6
Luftinnhold [%]		1,1	1,3	0,1
0 min	(synk) [mm]	180	185	210
0 min	(utbredelse) [mm]	360	375	675
10 min	(synk) [mm]	175	175	215
10 min	(utbredelse) [mm]	360	345	535
30 min	(synk) [mm]	125	165	210
30 min	(utbredelse) [mm]	250	320	505

Tabell 14 - Matriksvolum 340l/m³,
synk/utbredelse resultat

Betongblandingene med V/C tall 0.35 og 0.40 har veldig like verdier for synkmål og utbredelse både ved 0 og 10 min. Litt større forskjeller ved 30 minutter. Grunnen til dette er vanskelig å fastslå da det kan skyldes en rekke ulike årsaker, men man kan anta en menneskelig feil. 0.60 V/C har høye verdier for synk og utbredelse og kan kategoriseres som SKB da utbredelsen er 675 mm for 0 min.

5.2 Bingham og relative parametre

5.2.1 - 300 matriksvolum, 0 % SF

Matriks 300						
0 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,35	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	51,69	78,94	0,001	0,332	3,987	1,00
10 rørt	67,16	83,45	0,030	0,488	4,025	0,97
10 urørt	78,31	73,70	0,019	0,508	3,694	0,98
30 rørt	146,67	54,77	0,015	0,780	3,156	0,98
30 urørt	146,60	67,52	0,005	0,808	3,754	0,99

Matriks 300						
0 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,40	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	88,27	52,55	0,238	0,757	1,960	0,74
10 rørt	103,32	63,29	0,027	0,631	3,261	0,97
10 urørt	50,87	78,45	0,337	0,802	2,244	0,57
30 rørt	136,31	41,70	0,007	0,718	2,461	1,00
30 urørt	126,23	39,56	0,012	0,661	2,340	0,99

Matriks 300						
0 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,60	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	0,00	133,81	1,092	1,913	-0,521	0,09
10 rørt	0,00	84,82	1,307	1,239	-0,638	0,16
10 urørt	-	-	-	-	-	-
30 rørt	-	-	-	-	-	-
30 urørt	-	-	-	-	-	-

Tabell 15 - Matriksvolum 300l/m³ 0 % SF, Bingham/relative parametere

For V/C-tall 0,35 ser man at skjærspenningen øker fra 0 til 30 minutter. Dette stemmer overens med grafen i vedlegg 9.3.1 hvor man ser at synk blir mindre fra 0 til 30 minutter. Man ser at den plastiske viskositeten reduseres etter hvert som tiden går. Dette stemmer ikke overens med resultatene fra målt utbredelse i vedlegg 9.3.1. Etter hvert som tiden går vil betongen bli stivere og gi en mindre synkutbredelse. Reduksjonen i plastisk viskositet ser ut til å være relativt lav i forhold til hverandre. En grunn til at den plastiske viskositeten reduseres kan være på grunn av hvordan vispen rører den ferske betongen. Til tider så det ut som det ble liggende et lag med betongmasse på innsiden av vispen. Vispen roterte da som om den var en sylinder og den resterende betongen på utsiden så ikke ut til å falle inn mot den roterende vispen. Rheometeret kan da ha fått en lavere verdi på grunn av mindre motstand enn ved tidligere målinger.

Betongens reologiske egenskaper

For V/C-tall 0.40 ser man også at skjærspenningen øker fra 0 til 30 minutter. Ved 10 minutter urørt ser vi at Mean-Square-Error har en ganske høy verdi og en lav forklaringsgrad R^2 . Vi må derfor se bort i fra denne målingen. Det samme kan man gjøre for Mean-Square-Error for 0 minutt testen. Vi kan se i vedlegg 9.2.1 for 10 minutter urørt at ved rundt 42 sekunder ut i testen øker torsjonsmomentet. Dette skjer når fire eller flere av de store partiklene havner på en rekke og "låser" maskinen i et lite sekund. Maskinen blir da påført ekstra torsjonsmoment og er en grunn til at vi må se bort ifra denne testen som er gjennomført ved 10 minutter urørt betong. Skjærspenningen øker og synk skal da i teorien bli mindre. I vedlegg 9.3.1 ser man at den synker for deretter å stige igjen ved 30 minutter. Ved synkmål for 30 minutter tippet den ferske betongmassen mot en side før den "kollapset". Her er det mulighet for at synk bordet lå for nærme sluket som har en liten helning. Den plastiske viskositeten ser ut til å bli redusert og dette stemmer overens med utbredelsen i vedlegg 9.3.1. Det er vanskelig å verifisere dette når vi sammenligner med hva som skjedde for V/C-tall 0.35. Det må derfor tas flere tester per V/C-tall.

For V/C-tall 0.60 fikk vi gode resultater for synk og utbredelse. For testen med rheometer ble Mean-Square-Error høy og forklaringsgrad R^2 lav, noe som viser at målingen er bra. Tester for 10 minutter urørt og 30 minutter rørt/urørt ble ikke utført, fordi den ferske betongmassen fikk kraftig bleeding. Vispen til rheometeret klarte ikke å synke ned i massen og den skal ikke påføres kraft. Ble en Stress Growth test for 30 minutter rørt, men videre testing var ikke mulig. Disse resultatene finner man i vedlegg 9.2.1.

Hele V/C-tall 0,60 testen må forkastet og ble ikke brukt for videre sammenligning eller beregninger når vi ser på bingham/relative parametere.

5.2.2 - 300 matriksvolum, 6 % SF

Matriks 300						
6 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,35	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	991,27	78,96	0,087	4,426	6,069	0,91
10 rørt	1000,00	46,74	0,092	4,447	3,534	0,93
10 urørt	1000,00	61,63	0,227	4,672	3,950	0,76
30 rørt	1000,00	61,26	0,312	5,154	2,531	0,78
30 urørt	1000,00	122,82	0,091	5,485	6,393	0,99
Matriks 300						
6 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,40	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	493,02	50,98	0,063	2,283	3,659	0,94
10 rørt	532,57	24,66	0,086	2,135	2,501	0,87
10 urørt	-	-	-	-	-	-
30 rørt	405,94	59,41	0,094	2,033	3,713	0,90
30 urørt	-	-	-	-	-	-
Matriks 300						
6 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,60	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	285,85	24,05	0,364	1,466	1,196	0,60
10 rørt	311,00	30,37	0,599	1,848	0,742	0,32
10 urørt	-	-	-	-	-	-
30 rørt	415,70	6,16	0,202	1,594	0,750	0,78
30 urørt	309,20	13,80	0,261	1,350	1,044	0,70

Tabell 16 - Matriksvolum 300l/m³ 6 % SF,
Bingham/relative parametere

For V/C-tall 0,35 ser man at skjærspenningen tangerer for alle testene bortsett fra den første testen. I vedlegg (9.3.2, Synkmål, sammenligning av V/C-tall) ser vi at første synkmål er over 75 mm. Ved 10 minutter og 30 minutter oppfyller ikke synktesten rheometeret sine krav. Ved synkmål lavere enn 75 mm vil ikke maskinen kunne gi nøyaktige målinger og skjærspenningen vil jobbe seg mot 1000 Pa som er grensen. Ved et slikt lavt synkmål vil vispen kutte i den ferske betongmassen og rotere som en sylinder av ferske betong med samme radius som vispen. Den samme massen blir liggende i vispen og resten av betongen rundt vil bli liggende stille. Denne massen vil prøve å presse seg inn mot vispen og øke skjærspenningen. Normalt vil massen rundt rotere med vispen og dermed gi en mindre skjærspenning. Det er derfor viktig at synkmålet er over 75 mm slik at skjærspenningen ikke blir for høy ved testing med rheometeret.

Sammenligning av grafene i vedlegg (9.2.2, Stress growth) viser en økning i toppmoment etter hvert som tiden går. Den ferske betongen setter seg med tiden og blir stivere. Det kreves da et høyere moment for å få betongmassen i gang.

Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0.40 med 6 % silikastøv og 300 i matriksvolum var den første testen vi utførte. Her rørte vi ikke om manuelt mellom hver test og vispen ble stående fra forrige test. Det er derfor ingen resultater for 10 minutter urørt og 30 minutter urørt. Skjærspenningen økte litt fra første til andre test. For deretter å synke igjen ved 30 minutter rørt. Skjærspenningen blir mindre, fordi deler av den ferske betongen er allerede blitt brutt ned fra testen utført ved 10 minutter rørt. Vi konkluderer da med at disse resultatene ikke skal tas med i videre beregninger da vi kun ser på de testene som ikke er blitt påvirket av tidligere tester. Disse kaller vi urørte tester.

For V/C-tall 0.60 fikk vi gode resultater for synktesten. Utbredelsen var ganske høy, men stabil. Synk var veldig stabil og sank med tiden. Men testene utført av rheometeret ga dårlige resultater. Mean-Square-Error ble høy og forklaringsgrad R^2 ble lav. Dette ser vi for eksempel på resultatene vist for skjærspenning og plastisk viskositet. Her er det veldig ujevne verdier. Sammenlignet med synk/utbredelse testene burde disse resultatene være mer jevne. Hadde vi fått sammenlignet 0 minutter, 10 minutter urørt og 30 minutter urørt, hadde det vært lettere å se en sammenheng mellom skjærspenningen og synkmål. 10 minutter urørt testen ble utført og beregnet med rheometeret, men dataene ser ut til å ha blitt nullstilt. Dette ble ikke oppdaget før senere. For å få et nytt resultat for denne tiden må hele testen repeteres og en helt ny fersk betongblanding må testes. Dette ble ikke prioritert pga. dårlige Mean-Square-Error for de andre testene ved V/C-tall 0.60. Det var også stor bleeding, men manuell blanding mellom hver test hjalp mye.

Ikke lett å konkludere noe for denne resepten med ujevne bingham/relative parametere. V/C-tall 0.60 ser ut til å gi dårlige resultater for rheometeret. For å kunne gi en konklusjon for denne blandingen må flere tester utføres med samme resept. Dette gjelder for alle testene.

5.2.3 - 300 matriksvolum, 10 % SF

Matriks 300						
10 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,35	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	1000,00	190,59	0,402	7,457	4,273	0,91
10 rørt	272,51	500,00	0,949	8,939	-0,899	0,39
10 urørt	1000,00	296,20	0,371	8,741	6,438	0,92
30 rørt	1000,00	281,41	0,701	9,386	2,443	0,24
30 urørt	1000,00	416,33	0,472	10,021	8,227	0,54
Matriks 300						
10 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,40	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	591,13	65,12	0,299	3,206	3,082	0,69
10 rørt	624,19	73,61	0,411	3,547	2,961	0,52
10 urørt	783,64	46,14	0,127	3,380	3,802	0,84
30 rørt	783,28	45,64	0,294	3,570	3,090	0,66
30 urørt	725,01	54,08	0,142	3,355	3,765	0,86
Matriks 300						
10 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,60	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	422,95	15,62	0,046	1,563	2,002	0,89
10 rørt	252,04	68,85	0,541	2,024	1,631	0,40
10 urørt	318,42	25,99	0,170	1,510	1,708	0,83
30 rørt	271,82	27,77	0,128	1,320	1,785	0,87
30 urørt	304,07	21,00	0,089	1,264	1,877	0,86

Tabell 17 - Matriksvolum 300/m³ 10 % SF, Bingham/relative parametere

For V/C-tall 0.35 ser man at skjærspenningen når grensen til rheometeret. Ved 10 minutter rørt nås ikke grensen, men Mean-Square-Error blir veldig høy. Her skjedde det samme som for 6 % silikastøv. For 10 % silikastøv er alle synkmålene lavere enn 75 mm som en kan se i vedlegg (9.3.2, Synkmål, sammenligning av V/C-tall). Rheometeres visp kutter den ferske betongen igjen. Det dannes et "sylinder" av betong som har den samme faste betongmassen på innsiden av vispens blader. Dette fører til en enda større motstand på rheometeret, fordi massen på utsiden av bladet kun presser direkte inn på vispen. Massen rundt har ikke nok flyt til å kunne rotere med vispen. Når den ferske betongmassen rundt "sylinderet" ikke er med på å rotere, så får vi en mye høyere skjærspenning.

De eneste positive resultatene fra denne testen er Stress Growth grafene. Ved første test og de to urørte testene ser vi at toppmomentet øker med tiden. Dette ser man på grafene i vedlegg (9.2.3, Stress Growth). Betongen setter seg mer med tiden, og det kreves et høyere moment for å få betongmassen i gang.

Betongens reologiske egenskaper

For V/C-tall 0.40 får man også veldig høye verdier for skjærspenning. Ser man tilbake på synkmål, ser vi at dette er en god forklaring på de høye skjærspenningsverdiene. Her er alle synkmålene under og på grensen til hva rheometeret spesifiserer. Dette fører til at det samme skjer som for V/C-tall 0,35. Rheometeres visp kutter den ferske betongen og danner et "sylinder" av betong. Massen rundt roterer ikke med vispen og dette gir en høyere skjærspenning. Den plastiske viskositeten er 65,12 Pa ved 0 minutter, deretter synker den til 46,14 Pa ved 10 minutter urørt, for så å stige til 54,08 Pa for 30 minutter urørt. Disse verdiene er ganske jevne og det er ikke altfor stor differanse. Her ser vi en sammenheng mellom utbredelsen og den plastiske viskositeten. Utbredelsen går fra å være 210 mm ved 0 minutter, og deretter 220 mm for 10 minutter og 20 minutter.

I vedlegg (9.2.3, Stress Growth) ser vi at toppmomentet øker med tiden. Ved 0 minutter kreves det en kraft på omtrent 26 Nm for å få i gang den ferske betongmassen. Ser man på 10 minutter rørt grafen kan vi ikke lese av toppmomentet. Grafen viser ikke kraften som må til for å få massen i gang. For så deretter hvilken kraft som må til for å holde massen i bevegelse etter at toppmomentet har blitt nådd. Går man videre og ser på 10 minutter urørt ser man at toppmomentet har økt til 35 Nm. Her har vi fått en økning ti minutter etter første test. Dette stemmer da overens med teorien. På 30 minutter rørt får man samme problem igjen. Massen er rørt fra forrige test som er 10 minutter urørt og den ferske betongen er allerede blitt kraftig påvirket. Dette kan vi lese av på grafen til 30 minutter rørt. Neste test er 30 minutter urørt og her får vi en fin graf igjen. Denne grafen viser tydelig kraften som må til for å få betongen i bevegelse og hvilken kraft som kreves for å holde massen i bevegelse. Her ser toppmomentet ut til å være på rundt 37 Nm. Vi ser da en jevn økning fra første test utført ved 0 minutter og fram til 30 minutter urørt. Etter hvert som tiden går blir betongen stivere og det kreves et høyere toppmoment til for å få den ferske betongmassen i bevegelse.

For V/C-tall 0.60 ser man ikke noen sammenheng mellom skjærspenningen og synkmålene. Skjærspenningen ser ut til å synke fra 422,95 Pa og ned til 304,07 Pa. I teorien skal skjærspenningen øke med tiden, samtidig som synkmålet blir mindre. I dette forsøket ser vi at synkmålene holder seg relativt jevne. Det starter på 180 mm, og for så å synke ned mot 170 mm og deretter ned til 165 mm. Ved så høye synkmål og så liten differanse kan man si at dette er veldig like synkmål. Sammenligner man grafene i vedlegg (9.2.3, Stress Growth) for V/C-tall 0.60 ser vi faktisk at toppmomentet synker med tiden. Dette stemmer ikke med teorien, men ser ut til å ha en sammenheng med at flyteskjærspenningen også synker. Den

Betongens reologiske egenskaper

plastiske viskositeten øker fra 15,62 Pa ved 0 minutter til 25,99 Pa ved 10 minutter urørt. Her øker den plastiske viskositeten per tid og vi vil da se en reduksjon i utbredelse fra 0 minutter til 10 minutter. I vedlegg 9.3.3 ser vi at utbredelsen synker fra 415 mm og til 385 mm ti minutter etter første utbredelsestest. Her ser vi en klar sammenheng mellom plastisk viskositet og utbredelse. Fra 10 minutter til 30 minutter utbredelse reduseres utbredelsen med 15 mm. I teorien skal da den plastiske viskositeten bli større enn 25,99 Pa som ble målt for 10 minutter urørt. Rheometeret gir oss en lavere verdi på 21,00 Pa for 30 minutter urørt. Her kan det hende at den manuelle blandingen ikke har vært god nok og den plastiske viskositeten blir så lavere. Differansen mellom 10 minutter urørt og 30 minutter urørt er ikke altfor stor. Så det er mulig å oppnå bedre og mer pålitelige resultater ved å utføre flere like tester. Da burde man se en økning i plastisk viskositet per tid samtidig som en reduksjon i utbredelse. Det samme gjelder for sammenhengen mellom skjærspenning og synkmål.

5.2.4 - 320 matriksvolum, 0 % SF

Matriks 320						
0 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,35	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	96,13	132,17	0,016	0,641	6,583	0,98
10 rørt	211,43	129,82	0,011	1,302	6,688	0,99
10 urørt	234,60	170,89	0,004	1,428	8,844	1,00
30 rørt	329,01	143,95	0,024	1,951	7,607	0,98
30 urørt	377,99	160,33	0,034	2,292	8,316	0,98
Matriks 320						
0 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,40	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	107,91	89,72	0,011	0,643	4,659	0,98
10 rørt	74,32	104,57	0,006	0,456	5,332	0,99
10 urørt	77,93	118,85	0,005	0,492	6,018	0,99
30 rørt	135,85	84,75	0,021	0,773	4,529	0,97
30 urørt	141,44	94,42	0,050	0,847	4,875	0,93
Matriks 320						
0 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,60	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	653,59	31,70	0,438	3,108	1,578	0,50
10 rørt	-	-	-	-	-	-
10 urørt	-	-	-	-	-	-
30 rørt	548,44	24,86	0,184	2,351	2,051	0,80
30 urørt	-	-	-	-	-	-

Tabell 18 - Matriksvolum 320l/m³ 0 % SF,
Bingham/relative parametere

For V/C-tall 0.35 øker skjærspenningen kraftig med tiden. Dette gjenspeiles i synkmålene gitt i vedlegg 9.3.4. Ved 0 minutter har vi et synkmål på 220 mm. Etter ti minutter har flyteskjærspenningen blitt mer enn doblet og synkmålet går ned til 165 mm. Fra 10 minutter urørt og fram til 30 minutter urørt øker flyteskjærspenningen enda mer. Dette stemmer godt med synkmål resultatet. Her går synkmålet fra 165 mm ved 10 minutter urørt helt ned til 55 mm ved 30 minutter urørt. Mean-Square-Error og forklaringsgrad R² gir også veldig gode tall. Sammenligner vi grafene i vedlegg (9.2.4, Stress Growth) ser vi at toppmomentet øker, men liten differanse mellom de ulike tidene. V/C-tall 0,35 ga veldig klare sammenhenger mellom skjærspenning/synkmål og plastisk viskositet/utbredelse.

For V/C-tall 0.40 har man veldig gode tall for Mean-Square-Error og forklaringsgrad R². Skjærspenningen synker fra 107,91 Pa ved 0 minutter og ned til 77,93 Pa ved 10 minutter urørt. I vedlegg (9.3.4, Synkmål, sammenligning av V/C-tall) ser man at synkmålet er helt likt ved 0 minutter, 10 minutter urørt og 30 minutter urørt. Fra 10 minutter urørt og fram til 30

Betongens reologiske egenskaper

minutter urørt øker skjærspenningen til 141,44 Pa. Her ser vi at synkmålet holder seg likt de første 30 minuttene, men flyteskjærspenningen ser ut til å synke, for deretter å øke igjen. Det er ikke mulig å se noen sammenheng her, og det kreves flere tester. Fullt mulig at det har vært en menneskelig feil ved synktesten eller den manuelle røringen mellom de rørte og urørte testene.

Den plastiske viskositeten øker fra 0 minutter til 10 minutter urørt. Fram mot 30 minutter urørt synker den litt igjen, men ikke mindre enn ved 0 minutter. Her ser man ingen sammenheng mellom plastisk viskositet og utbredelse. Fra synktesten ser man at utbredelsen blir mindre med tiden. I teorien skal da den plastiske viskositeten holde seg relativt stabil eller øke med tiden.

For V/C-tall 0,60 var det problemer med luftmåleren som førte til forsinkelser av videre tester. Synkmål og utbredelse for 10 minutter ble utført tjue minutter forsinket og bingham parameterne ble registrert som 30 minutter testene. Kun 0 minutter og 30 minutter rørt ga oss resultater for bingham parameterne. Flyteskjærspenningen synker, og synkmålet holder seg likt. Utbredelsen reduseres med 95 mm etter 30 minutter, men den plastiske viskositeten ser ut til å bli redusert. Her er det absolutt ingen sammenheng og ved denne testen er det veldig mange feilkilder. Hele denne testen må forkastes og testes på nytt.

5.2.5 - 320 matriksvolum, 6 % SF

Matriks 320						
6 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,35	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	213,42	24,54	0,023	0,982	1,789	0,99
10 rørt	302,95	22,89	0,030	1,298	1,937	0,96
10 urørt	227,47	46,62	0,077	1,220	2,679	0,93
30 rørt	399,63	19,66	0,081	1,699	1,709	0,94
30 urørt	325,20	48,38	0,068	1,630	3,046	0,95
Matriks 320						
6 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,40	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	145,34	26,71	0,016	0,714	1,740	0,99
10 rørt	112,96	29,16	0,013	0,588	1,755	0,99
10 urørt	174,67	22,86	0,040	0,830	1,568	0,97
30 rørt	195,54	16,27	0,072	0,834	1,363	0,89
30 urørt	209,01	22,53	0,019	0,913	1,787	0,97
Matriks 320						
6 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,60	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	82,74	33,03	0,756	0,905	0,267	0,15
10 rørt	0,00	40,82	1,061	0,541	-0,026	0,00
10 urørt	0,00	76,78	0,895	1,054	0,016	0,00
30 rørt	0,00	47,15	0,869	0,477	0,503	0,11
30 urørt	0,00	42,58	1,957	0,629	-0,695	0,33

Tabell 19 - Matriksvolum 320l/m³ 6 % SF,
Bingham/relative parametere

For V/C-tall 0.35 øker skjærspenningen fra 213,42 Pa ved 0 minutter til 227,47 Pa ved 10 minutter urørt. Deretter 325,20 Pa ved 30 minutter urørt. Her ser vi en jevn økning med tiden. Dette gjenspeiles i synkmålene og vi ser en sammenheng. Skjærspenningen øker og i teorien skal da synkmålet bli mindre. Dette ser vi i vedlegg (9.3.5, Synkmål, sammenligning av V/C-tall). I dette vedlegget er også grafene for utbredelsen. Den plastiske viskositeten øker fra 24,54 Pas ved 0 minutter og opp til 46,62 Pas ved 10 minutter urørt. Utbredelsen blir også mindre mellom disse testene. Dette stemmer da overens med teorien om at ved økt plastisk viskositet skal utbredelsen bli mindre. Fra 10 minutter urørt til 30 minutter urørt er differansen i plastisk viskositet veldig liten. Her øker bare den plastiske viskositeten til 48,38 Pas som er veldig nærme verdien gitt for 10 minutter urørt. Denne blandingen er veldig stabil, så det skal derfor ikke være noen stor forskjell mellom utbredelsen for 10 minutter og 30 minutter når vi leser av verdiene for plastisk viskositet. Vedlegget gitt ovenfor eller resultatene gitt i forrige delkapittel viser at utbredelsen blir den samme for 10 minutter og 30 minutter. Utbredelsen er på 360 mm.

Betongens reologiske egenskaper

I vedlegg (9.2.5, Stress Growth) øker toppmomentet fra 3,5 Nm ved 0 minutter til cirka 4,75 Nm ved 10 minutter urørt, så til 7,5 Nm ved 30 minutter urørt. Her ser vi at det kreves en større kraft for å få den ferske betongmassen i gang etter hvert som tiden går.

For V/C-tall 0.40 øker synkmålet fra 165 mm ved 0 minutter og til 185 mm ved 10 minutter. I vedlegg (9.3.5, Synkmål, sammenligning av V/C-tall) ser vi at grafen for V/C-tall 0.40 ikke synker slik som V/C-tall 0.35 og V/C-tall 0.60. Fra 10 minutter og fram til 30 minutter synker synkmålet med 5 mm. Når vi sammenligner synkmålet med flyteskjærspenningen i tabell 19 ovenfor ser vi at skjærspenningen øker med tiden. Økt flyteskjærspenning reduserer synkmålet. Ser vi igjen tilbake på vedlegg (9.3.5, Synkmål, sammenligning av V/C-tall) skiller synkmålet for 0 minutter seg veldig ut i forhold til de andre V/C-tallene. Med så gode tall for skjærspenningene og lave Mean-Square-Error tall, kan vi konkludere med at det har vært en menneskelig feil ved synktesten. Utbredelsen i vedlegg (9.3.5, Utbredelse, sammenligning av V/C-tall) viser at V/C-tall 0.40 øker med tiden. Dette stemmer overens med den plastiske viskositeten, som også synker med tiden. Siden synkmålet ikke stemmer i det hele tatt, kan vi ikke bruke tallene for utbredelse ved videre beregninger. I vedlegget ser vi også at utbredelse for V/C-tall 0.40 ligger lavere enn V/C-tall 0.35. Utbredelsen skal stige med økt V/C-tall, og V/C-tall 0.40 skal ligge mellom V/C-tall 0.35 og V/C-tall 0.60.

I vedlegg (9.2.5, Stress Growth) for V/C-tall 0.60 gir grafene ingen tydelige tegn for dynamisk og statisk skjærspenning. Den statiske skjærspenningen skal i starten gi en mye høyere verdi enn for den dynamiske skjærspenningen. Ser vi på disse fem forskjellige grafene er det veldig liten differanse mellom statisk og dynamisk. Dette betyr at det kreves nesten like høy kraft for å holde den ferske betongen i bevegelse sammenlignet med å få massen i bevegelse. Mean-Square-Error har altfor høye verdier og forklaringsgraden R^2 er altfor lav. Ingen av verdiene for V/C-tall 0.60 fra rheometeret kan brukes ved videre beregninger. Her skjedde akkurat den samme feilen som ved de tidligere testene. Det ble dannet et "sylinder" av den ferske betongen rundt vispen. Dette ga ikke like høye verdier som de tidligere testene med matriksvolum på 300 l/m^3 .

Synkmål/Utbredelse ga gode verdier for V/C-tall 0.60, men det er ikke mulig å sammenligne synkmål med flyteskjærspenning og utbredelse med plastisk utbredelse.

5.2.6 - 320 matriksvolum, 10 % SF

Matriks 320						
10 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,35	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	462,59	42,95	0,042	2,076	3,281	0,96
10 rørt	476,84	25,68	0,074	2,025	2,235	0,92
10 urørt	644,60	41,70	0,089	2,819	3,361	0,91
30 rørt	845,42	21,52	0,036	3,287	2,561	0,98
30 urørt	853,51	64,61	0,723	4,934	1,054	0,19

Matriks 320						
10 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,40	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	153,80	27,46	0,045	0,760	1,767	0,95
10 rørt	208,81	20,89	0,063	0,956	1,527	0,93
10 urørt	218,06	20,61	0,052	0,984	1,554	0,94
30 rørt	267,26	17,79	0,020	1,074	1,727	0,95
30 urørt	244,07	28,64	0,084	1,179	1,894	0,92

Matriks 320						
10 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,60	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	0,00	142,13	0,976	2,028	-0,344	0,27
10 rørt	471,70	8,71	0,299	1,896	0,797	0,69
10 urørt	0,00	0,00	0,000	2,146	-1,199	0,74
30 rørt	0,00	165,33	0,909	2,298	-0,074	0,01
30 urørt	371,23	16,47	0,675	1,874	0,391	0,27

Tabell 20 - Matriksvolum 320l/m³ 10 % SF, Bingham/relative parametere

For V/C-tall 0,35 øker flyteskjærspenningen fra 462,59 Pa ved 0 minutter til 644,60 Pa ved 10 minutter urørt, deretter til 853,51 Pa ved 30 minutter urørt. Her har vi en jevn økning med tiden. Det negative med denne testen er at det blir en veldig høy Mean-Square-Error verdi, og en veldig lav forklaringsgrad R² ved 30 minutter urørt. En grunn til dette er at ved 30 minutter urørt så er flyteskjærspenningen veldig nærme 1000 Pa som er rheometerets grense. Sammenligner vi skjærspenningen med synkmålet så finner vi årsaken til dette. Første synkmål var på 85 mm som er innenfor maskinens grense. Vi får da en flyteskjærspenning på rett under 500 Pa. I det flyteskjærspenningen passerer 500 Pa går synkmålet under 75 mm som er grensen. Ved 10 minutter urørt er flytegrensen på 644,60 Pa og synkmålet på 40 mm. synktesten ved 30 minutter gir et synkmål på 25 mm og rheometeret gir en flyteskjærspenning på 853,51 Pa. Her ser vi en klar sammenheng mellom flyteskjærspenning og synkmål.

Betongens reologiske egenskaper

Utbredelsen synker fra 220 mm gjort ved første test og til 200 mm ved 10 minutter. Utbredelsen blir også 200 mm ved 30 minutter. Her er det veldig like verdier og det skal dermed være relativt like verdier for plastisk viskositet. Vi ser at en plastiske viskositeten reduseres litt fra 0 minutter og fram til 10 minutter urørt, men veldig like verdier. Fra 10 minutter urørt og fram til 30 minutter urørt øker verdien. Men her er Mean-Square-Error veldig høy og den plastiske viskositeten kan egentlig ikke brukes ved videre sammenligning. Hadde denne betongresepten blitt utført flere ganger hadde det vært mulighet for å se en klarere og bedre sammenheng mellom den plastiske viskositeten og utbredelsen. Dette gjelder for alle testene.

Vedlegg (9.2.6, Stress Growth) viser at toppmomentet øker fra 8,5 Nm fra første test til omtrent 13,75 Nm ved 10 minutter urørt, for deretter å øke til omtrent 17,75 Nm ved 30 minutter urørt. Den ferske betongen setter seg med tiden og et høyere toppmoment må til for å få massen i bevegelse.

For V/C-tall 0.40 er det en klar sammenheng mellom flyteskjærspenning og synkmål. Ved 0 minutter er skjærspenningen på 153,50 Pa og synkmålet på 220 mm. Ti minutter senere ved 10 minutter urørt har flyteskjærspenningen økt til 218,06 Pa og synkmålet blitt redusert til 195 mm. Tjue minutter senere ved 30 minutter urørt øker flyteskjærspenningen enda mer til 244,07 Pa og synkmålet reduseres til 180 mm. Mean-Square-Error og forklaringsgraden R^2 gir veldig gode verdier. Utbredelsen reduseres med tiden, men det er ingen jevn økning i plastisk viskositet. Ved 0 minutter er den plastiske viskositeten på 27,46 Pas. Ti minutter senere for den urørte testen synker denne verdien til 20,61 Pas. For den siste urørte testen ved 30 minutter øker den plastiske viskositeten til 28,64 Pas. Her ser vi ingen klar sammenheng mellom plastisk viskositet og utbredelse. Her kan det være gjort menneskelige feil ved den manuelle røringen mellom testene for rheometeret.

For V/C-tall 0,60 er det høye verdier for Mean-Square-Error og lave verdier for forklaringsgraden R^2 . Dette ser vi igjen på resultatene. Denne betongresepten hadde veldig høy bleeding og massen virket veldig ustabil i rheometeret. Ved 0 minutter var skjærspenningen lik null og det samme for 10 minutter urørt. 30 minutter urørt gir plutselig en flyteskjærspenning på 371,23 Pa. Her er det ingen sammenheng mellom flyteskjærspenning og synkmål. Testen ga gode resultater for synkmål og utbredelse. Resultatene for plastisk viskositet er også bare å forkaste, selv om utbredelsen ga gode tall.

5.2.7 - 320 matriksvolum, 6 % SF, tilpasset SP

Matriks 320 tilpasset SP						
6 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,35	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	260,73	43,91	0,133	1,348	2,609	0,86
10 rørt	360,98	46,41	0,049	1,659	3,349	0,94
10 urørt	327,43	71,37	0,041	1,710	4,275	0,97
30 rørt	556,12	39,40	0,105	2,480	3,014	0,88
30 urørt	395,74	66,93	0,012	1,883	4,552	0,99

Matriks 320						
6 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,40	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	161,40	54,31	0,109	1,004	2,677	0,89
10 rørt	205,02	53,79	0,031	1,066	3,218	0,96
10 urørt	166,35	50,89	0,067	0,961	2,721	0,94
30 rørt	205,57	35,56	0,082	1,037	2,213	0,91
30 urørt	217,22	40,83	0,050	1,114	2,501	0,96

Matriks 320						
6 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,60	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	0,00	95,83	1,086	1,374	-0,376	0,10
10 rørt	347,57	5,14	0,140	1,332	0,637	0,89
10 urørt	262,70	5,14	0,586	1,122	0,245	0,31
30 rørt	222,29	19,34	0,391	1,165	0,901	0,58
30 urørt	236,69	7,77	0,213	0,875	0,988	0,69

Tabell 21 - Matriksvolum 320l/m³ 6 % SF tilpasset SP, Bingham/relative parametere

For V/C-tall 0.35 øker flyteskjærspenningen med tiden og i vedlegg (9.3.7, Synkmål, sammenligning av V/C-tall) reduseres synkmålet i løpet av de 30 minuttene. Den plastiske viskositeten øker fra 43,91 Pas ved 0 minutter til 71,37 Pas ved 10 minutter urørt, deretter til 66,93 Pas ved 30 minutter urørt. Differansen mellom 10 minutter urørt og 30 minutter urørt er lav og omtrent samme verdi. Så vi kan si at den plastiske viskositeten øker med tiden. Utbredelsen reduseres med tiden i vedlegg (9.3.7, Utbredelse, sammenligning av V/C-tall). Her ser vi en klar sammenheng mellom flyteskjærspenning/synkmål og plastisk viskositet/utbredelse. Mean-Square-Error og forklaringsgrad R² viser at parameterne er pålitelige tall.

Flyteskjærspenningen og synkmål for V/C-tall 0.40 viser samme utvikling som for V/C-tall 0,35. Her øker også flyteskjærspenningen samtidig som synkmålet reduseres etter hvert som tiden går og den ferske betongen får satt seg. Utbredelsen reduseres også med tiden, men den plastiske viskositeten reduseres også. Dette stemmer ikke overens med teorien om

Betongens reologiske egenskaper

at økt/jevn plastisk viskositet skal gi lavere utbredelse med tiden. Her må flere tester gjennomføres med samme betongresept.

For V/C-tall 0.60 reduseres synkmål og utbredelse jevn med tiden. Illustrasjon av dette finnes i vedlegg (9.3.7, Synkmål, sammenligning av V/C-tall) og (8.3.7, Utbredelse, sammenligning av V/C-tall). Resultatene fra rheometeret kan ikke brukes til videre sammenligning av synkmål og utbredelse. Mean-Square-Error gir for høye og ujevne verdier og forklaringsgrad R^2 er altfor lav. Her var ikke synkmålet lavere enn 75 mm, men rheometeret fikk veldig unøyaktige verdier for den dynamiske testen. I vedlegg (9.2.7, Flow Curve) vises det store sprik i verdiene for torsjonsmoment. Det holder seg stabilt, men ved ulike tider så øker det kraftig. Grunnen til dette var at fire eller flere stein av det grove tilslaget kom på en rekke. Dette førte til at maskinen "låste" seg og et høyere torsjonsmoment måtte til for å rotere i dette korte tidsrommet.

5.2.8 - 340 matriksvolum, 6 % SF

Matriks 340						
6 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,35	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	373,98	12,69	0,118	1,549	1,172	0,90
10 rørt	362,75	34,08	0,030	1,556	2,819	0,95
10 urørt	422,91	38,95	0,021	1,839	3,166	0,98
30 rørt	498,58	18,01	0,066	2,029	1,797	0,95
30 urørt	312,31	83,70	0,042	1,684	4,820	0,96
Matriks 340						
6 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,40	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	269,02	28,46	0,036	1,211	2,155	0,96
10 rørt	255,74	35,04	0,045	1,222	2,384	0,96
10 urørt	208,00	48,54	0,023	1,047	3,028	0,97
30 rørt	290,49	31,64	0,044	1,348	2,266	0,96
30 urørt	368,56	25,66	0,027	1,521	2,355	0,95
Matriks 340						
6 % SF	Bingham parametere			Relative parametere		
V/C 0,60	Skjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa·s]	mse [-]	Torsjonsmoment [Nm]	Proporsjonalitetskoeffisient [Nm·s]	R ² [-]
0min	0,00	159,05	1,028	2,311	-0,592	0,74
10 rørt	68,66	132,53	0,864	2,230	0,194	0,03
10 urørt	176,62	36,57	0,798	1,474	0,244	0,11
30 rørt	0,00	150,73	0,936	2,122	-0,196	0,17
30 urørt	0,00	110,64	1,069	1,617	-0,483	0,41

Tabell 22 - Matriksvolum 340/m³ 6 % SF.
Bingham/relative parametere

For V/C-tall 0.35 øker flyteskjærspenningen fra 373,98 Pa ved første til 422,91 Pa ved 10 minutter urørt. Synkmålet reduseres fra 180 mm ved den første testen til 175 mm etter ti minutter. Her er det en sammenheng mellom flyteskjærspenningen og synkmålet. For den aller siste testen reduseres flyteskjærspenningen samtidig som synkmålet reduseres til 125 mm. Her er det ingen sammenheng. Flere tester må gjennomføres med rheometeret for å få et mer representativt resultat. Den plastiske utbredelsen øker fra første test og helt fram til den siste testen. Utbredelsen er lik for den første og andre testen, men den siste testen ved 30 minutter reduseres synkmålet til 125 mm. Her kan vi se en sammenheng mellom plastisk viskositet og utbredelse. Mean-Square-Error er lav og forklaringsgraden R² er høy.

Vedlegg (9.2.8, Stress Growth) gir et toppmoment på omtrent 7,0 Nm ved 0 minutter. Etter ti minutter øker toppmomentet til ca. 10,5 Nm. Den siste testen utført etter 30 minutter gir et enda høyere toppmoment på ca. 12,0 Nm. Den ferske betongen setter seg med tiden og et høyere toppmoment må til for å få massen i bevegelse.

Betongens reologiske egenskaper

Flyteskjærspenningen for V/C-tall 0.40 synker litt fra 0 minutter til 10 minutter urørt. Fra 10 minutter urørt og fram til den siste testen ved 30 minutter på urørt betong øker flyteskjærspenningen. Den plastiske viskositeten øker fra den første testen og fram til andre test ved 10 minutter urørt betong. Fra andre testen og til den siste testen utført ved 30 minutter urørt synker den plastiske viskositeten. Denne verdien er også lavere enn for den plastiske viskositeten gitt ved første testen. Mean-Square-Error og forklaringsgraden R^2 har gitt gode tall. V/C-tall 0.40 reduseres synkmål og utbredelse jevn med tiden. Illustrasjon av dette finnes i vedlegg (9.3.8, Synkmål, sammenligning av V/C-tall) og (8.3.8, Utbredelse, sammenligning av V/C-tall). Her er det ingen klar sammenheng mellom synkmål/flyteskjærspenning og utbredelse/plastisk viskositet. Vedlegg (9.2.8, Stress Growth) viser et jevnt toppmoment for V/C-tall 0.40. Her kreves det flere tester for et mer pålitelig resultat og en bedre konklusjon.

For V/C-tall 0.60 ble det veldig høye verdier for Mean-Square-Error og lave verdier for forklaringsgrad R^2 . Det er derfor ikke mulig å bruke disse bingham/relative parameterne. Et matriksvolum på 340 l/m^3 er mye mindre dominert av friksjon enn en betongblanding med et matriksvolum på 300 l/m^3 . Blandingen med lav matriksvolum har større friksjon mellom partiklene og det kreves et høyere torsjonsmoment for å få massen i bevegelse. Etter massen er kommet i bevegelse må det mye mindre kraft til for å holde den i gang. Denne blandingen på 340 l/m^3 er ikke friksjonsdominert og får derfor veldig lave verdier for flyteskjærspenning. Vedlegg (9.2.8, Stress Growth) for V/C-tall 0.60 viser ikke en enkel toppverdi for torsjonsmoment, men flere. Dette gir oss høye plastisk viskositet verdier og vi anser denne ferske betongen som en "seig" blanding.

5.2.9 - Effekten av silikastøv på bingham parameterne

Effekten av silikastøv på bingham parameterne finner vi i vedlegg (9.7 Effekten av SF på bingham parameterne). Matriksvolum 300 l/m^3 og 320 l/m^3 ble testet med tre forskjellige doseringer av silikastøv, 0 %, 6 % og 10 %.

I vedlegg (9.7.1 - 320 matriksvolum) ser vi en sammenheng mellom de ulike doseringene av silikastøv for V/C-tall 0.35 og 0.40. For V/C-tall 0.60 mangler det verdier og de er unøyaktige. For testen utført ved 0 minutter, 10 minutter urørt og 30 minutter urørt ser vi at det er veldig liten forandring i den plastiske viskositeten for V/C-tall 0.35 og 0.40 når doseringen reduseres fra 10 % til 6 % silikastøv. Her er det flyteskjærspenningen (Yield stress) som blir mest påvirket av effekten til silikastøv. Ser vi på effekten fra 6 % til 0 % silikastøv er det liten forandring i flyteskjærspenningen. Fra 6 % til ingen tilsetning av silikastøv øker den plastiske viskositeten.

Vedlegg (9.7.2 - 300 matriksvolum) mangler en del data for V/C-tall 0.40 og 0.60. For V/C-tall 0.35 gitt 0 minutter, 10 minutter urørt og 30 minutter urørt har alle grafene samme form. Fra 0 % til 6 % silikastøv øker flyteskjærspenningen enormt og den plastiske viskositeten er nesten ikke påvirket. Fra 6 % til 10 % silikastøv er flyteskjærspenningen identisk pga. rheometeret sin begrensning på 1000 Pa. Her er flyteskjærspenningen 1000 Pa for 6 % og 10 % silikastøv. Det vi ser forandrer seg er den plastiske viskositeten. Denne øker kraftig fra 6 % til 10 % tilsetning av silikastøv. Men testene for 10 % silikastøv for matriksvolum 300 l/m^3 ble Mean-Square-Error veldig høy. 6 % ga ikke altfor gale verdier.

Grafene i vedlegg (9.7.1 - 320 matriksvolum) for matriksvolum 320 l/m^3 er identisk med grafen for plastisk viskositet/flyteskjærspenning i figur 11. Vi kan derfor konkludere med at matriksvolum 320 l/m^3 med de ulike mengdene silikastøv stemmer overens med teorien.

5.2.10 - Effekten av mengde sement på bingham parameterne

Effekten av mengde sement på bingham parameterne ligger under vedlegg (9.8 Effekten av mengde sement på bingham parameterne). Her har matriksvolum 300 l/m³, 320 l/m³ og 340 l/m³ med 6 % silikastøv blitt sammenlignet. Det er laget en graf for hvert V/C-tall.

I vedlegg (9.8.1 - V/C-tall 0,35) ser vi sammenhengen mellom de tre ulike matriksvolumene i forhold til flyteskjærspenning og plastisk viskositet. Når matriksvolumet øker fra 300 l/m³ til 320 l/m³ reduseres flyteskjærspenningen veldig mye og den plastiske viskositeten reduseres også. Men her må vi huske at flyteskjærspenningen til matriksvolum 300 l/m³ for V/C-tall 0.35 med 6 % silikastøv fikk maksimum verdi for rheometeret. Her var ikke Mean-Square-Error altfor høy heller. Øker vi matriksvolumet fra 320 l/m³ til 340 l/m³ øker flyteskjærspenningen igjen og den plastiske viskositeten ser ut til å enten stige eller synke. Her kreves det selvfølgelig flere tester for å verifisere effekten av mengde sement på bingham parameterne.

I vedlegg (9.8.2 - V/C-tall 0,40) mangler det verdi for 300 l/m³. Derfor er det ikke mulig å få verdier for 10 minutter urørt og 30 minutter urørt. Her er det for lite data til å kunne se noen sammenheng.

Vedlegg (9.8.3 - V/C-tall 0,60) mangler det også verdi for 300 l/m³ ved 10 minutter urørt. Grafen viser effekten av mengde sement veldig godt. Fra et økt matriksvolum på 300 l/m³ til 320 l/m³ ser vi at det skjer veldig lite for den plastiske viskositeten. Her synker flyteskjærspenningen drastisk. Ved videre økning av mengde sement vil det være liten økning flyteskjærspenning, men stor økning i plastisk viskositet. Her har vi de to ytterpunktene. Matriksvolum 300 l/m³ får veldig høye verdier for flyteskjærspenning og lave verdier for plastisk viskositet. For det andre ytterpunktet ved et matriksvolum på 340 l/m³ blir den plastiske viskositeten veldig høy og flyteskjærspenningen nærmest lik null. Unntatt for 10 minutter urørt.

Her mangler det en del tester for å få et representativt utvalg, men flyteskjærspenningen ser ut til å synke med økt mengde sement. Ikke så lett å konkludere noe med hvordan den plastiske viskositeten oppfører seg. Figur 11 i teoridelen viser også en reduksjon i flyteskjærspenning ved økt sement mengde.

6 Konklusjon

Bingham modellen tar ikke hensyn til verken tiksotropi eller hydratiseringsprosessen. Det betyr at effekten av tiksotropi i korte tidsintervaller kan være med på å forstyrre bingham modellen, mens for lengre tidsintervaller så vil hydratiseringen også ha en innvirkning slik at begge deler virker inn på verdiene til modellen. For våre "urørte" verdier vil dermed tiksotropi spille mindre rolle enn for de "rørte" som har vært i ro en lengre periode. Vi kan konkludere med at det er mest pålitelig å bruke maskinen til å lage en bingham modell når betongen er ferskest mulig. Samt at det er bedre å teste en betongblanding som ikke er helt fersk om den nylig har blitt "mikset", enn den som har stått stille 10/30 min. Slik som beskrevet tidligere forhindrer man da at det fester seg betong langs kantene.

Fra resultatene og observasjoner underveis har vi erfart at ICAR rheometeret er best egnet til en blanding som ikke er for stiv slik at vispen "kutter" betongen og man får ujevne målinger, men heller ikke en betong som separerer seg da det byr på problemer med tungt tilslag samlet i bunn og vann på toppen. Dermed viste det seg at blandinger med V/C-tall 0.40 og matriksvolum 320 var de beste for rheometeret. Betong med 0.35 V/C-tall er naturligvis nær 0.40 og gir ofte tilnærmede resultater.

Vi har observert at verdiene fra rheometeret er mer pålitelige enn synk testen hvor vi måler synk og utbredelse. Dette skyldes at menneskelige feil kan i mindre grad påvirke rheometer testing sammenlignet med synk testing. Ved gjennomførelse av en test per metode så vil man ikke kunne avdekke ekstremalverdier like lett på en synk test. Rheometeret gir oss en mse og en R^2 verdi. R^2 forteller hvor pålitelige de relative parametrene torsjonsmoment og proporsjonalitetskoeffisient er, imens mse avdekker sikkerheten til bingham parametrene flyte skjærspenning og plastisk viskositet. R^2 og mse blir brukt til å se om verdiene er til å stole på. Dette har vi ikke noe tilsvarende system for ved en synk test. Der må man konkludere basert på observasjon dersom en mener synk testen ikke var bra nok. Derfor kan vi konkludere med at en rheometer test vil gi et mer troverdig resultat enn synk ved kun en gjennomført test. Vi ser ingen grunn til å ikke anbefale en gjennomføring av begge testene på anleggsområdet før støping, da det kun kan bidra til mer nøyaktig informasjon om betongens egenskaper. Begge testene kan kjøres parallelt med nok personell til stede.

7 Fremtidig arbeid

Teste effekt av flyveaske kontra silika. Hva er likhetene, hva skiller dem?

Videreføring av oppgave - Flere tester av samme resept, gjerne laboratoriearbeid for grupper hvor de gjennomfører tester i løpet av et semester, setter verdiene sammen, får et gjennomsnitt og fremstiller grafer basert på et mer kvantitativt resultat. Da vil man kunne analysere og se effekten av parametrene med større sikkerhet. I tillegg får man sjekket reproduserbarheten av målingene. Det er viktig at synk test og miksing av rheometer beholder mellom forsøkene gjøres på mest mulig lik metode, da det ellers vil øke usikkerheten i målingene.

Sjekke effekten av tiksotropi grundigere. Måle den statiske flytegrensen for en blanding som har vært i ro opp imot den dynamiske flytegrensen. Dette gjøres ved bruk av den første testen man gjør, hvor vispen har en konstant, men lav rotasjonshastighet, stress growth curve (SGT). Massen vil ikke være i bevegelse før man når den statiske flytegrensen. Etter at betongen begynner å flyte synker spenningen ned til en lavere konstant verdi som vi kaller dynamisk flytegrense. Stopper man bevegelsen vil betongen komme til ro og effekten av tiksotropi bygges opp igjen av indre partikkel krefter, som skaper svake bindinger og dermed gjenoppretter den statisk flytegrensen. Ettersom tiden går vil hydratiseringsprosessen virke mer og mer inn på begge disse verdiene, samt "tap" av synk verdi, fordi betongen stivner.

8 Kilder

- [1] S. Jacobsen. (2010). TKT 4215 *Concrete Technology 1*. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- [2] Årtun, Torstein & Nesse, Norvald. (2018, 20. februar). sement. I Store norske leksikon. Hentet fra <https://snl.no/sement>
- [3] Waage, J. E. (2014). *Duktilitet i fiberarmert høyfast normalbetong*. (Mastergradsavhandling, Universitetet i Stavanger). Hentet fra https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/220002/Waage_JanErik.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [4] Bjerkestrand, S. (2017). *Glidestøp - løftefrekvensens effekt på friksjon*. (Mastergradsavhandling, Universitetet i Stavanger) Hentet fra https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/245999/9/Bjerkestrand_Simon.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [5] Pedersen, B. (2017, 24. oktober). Betongtilslag. Hentet fra https://www.vegvesen.no/_attachment/2044346/binary/1213573?fast_title=Betongtilslag.pdf
- [6] Statens vegvesen. (2005, april). Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser. Hentet fra https://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Kvalitetsikrede%20filer/14_6_Betong_og_matr_til_betong/14_62_Undsk_av_fersk_betong/014_622_konsistens_apr_05.pdf

- [7] Kjell T. Fosså. August 2007. Reologiske egenskaper i betong (tillegg til kompendium)
- [8] Germann Instruments. (U. å.). ICAR Plus Rheometer. Hentet fra <http://germann.org/products-by-application/rheology-of-concrete/icar-rheometer>
- [9] Tiksotropi. (28. desember 2015). Wikipedia. Hentet fra <https://no.wikipedia.org/wiki/Tiksotropi>
- [10] Beaupré, D., Chapdelaine, F., Domone, P., Koehler, E., Shen, L., Sonebi, M., ... Wallevik, J. E. (2003, May). *Comparison of concrete rheometers*. Hentet fra https://liveuis.sharepoint.com/sites/g-studentlist_labbaserteoppgaver/Shared%20Documents/ICAR%20Plus%20Rheometer/Comparison%20of%20Concrete%20Rheometers%20-%200Cleveland.pdf
- [11] ATA scientific instruments. (2018, 18 juni). An introduction to viscosity and rheology. Hentet fra <https://www.atascientific.com.au/introduction-viscosity-rheology/>
- [12] Årtun, (2018, 20. februar). reologi. I Store norske leksikon. Hentet fra <https://snl.no/reologi>

9 Vedlegg

9.1 Bingham modell

- 9.1.1 - 300 matriksvolum, 0 % silika
- 9.1.2 - 300 matriksvolum, 6 % silika
- 9.1.3 - 300 matriksvolum, 10 % silika
- 9.1.4 - 320 matriksvolum, 0 % silika
- 9.1.5 - 320 matriksvolum, 6 % silika
- 9.1.6 - 320 matriksvolum, 10 % silika
- 9.1.7 - 320 matriksvolum, 6 % silika, tilpasset SP
- 9.1.8 - 340 matriksvolum, 6 % silika

9.2 Stress growth & flow curve

- 9.2.1 - 300 matriksvolum, 0 % silika
- 9.2.2 - 300 matriksvolum, 6 % silika
- 9.2.3 - 300 matriksvolum, 10 % silika
- 9.2.4 - 320 matriksvolum, 0 % silika
- 9.2.5 - 320 matriksvolum, 6 % silika
- 9.2.6 - 320 matriksvolum, 10 % silika
- 9.2.7 - 320 matriksvolum, 6 % silika, tilpasset SP
- 9.2.8 - 340 matriksvolum, 6 % silika

9.3 Synk og utbredelse

- 9.3.1 - 300 matriksvolum, 0 % silika
- 9.3.2 - 300 matriksvolum, 6 % silika
- 9.3.3 - 300 matriksvolum, 10 % silika
- 9.3.4 - 320 matriksvolum, 0 % silika
- 9.3.5 - 320 matriksvolum, 6 % silika
- 9.3.6 - 320 matriksvolum, 10 % silika
- 9.3.7 - 320 matriksvolum, 6 % silika, tilpasset SP
- 9.3.8 - 340 matriksvolum, 6 % silika

9.4 Sammenligning av SF

- 9.4.1 - 300 matriksvolum, V/C-tall 0,35
- 9.4.2 - 300 matriksvolum, V/C-tall 0,40

Betongens reologiske egenskaper

9.4.3 - 300 matriksvolum, V/C-tall 0,60

9.4.4 - 320 matriksvolum, V/C-tall 0,35

9.4.5 - 320 matriksvolum, V/C-tall 0,40

9.4.6 - 320 matriksvolum, V/C-tall 0,60

9.5 Sammenligning av matriksvolum med samme % SF og V/C-tall

9.5.1 - 0 % SF & V/C-tall 0,35

9.5.2 - 0 % SF & V/C-tall 0,40

9.5.3 - 0 % SF & V/C-tall 0,60

9.5.4 - 6 % SF & V/C-tall 0,35

9.5.5 - 6 % SF & V/C-tall 0,40

9.5.6 - 6 % SF & V/C-tall 0,60

9.5.7 - 10 % SF & V/C-tall 0,35

9.5.8 - 10 % SF & V/C-tall 0,40

9.5.9 - 10 % SF & V/C-tall 0,60

9.6 Effekten av V/C-tall på bingham parameterne

9.6.1 - 320 matriksvolum

9.6.2 - 300 matriksvolum

9.6.3 - 320 matriksvolum, 6% SF, tilpasset SP

9.6.4 - 340 matriksvolum, 6% SF

9.7 Effekten av SF på bingham parameterne

9.7.1 - 320 matriksvolum

9.7.2 - 300 matriksvolum

9.8 Effekten av mengde sement på bingham parameterne

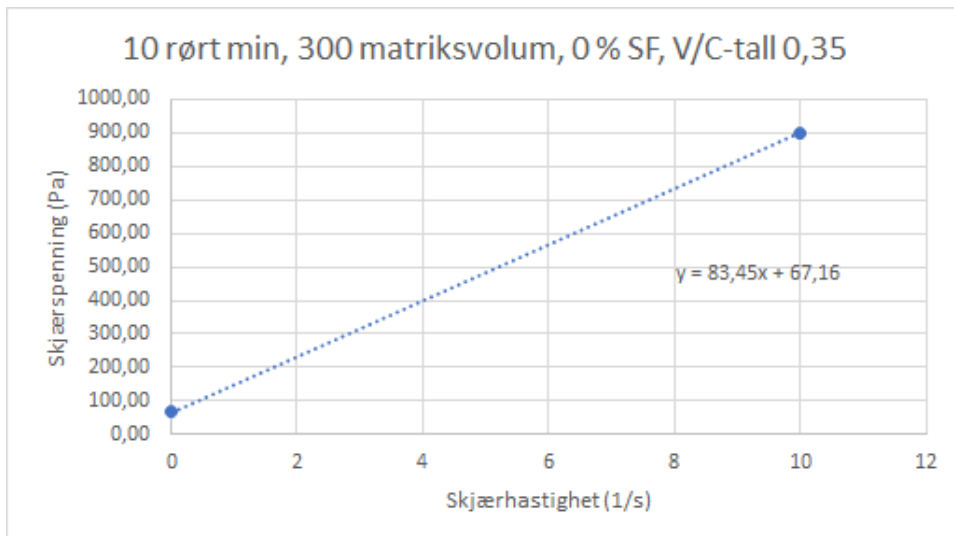
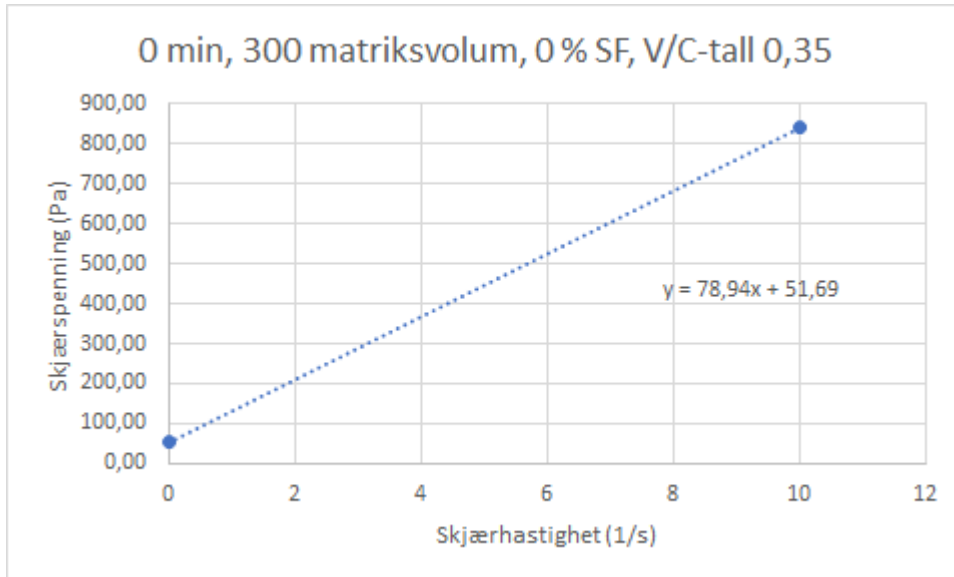
9.8.1 - V/C-tall 0,35

9.8.2 - V/C-tall 0,40

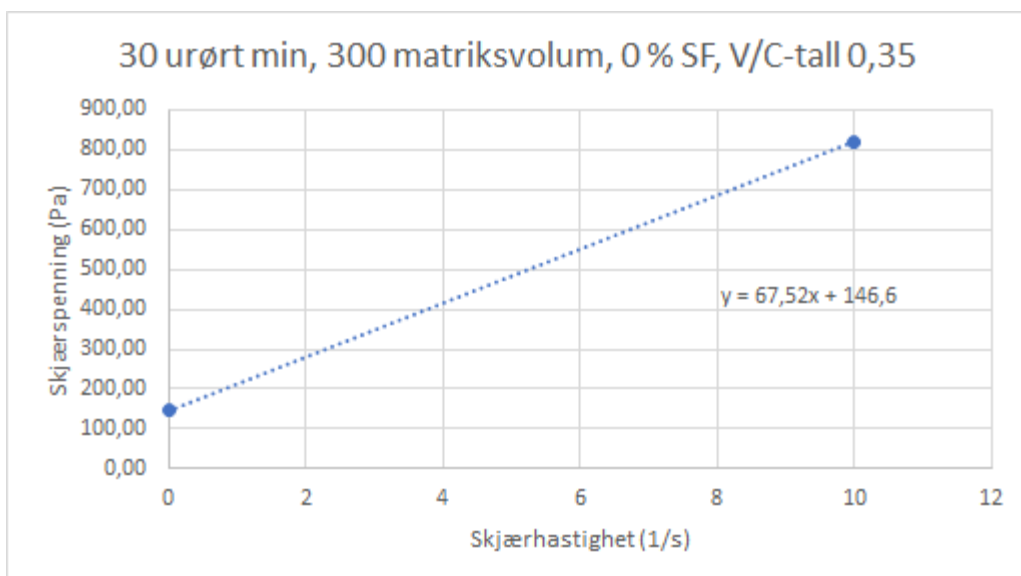
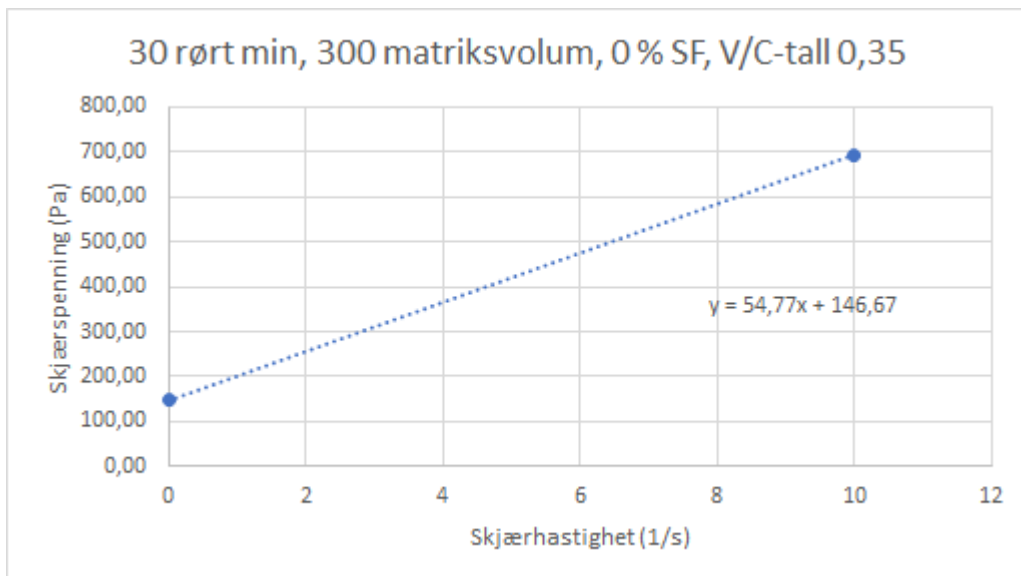
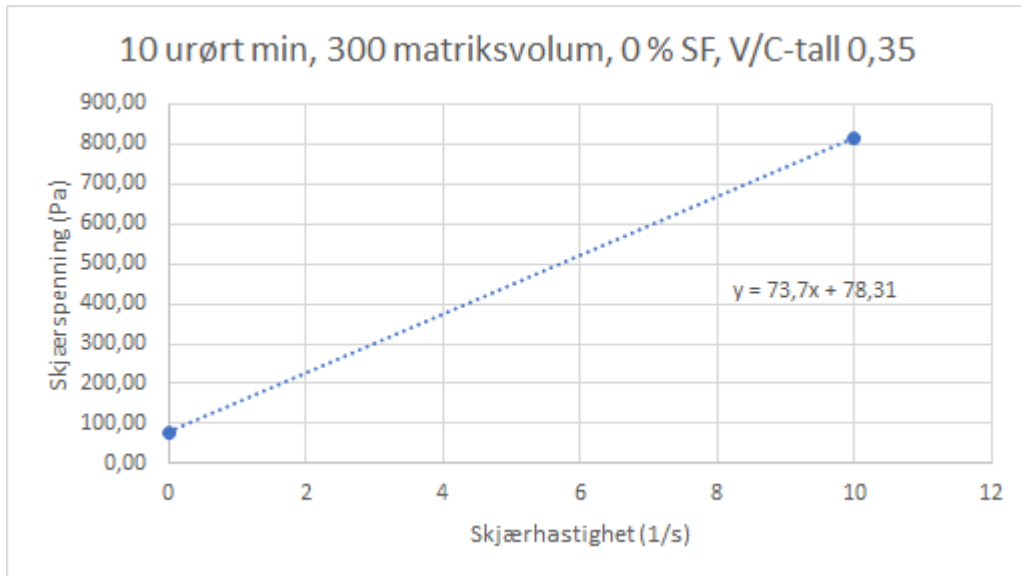
9.8.3 - V/C-tall 0,60

9.1 Bingham modell

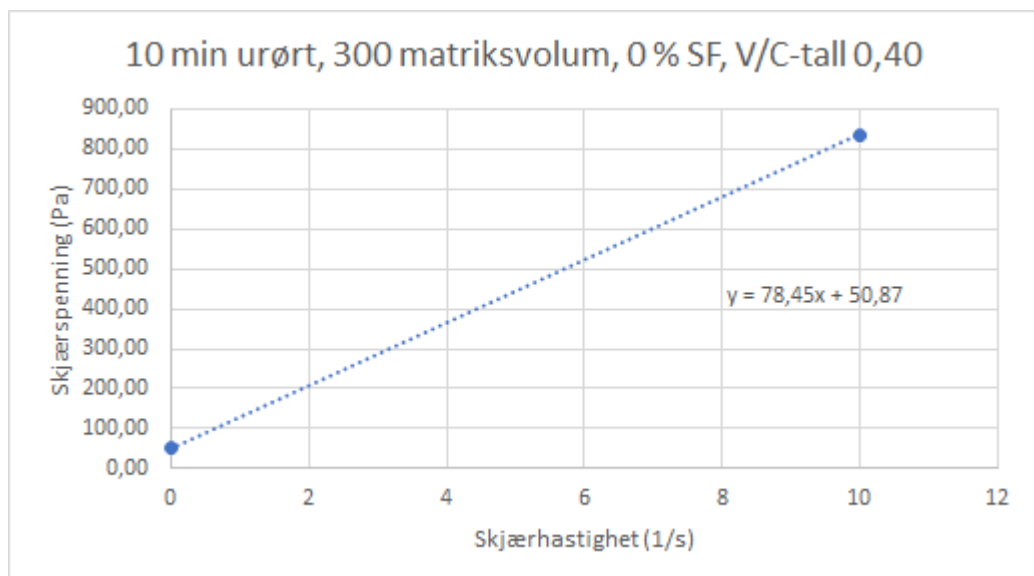
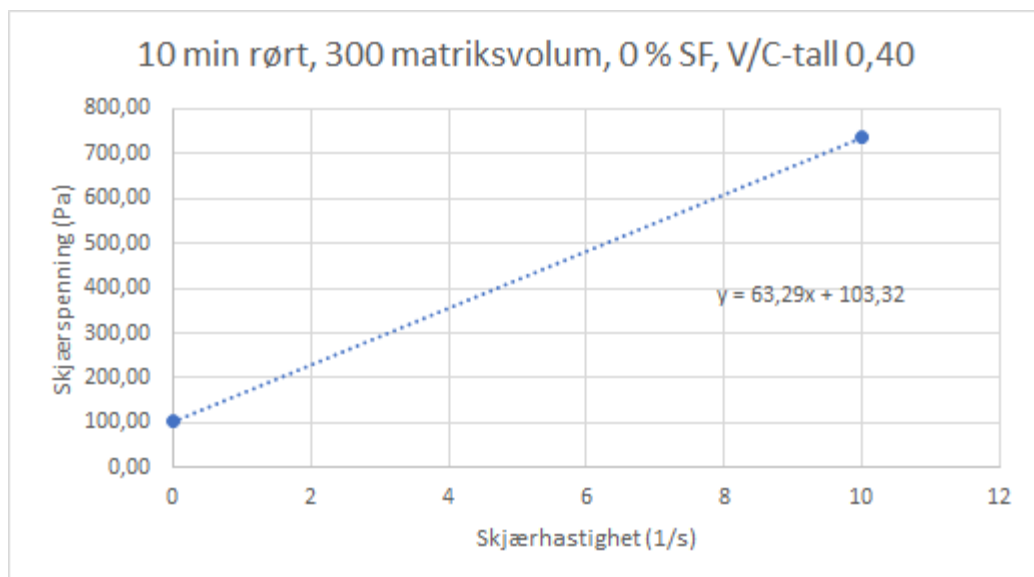
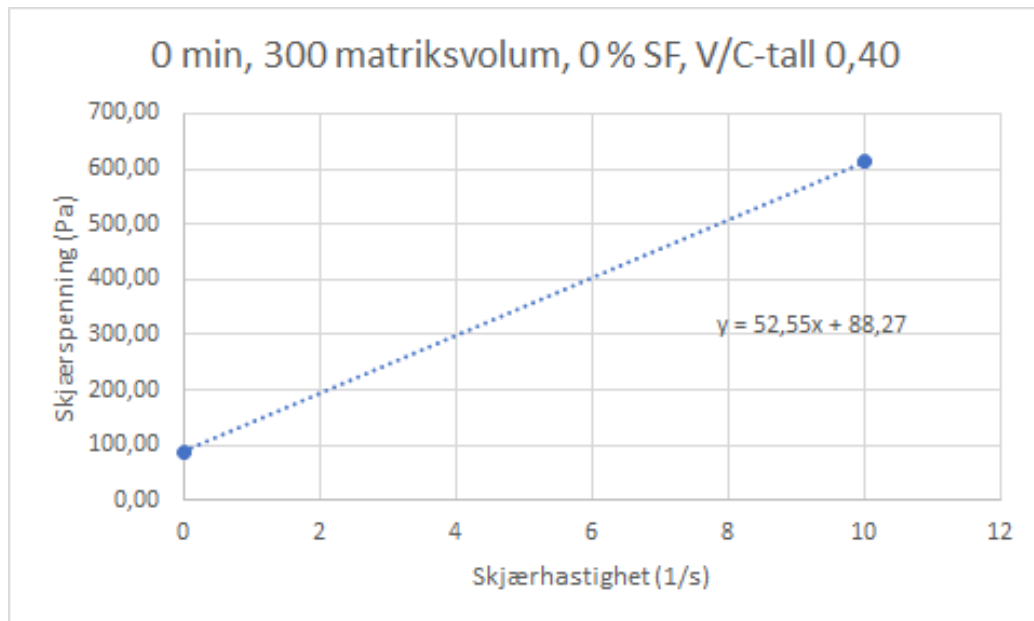
9.1.1 - 300 matriksvolum, 0 % SF



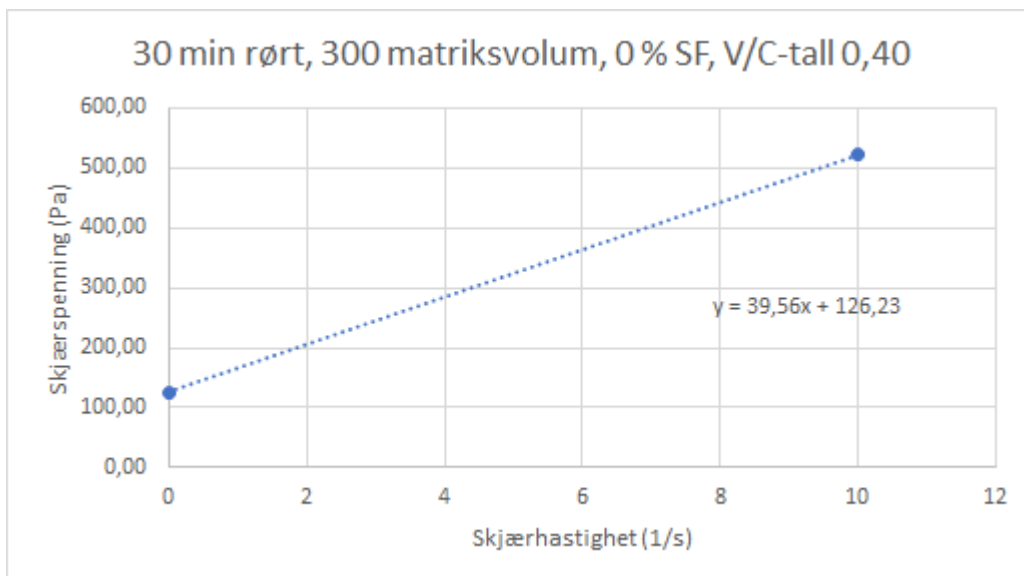
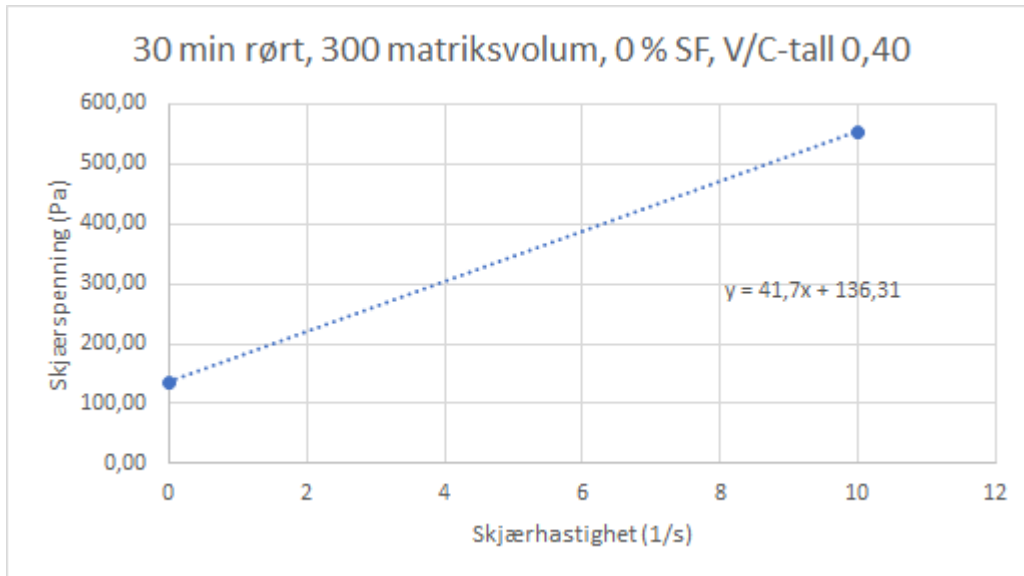
Betongens reologiske egenskaper



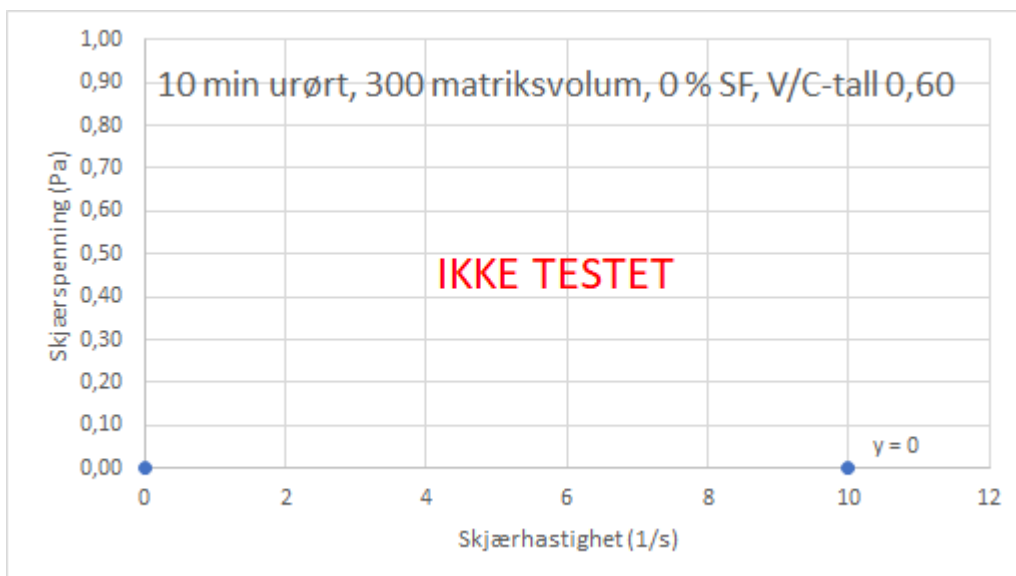
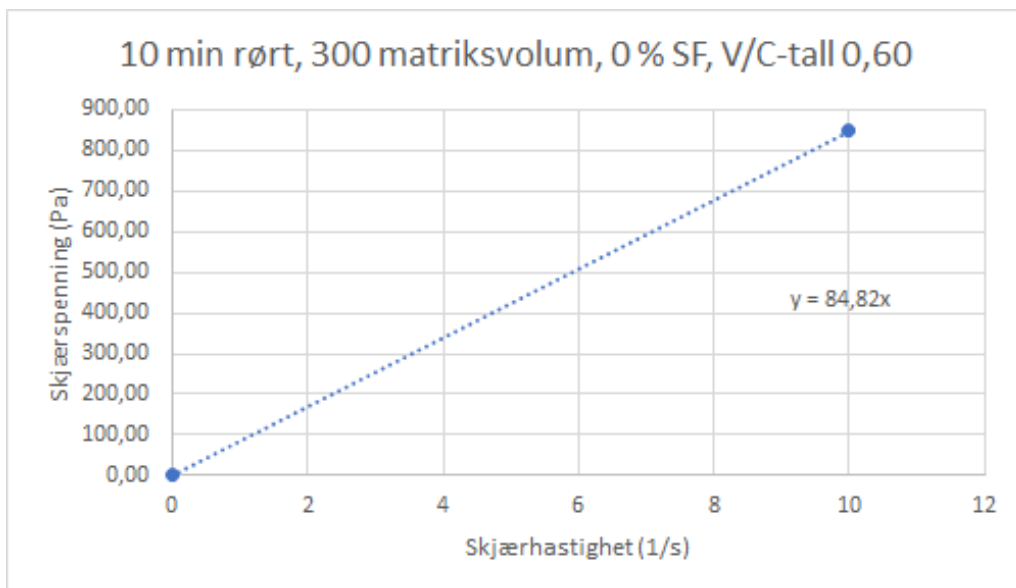
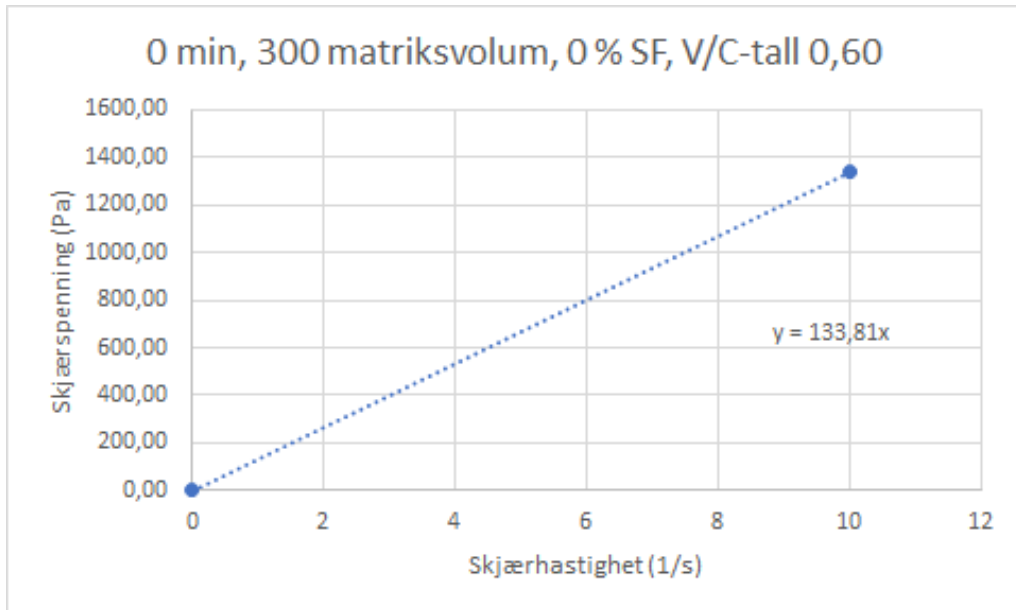
Betongens reologiske egenskaper



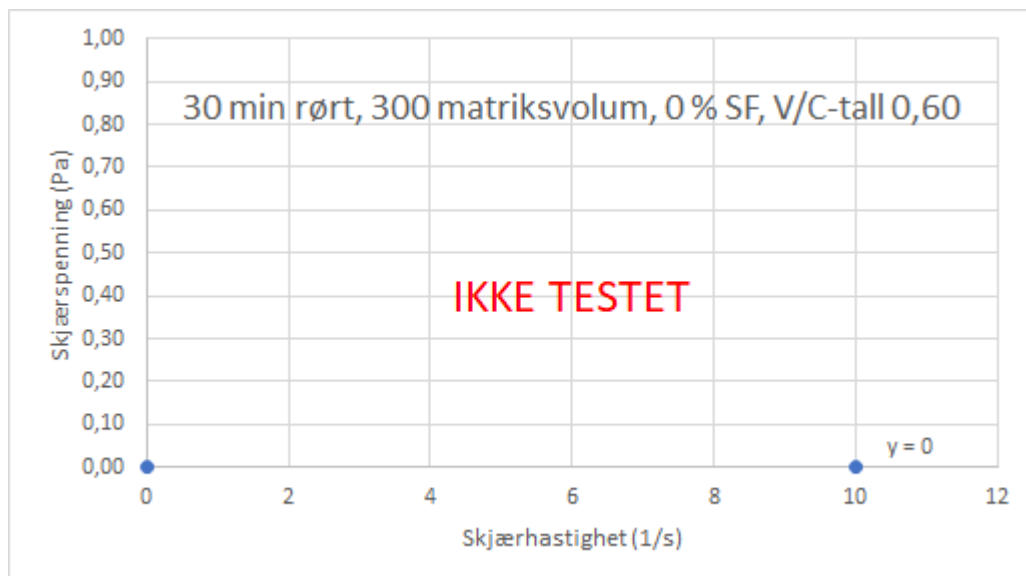
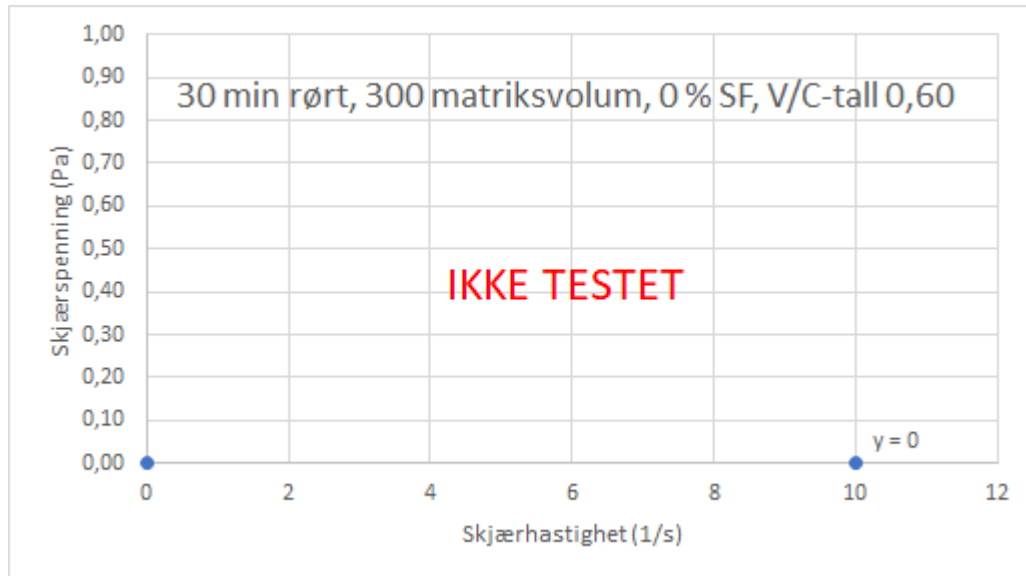
Betongens reologiske egenskaper



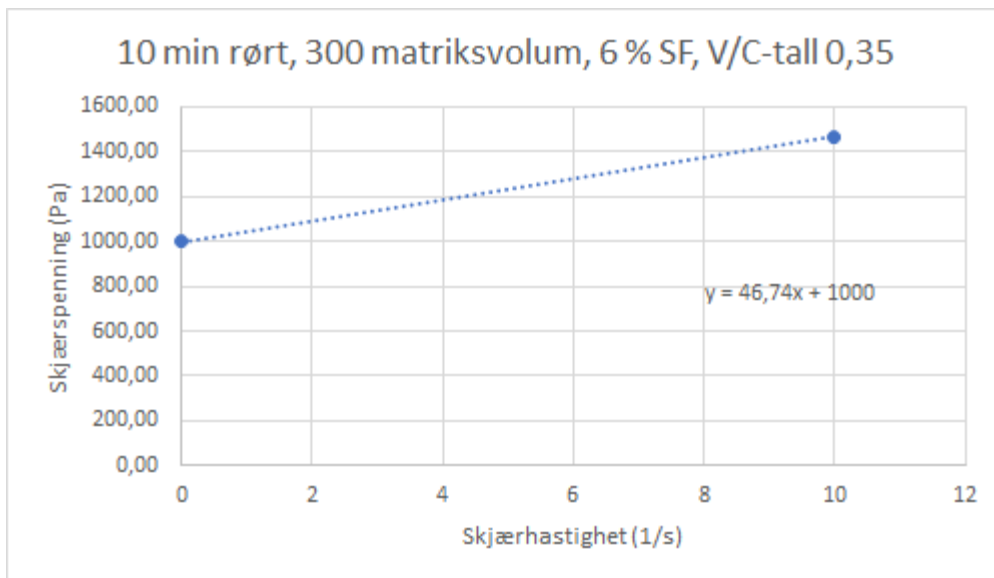
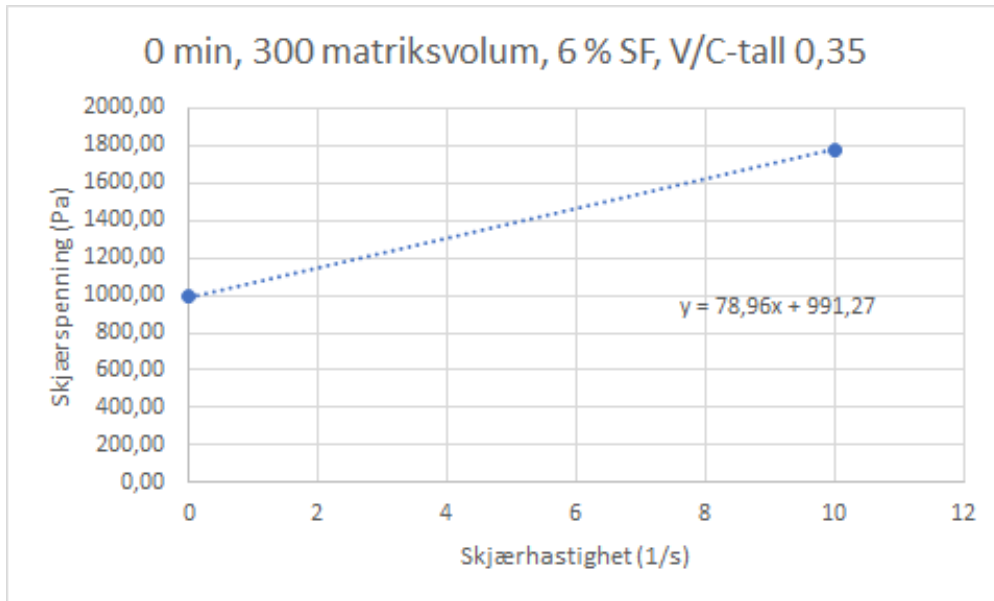
Betongens reologiske egenskaper



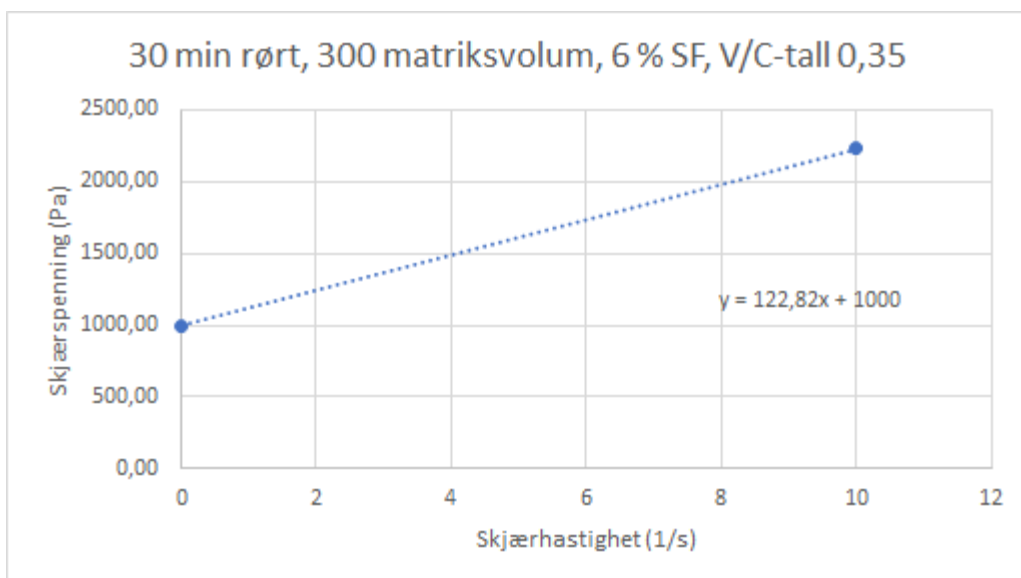
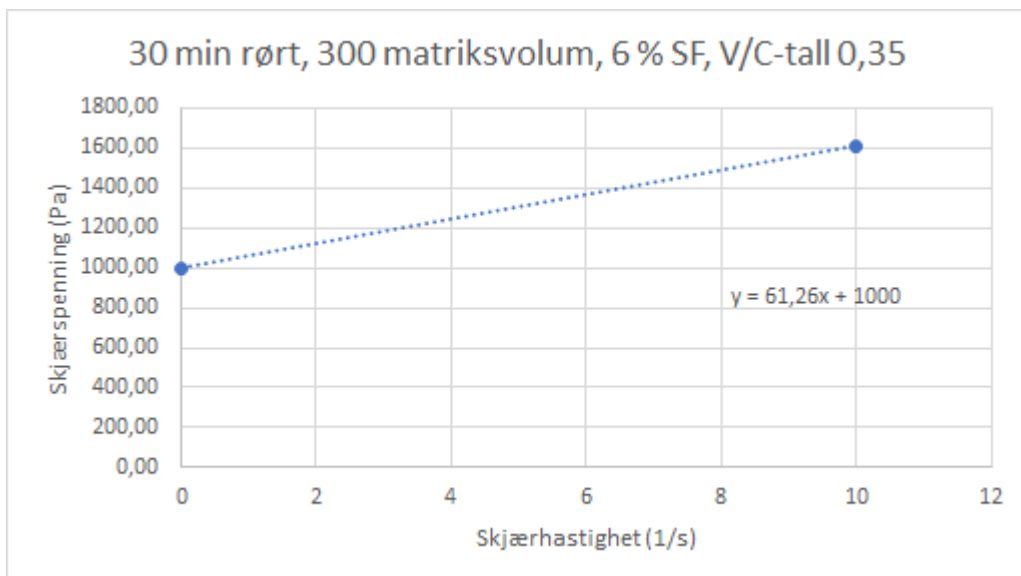
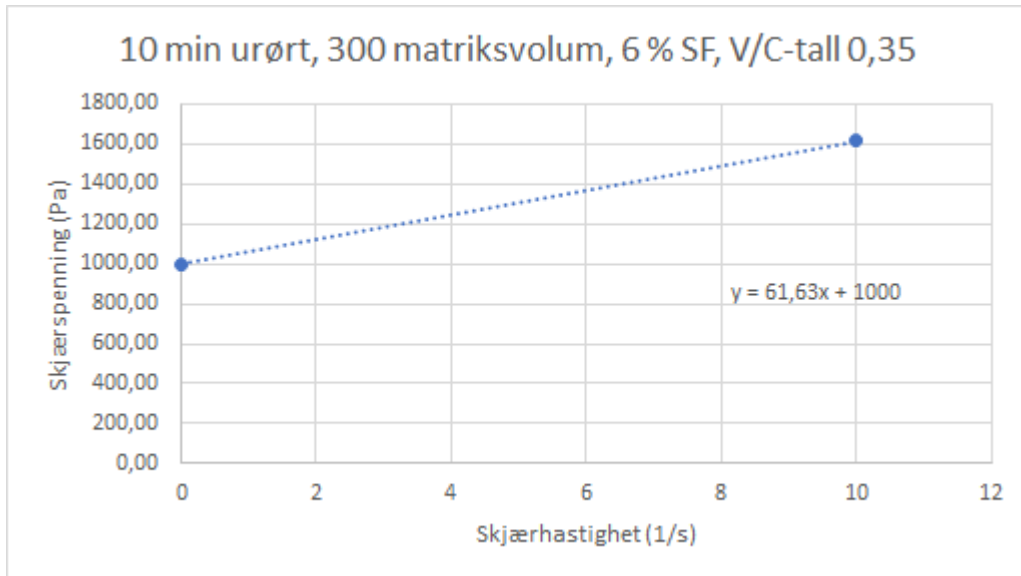
Betongens reologiske egenskaper



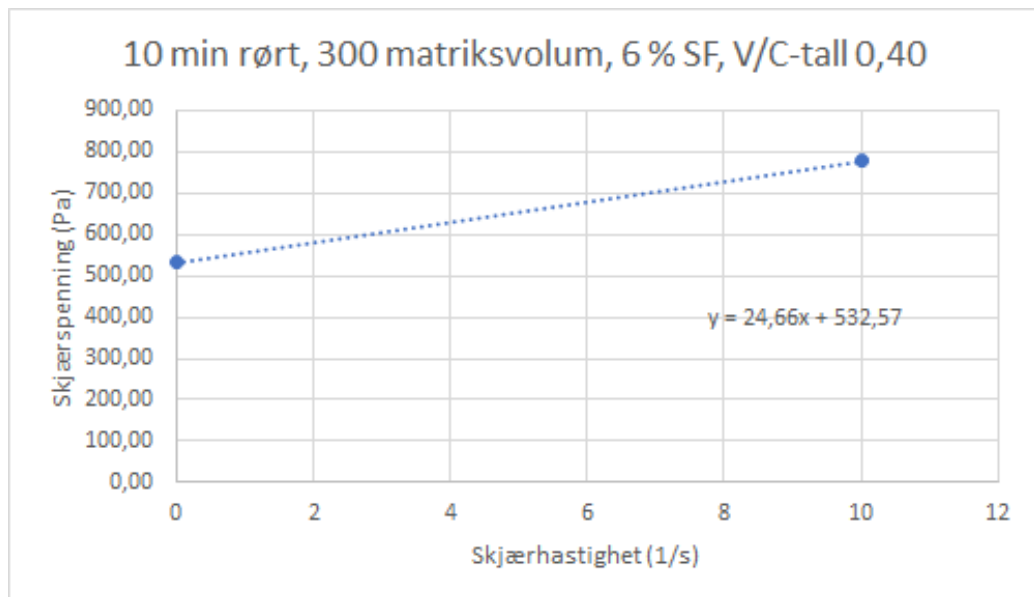
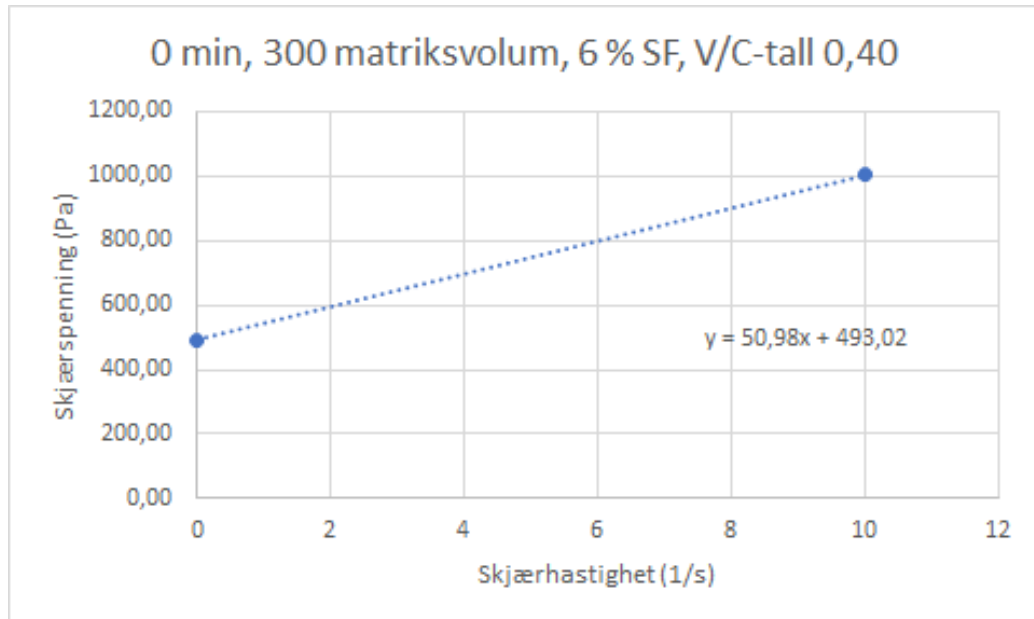
9.1.2 - 300 matriksvolum, 6 % SF



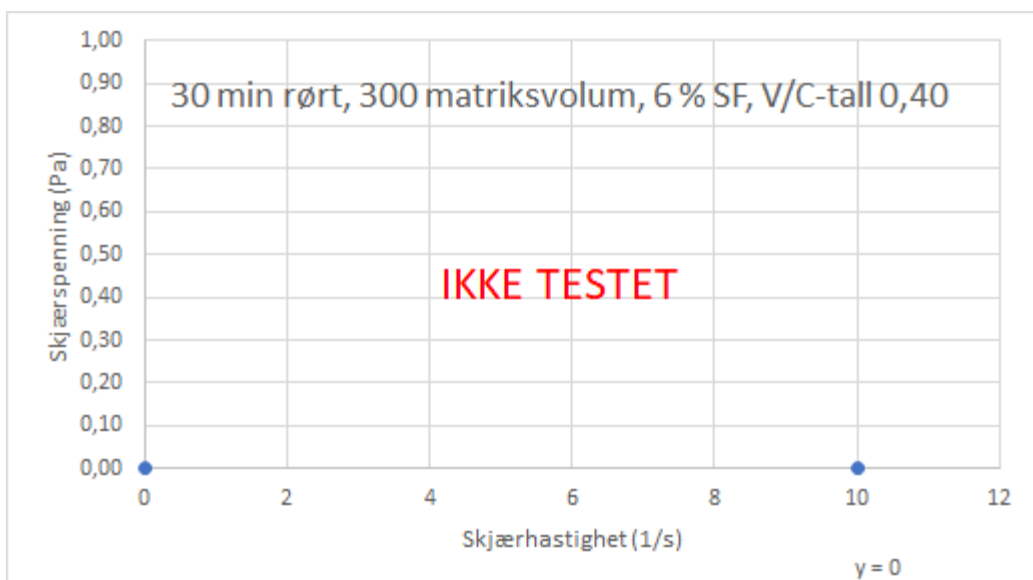
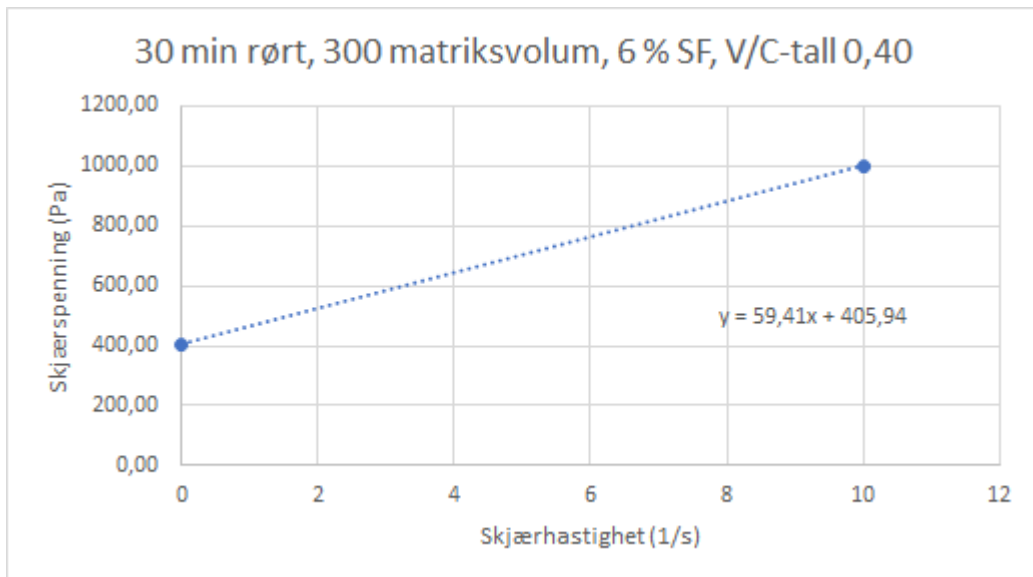
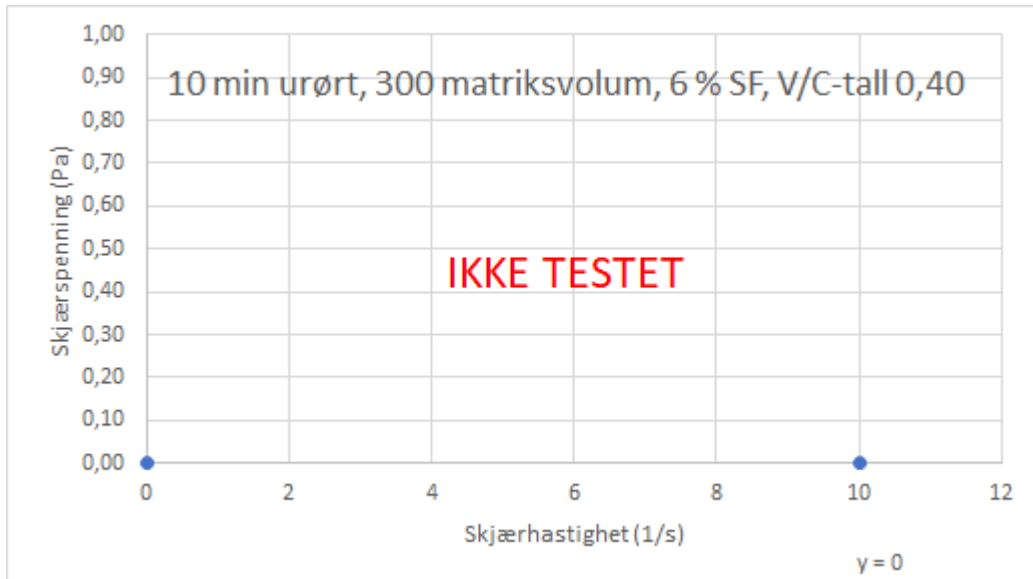
Betongens reologiske egenskaper



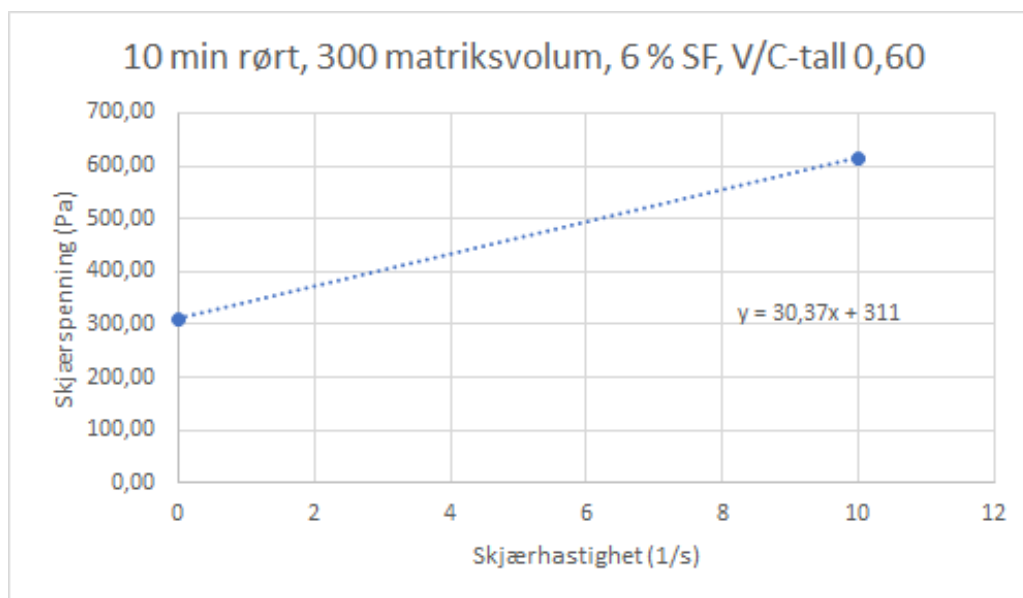
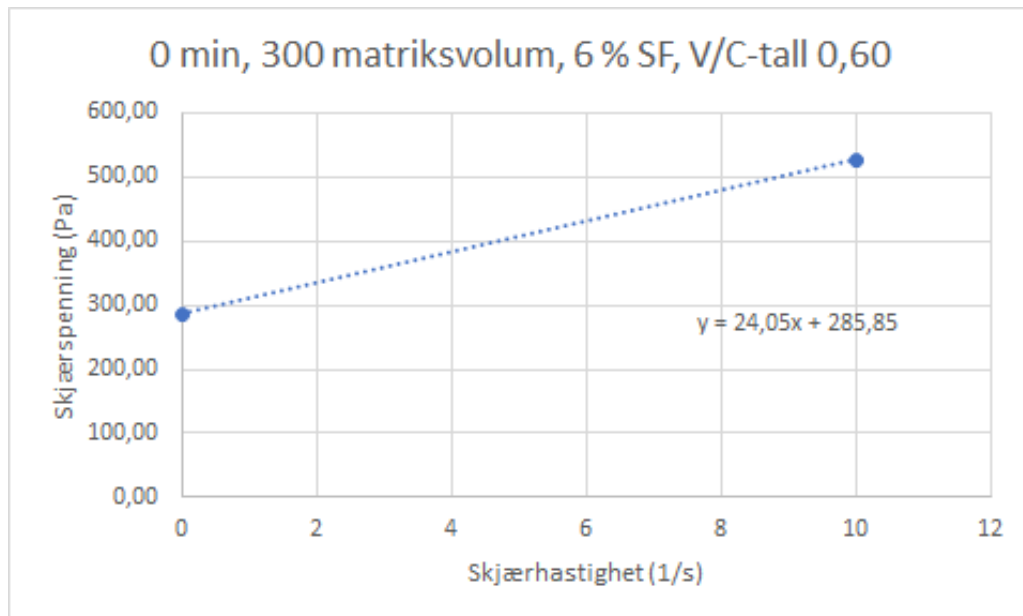
Betongens reologiske egenskaper



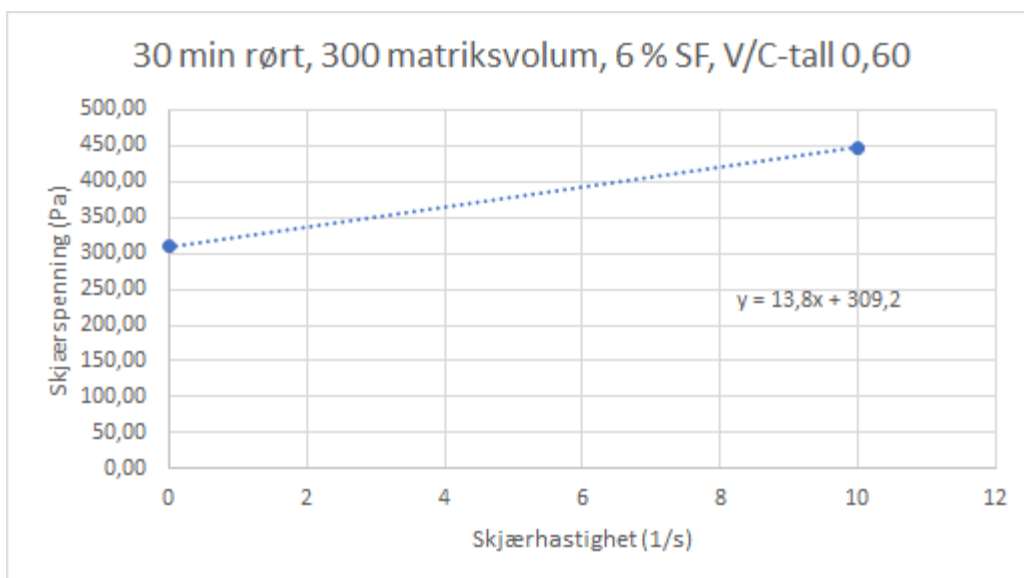
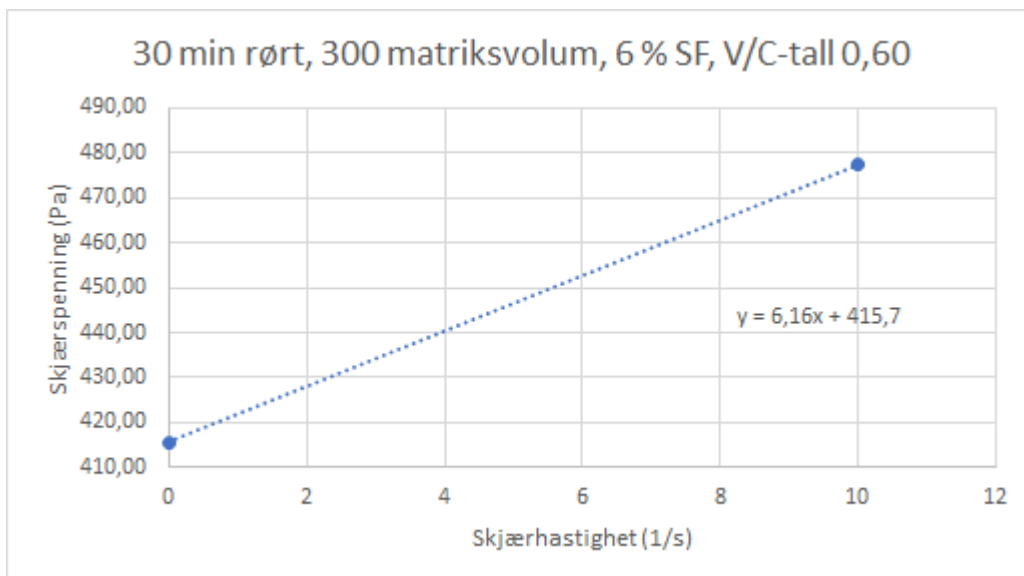
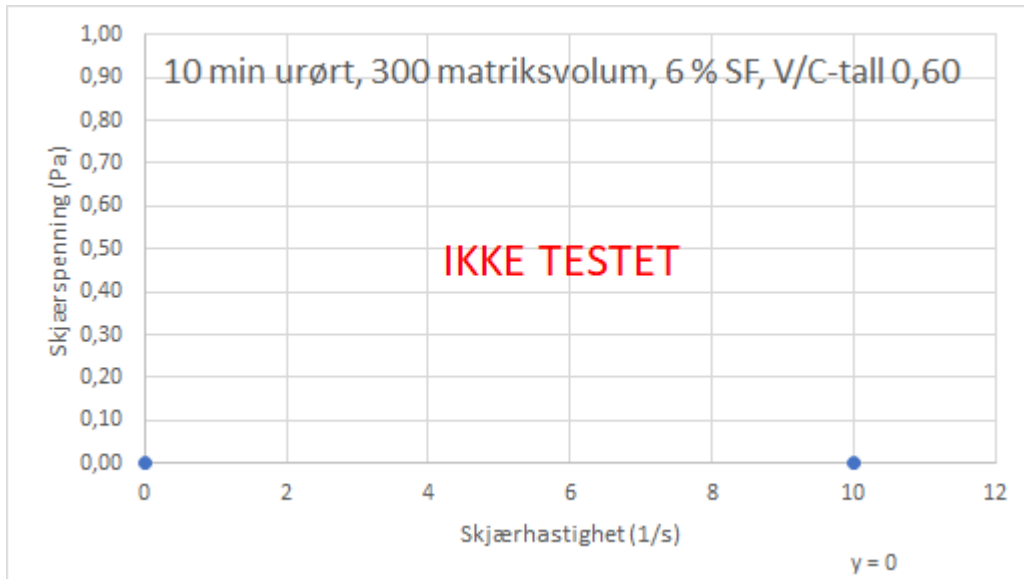
Betongens reologiske egenskaper



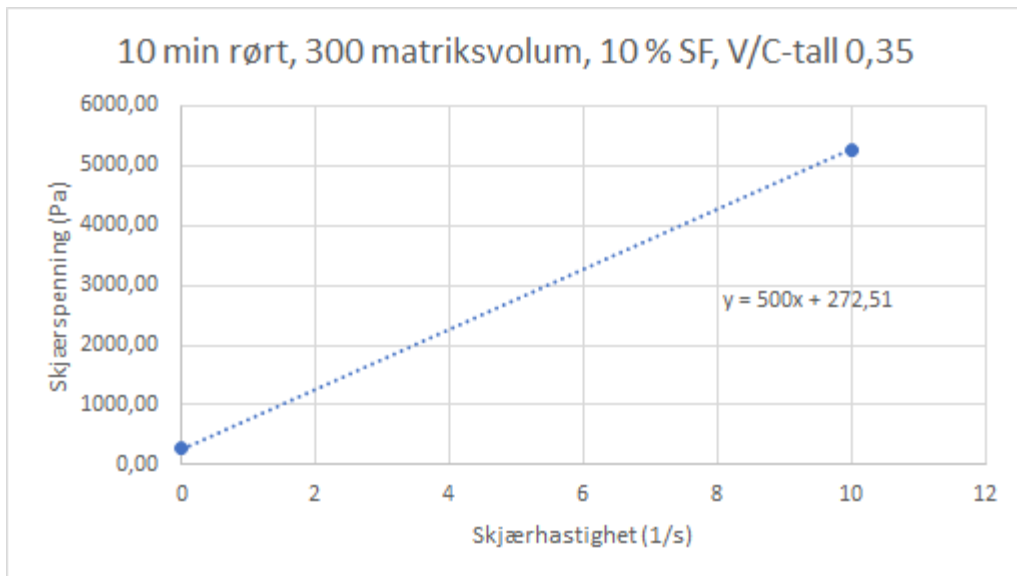
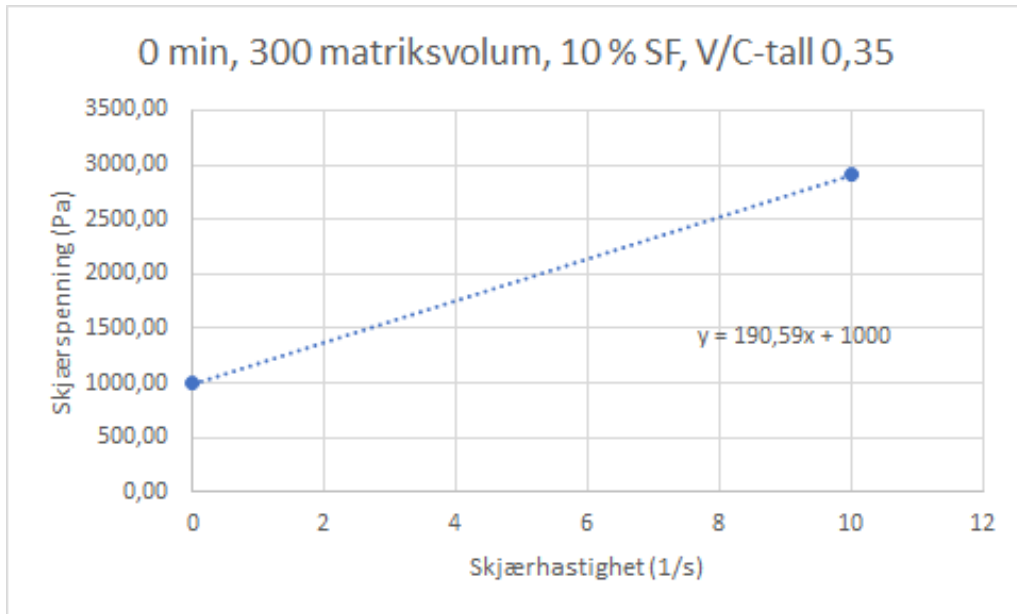
Betongens reologiske egenskaper



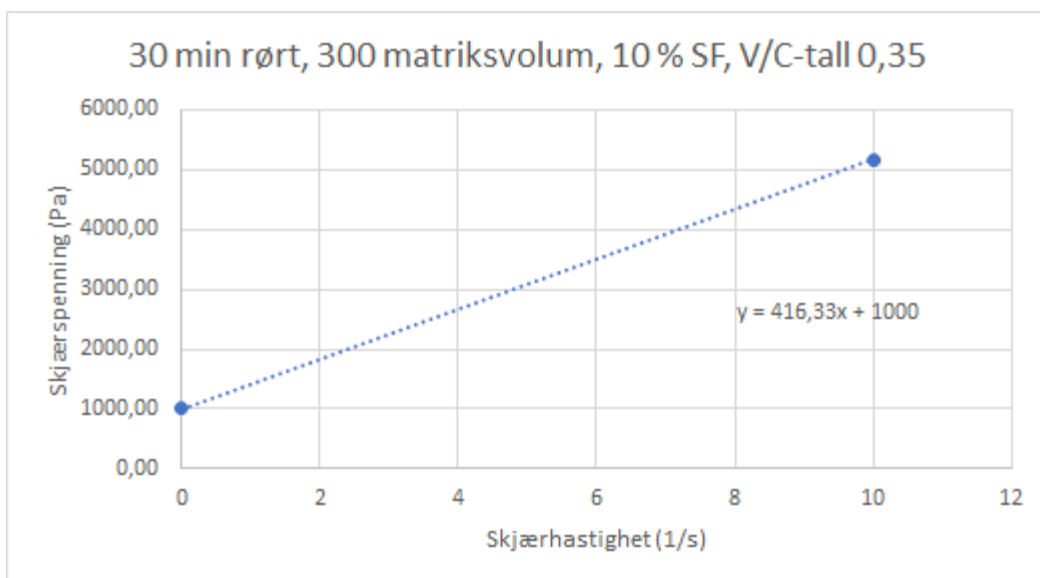
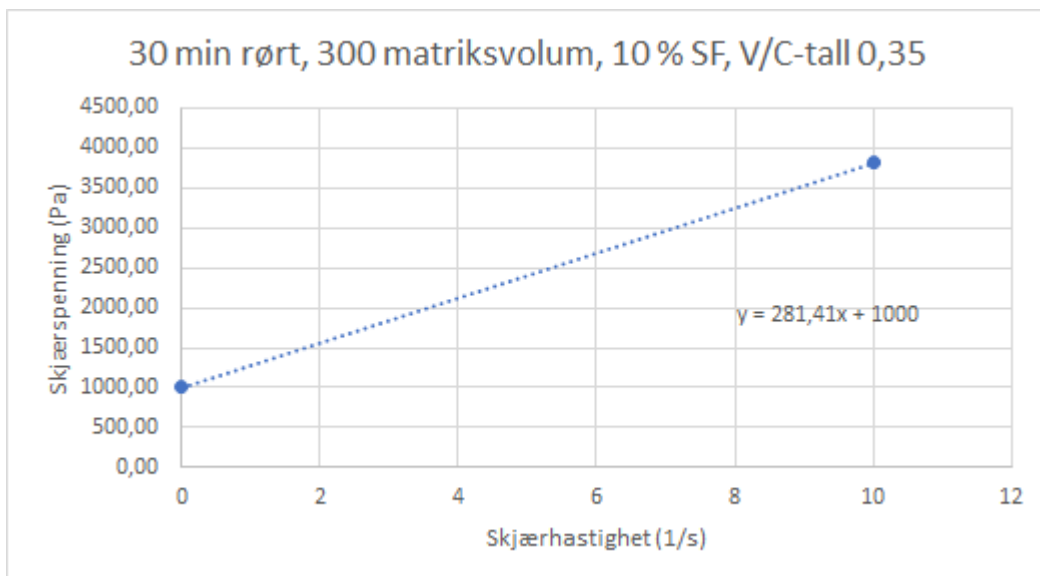
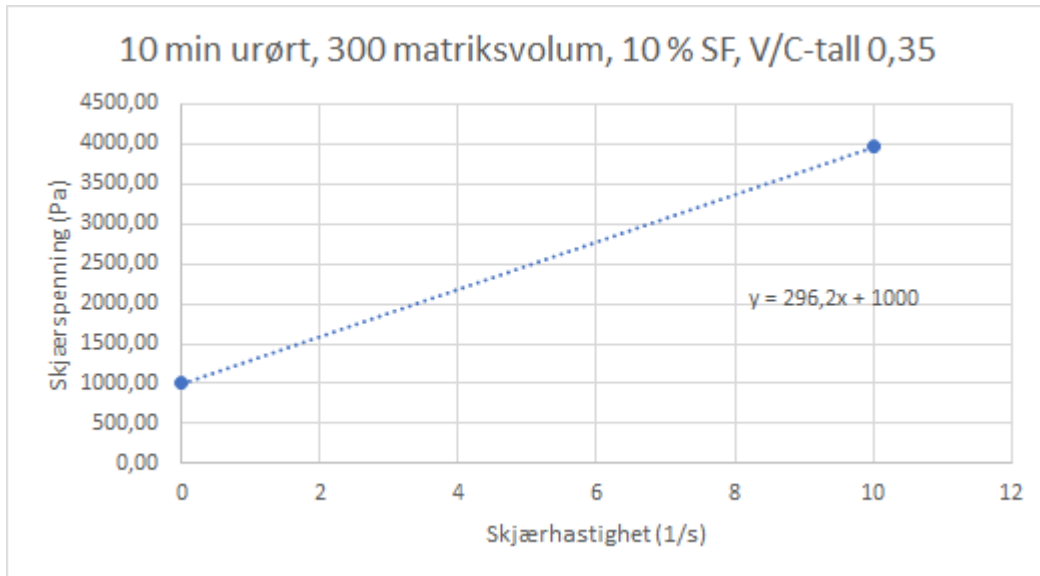
Betongens reologiske egenskaper



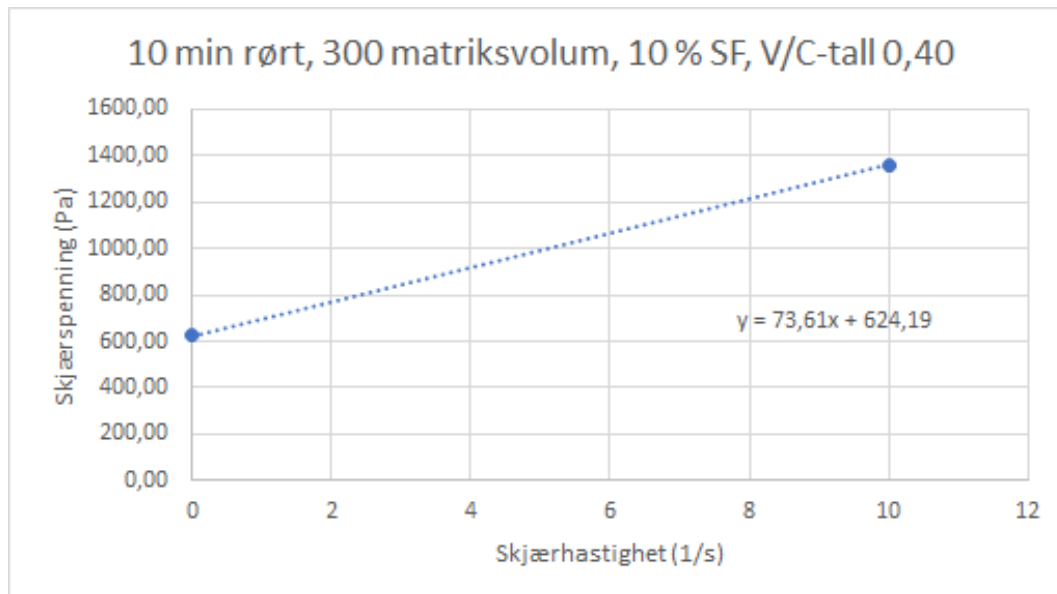
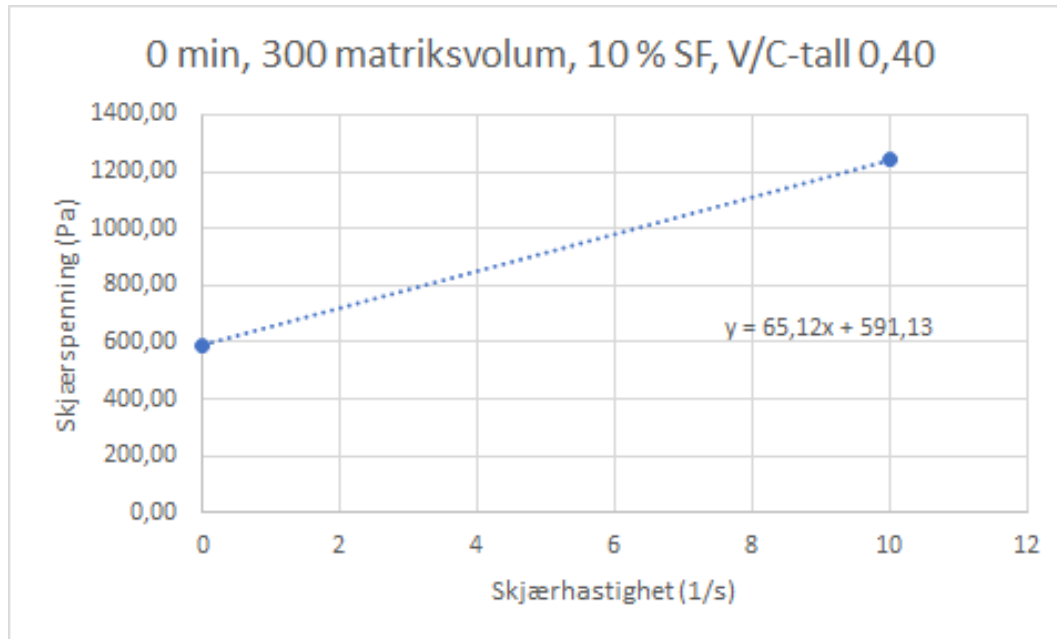
9.1.3 - 300 matriksvolum, 10 % SF



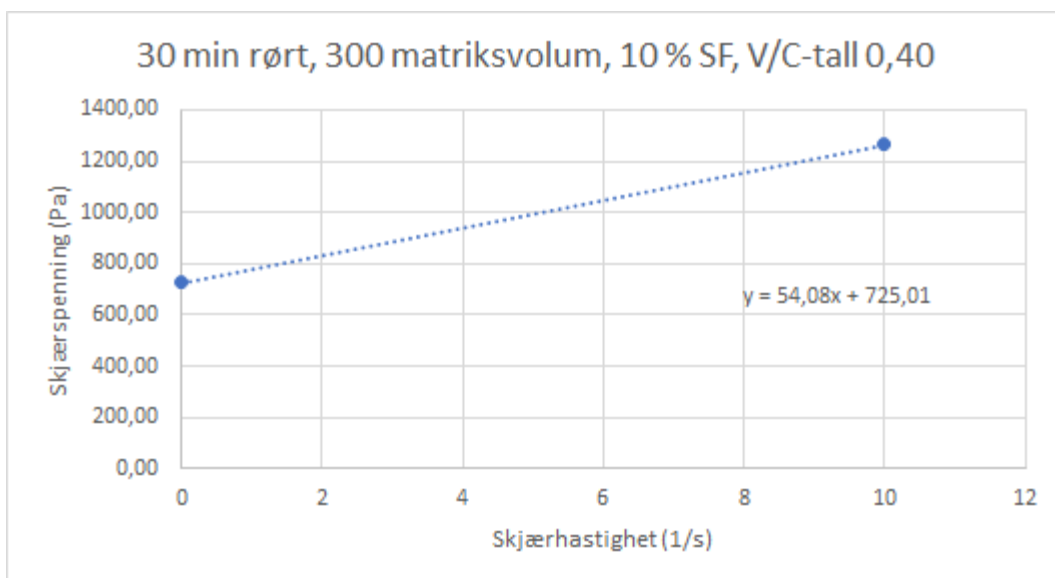
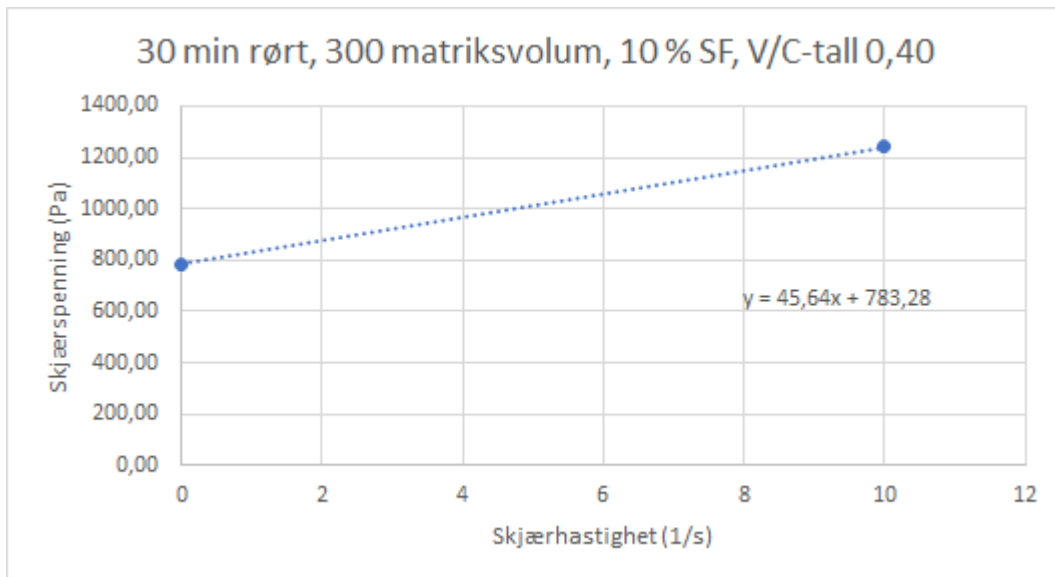
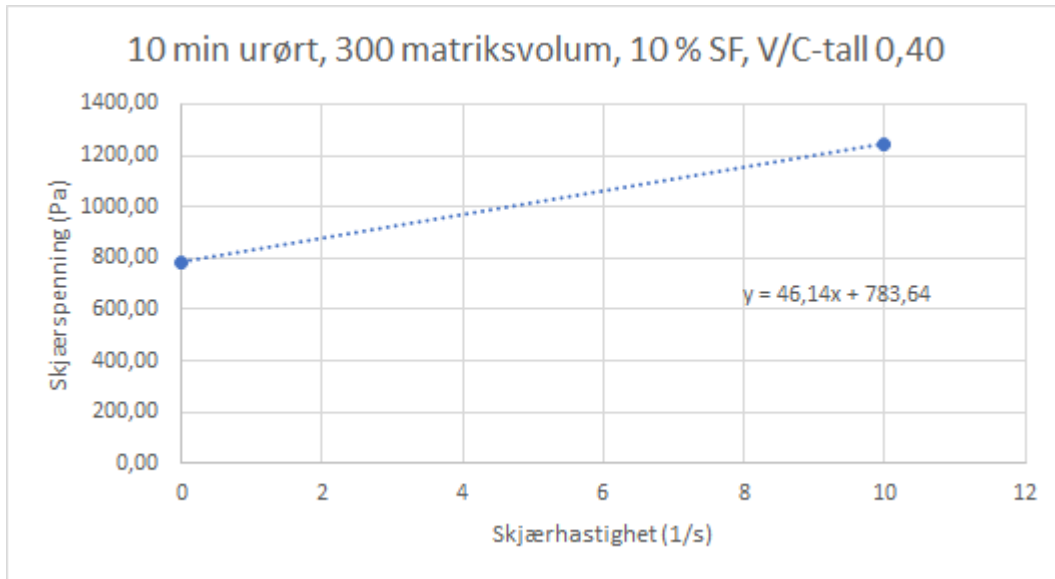
Betongens reologiske egenskaper



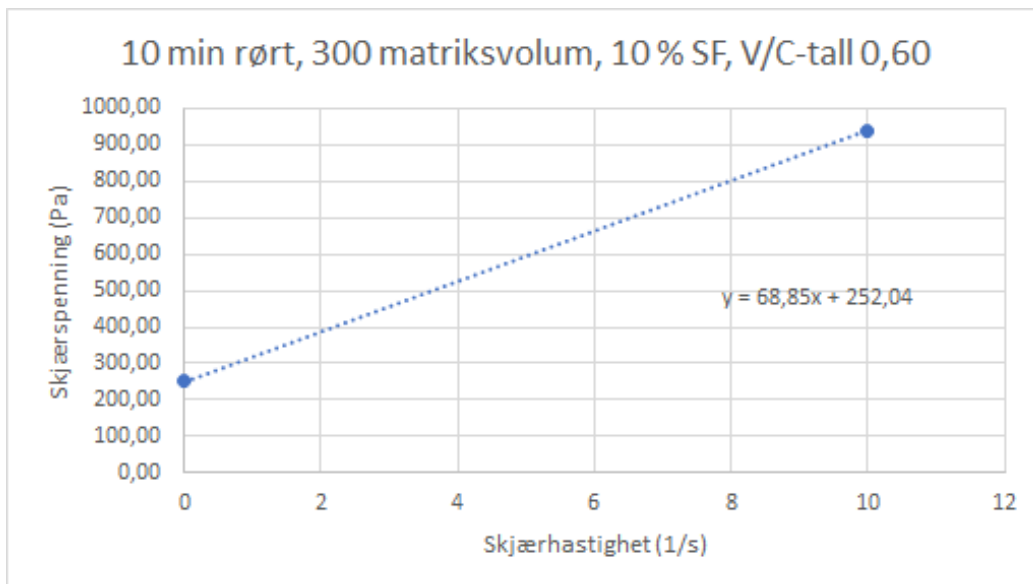
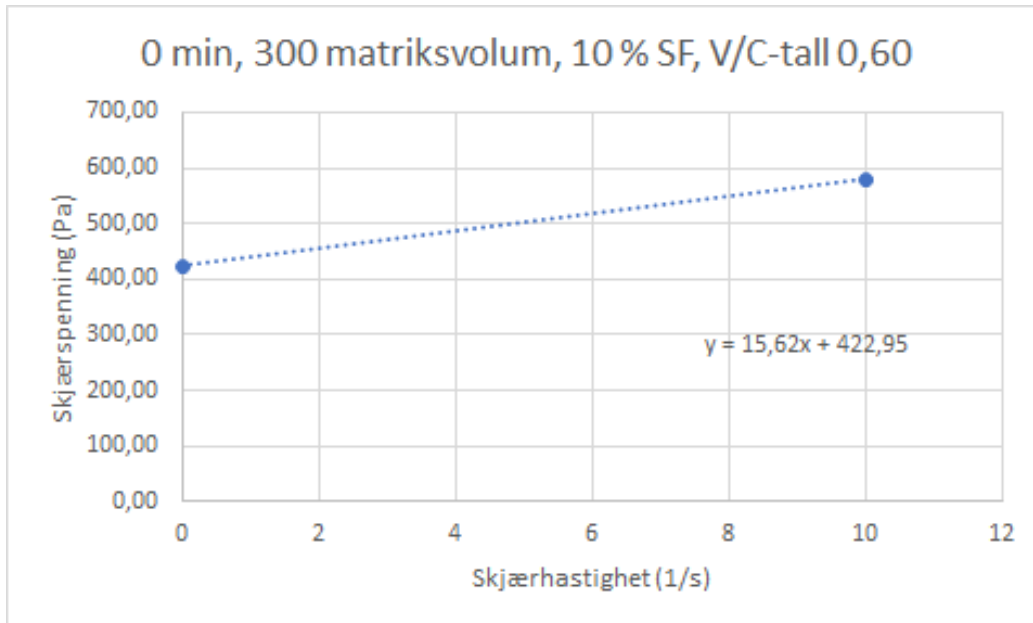
Betongens reologiske egenskaper



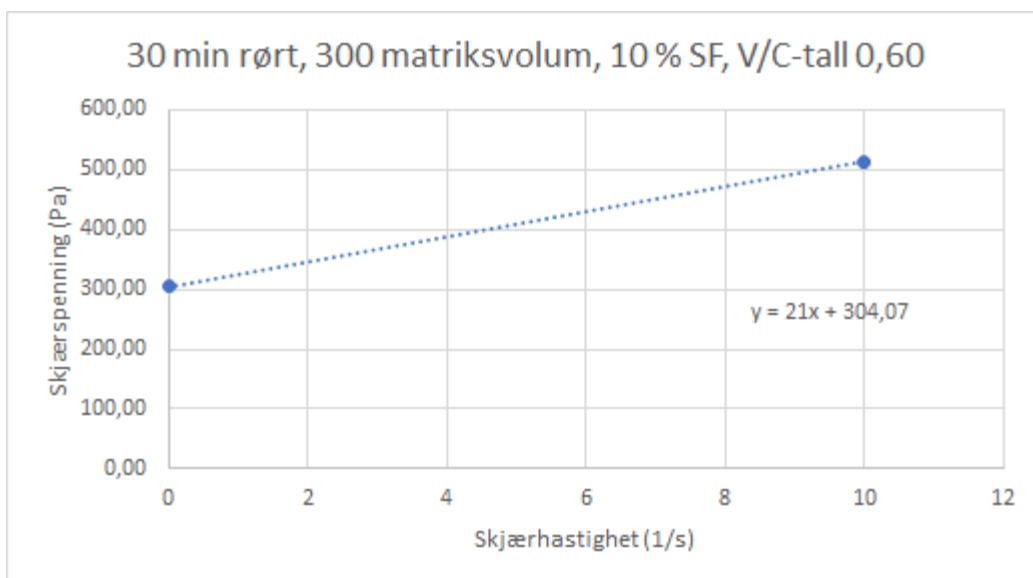
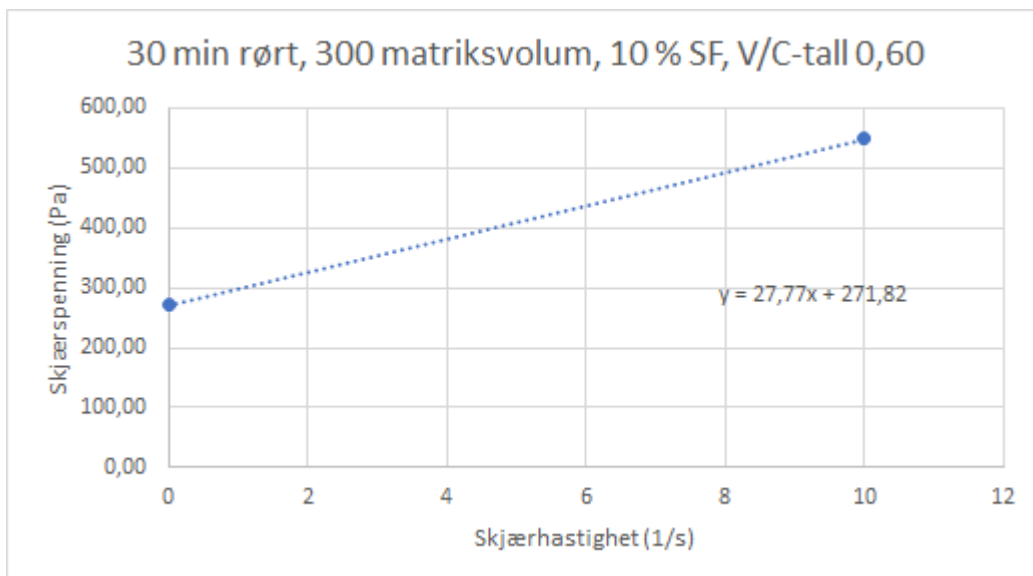
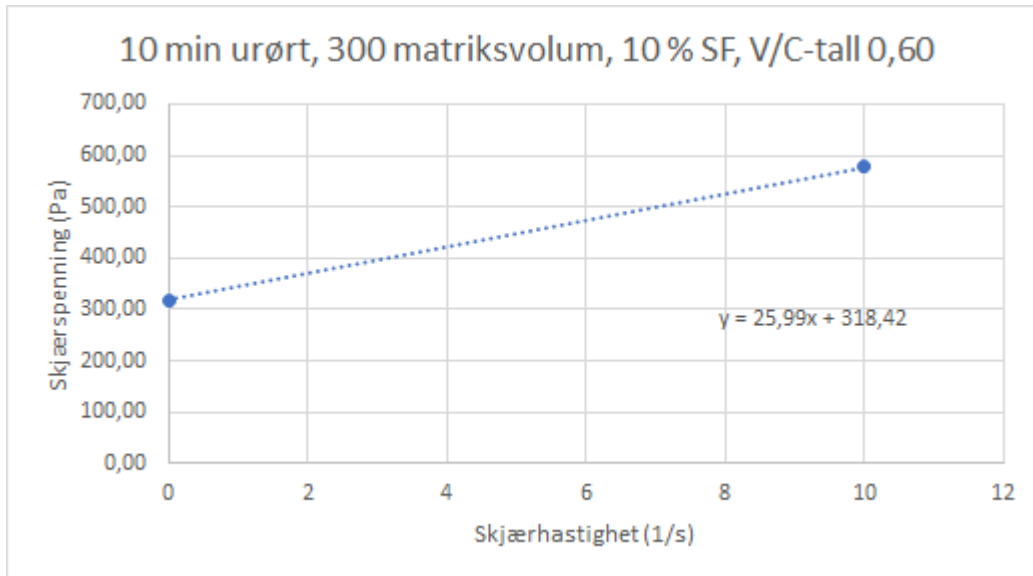
Betongens reologiske egenskaper



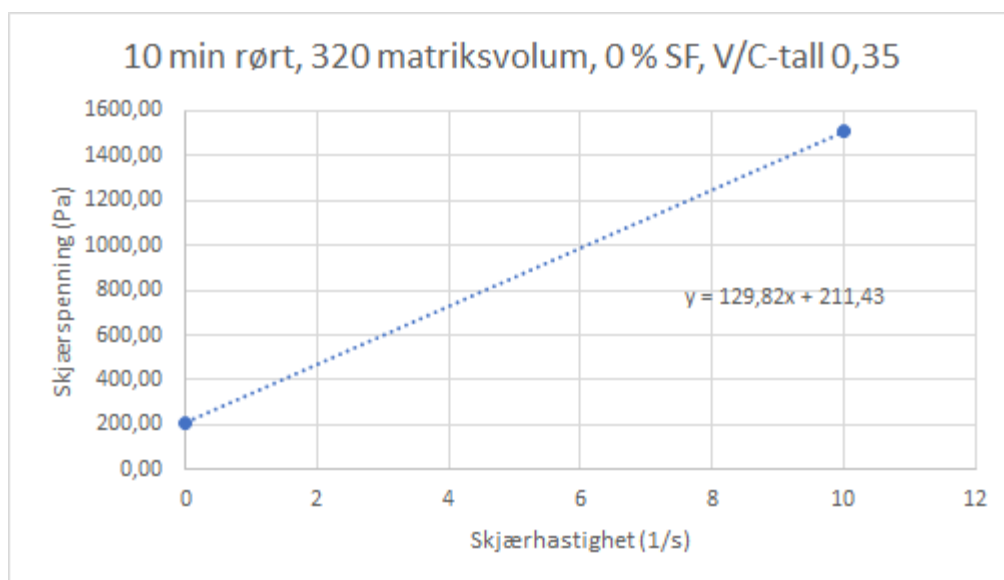
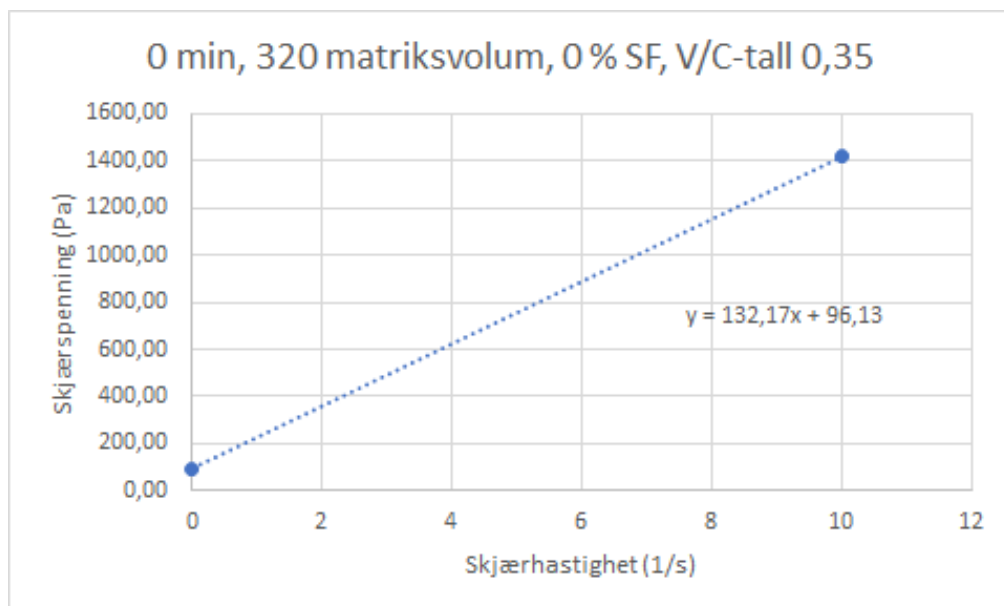
Betongens reologiske egenskaper



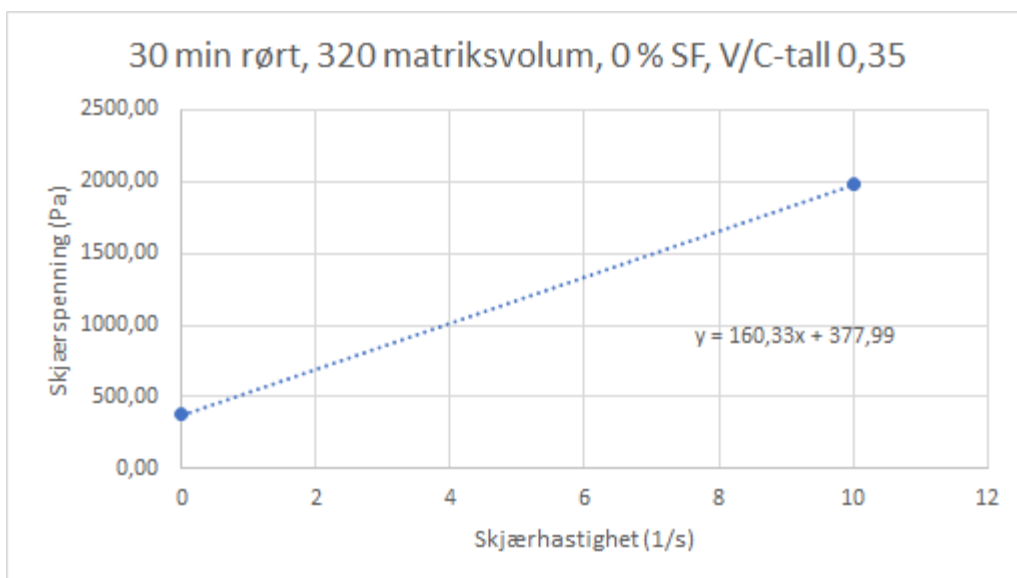
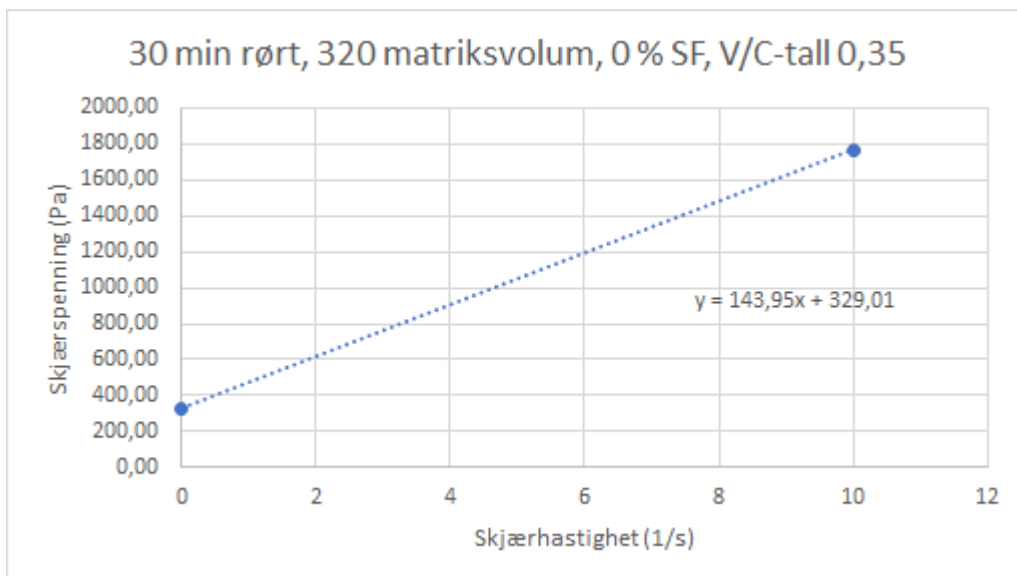
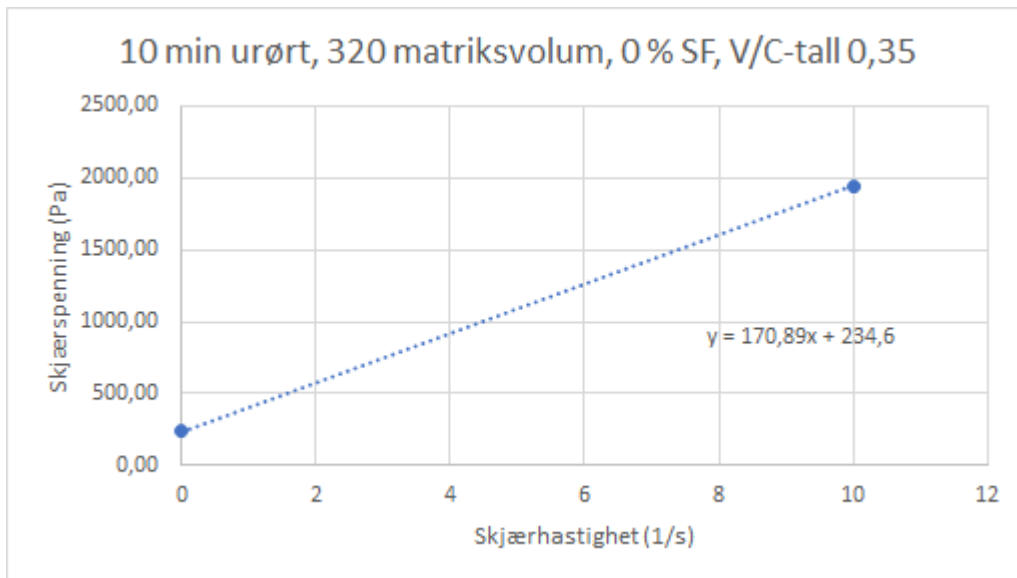
Betongens reologiske egenskaper



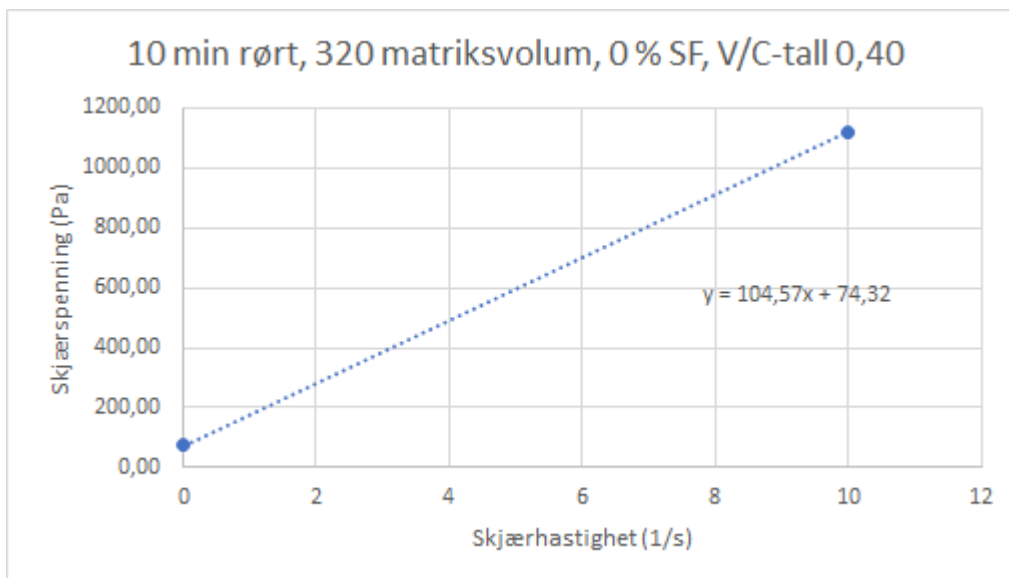
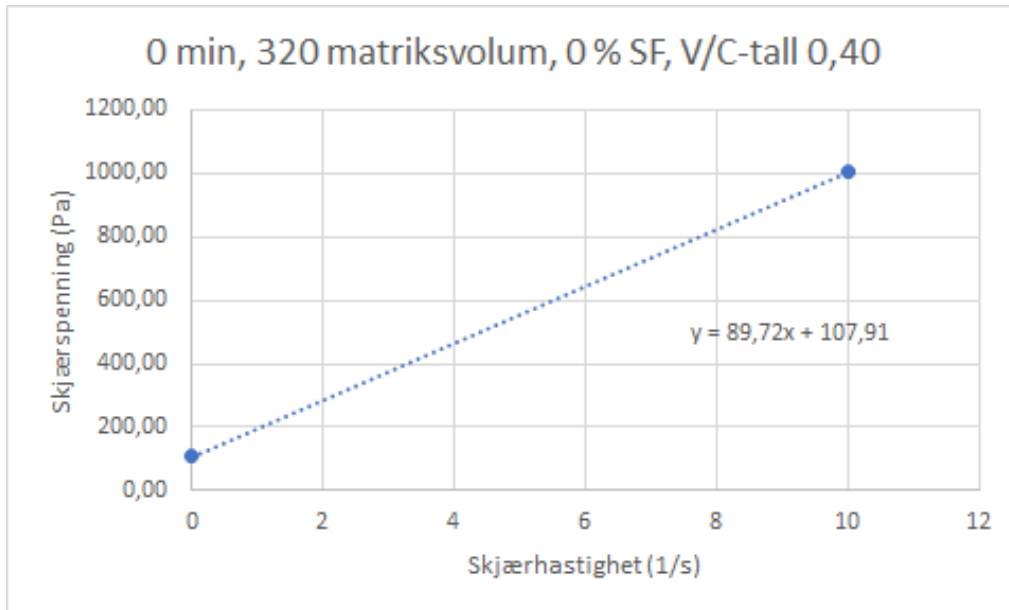
9.1.4 - 320 matriksvolum, 0 % SF



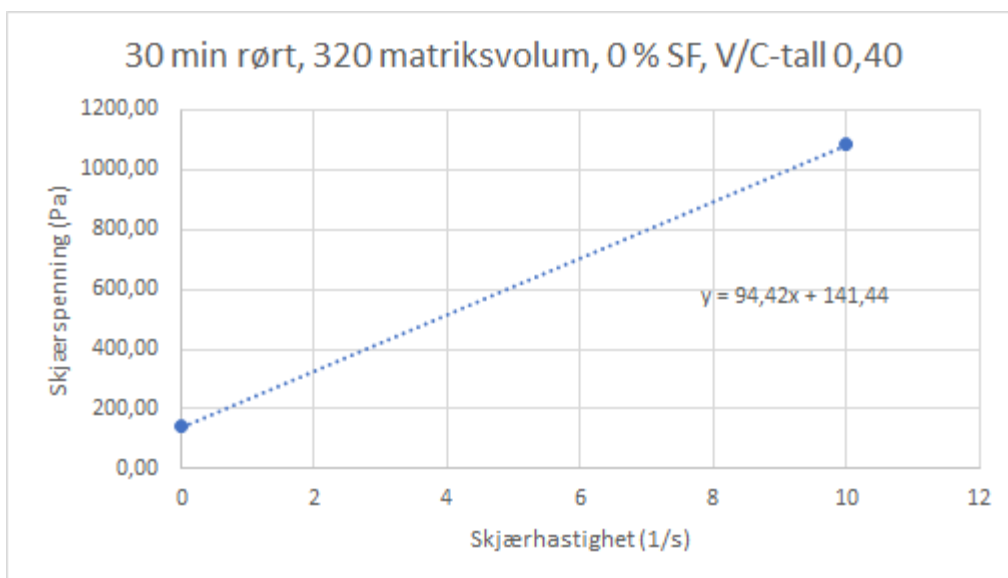
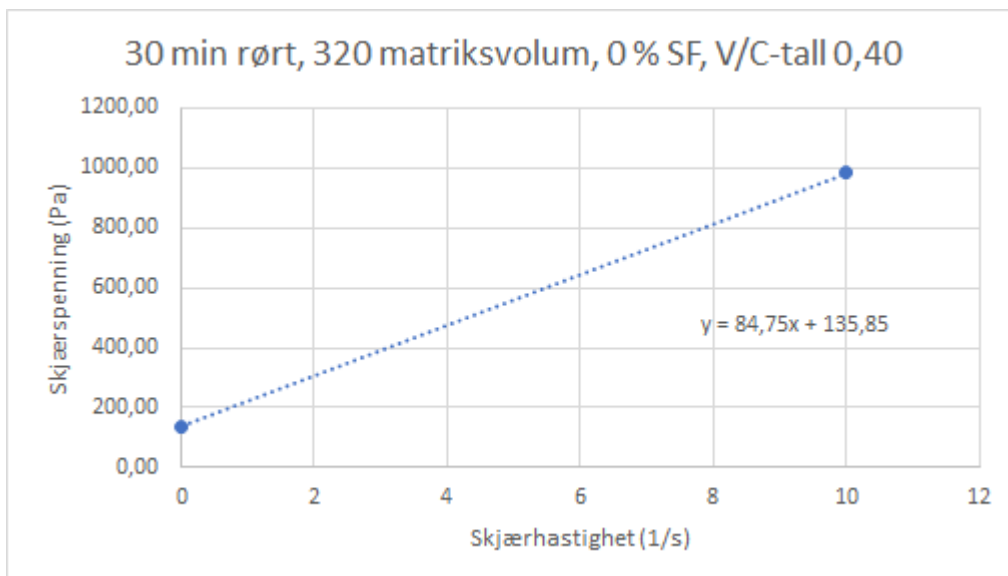
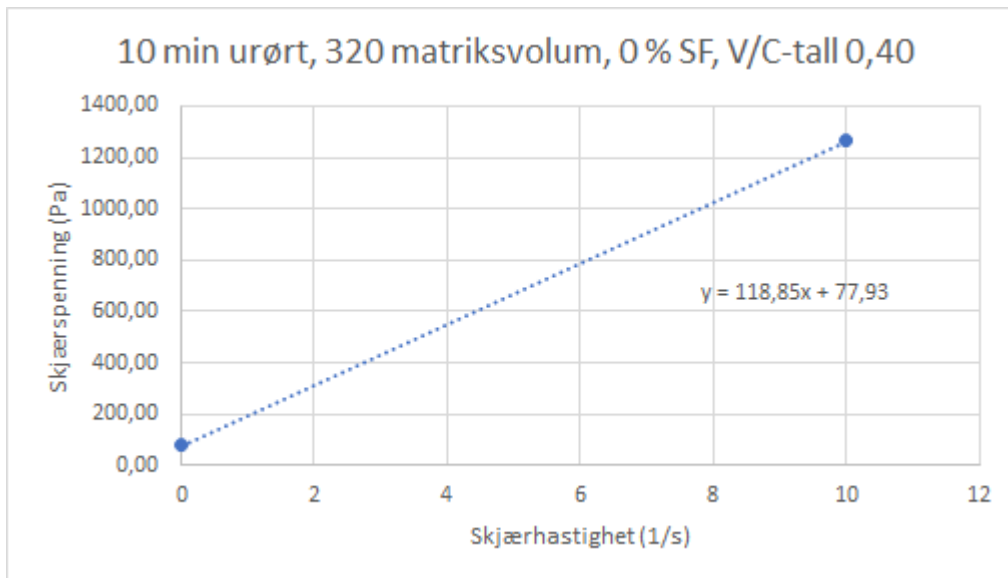
Betongens reologiske egenskaper



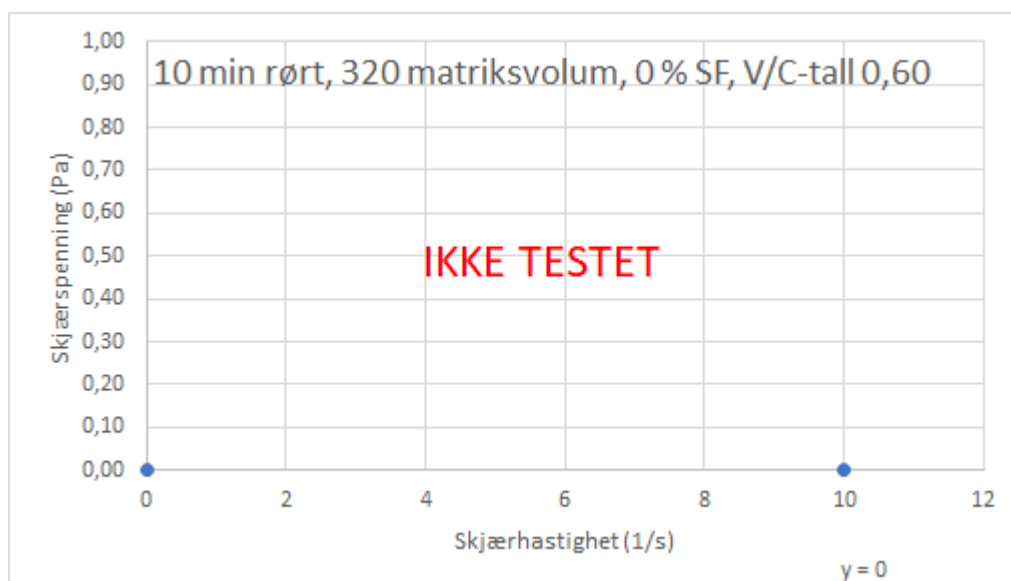
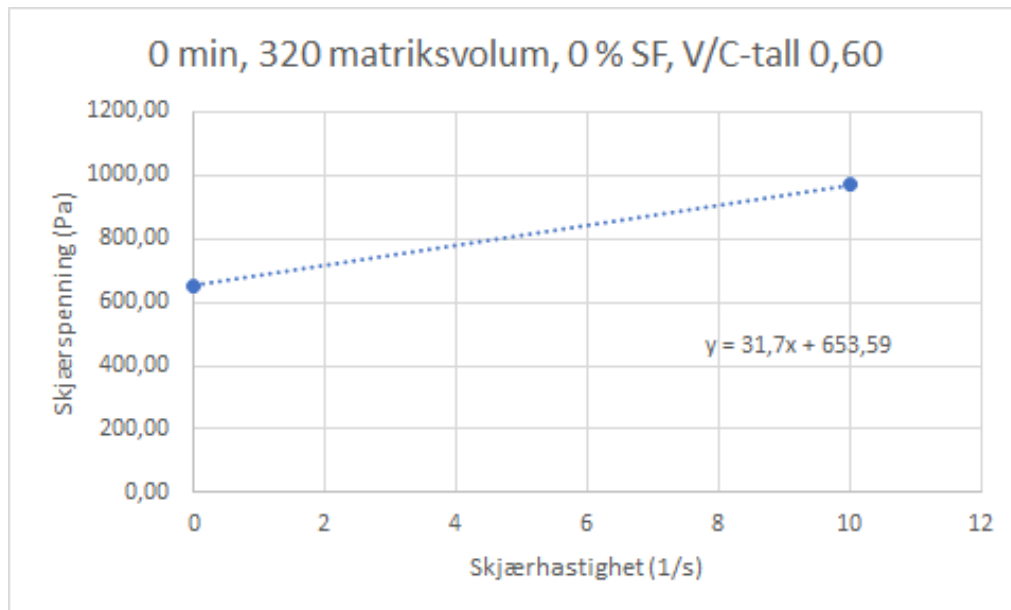
Betongens reologiske egenskaper



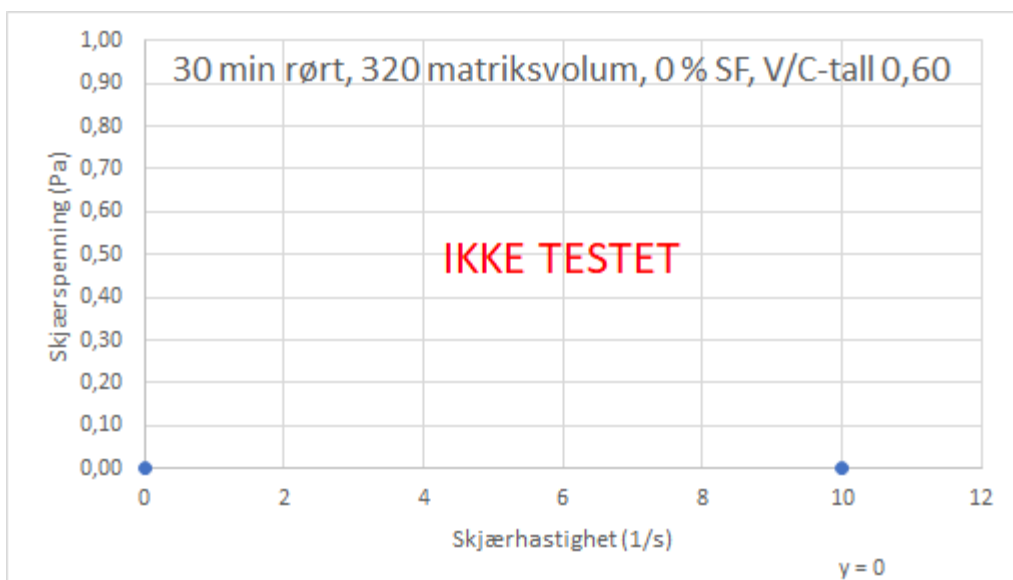
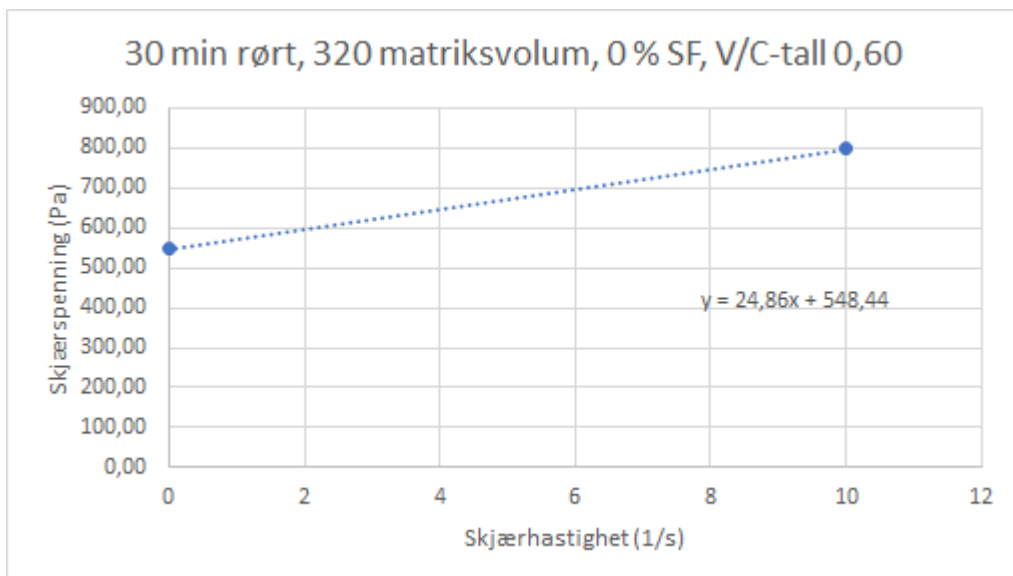
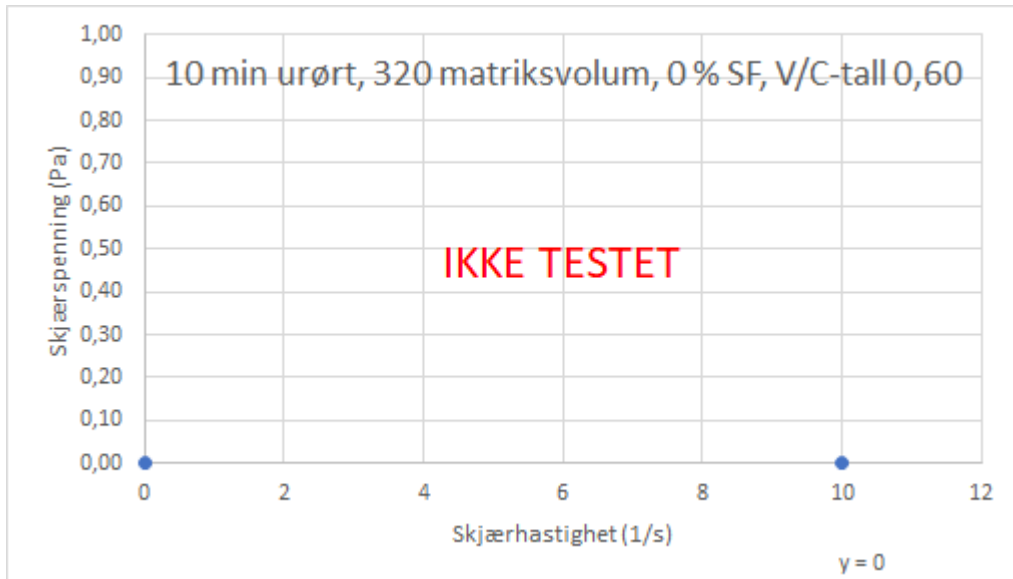
Betongens reologiske egenskaper



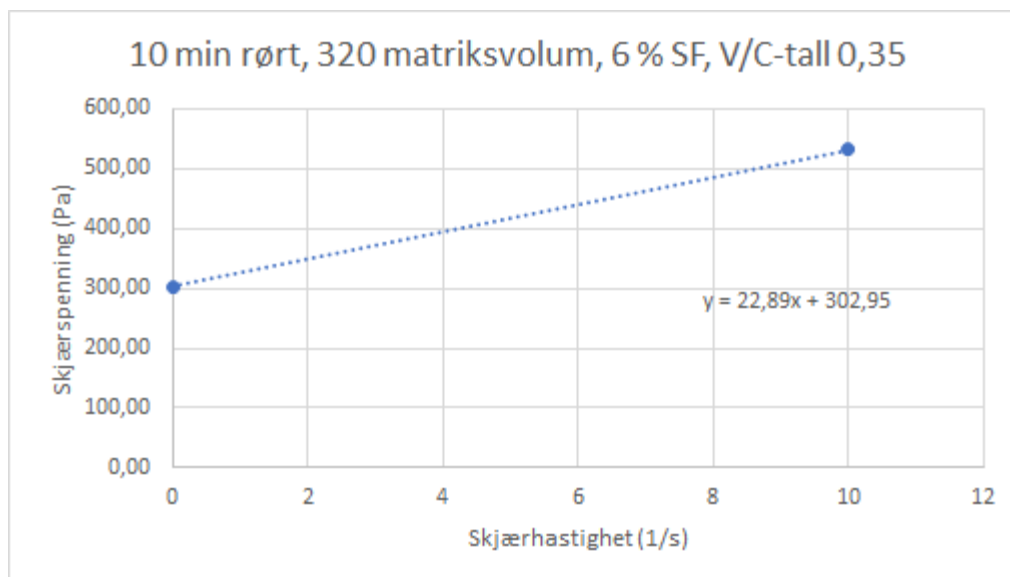
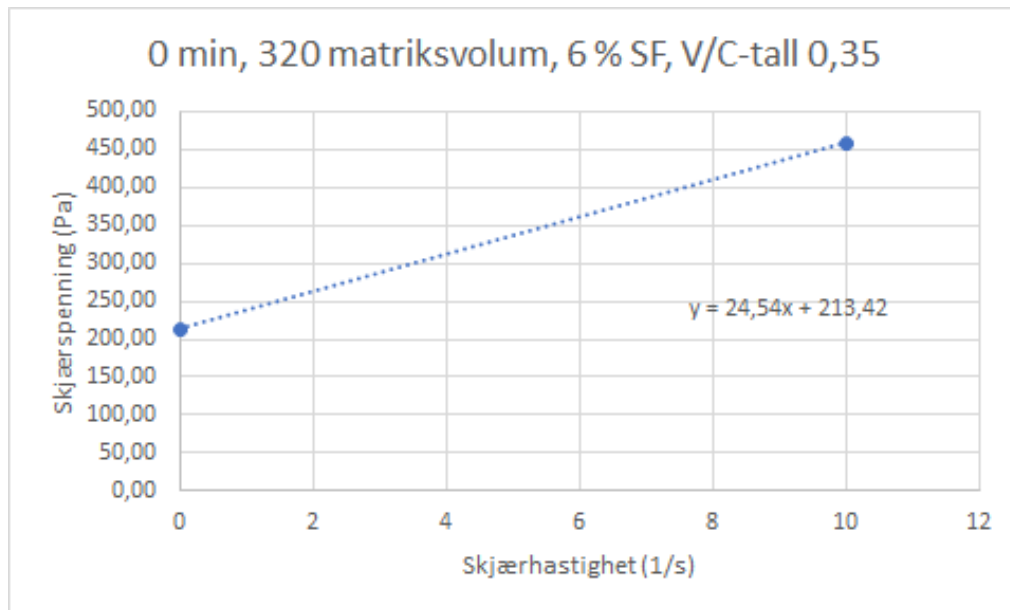
Betongens reologiske egenskaper



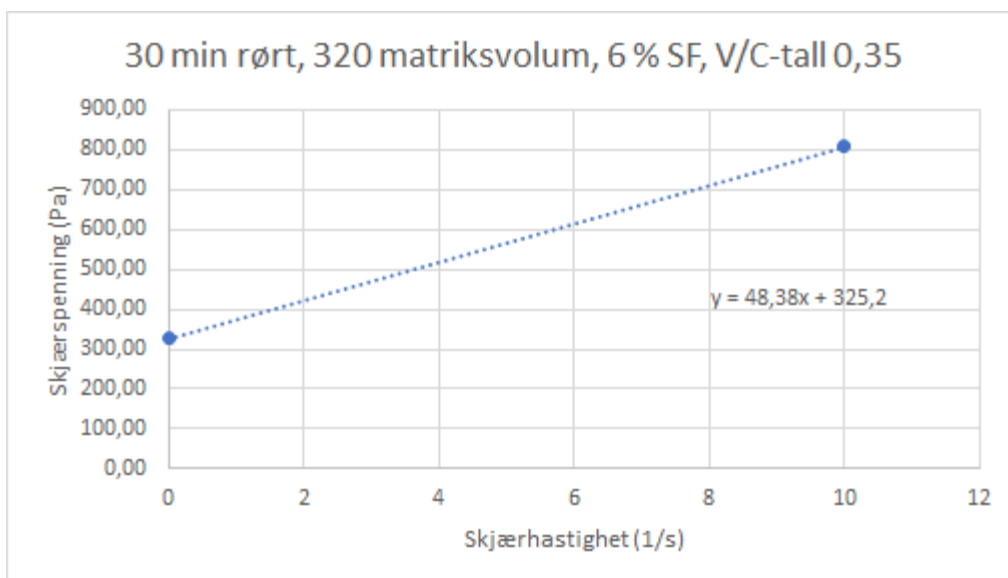
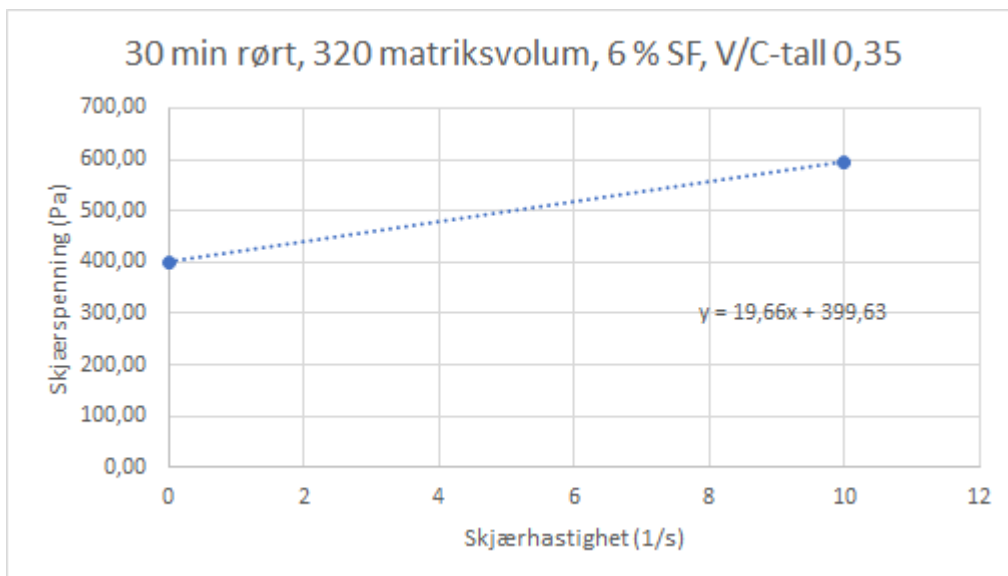
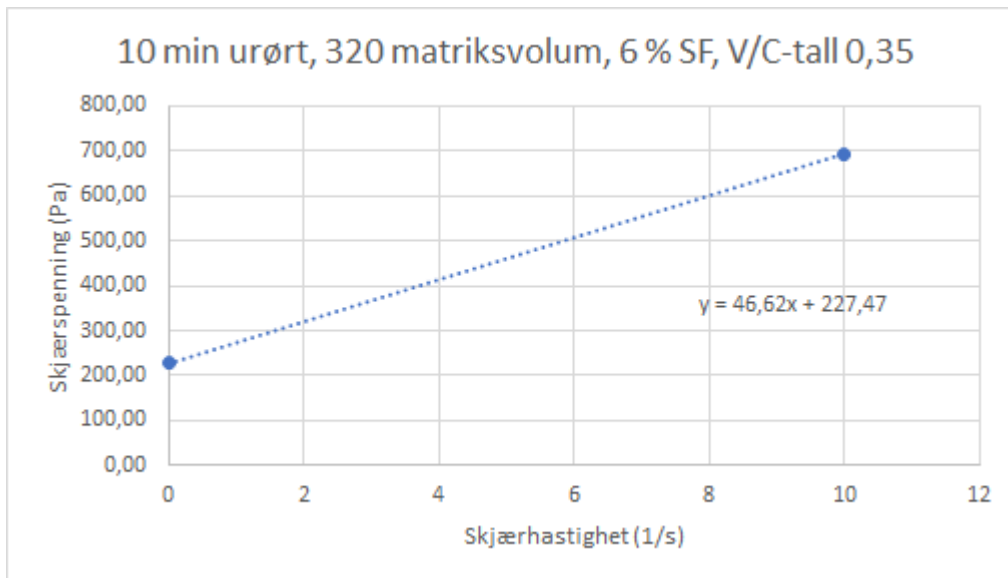
Betongens reologiske egenskaper



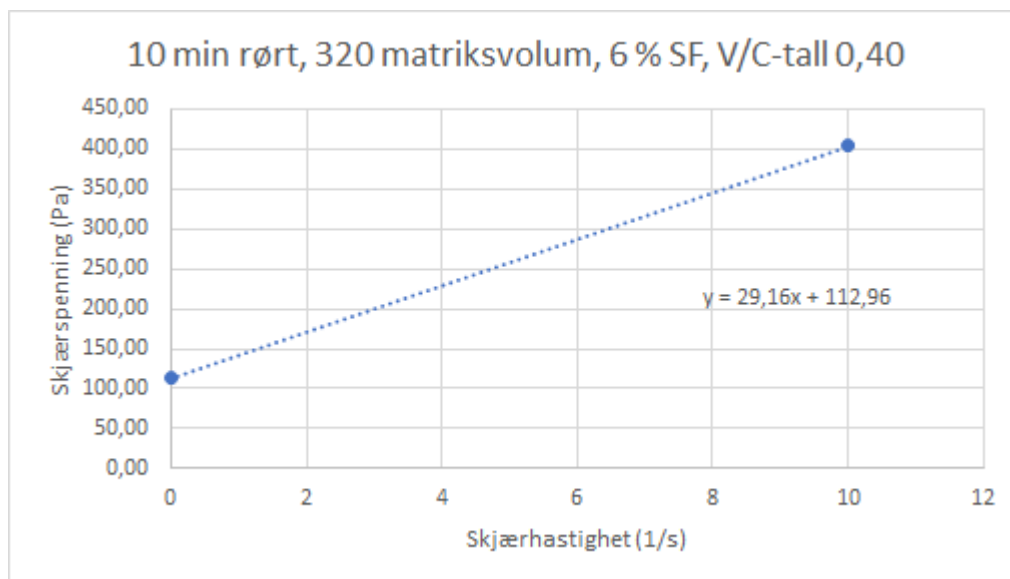
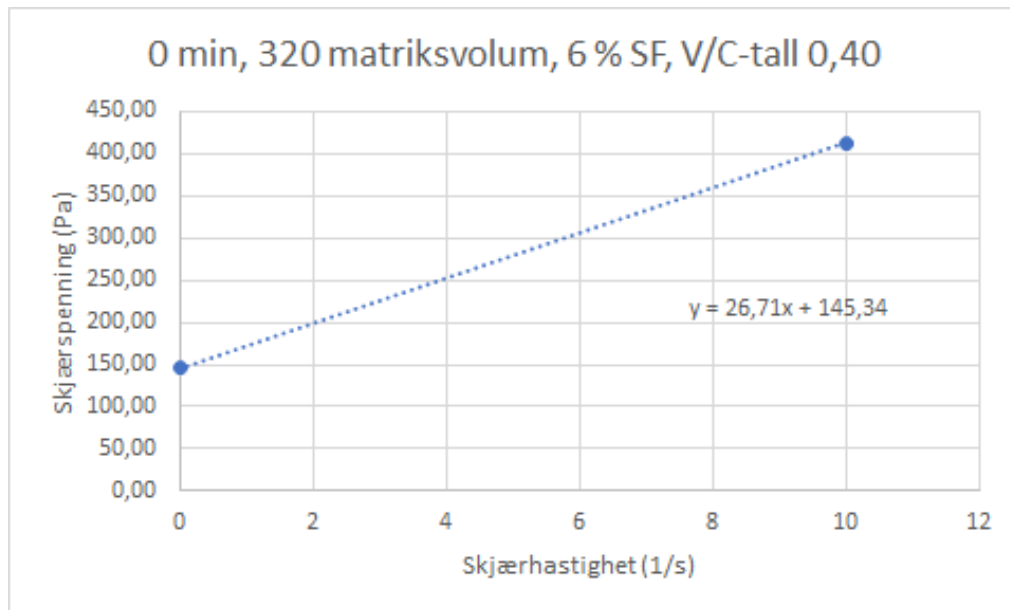
9.1.5 - 320 matriksvolum, 6 % SF



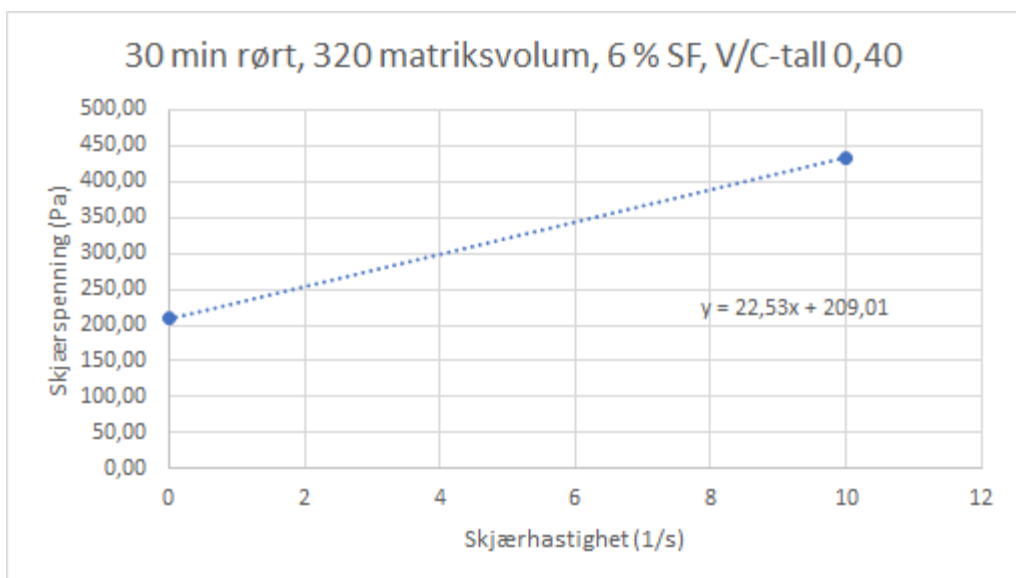
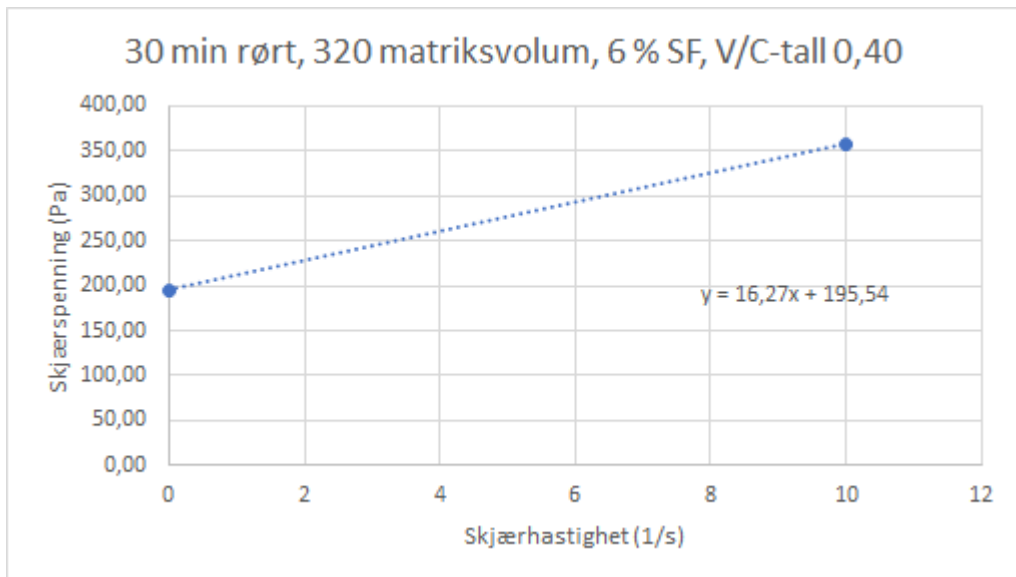
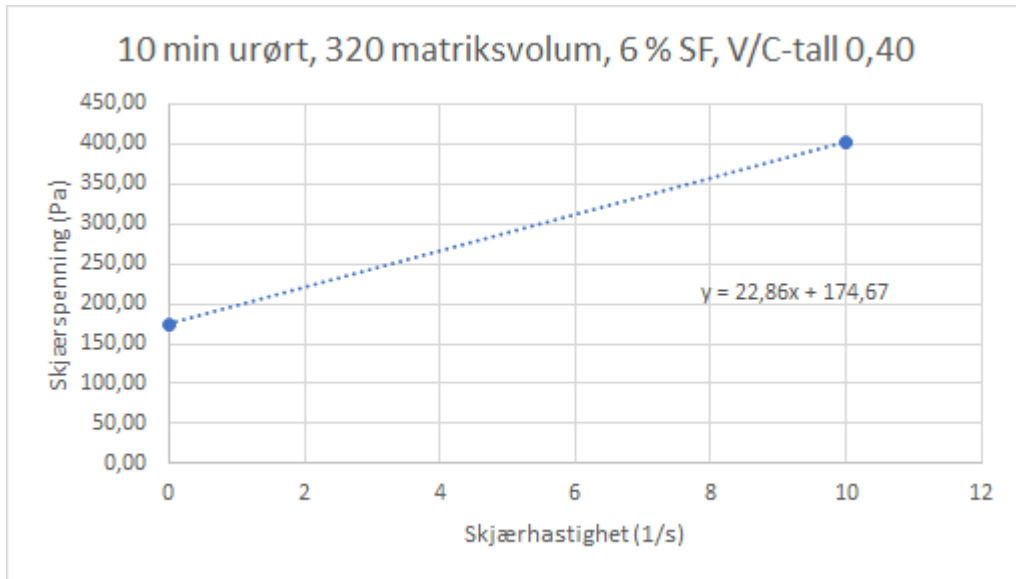
Betongens reologiske egenskaper



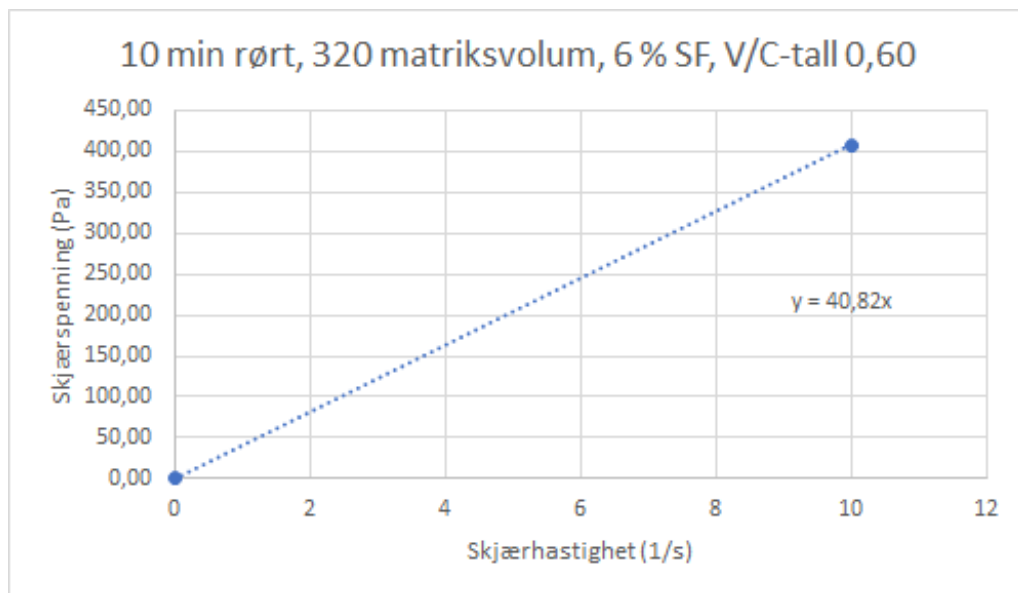
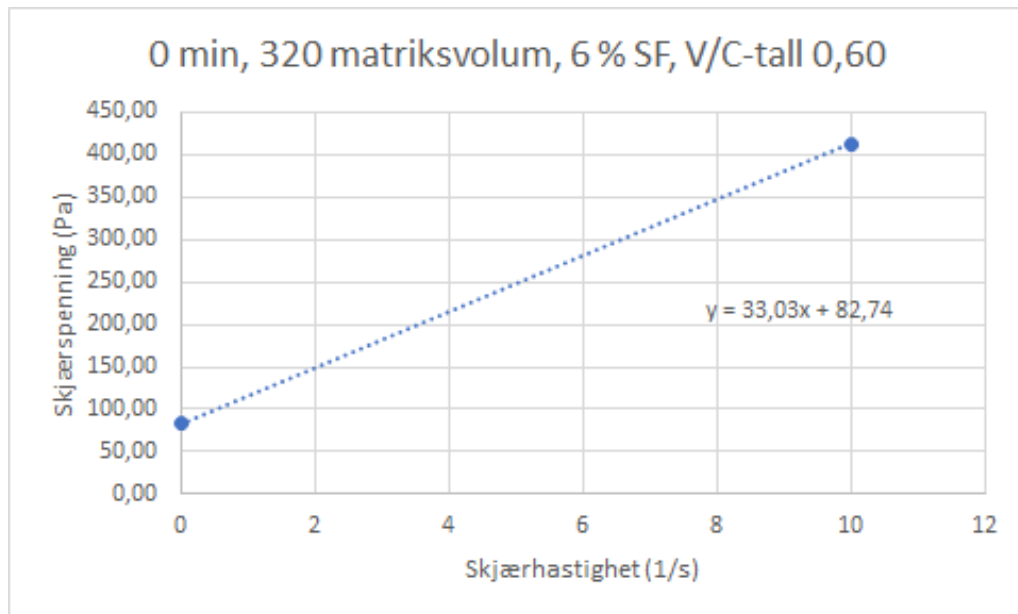
Betongens reologiske egenskaper



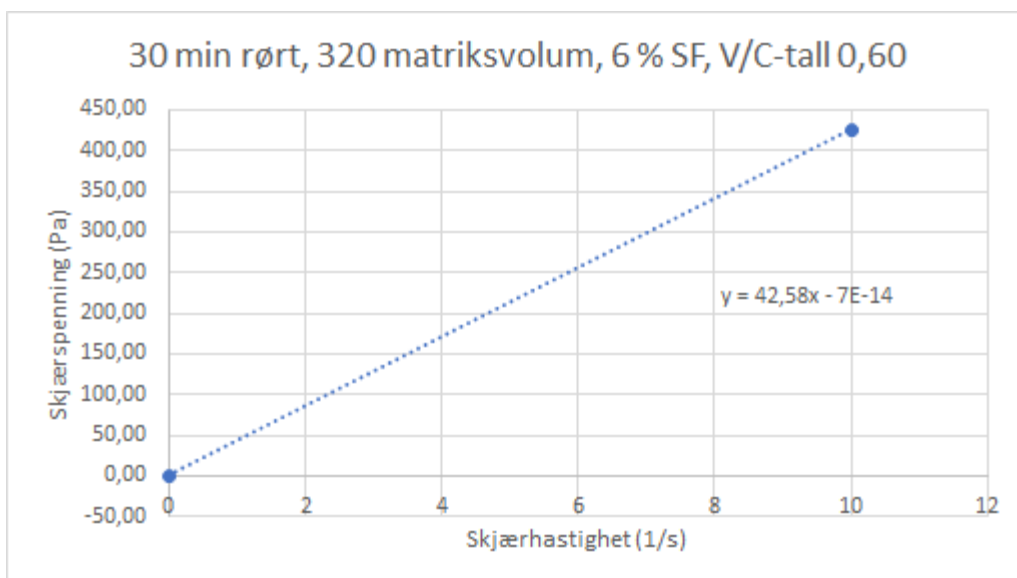
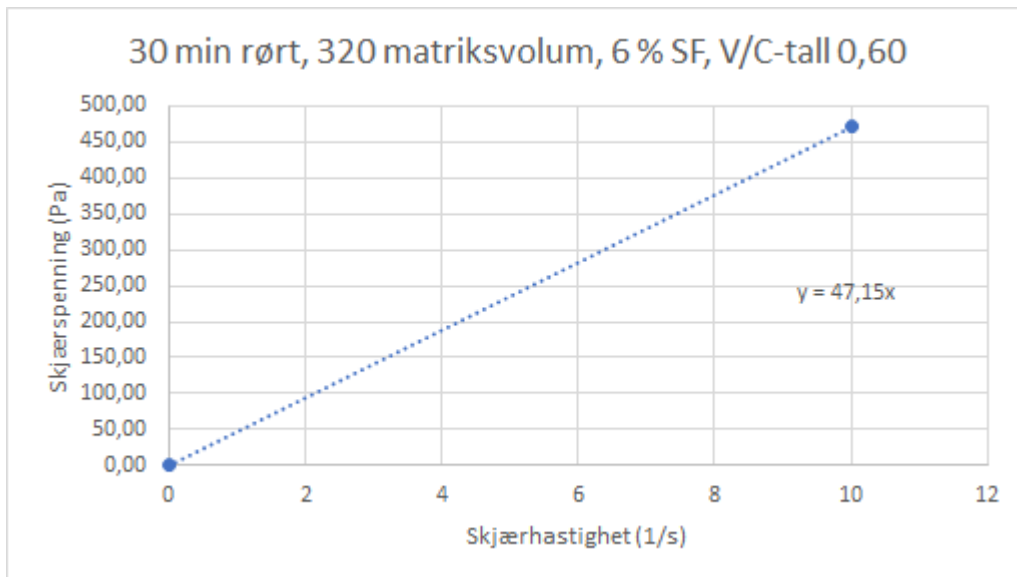
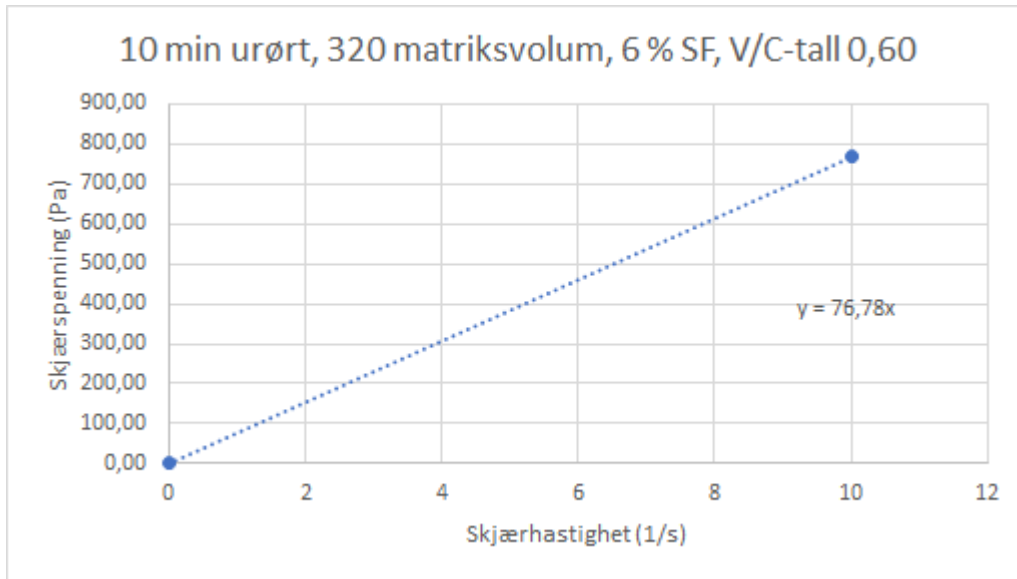
Betongens reologiske egenskaper



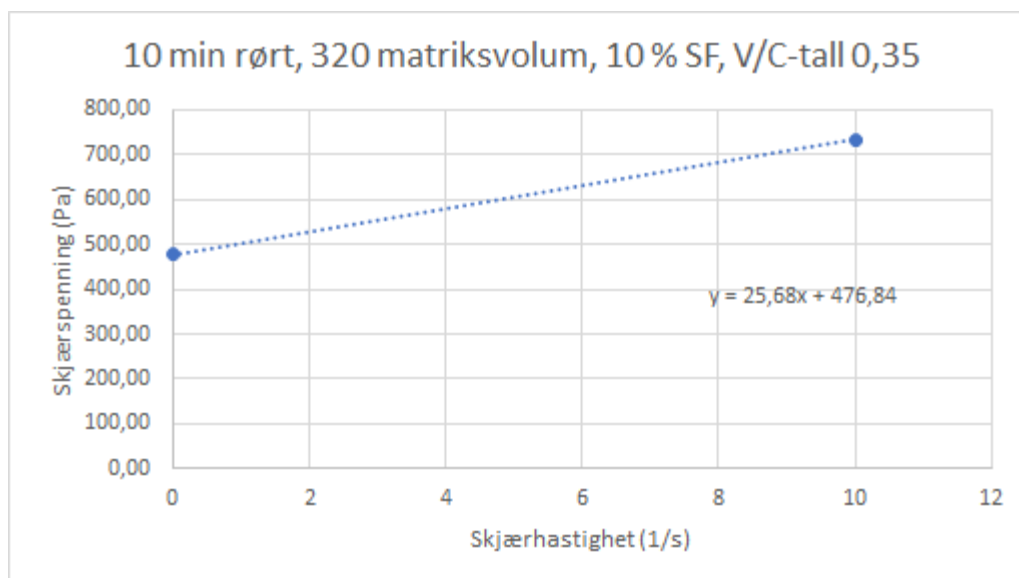
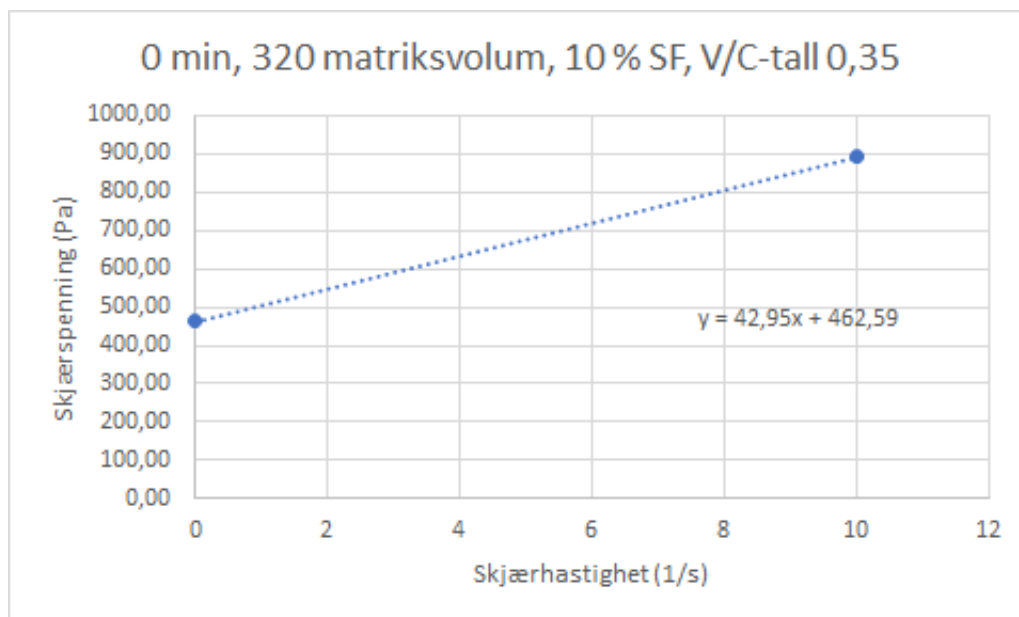
Betongens reologiske egenskaper



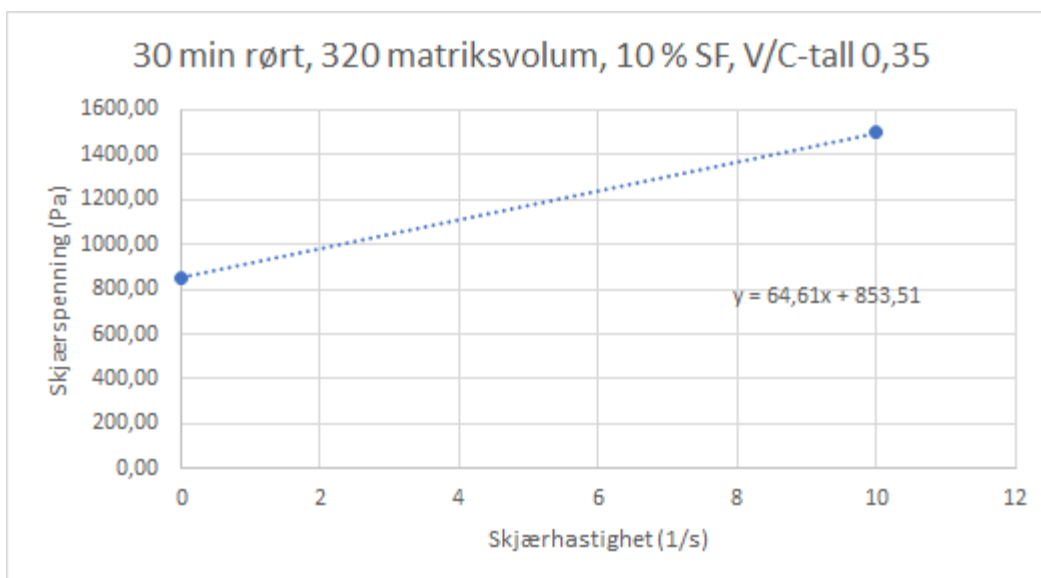
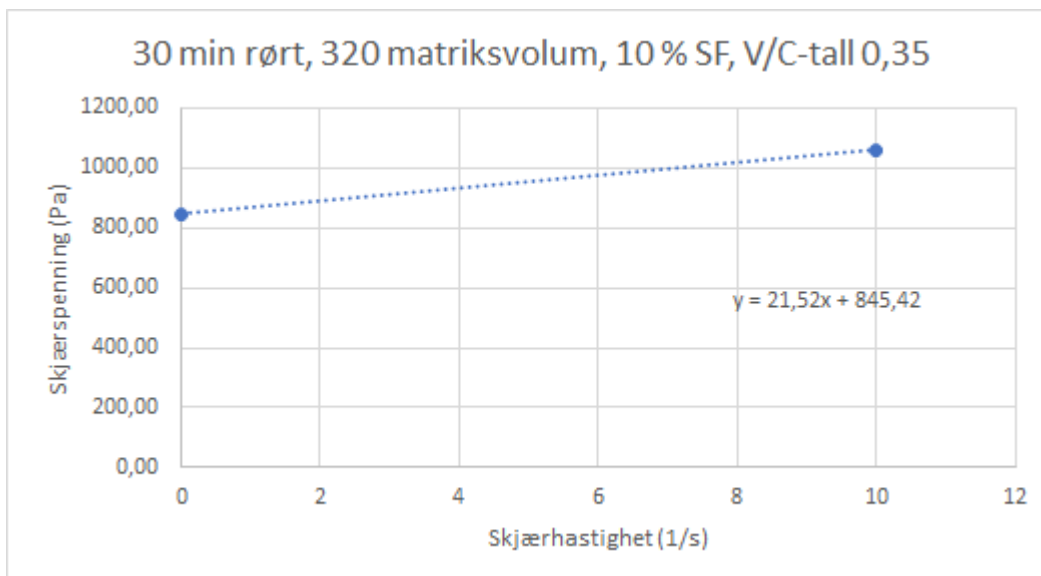
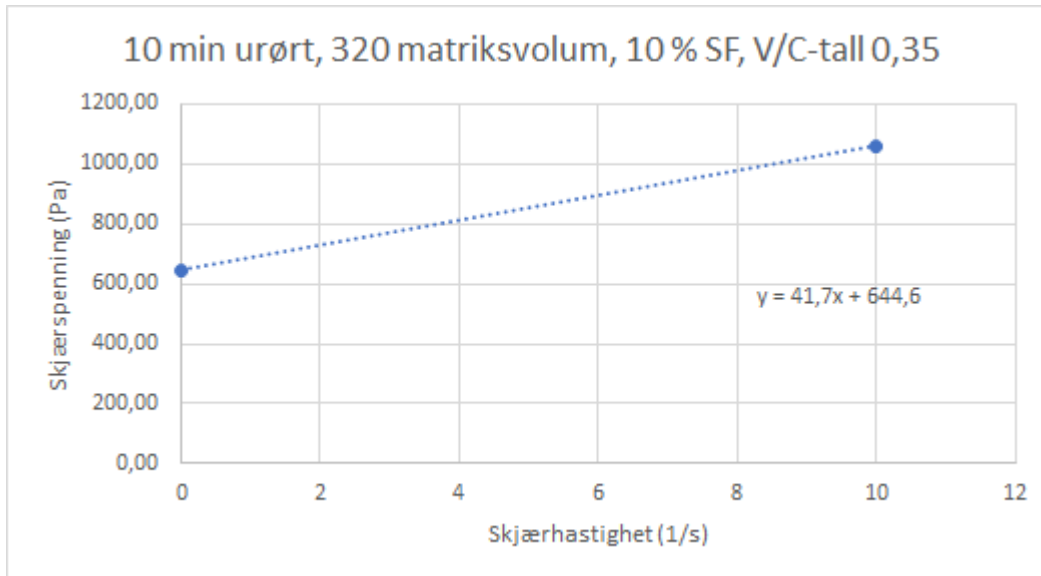
Betongens reologiske egenskaper



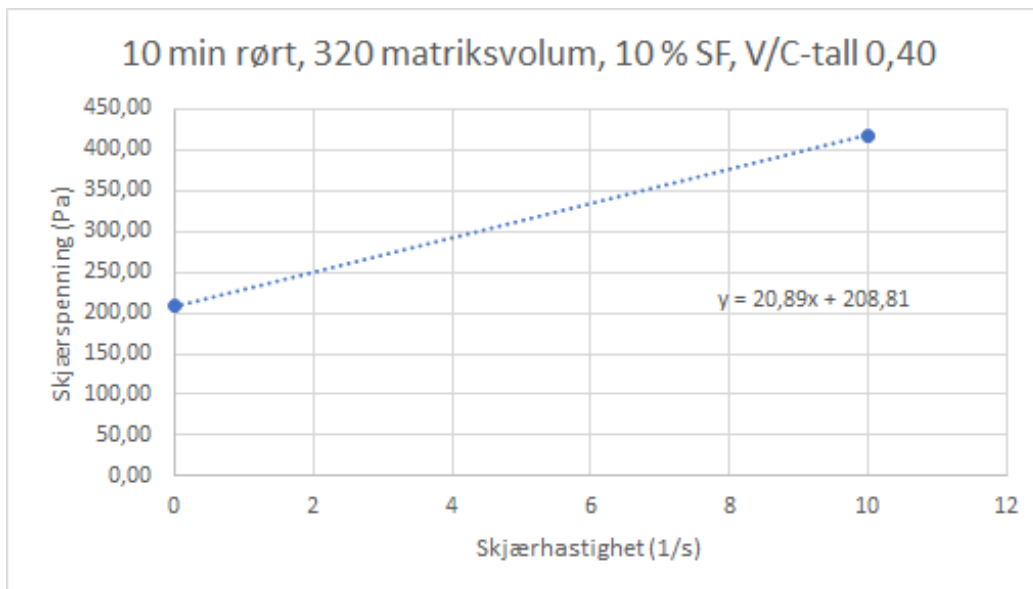
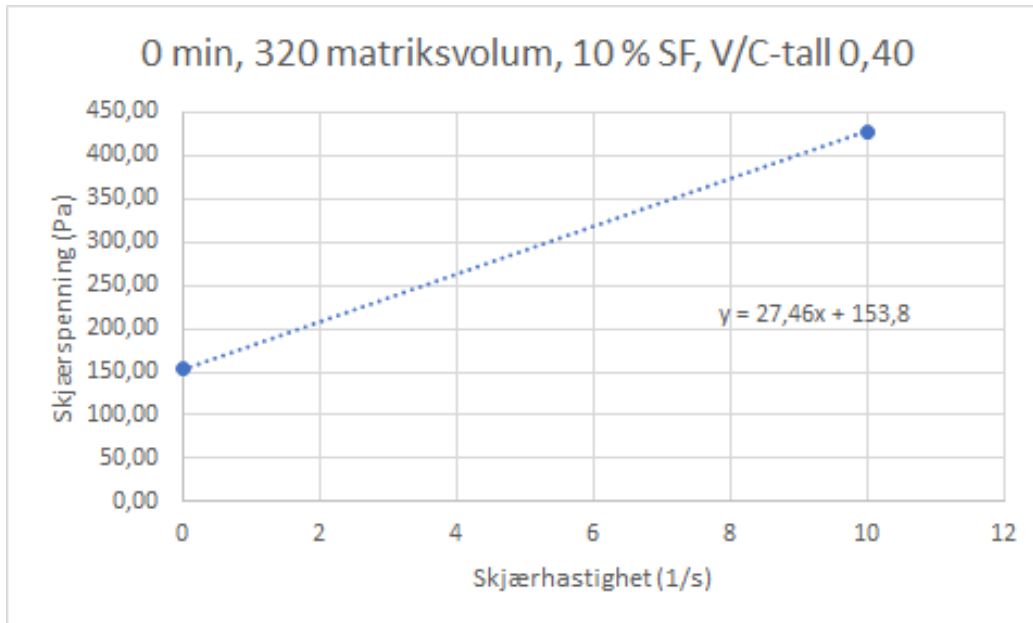
9.1.6 - 320 matriksvolum, 10 % SF



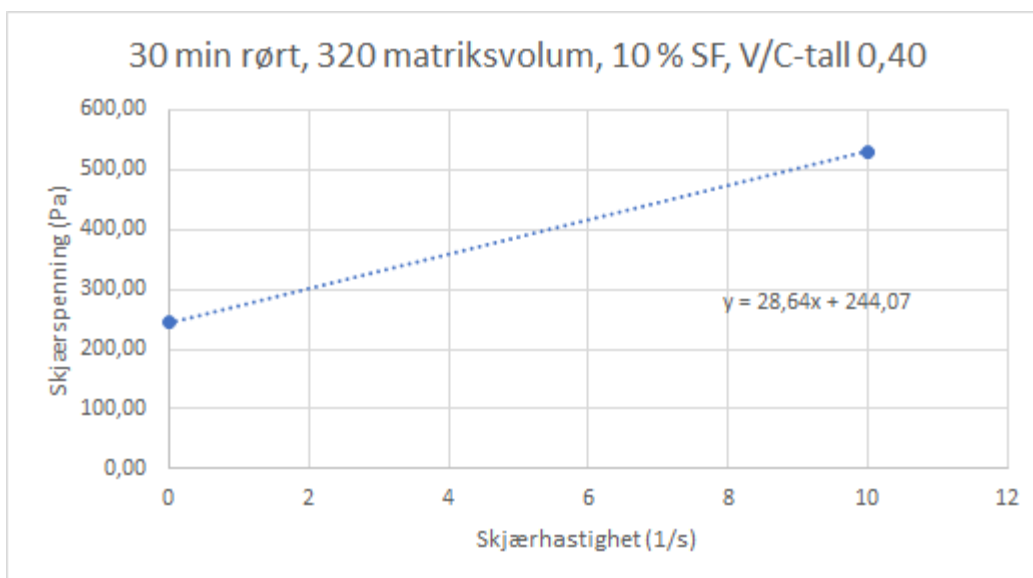
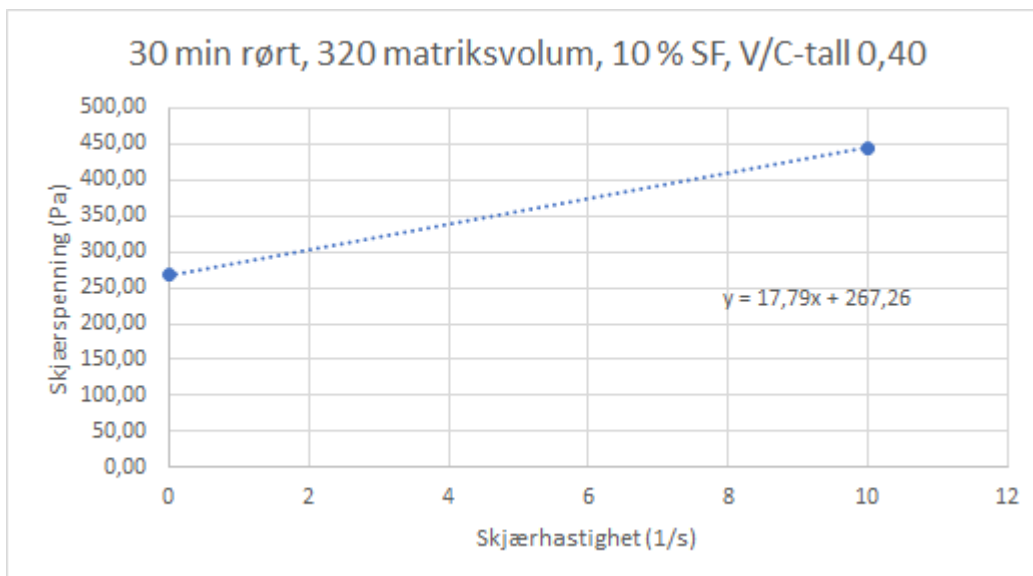
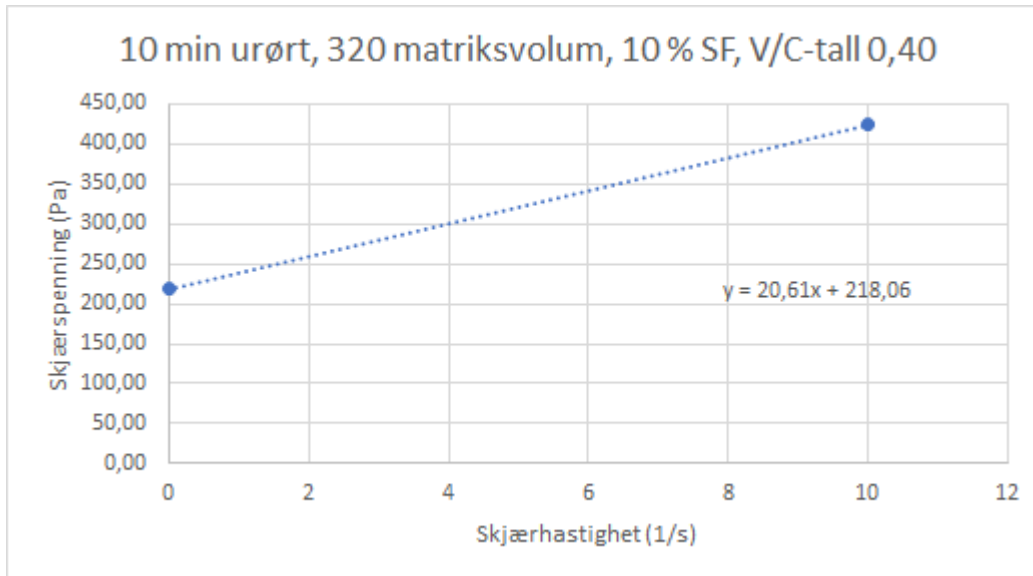
Betongens reologiske egenskaper



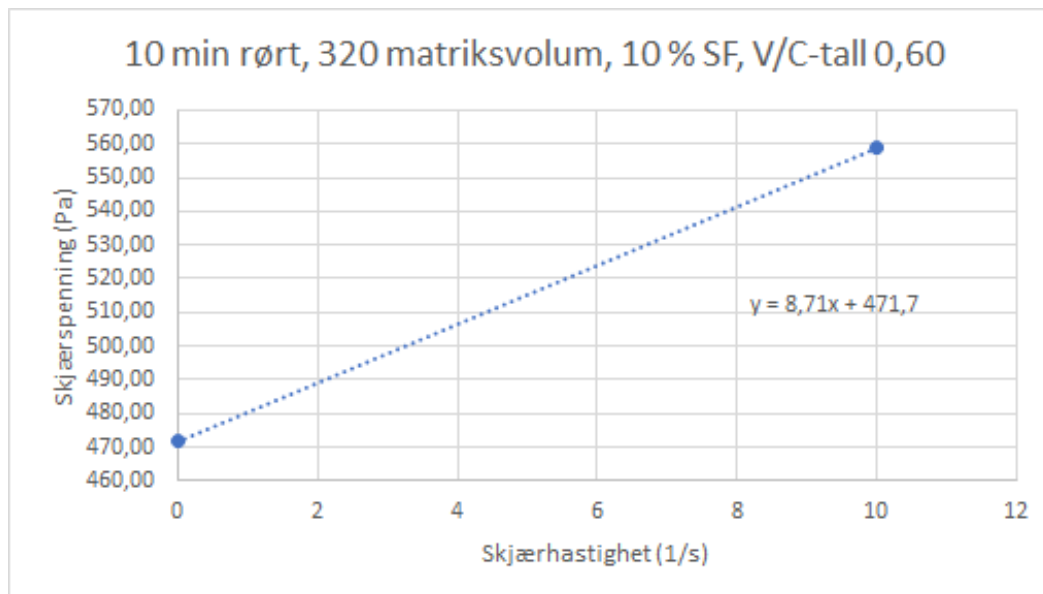
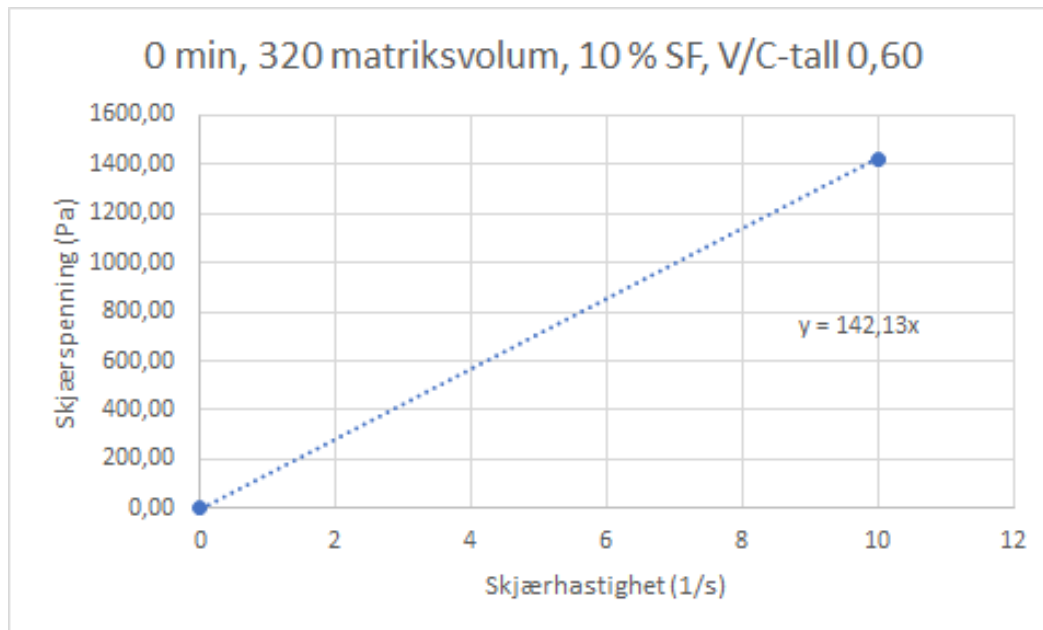
Betongens reologiske egenskaper



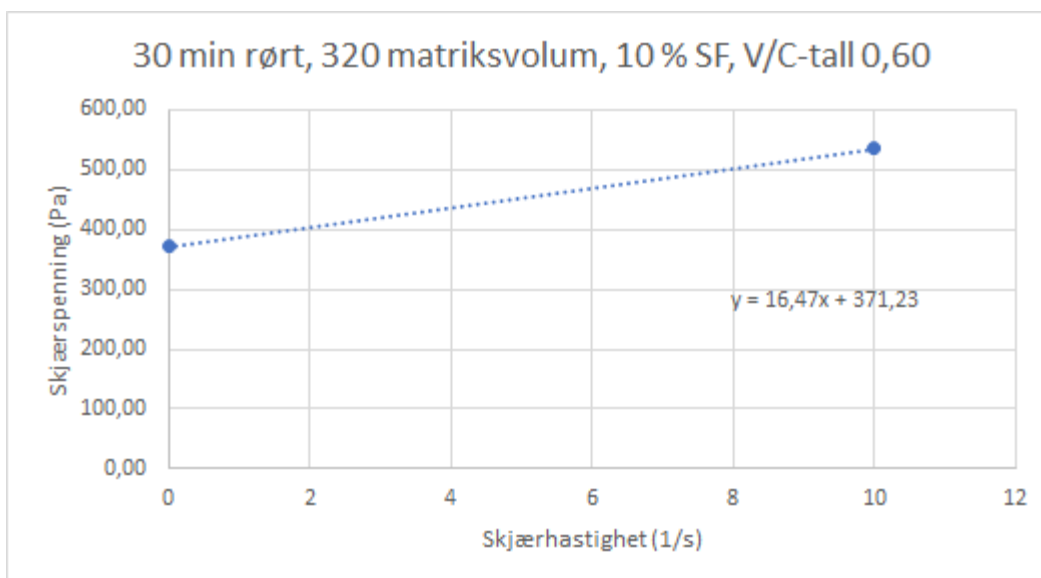
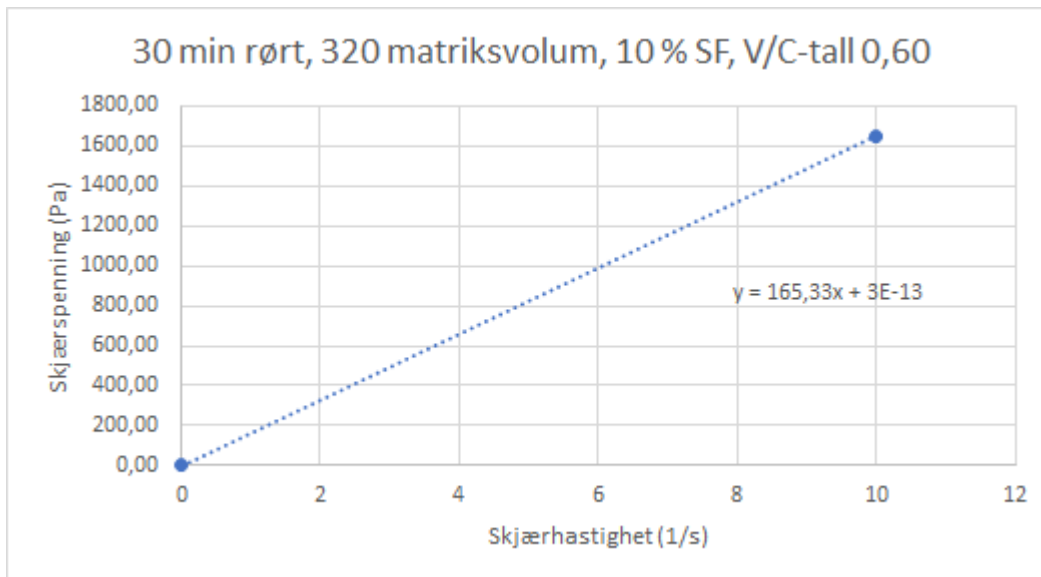
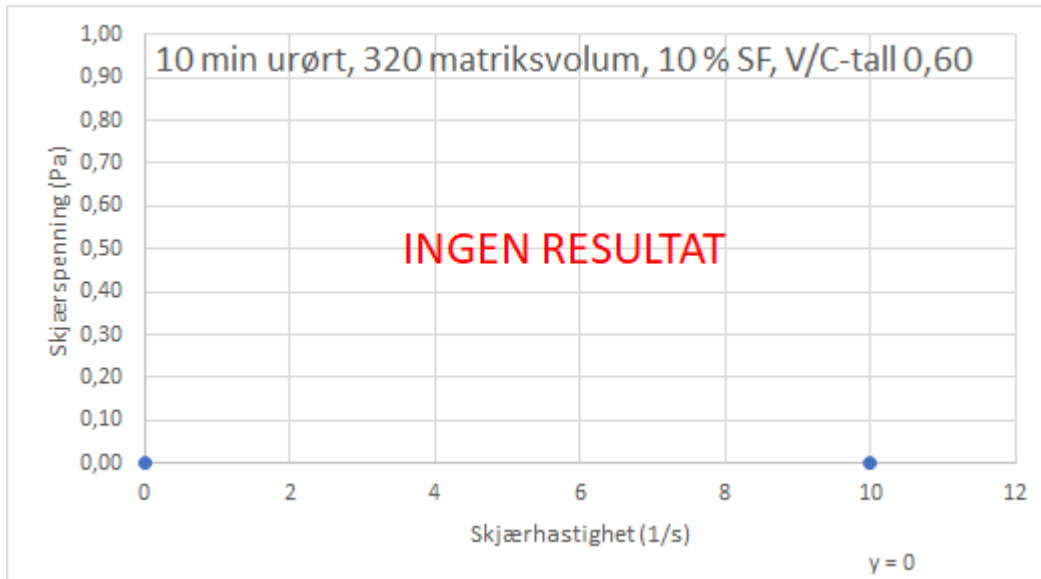
Betongens reologiske egenskaper



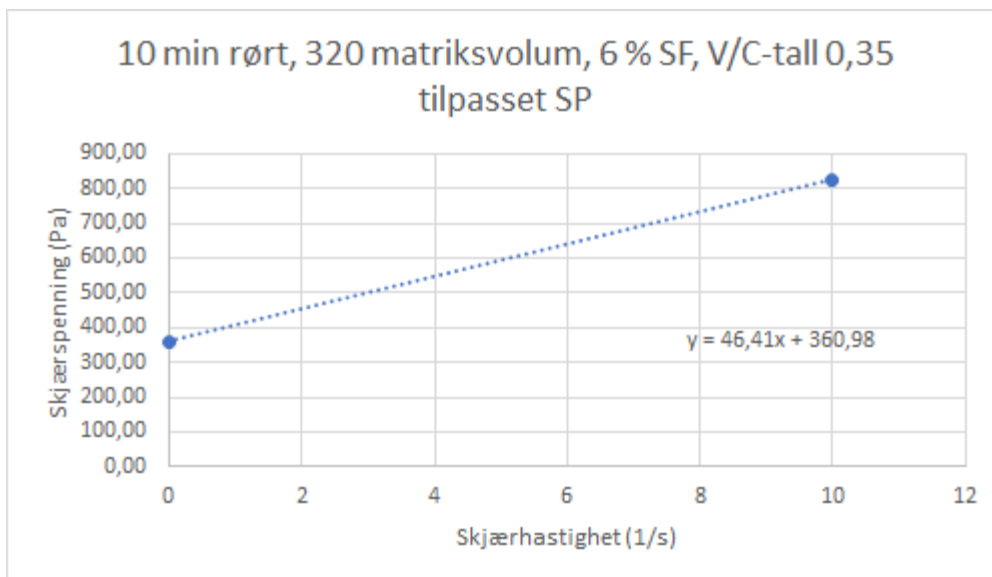
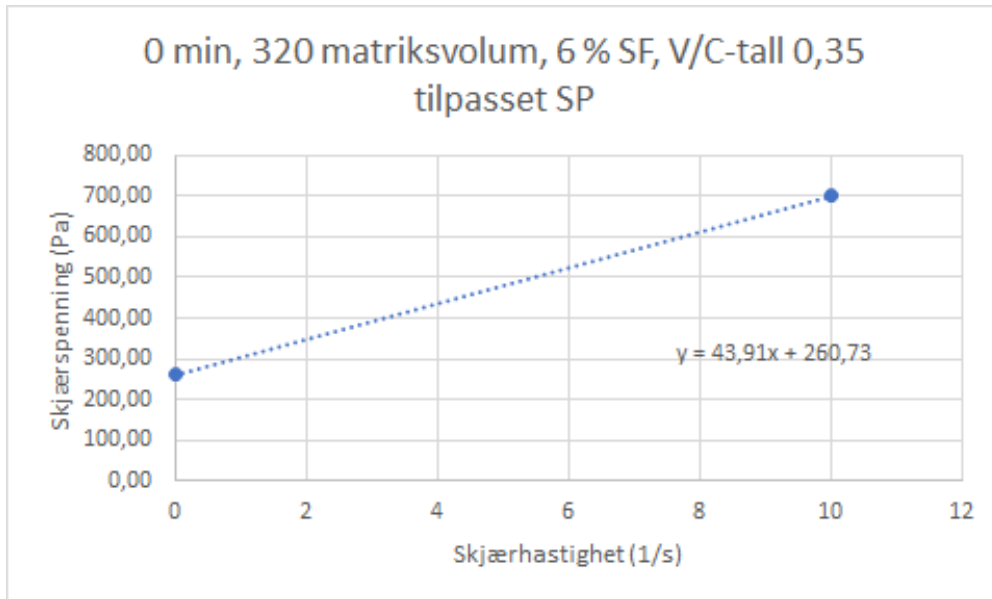
Betongens reologiske egenskaper



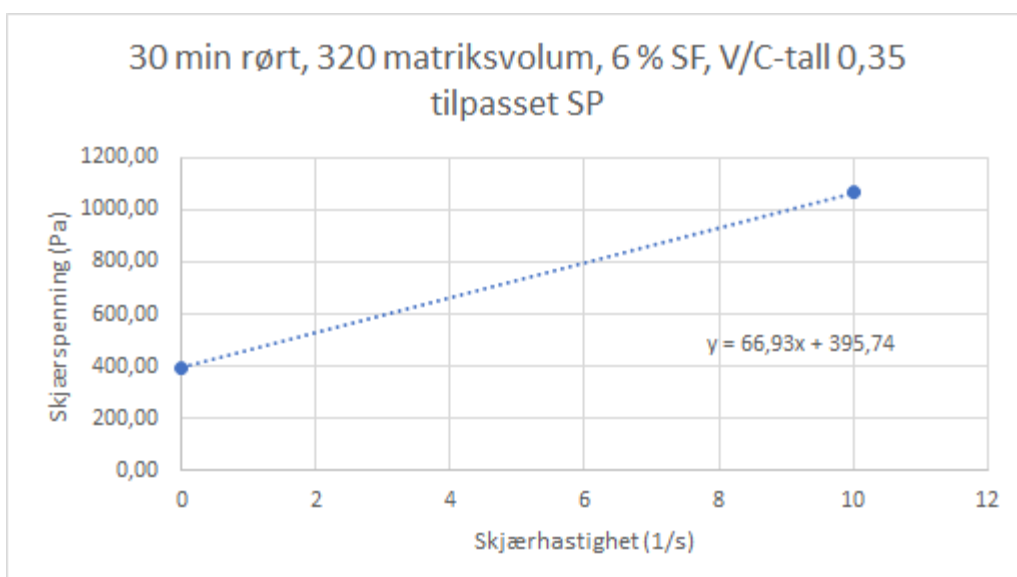
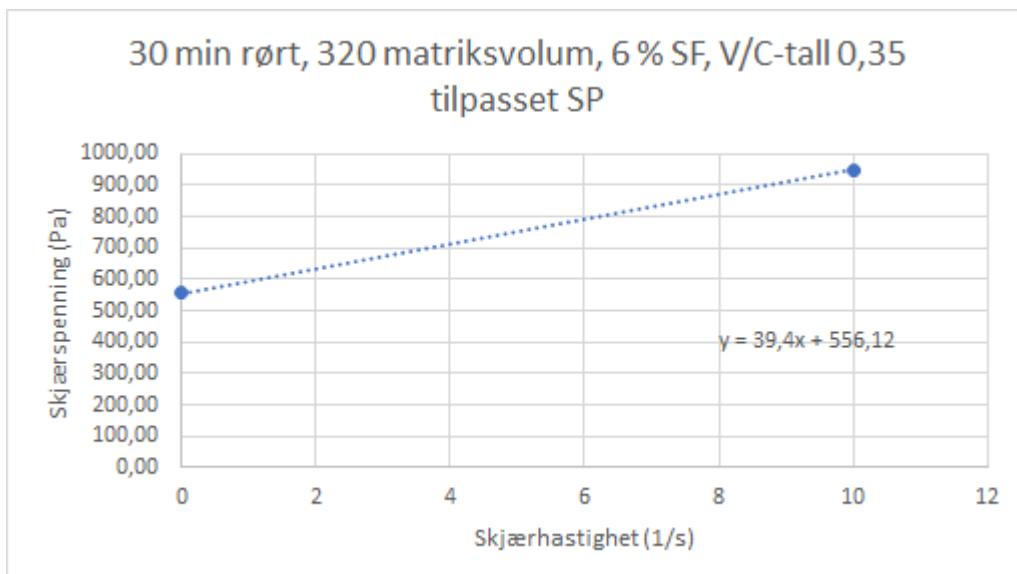
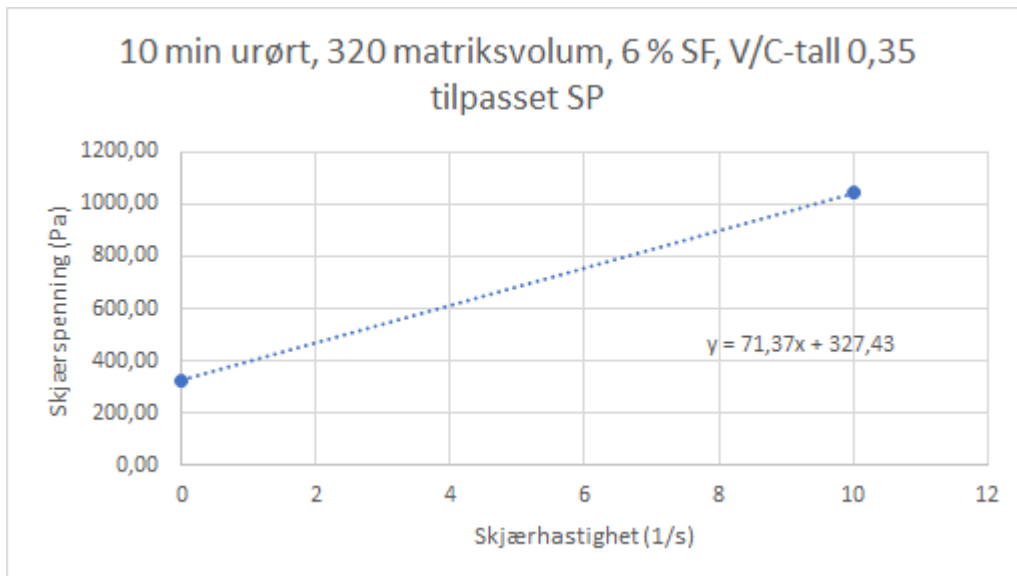
Betongens reologiske egenskaper



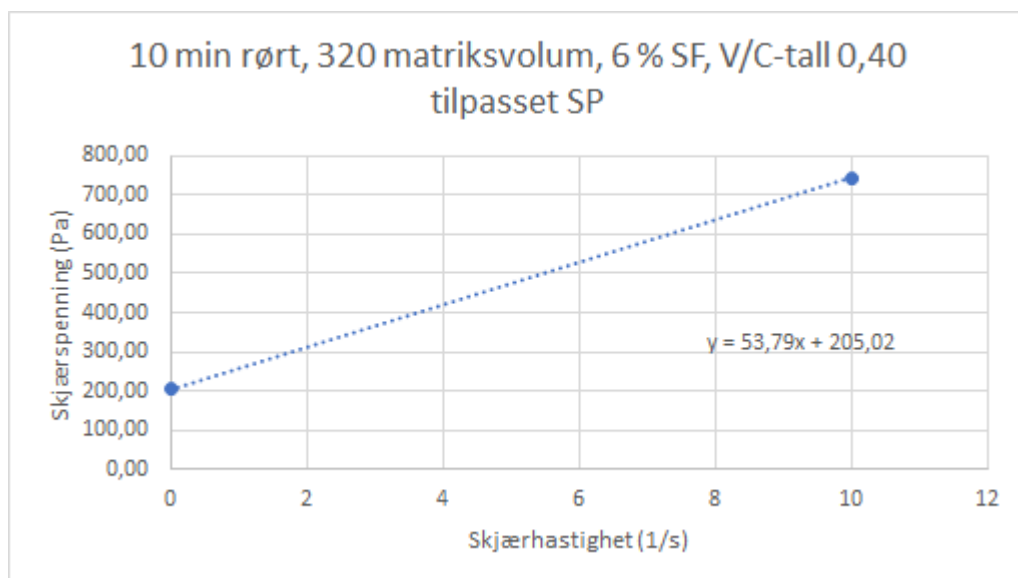
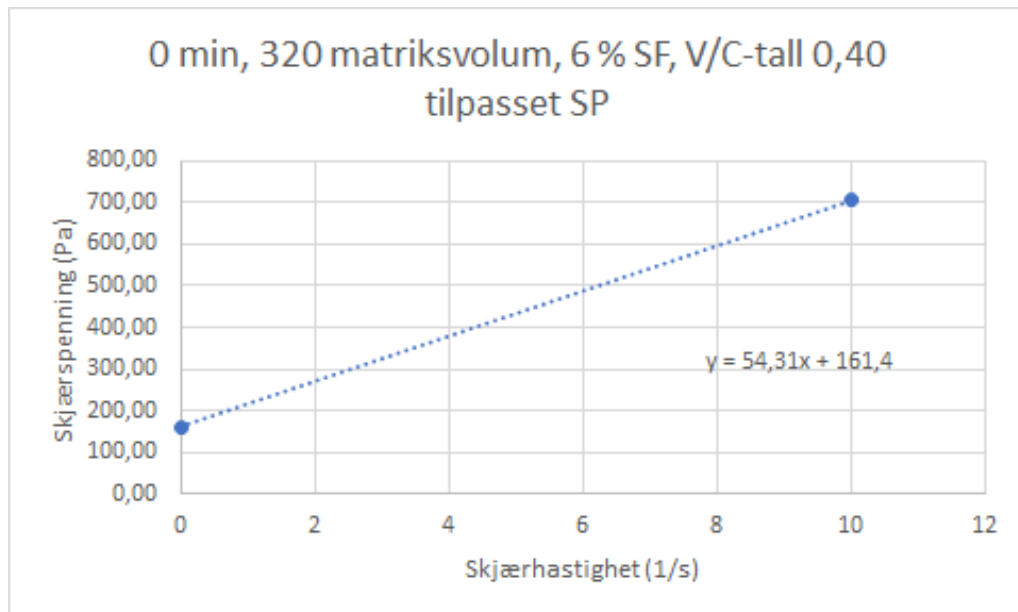
8.1.7 - 320 matriksvolum, 6 % SF, tilpasset SP



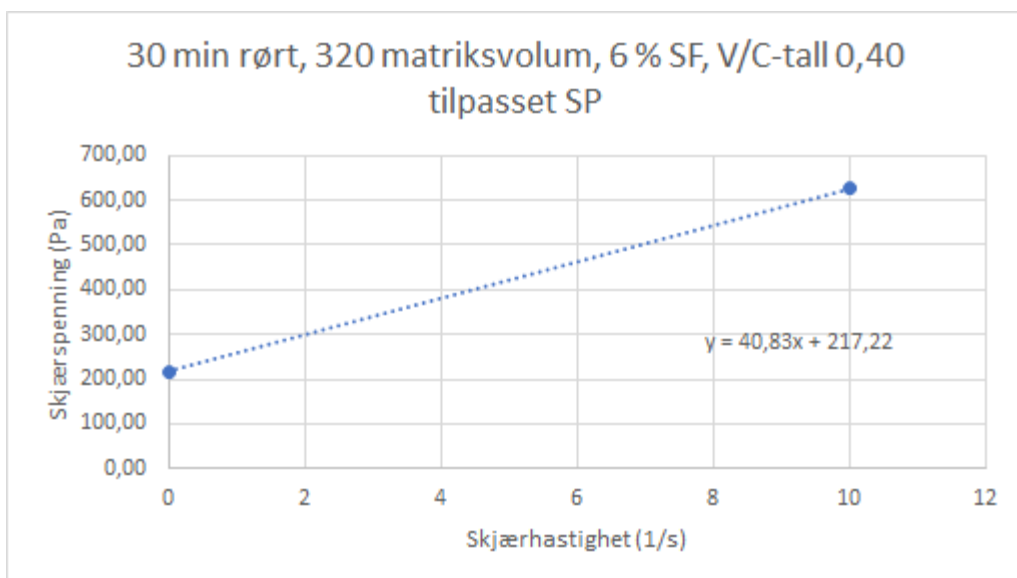
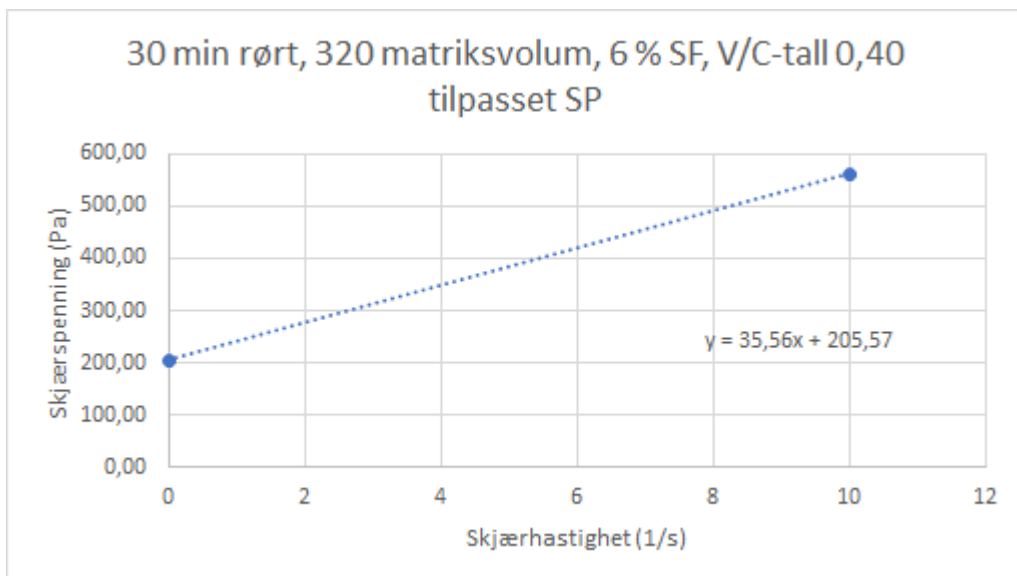
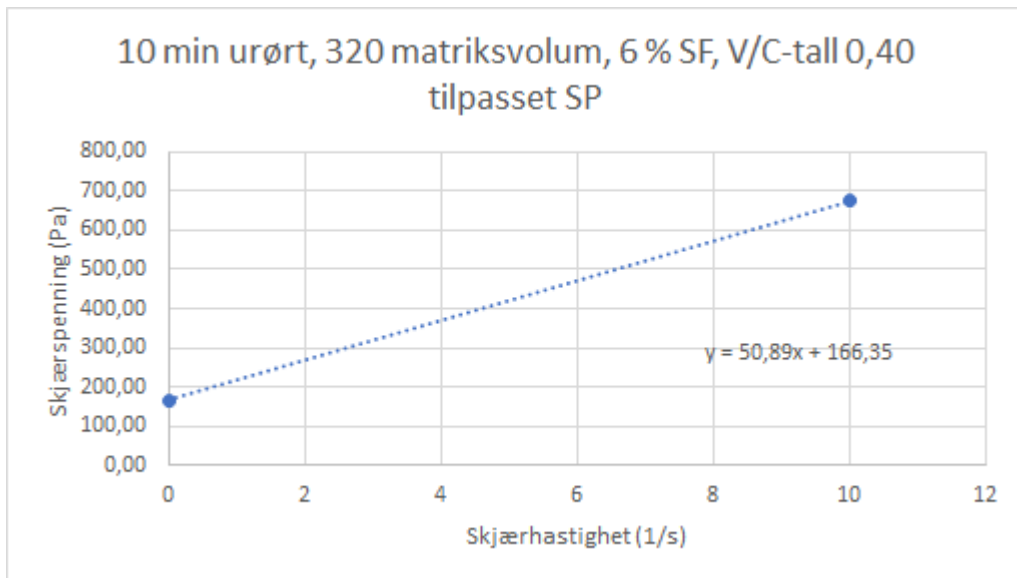
Betongens reologiske egenskaper



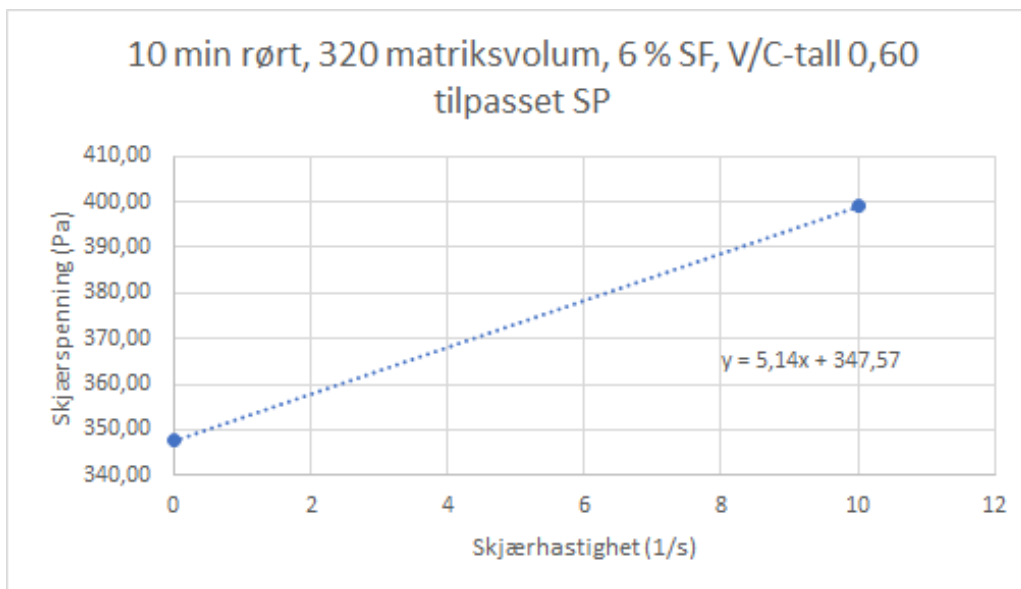
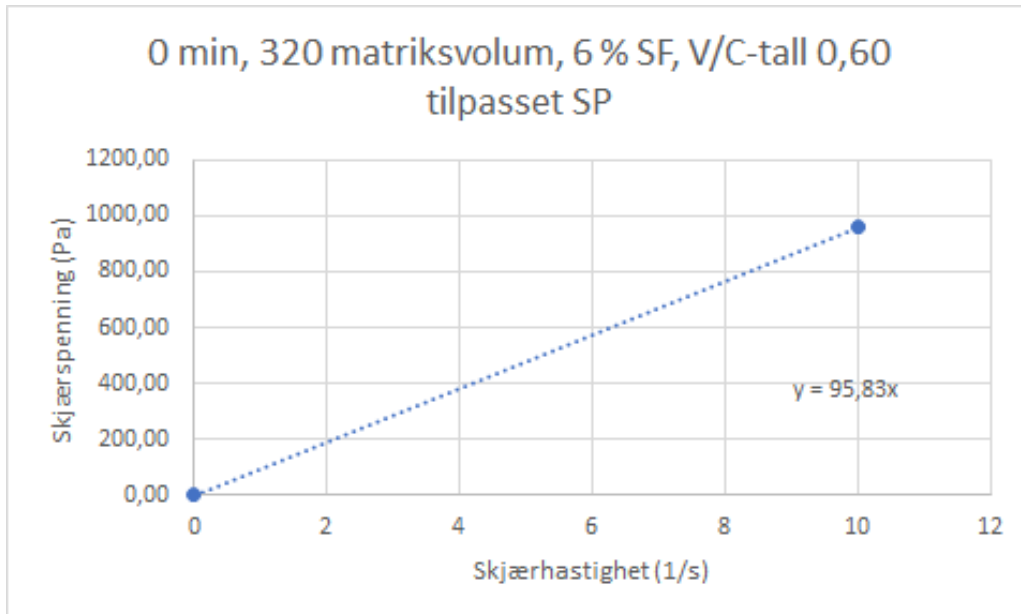
Betongens reologiske egenskaper



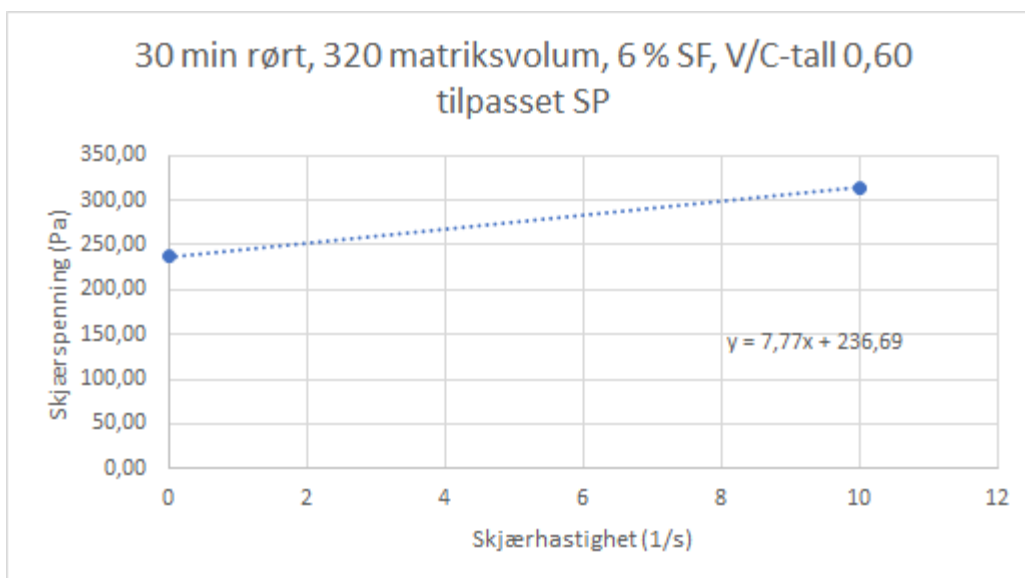
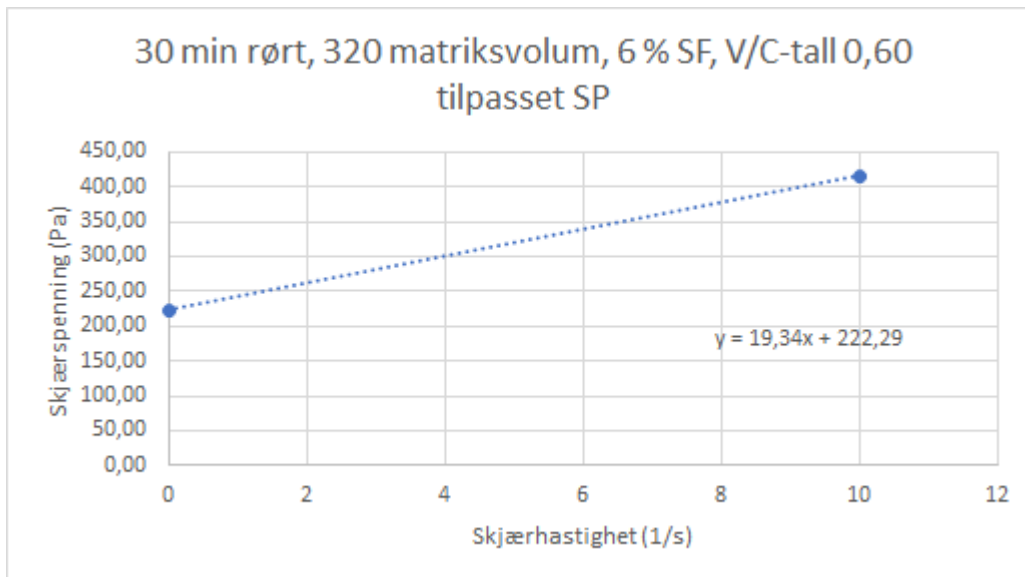
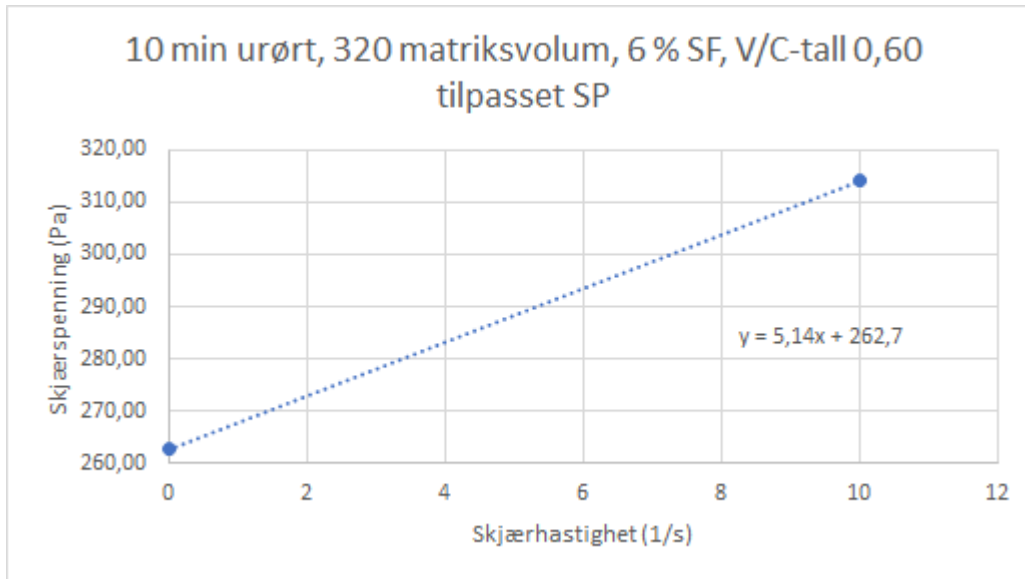
Betongens reologiske egenskaper



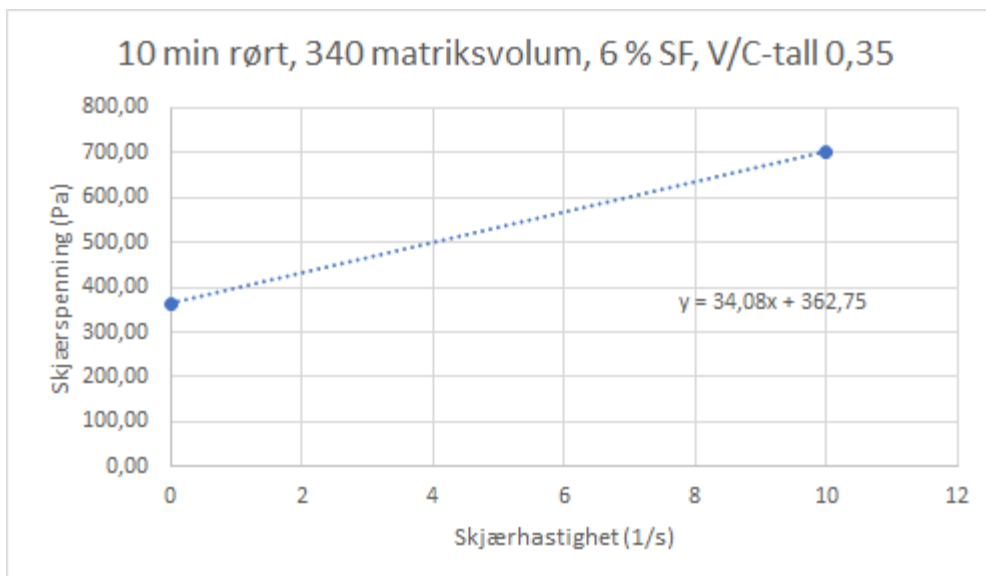
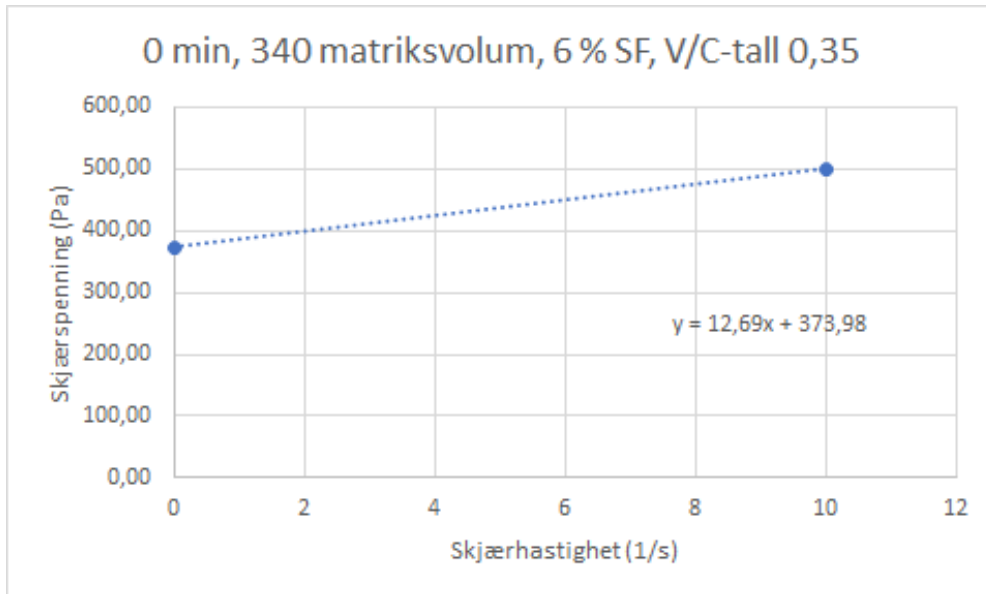
Betongens reologiske egenskaper



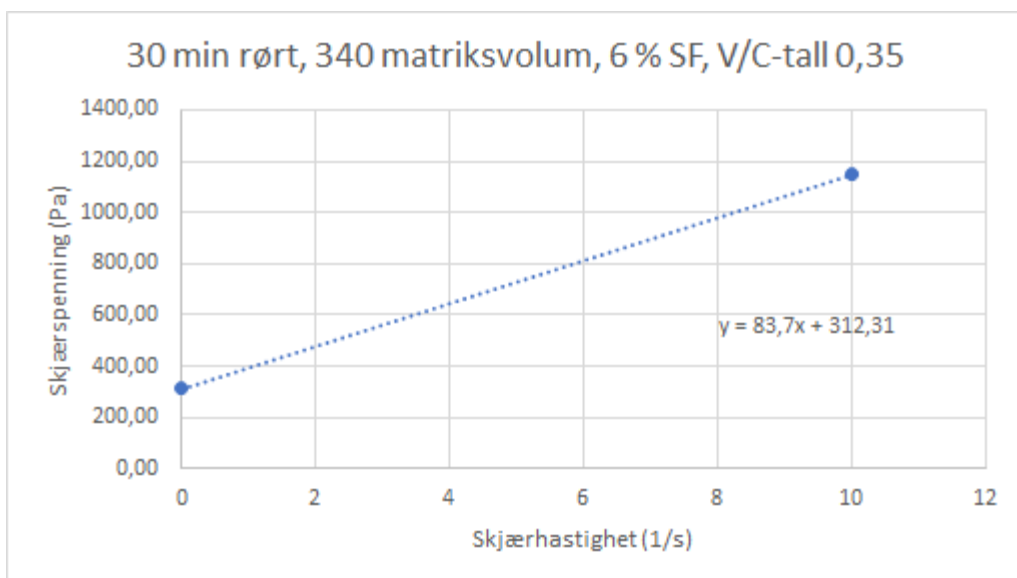
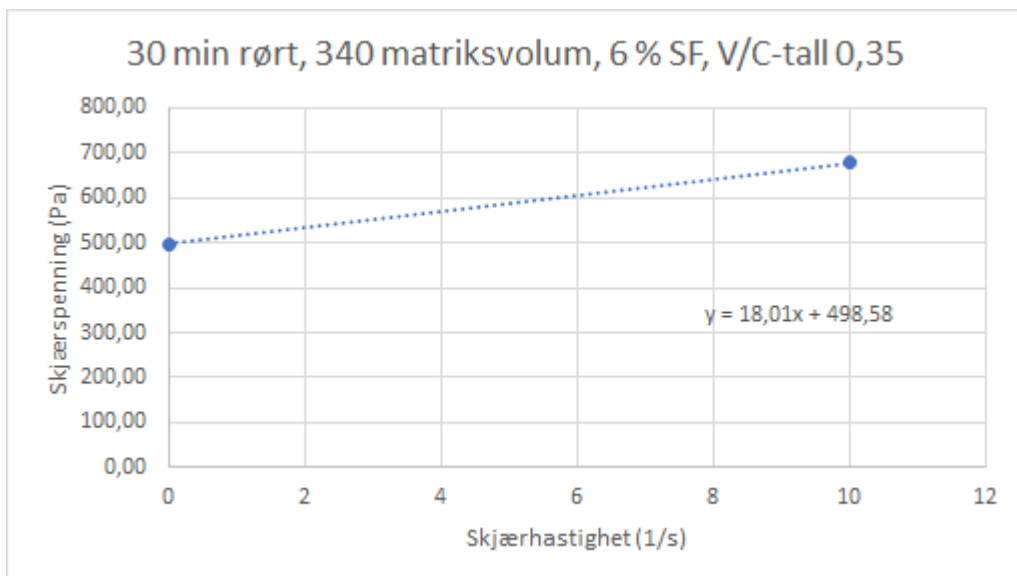
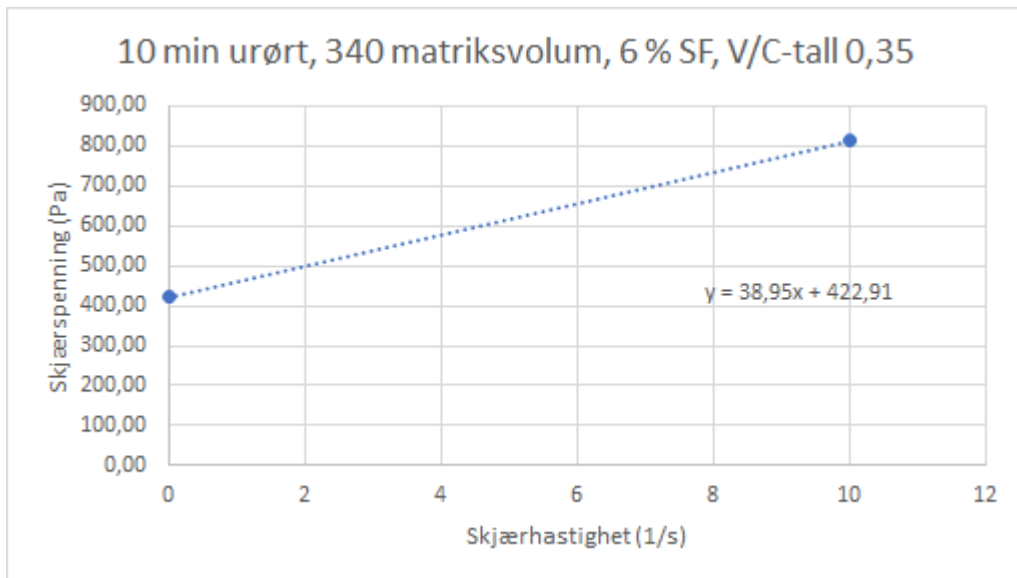
Betongens reologiske egenskaper



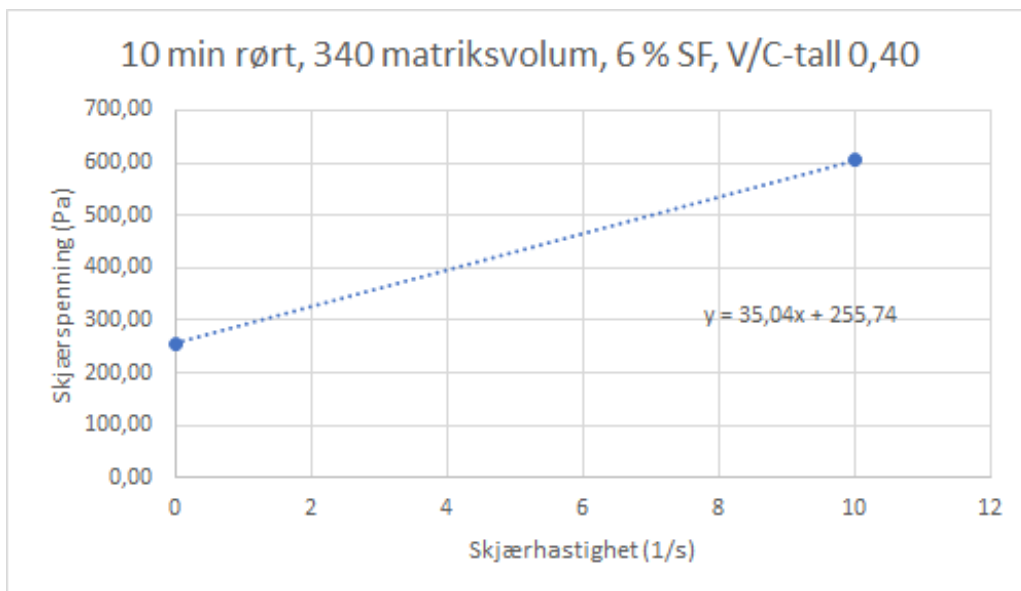
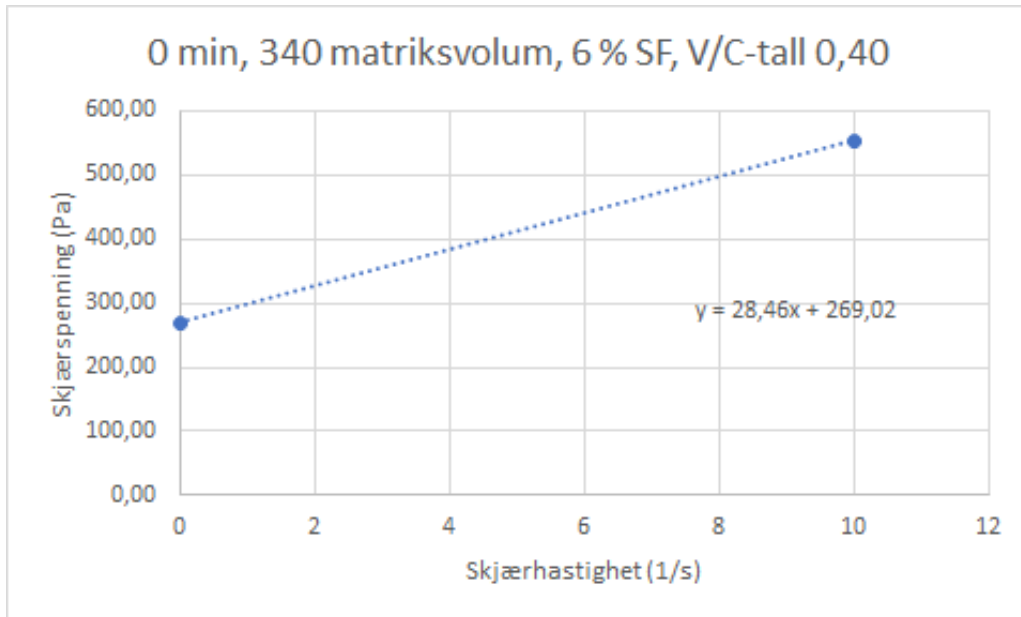
9.1.8 - 340 matriksvolum, 6 % SF



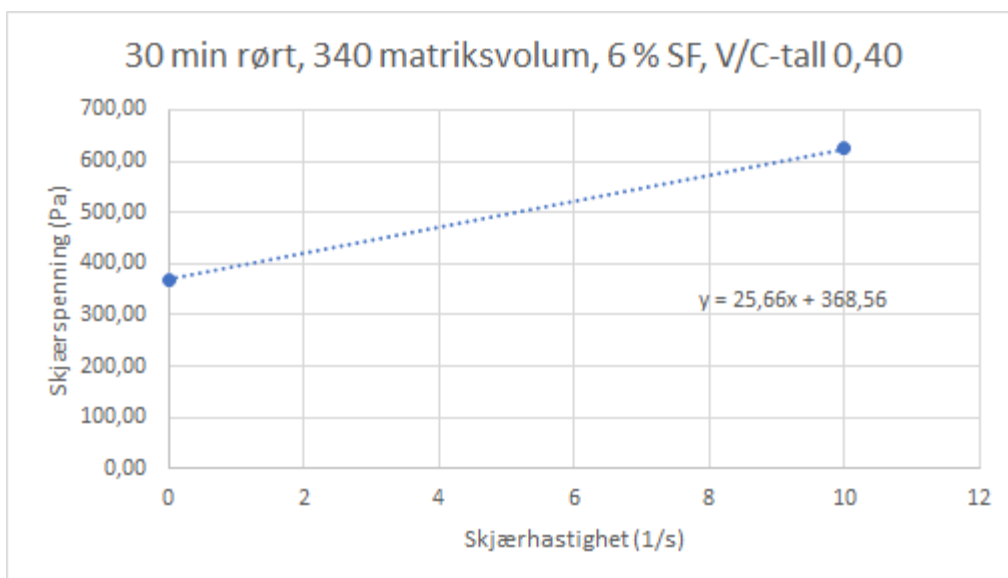
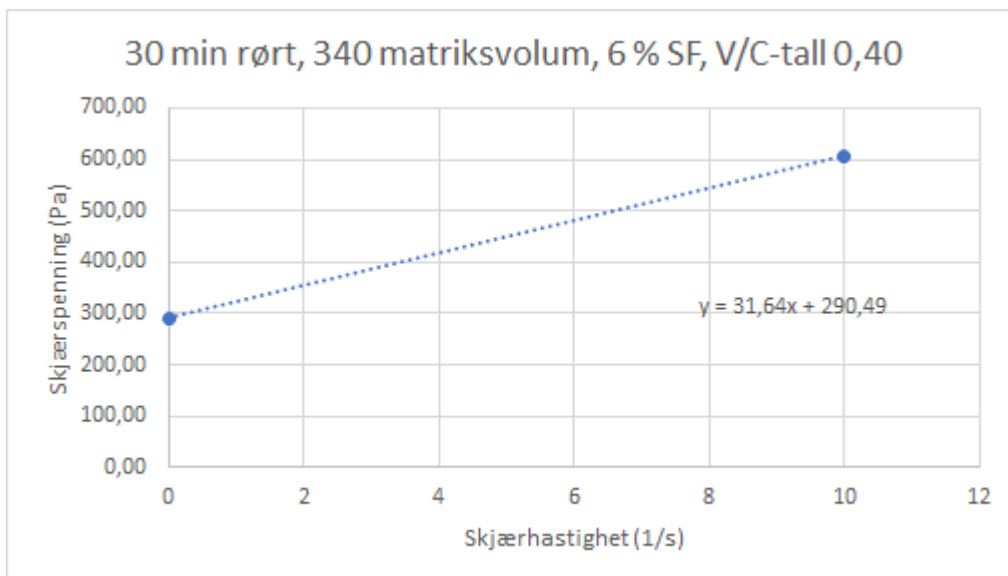
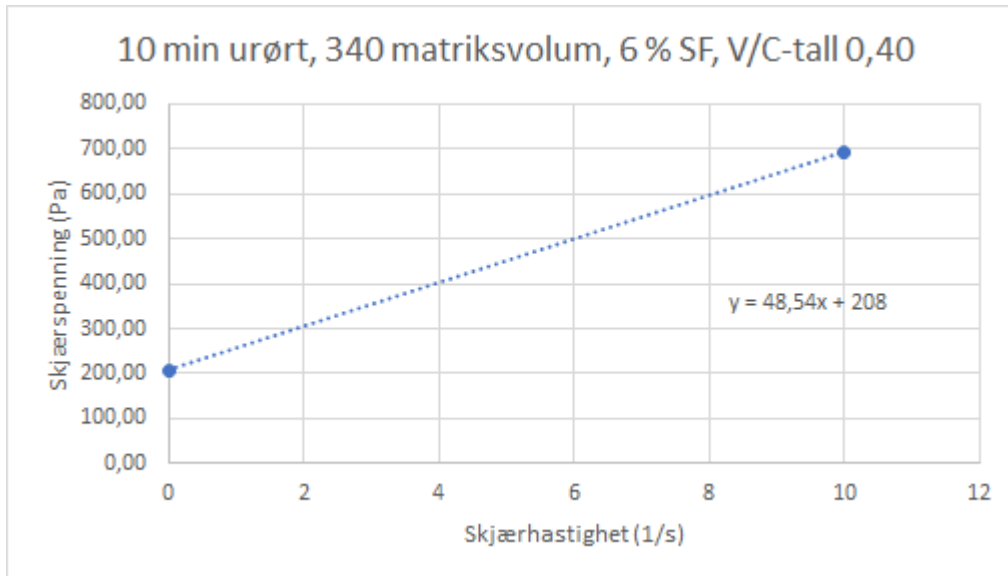
Betongens reologiske egenskaper



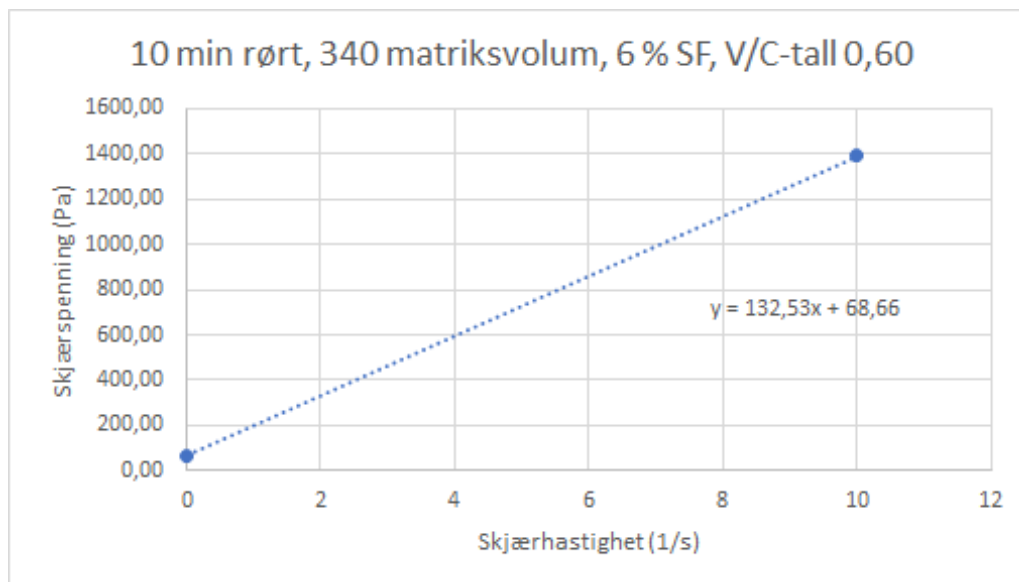
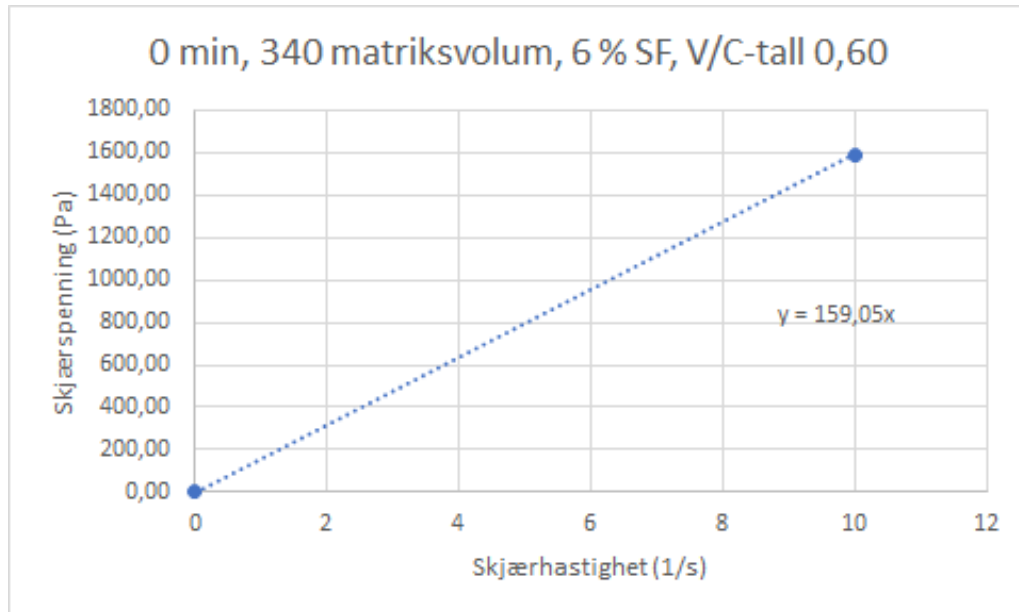
Betongens reologiske egenskaper



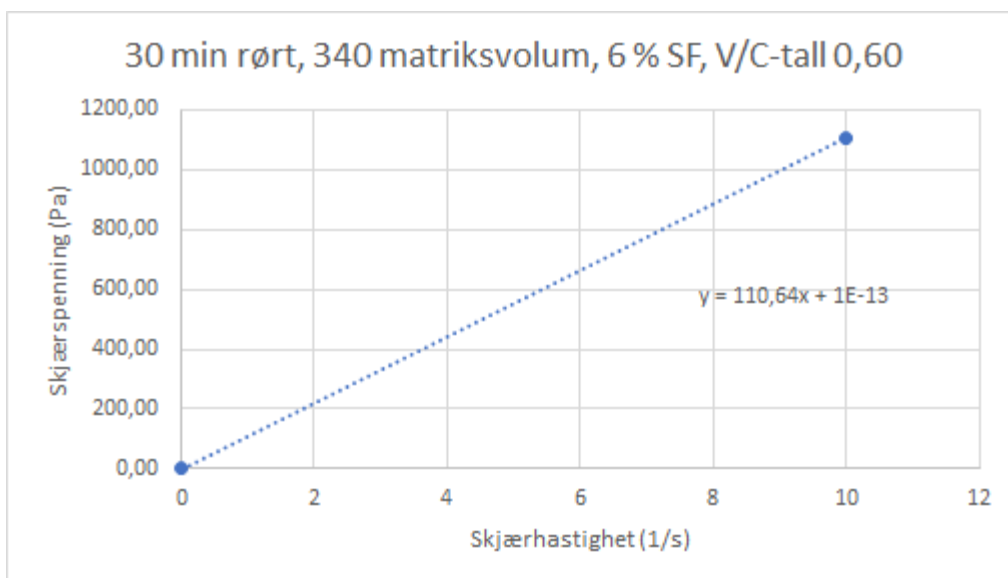
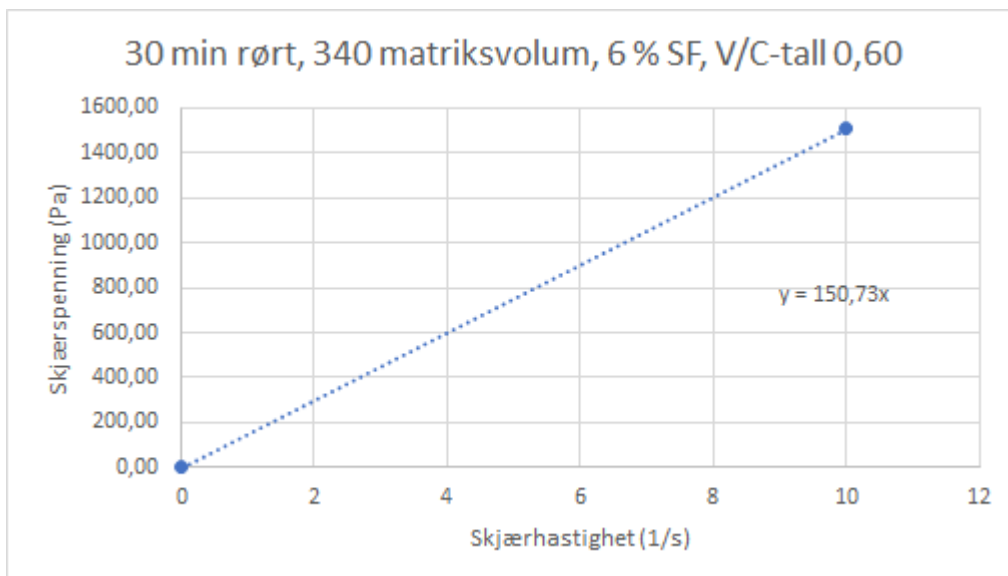
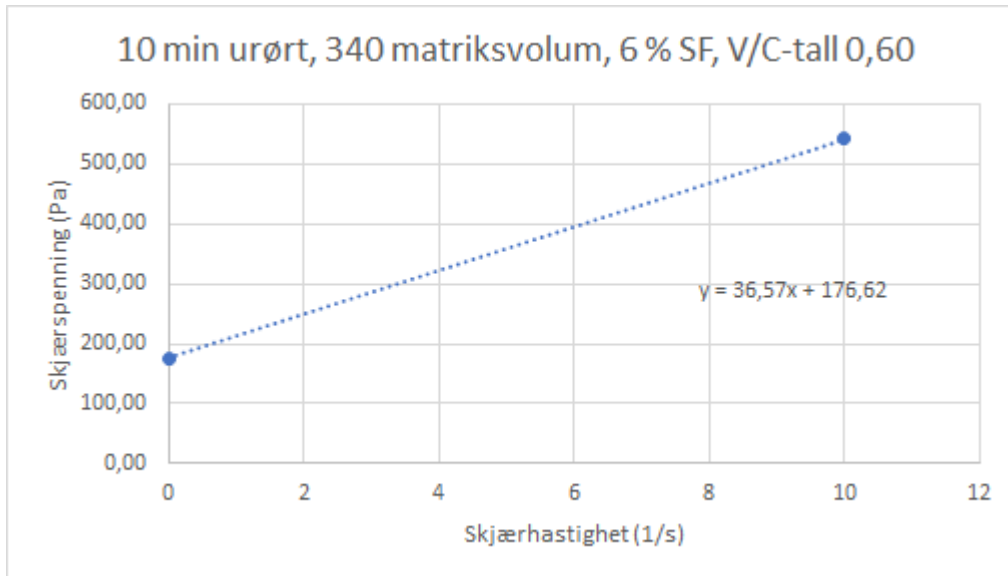
Betongens reologiske egenskaper



Betongens reologiske egenskaper



Betongens reologiske egenskaper

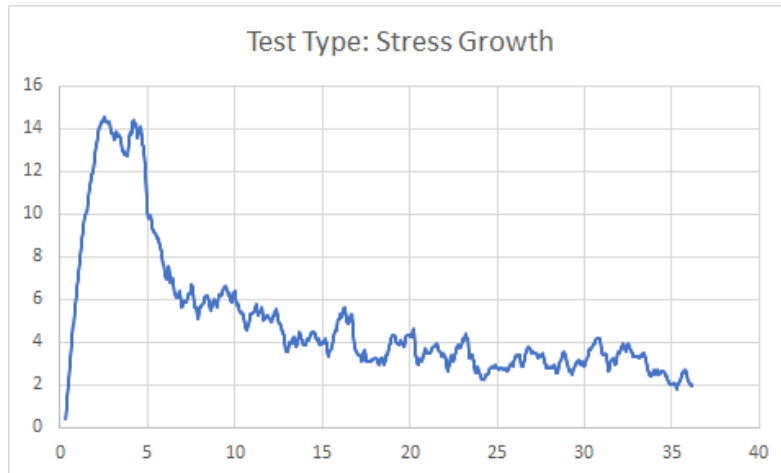


9.2 Stress growth & flow curve

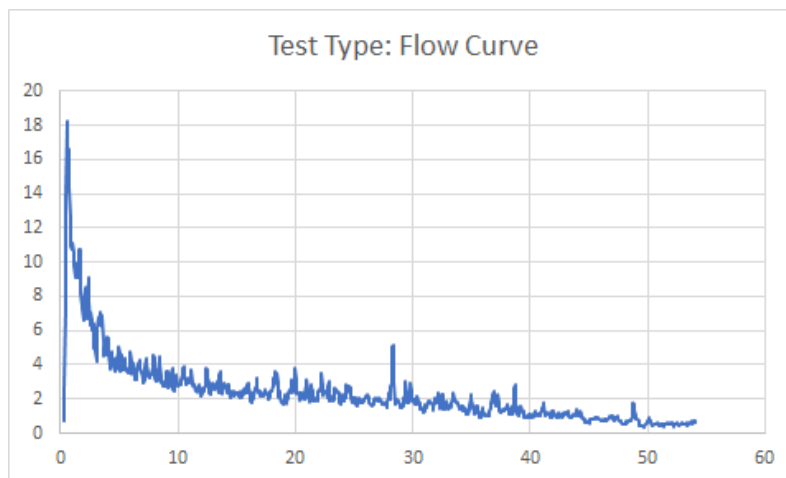
9.2.1 - 300 matriksvolum, 0 % SF

V/C-tall 0,35, 0 minutt, urørt

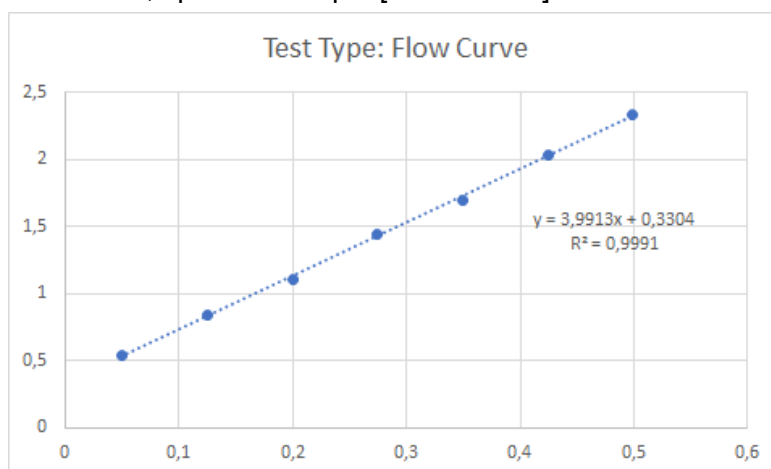
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



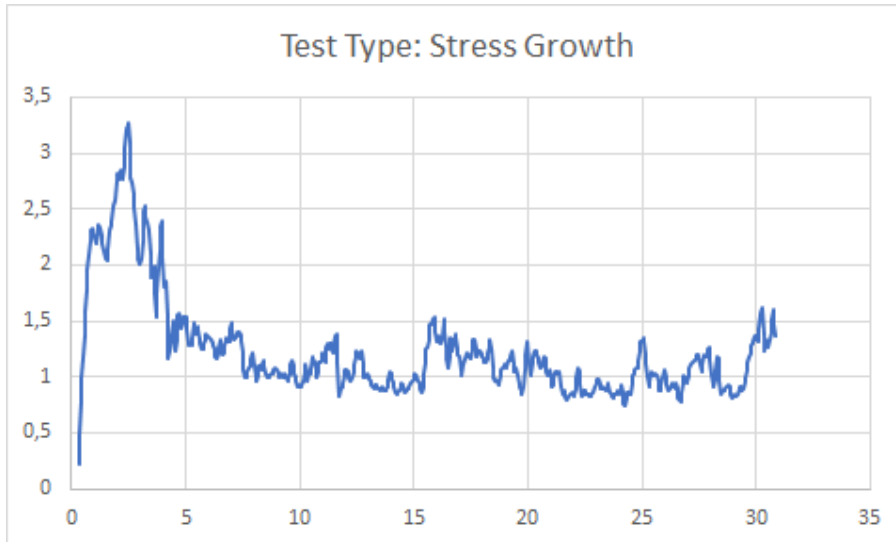
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



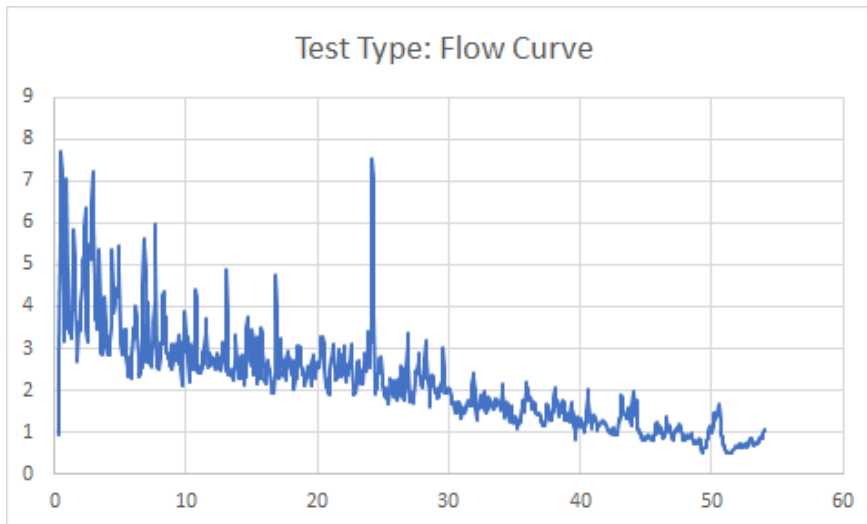
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,35, 10 minutt, rørt

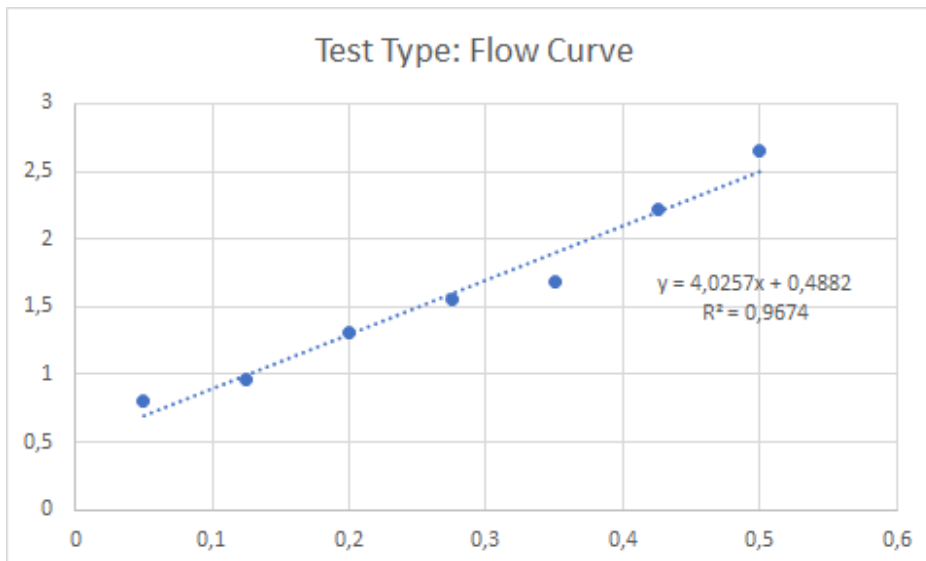
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



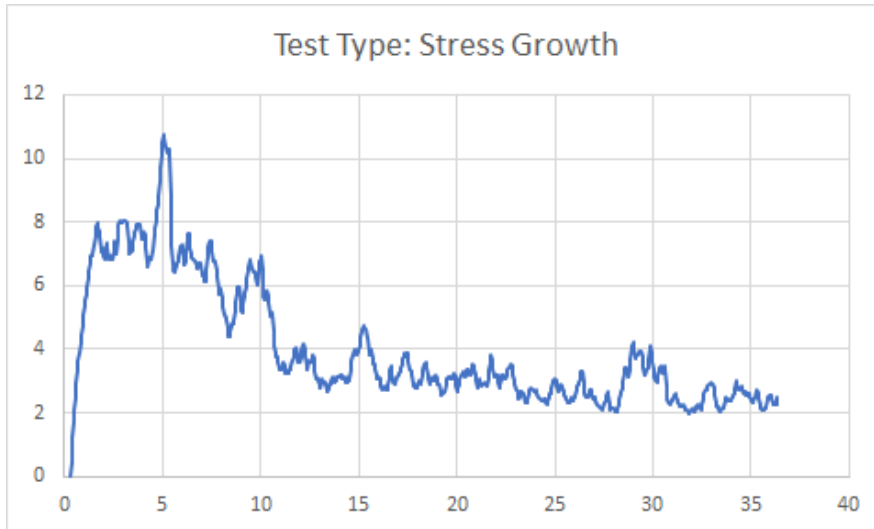
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



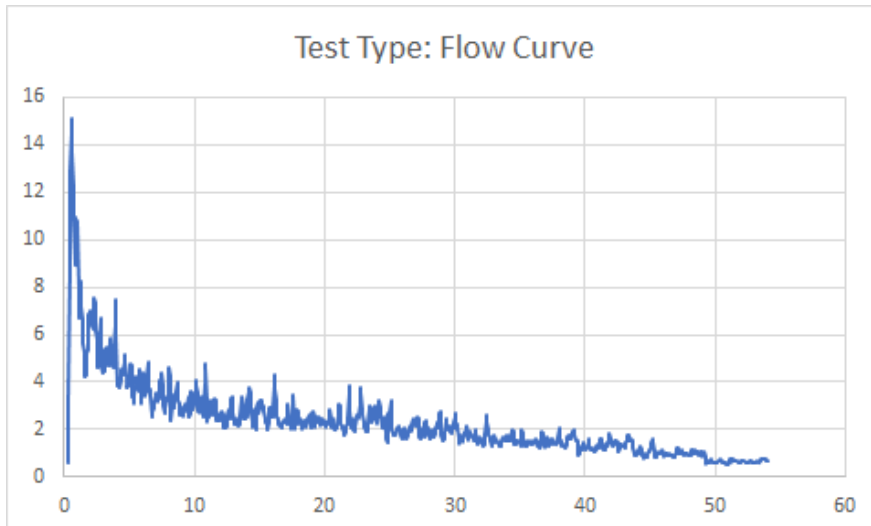
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,35, 10 minutt, urørt

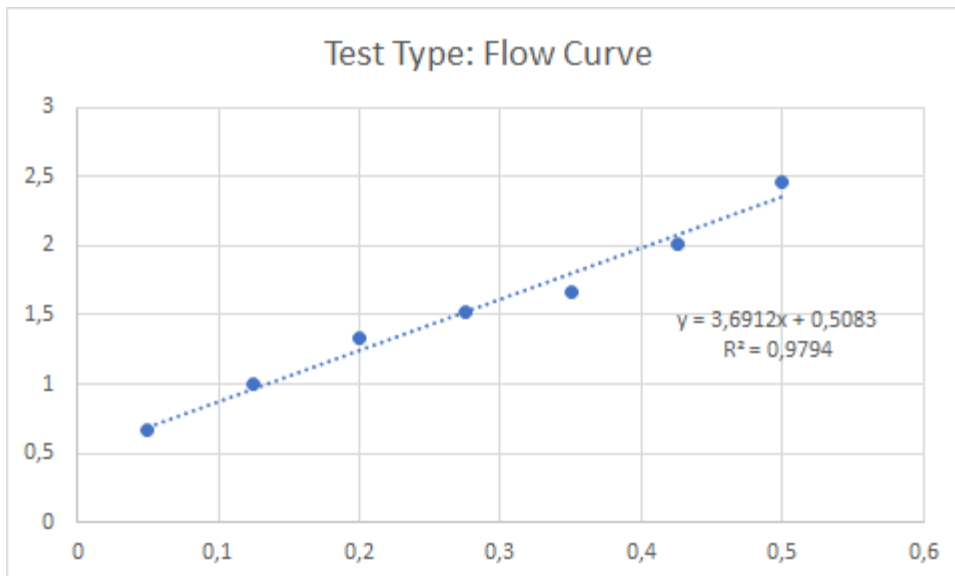
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



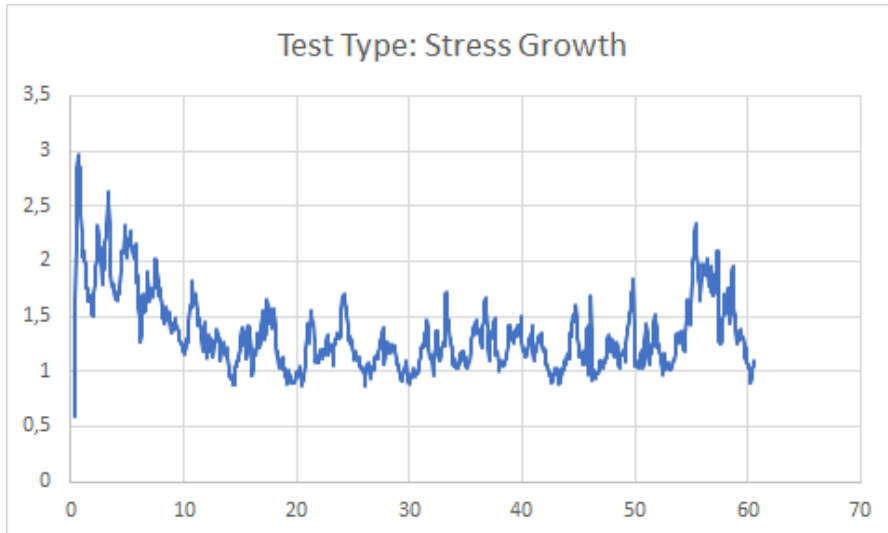
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



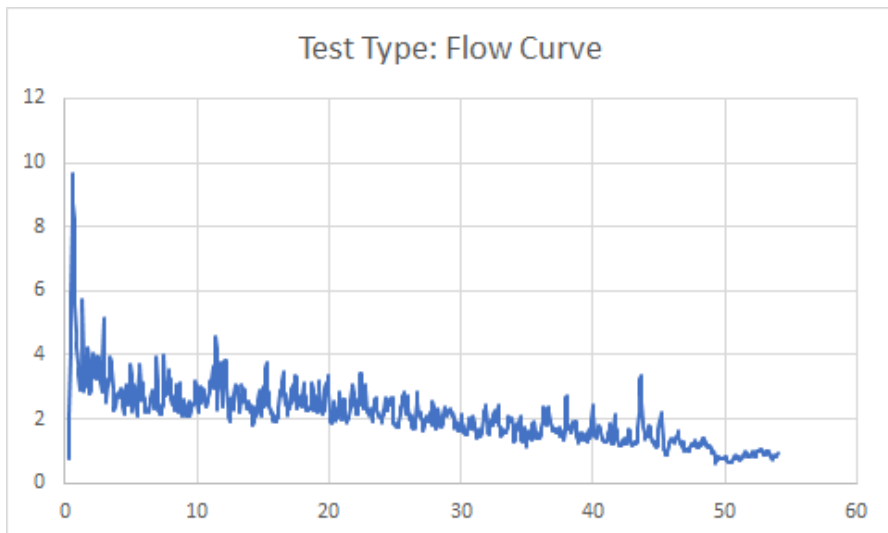
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,35, 30 minutt, rørt

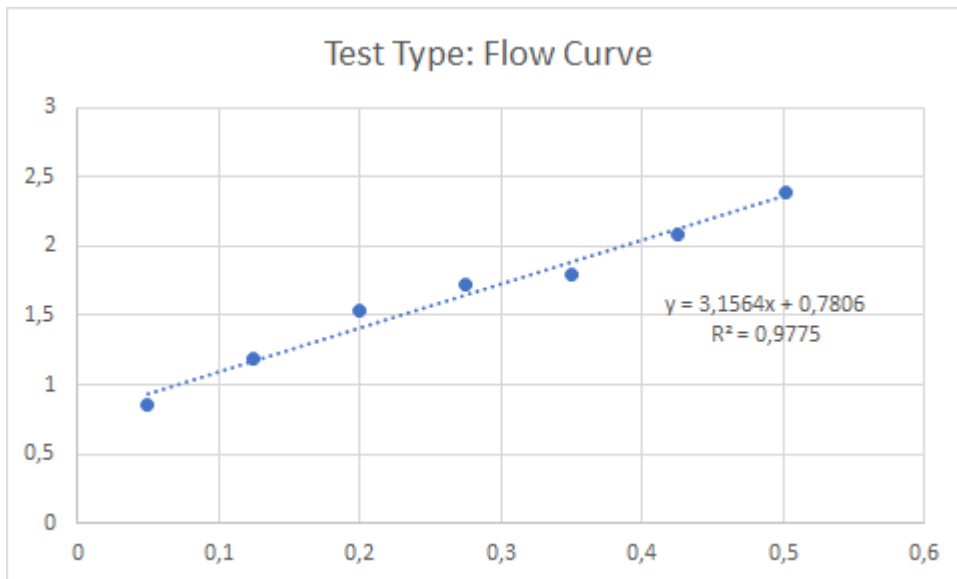
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



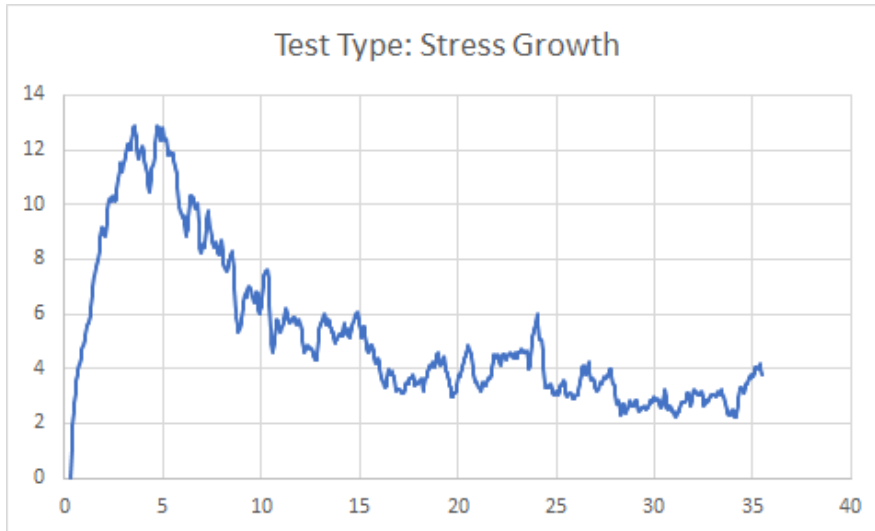
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



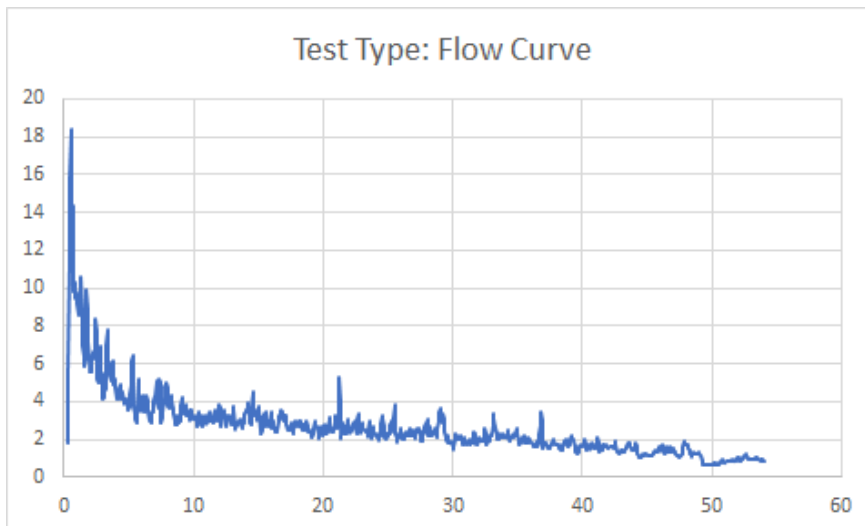
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,35, 30 minutt, urørt

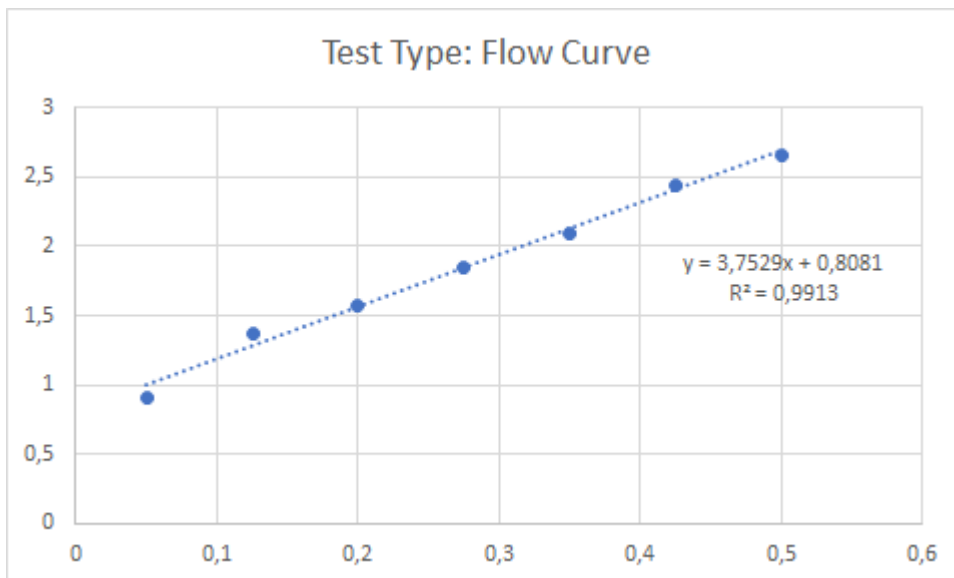
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

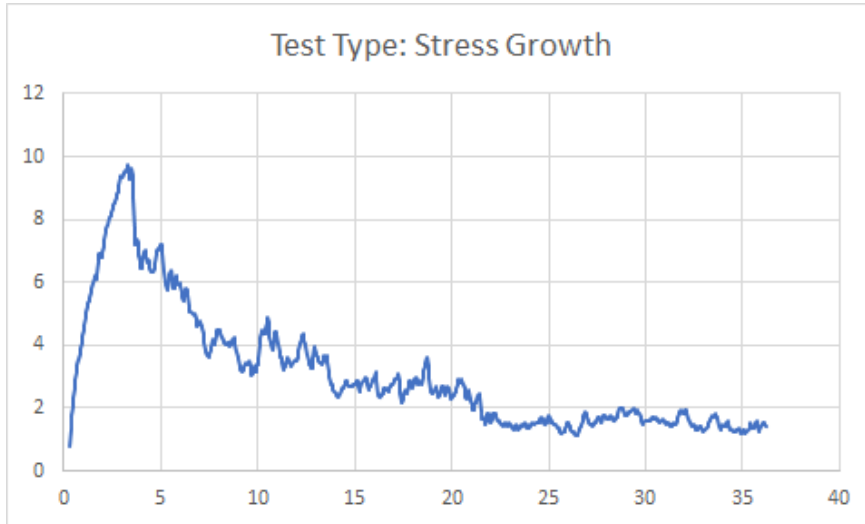


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

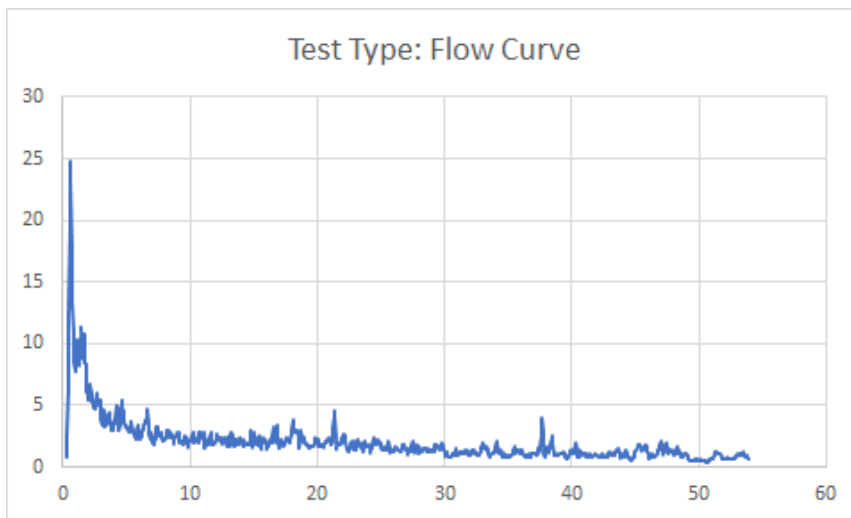


V/C-tall 0,40, 0 minutt, urørt

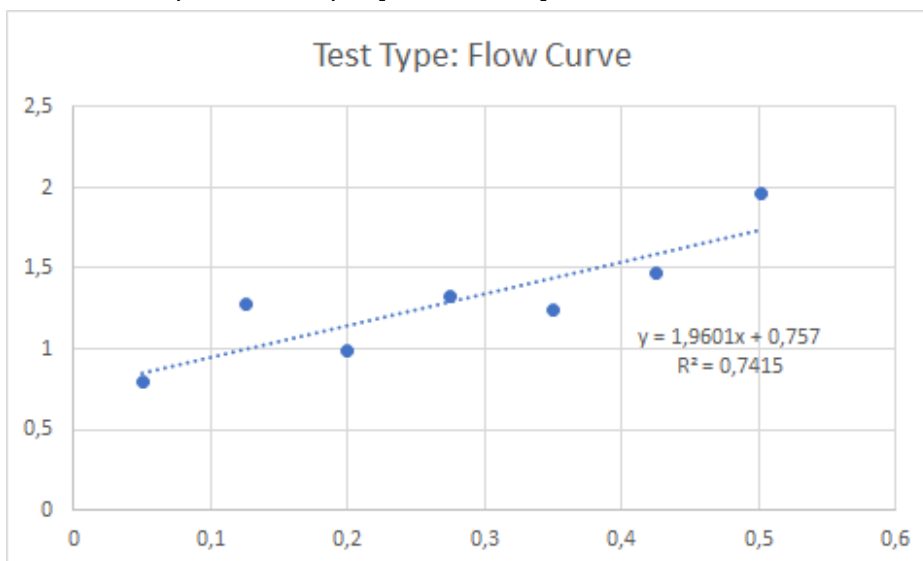
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



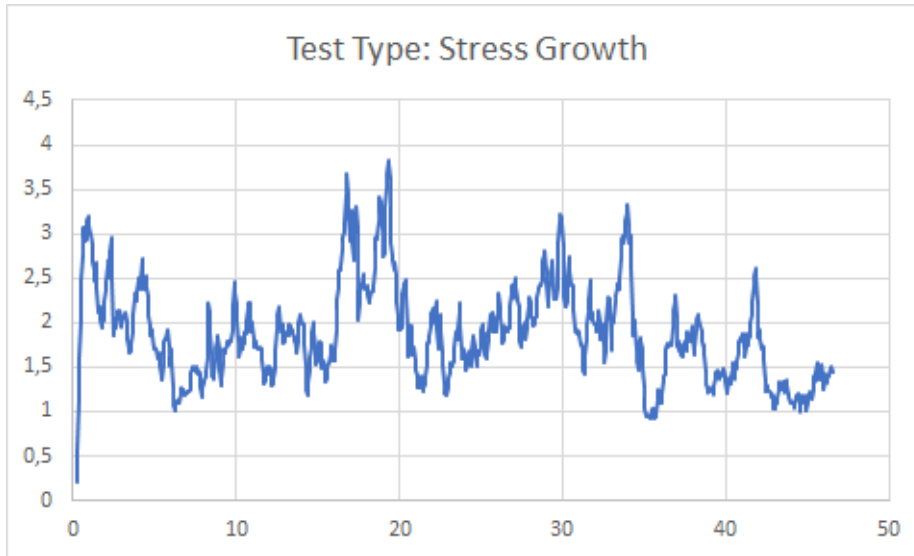
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



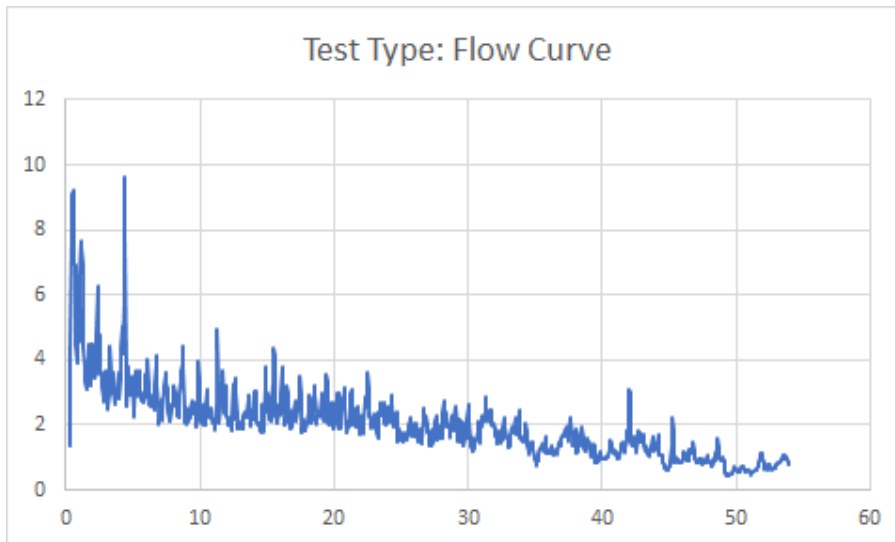
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 10 minutt, rørt

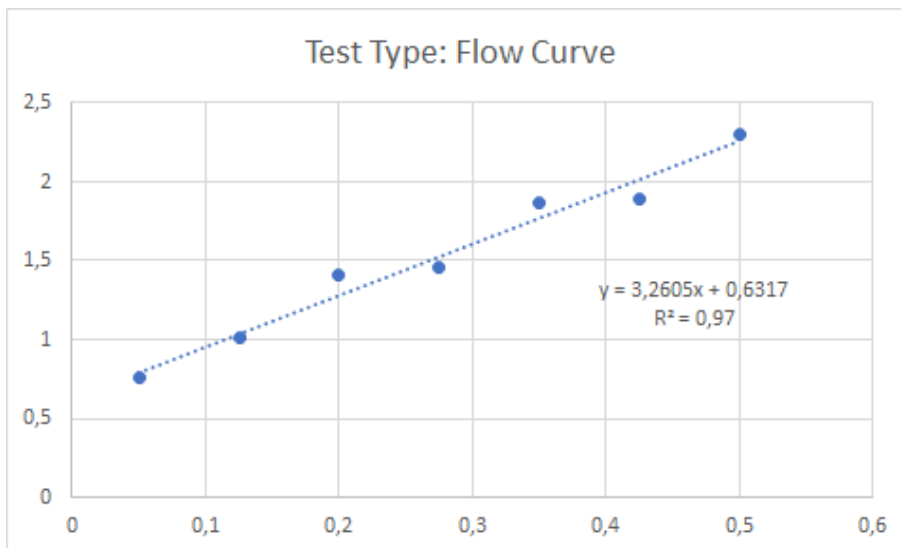
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



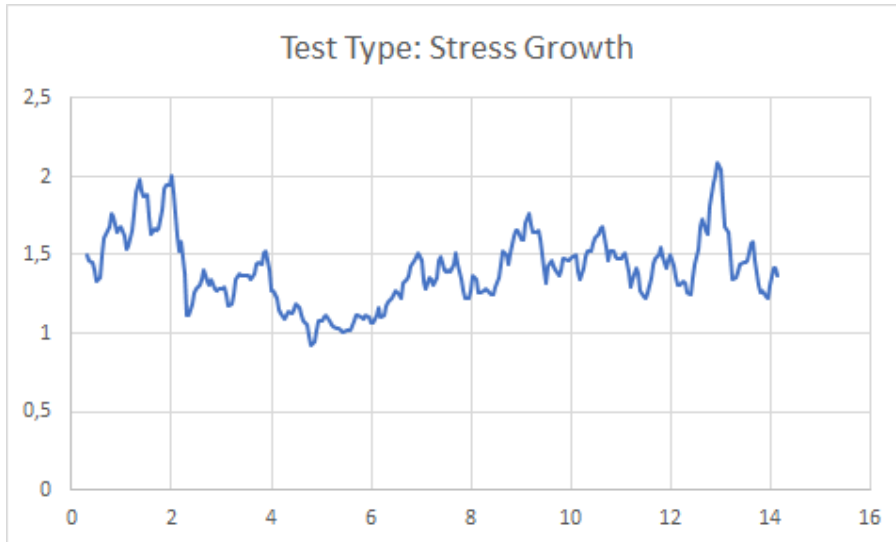
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



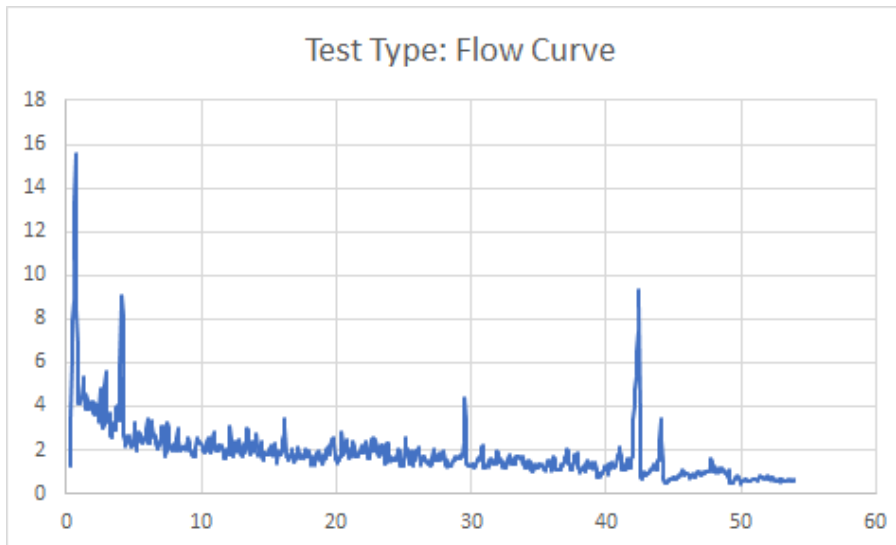
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 10 minutt, urørt

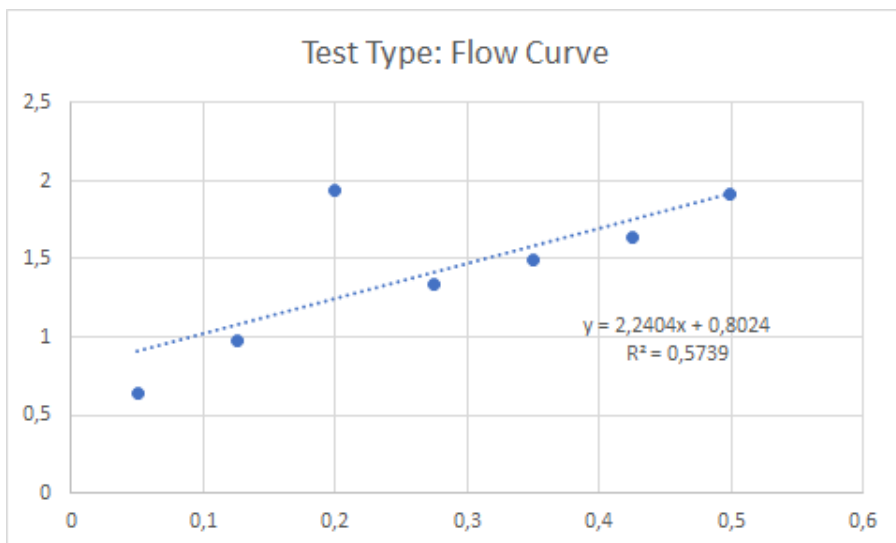
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



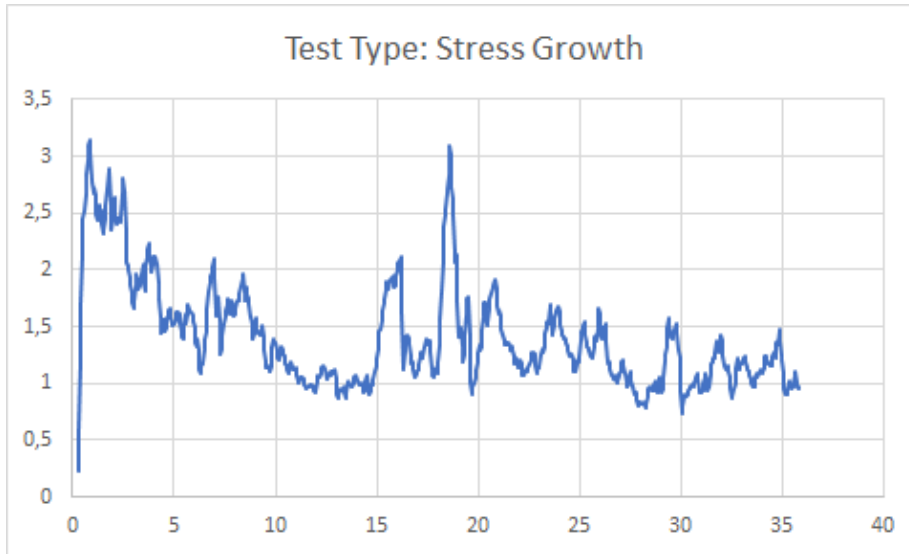
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



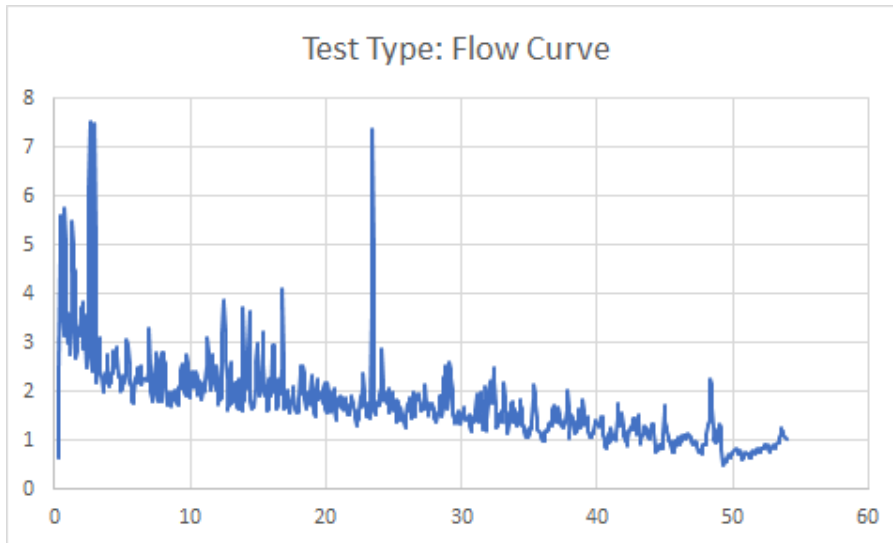
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 30 minutt, rørt

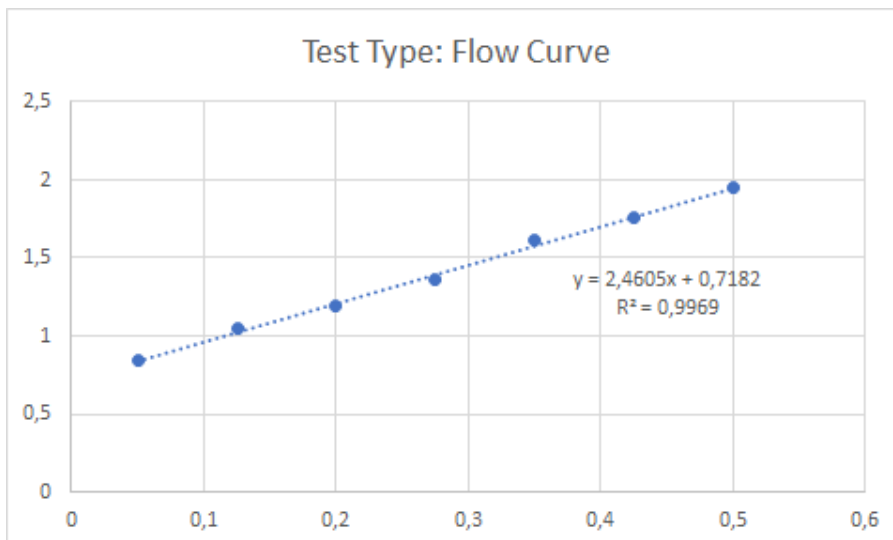
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



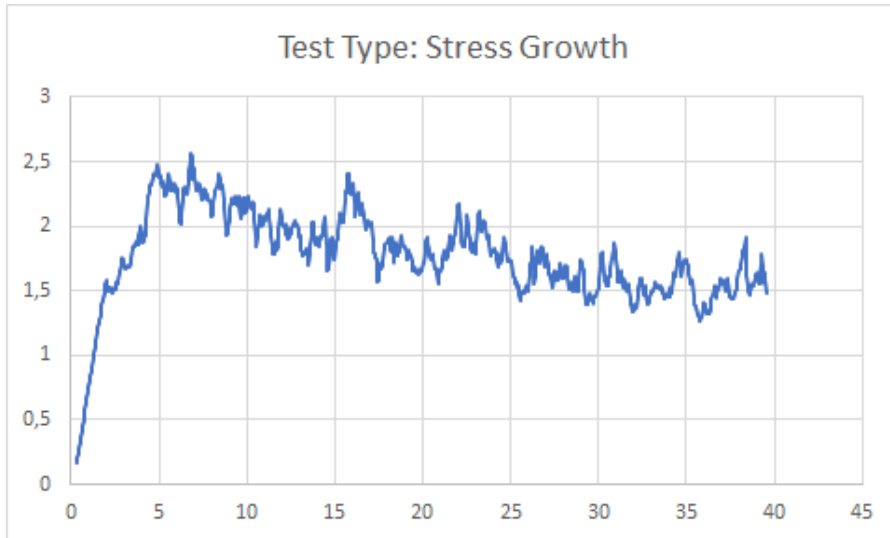
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



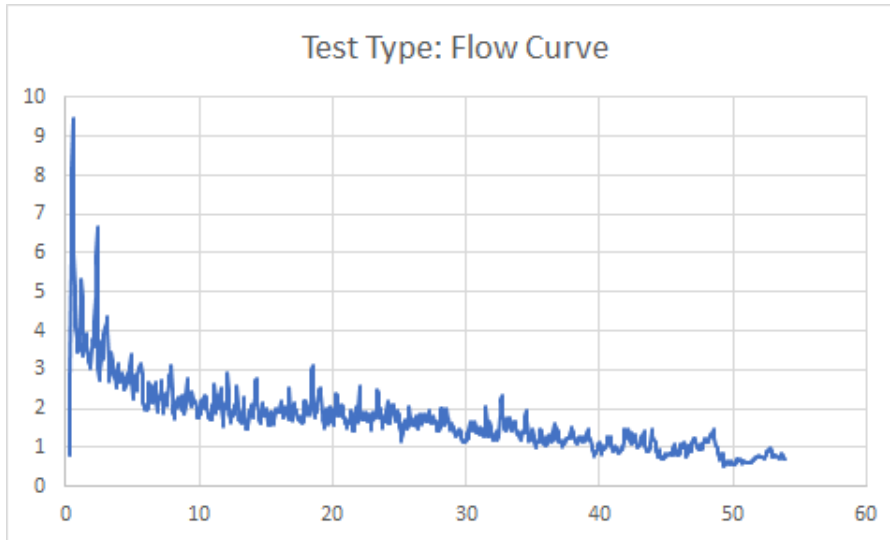
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 30 minutt, urørt

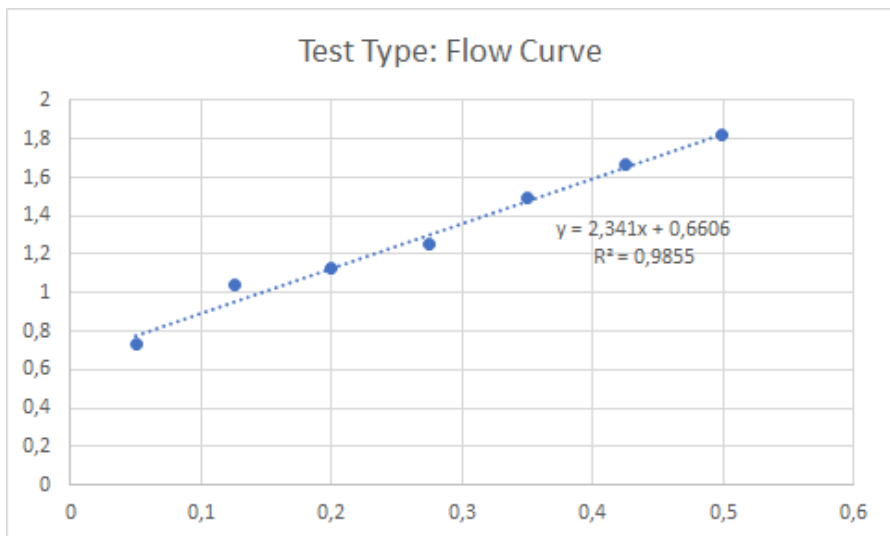
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



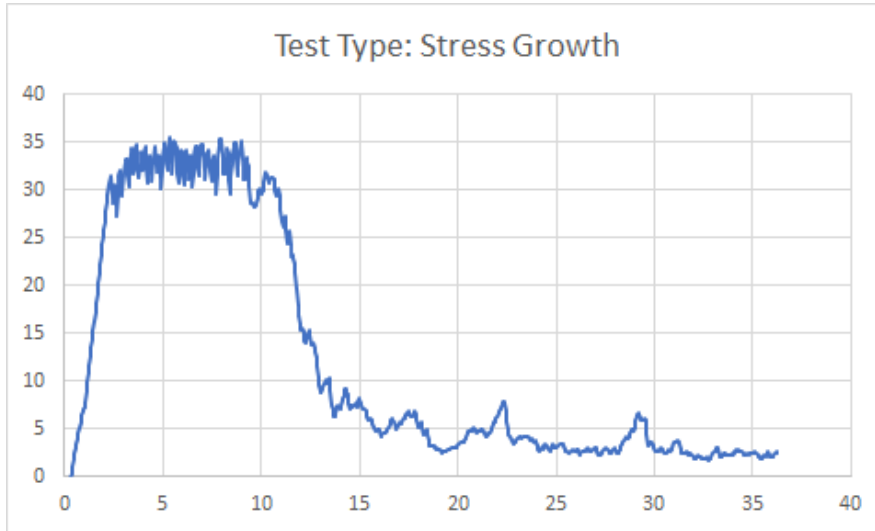
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



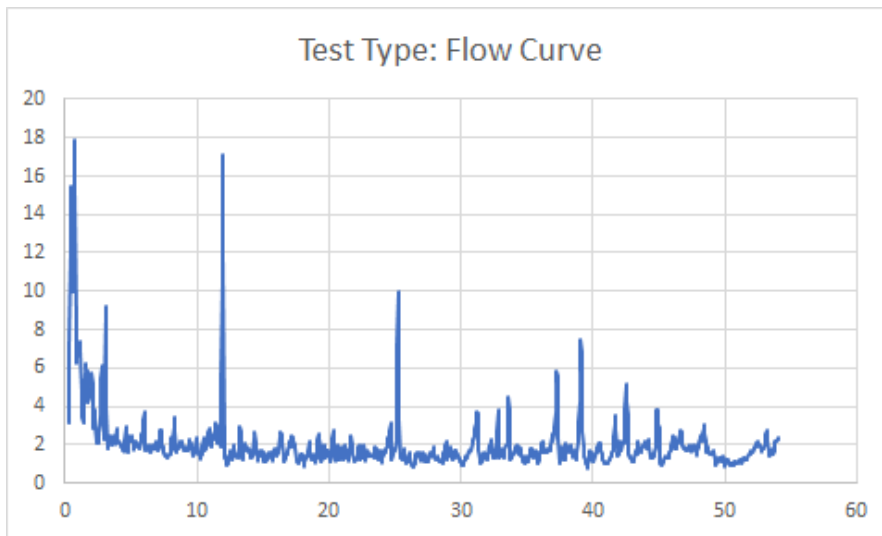
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 0 minutt, urørt

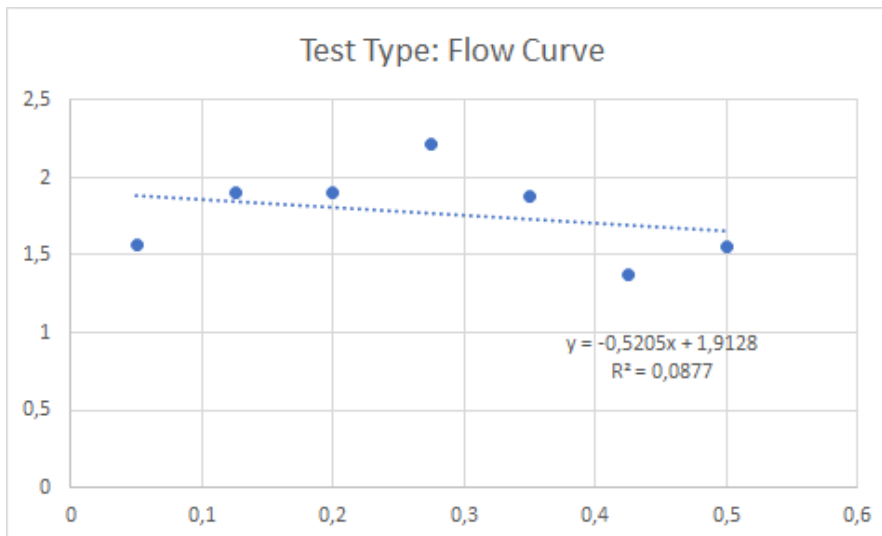
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



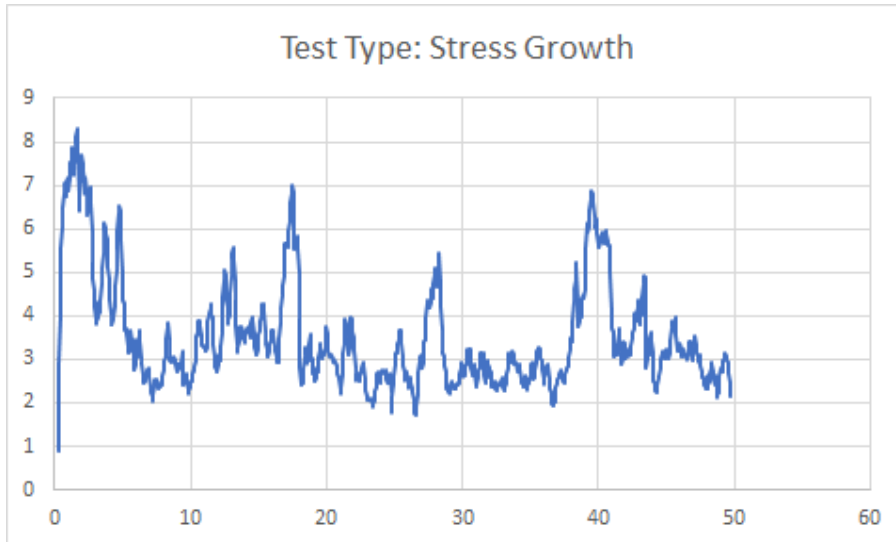
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



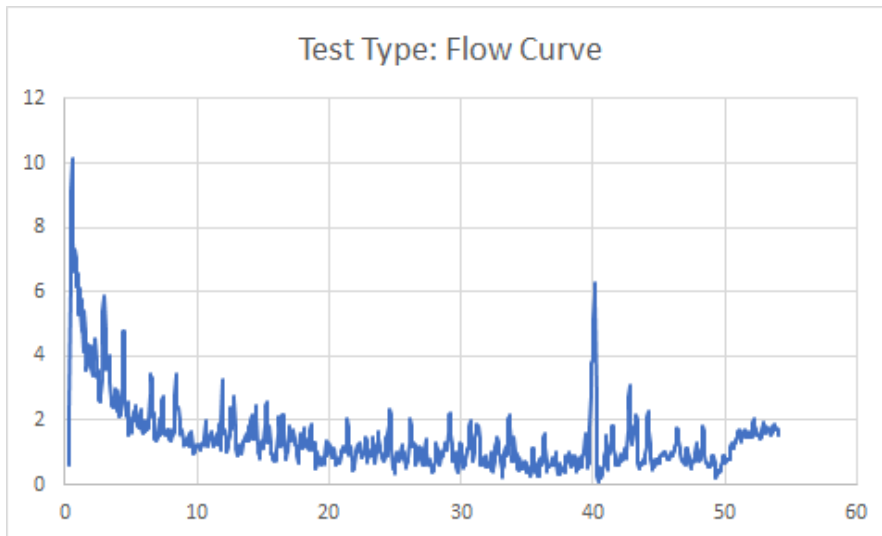
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 10 minutt, rørt

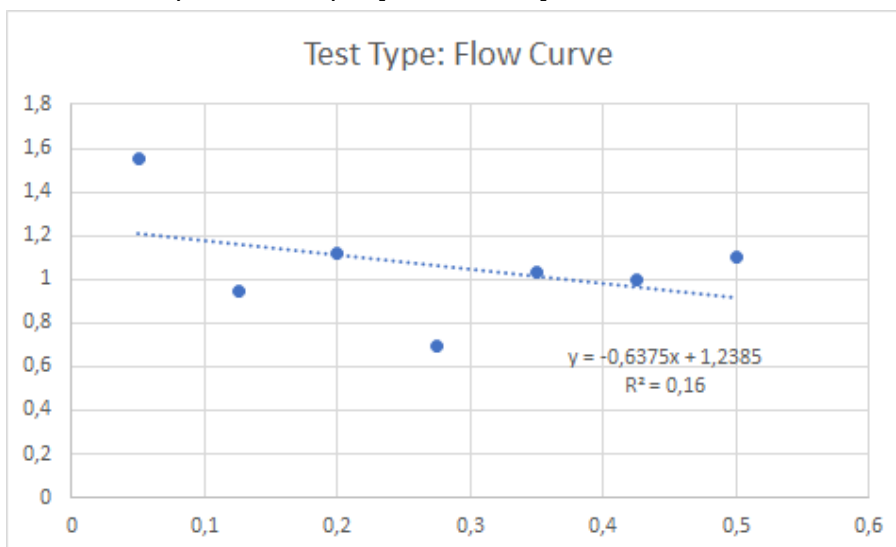
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



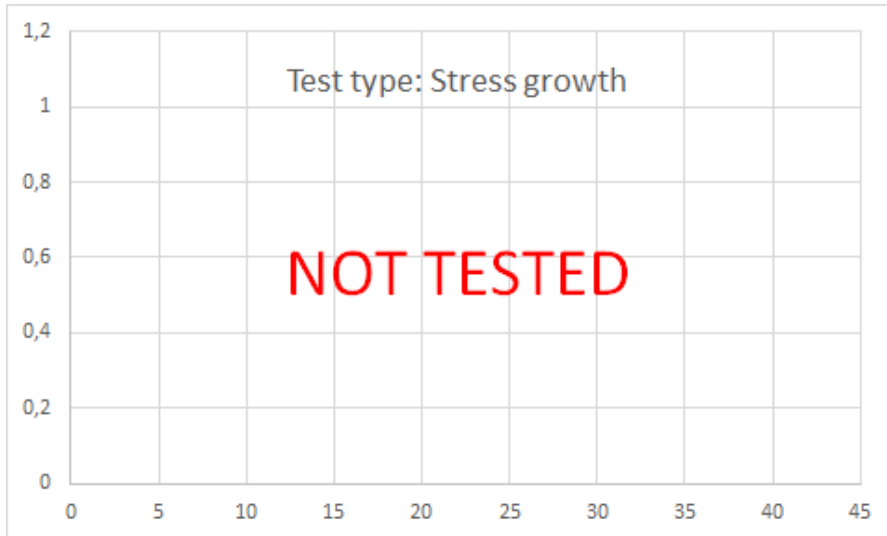
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



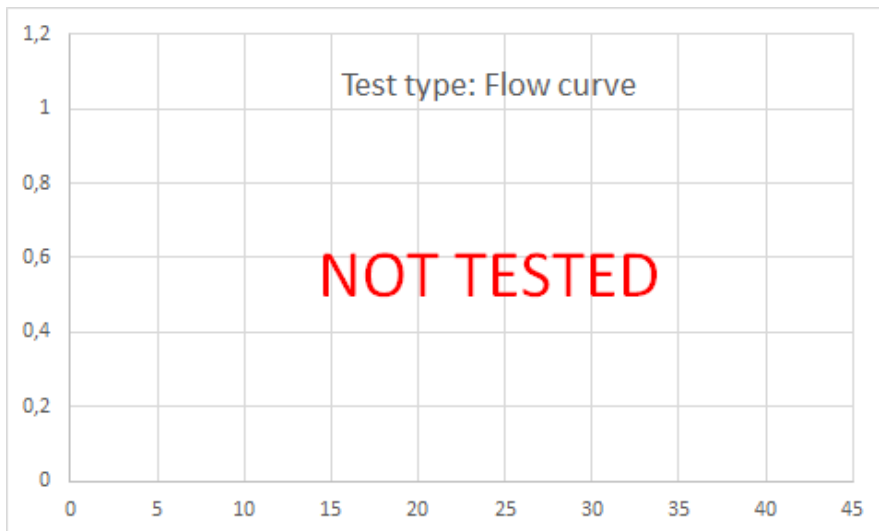
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 10 minutt, urørt

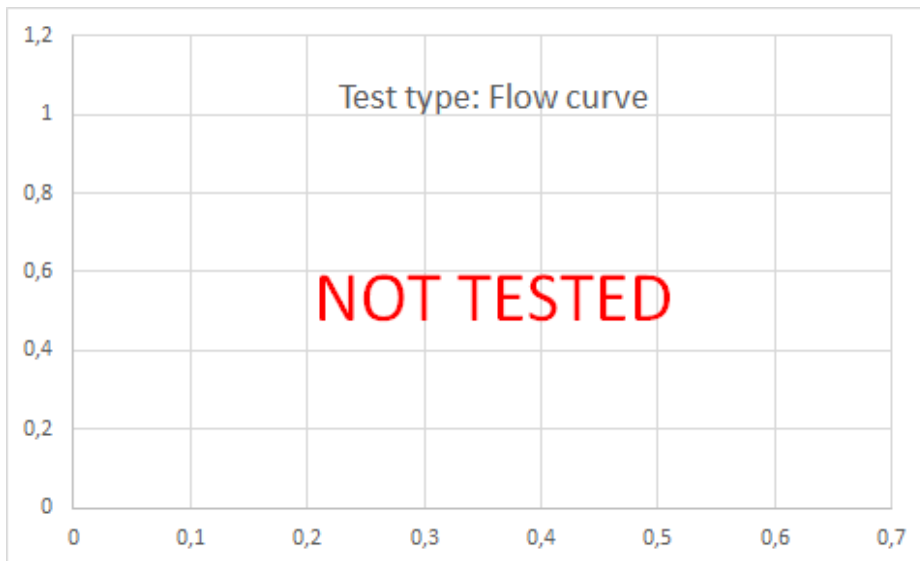
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



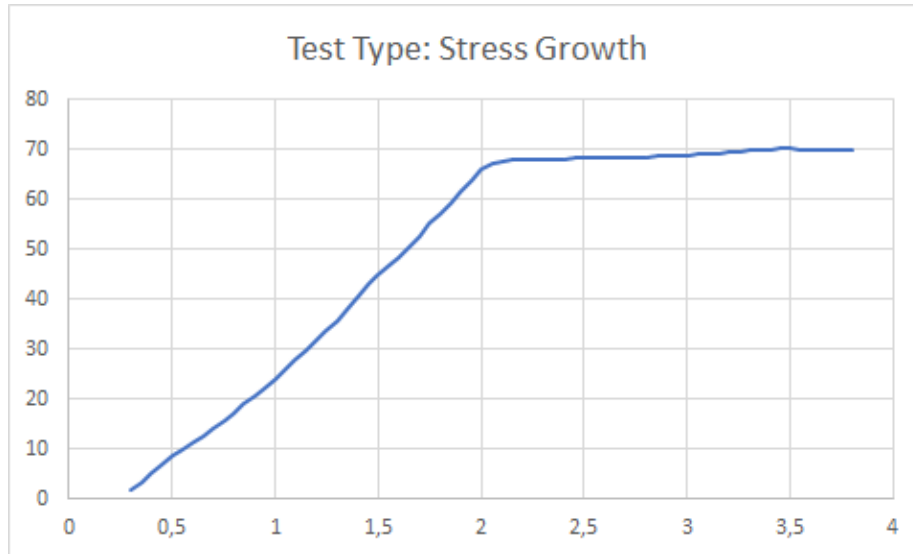
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



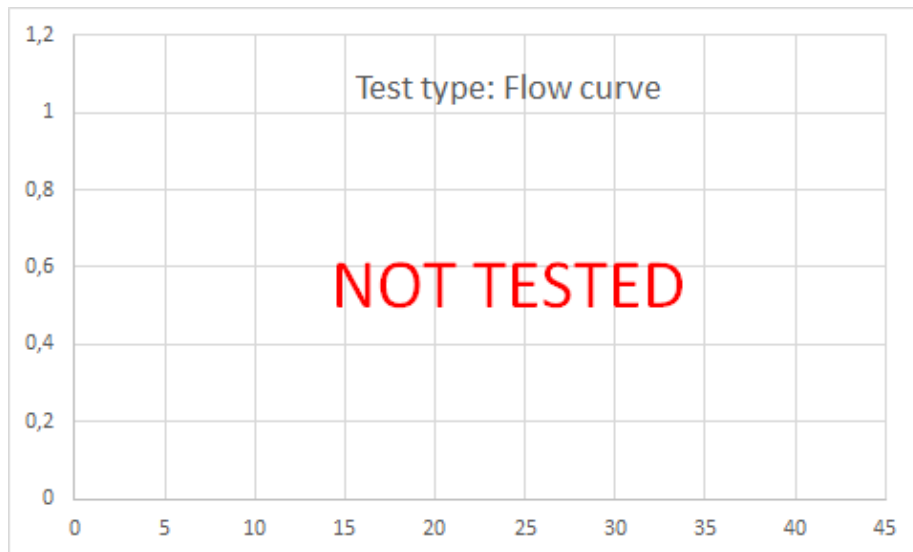
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 30 minutt, rørt

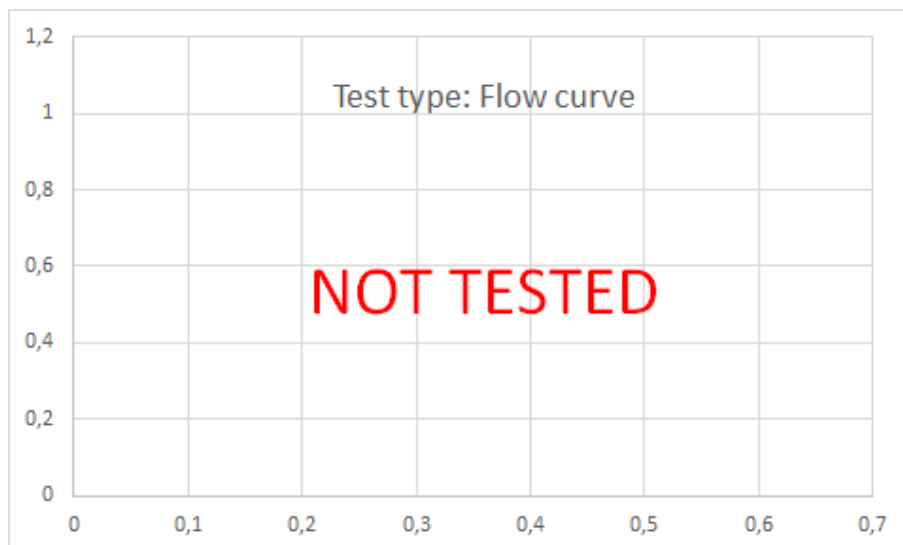
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



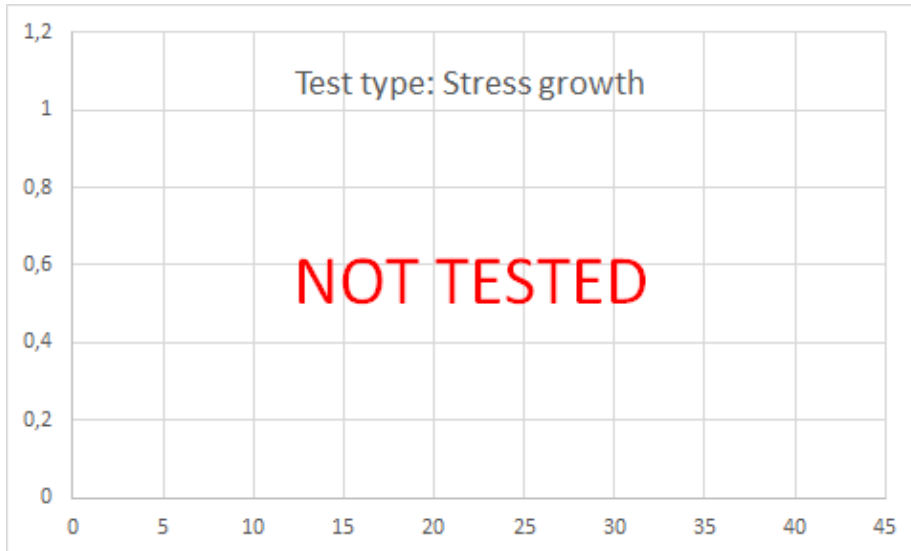
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



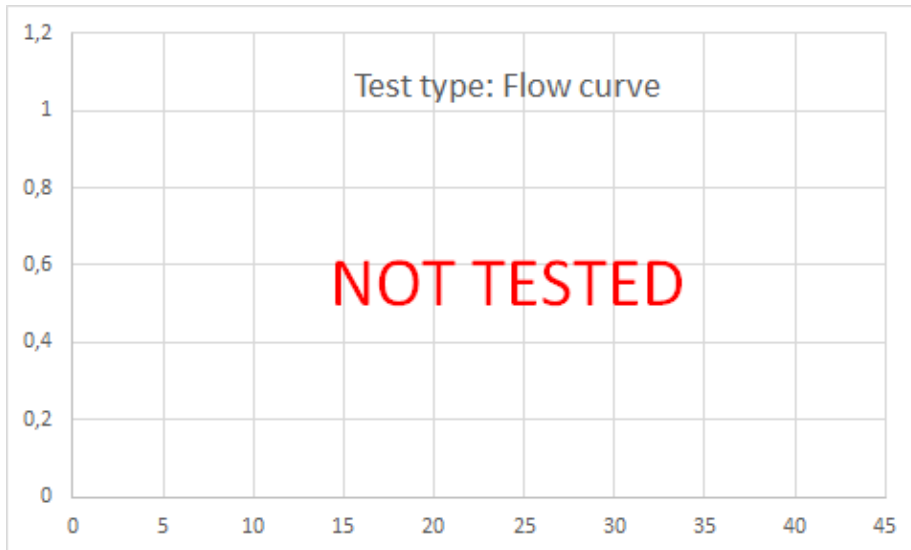
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 30 minutt, urørt

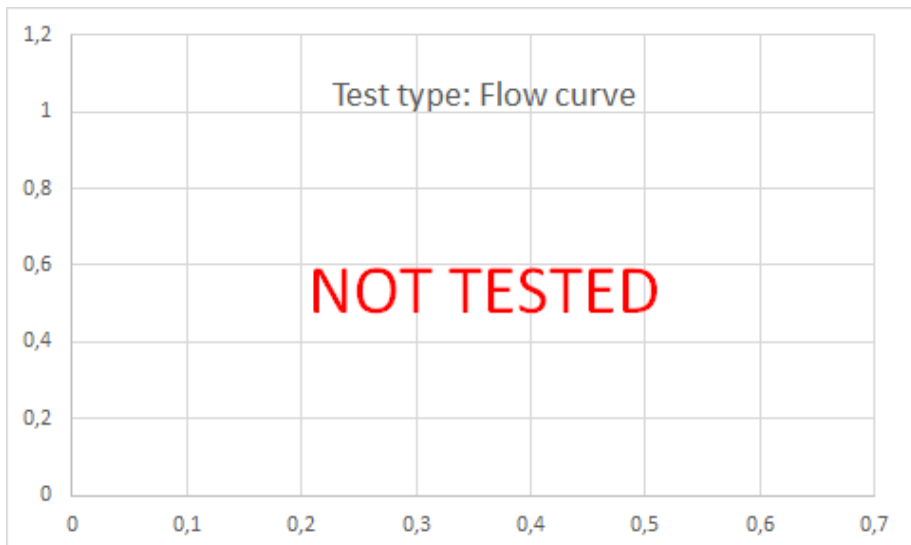
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



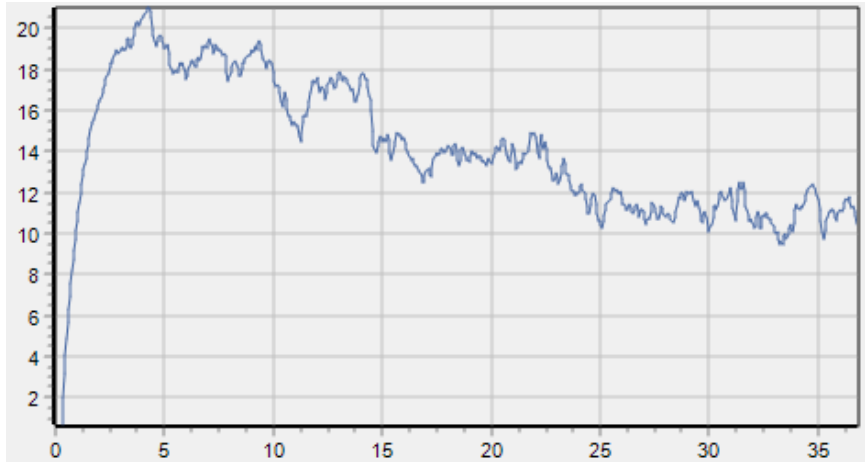
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



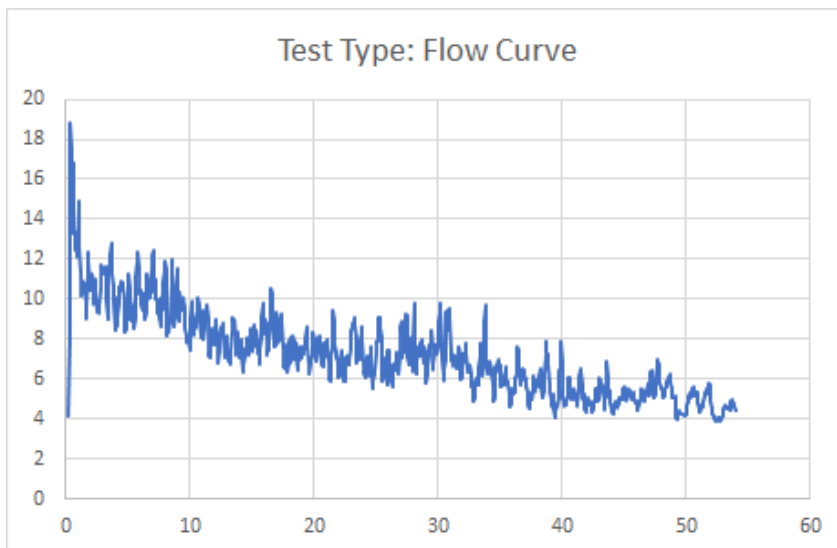
9.2.2 - 300 matriksvolum, 6 % SF

V/C-tall 0,35, 0 minutt, urørt

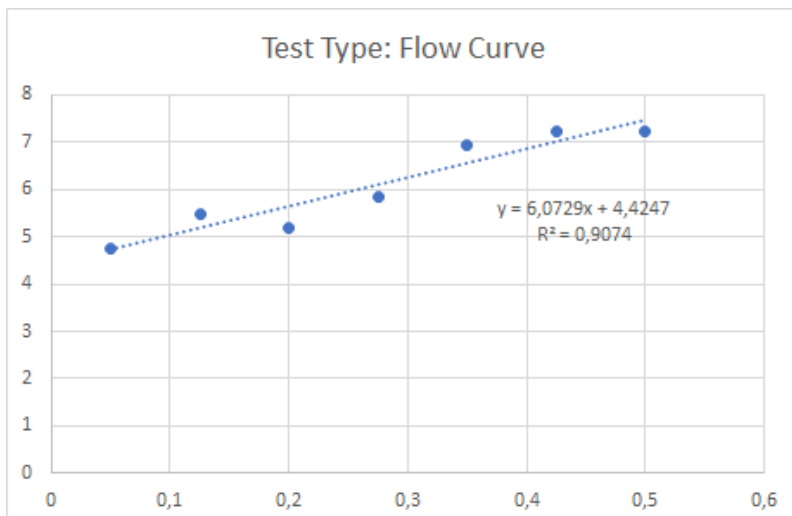
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



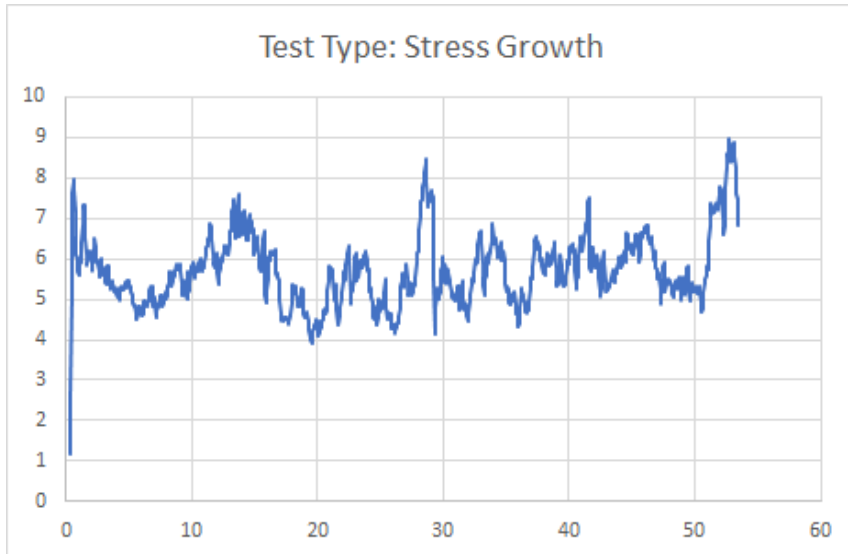
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



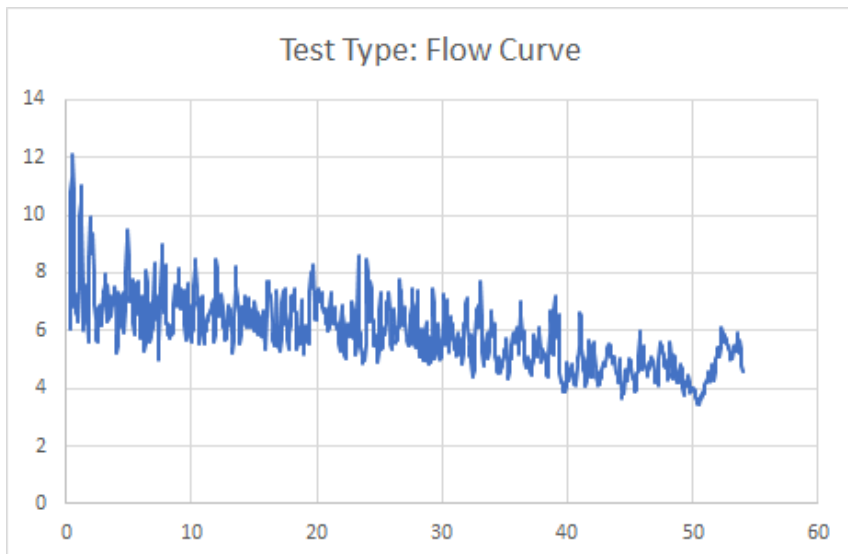
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,35, 10 minutt, rørt

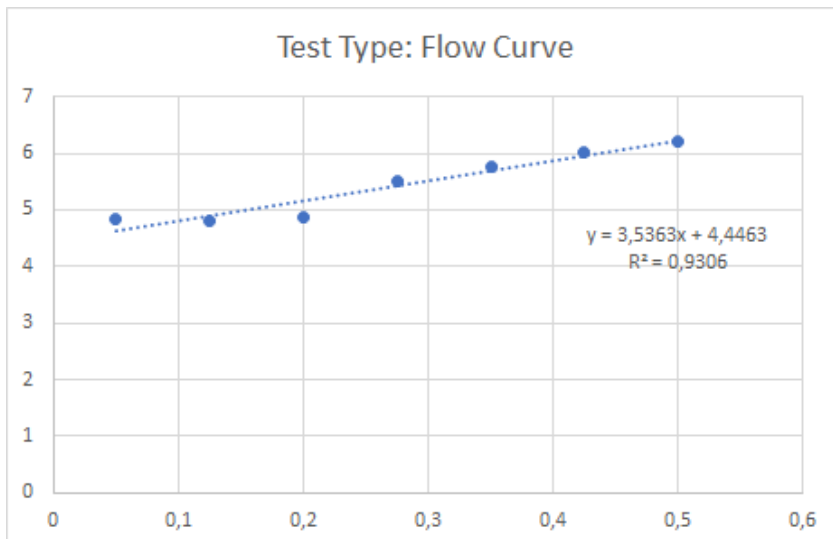
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

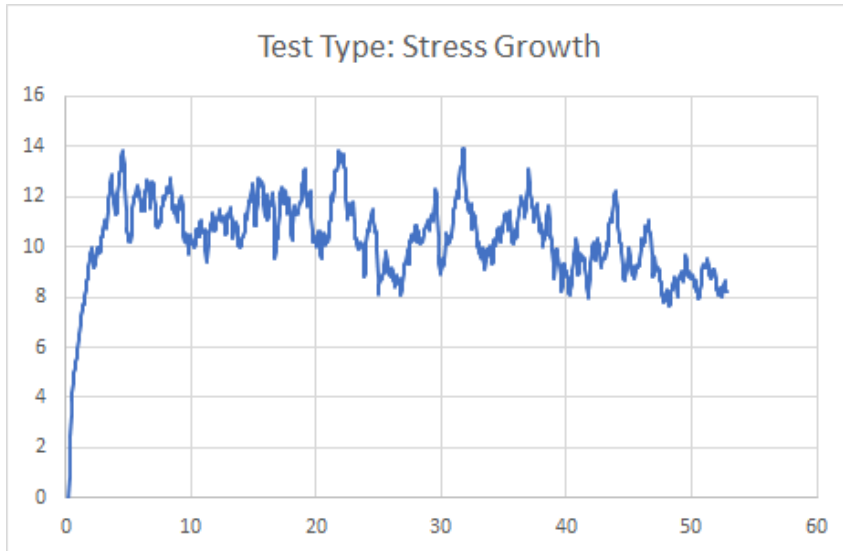


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

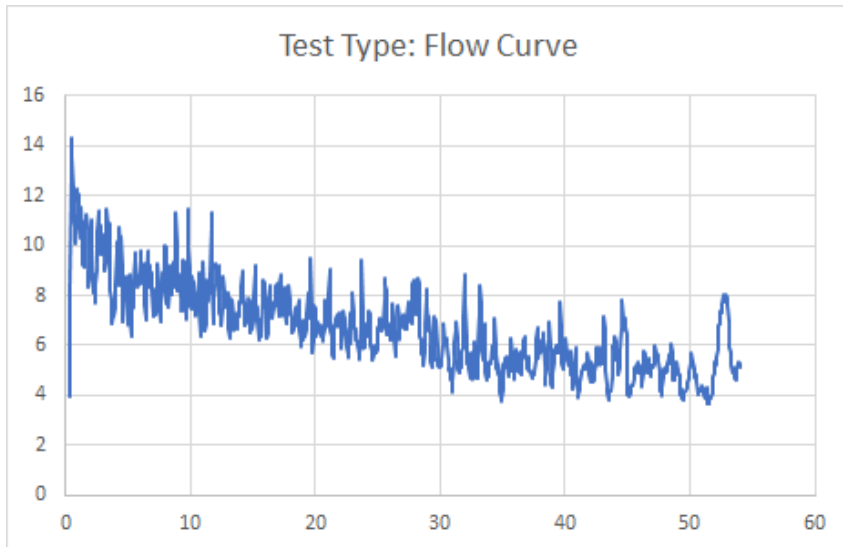


V/C-tall 0,35, 10 minutt, urørt

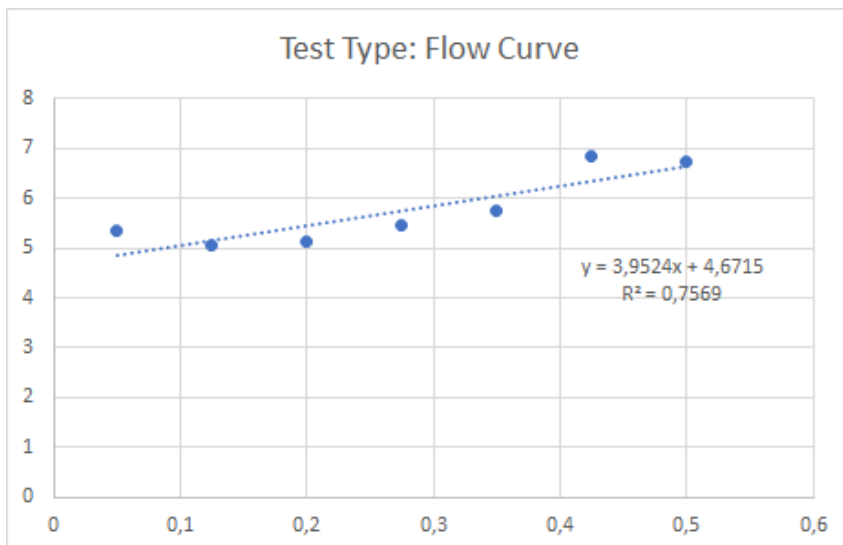
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

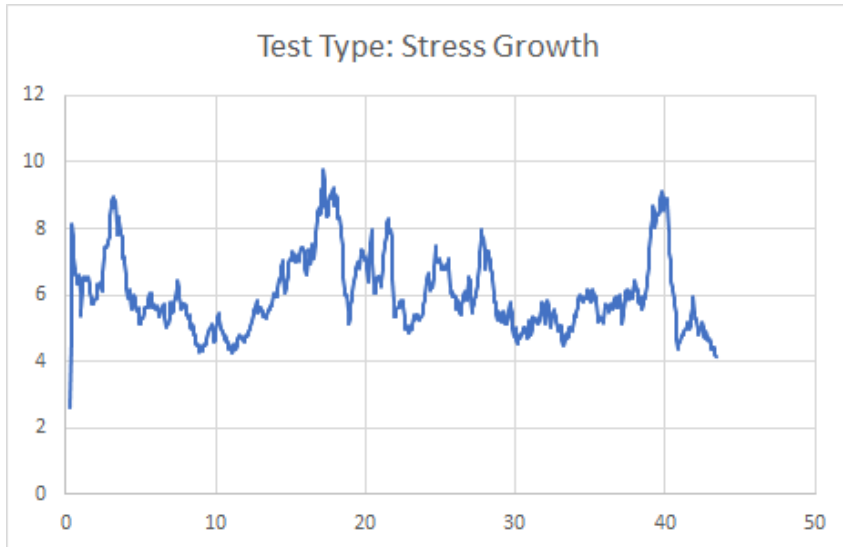


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

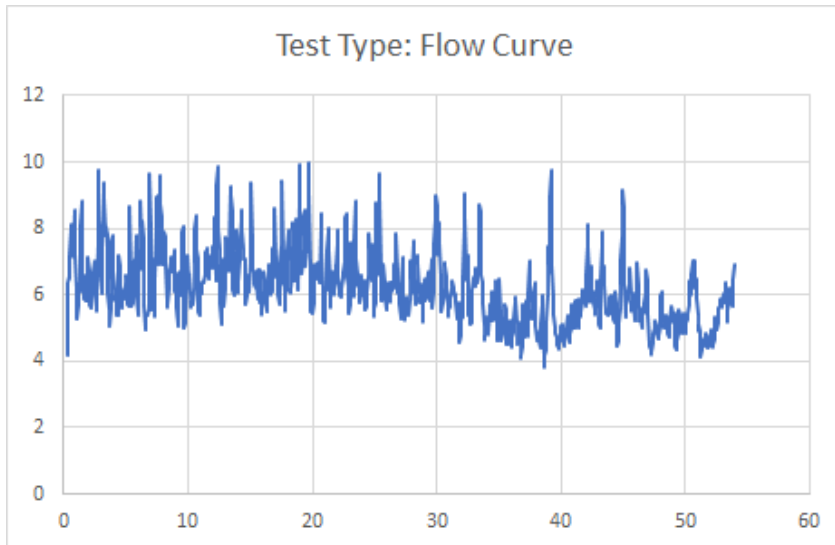


V/C-tall 0,35, 30 minutt, rørt

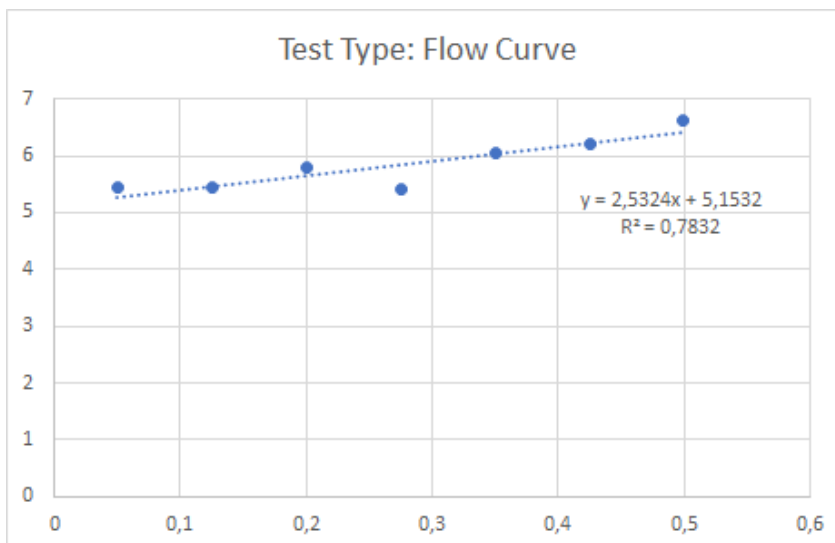
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

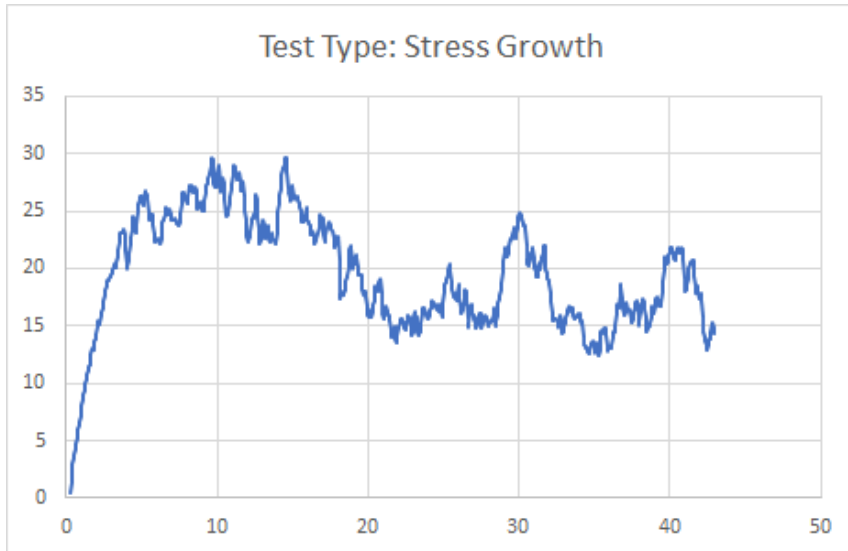


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

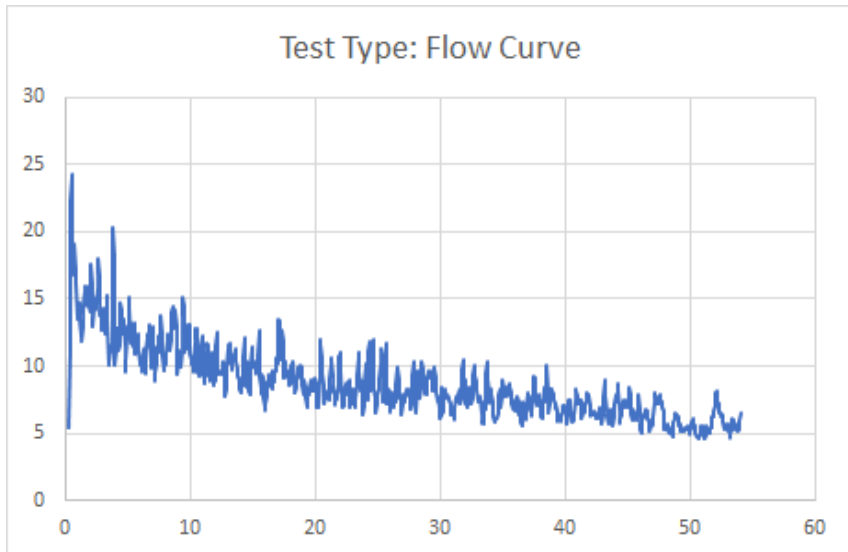


V/C-tall 0,35, 30 minutt, urørt

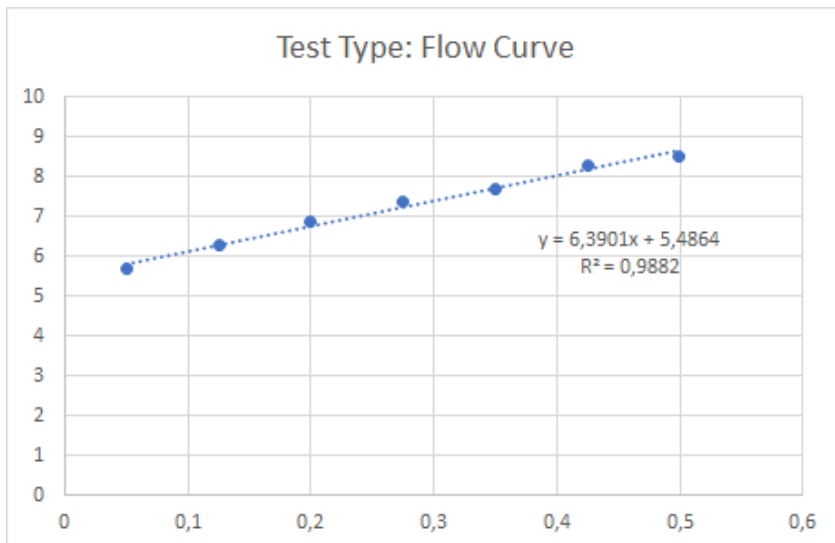
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



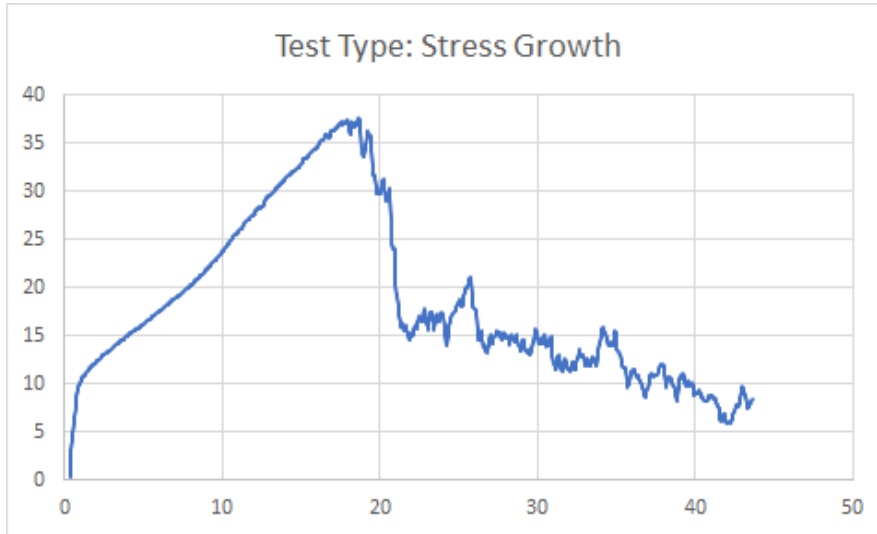
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



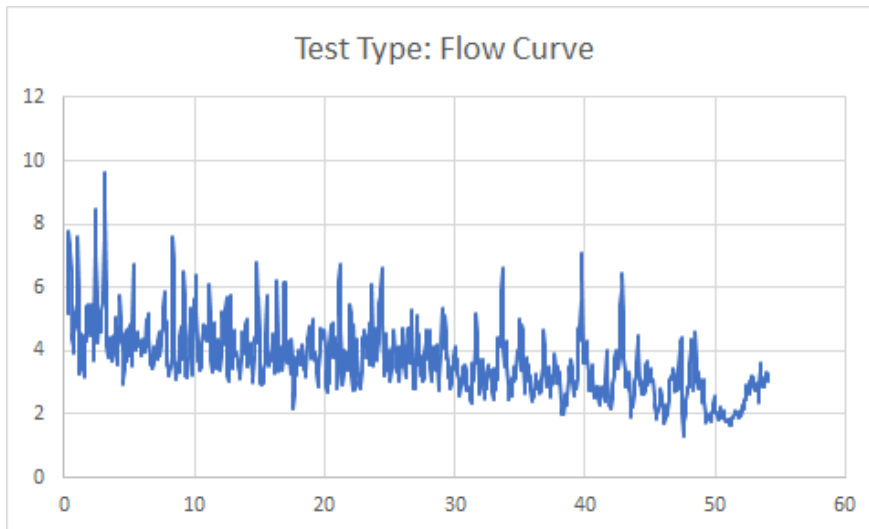
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 0 minutt, urørt

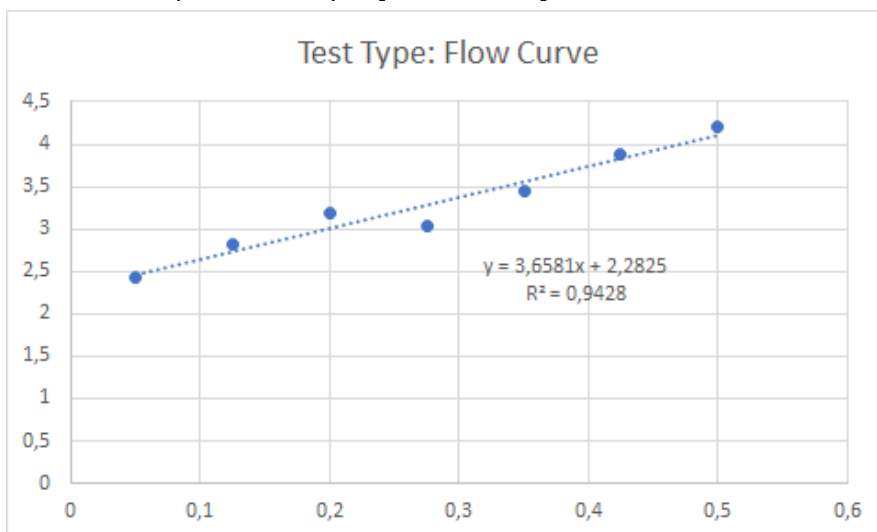
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



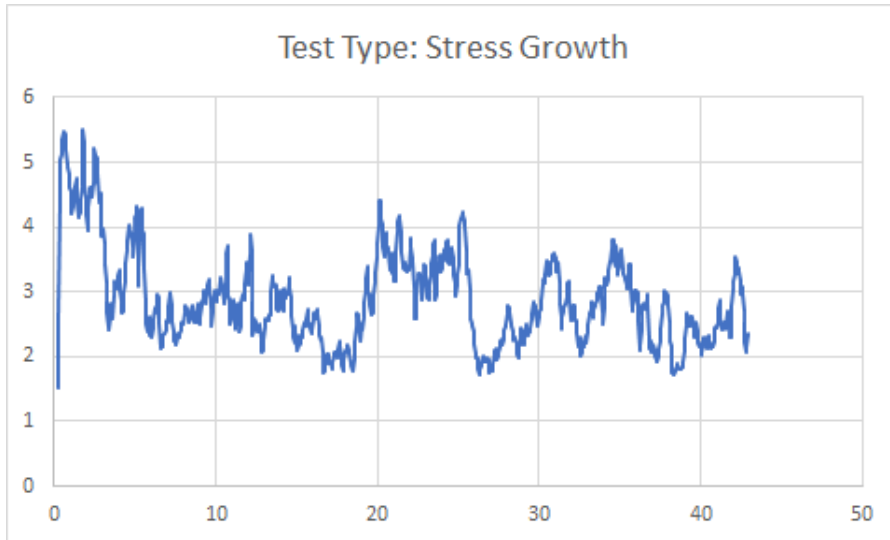
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



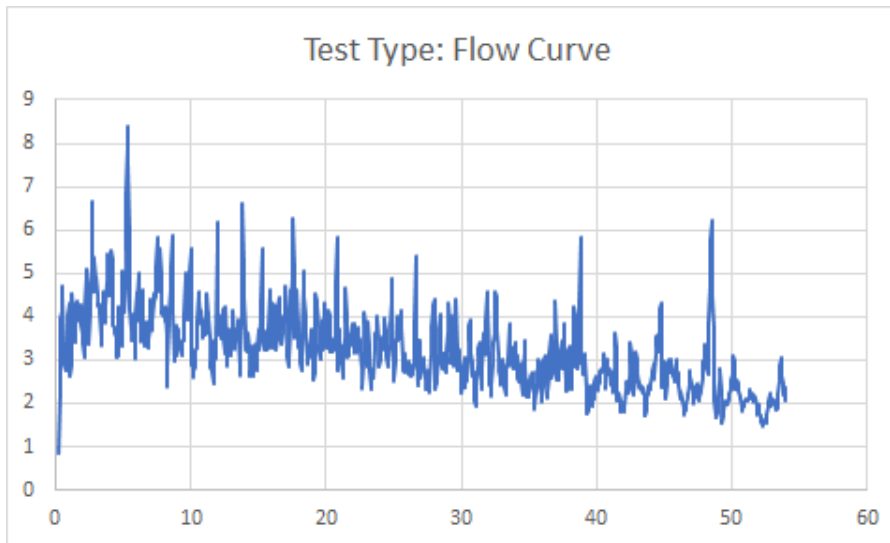
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 10 minutt, rørt

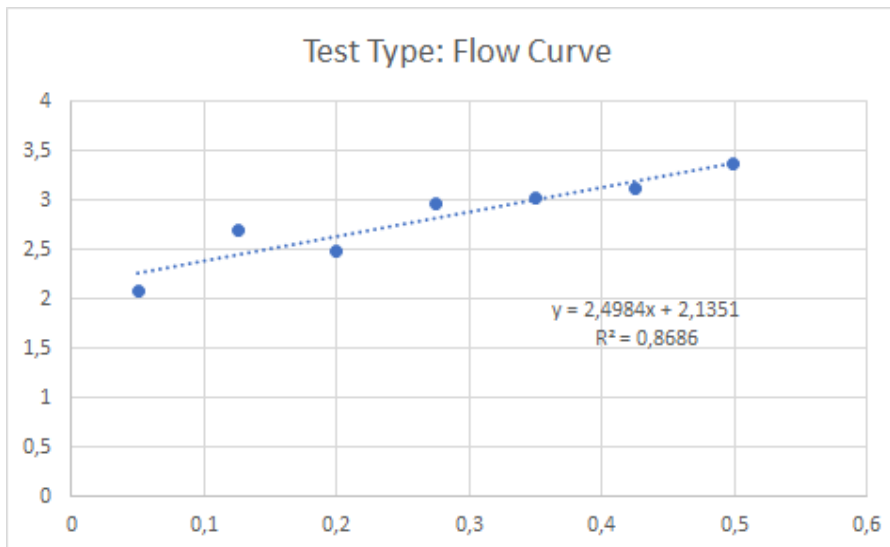
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



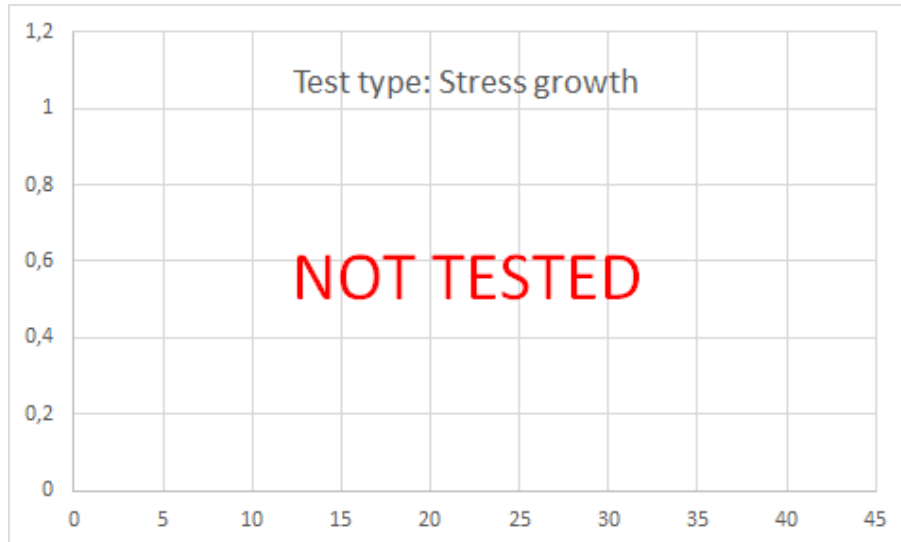
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



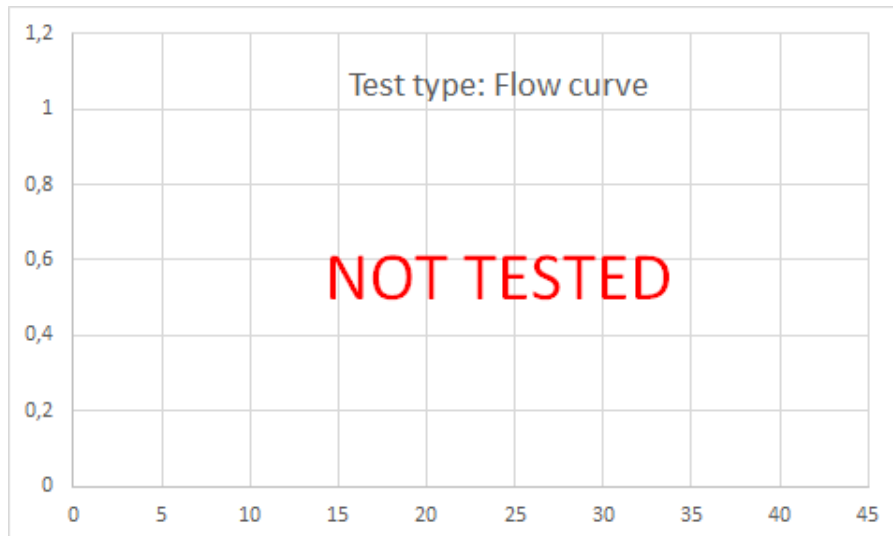
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 10 minutt, urørt

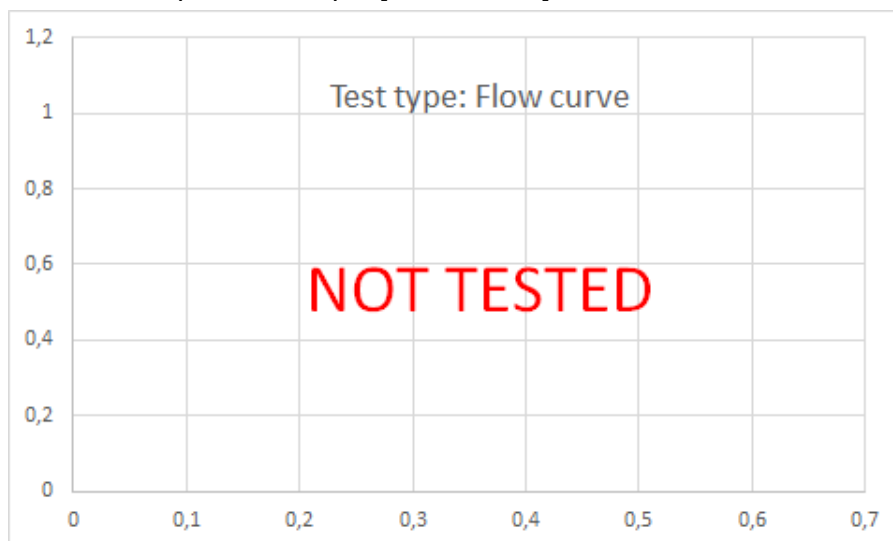
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



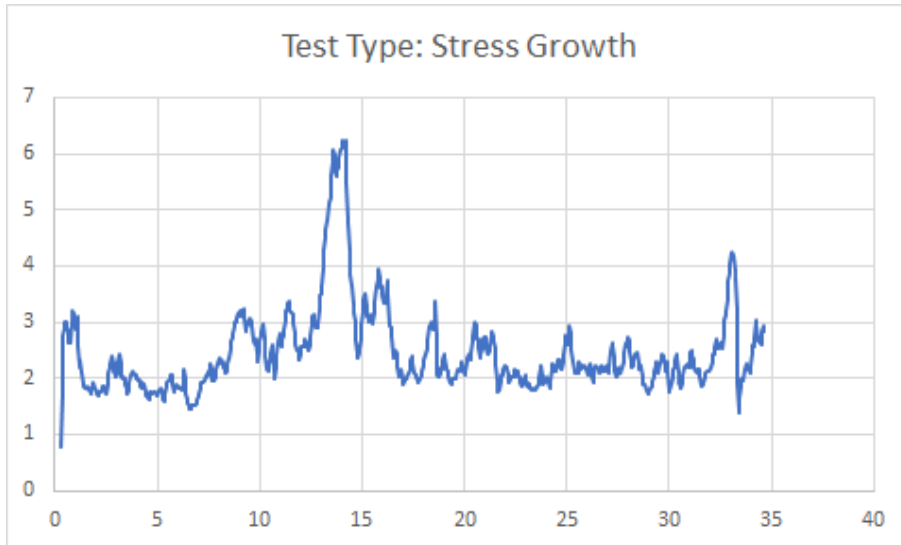
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



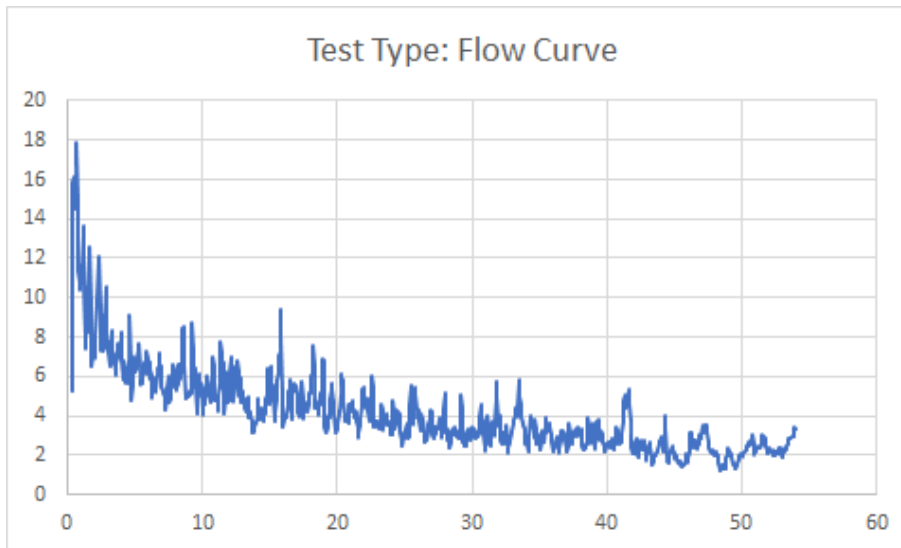
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 30 minutt, rørt

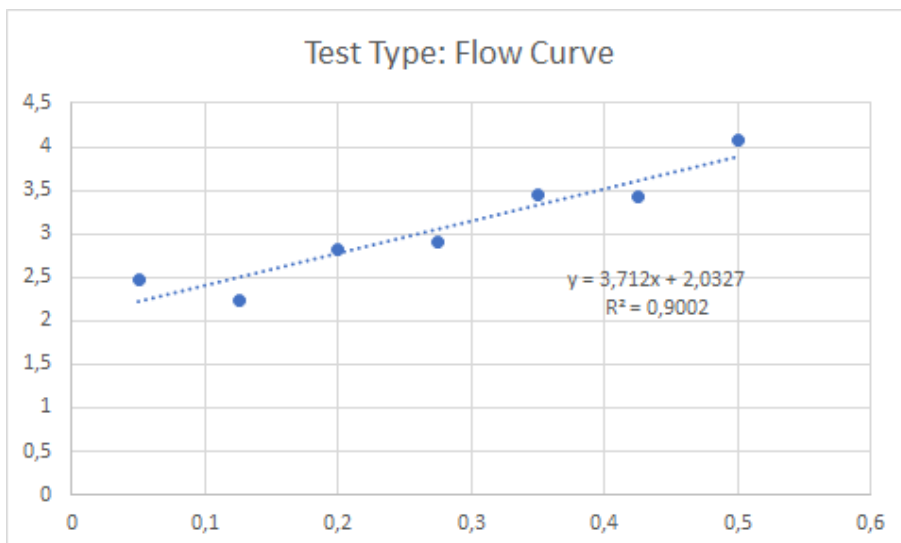
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



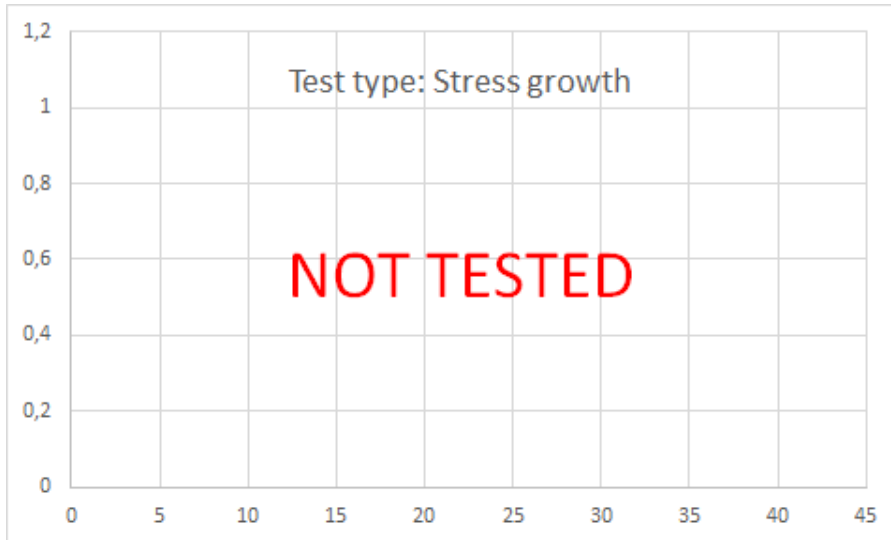
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



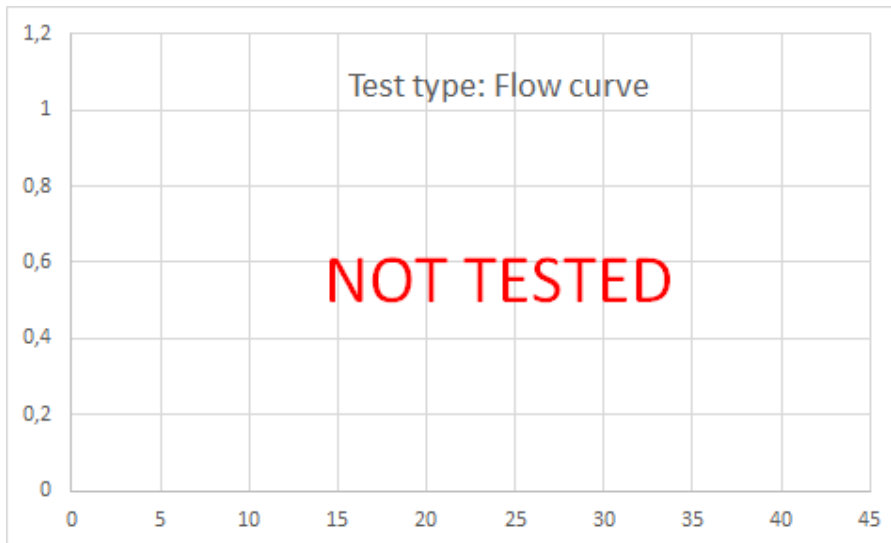
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 30 minutt, urørt

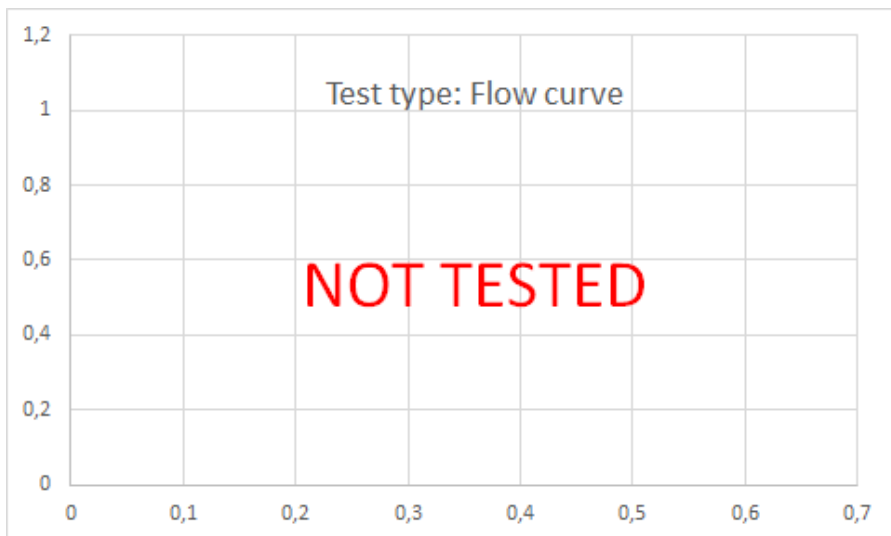
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



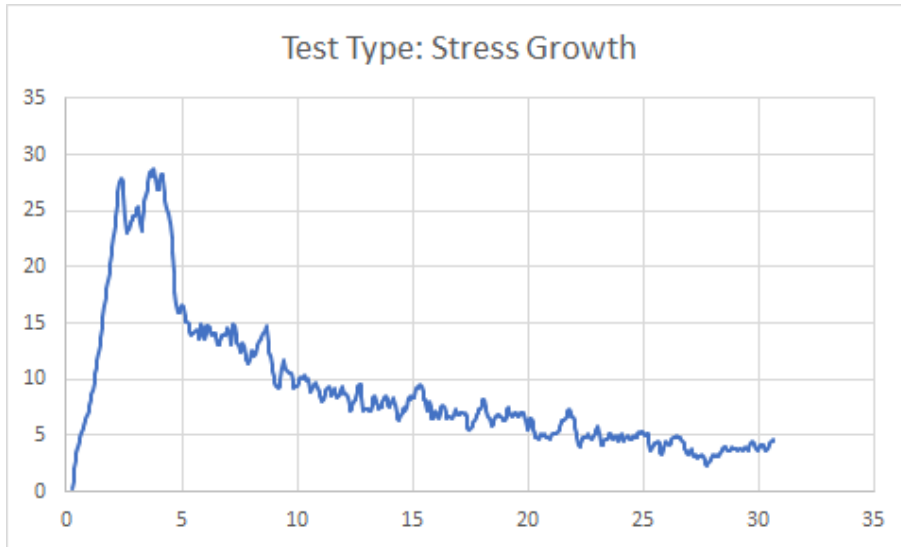
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



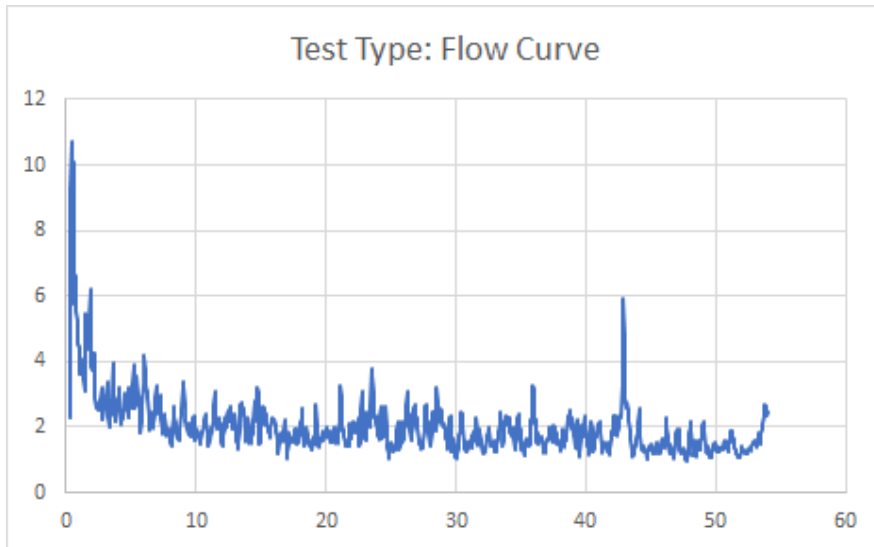
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 0 minutt, urørt

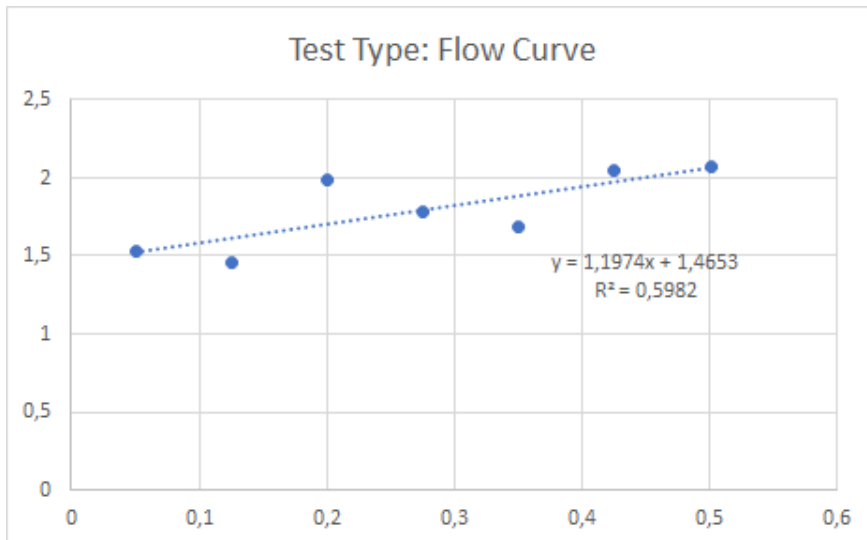
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



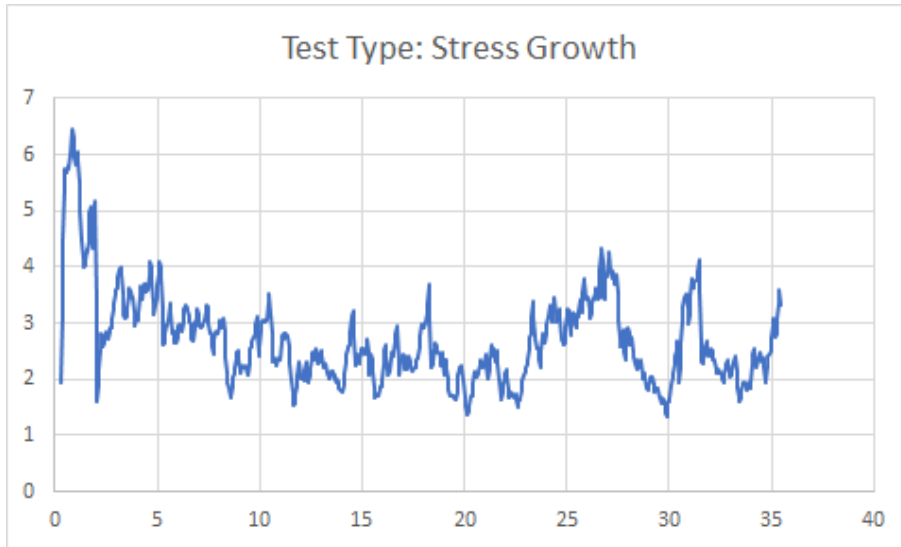
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



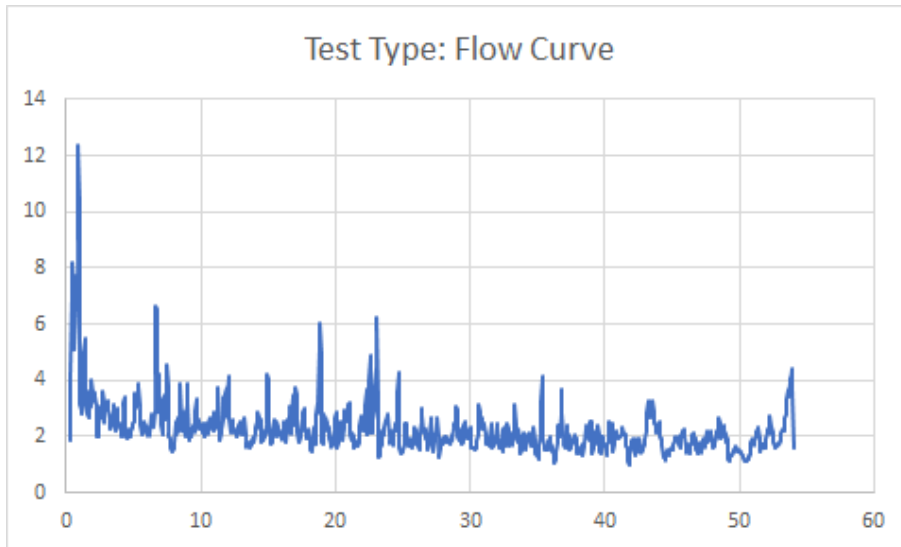
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 10 minutt, rørt

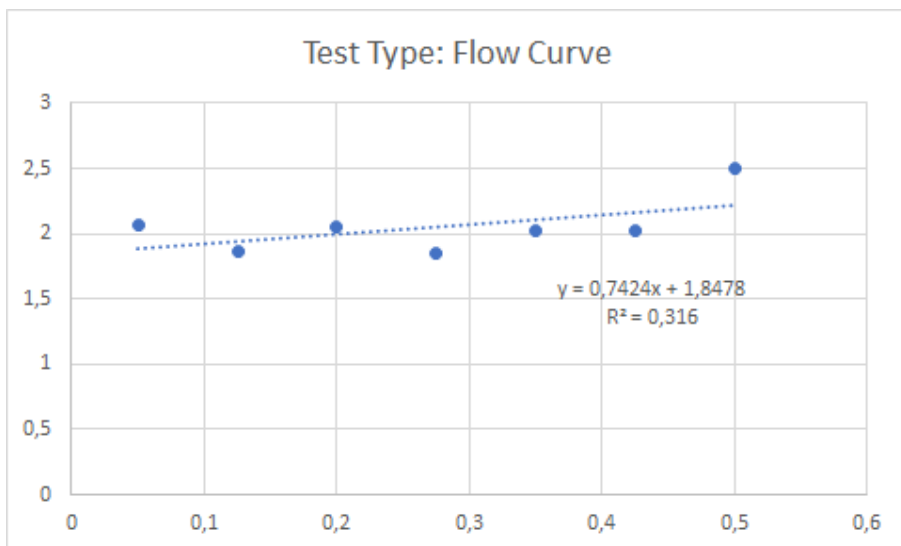
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



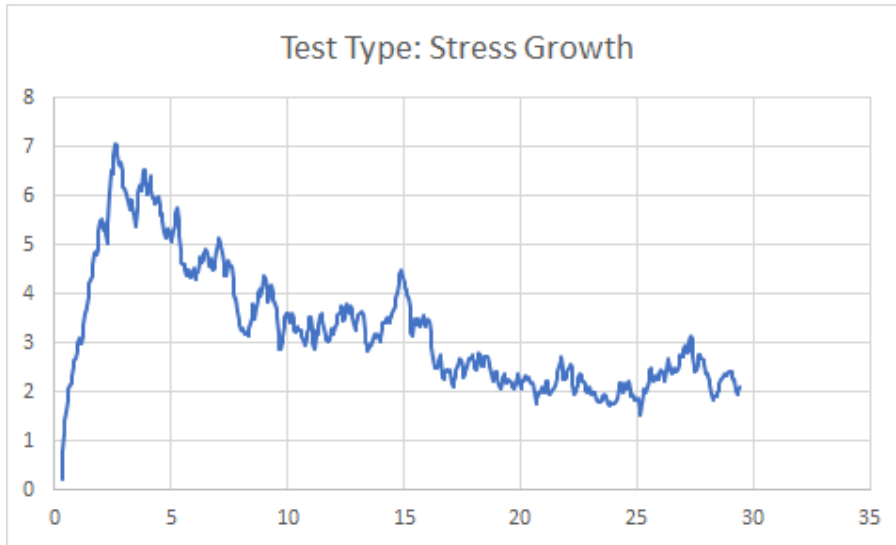
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



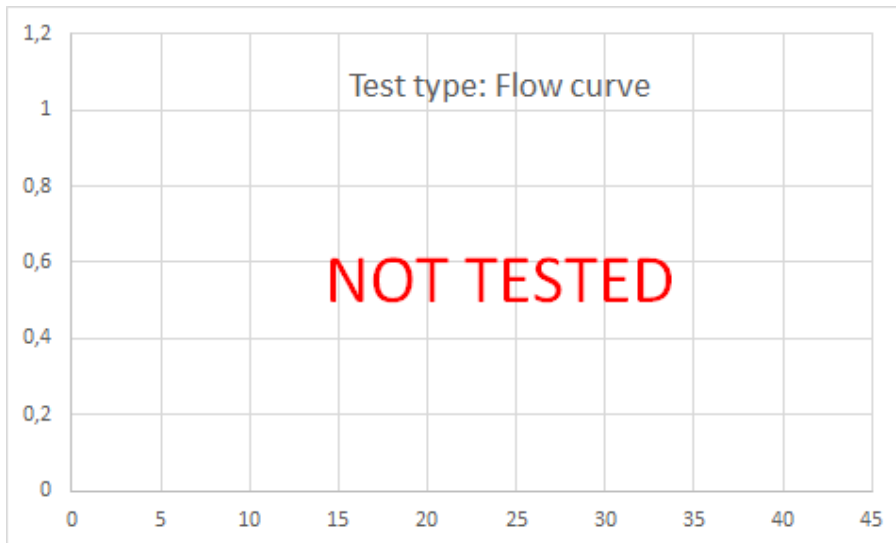
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 10 minutt, urørt

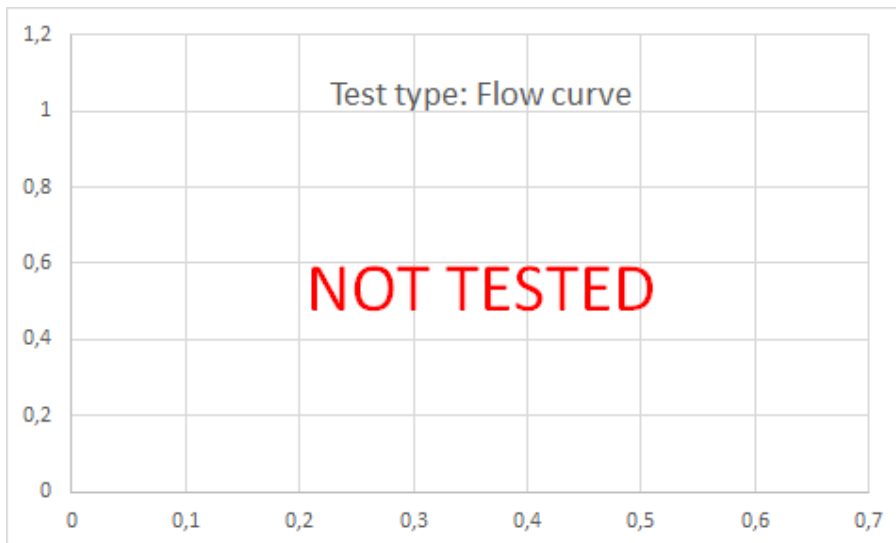
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



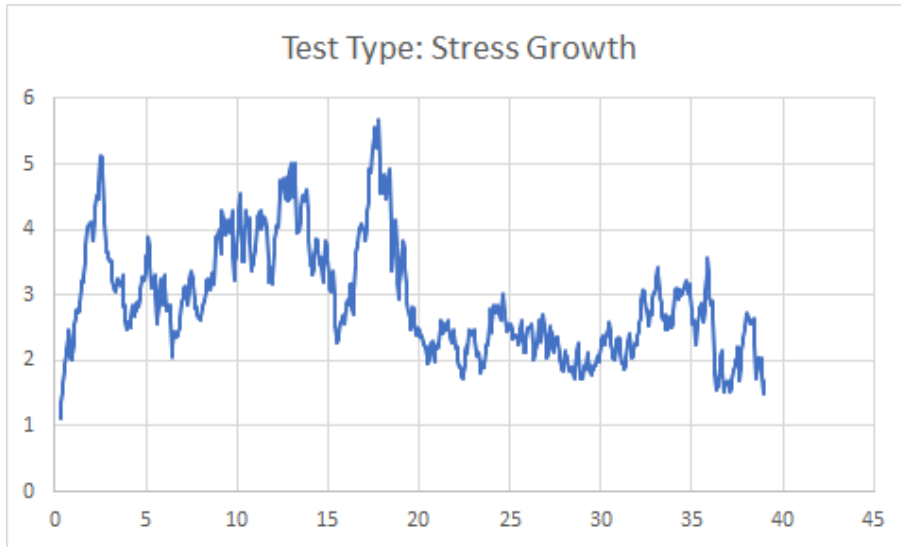
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



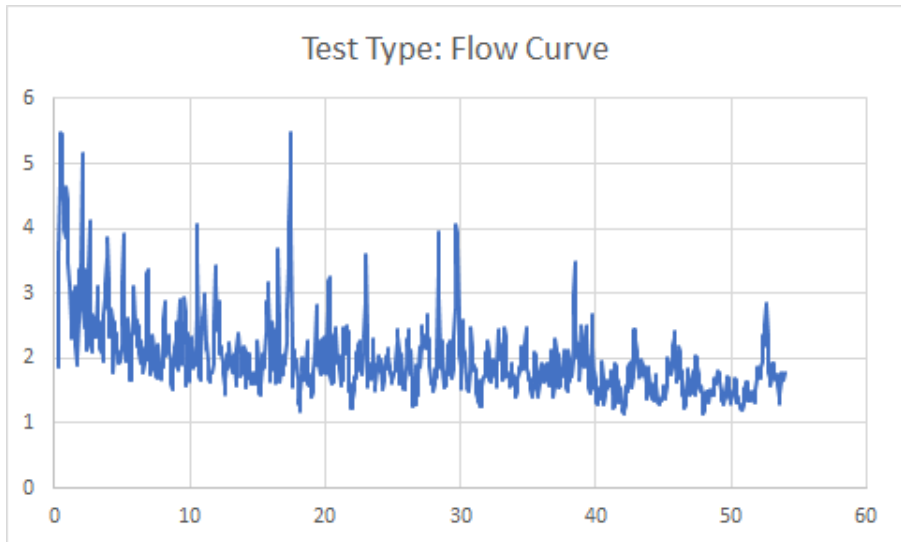
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 30 minutt, rørt

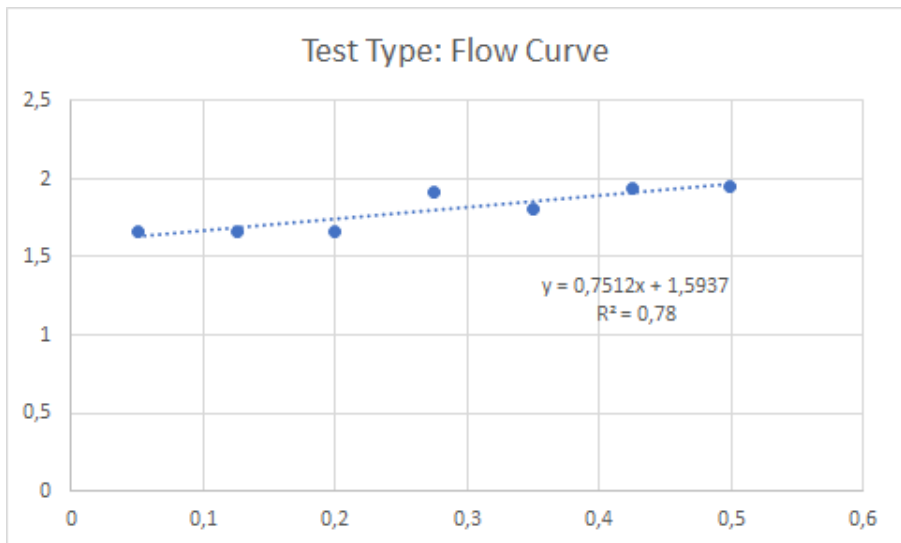
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



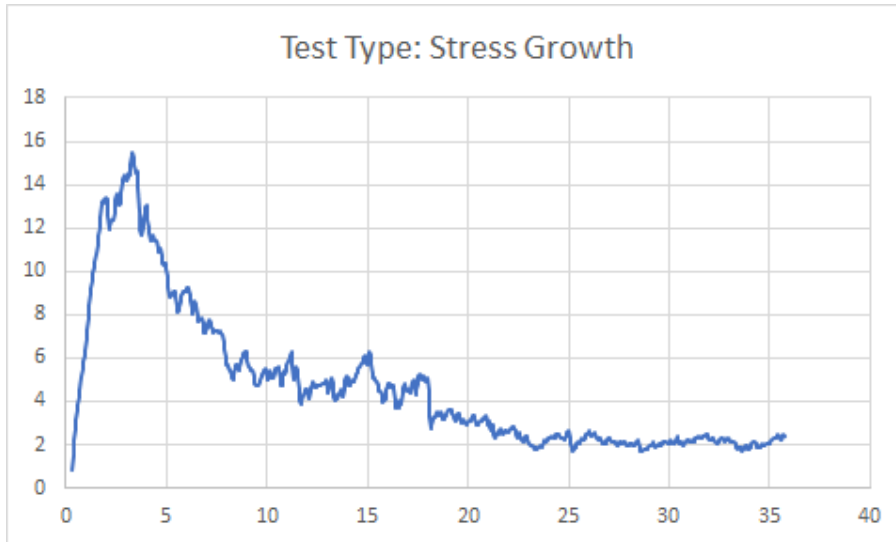
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



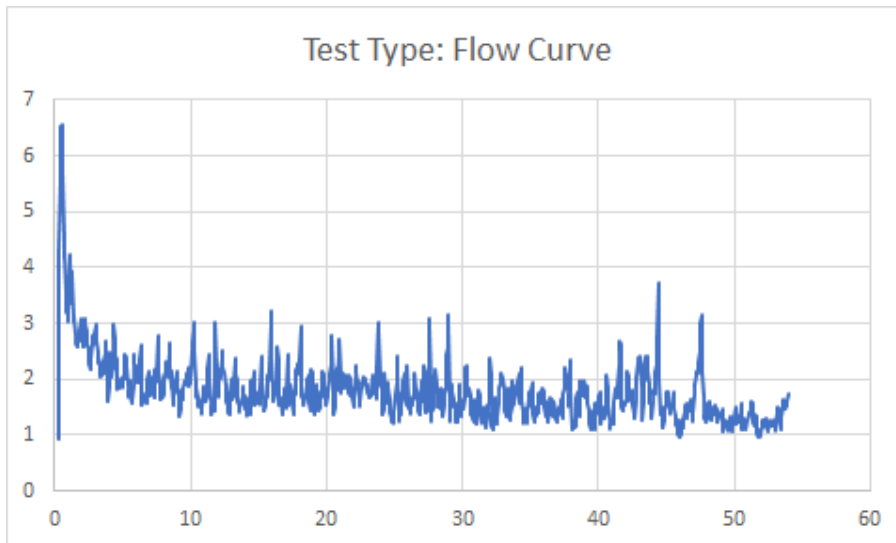
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 30 minutt, urørt

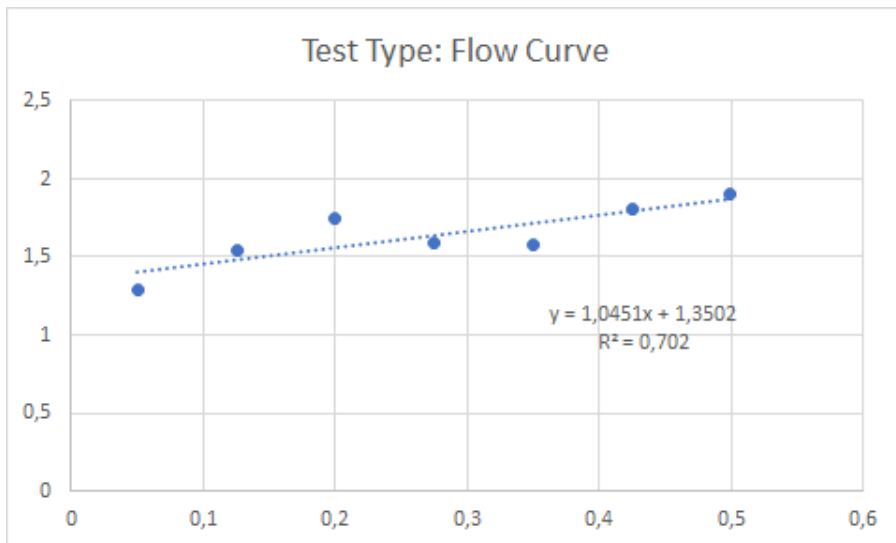
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



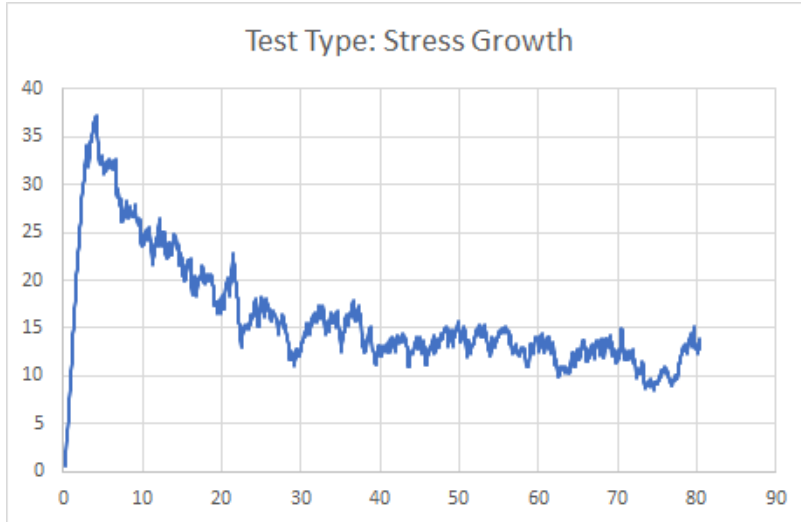
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



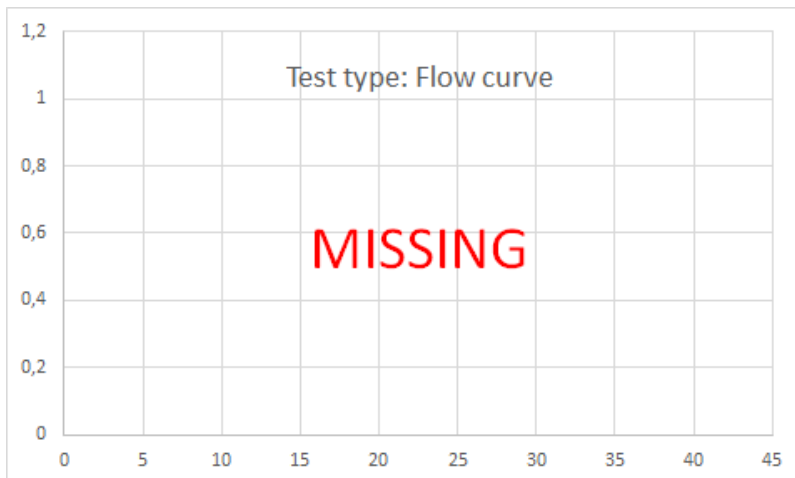
9.2.3 - 300 matriksvolum, 10 % SF

V/C-tall 0,35, 0 minutt, urørt

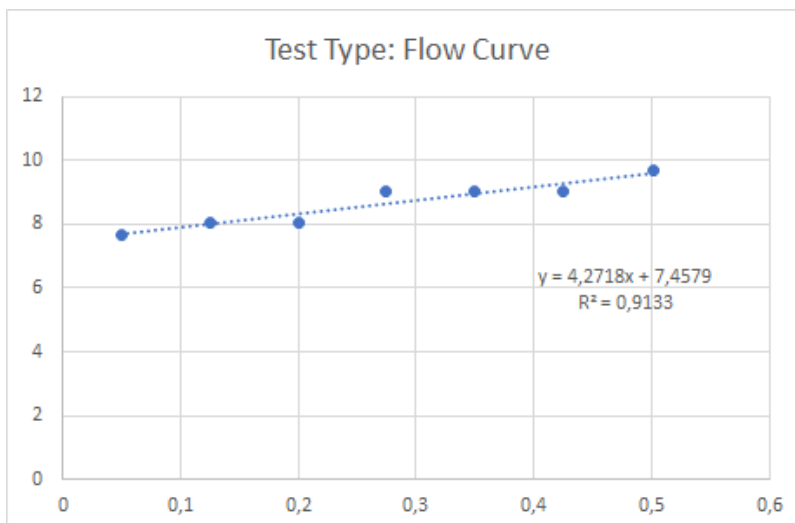
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

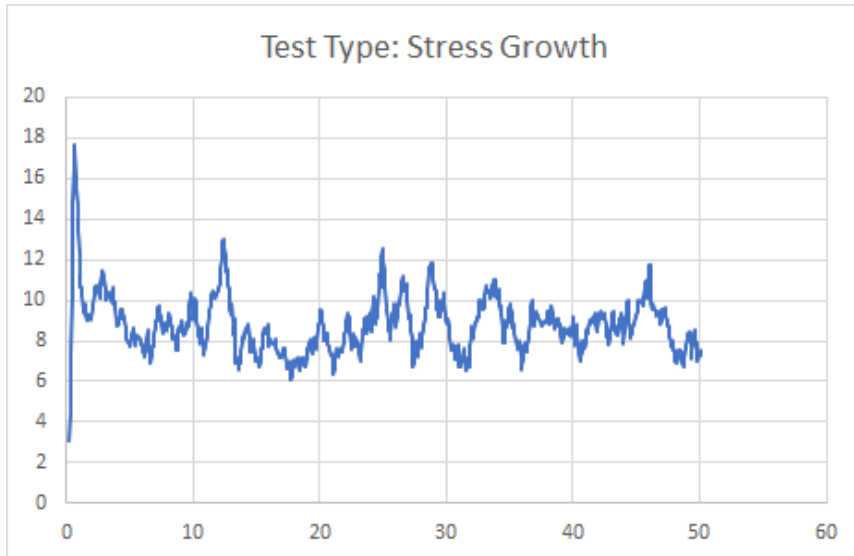


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

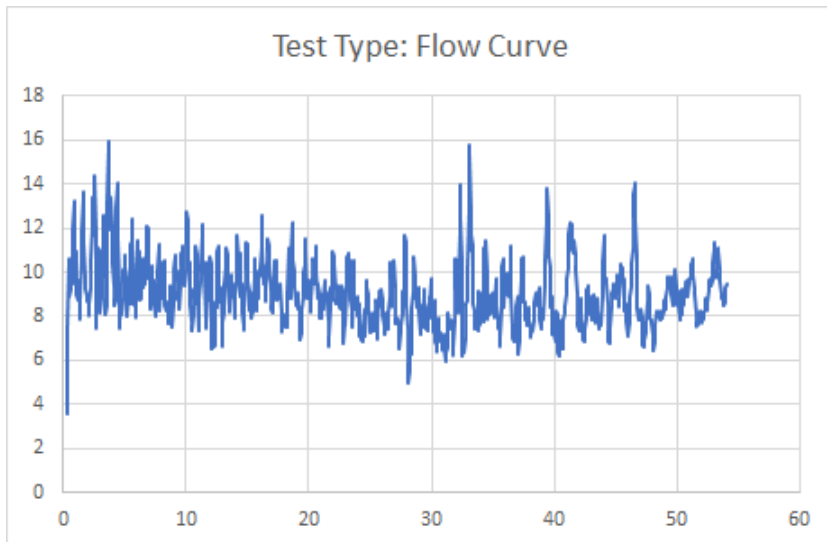


V/C-tall 0,35, 10 minutt, rørt

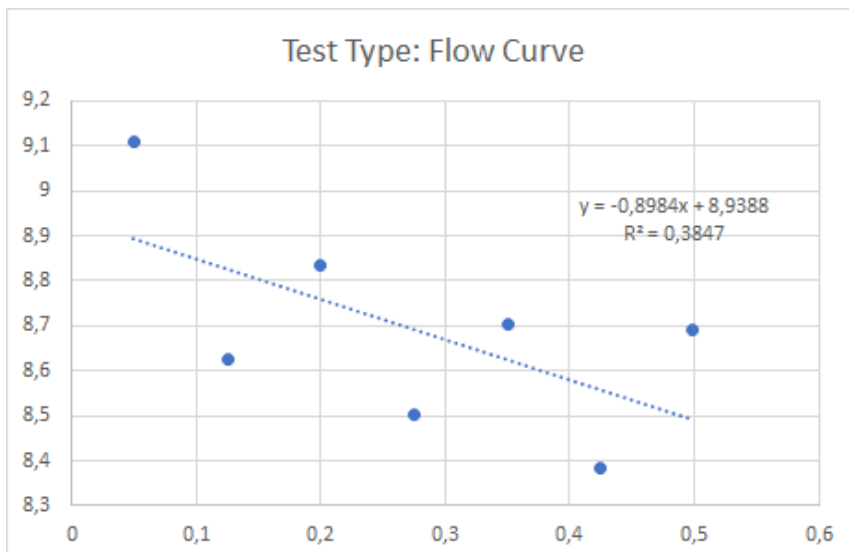
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



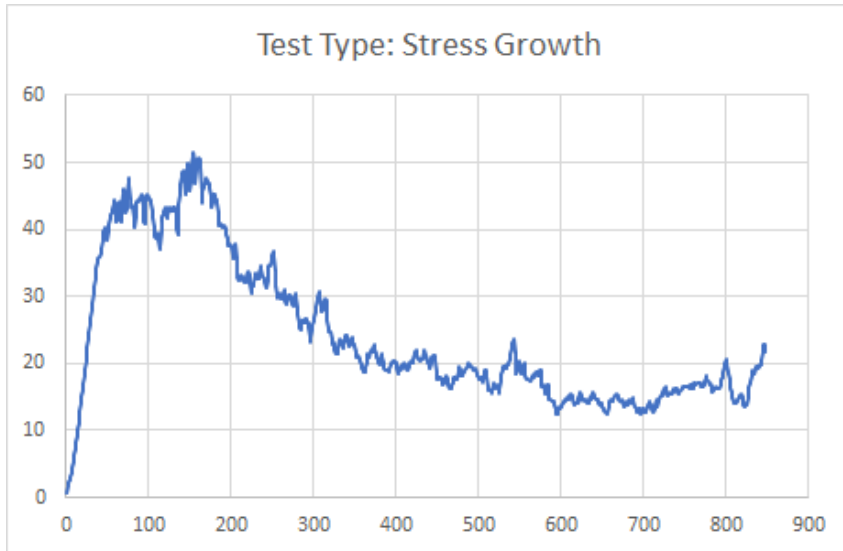
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



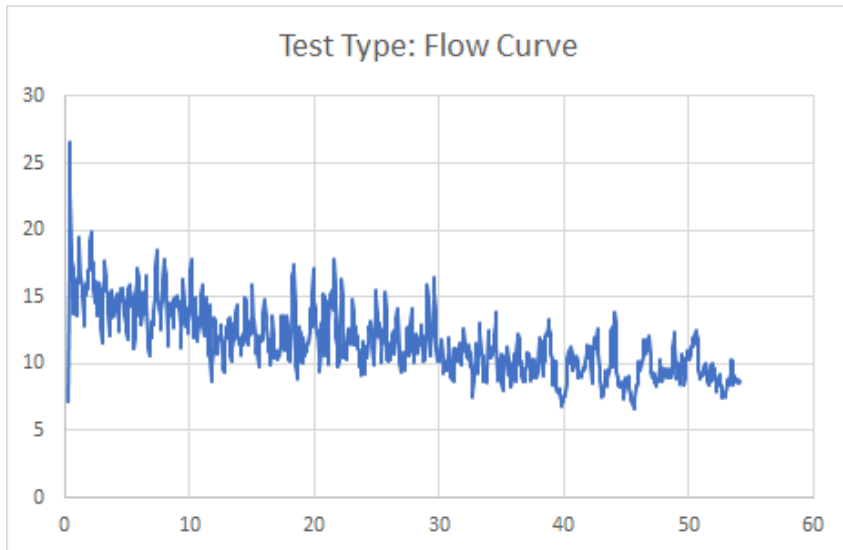
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,35, 10 minutt, urørt

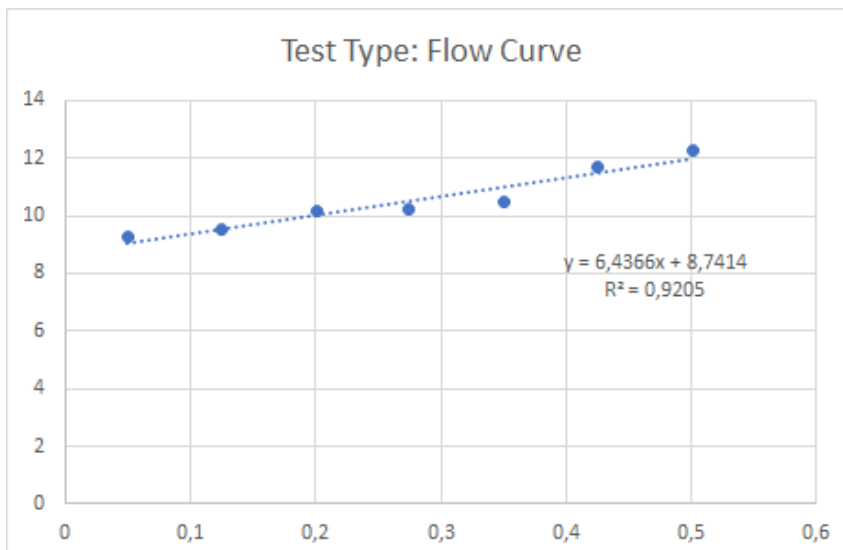
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



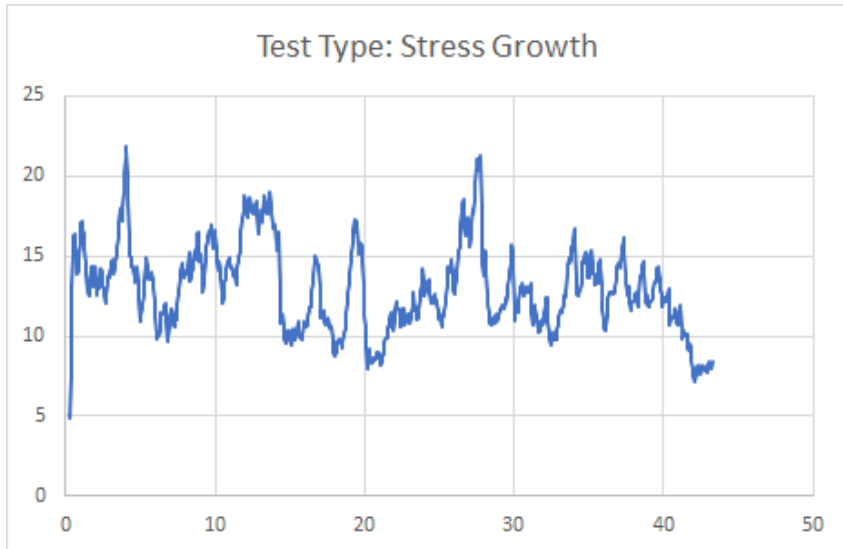
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



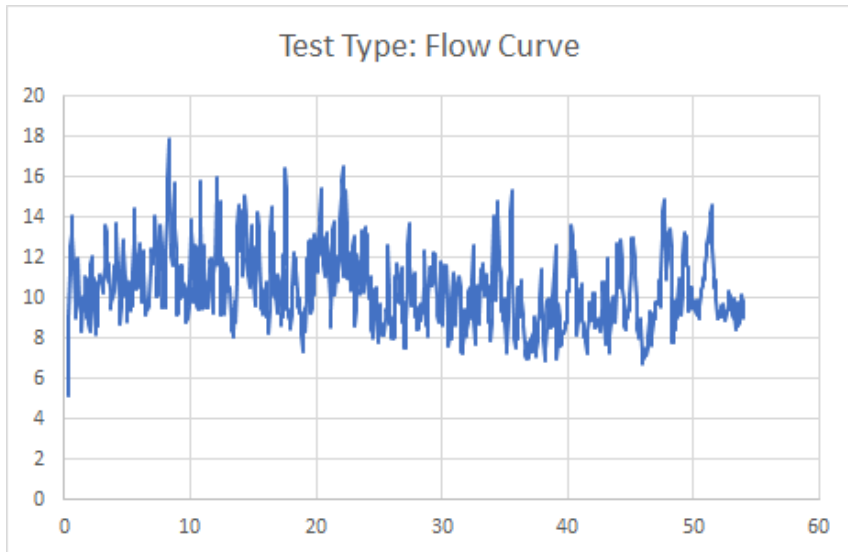
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,35, 30 minutt, rørt

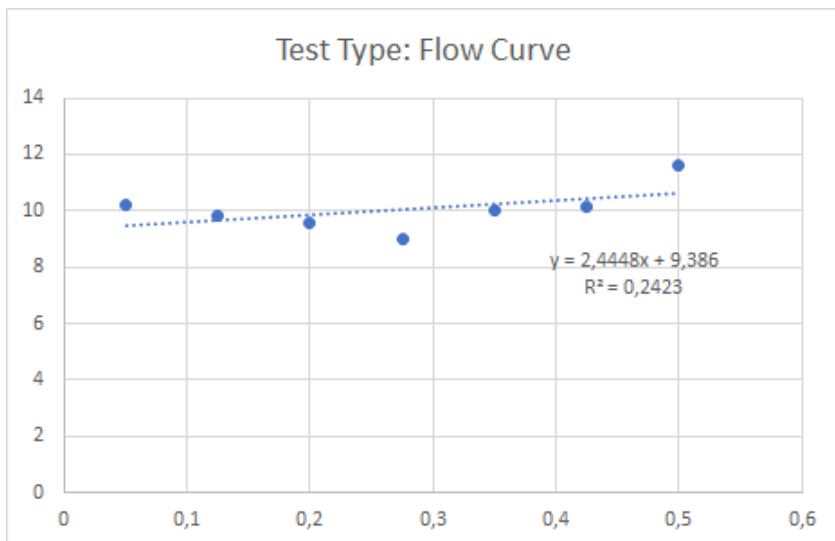
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



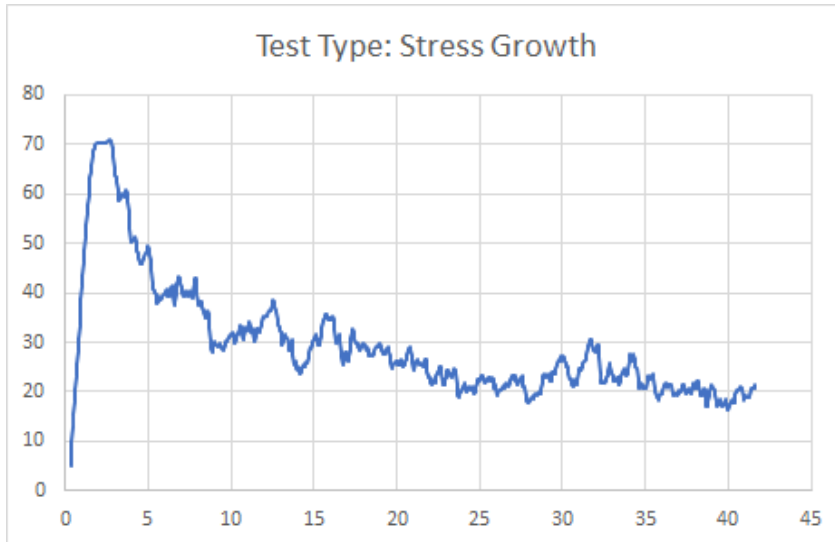
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



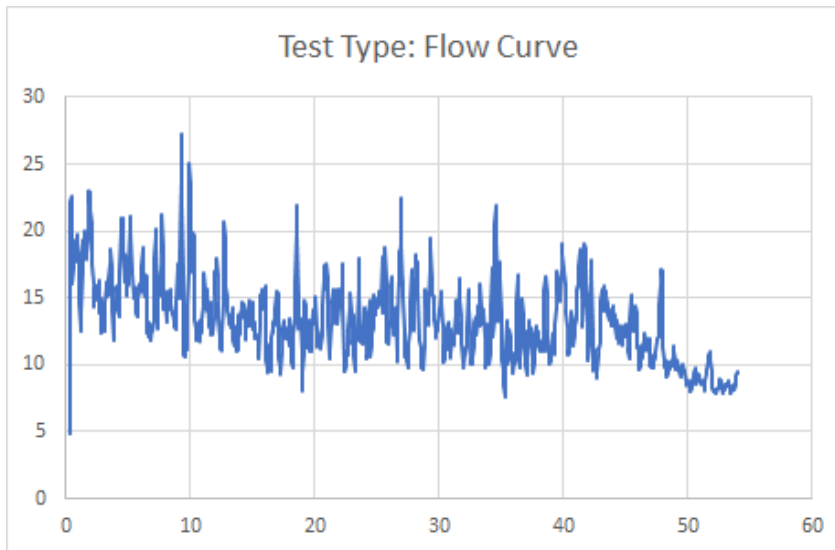
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,35, 30 minutt, urørt

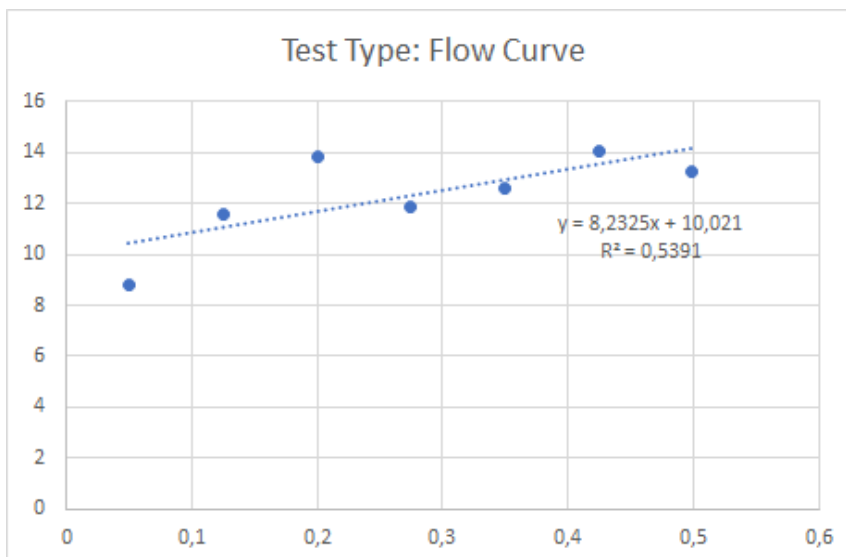
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



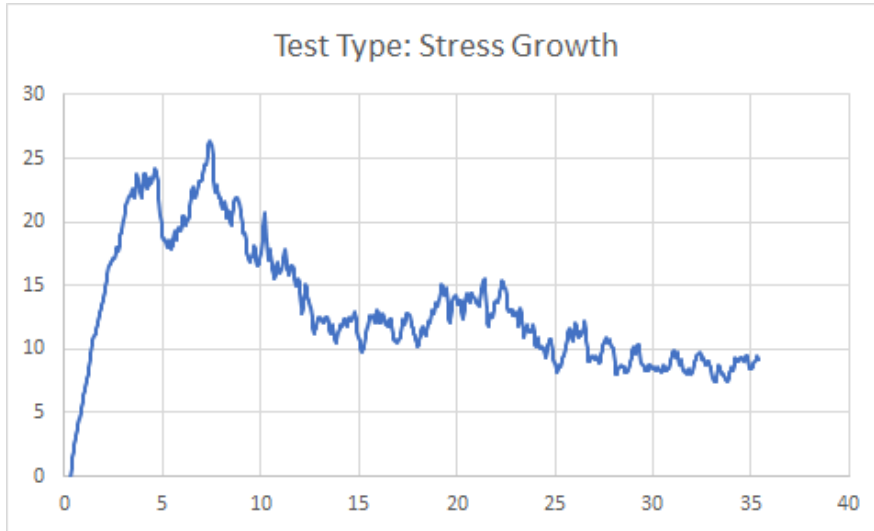
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



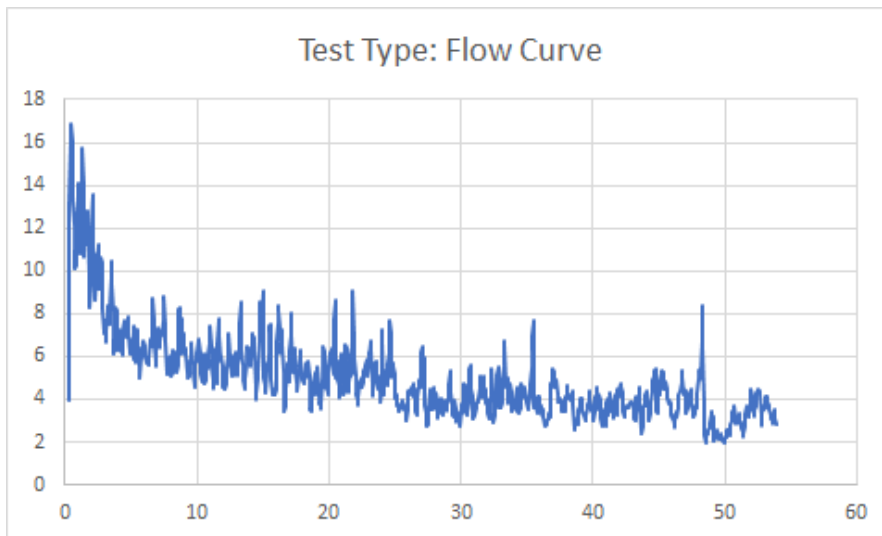
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 0 minutt, urørt

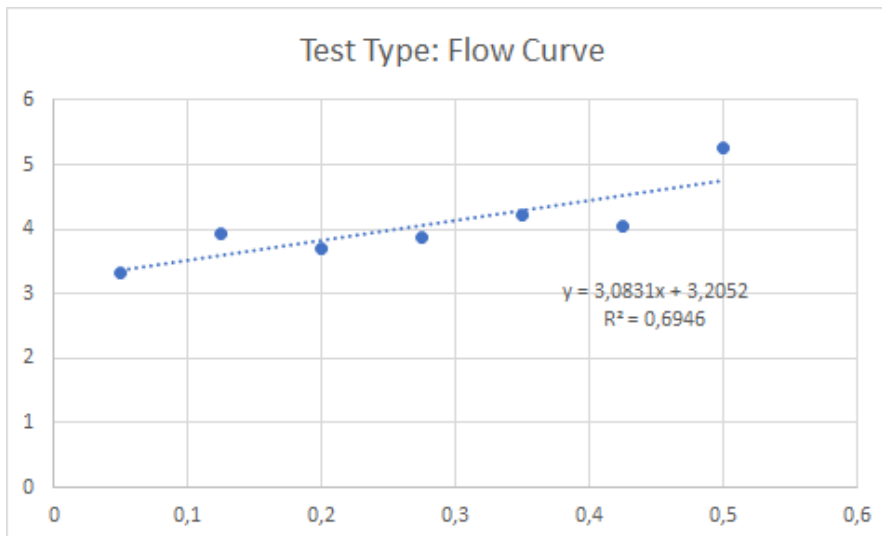
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



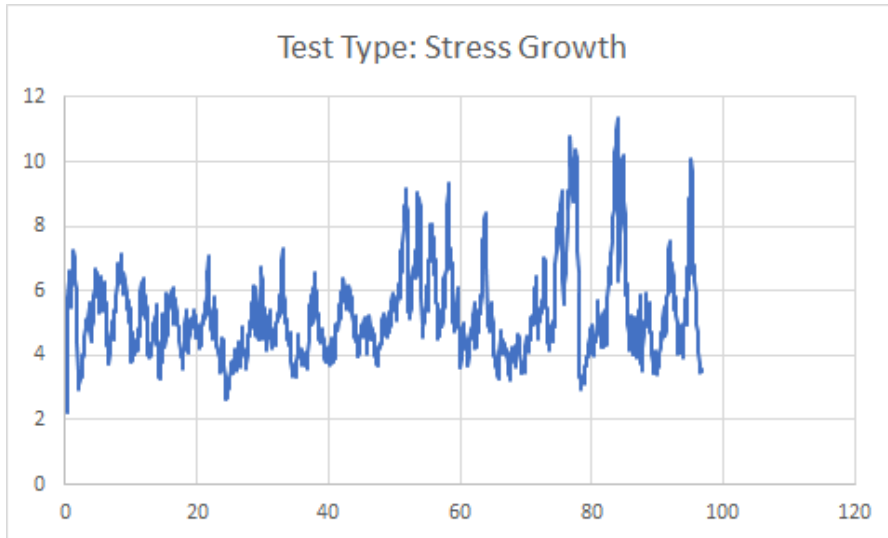
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



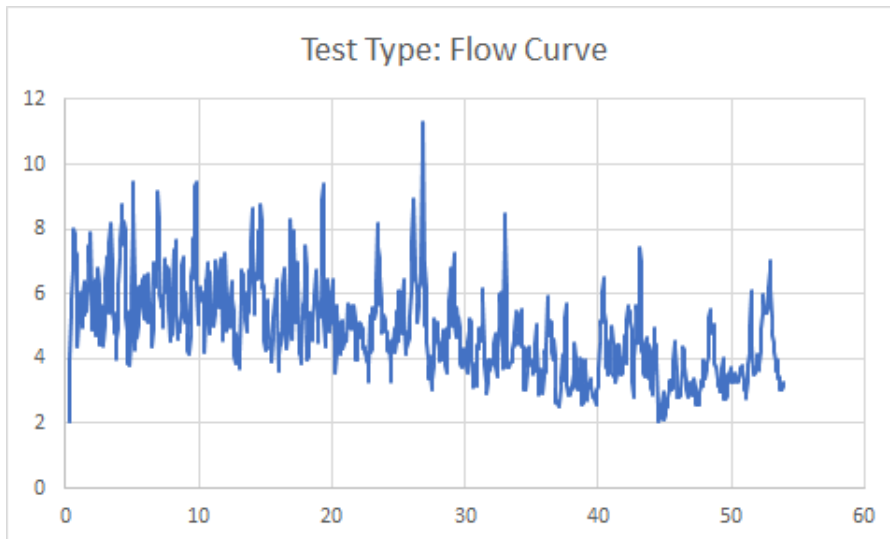
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 10 minutt, rørt

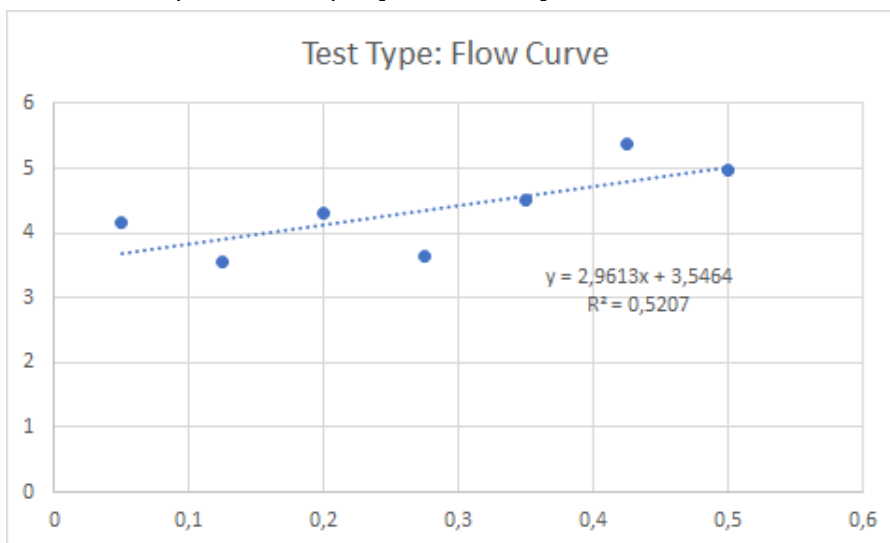
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



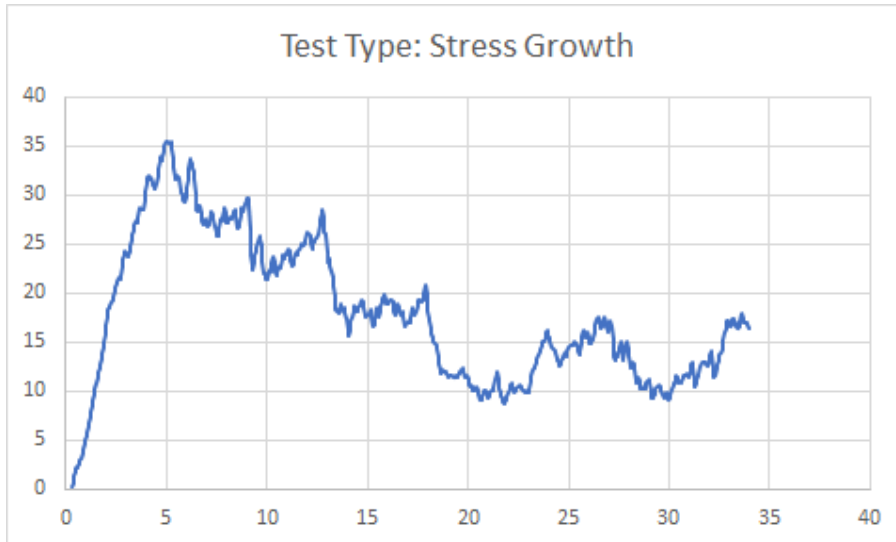
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



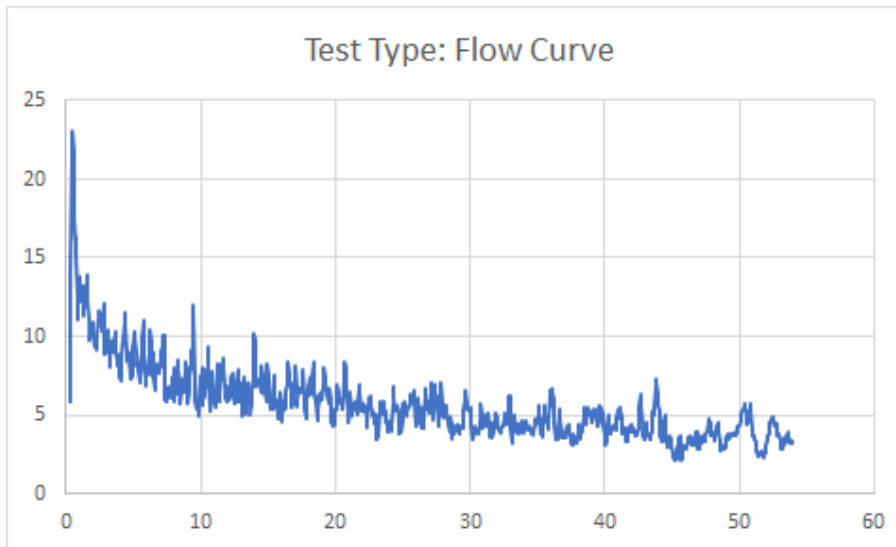
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 10 minutt, urørt

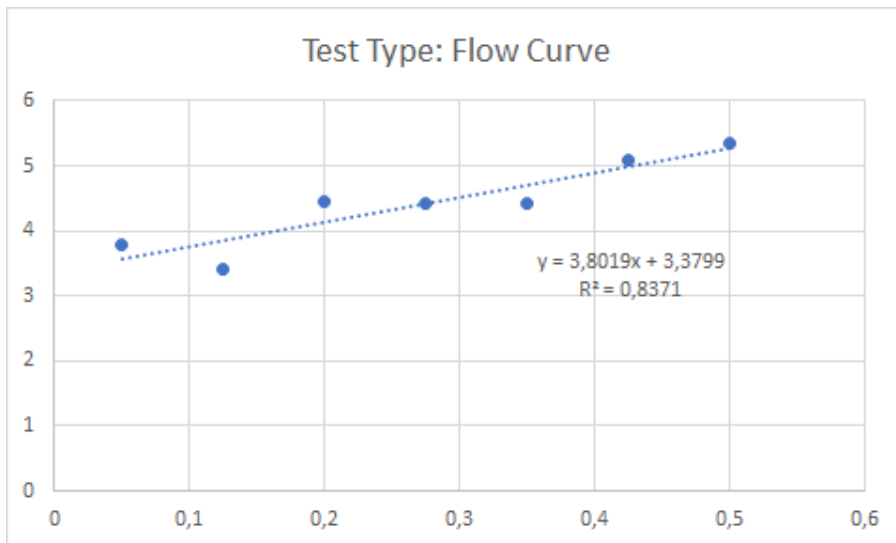
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



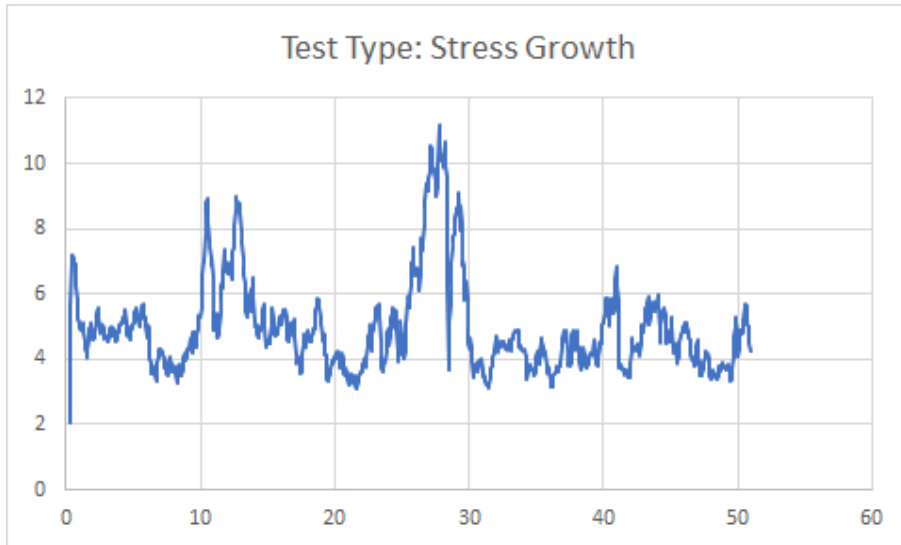
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



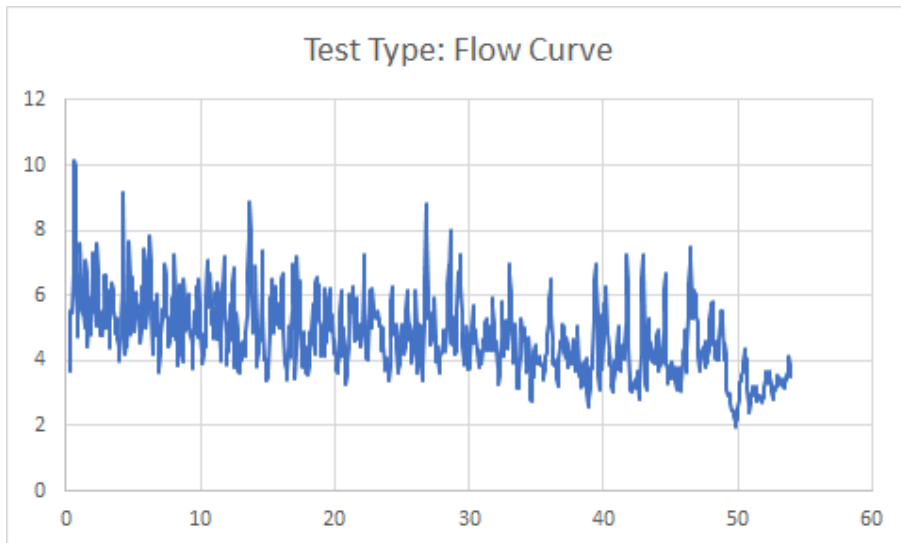
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 30 minutt, rørt

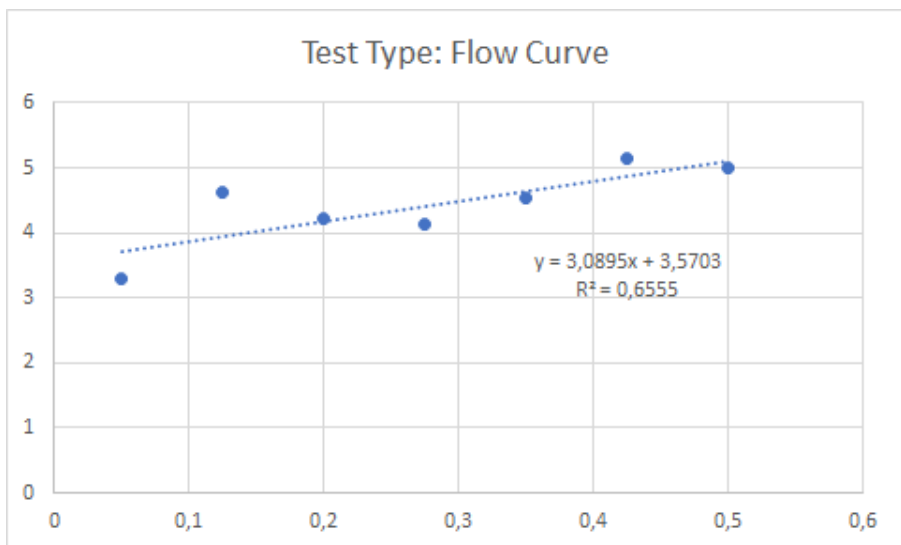
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



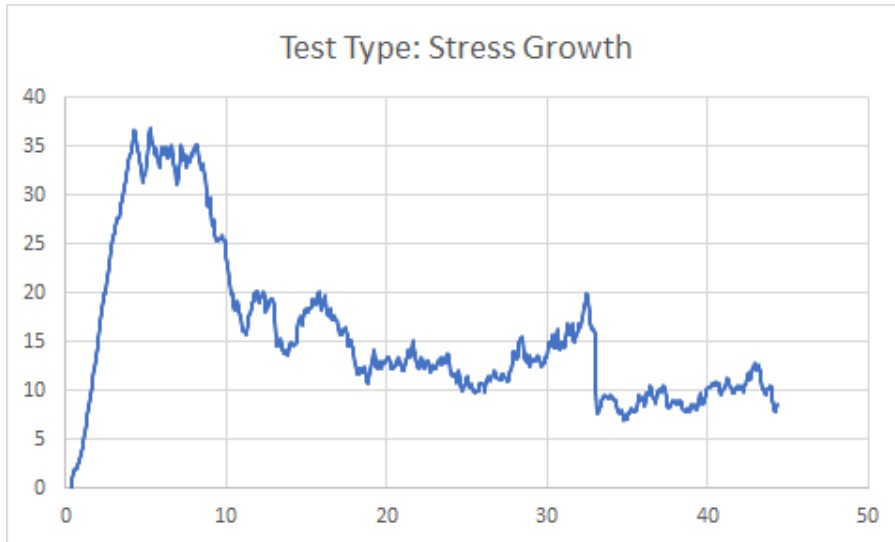
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



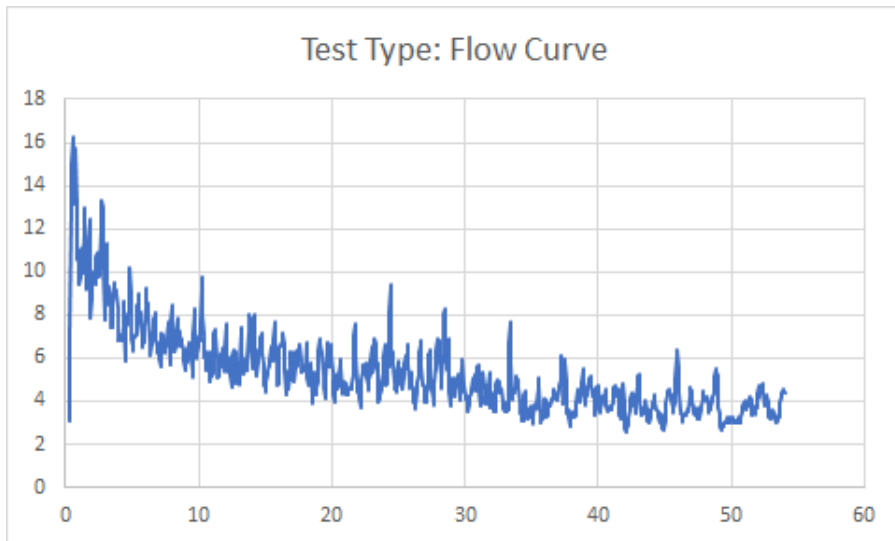
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 30 minutt, urørt

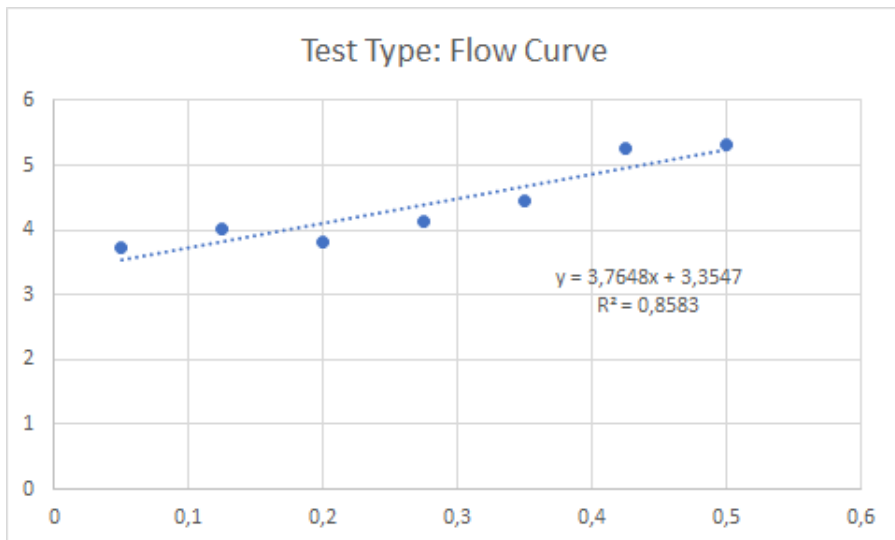
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



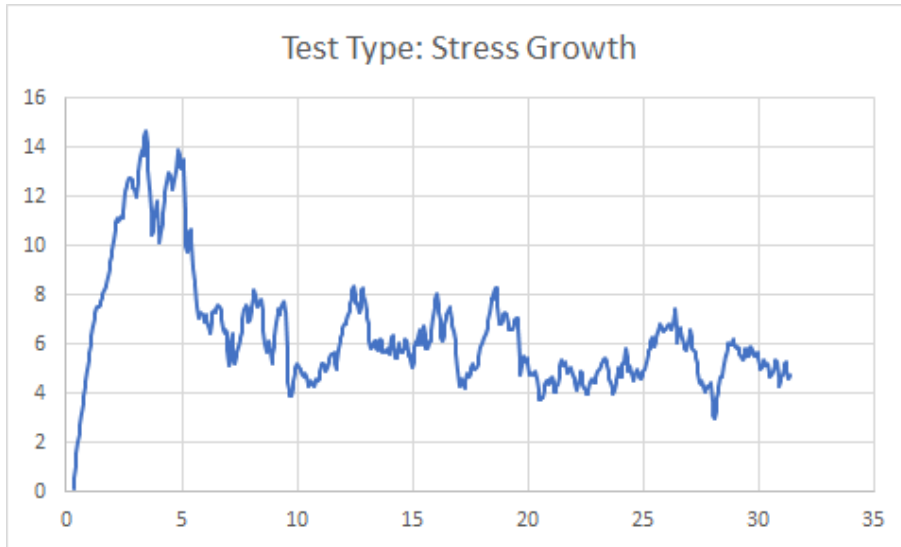
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



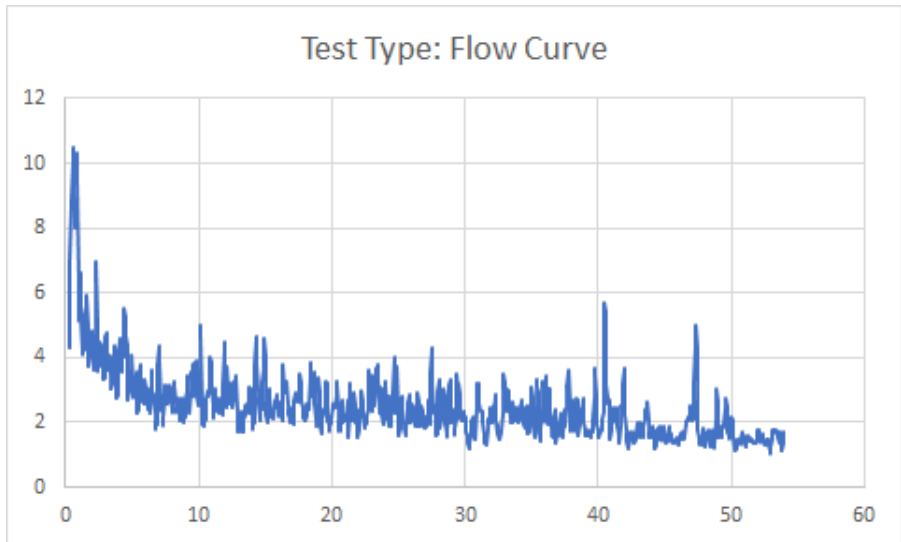
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 0 minutt, urørt

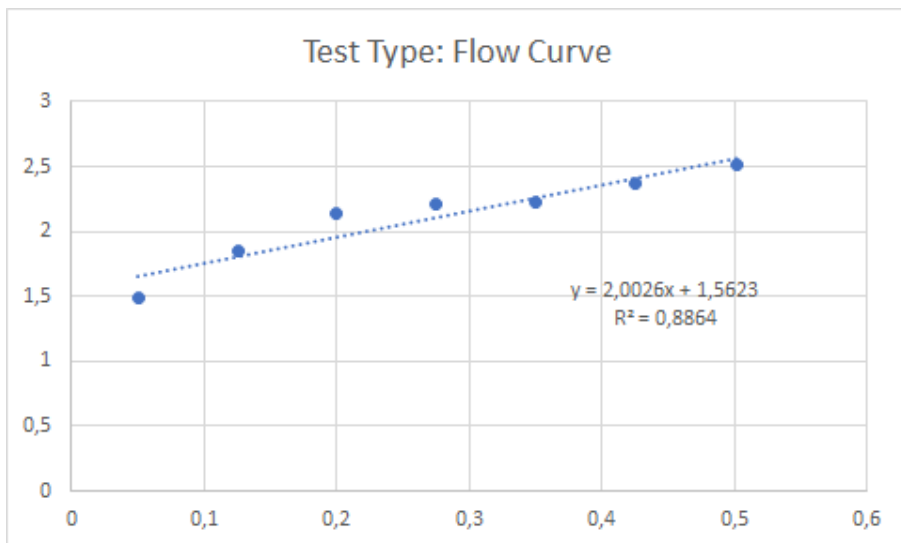
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



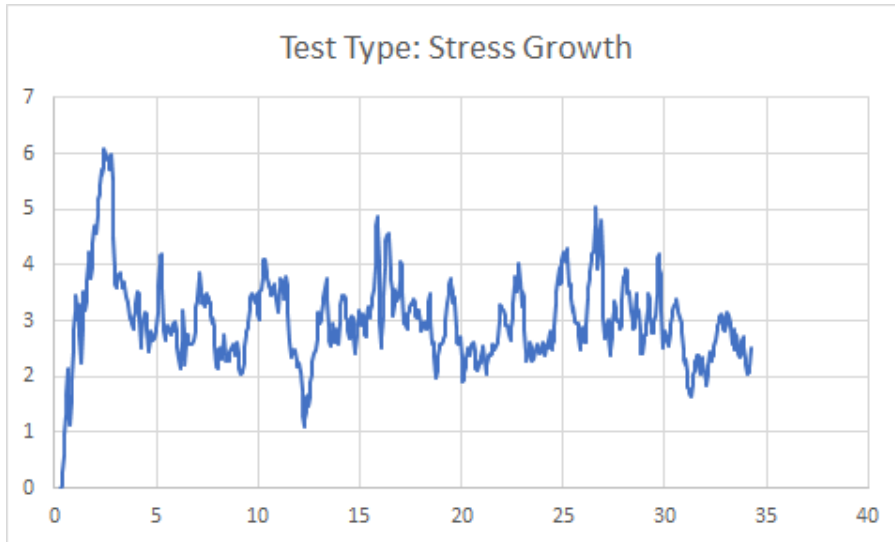
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



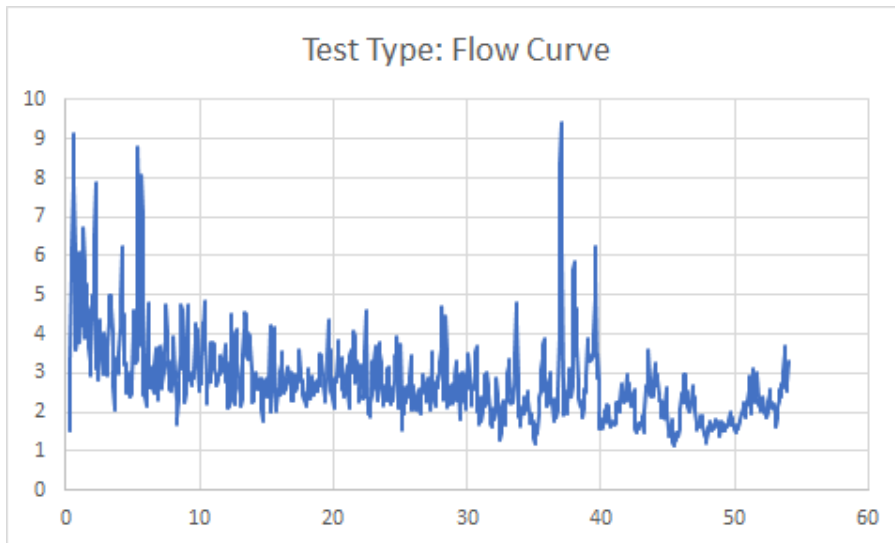
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 10 minutt, rørt

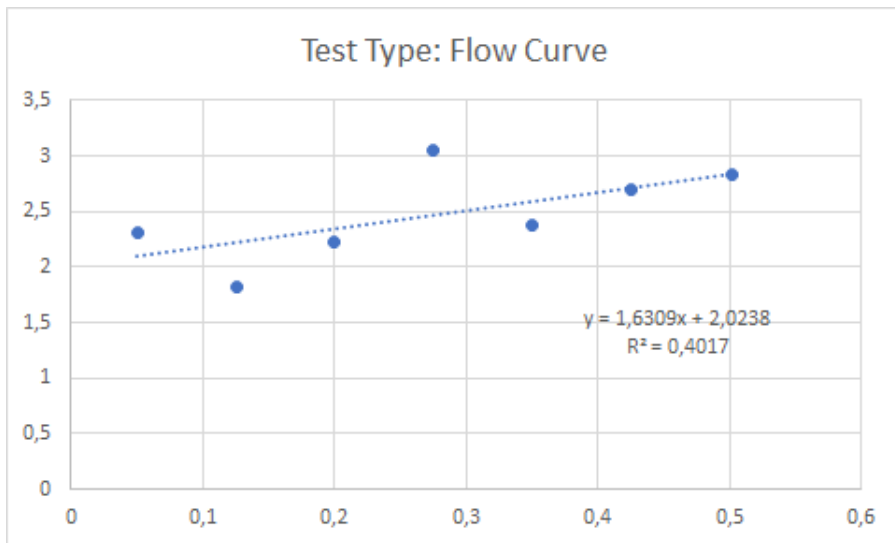
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



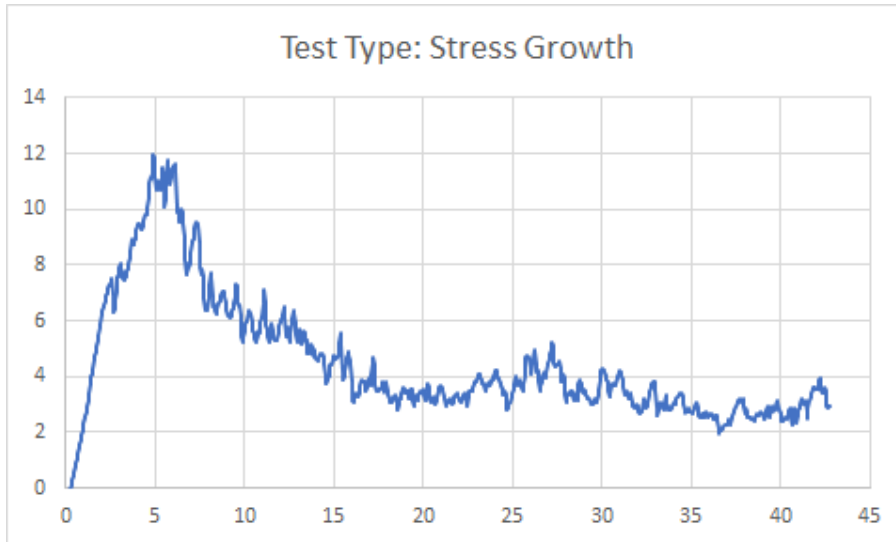
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



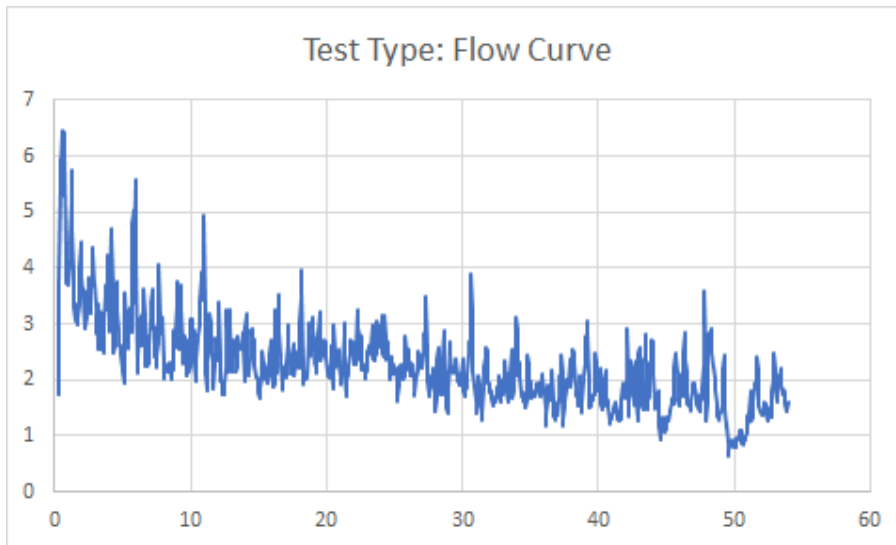
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 10 minutt, urørt

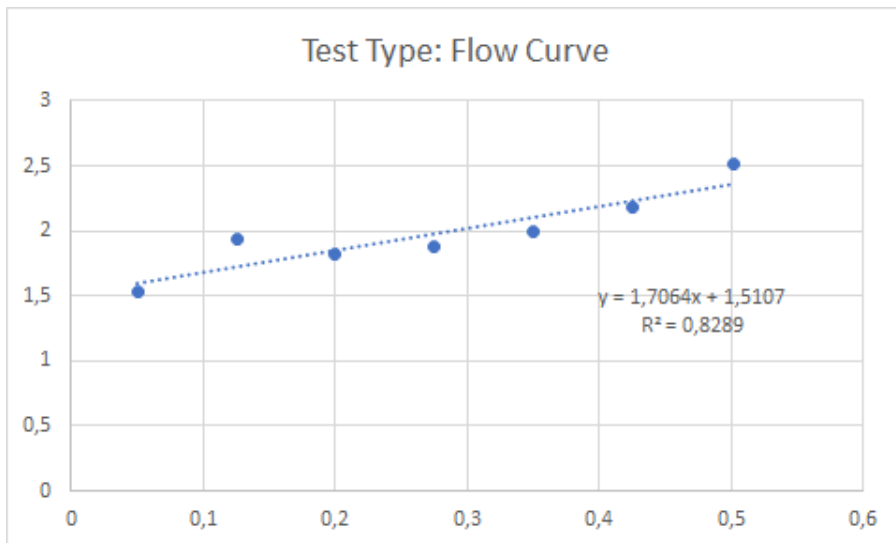
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



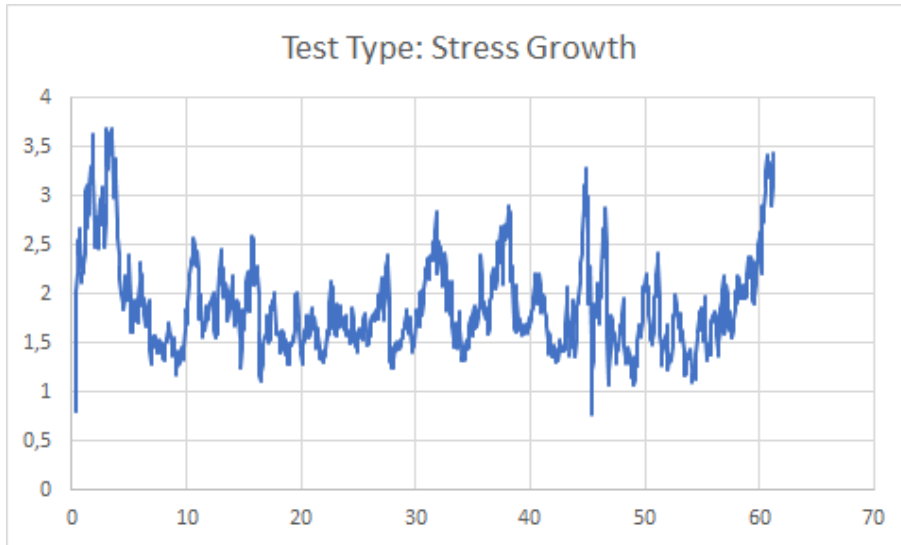
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



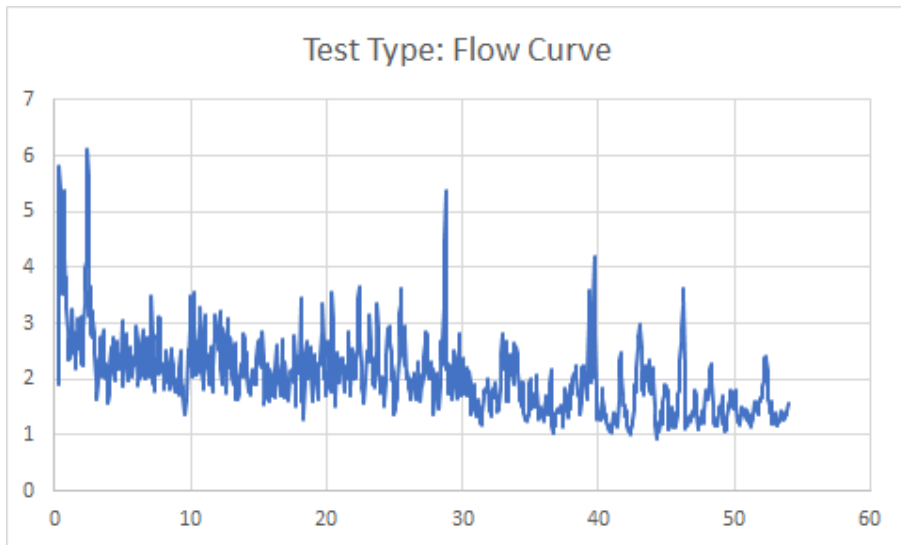
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 30 minutt, rørt

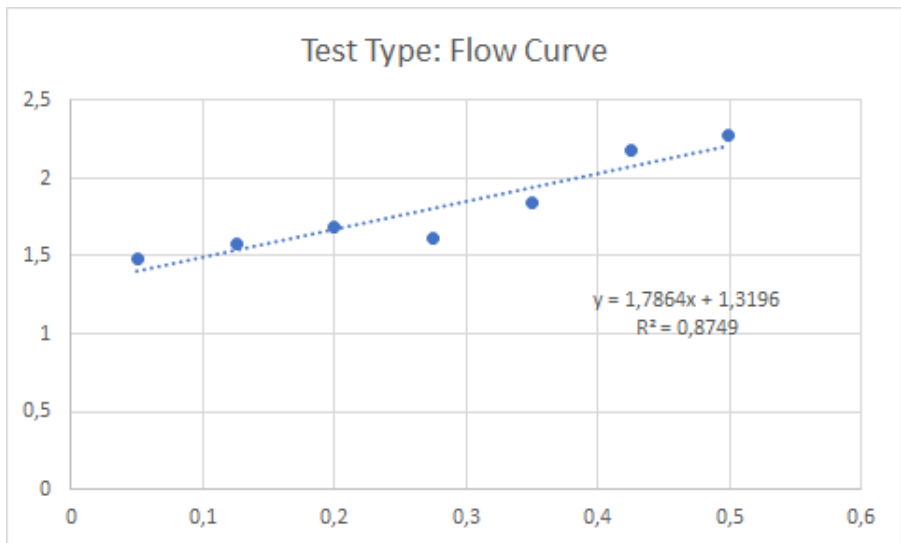
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



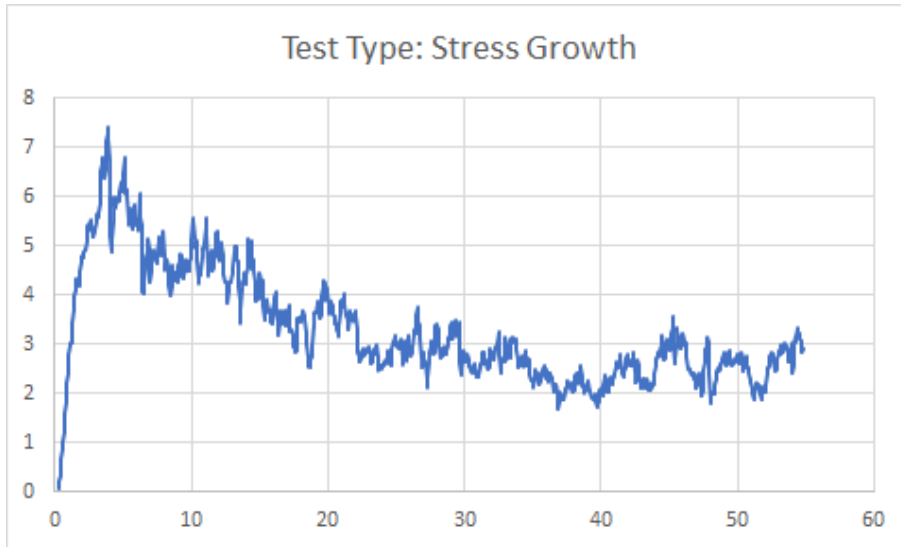
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



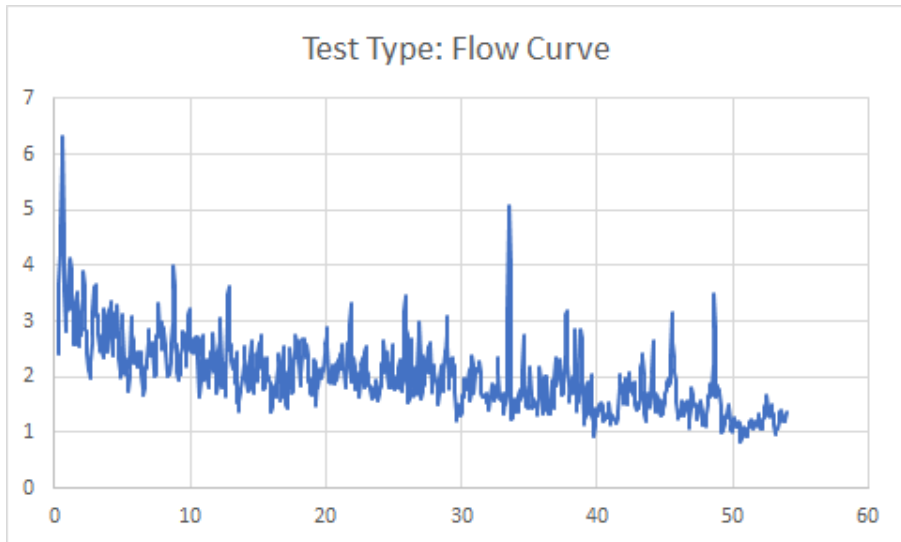
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 30 minutt, urørt

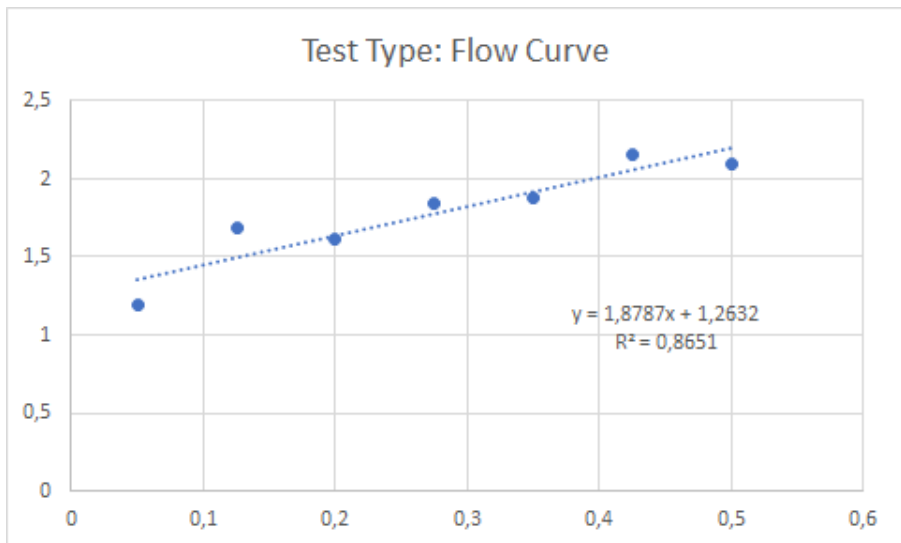
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



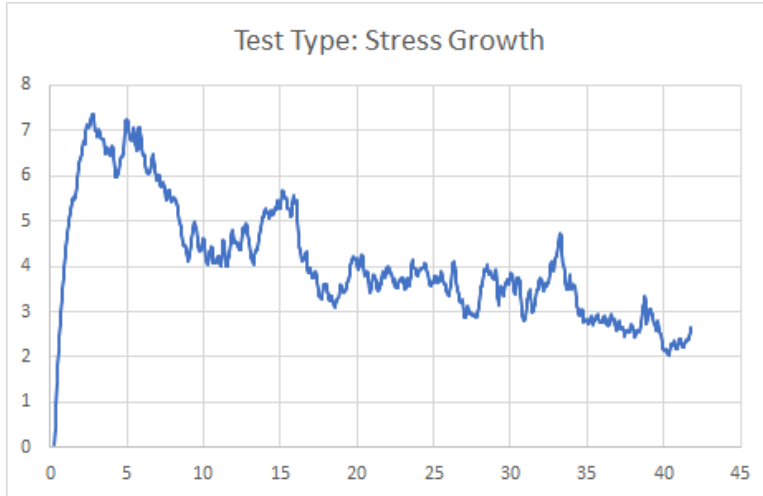
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



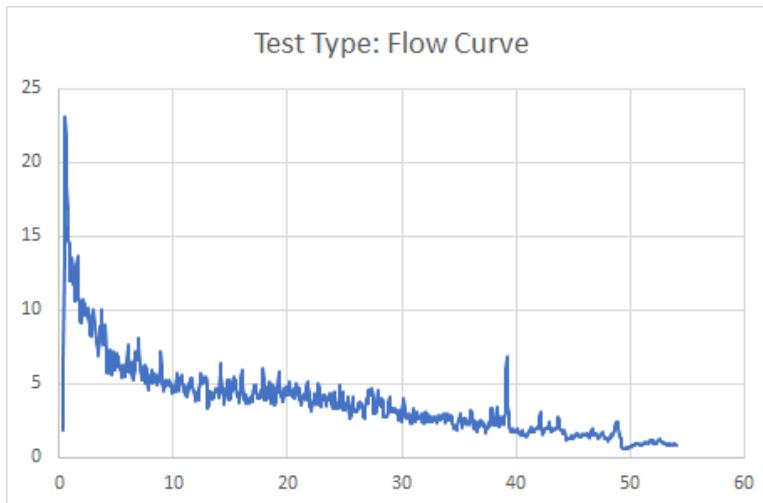
9.2.4 - 320 matriksvolum, 0 % SF

V/C-tall 0,35, 0 minutt, urørt

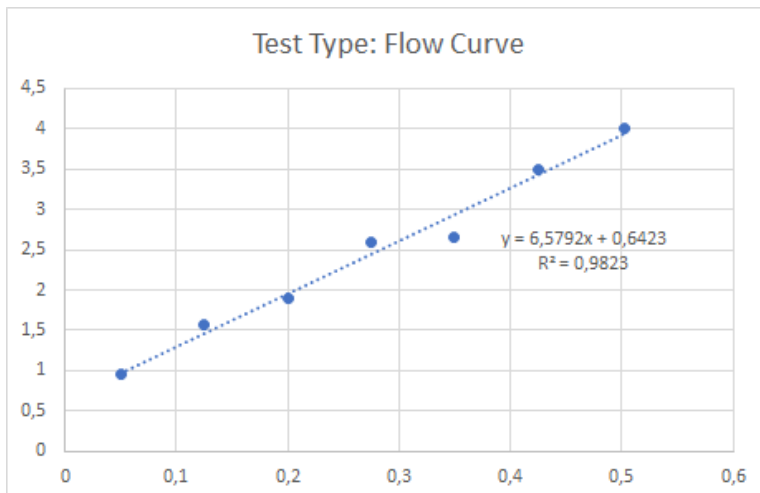
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

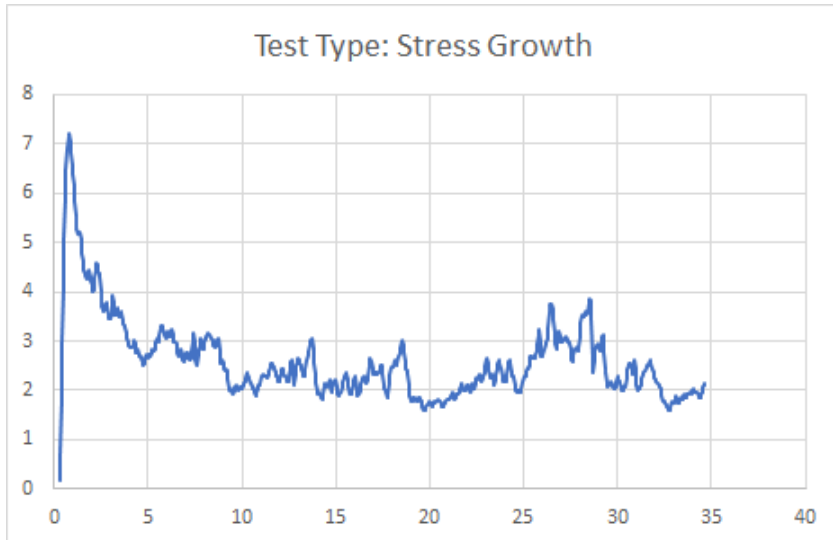


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

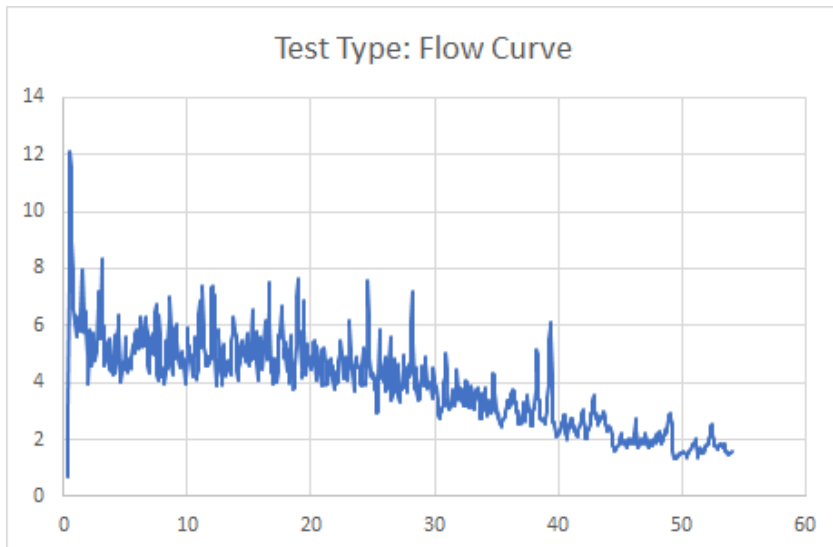


V/C-tall 0,35, 10 minutt, rørt

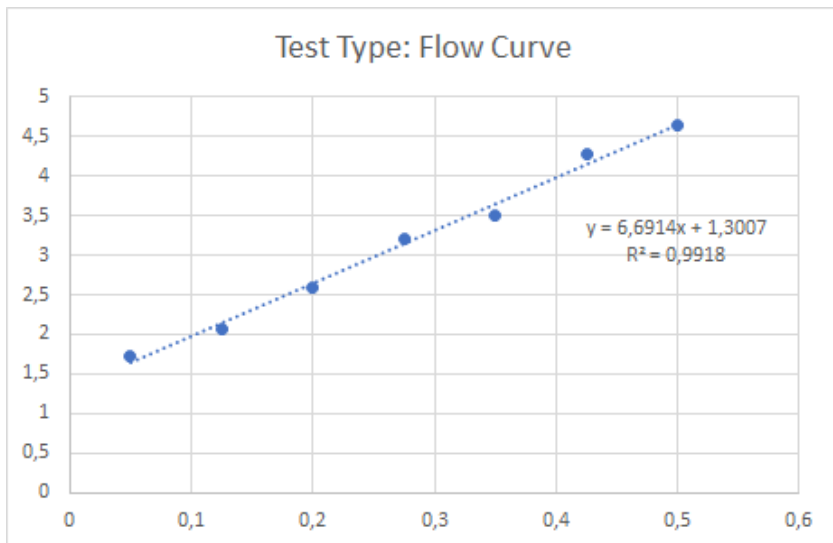
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

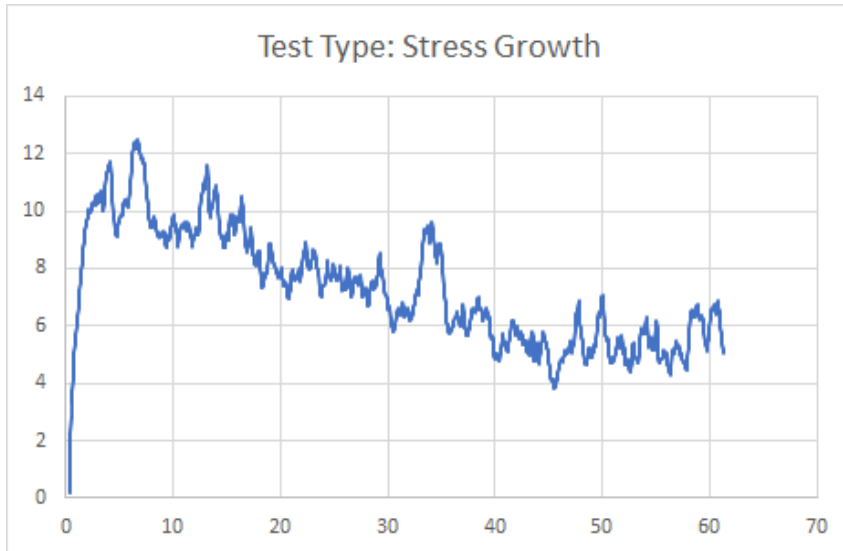


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

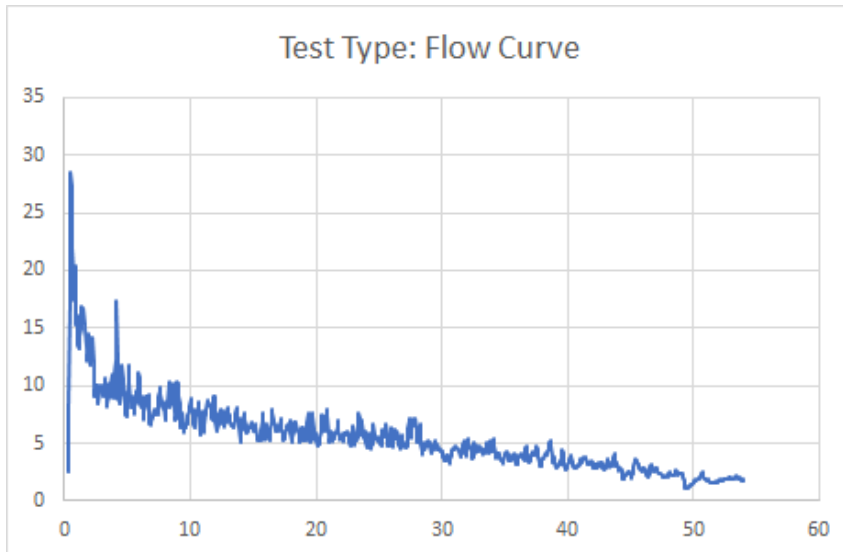


V/C-tall 0,35, 10 minutt, urørt

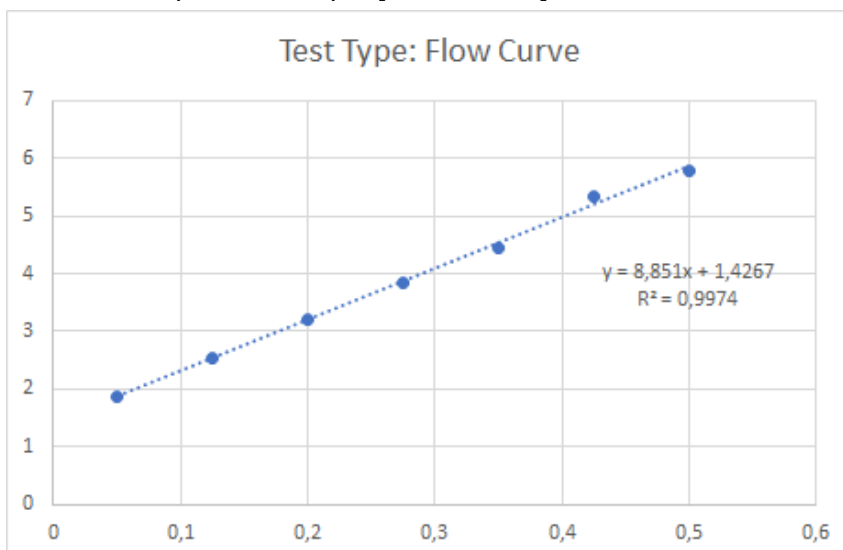
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

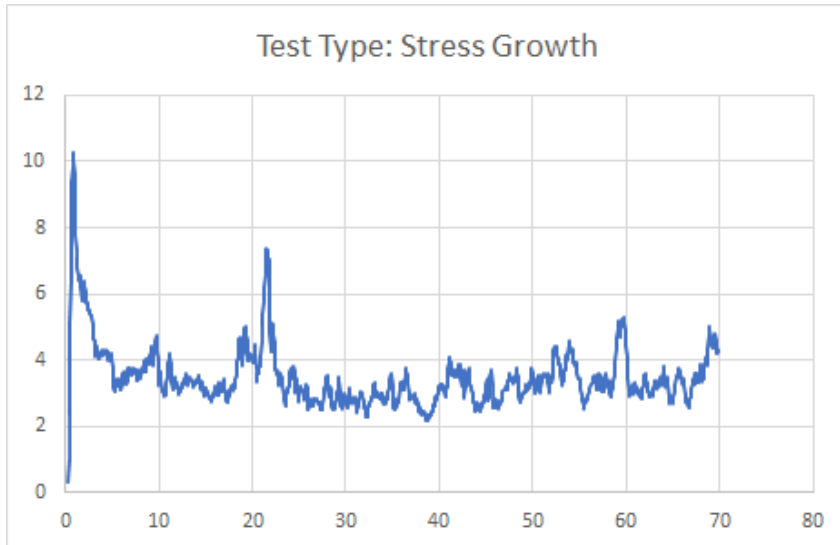


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

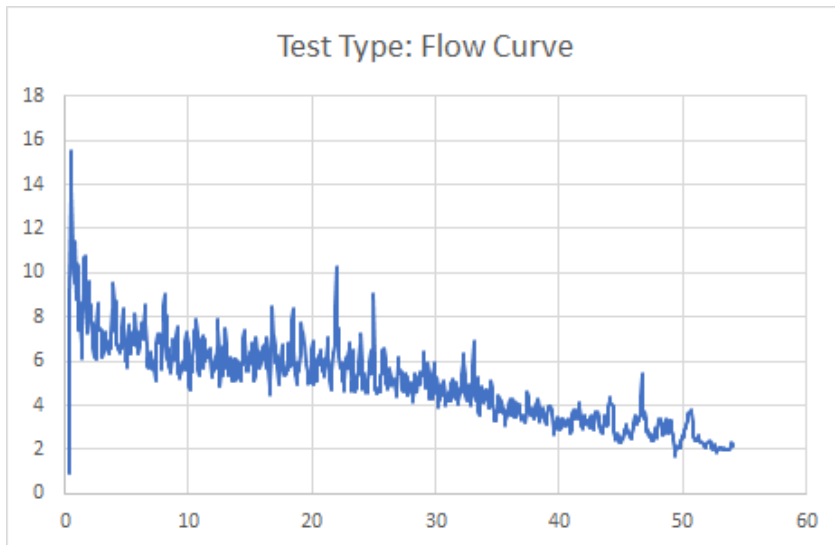


V/C-tall 0,35, 30 minutt, rørt

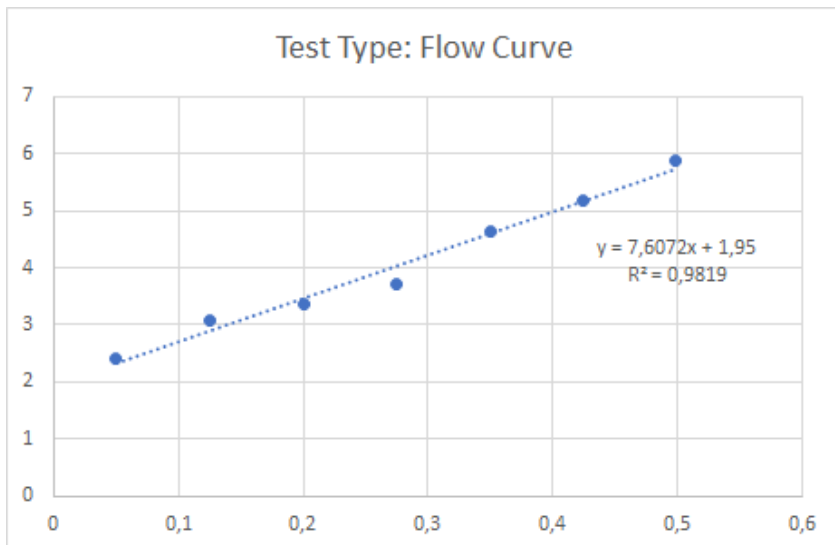
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

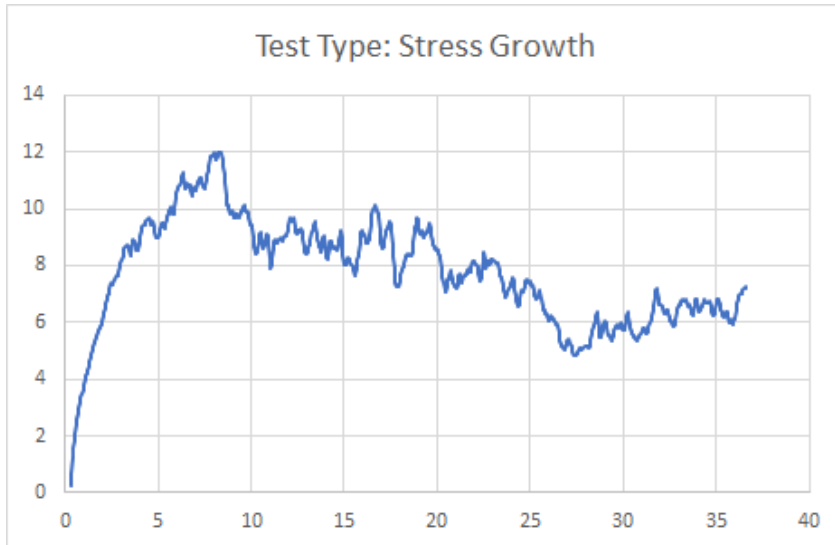


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

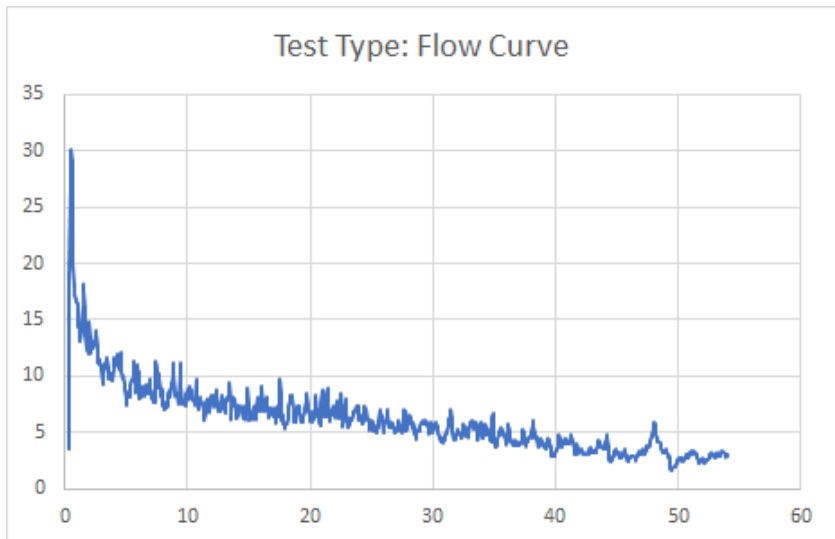


V/C-tall 0,35, 30 minutt, urørt

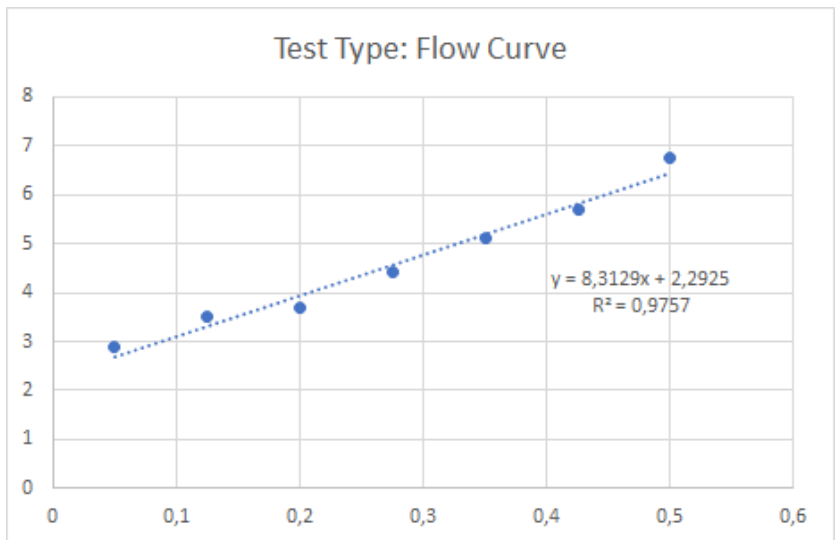
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



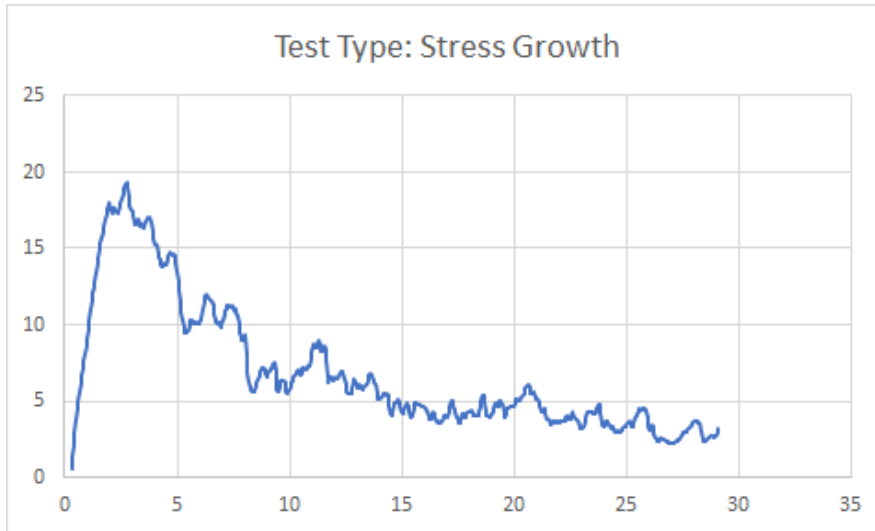
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



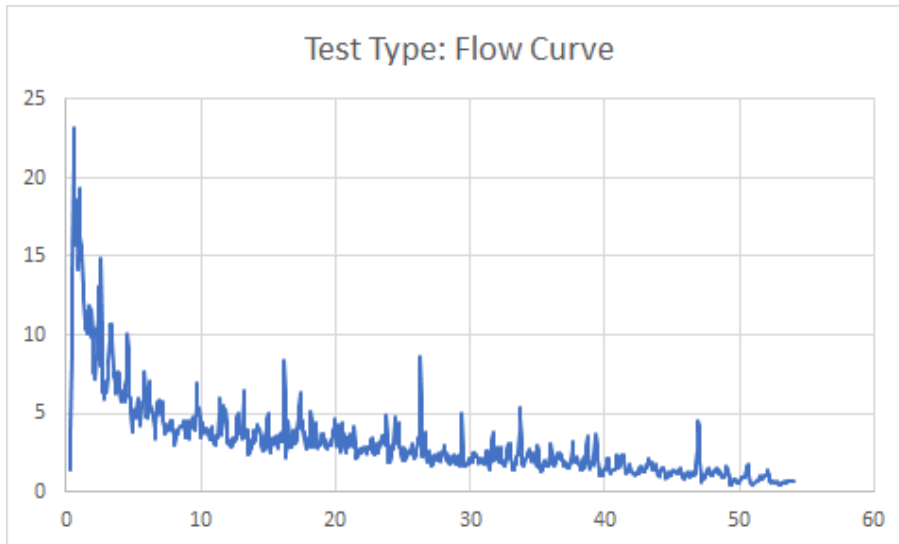
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 0 minutt, urørt

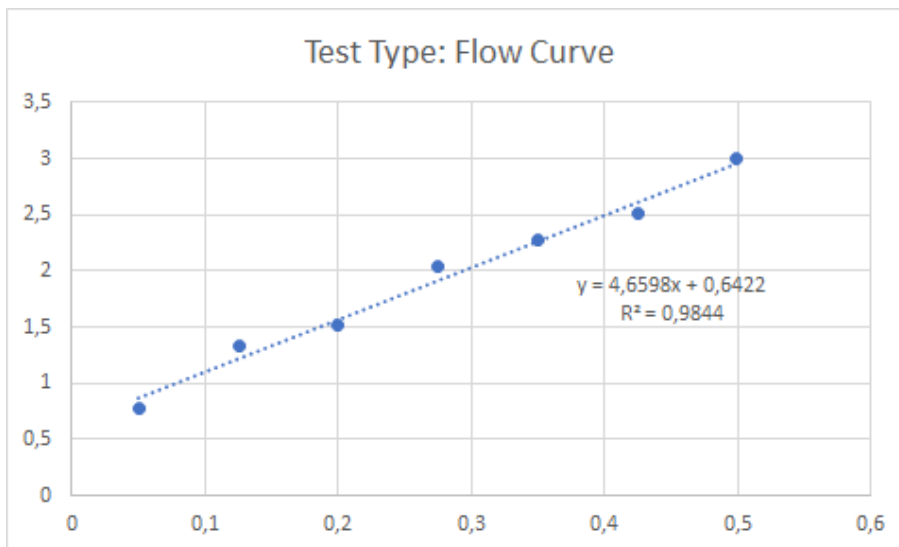
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



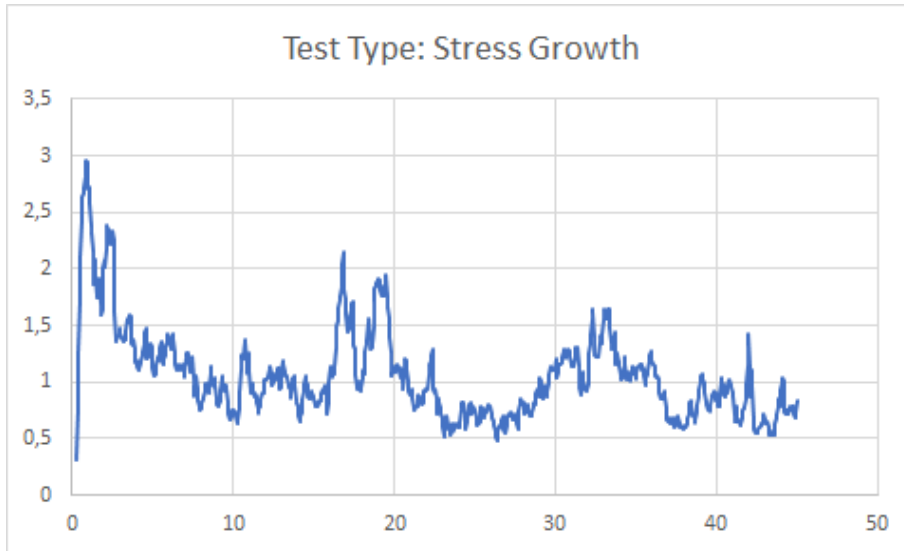
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



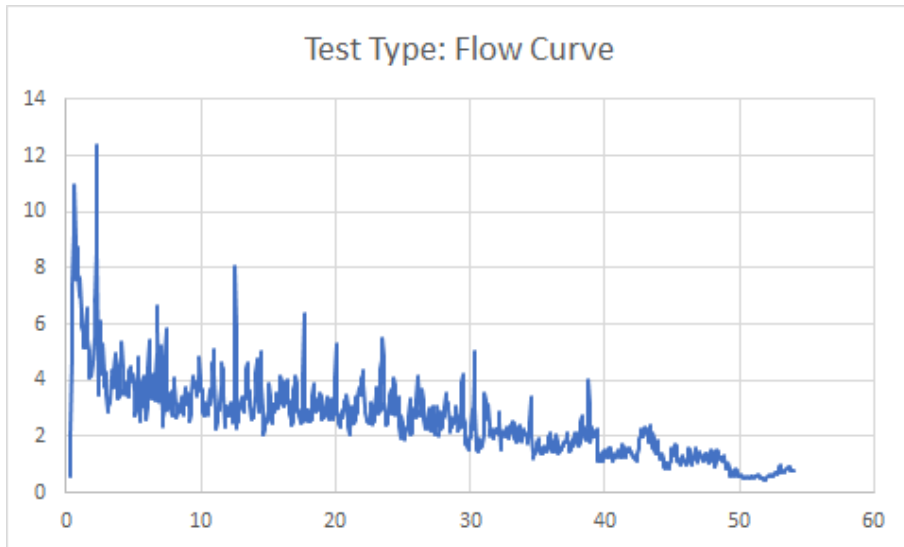
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 10 minutt, rørt

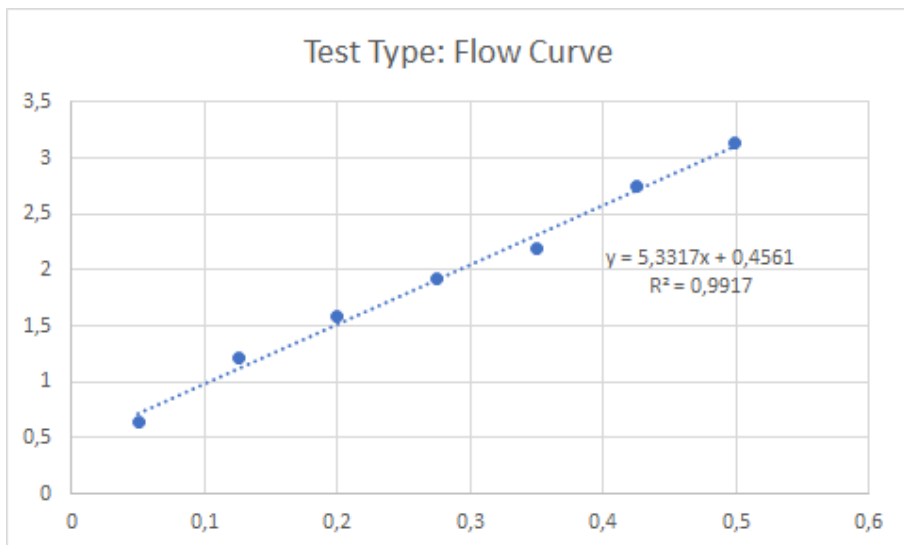
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



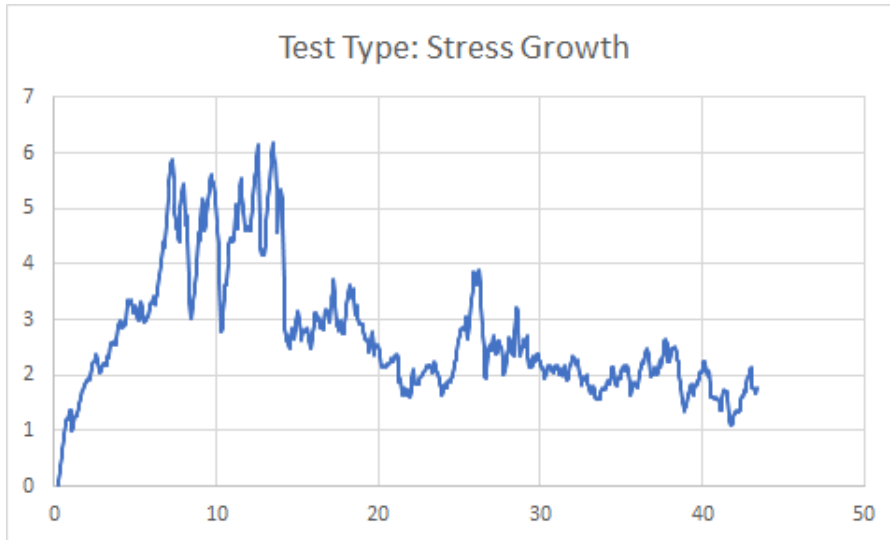
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



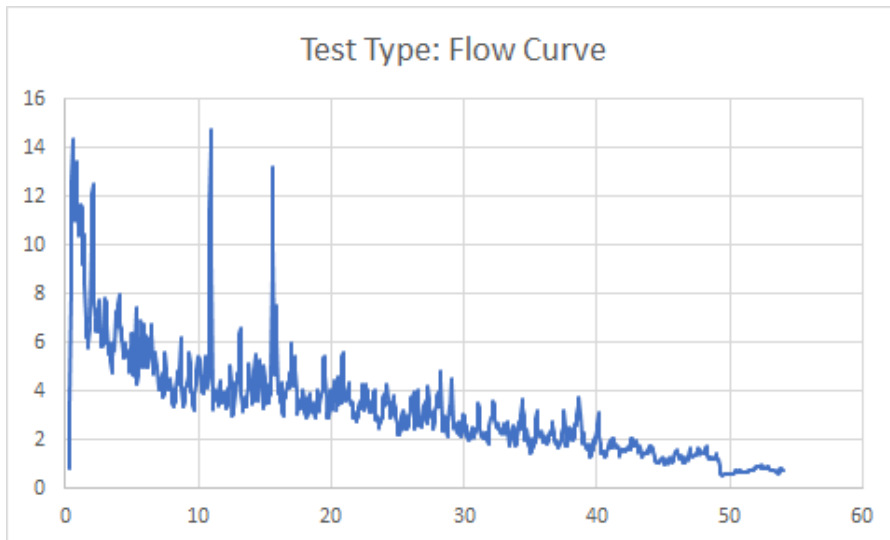
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 10 minutt, urørt

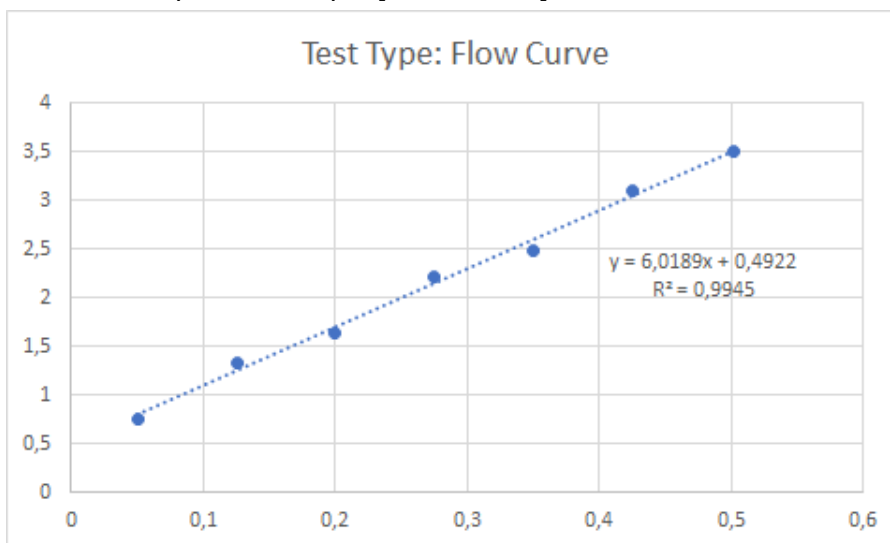
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



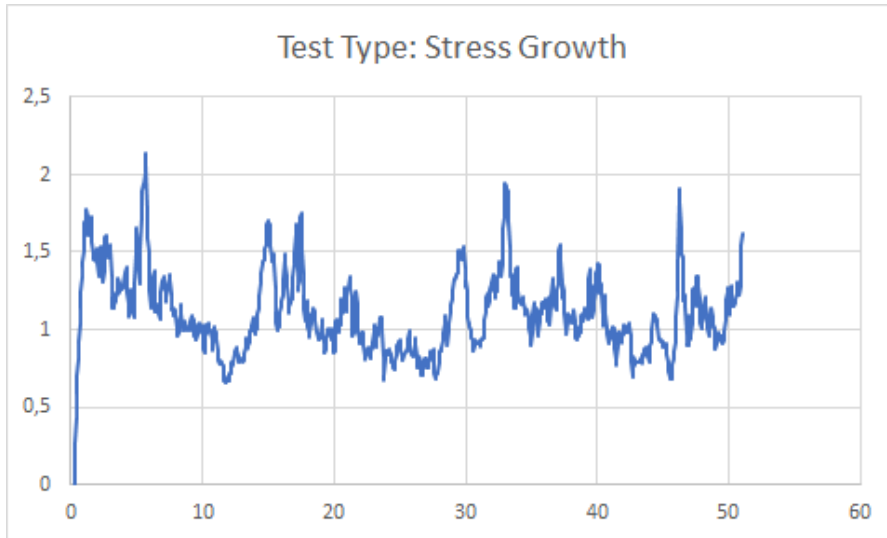
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



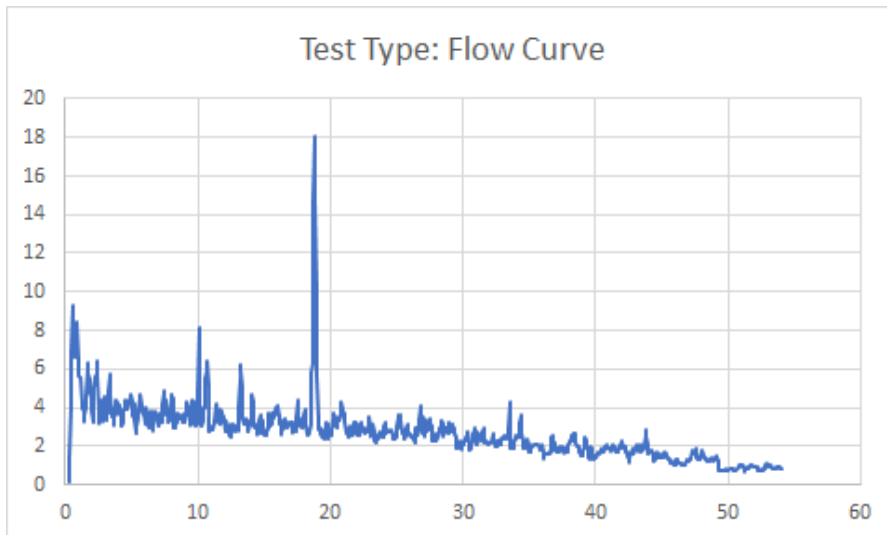
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 30 minutt, rørt

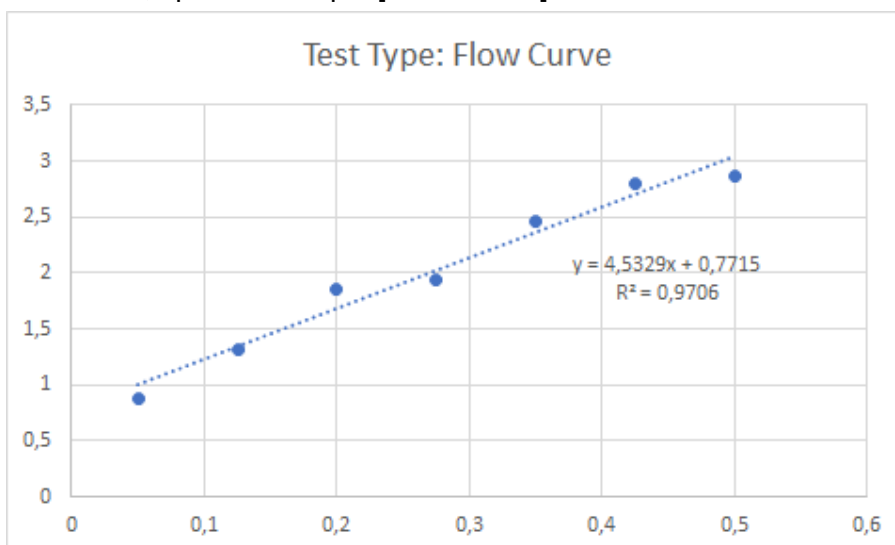
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



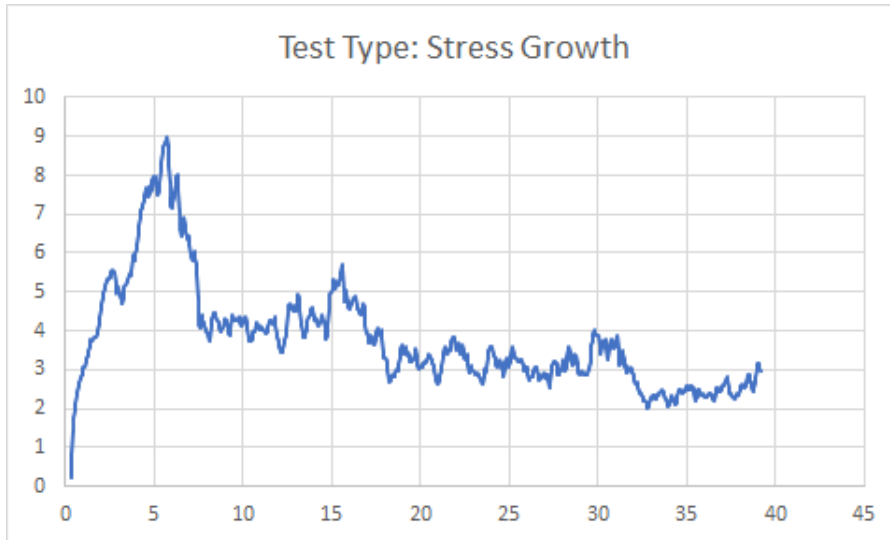
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



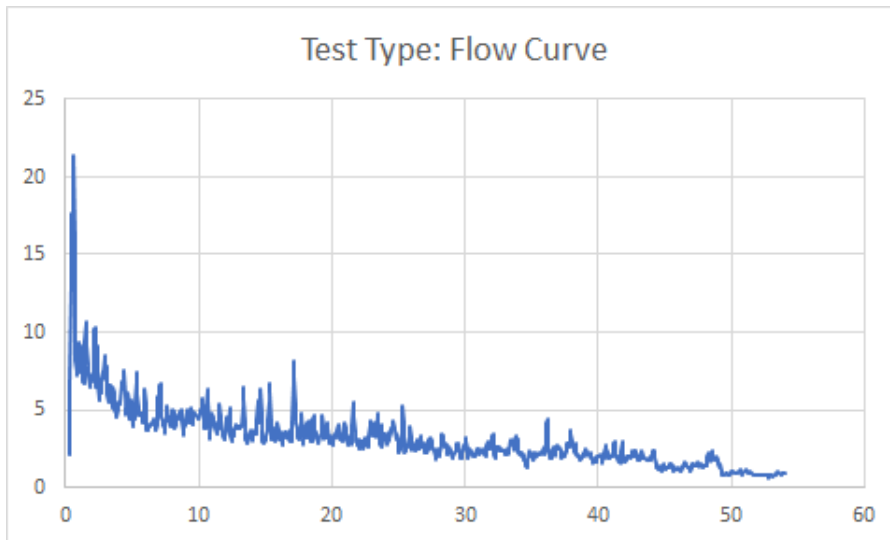
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 30 minutt, urørt

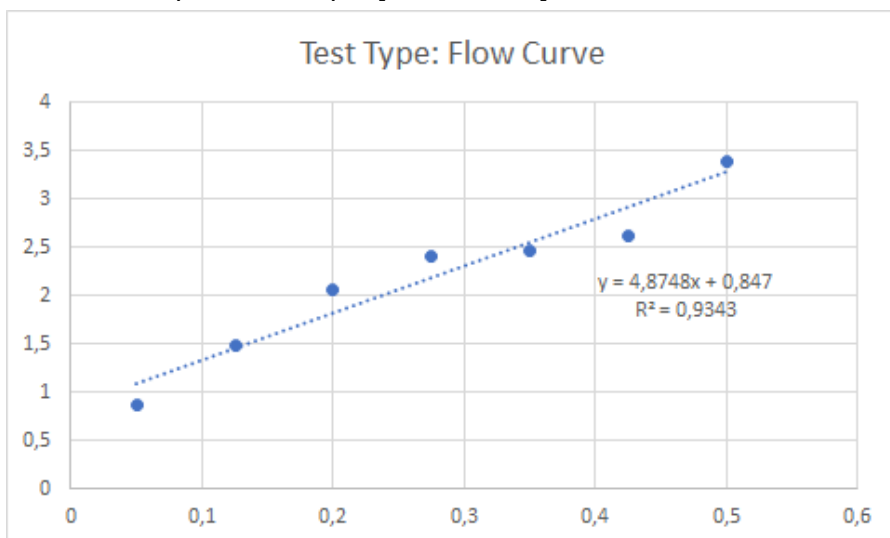
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



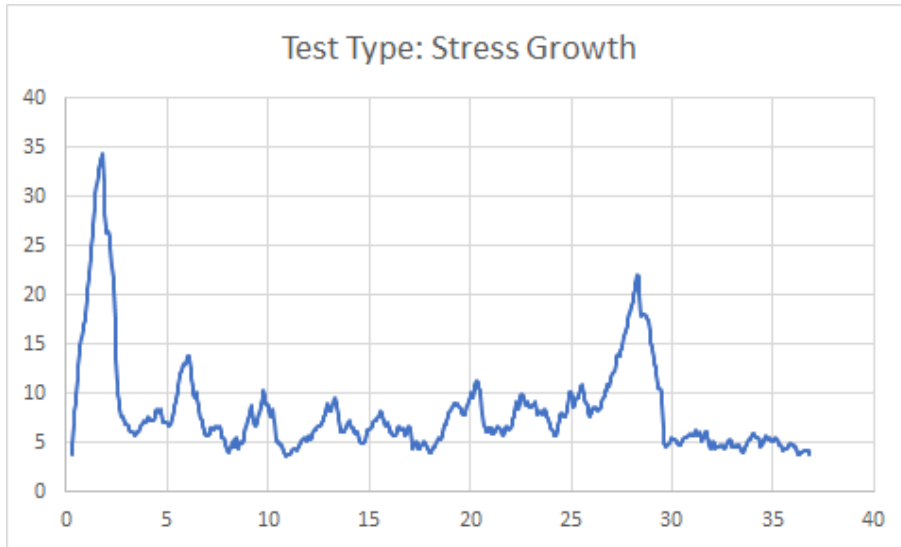
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



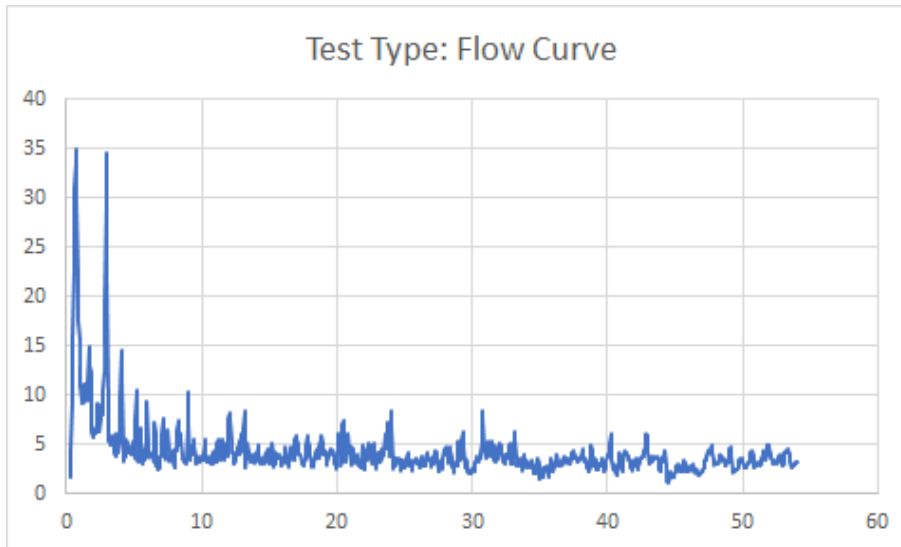
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 0 minutt, urørt

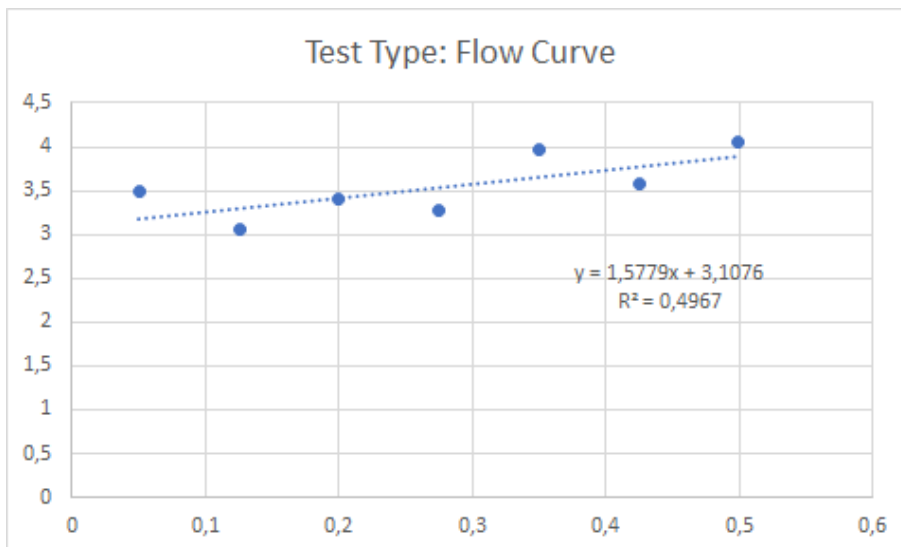
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



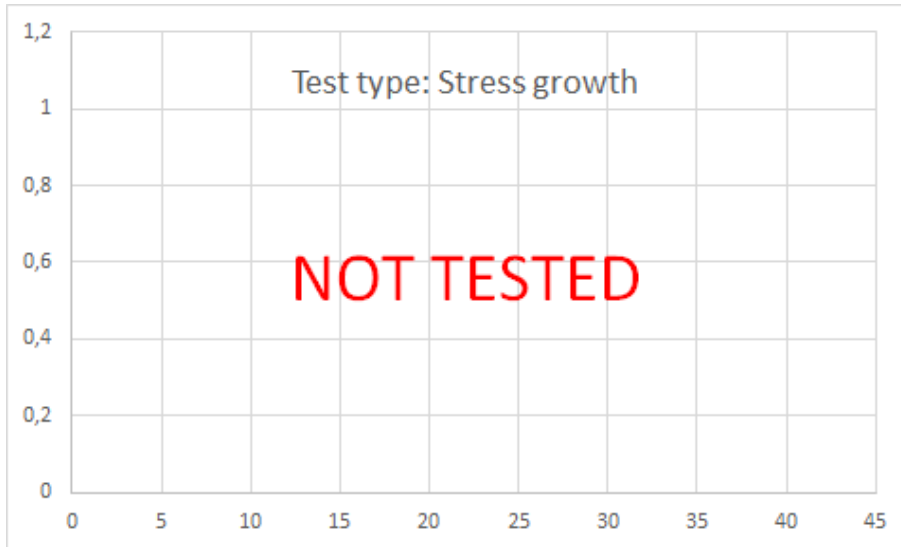
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



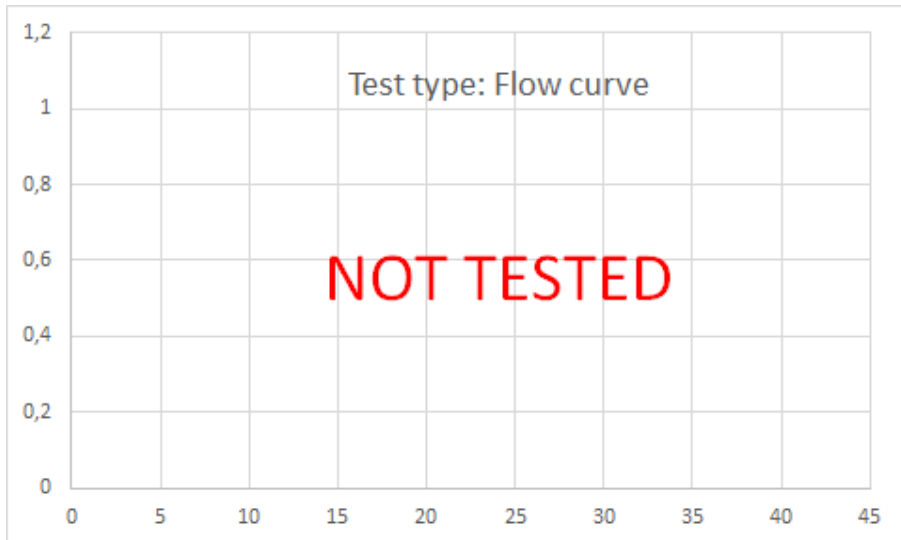
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 10 minutt, rørt

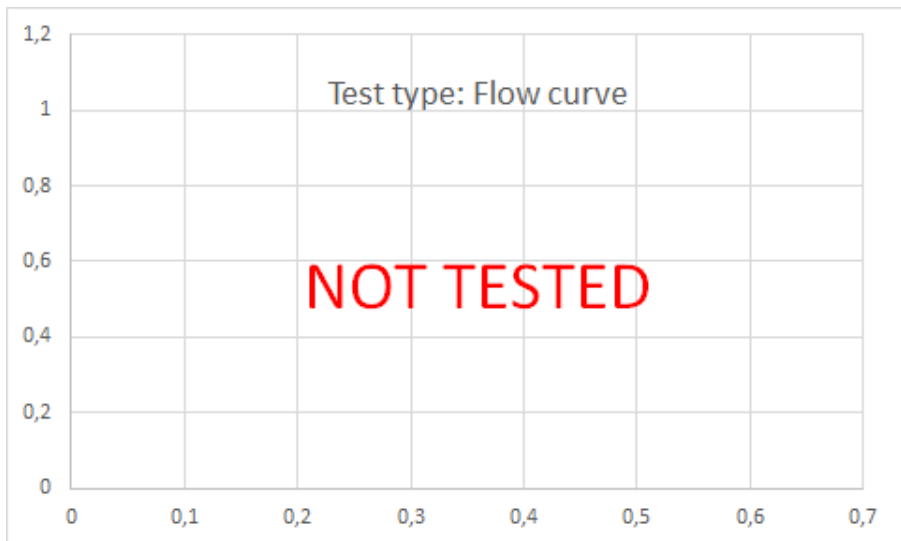
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



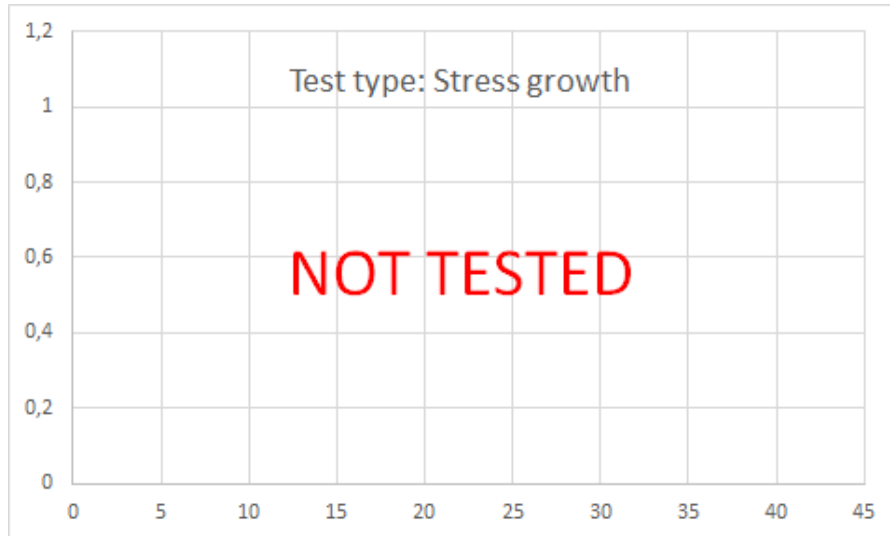
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



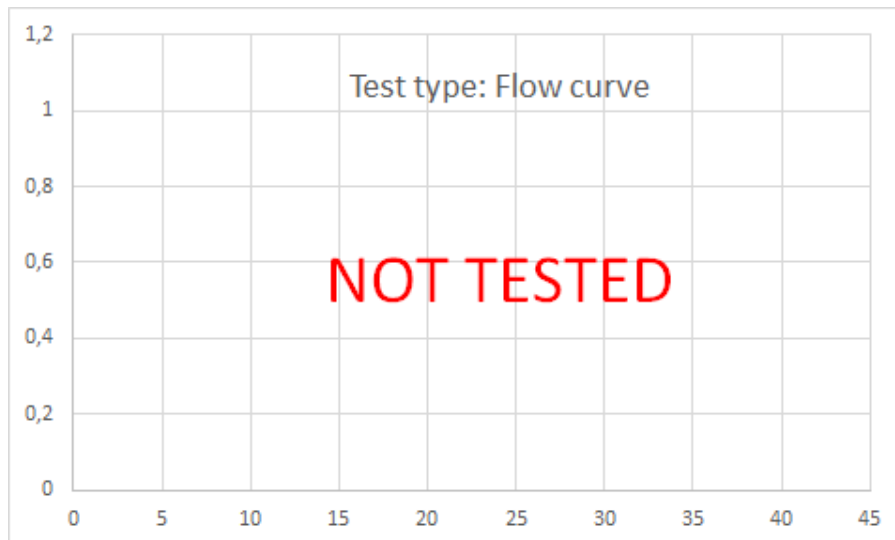
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 10 minutt, urørt

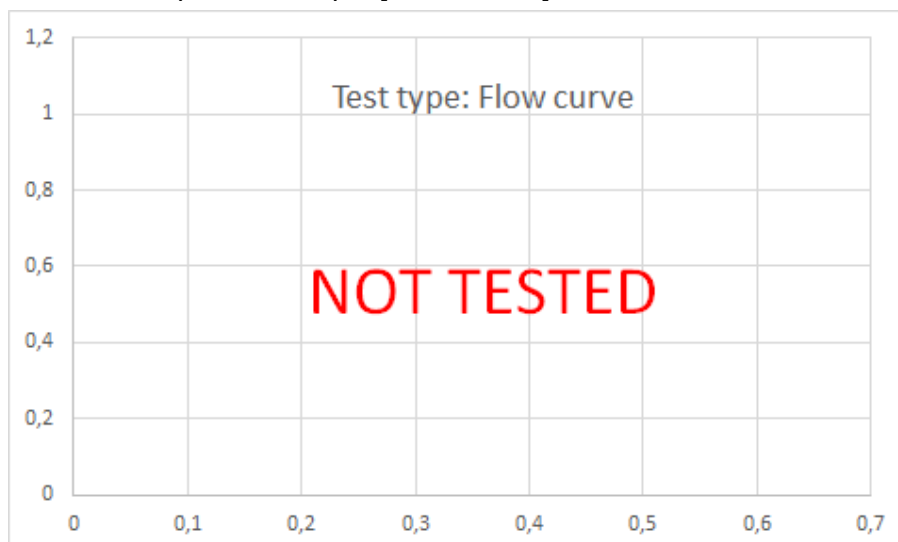
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

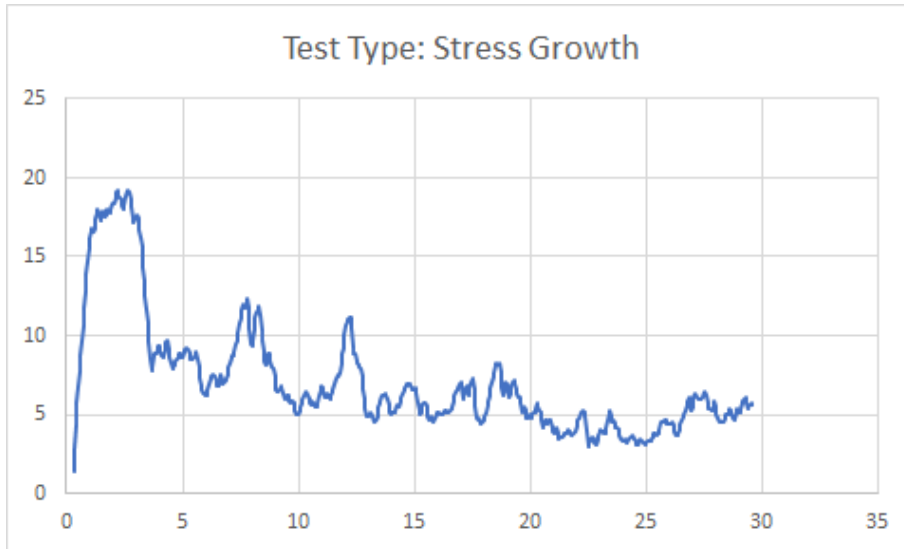


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

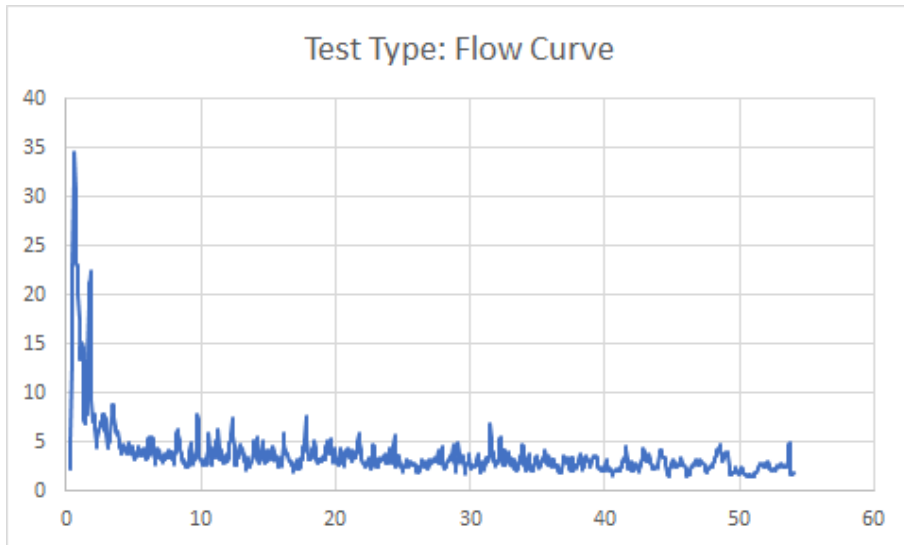


V/C-tall 0,60, 30 minutt, rørt

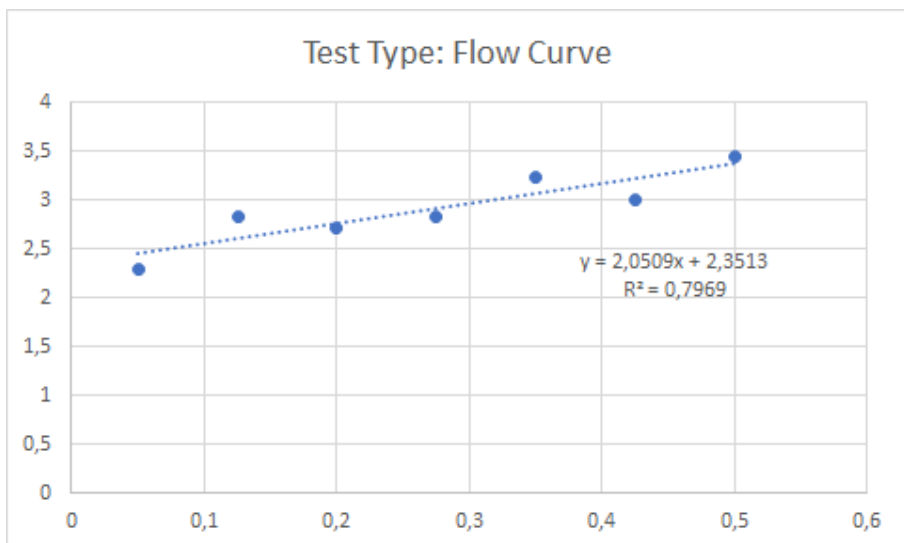
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



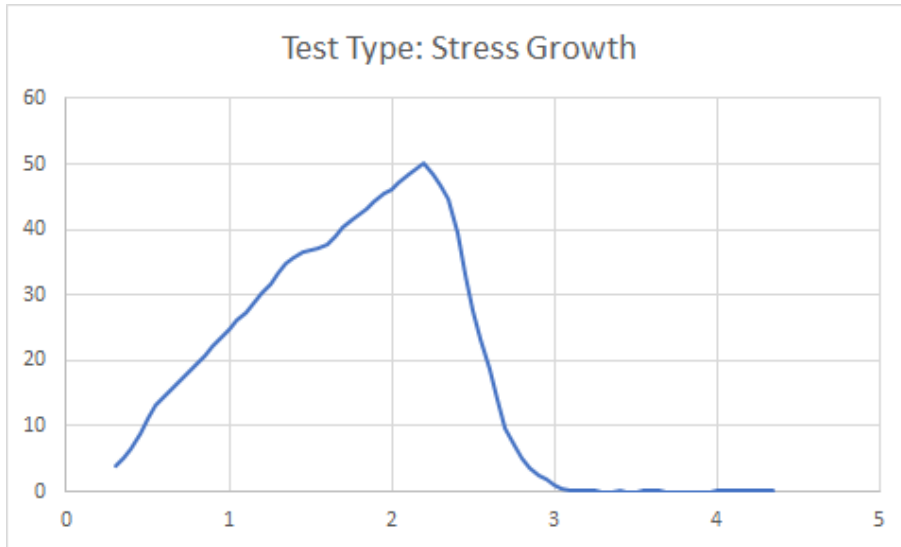
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



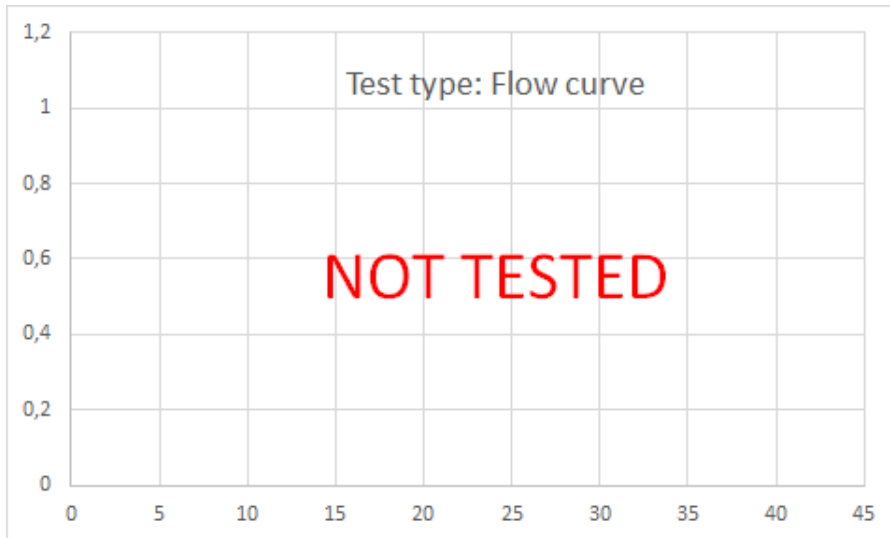
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 30 minutt, urørt

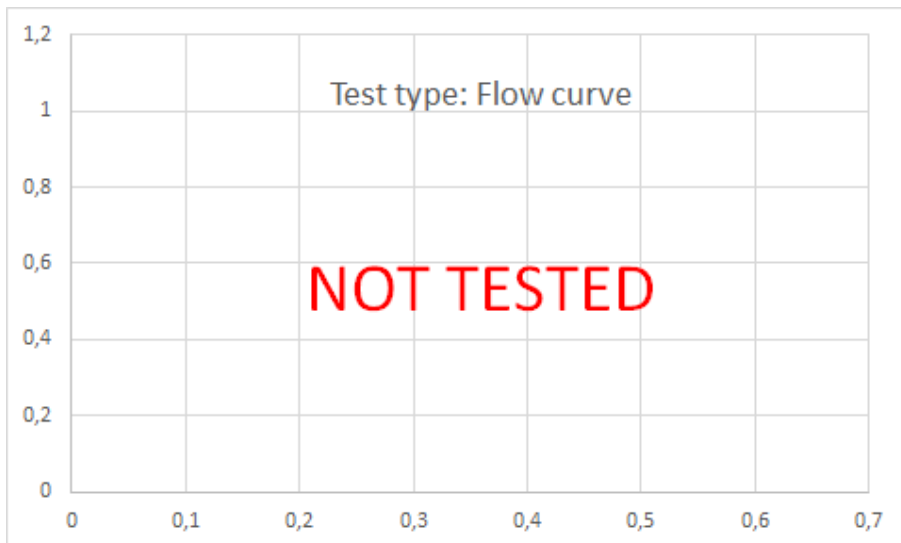
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



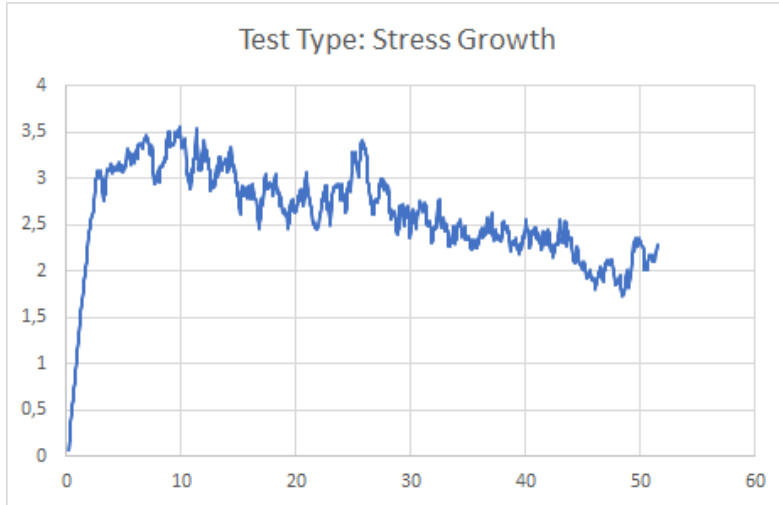
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



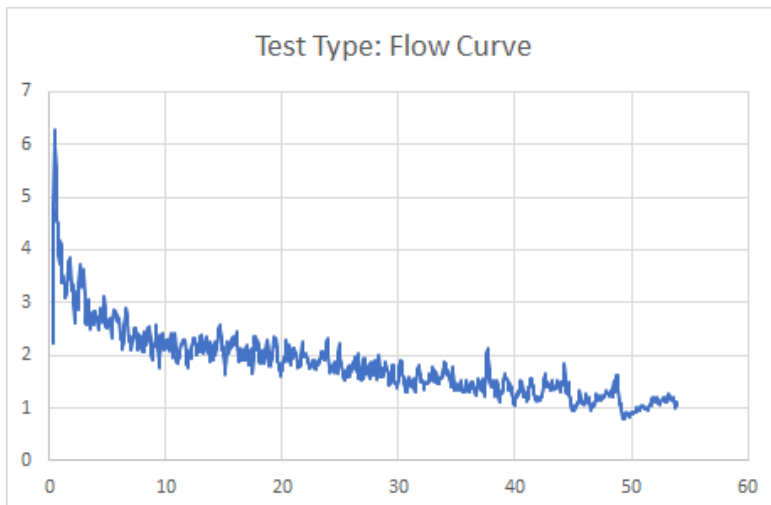
9.2.5 - 320 matriksvolum, 6 % SF

V/C-tall 0,35, 0 minutt, urørt

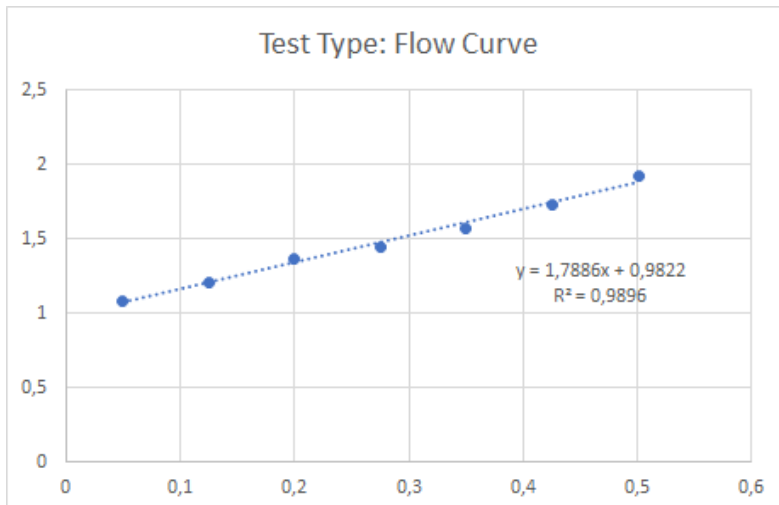
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

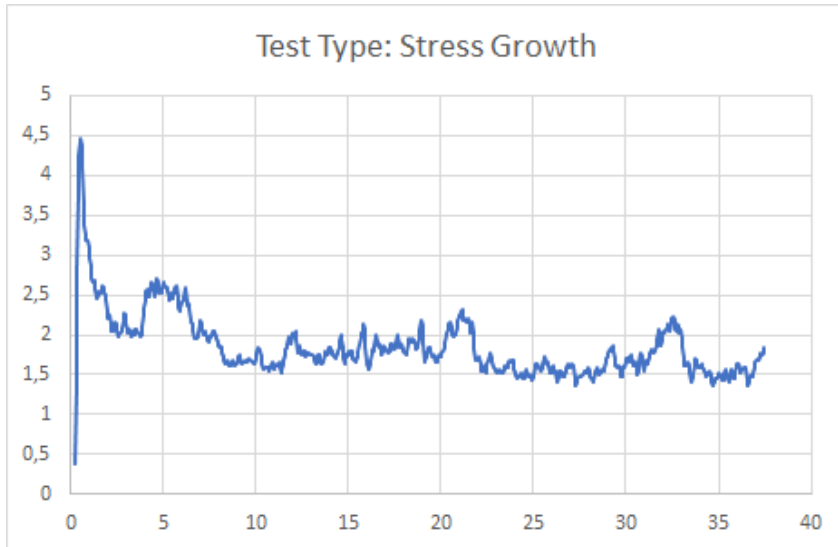


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

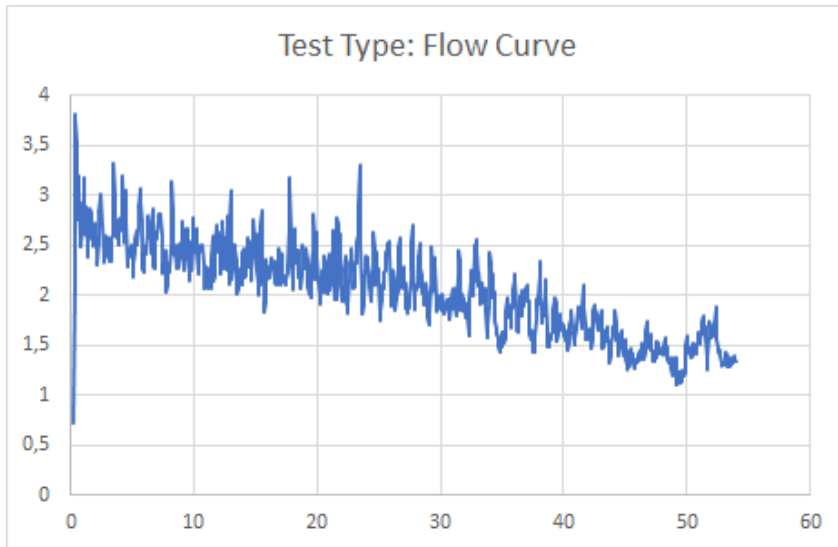


V/C-tall 0,35, 10 minutt, rørt

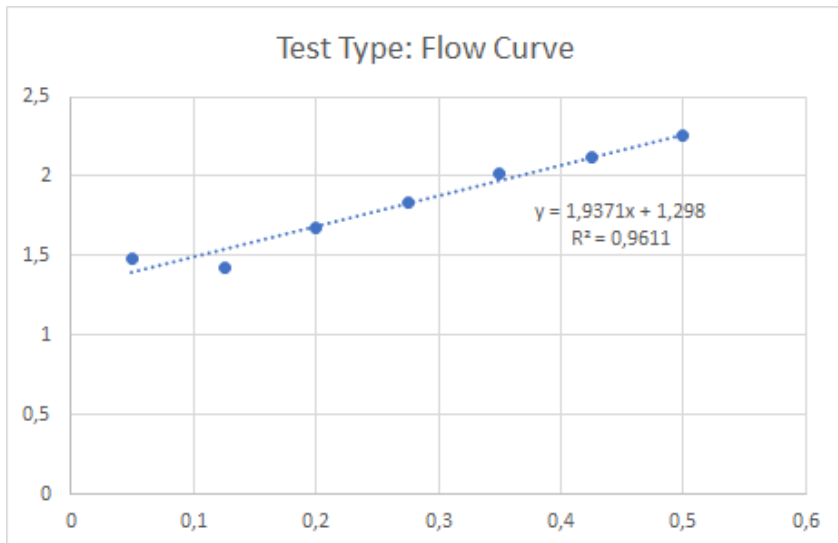
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

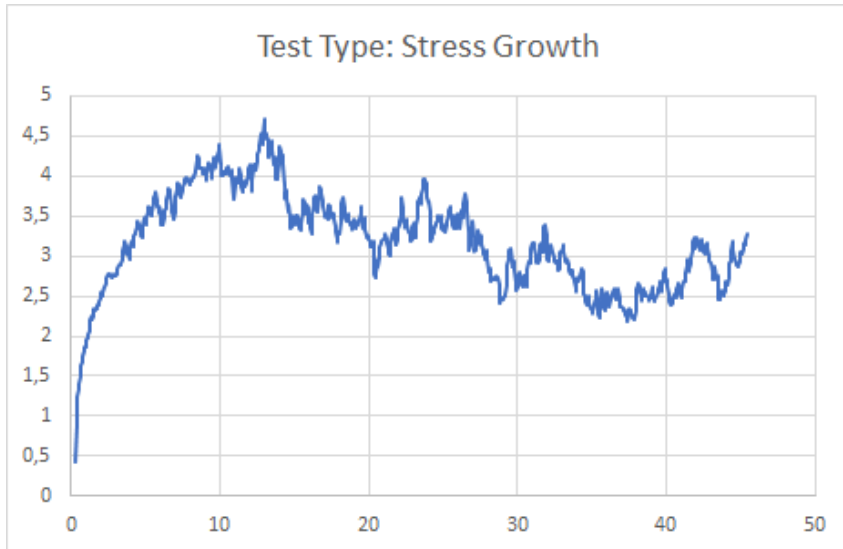


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

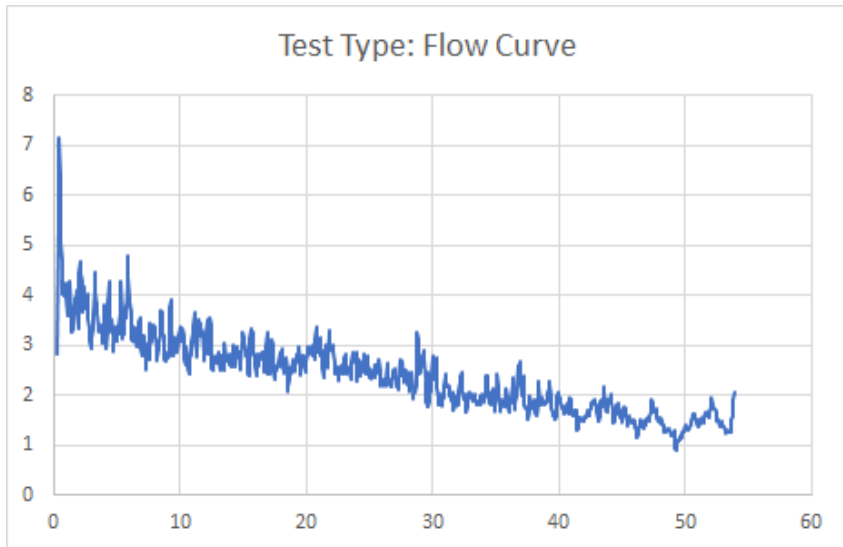


V/C-tall 0,35, 10 minutt, urørt

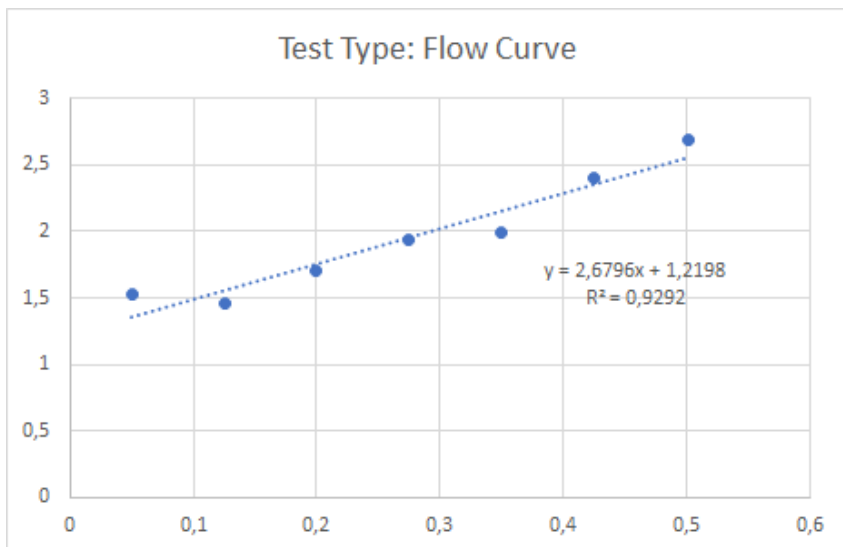
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



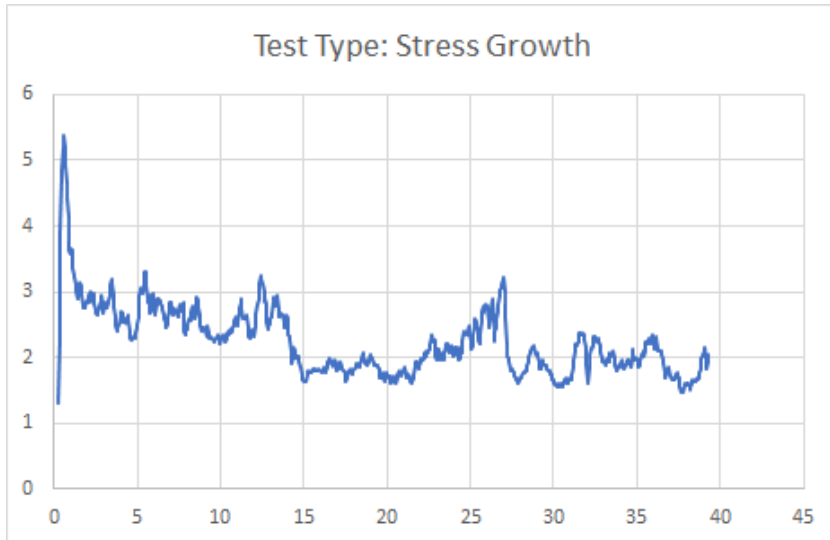
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



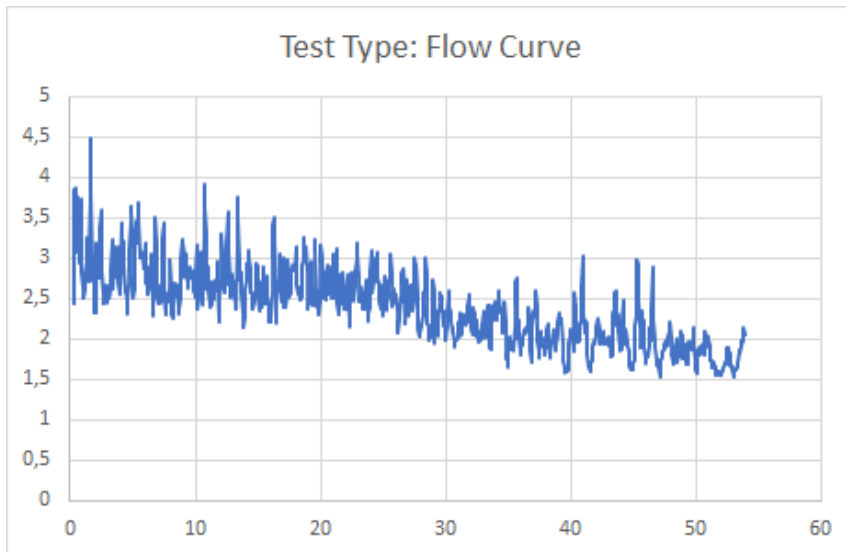
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,35, 30 minutt, rørt

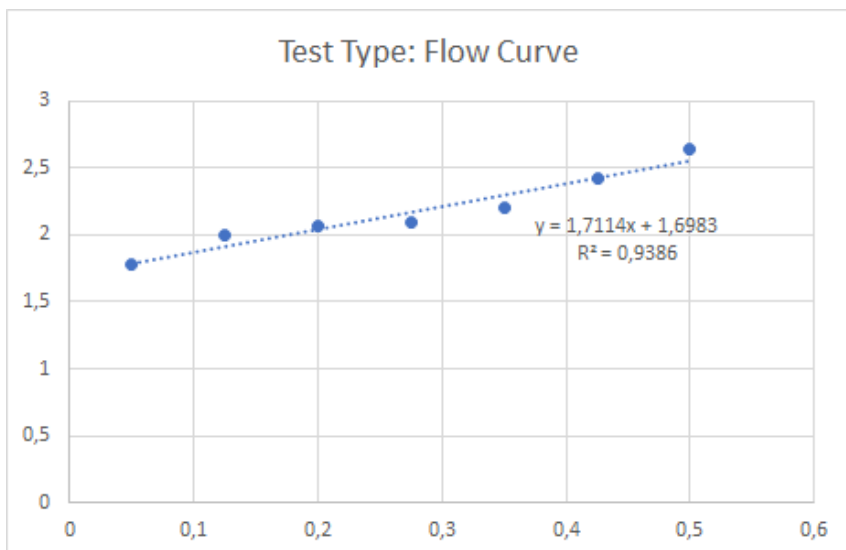
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



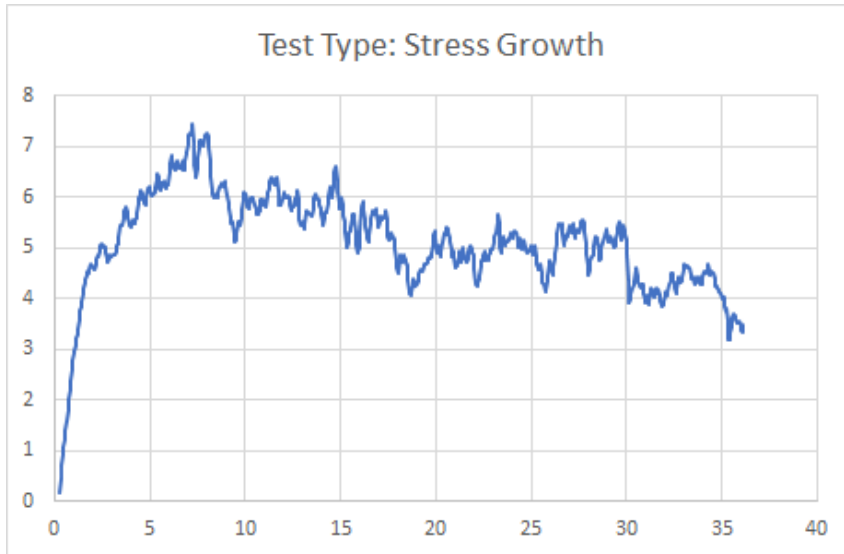
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



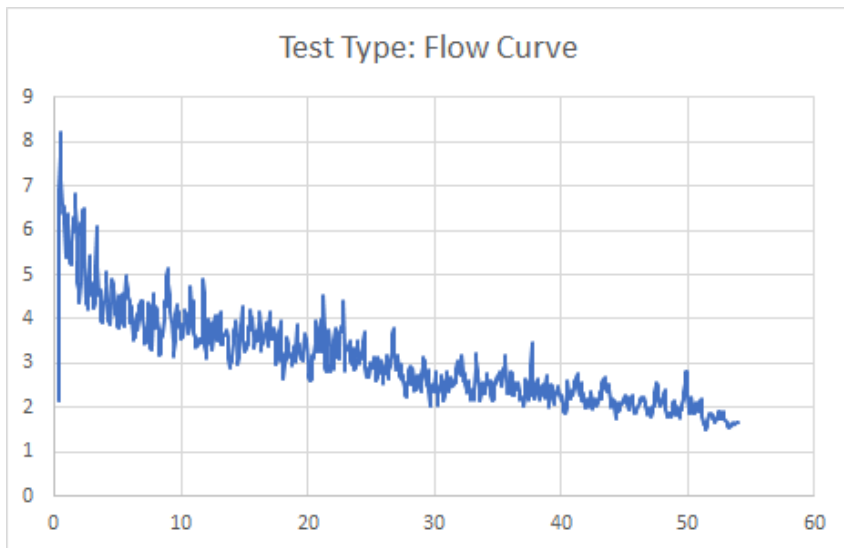
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,35, 30 minutt, urørt

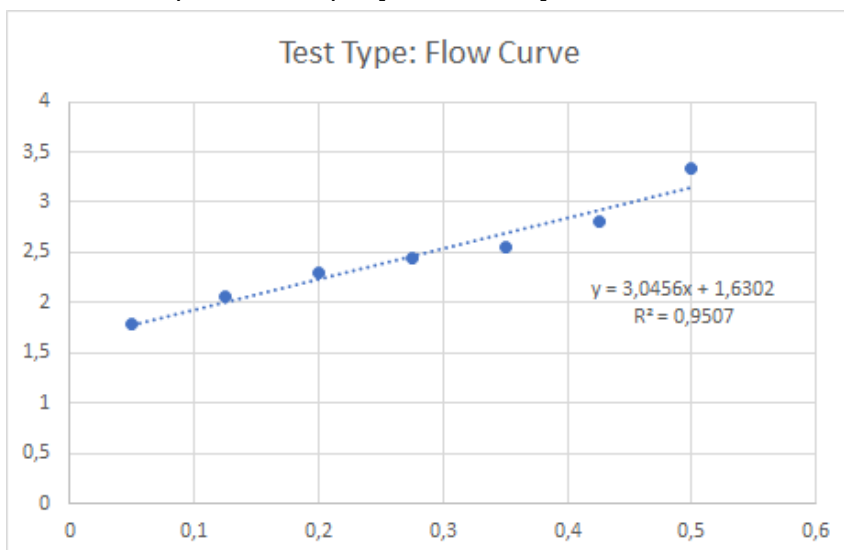
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



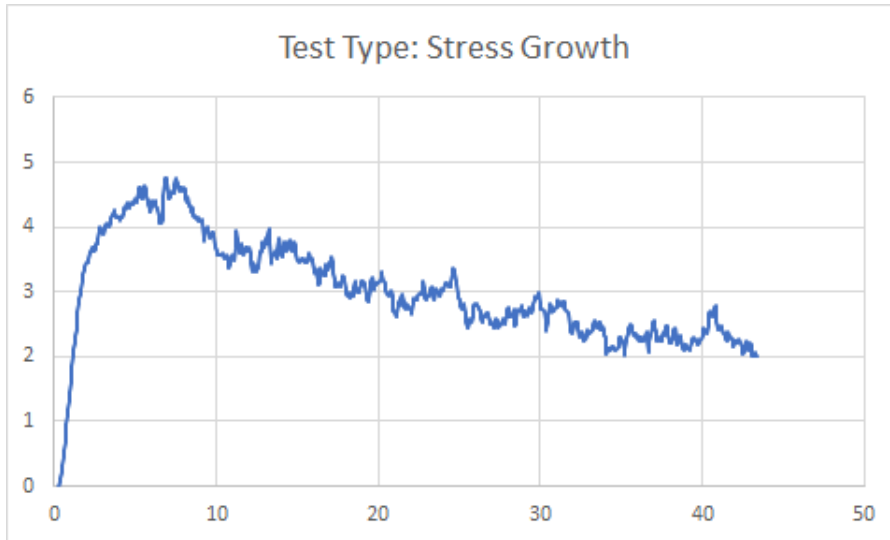
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



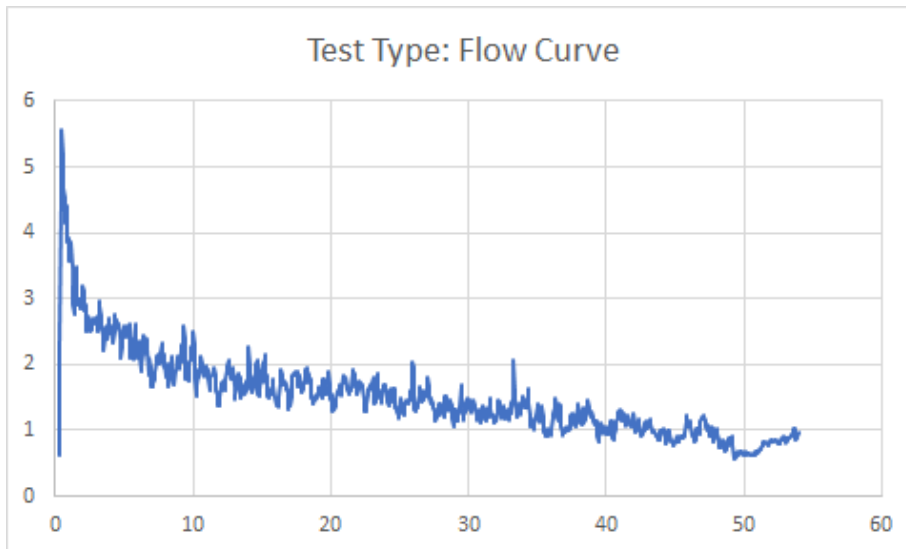
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 0 minutt, urørt

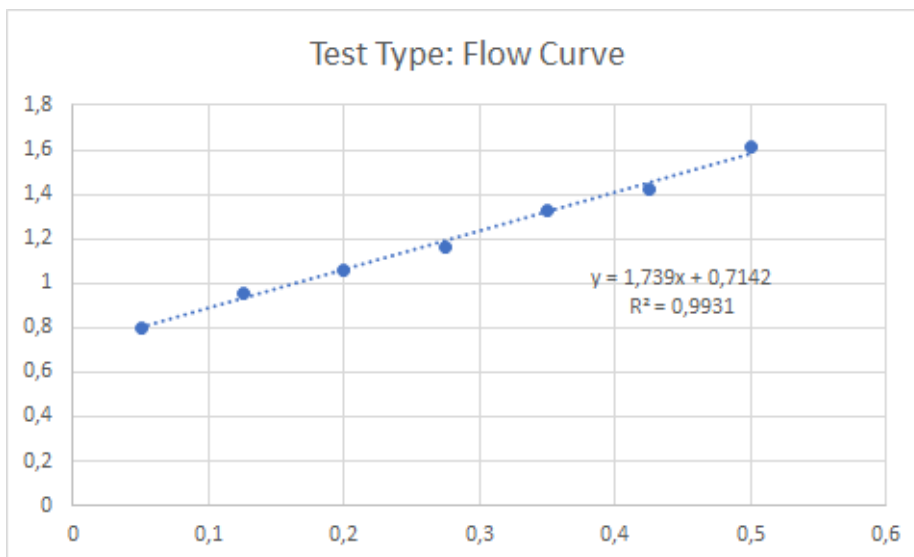
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



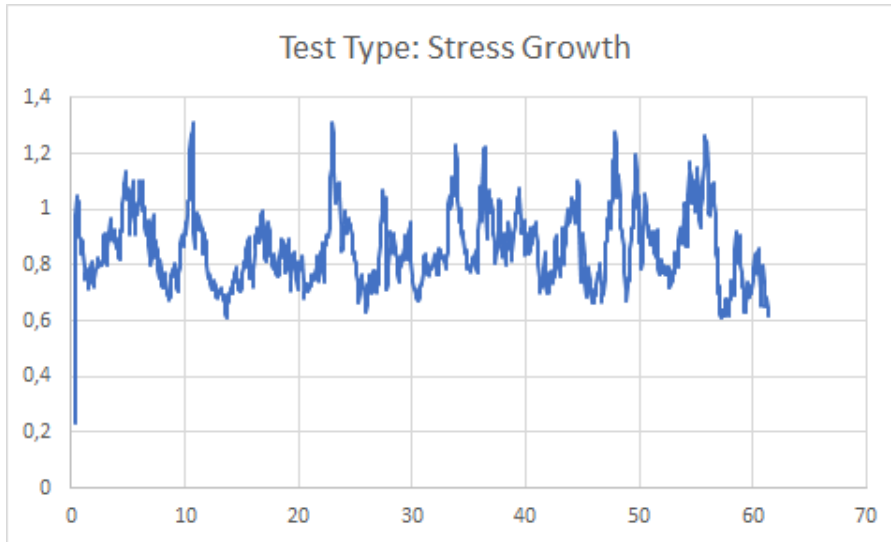
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



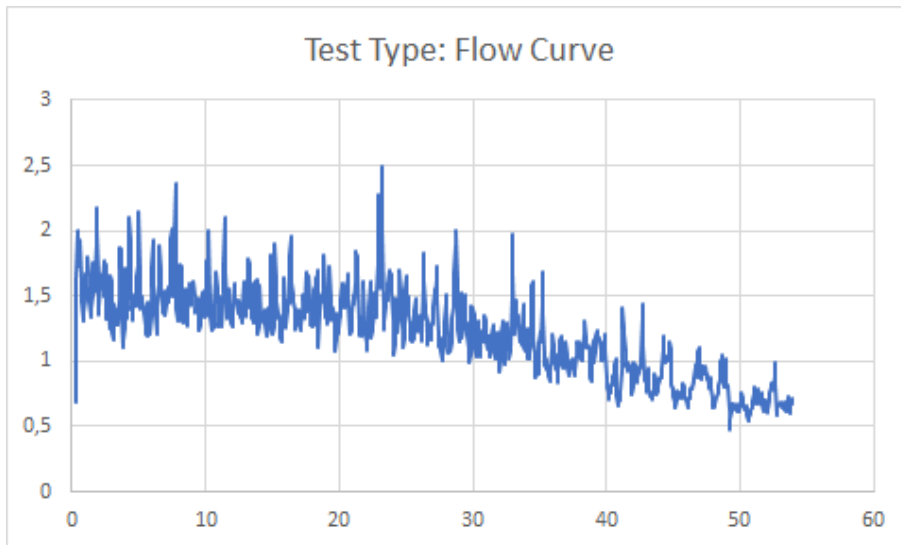
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 10 minutt, rørt

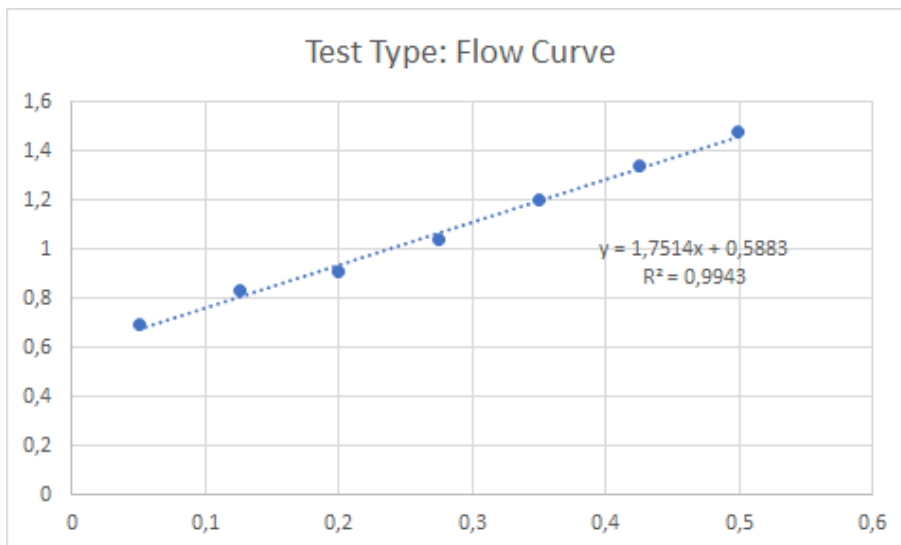
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



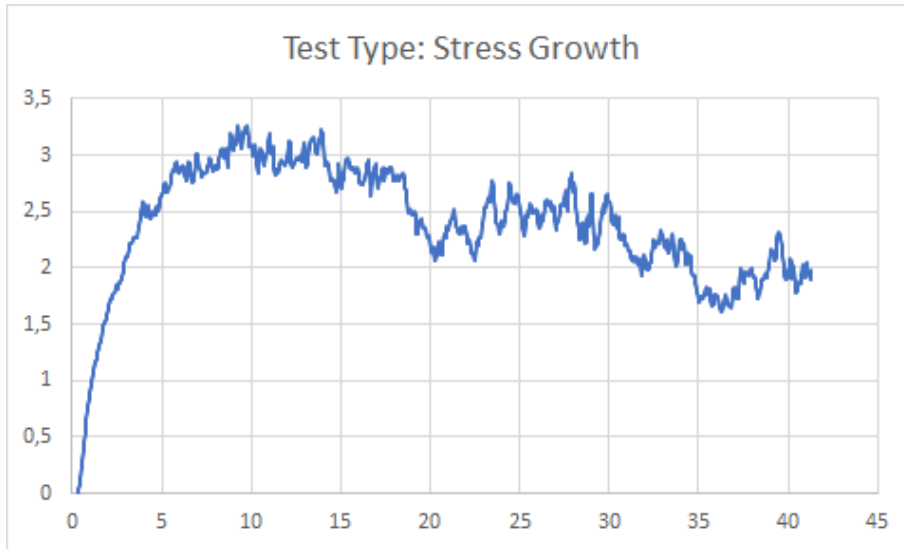
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



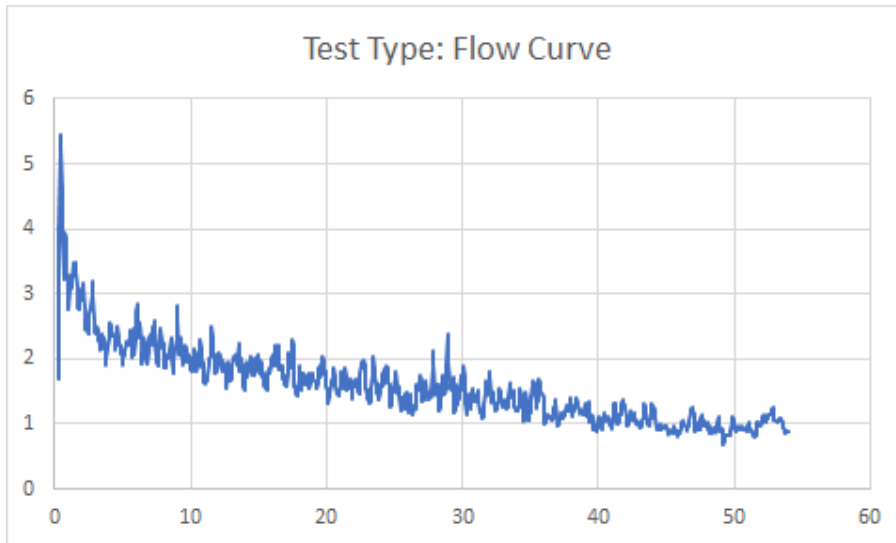
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 10 minutt, urørt

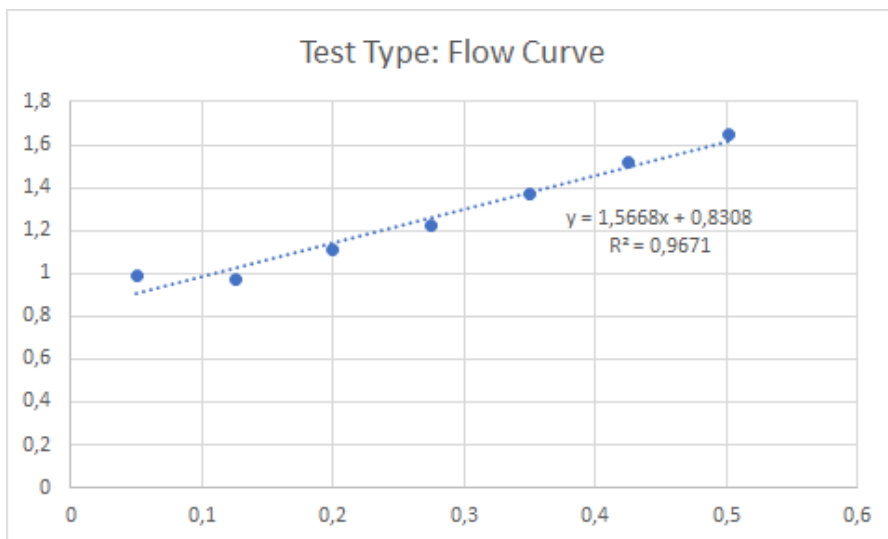
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



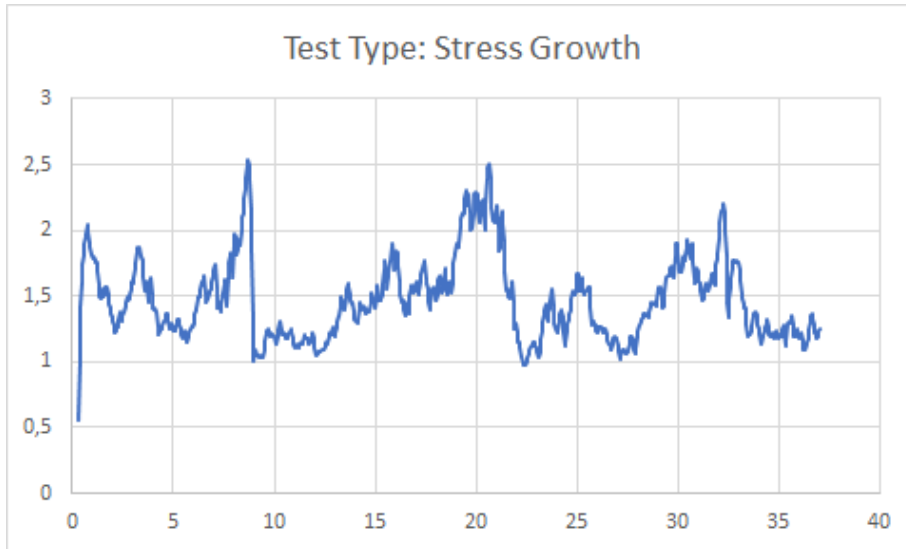
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



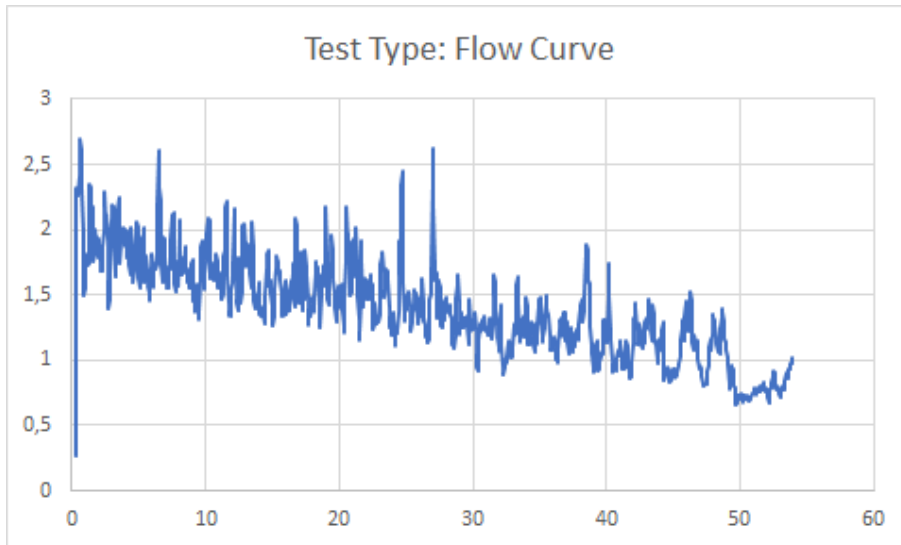
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 30 minutt, rørt

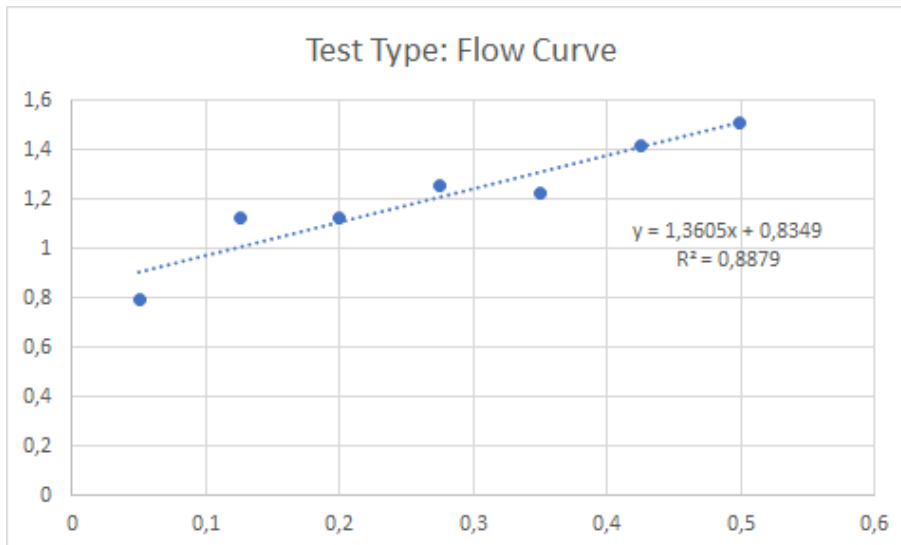
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



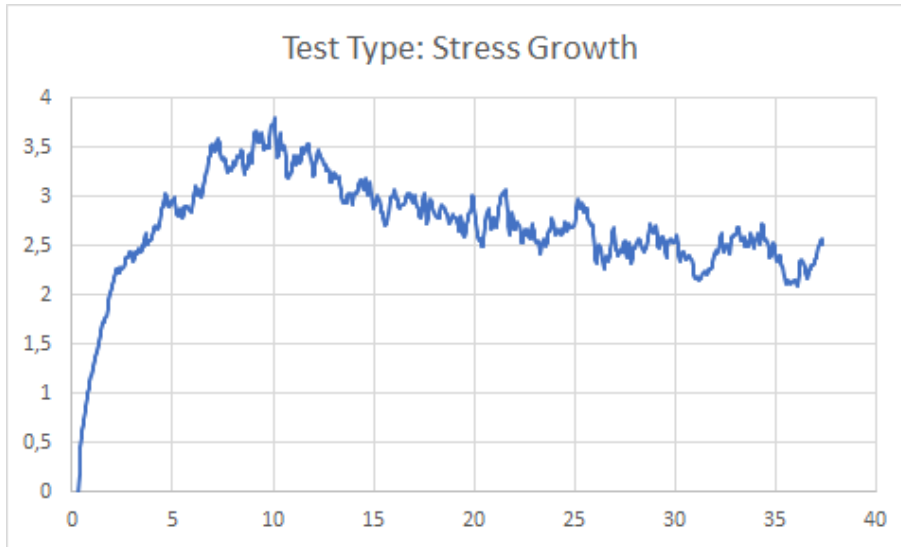
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



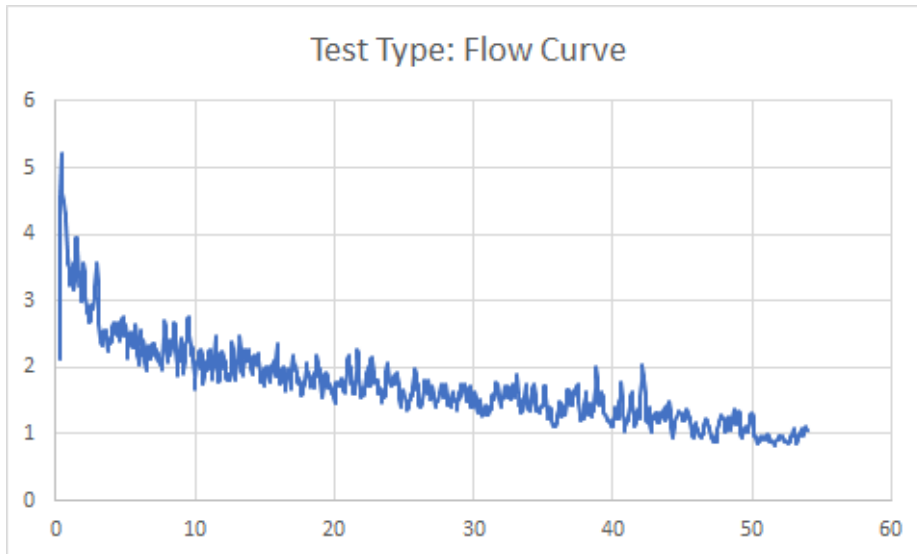
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 30 minutt, urørt

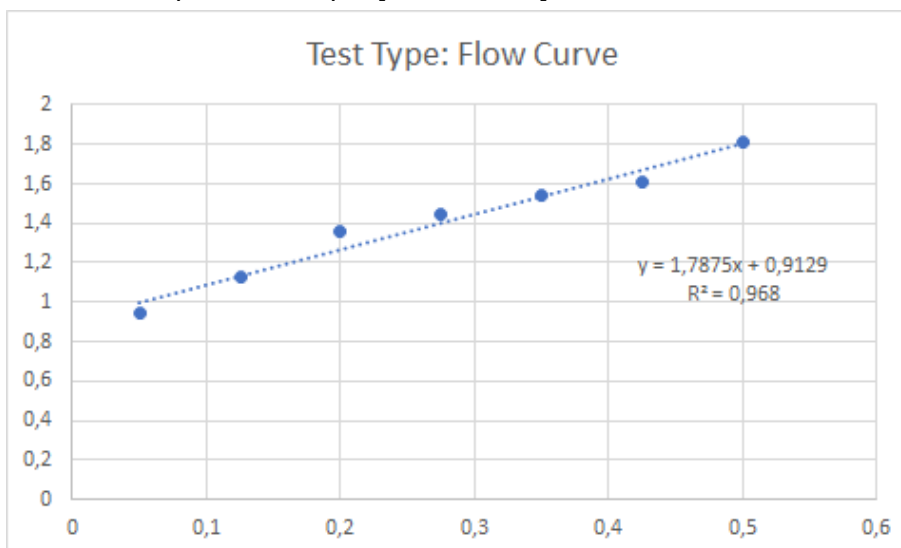
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



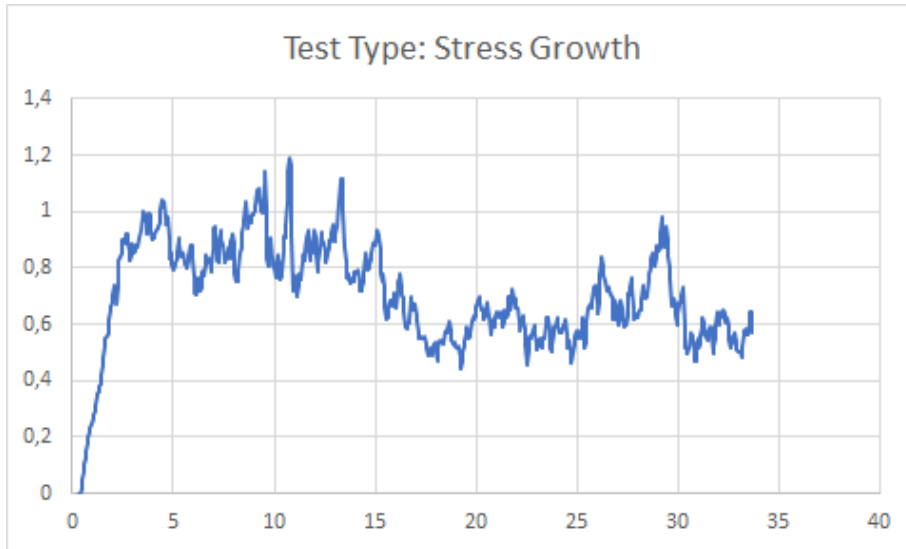
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



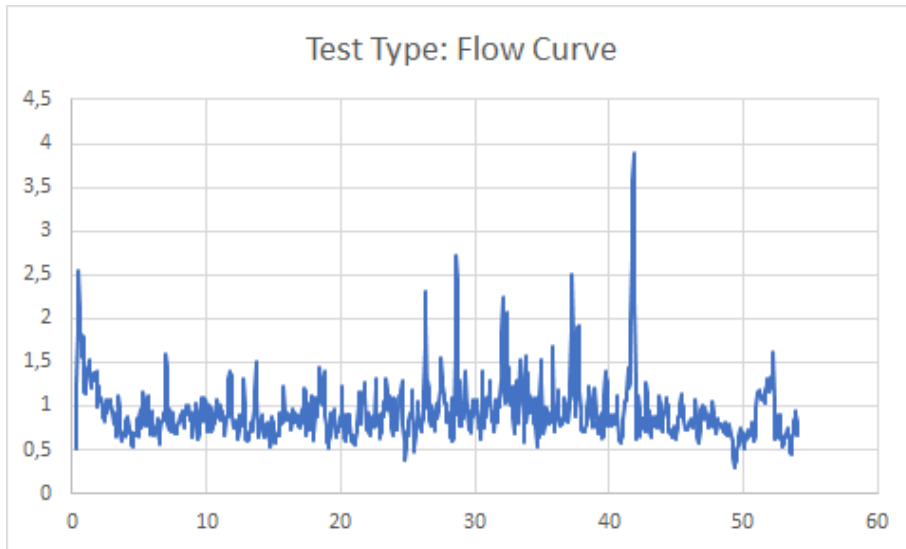
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 0 minutt, urørt

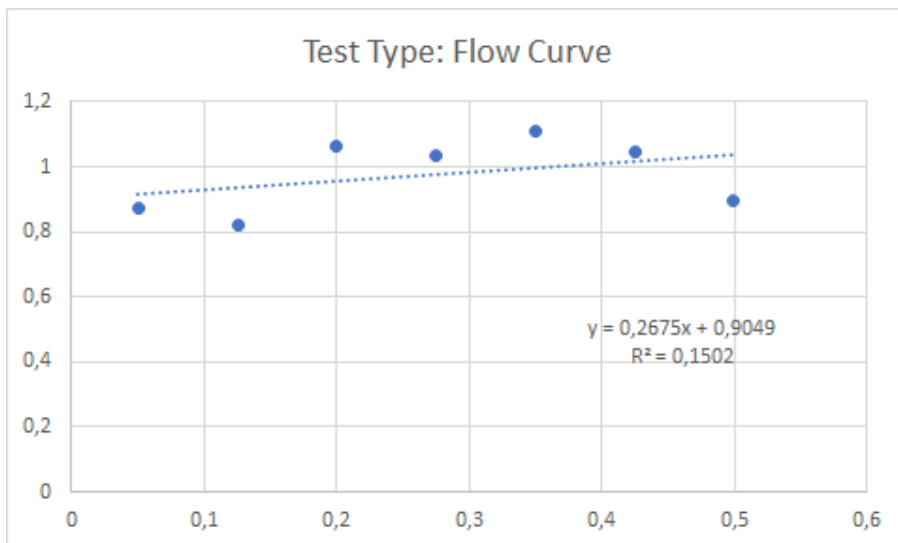
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



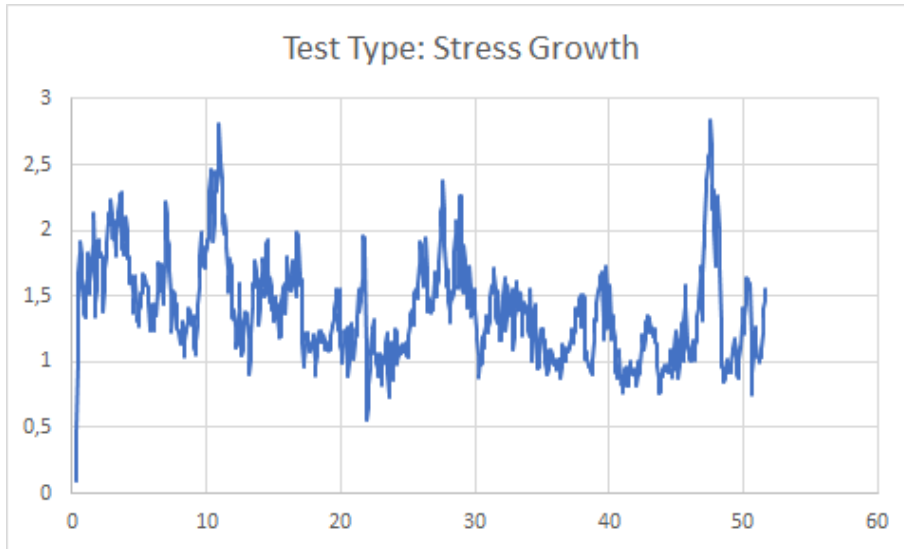
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



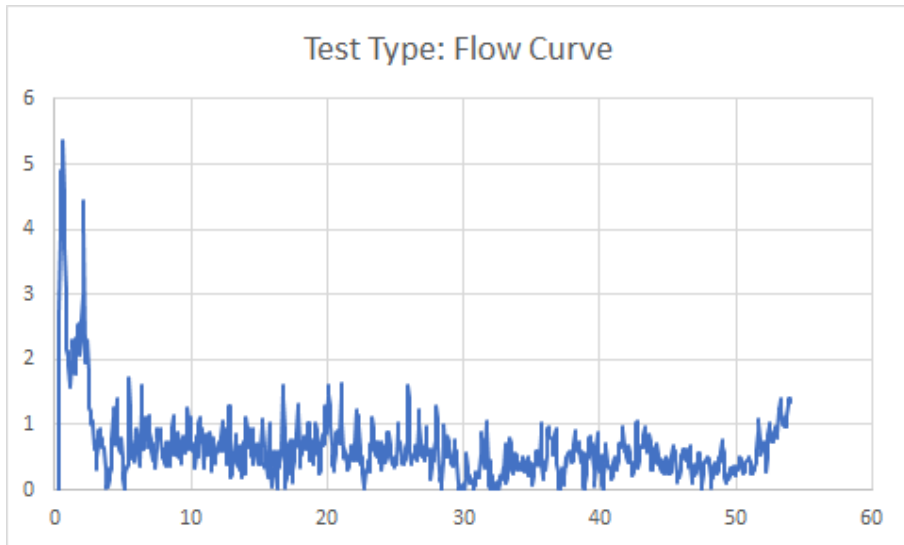
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 10 minutt, rørt

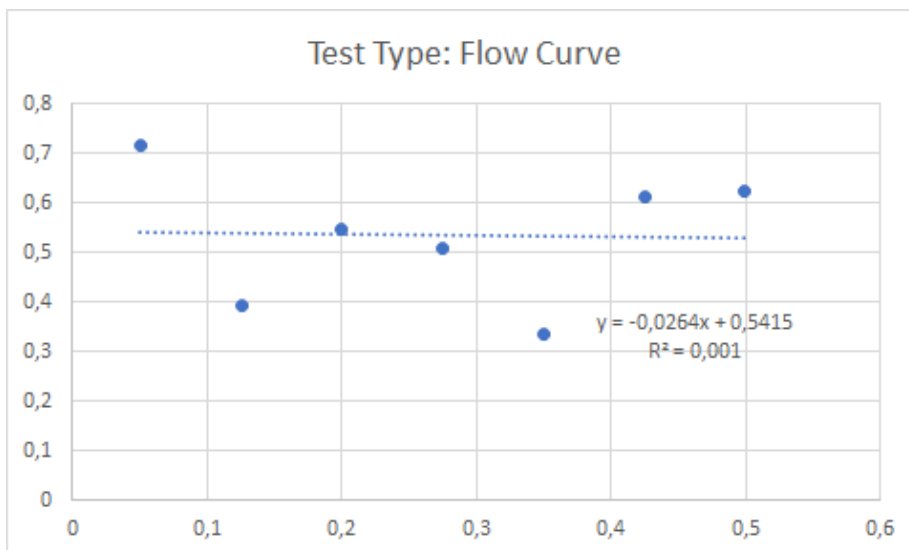
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



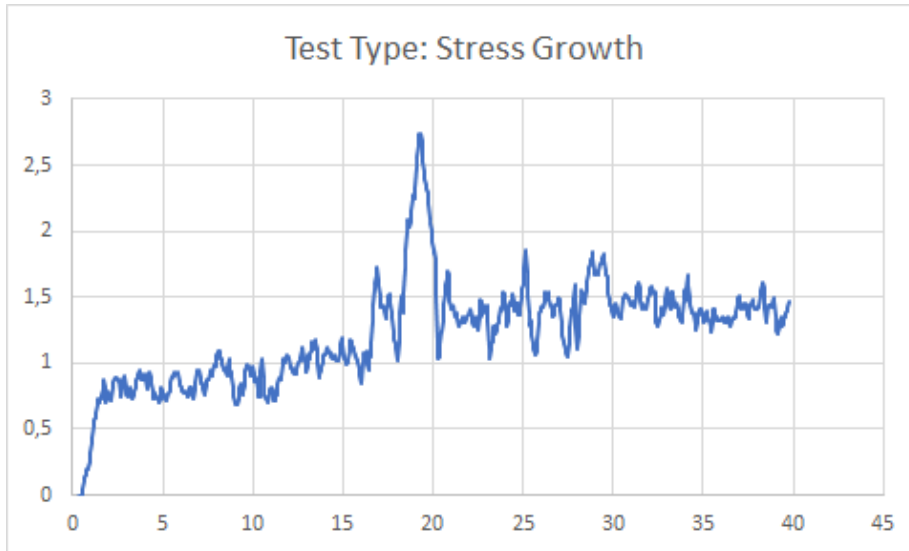
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



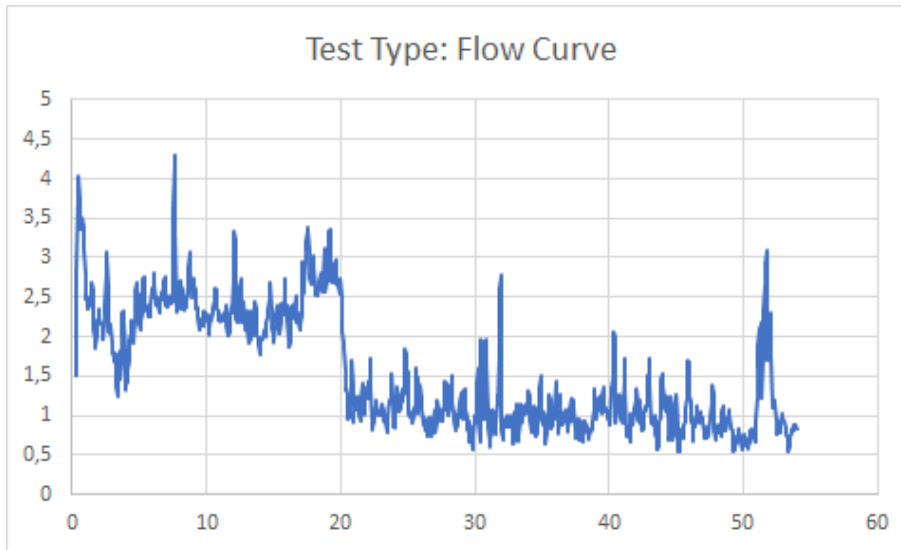
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 10 minutt, urørt

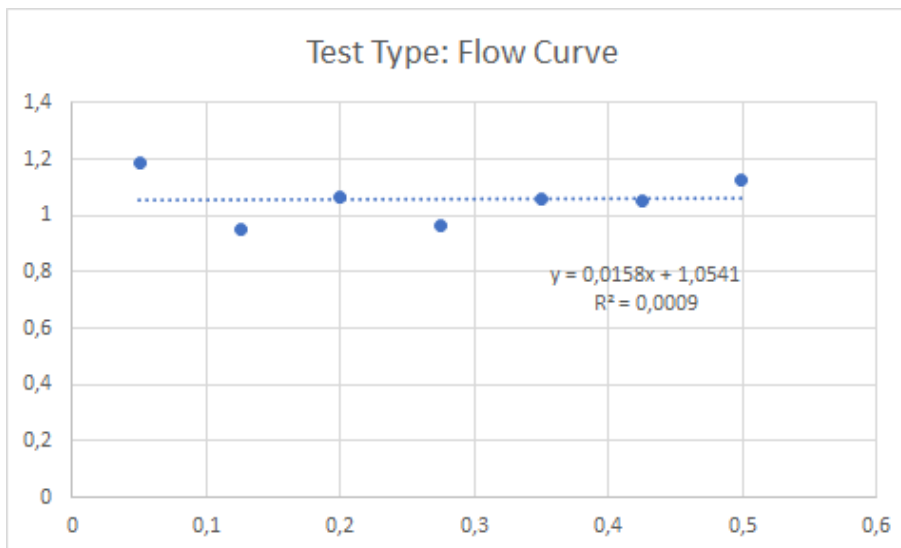
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



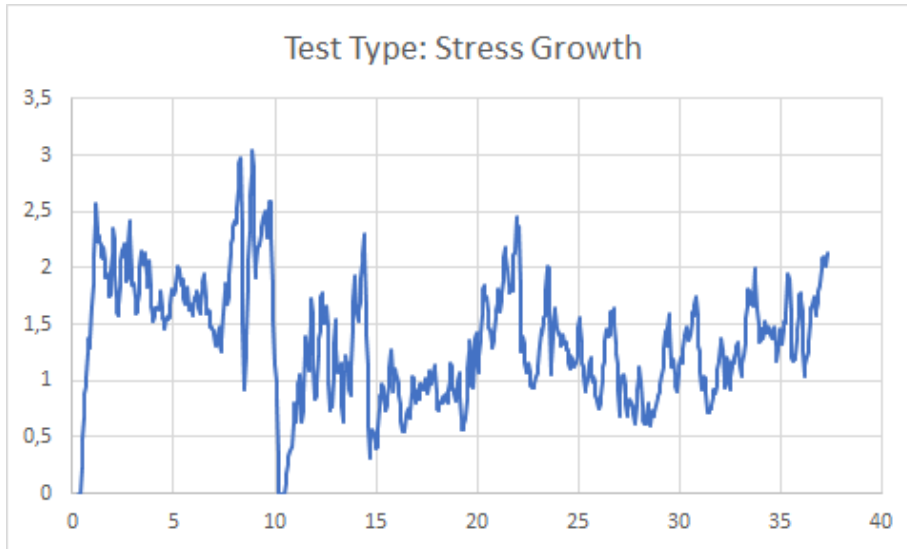
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



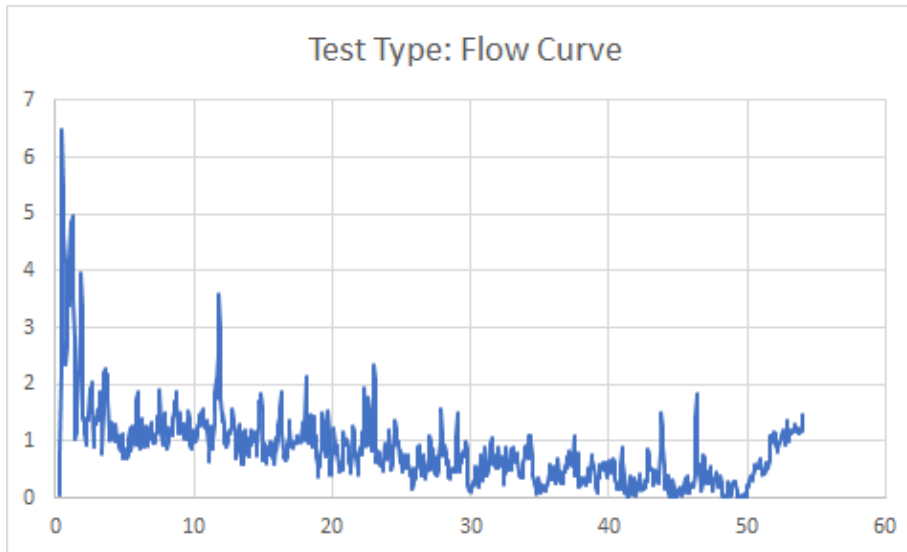
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 30 minutt, rørt

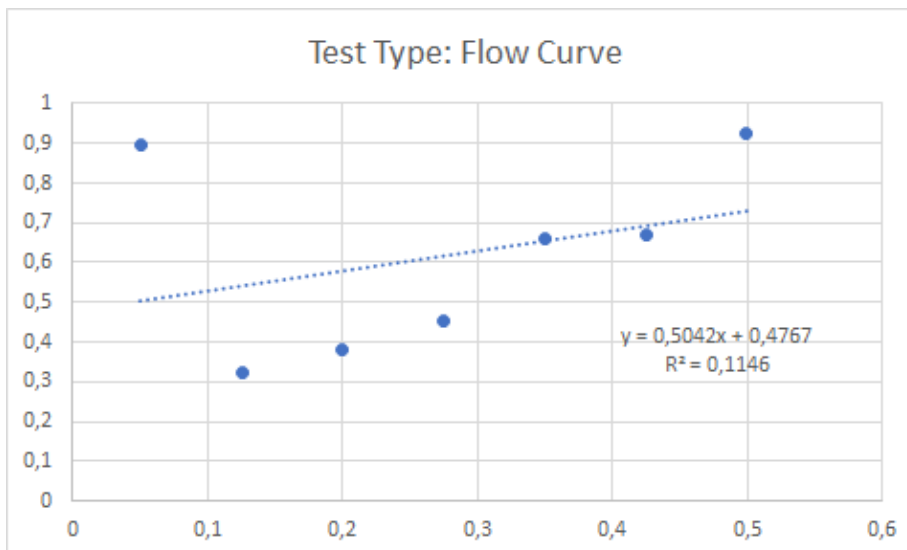
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



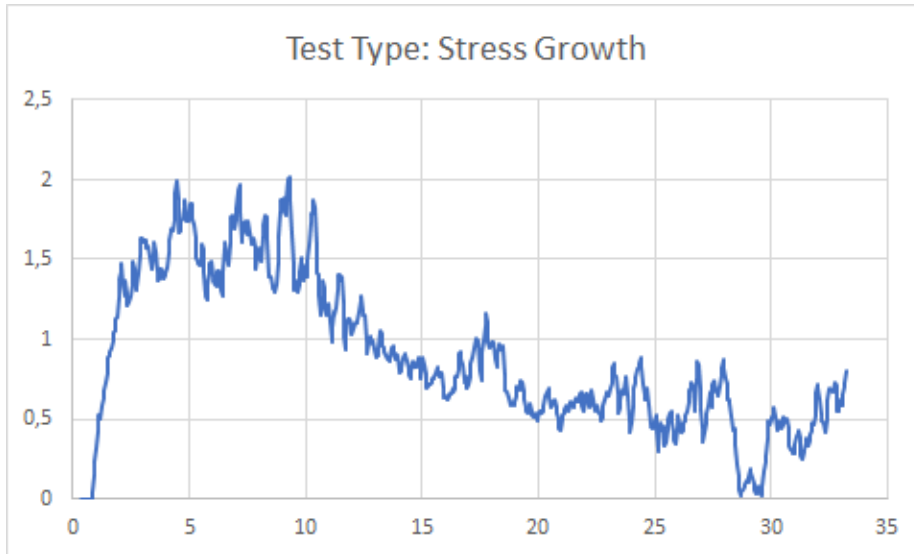
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



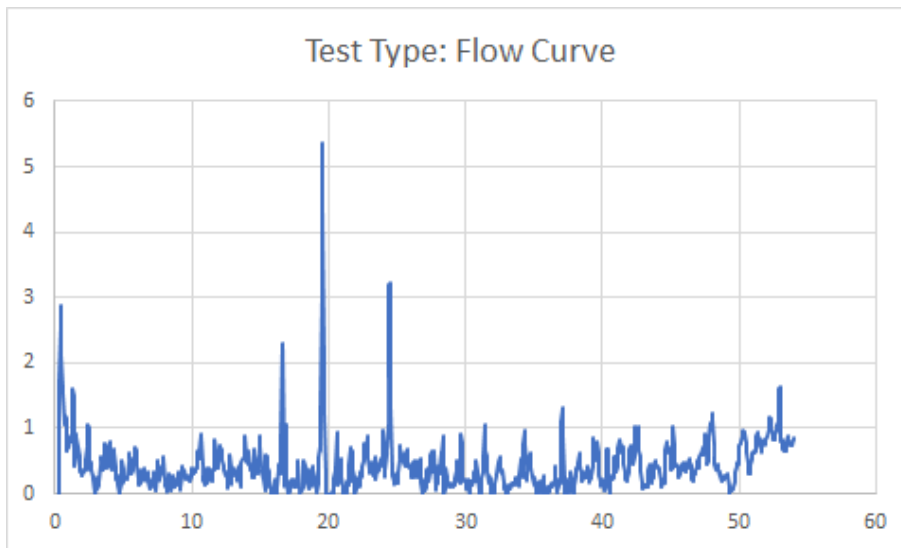
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 30 minutt, urørt

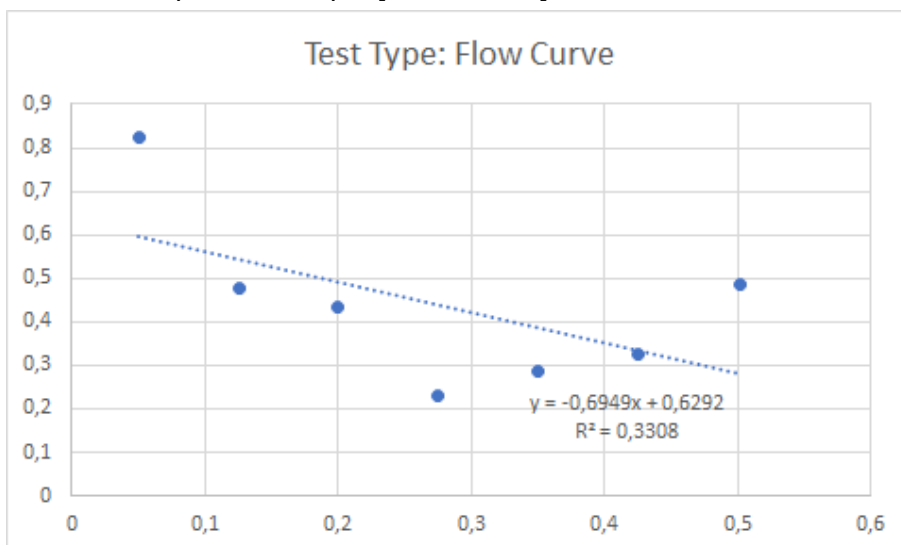
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



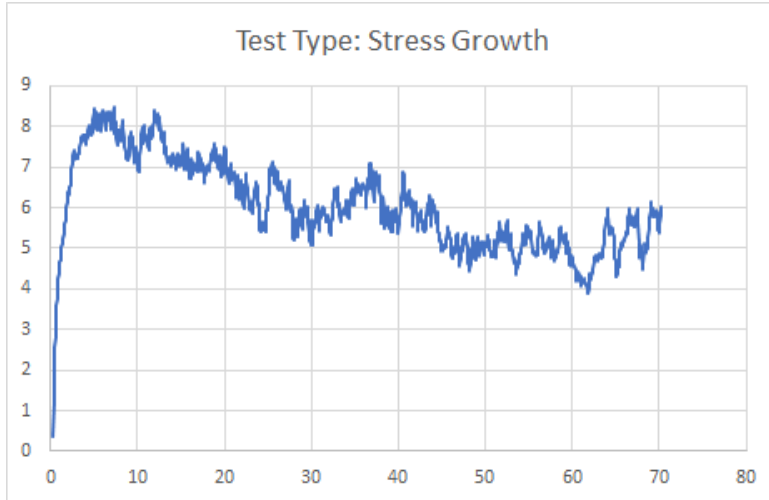
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



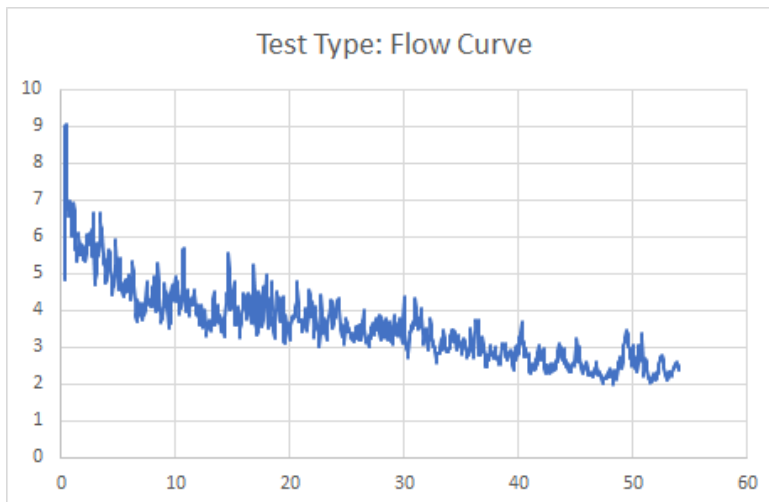
9.2.6 - 320 matriksvolum, 10 % SF

V/C-tall 0,35, 0 minutt, urørt

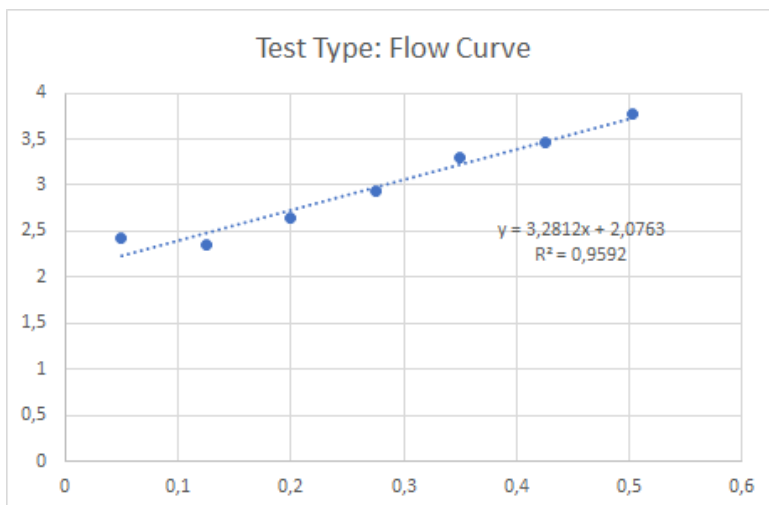
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

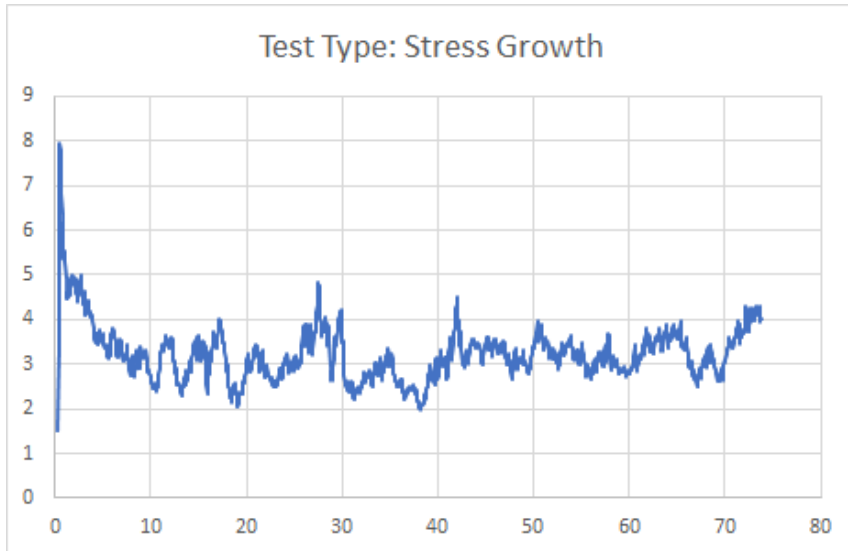


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

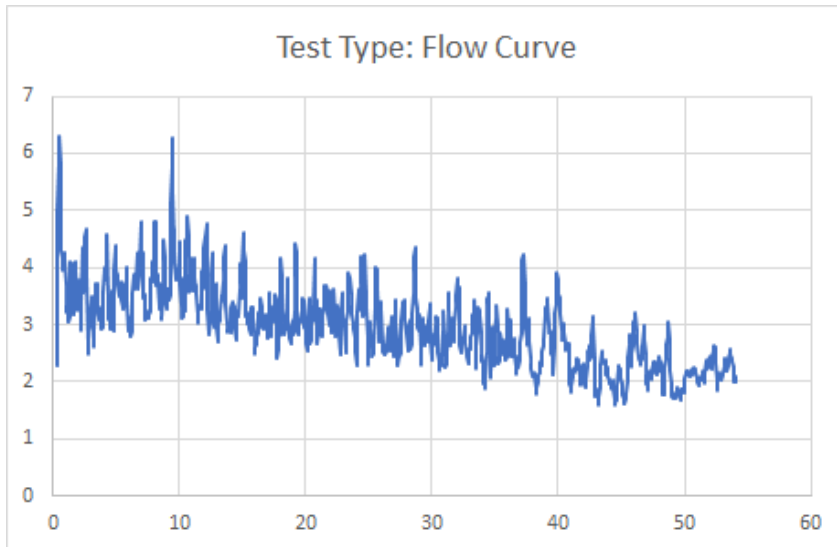


V/C-tall 0,35, 10 minutt, rørt

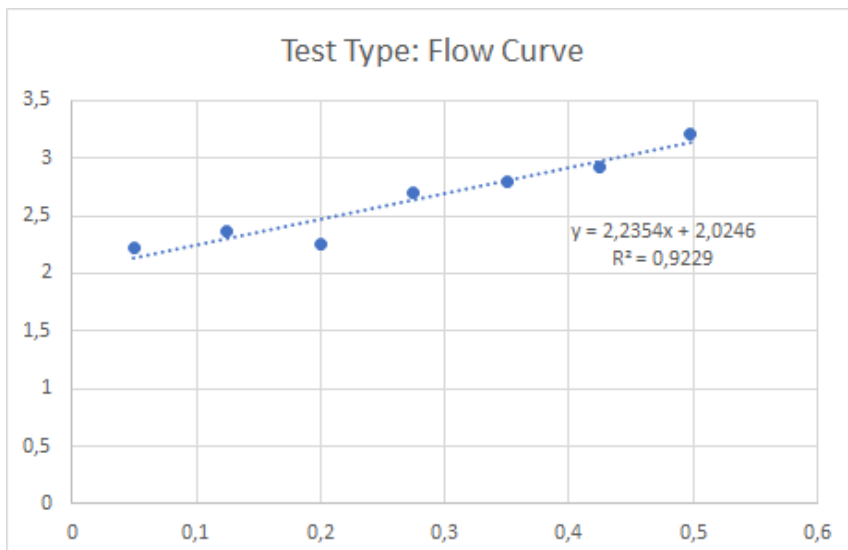
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

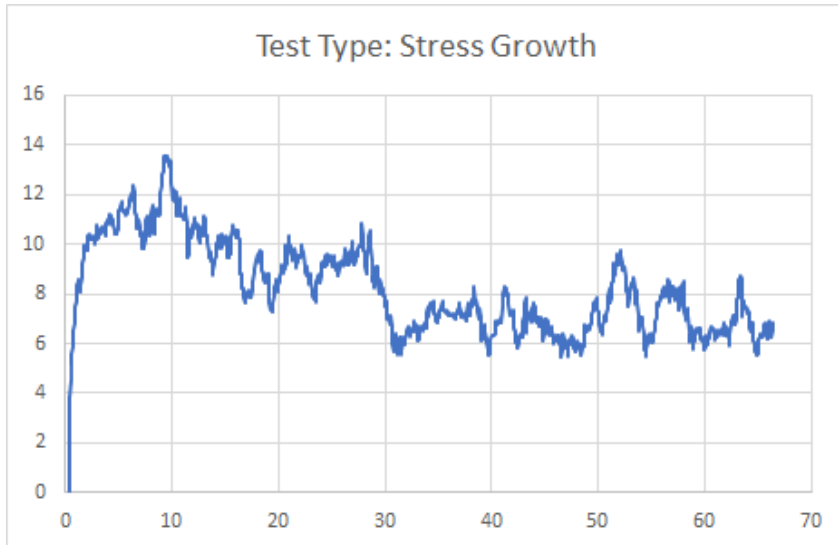


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

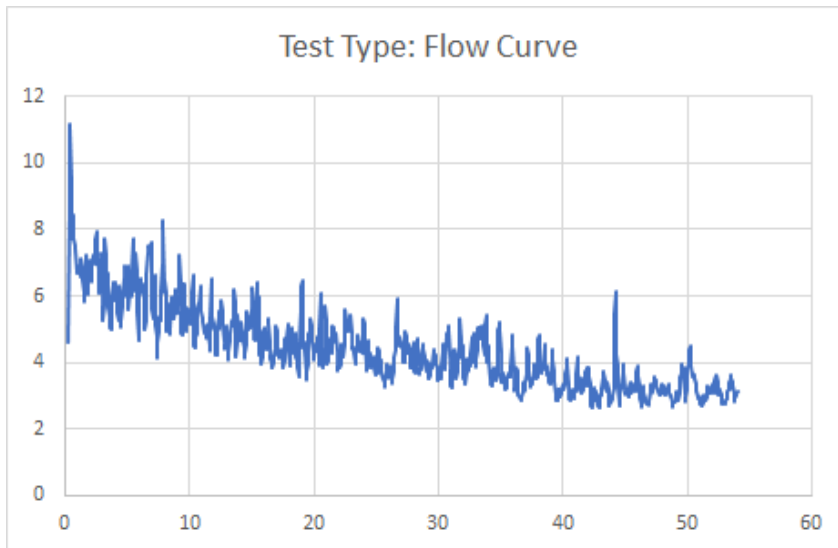


V/C-tall 0,35, 10 minutt, urørt

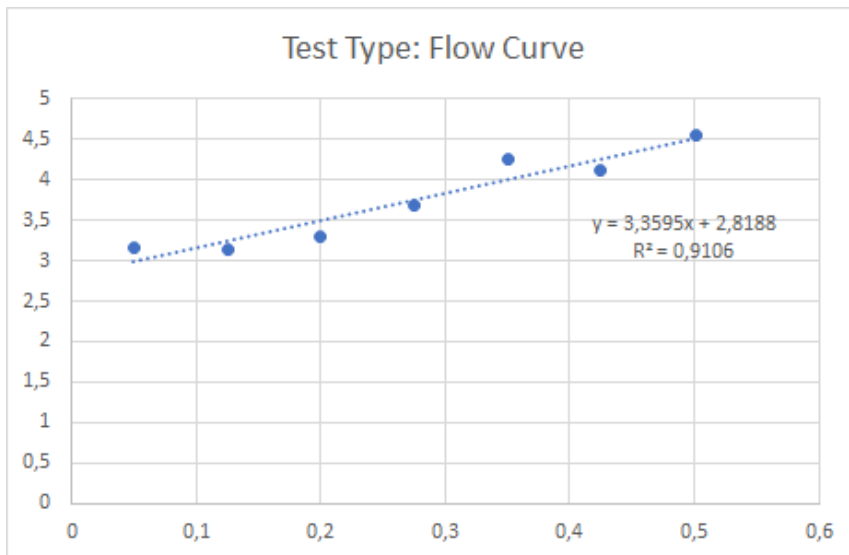
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



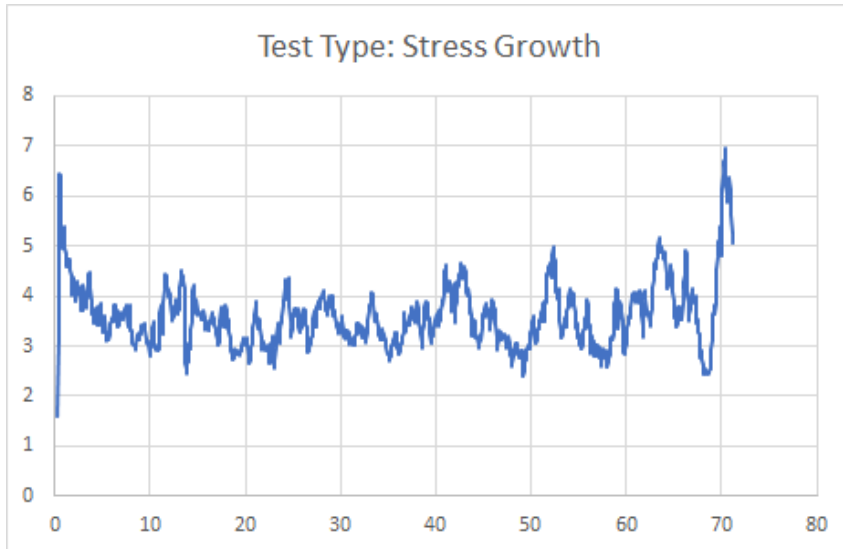
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



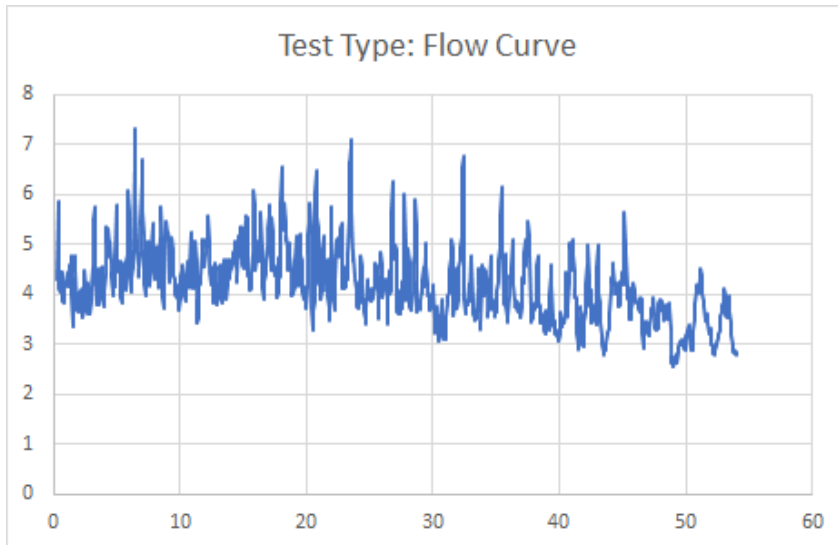
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,35, 30 minutt, rørt

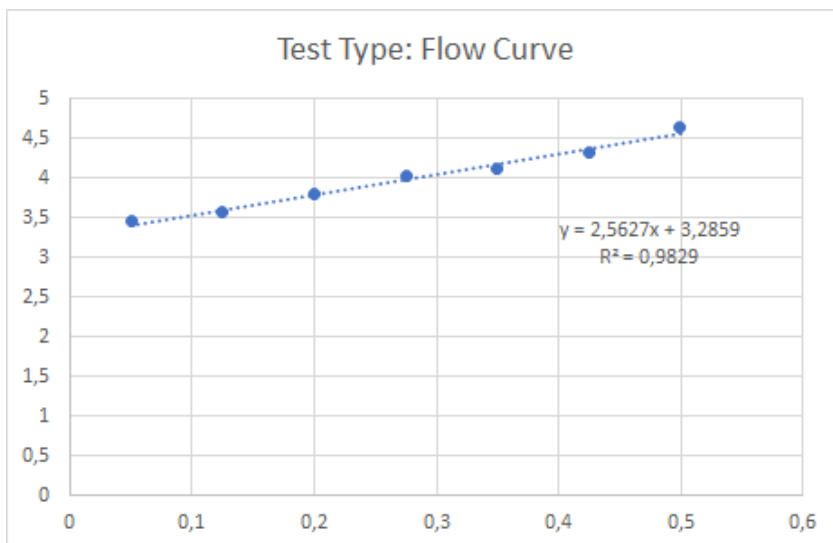
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

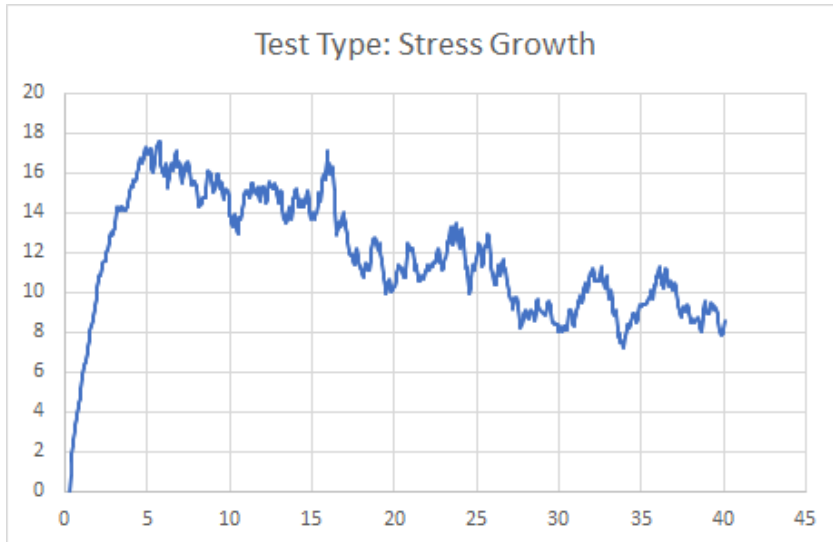


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

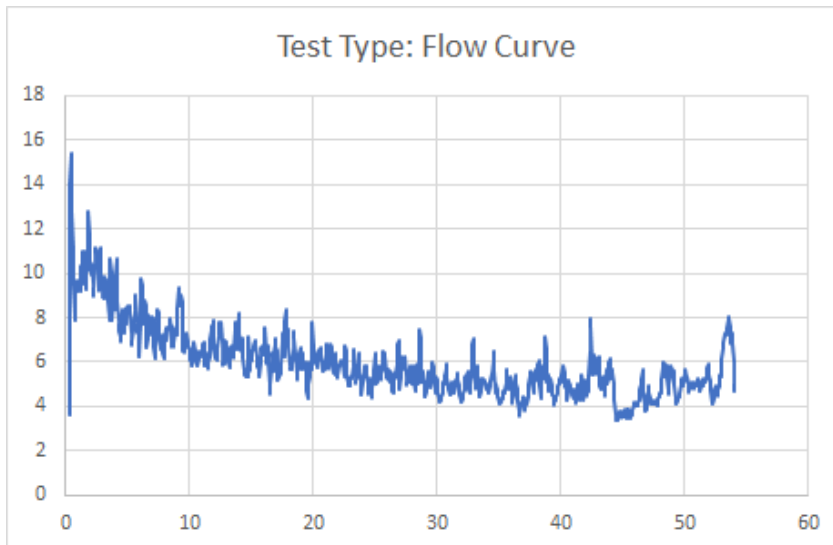


V/C-tall 0,35, 30 minutt, urørt

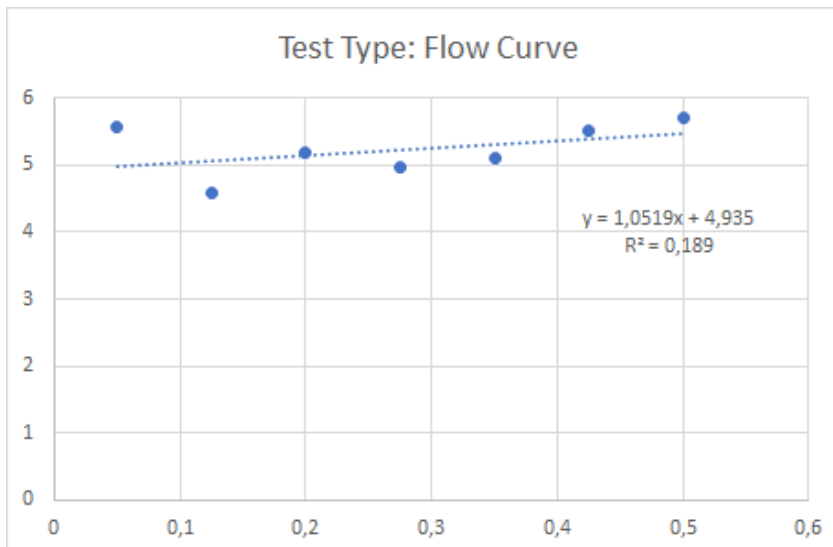
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



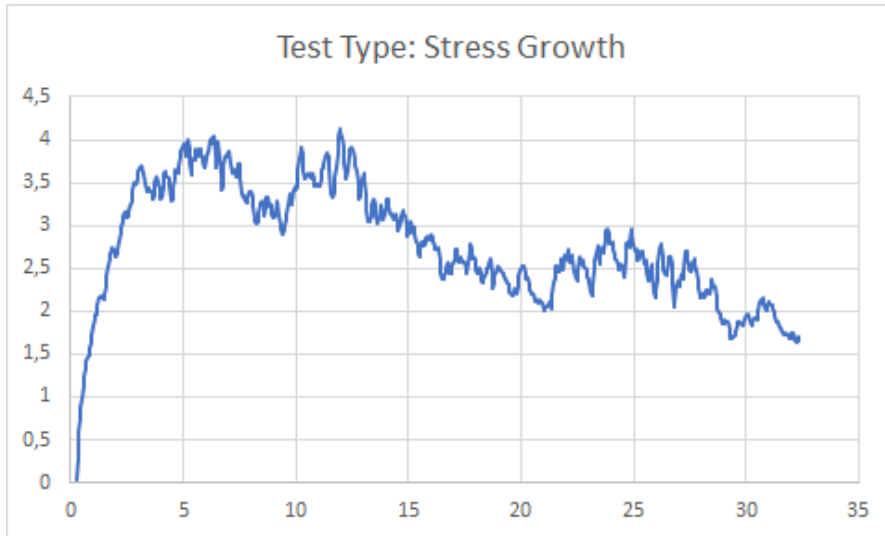
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



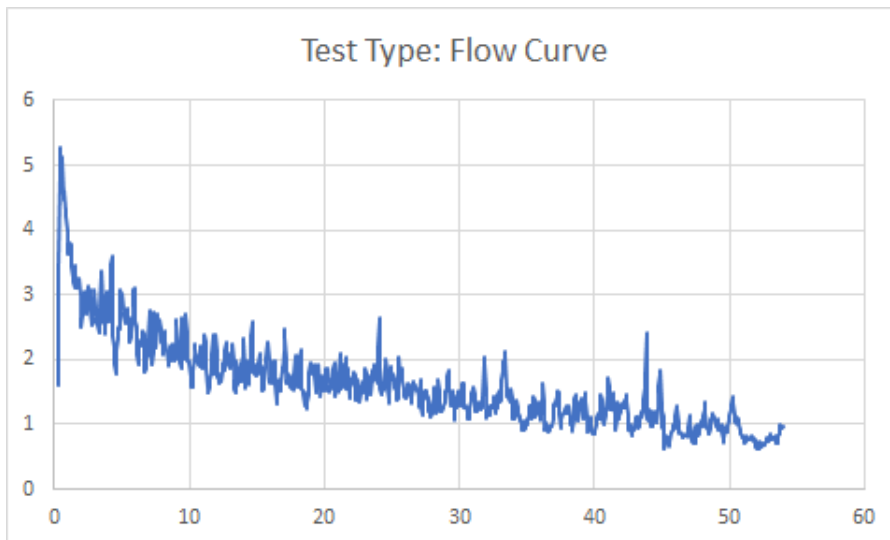
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 0 minutt, urørt

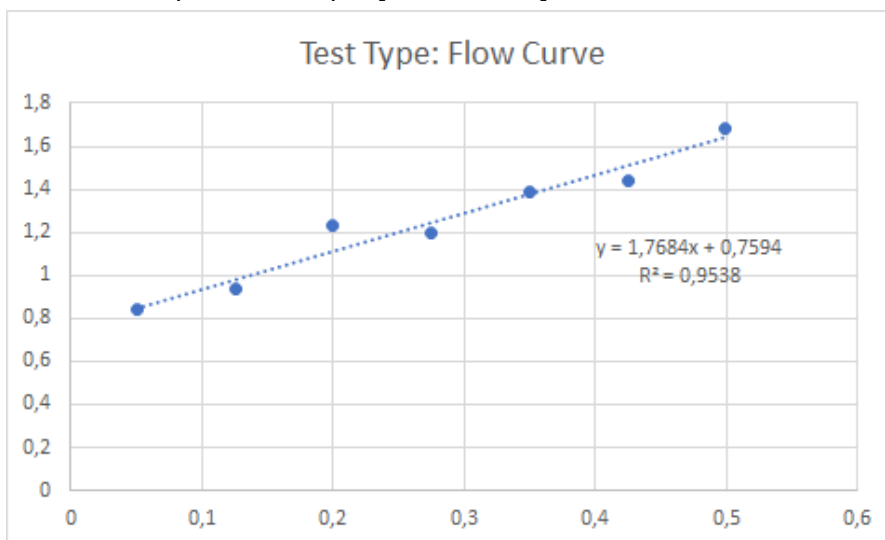
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



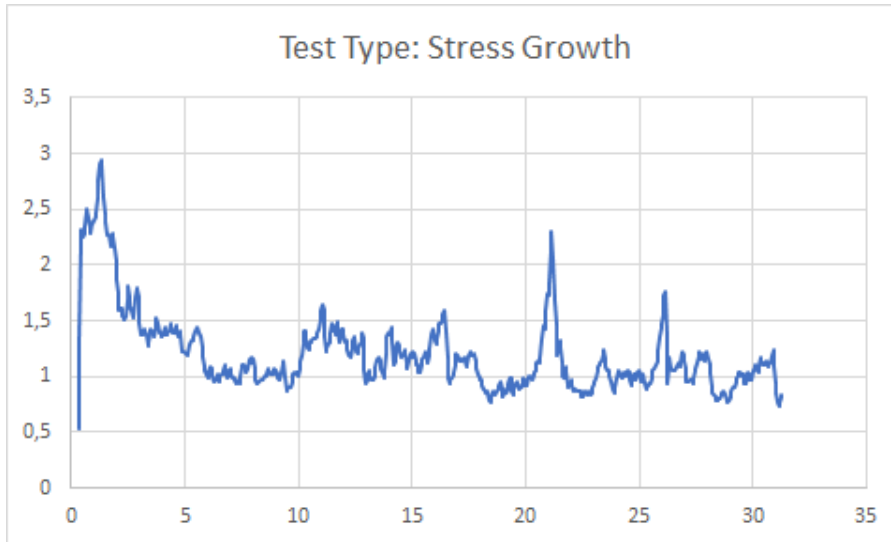
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



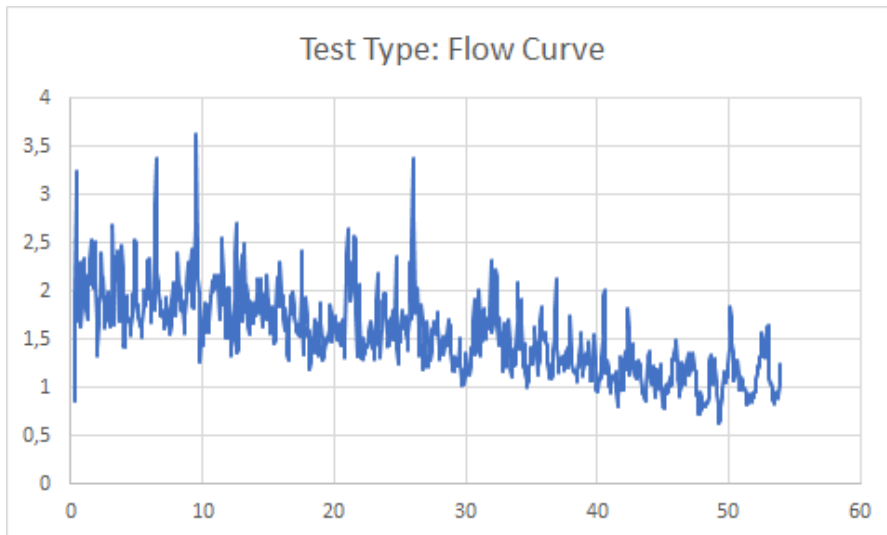
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 10 minutt, rørt

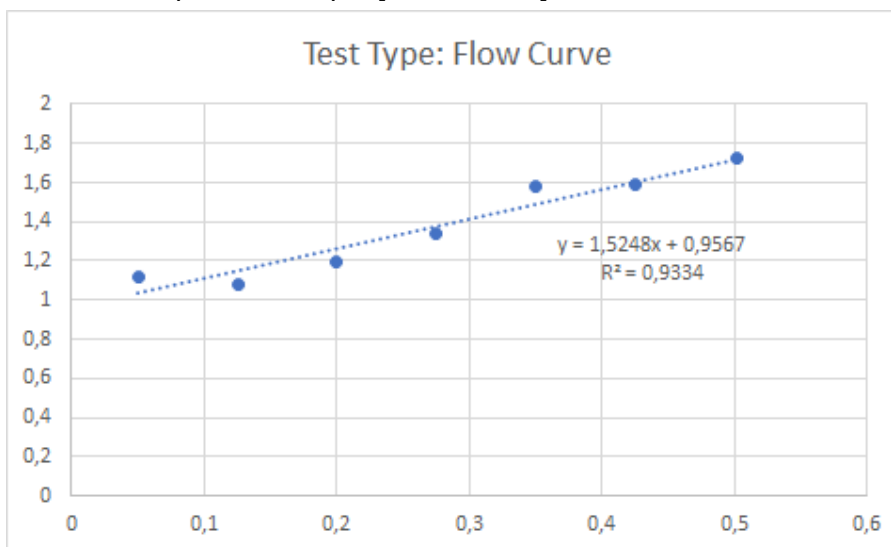
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



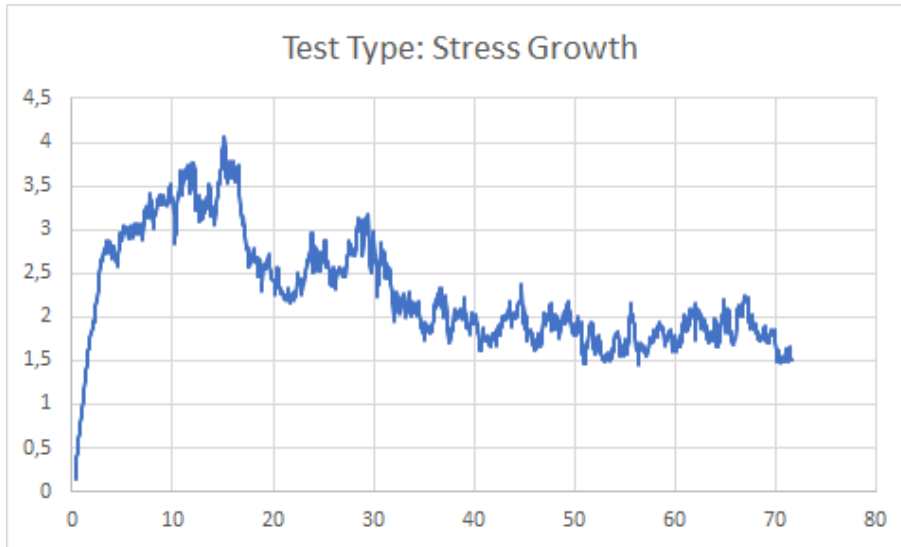
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



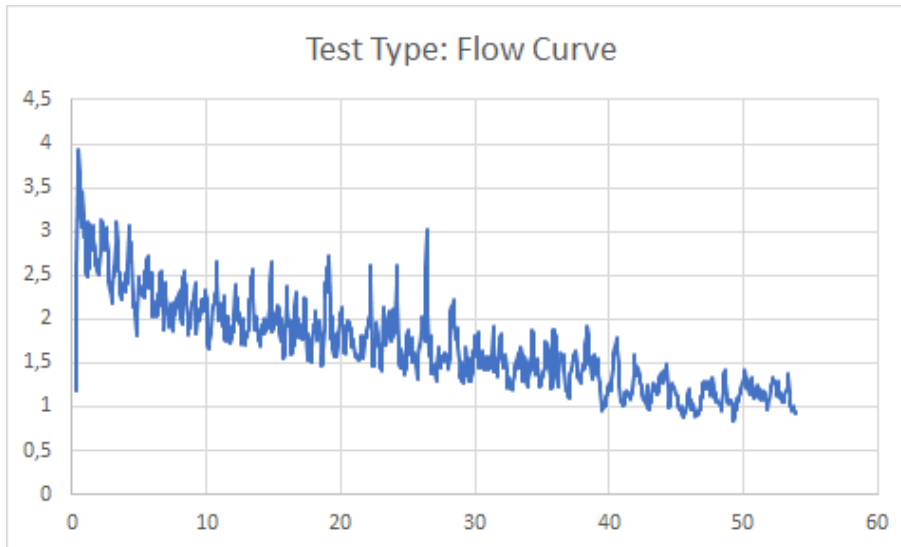
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 10 minutt, urørt

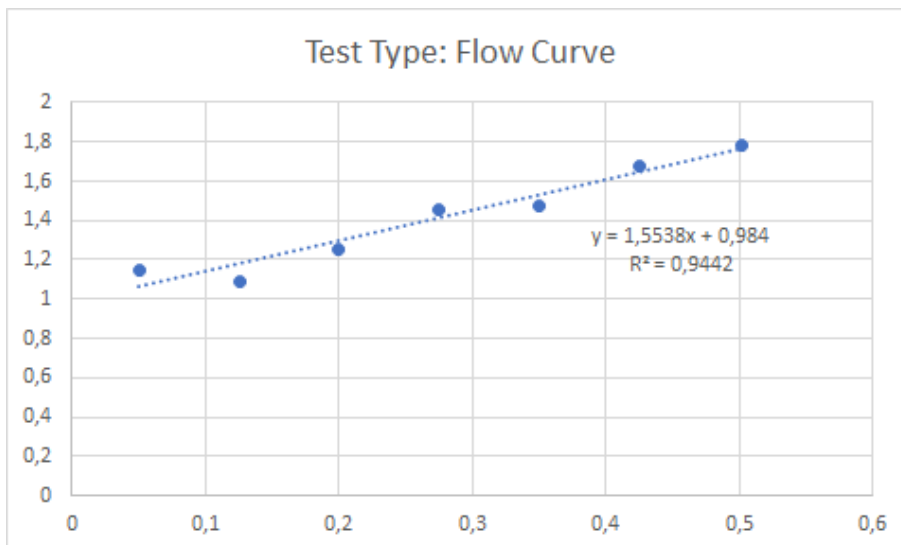
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



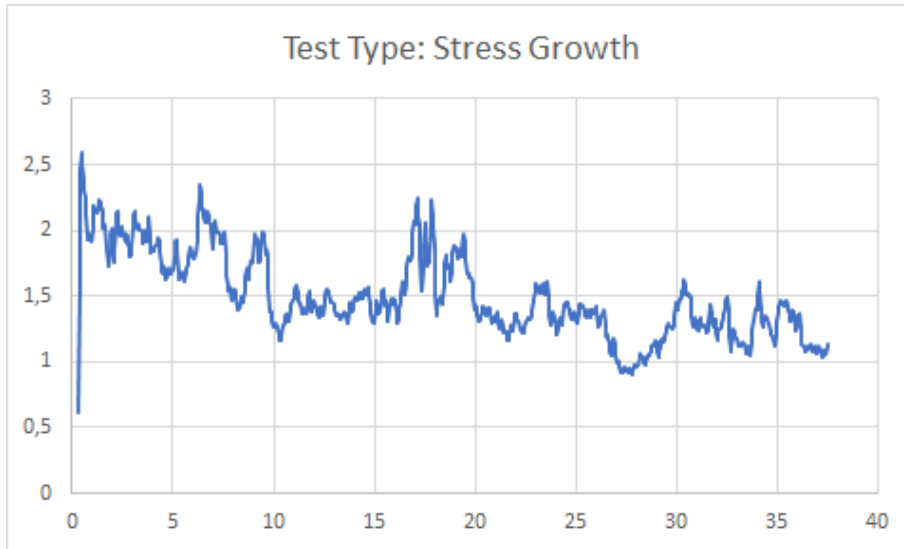
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



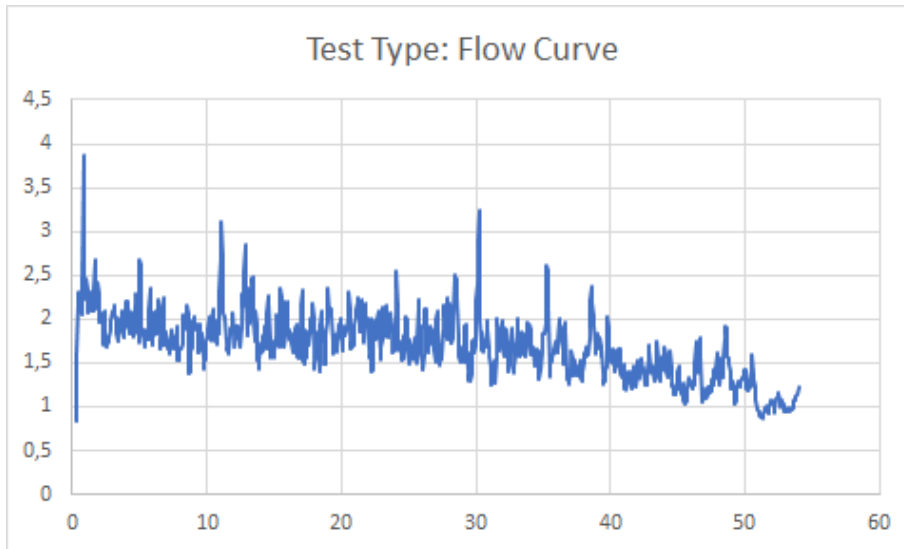
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 30 minutt, rørt

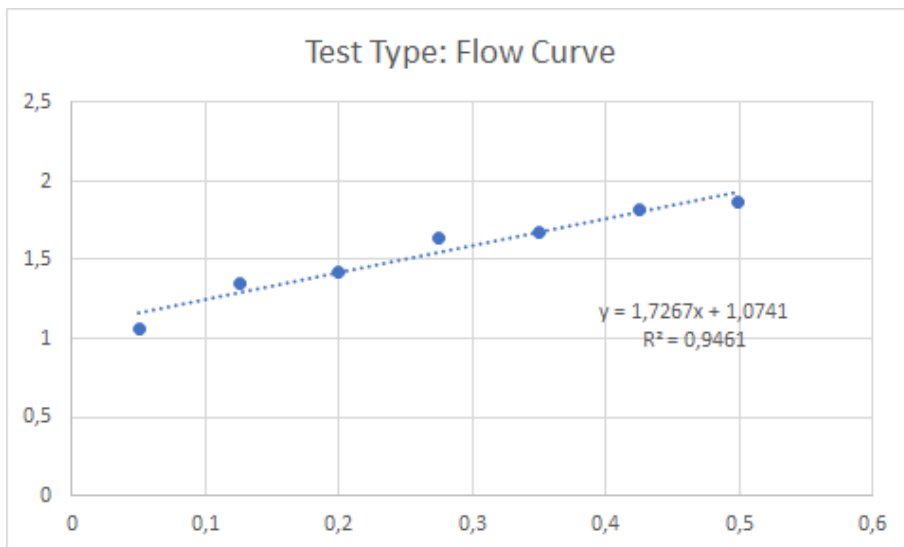
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



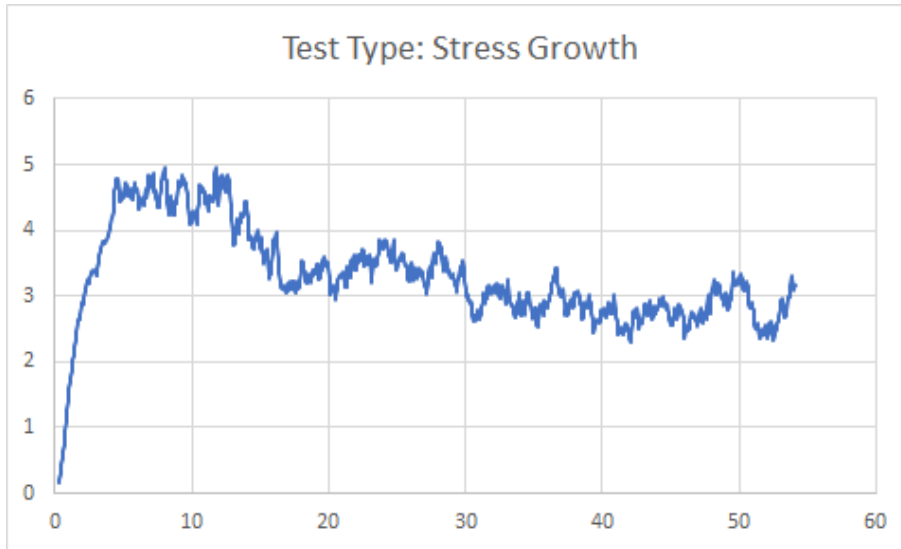
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



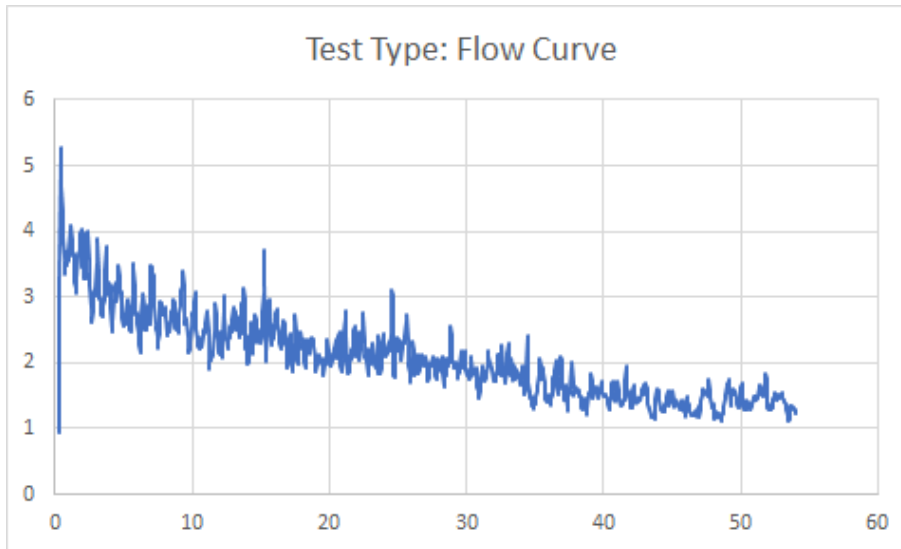
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 30 minutt, urørt

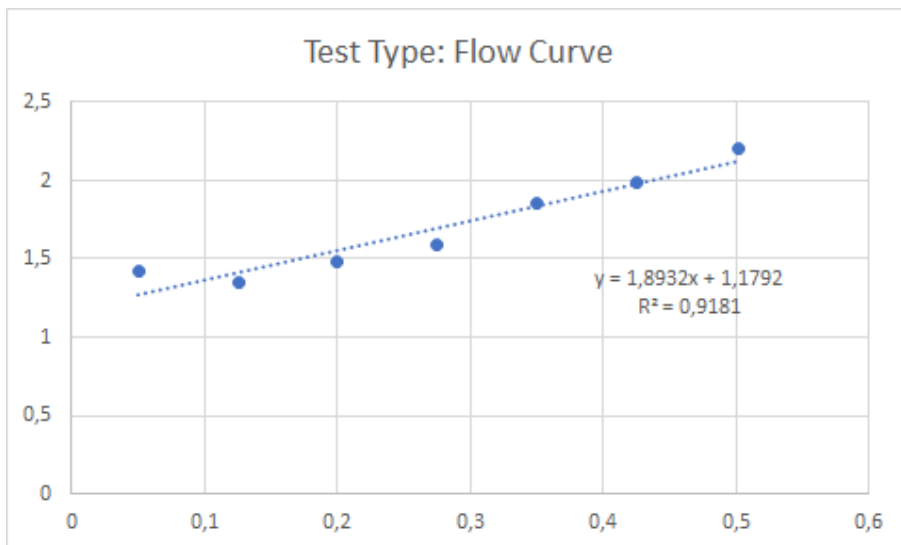
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



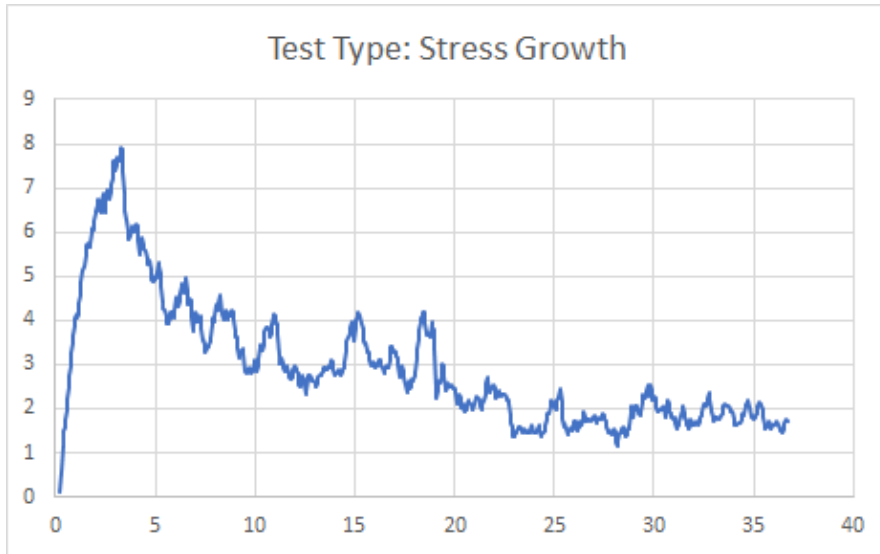
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



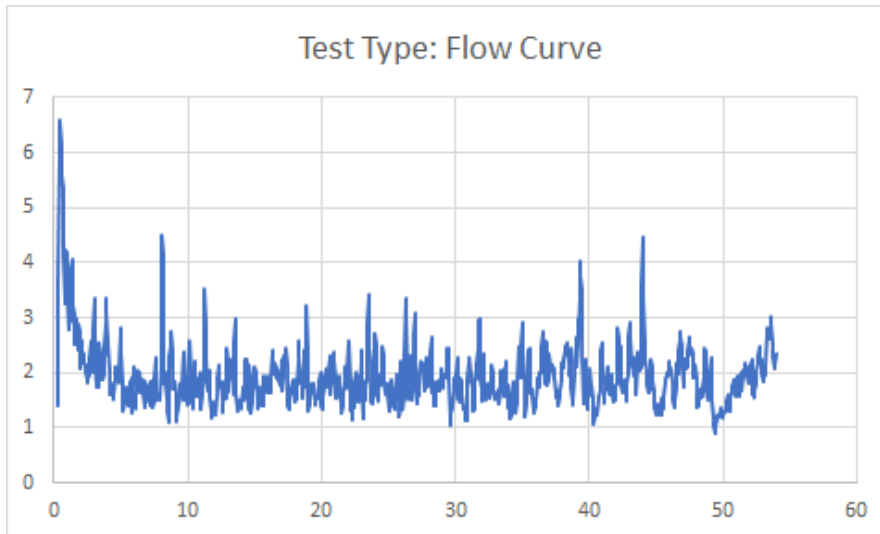
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 0 minutt, urørt

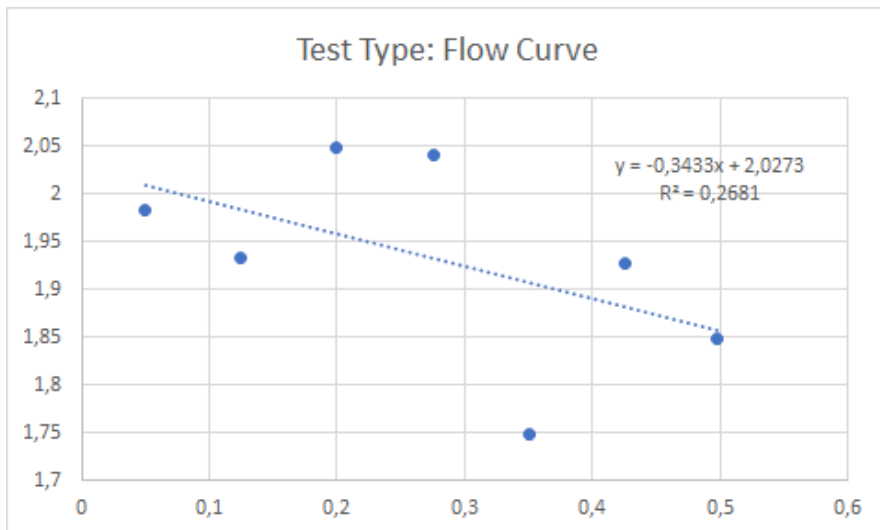
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



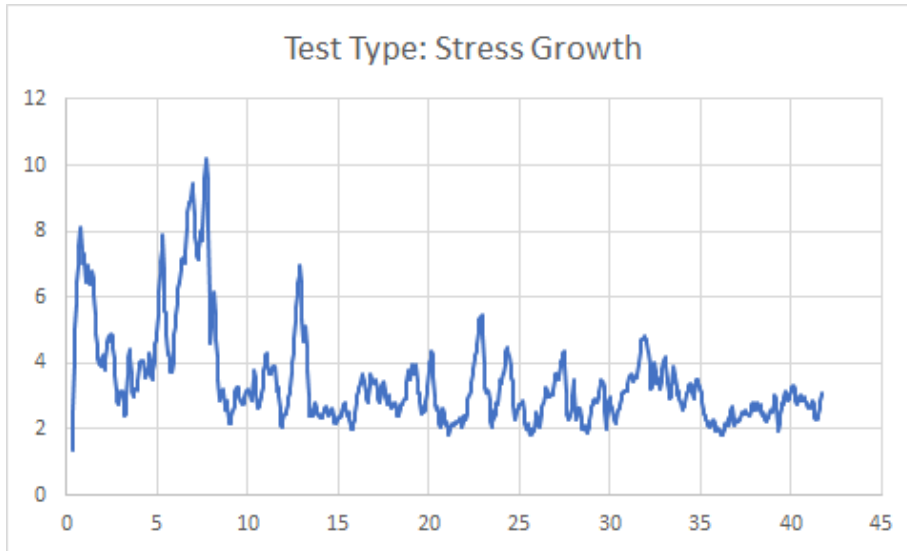
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



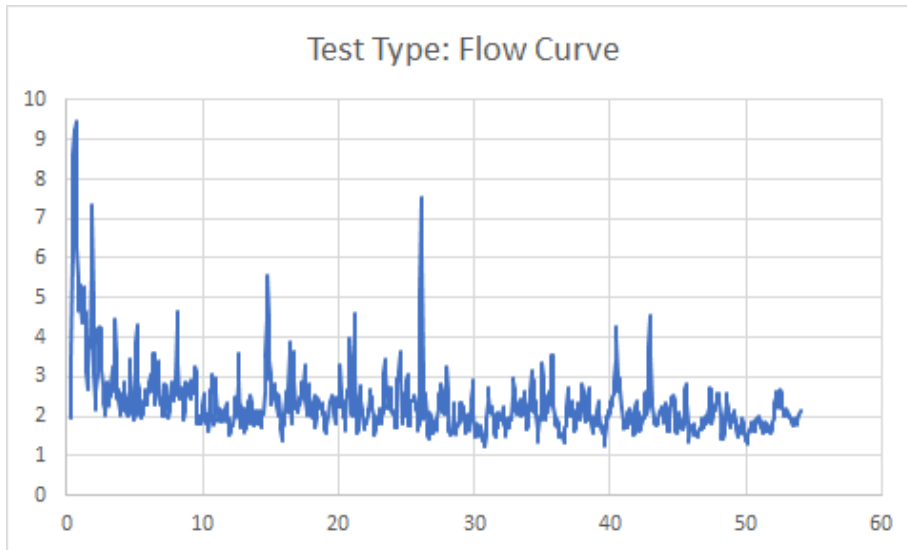
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 10 minutt, rørt

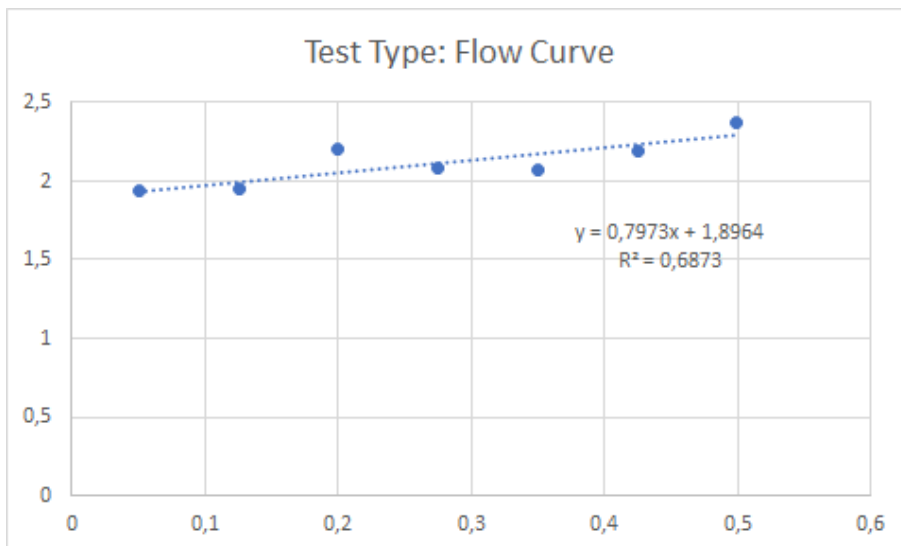
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



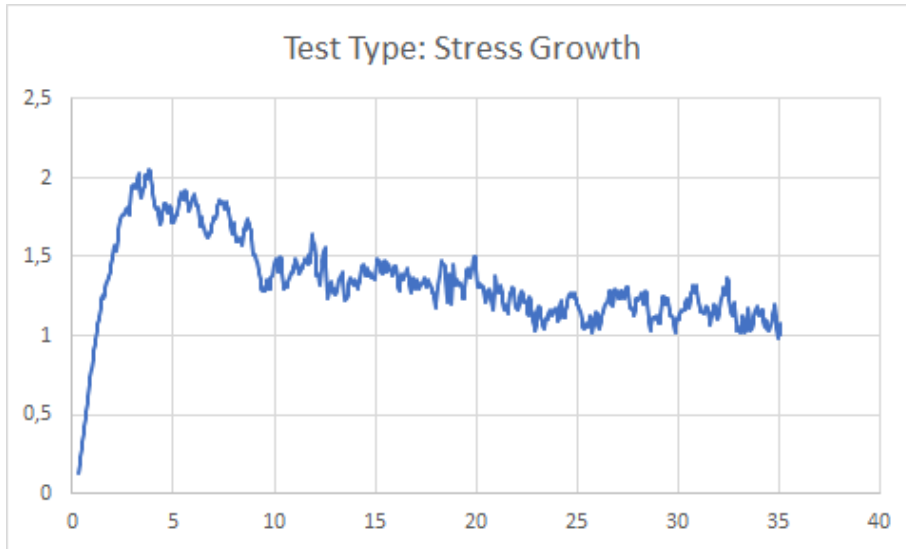
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



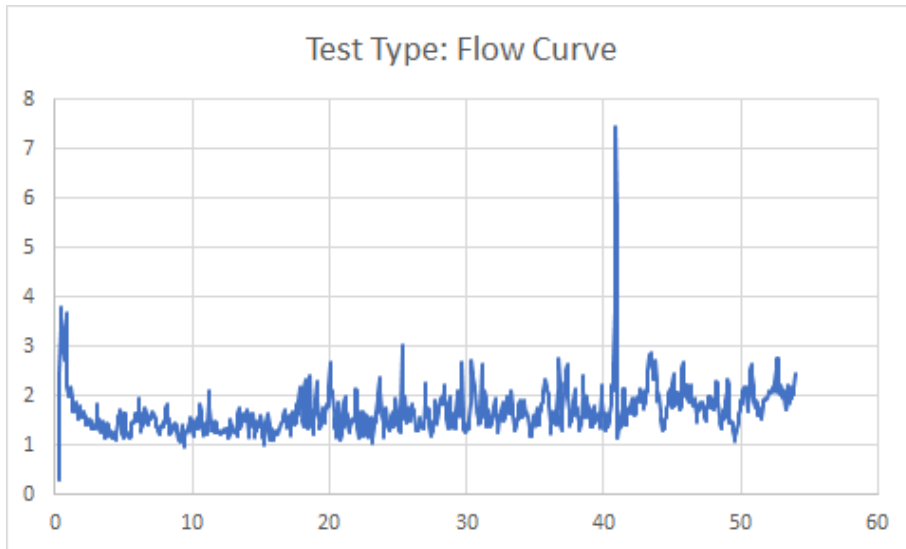
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 10 minutt, urørt

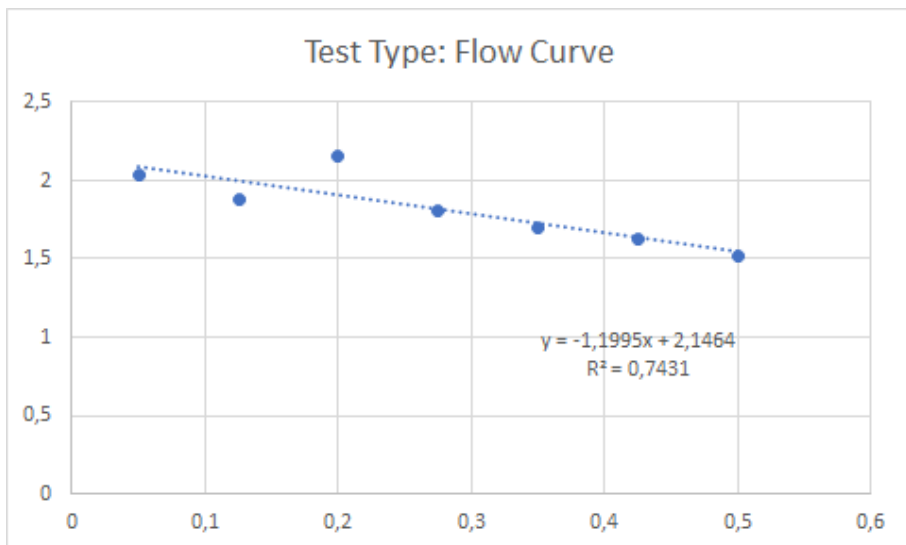
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



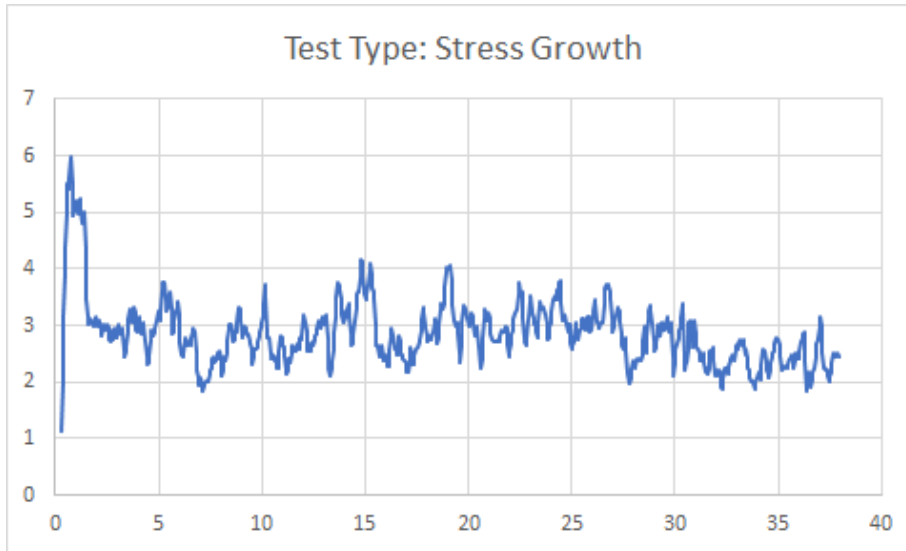
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



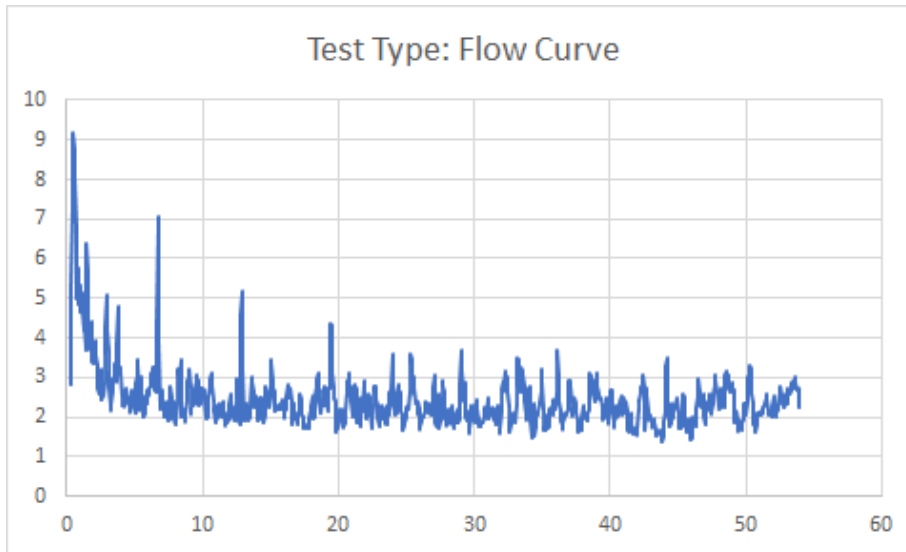
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 30 minutt, rørt

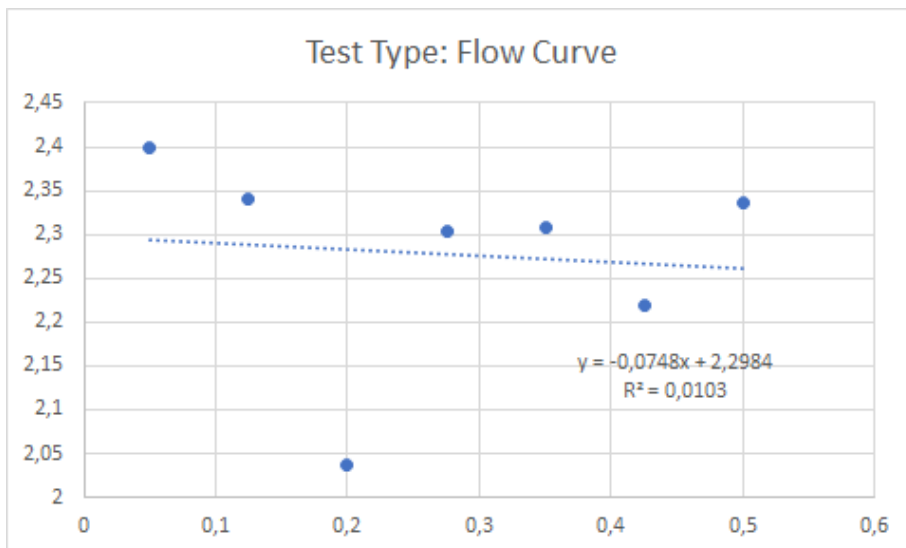
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



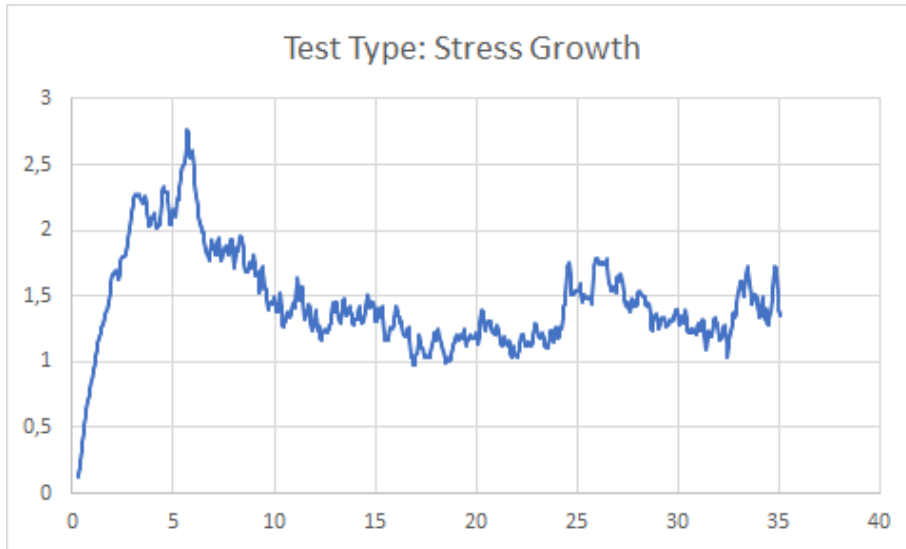
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



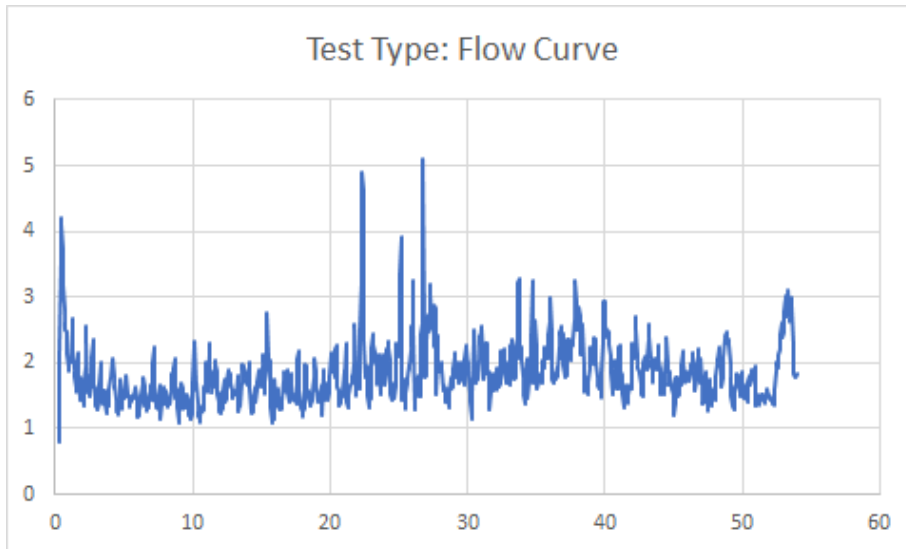
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 30 minutt, urørt

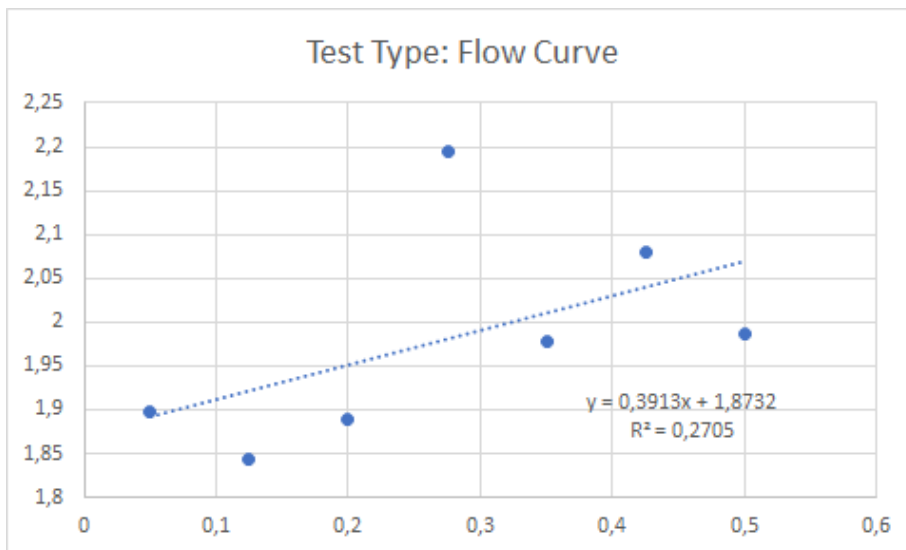
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



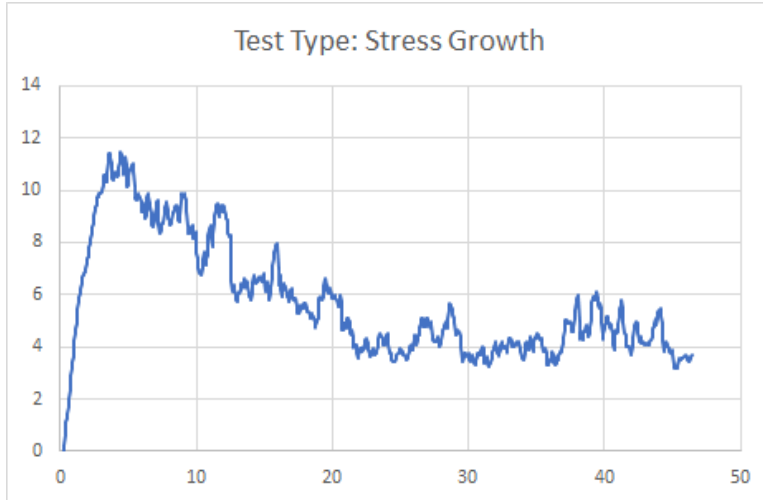
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



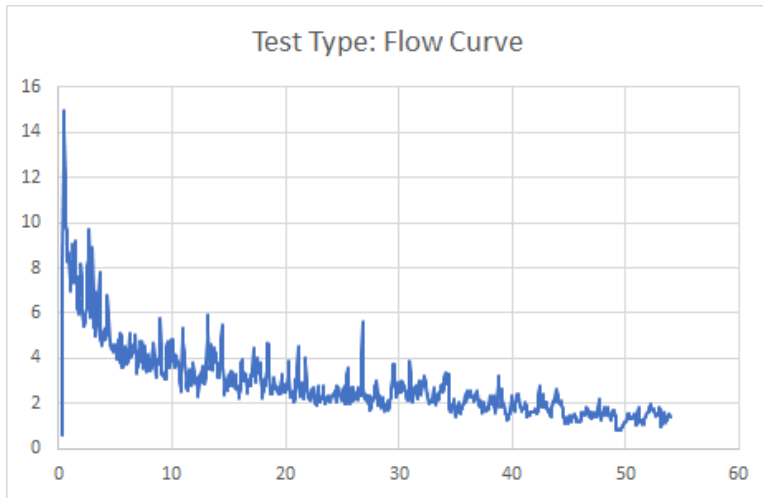
9.2.7 - 320 matriksvolum, 6 % SF, tilpasset SP

V/C-tall 0,35, 0 minutt, urørt

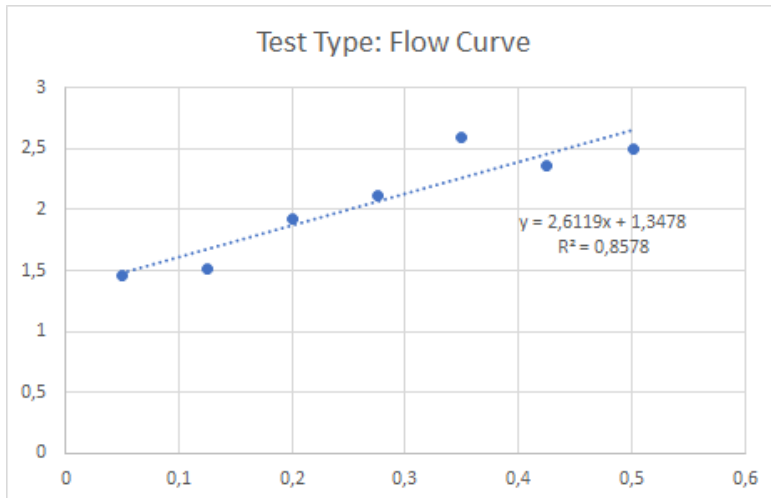
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



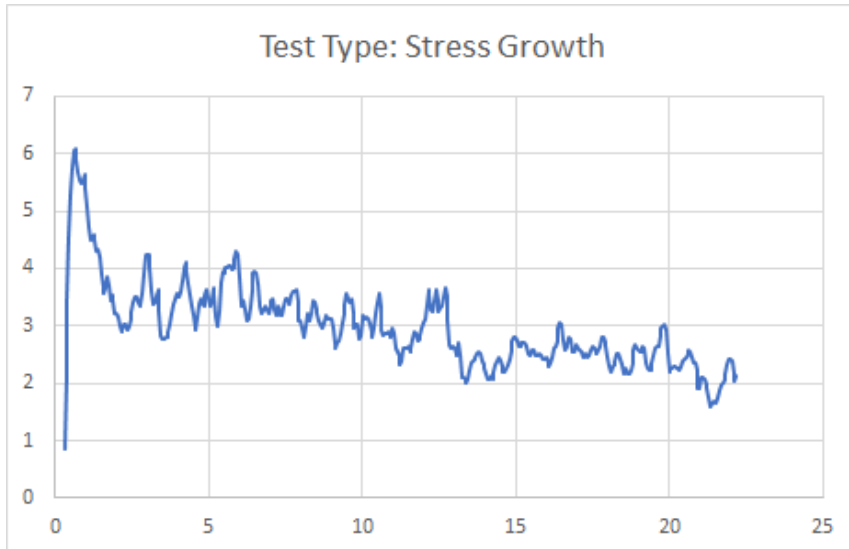
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



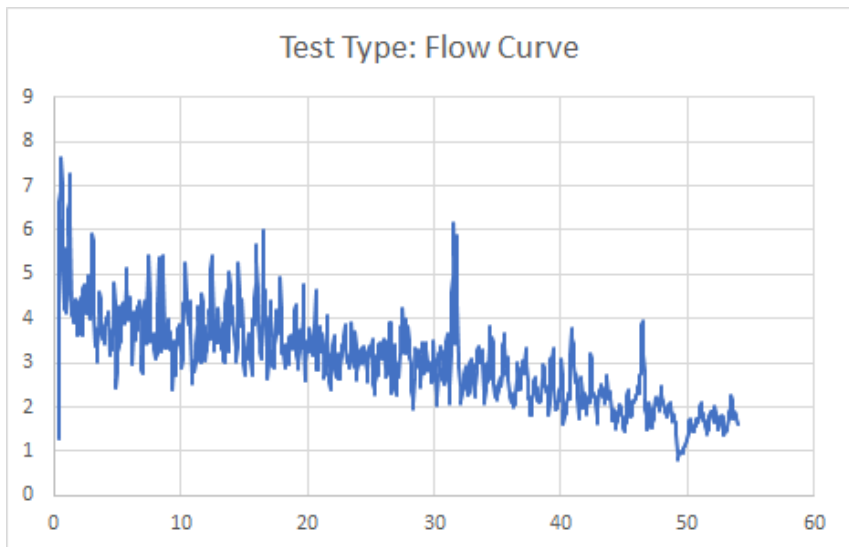
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,35, 10 minutt, rørt

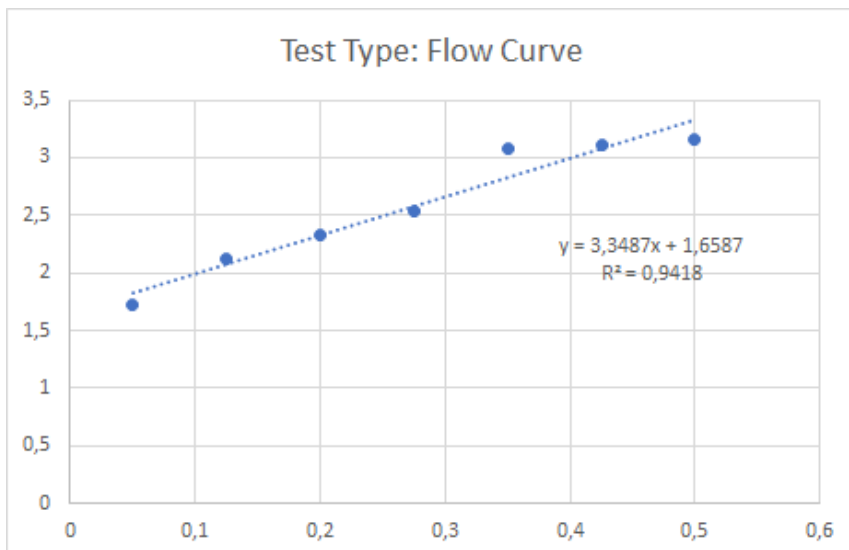
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



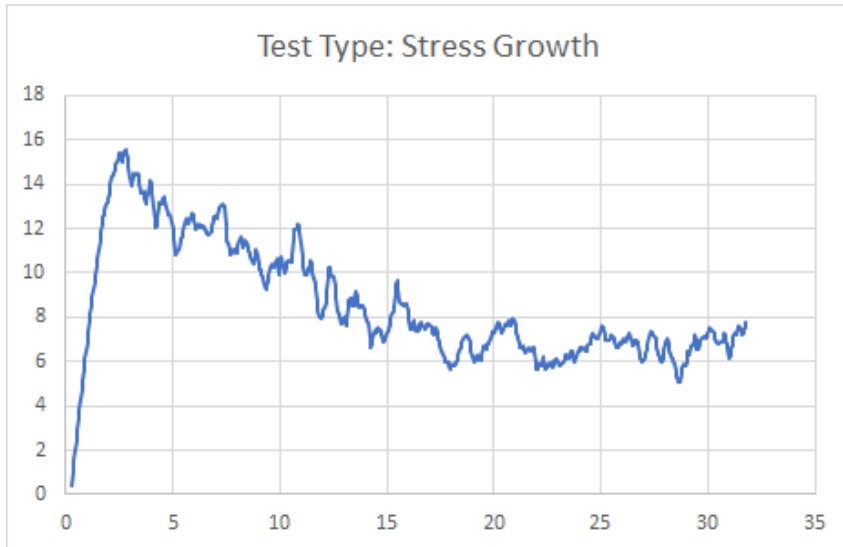
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



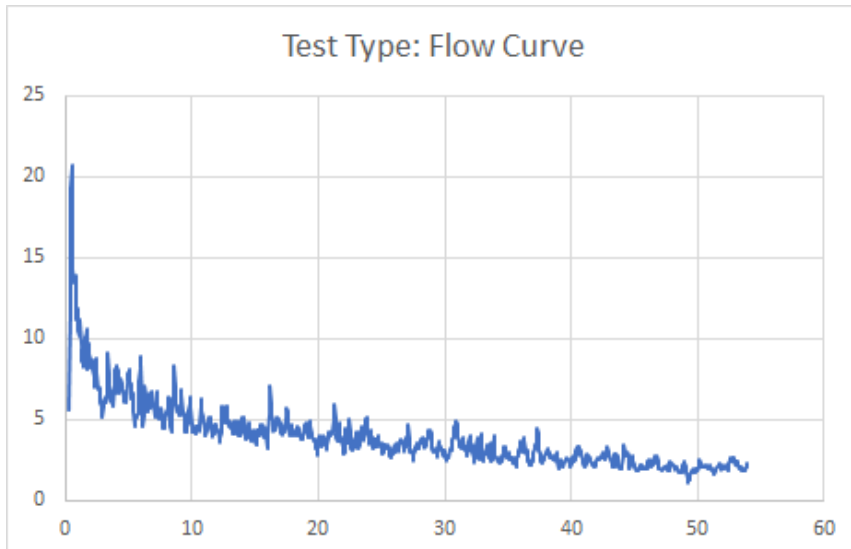
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,35, 10 minutt, urørt

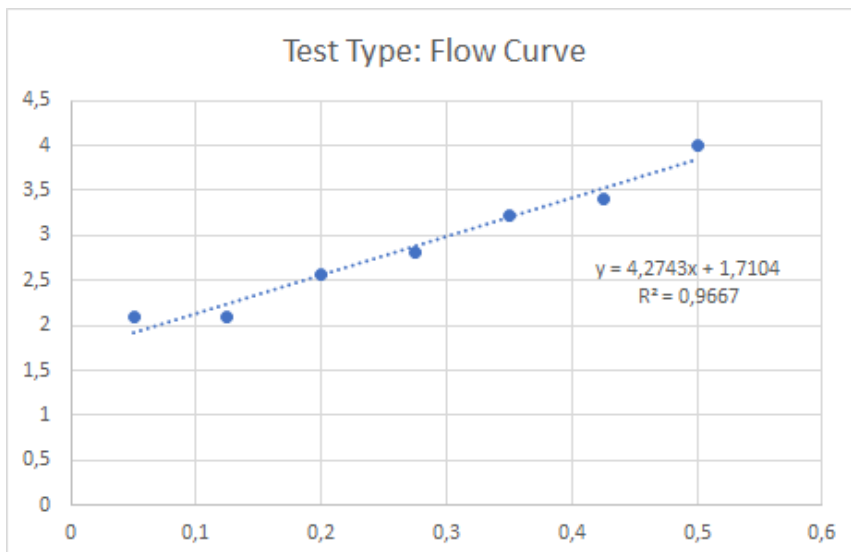
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

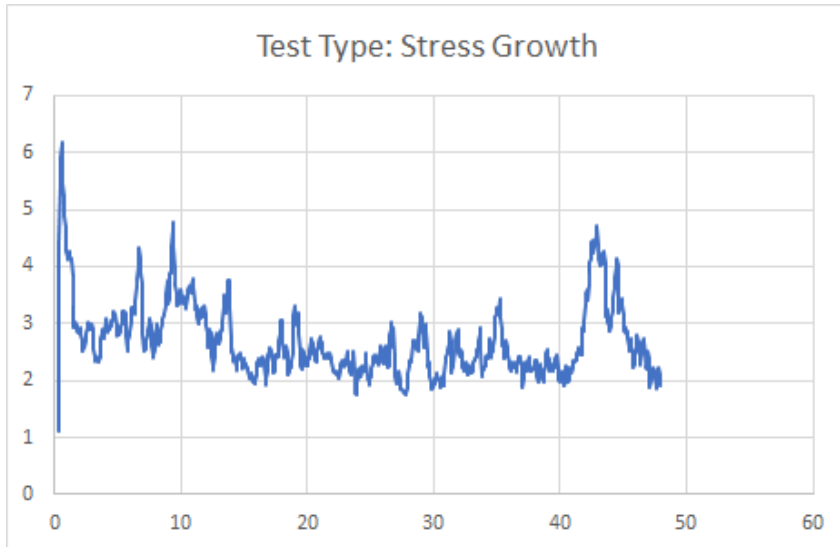


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

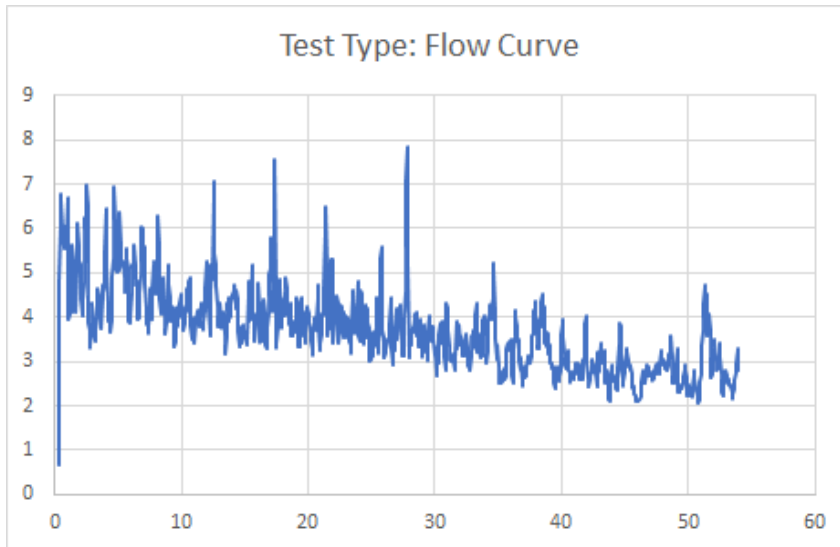


V/C-tall 0,35, 30 minutt, rørt

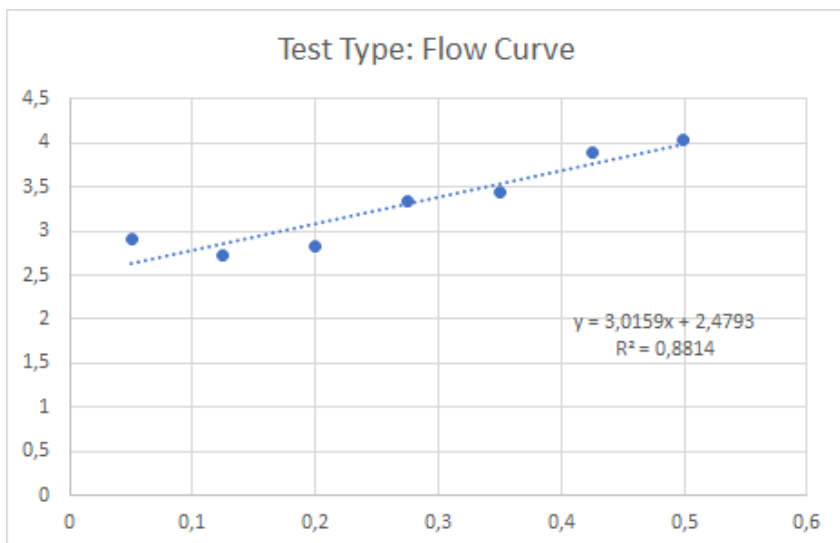
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

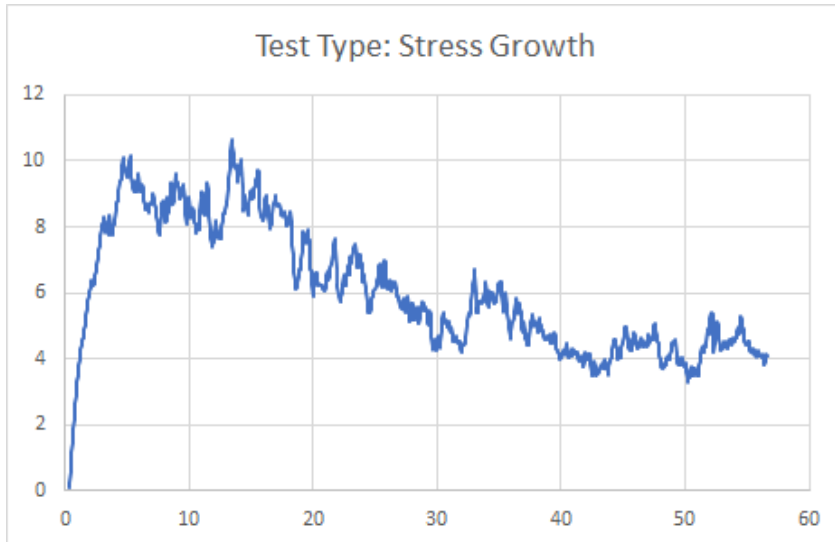


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

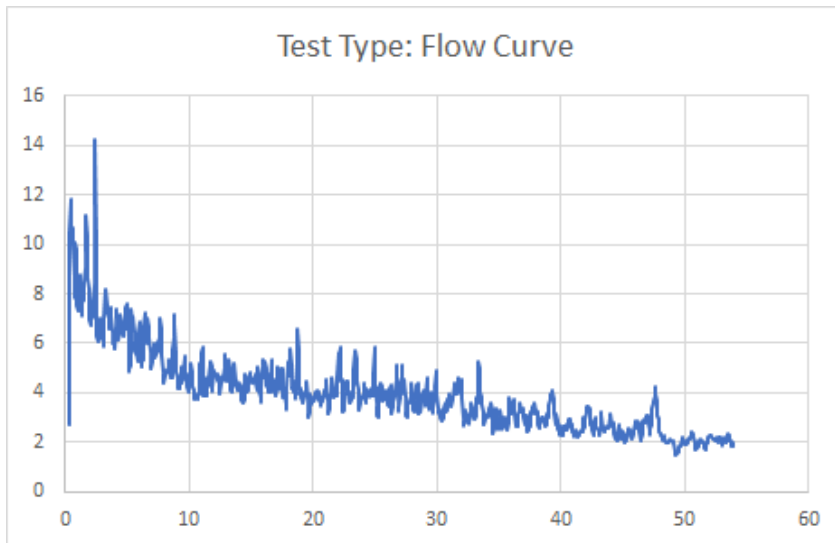


V/C-tall 0,35, 30 minutt, urørt

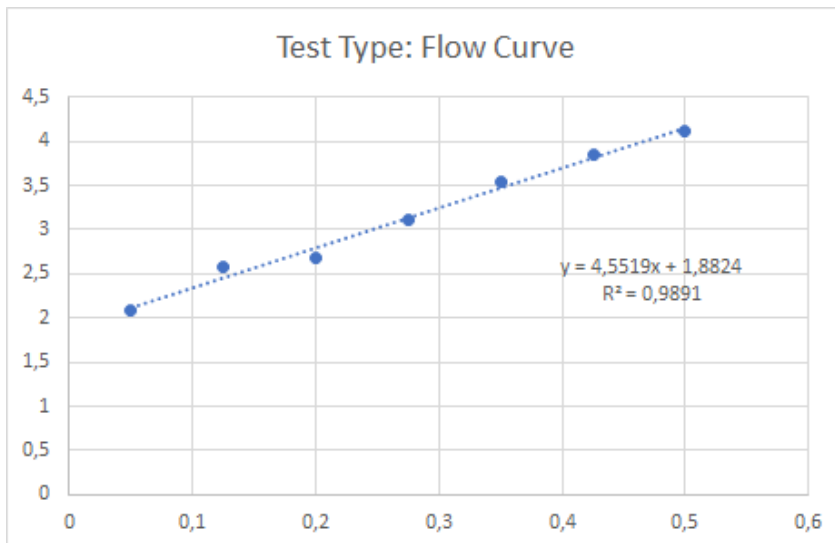
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



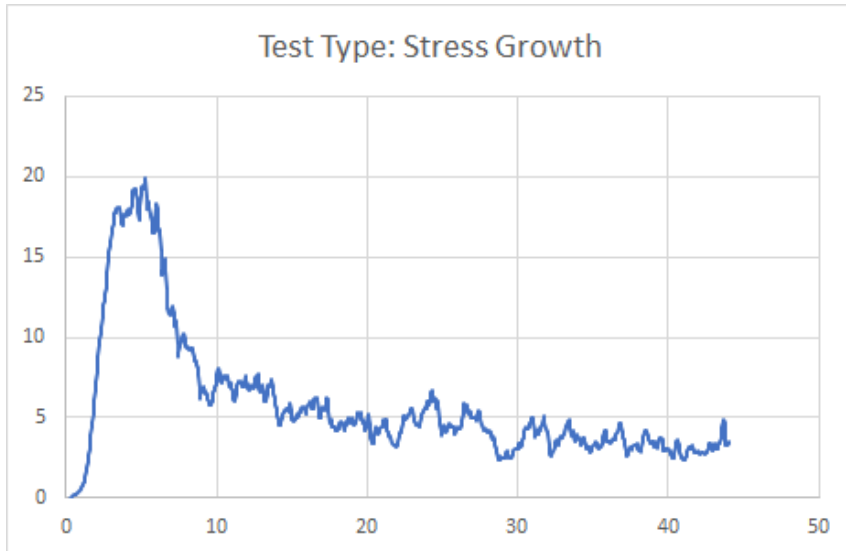
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



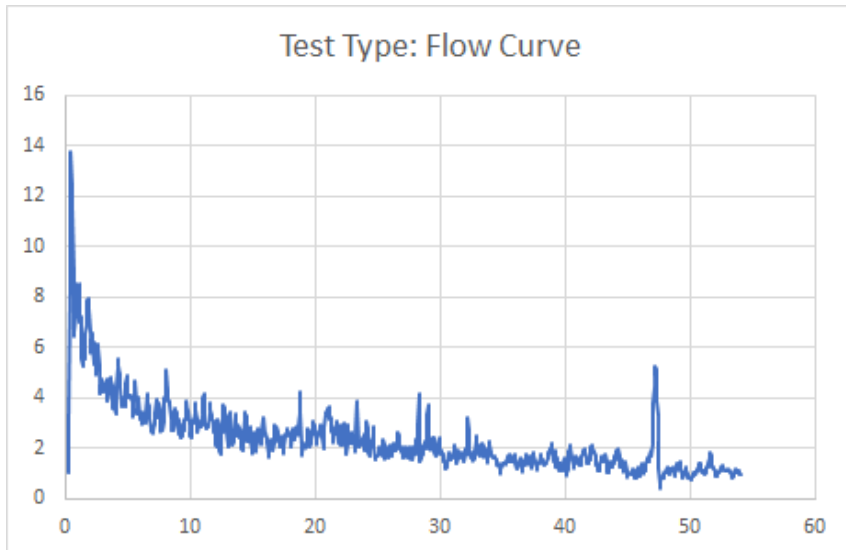
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 0 minutt, urørt

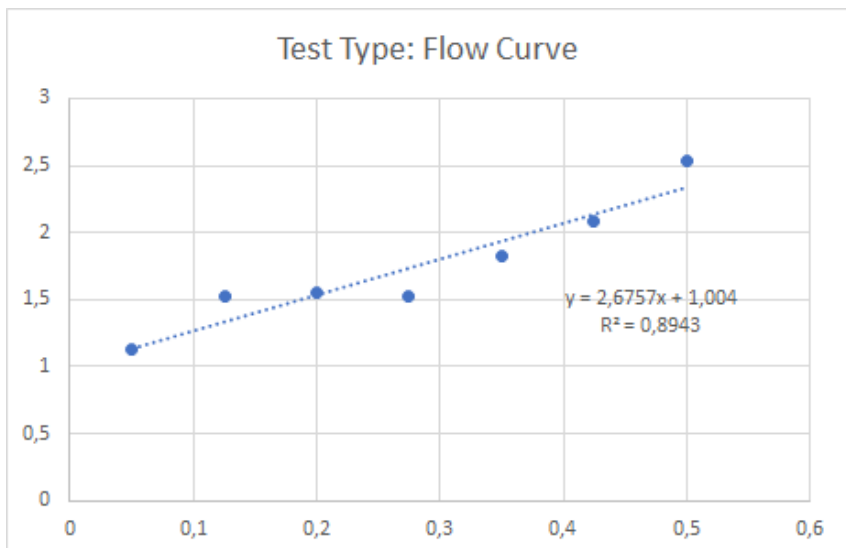
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

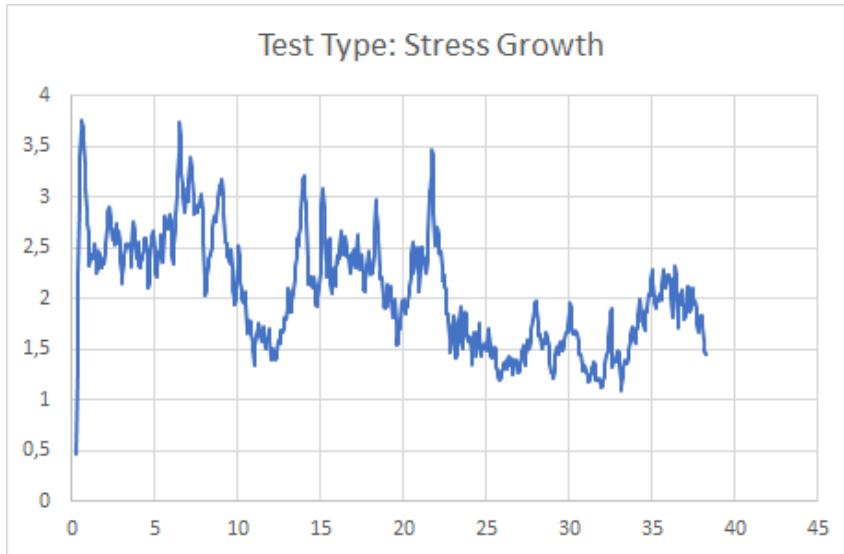


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

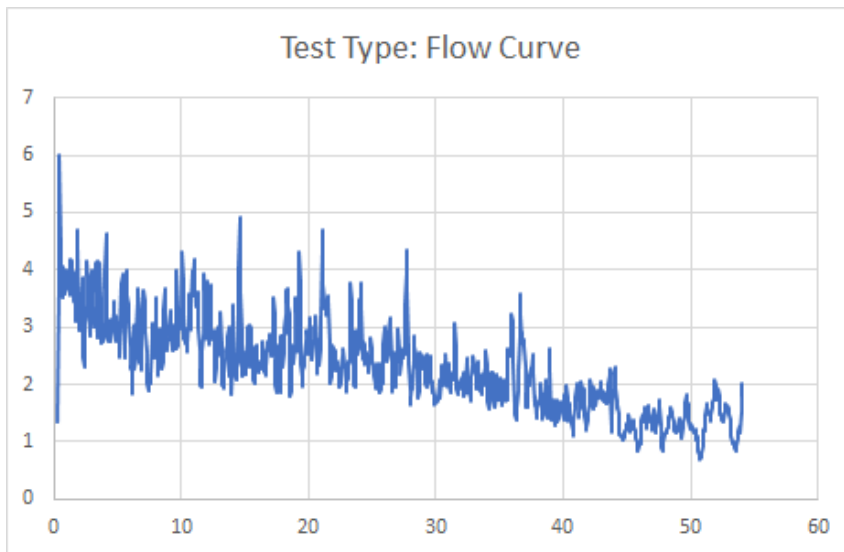


V/C-tall 0,40, 10 minutt, rørt

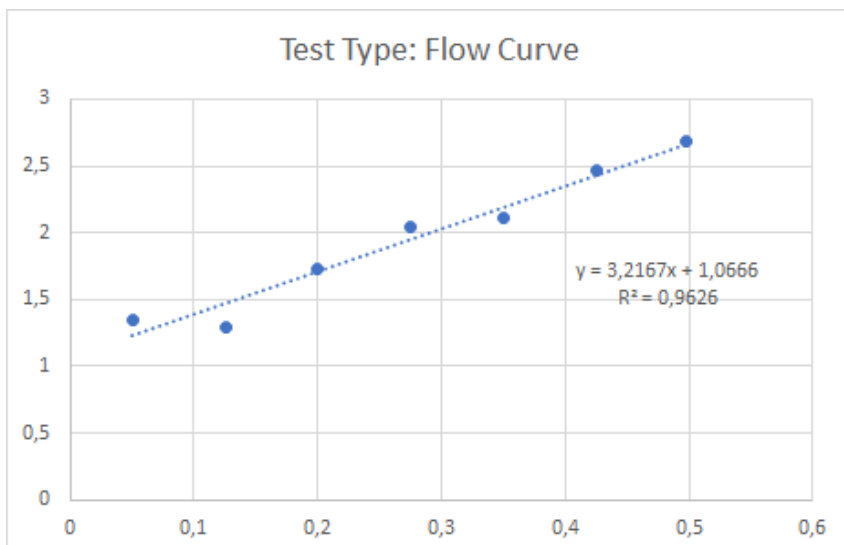
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



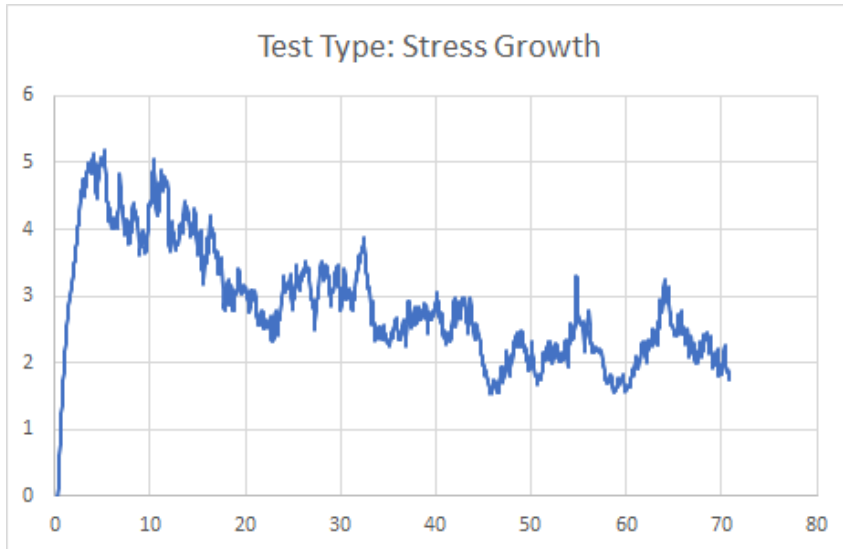
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



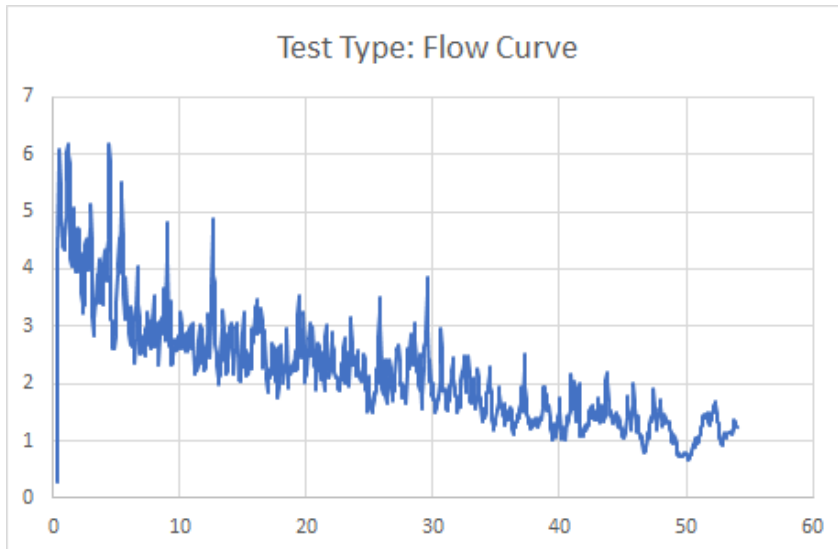
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 10 minutt, urørt

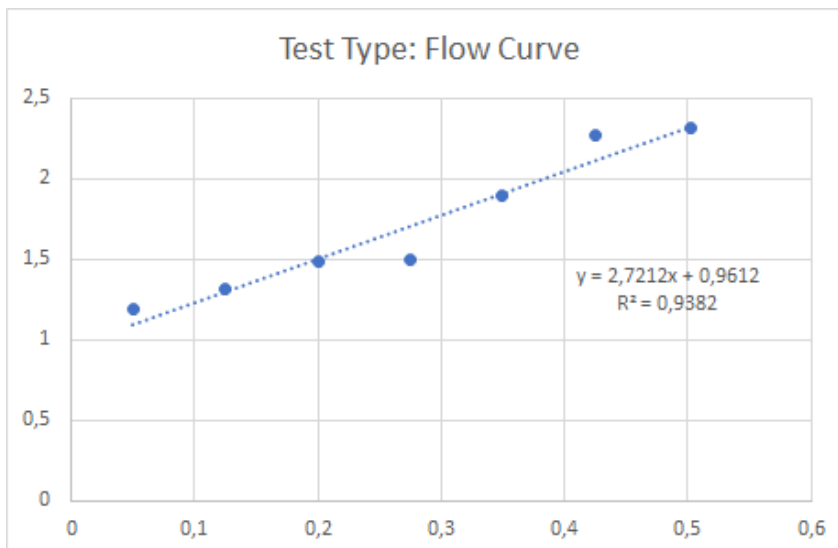
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

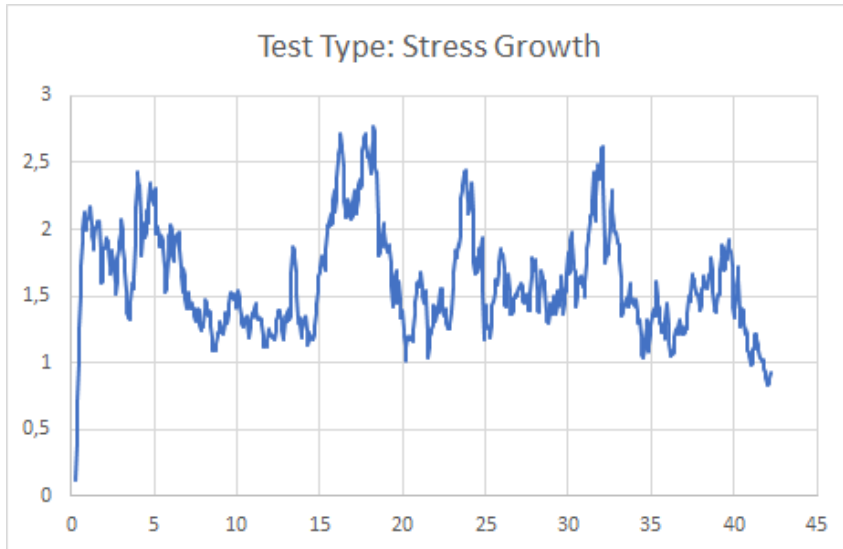


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

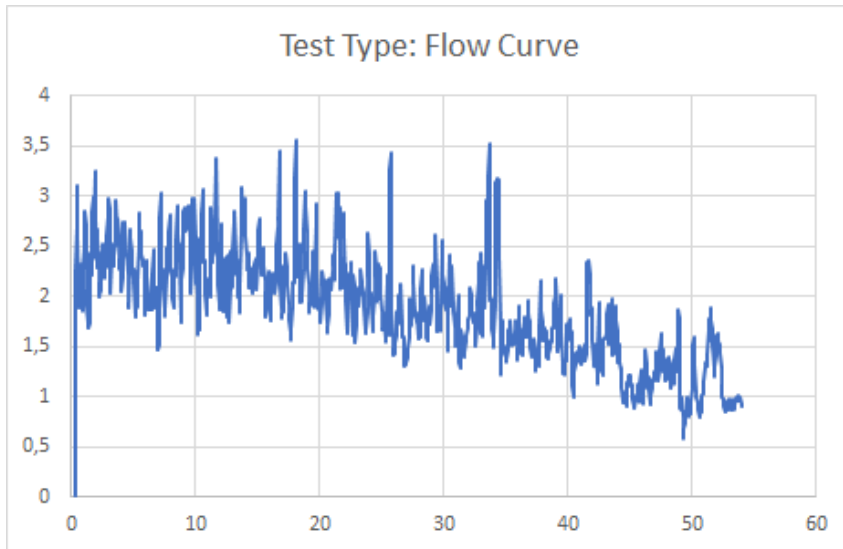


V/C-tall 0,40, 30 minutt, rørt

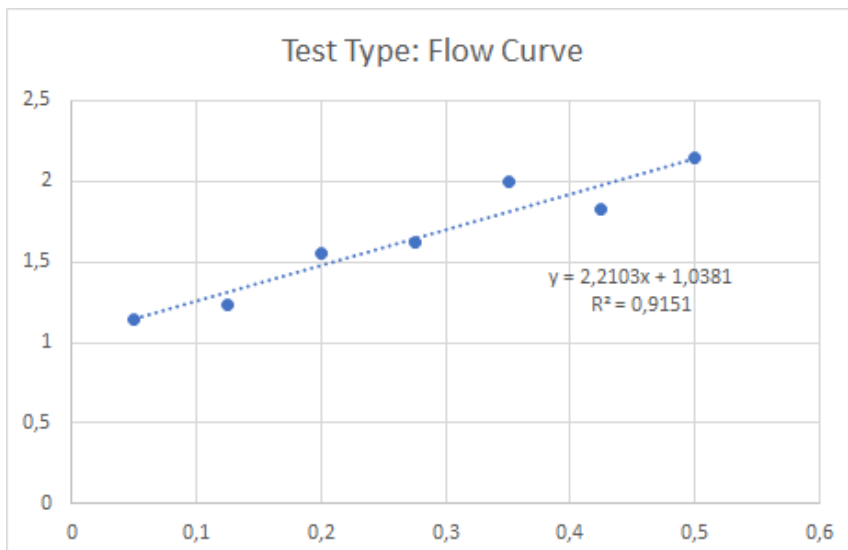
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



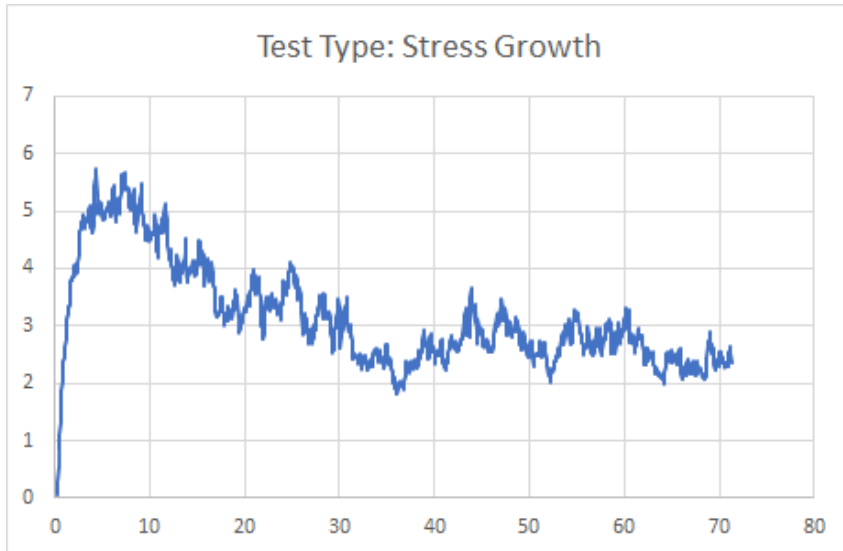
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



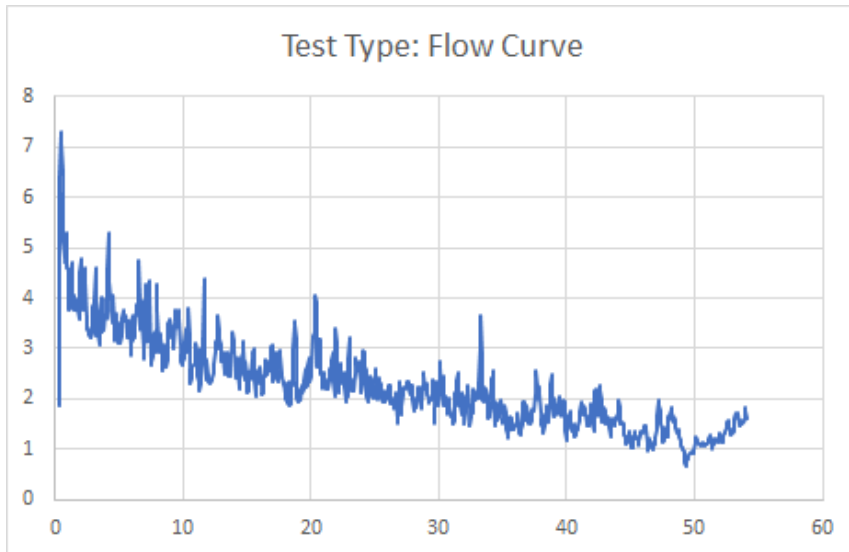
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 30 minutt, urørt

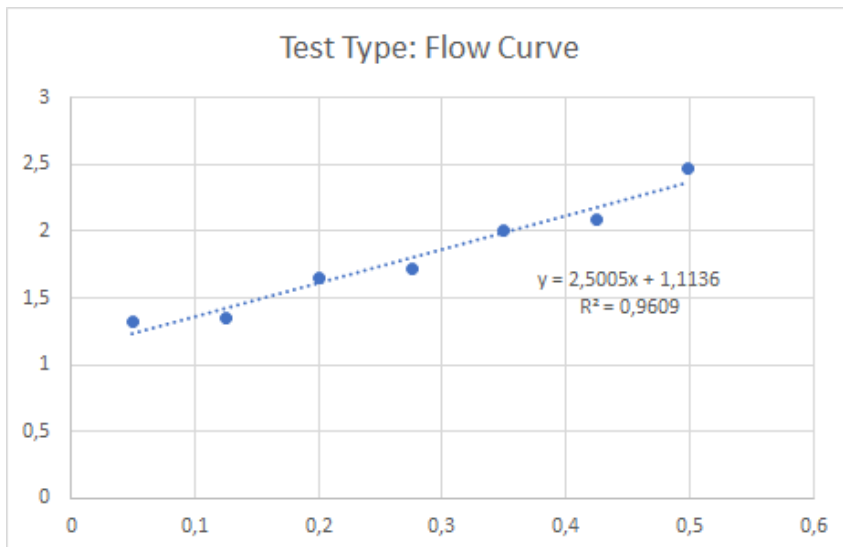
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

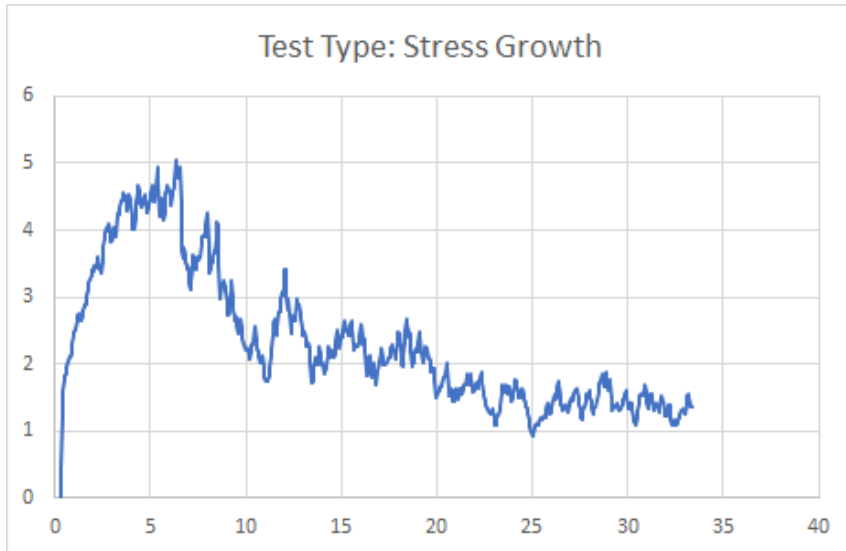


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

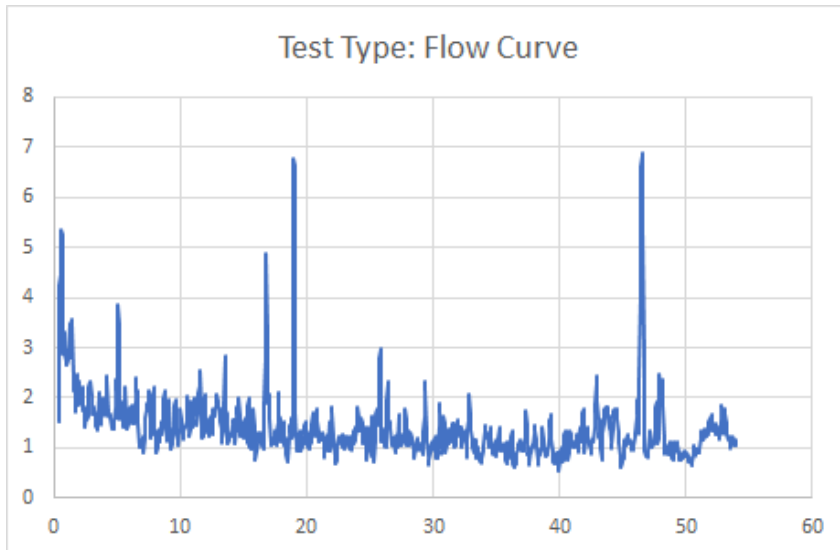


V/C-tall 0,60, 0 minutt, urørt

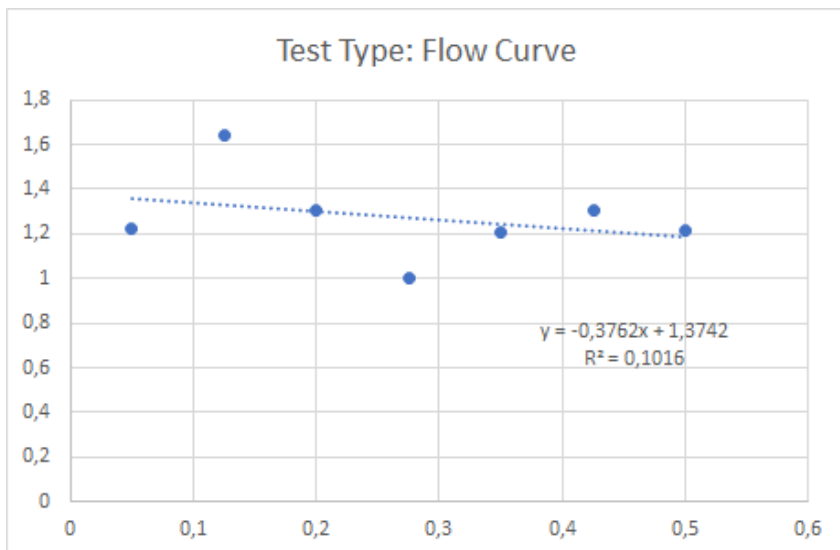
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

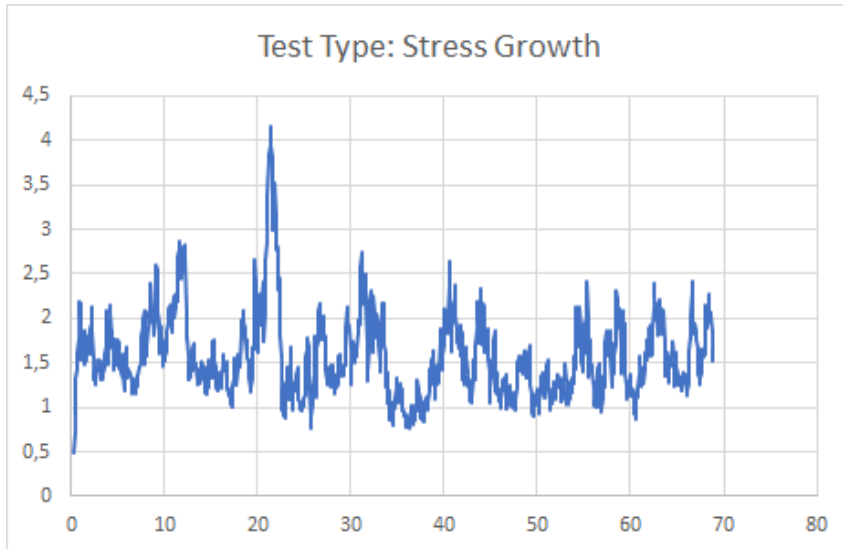


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

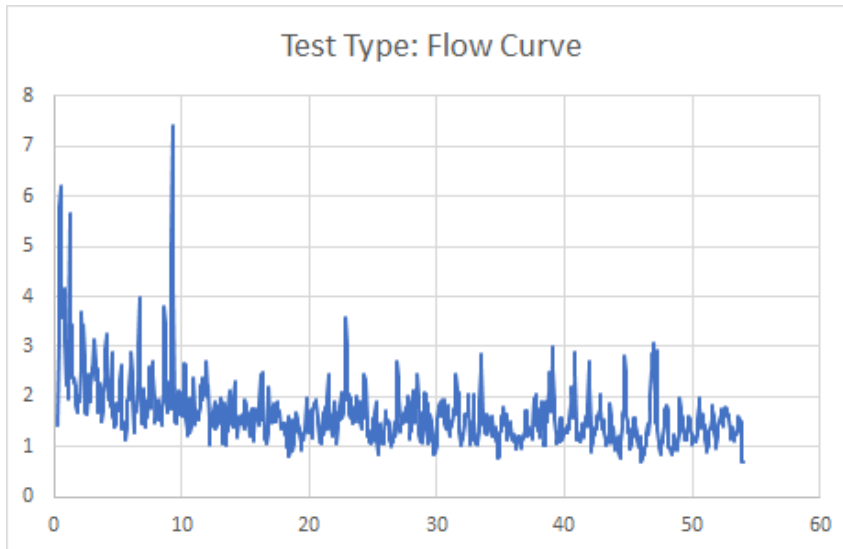


V/C-tall 0,60, 10 minutt, rørt

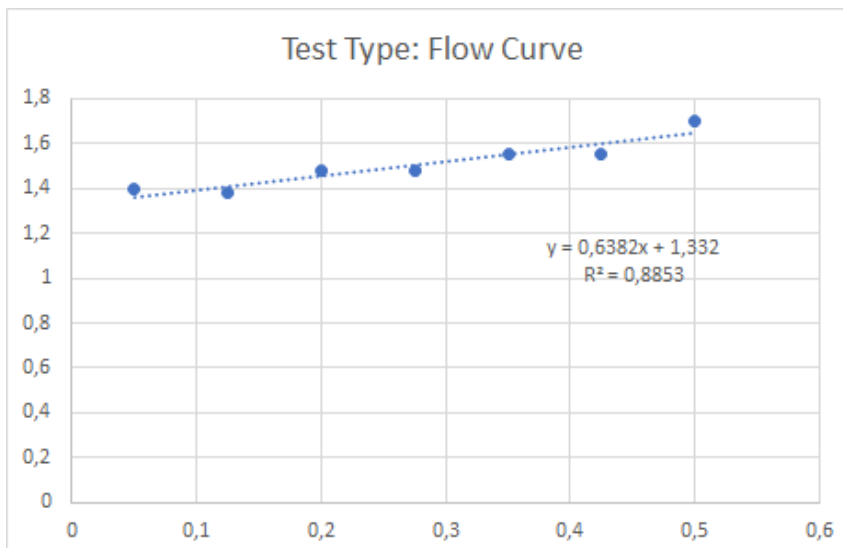
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



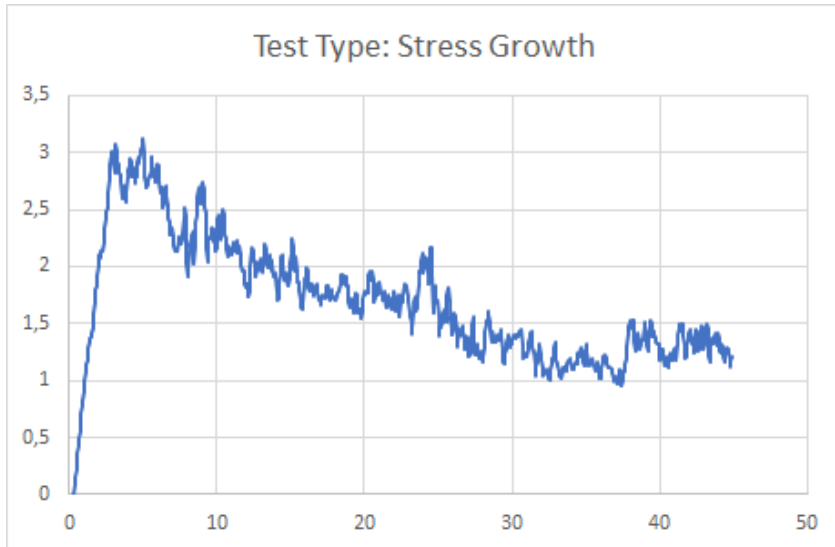
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



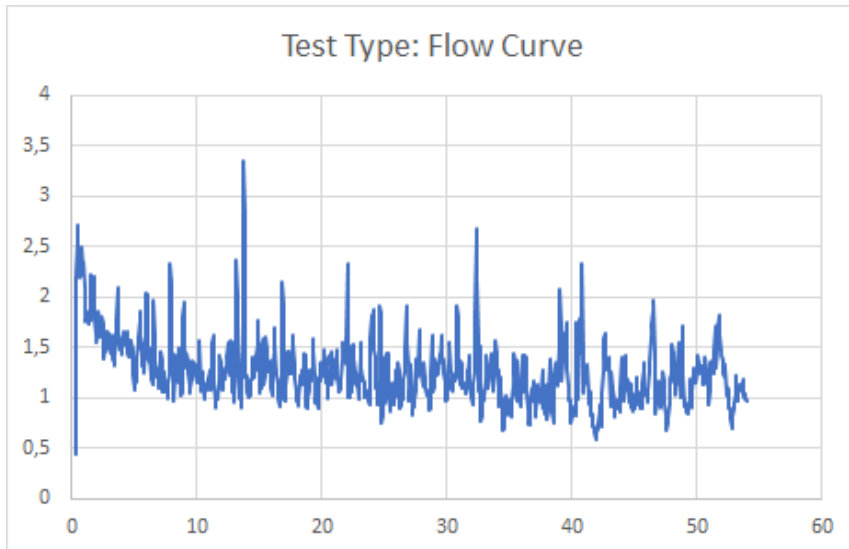
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 10 minutt, urørt

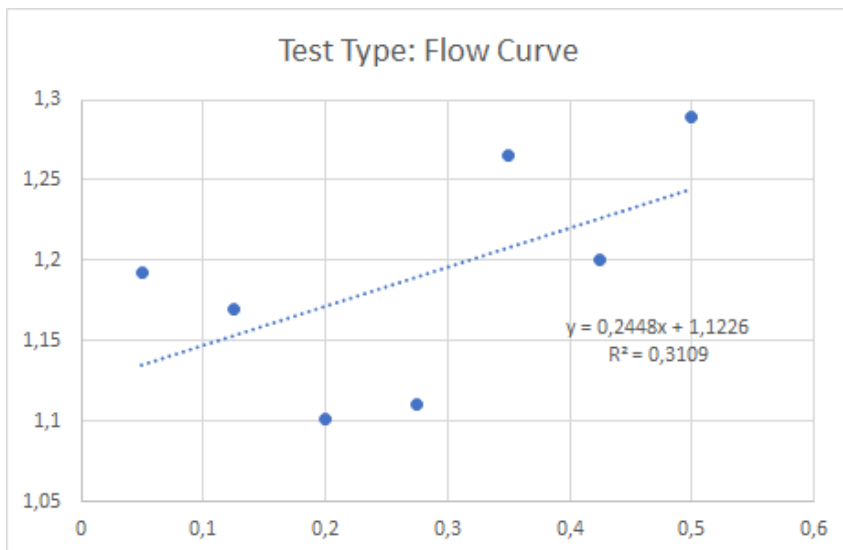
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

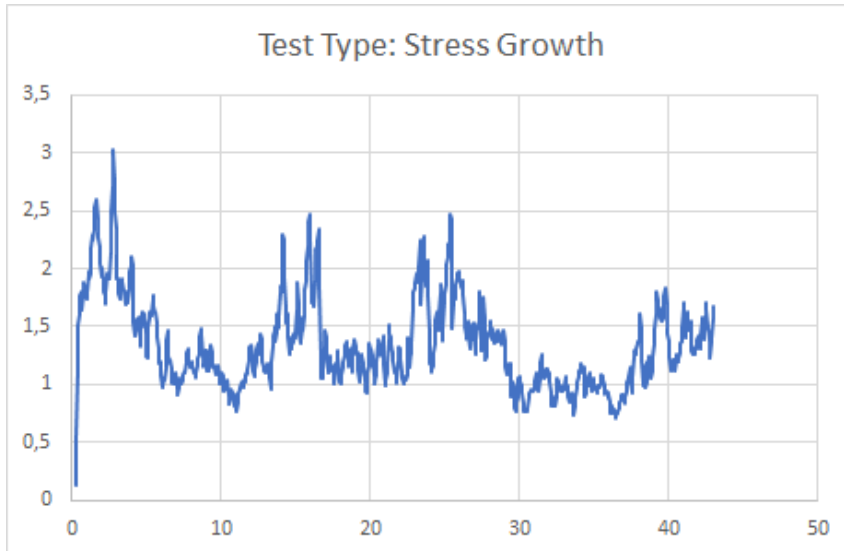


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

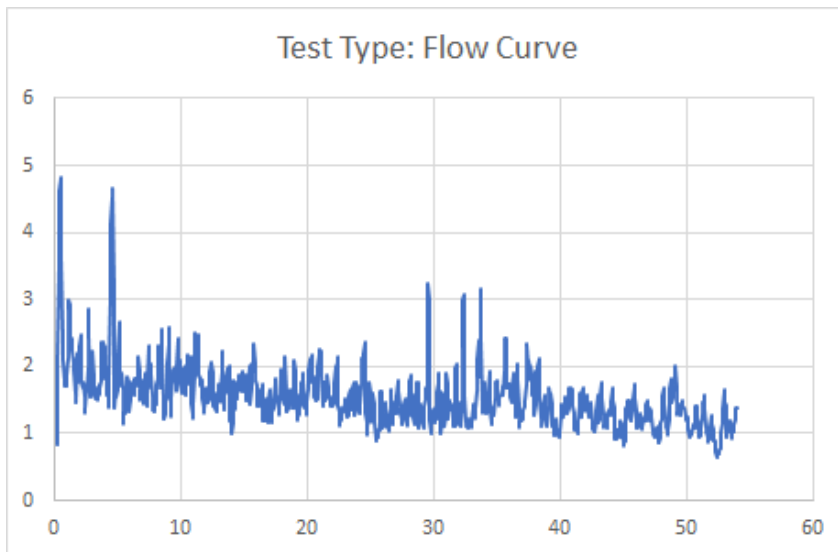


V/C-tall 0,60, 30 minutt, rørt

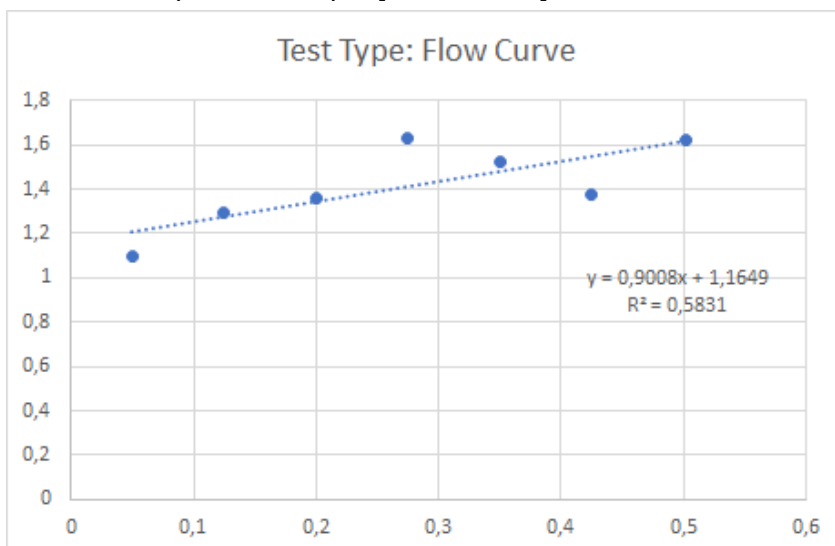
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



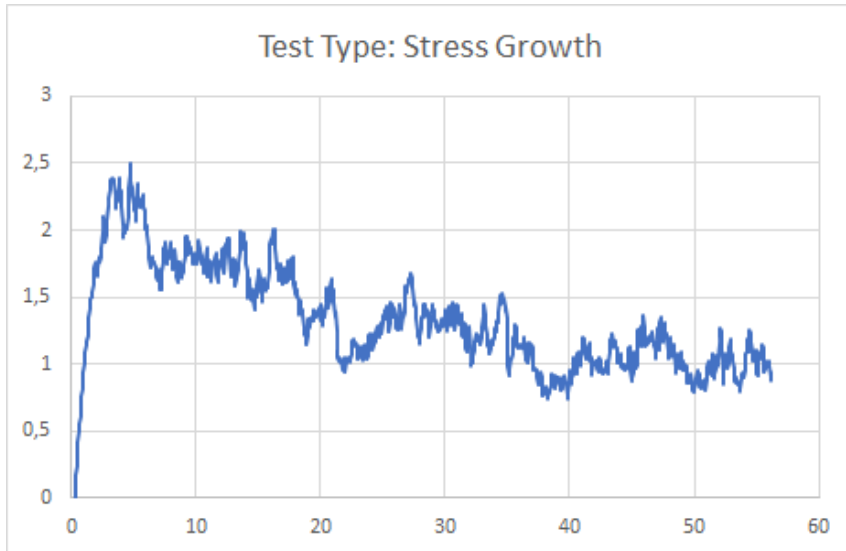
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



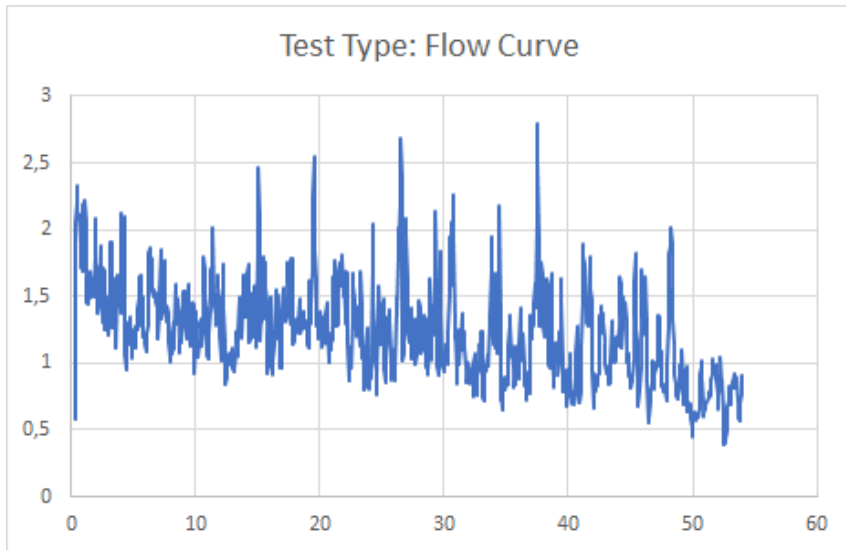
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 30 minutt, urørt

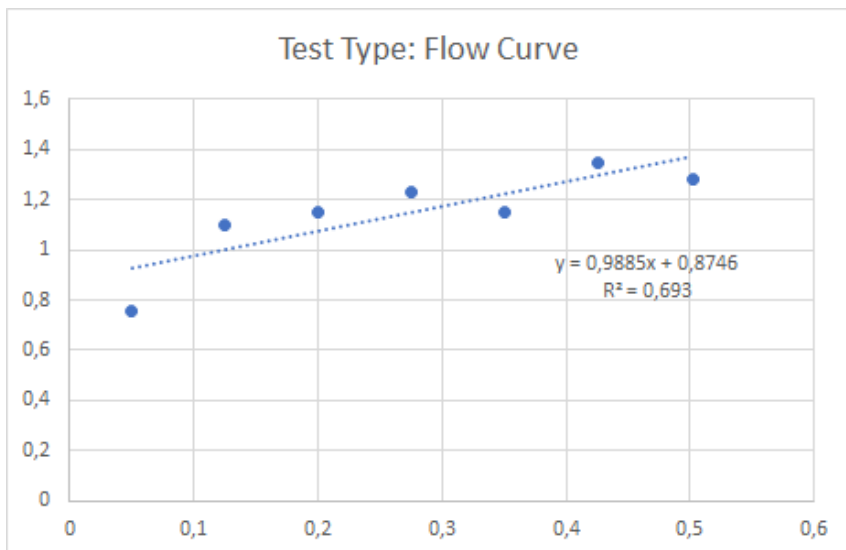
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



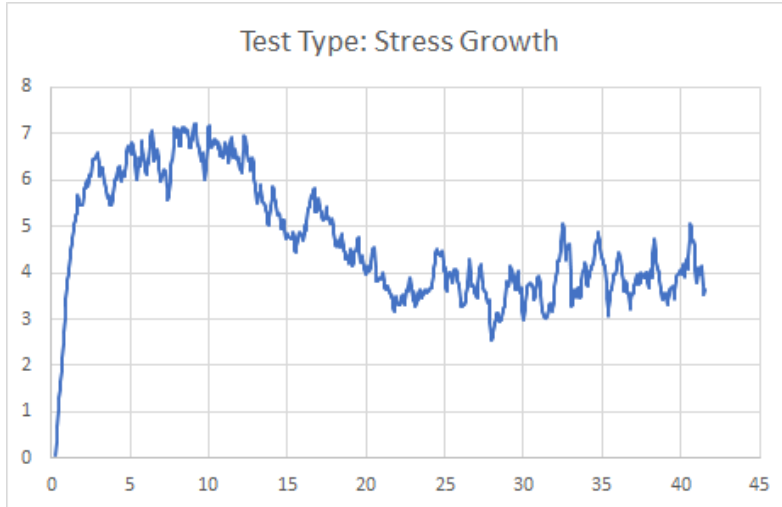
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



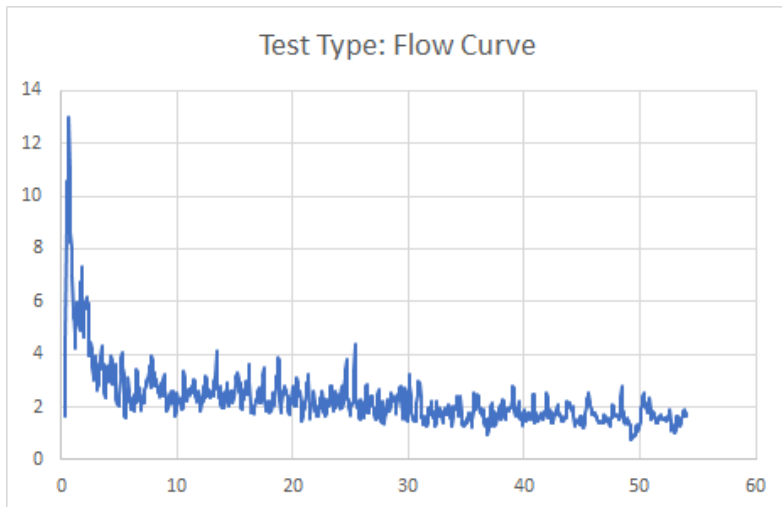
9.2.8 - 340 matriksvolum, 6 % SF

V/C-tall 0,35, 0 minutt, urørt

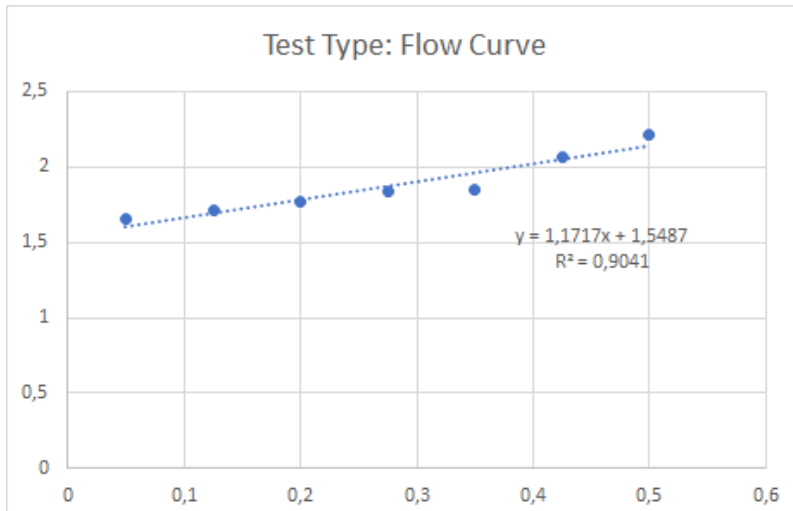
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

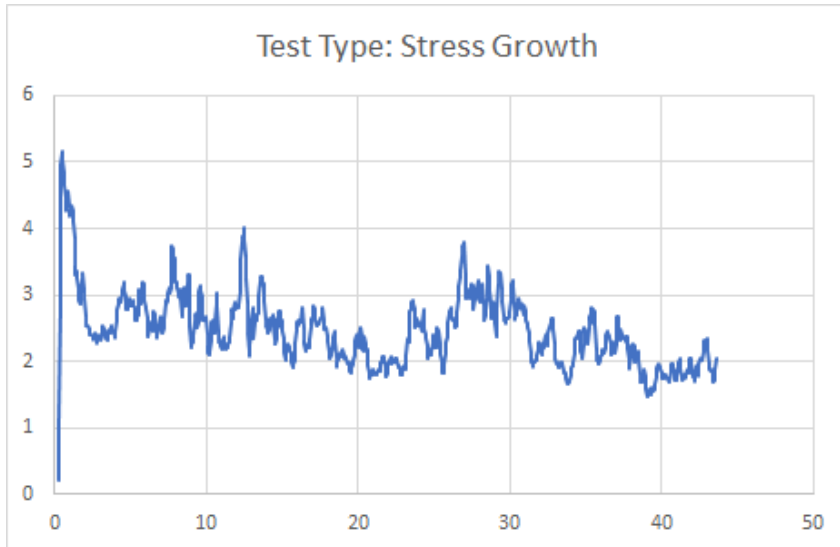


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

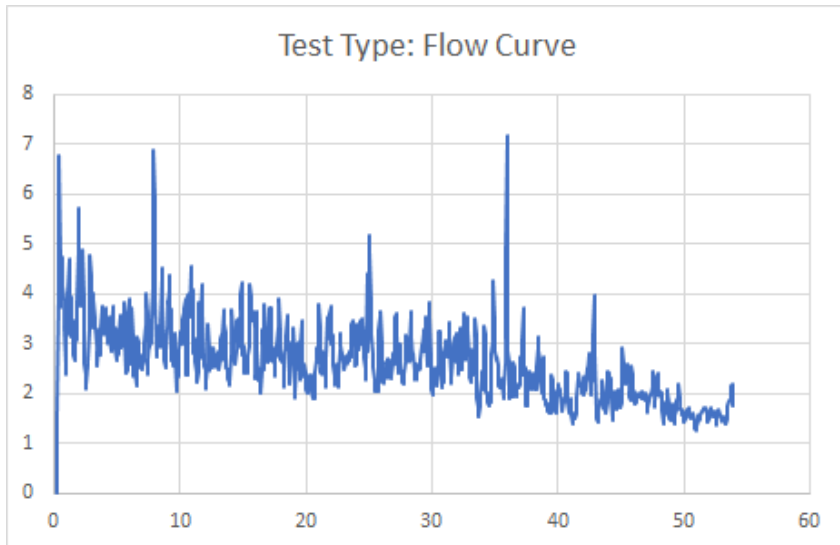


V/C-tall 0,35, 10 minutt, rørt

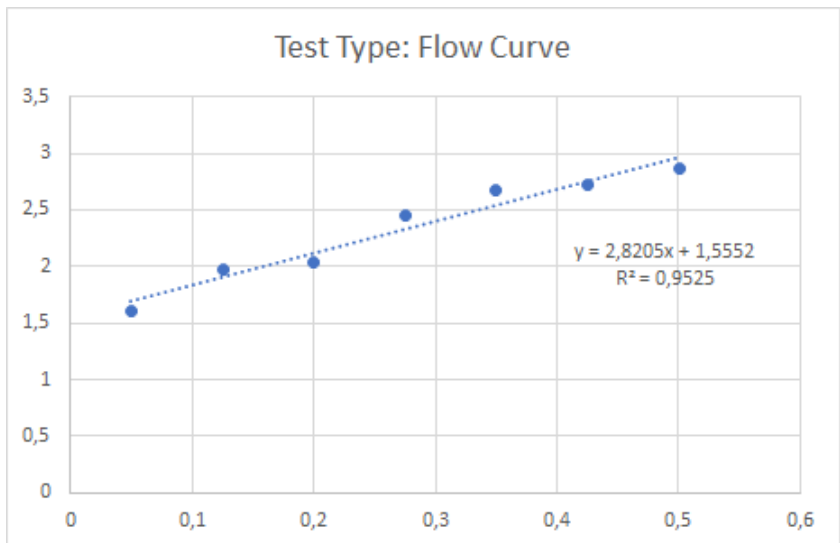
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

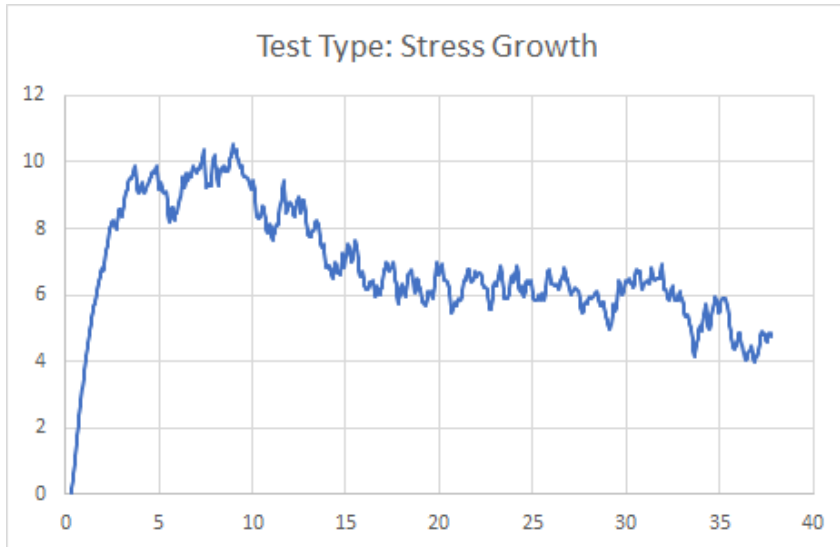


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

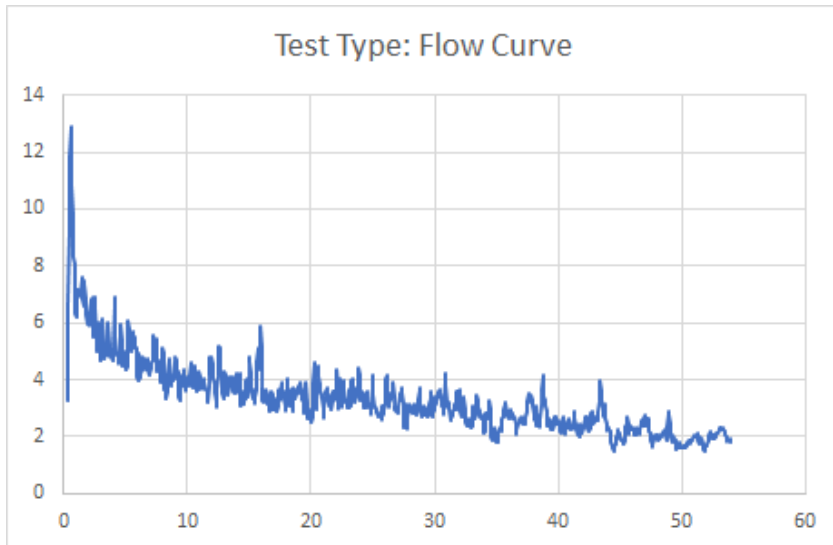


V/C-tall 0,35, 10 minutt, urørt

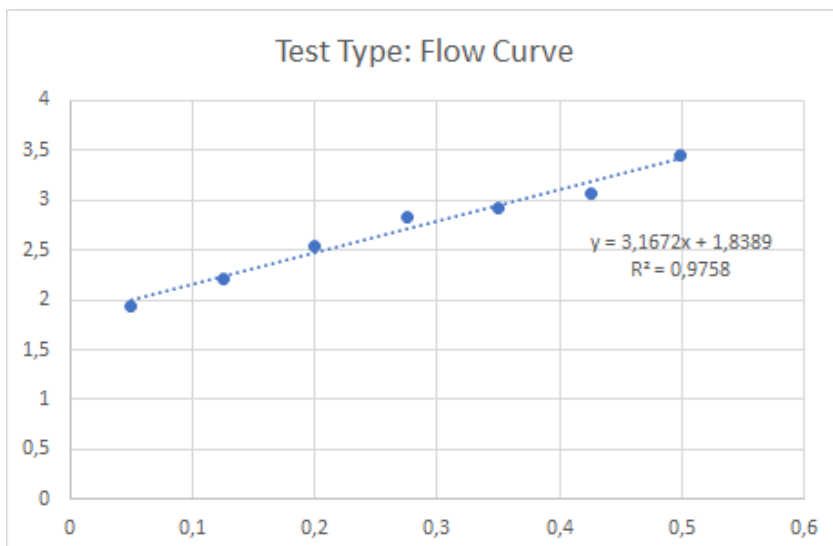
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



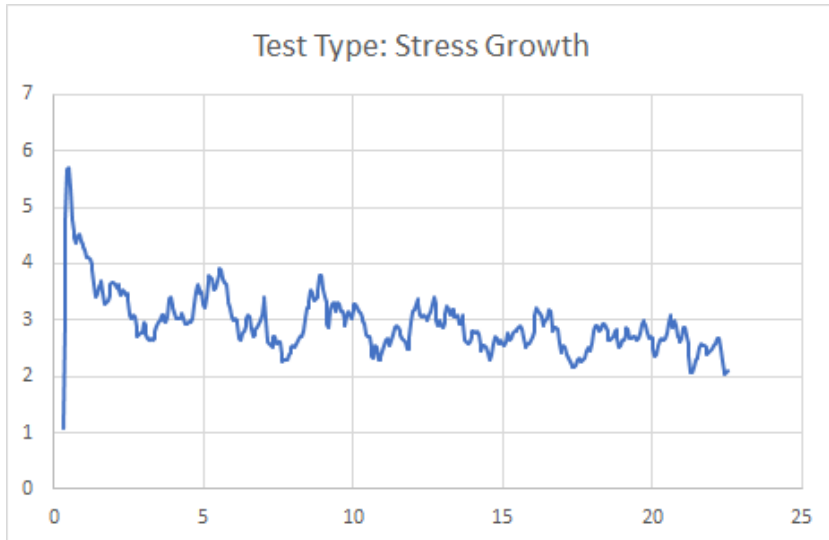
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



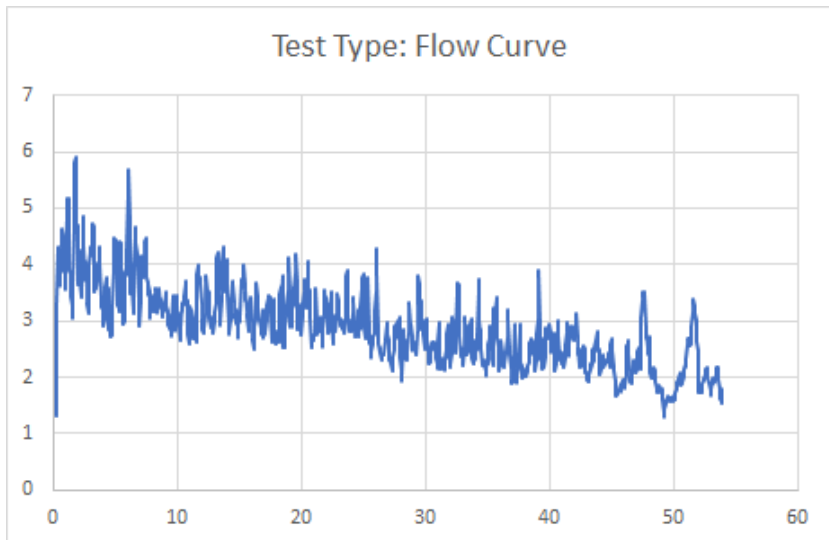
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,35, 30 minutt, rørt

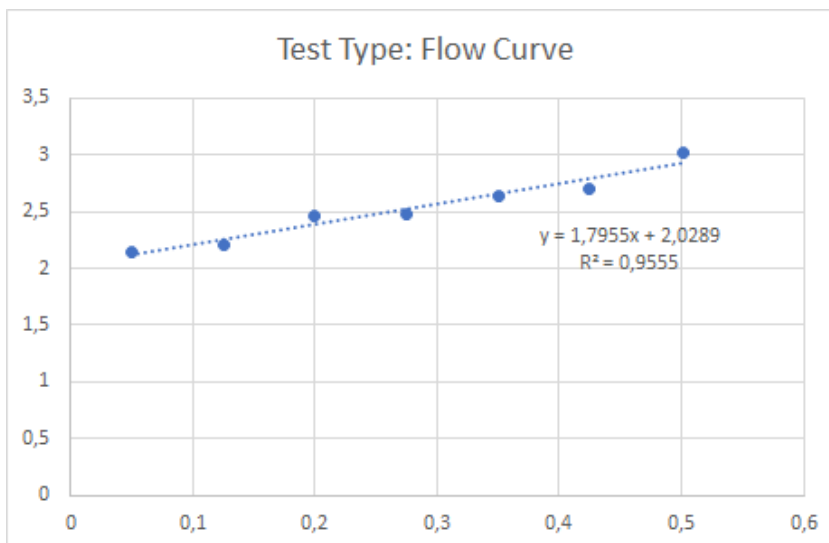
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]

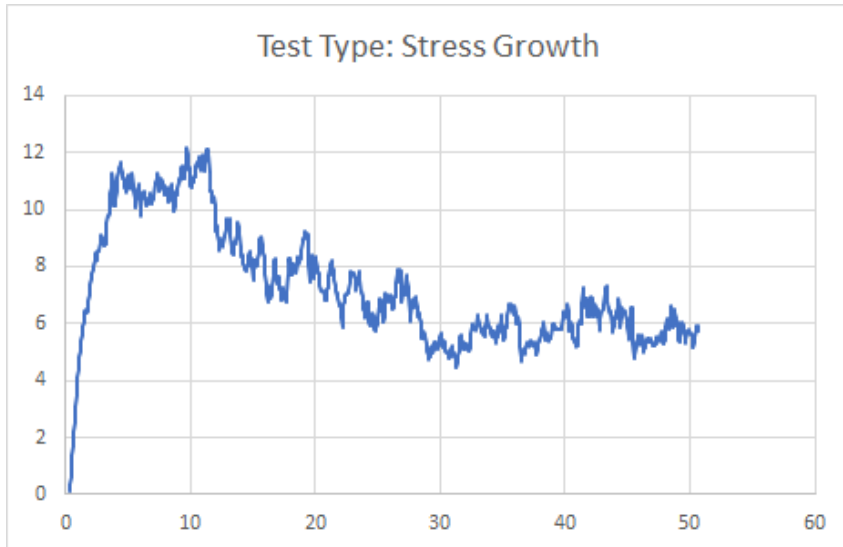


Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]

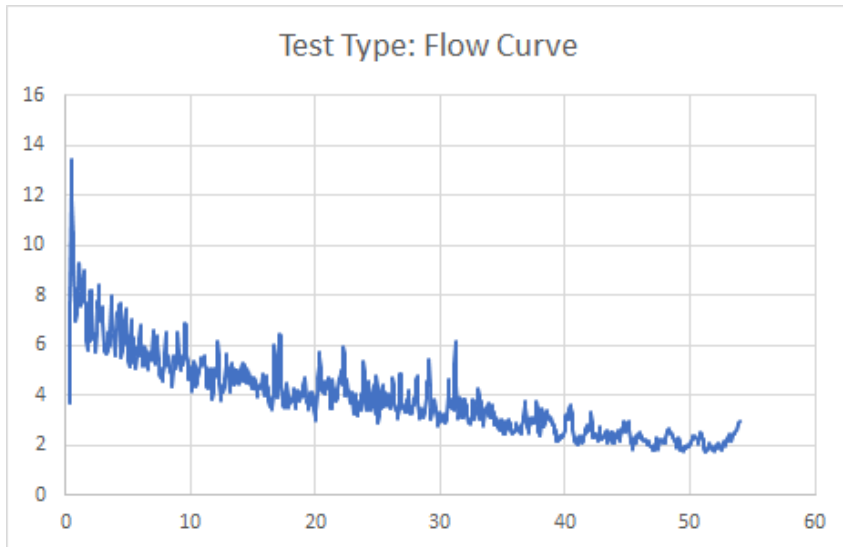


V/C-tall 0,35, 30 minutt, urørt

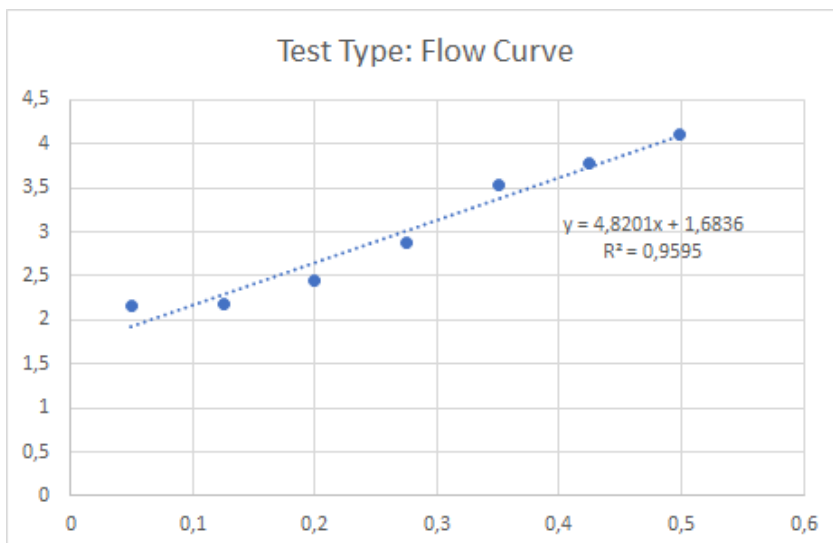
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



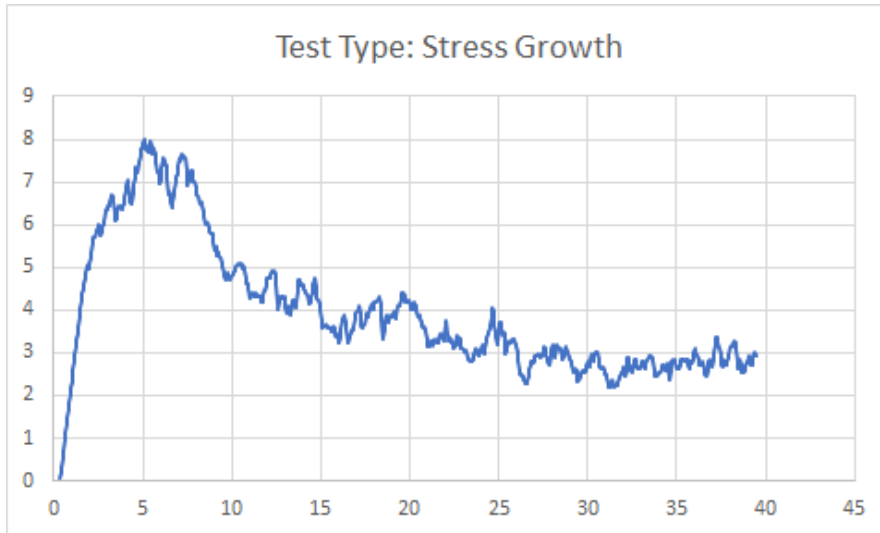
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



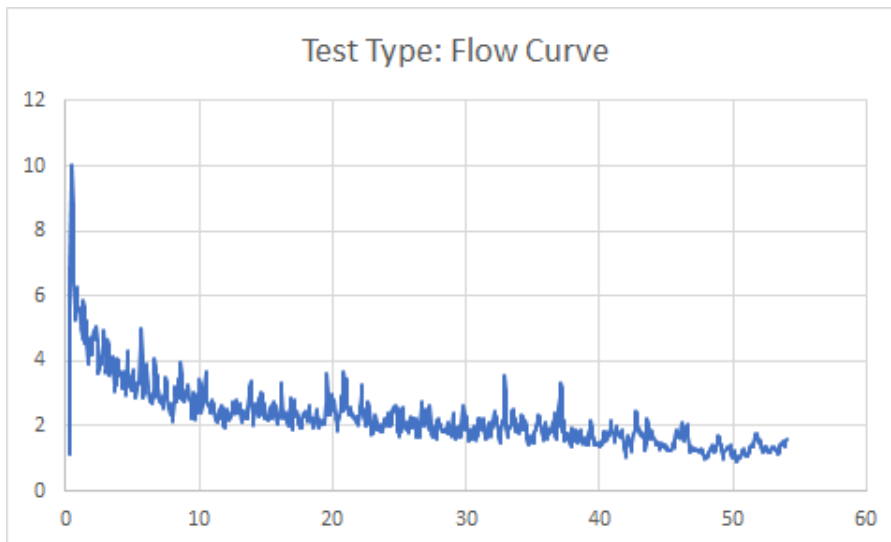
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 0 minutt, urørt

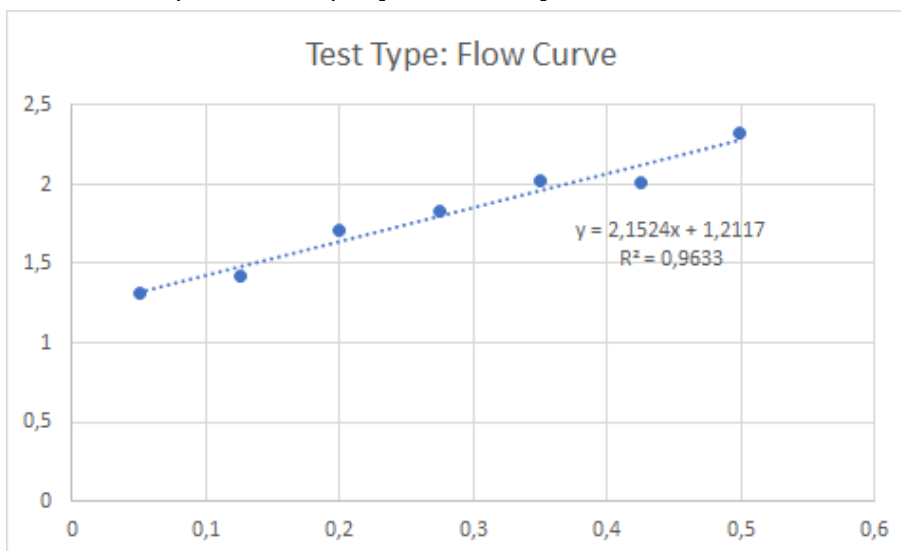
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



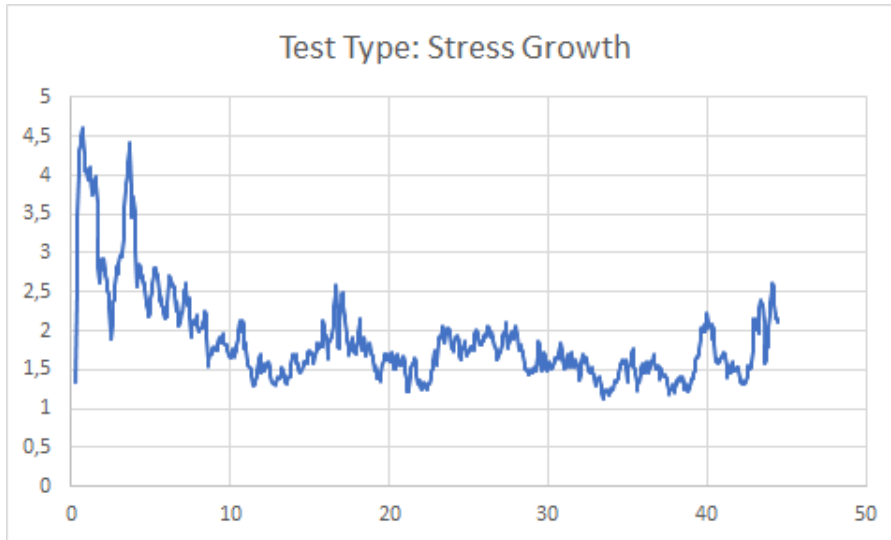
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



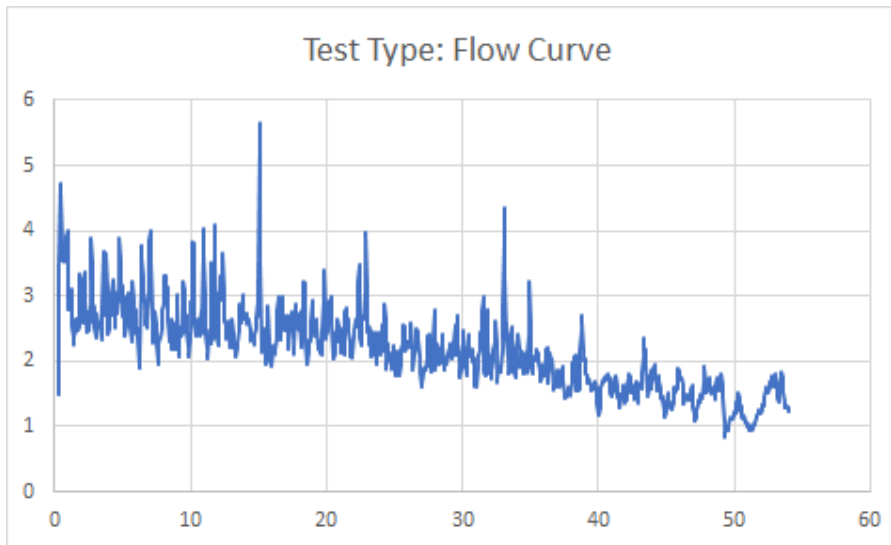
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 10 minutt, rørt

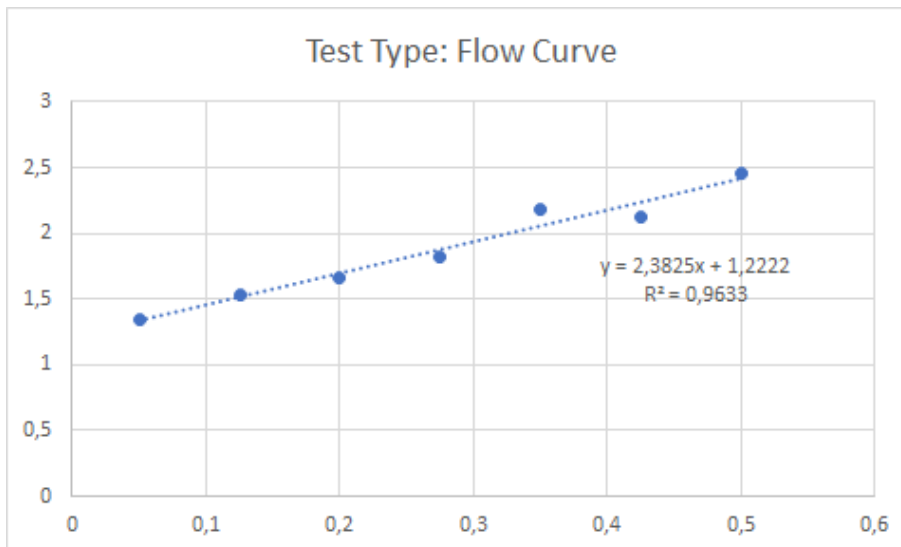
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



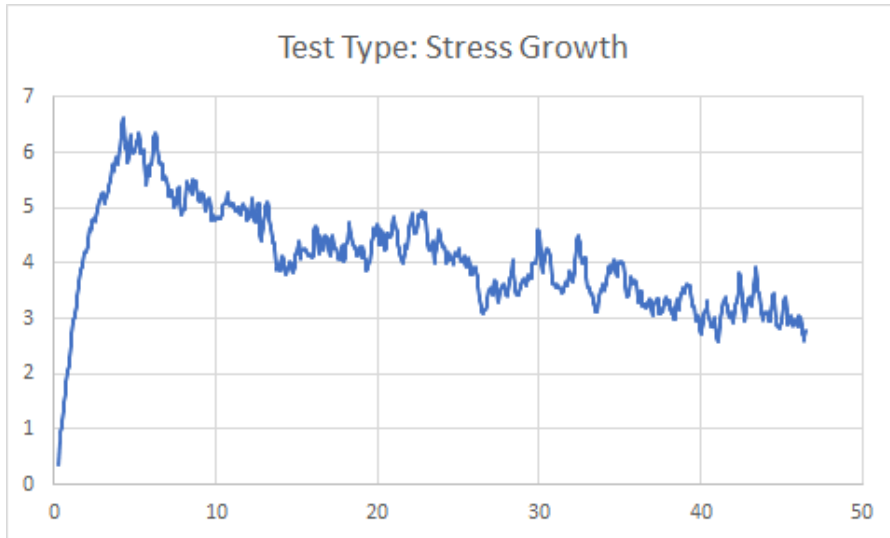
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



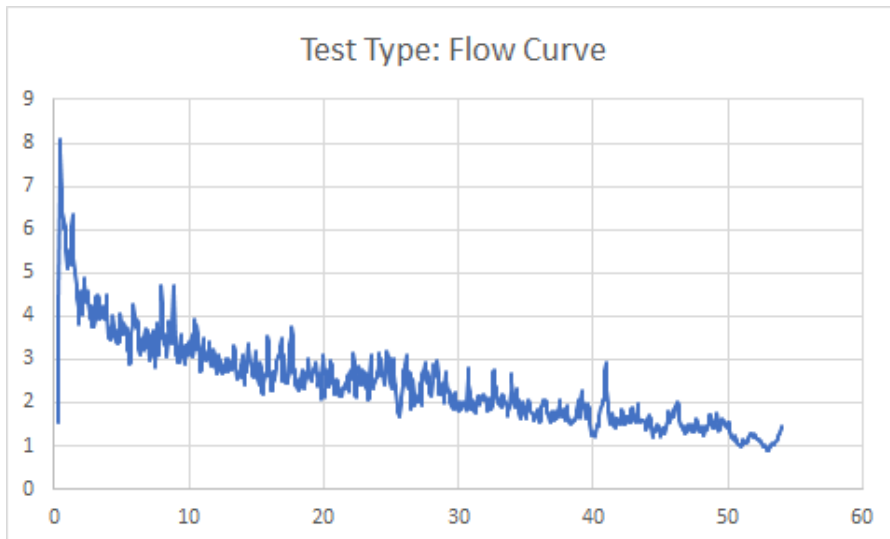
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 10 minutt, urørt

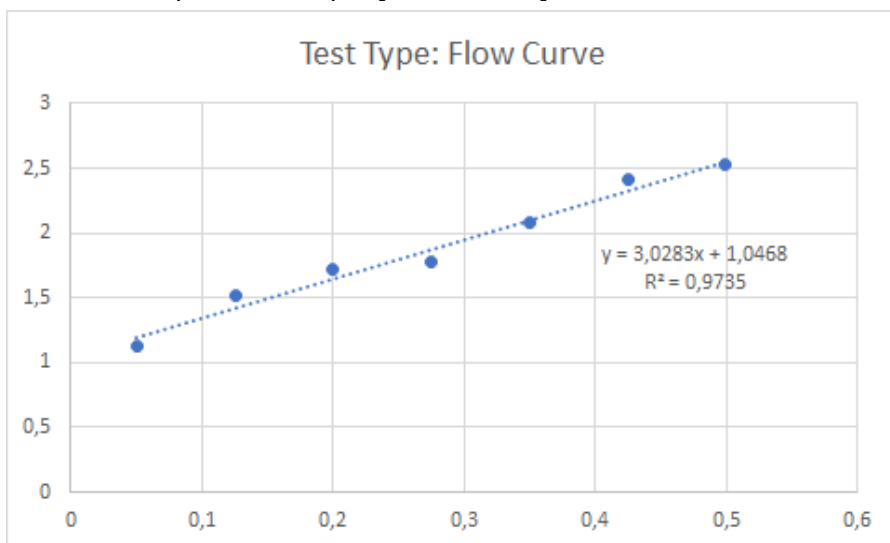
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



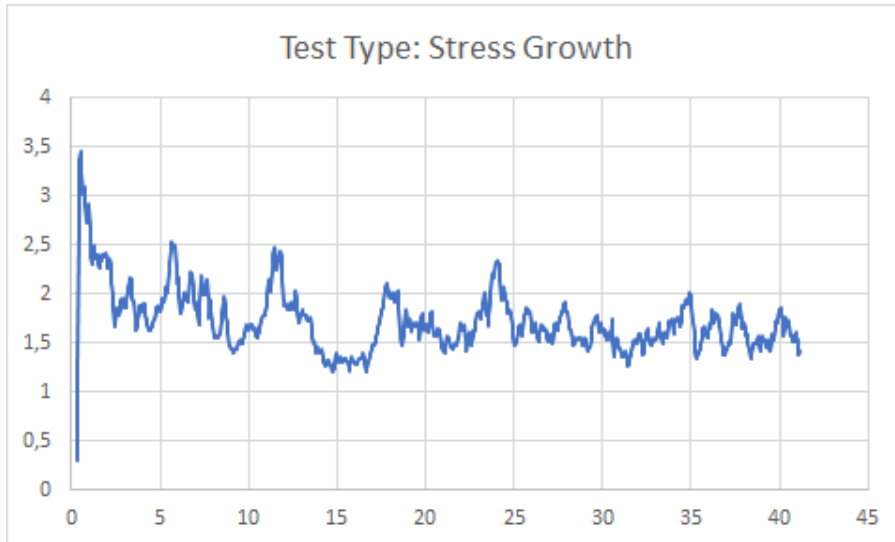
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



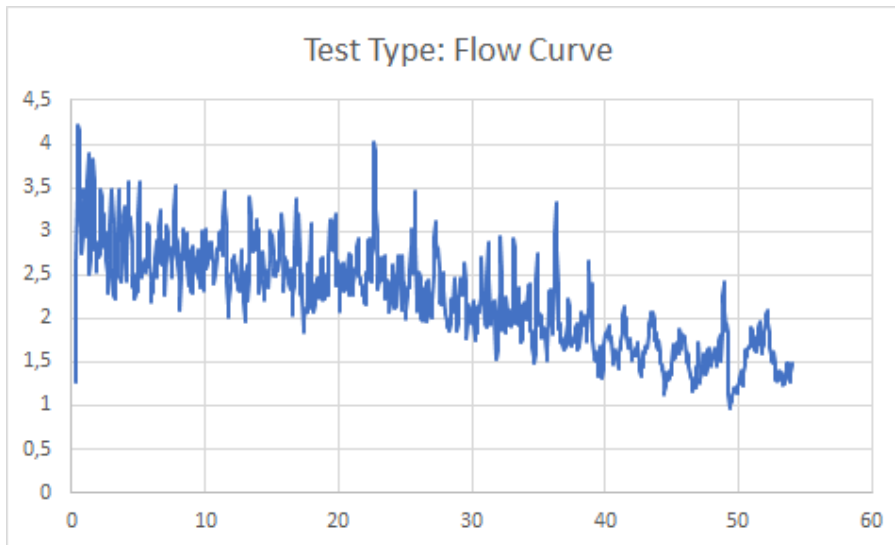
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 30 minutt, rørt

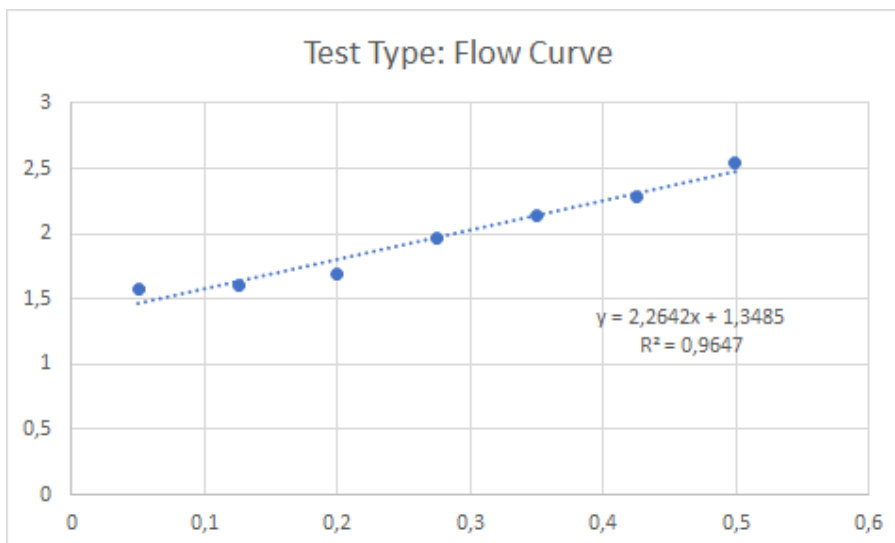
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



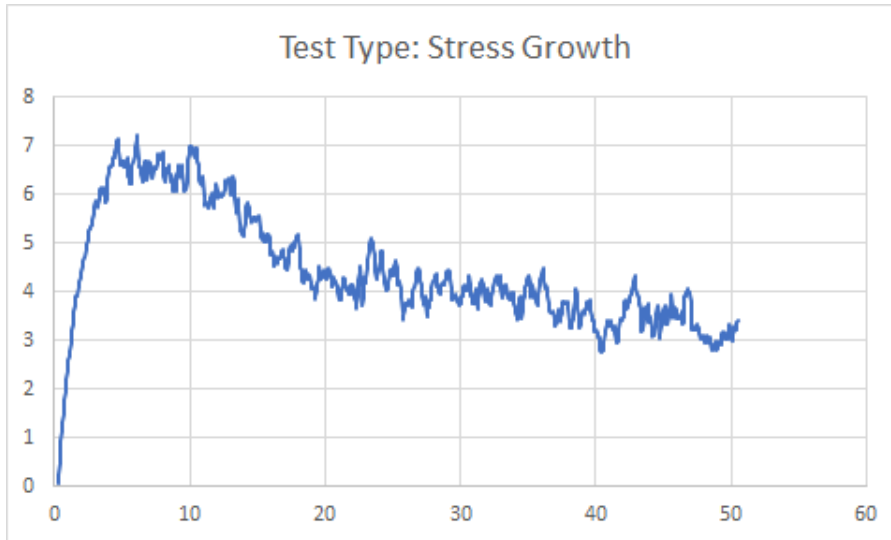
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



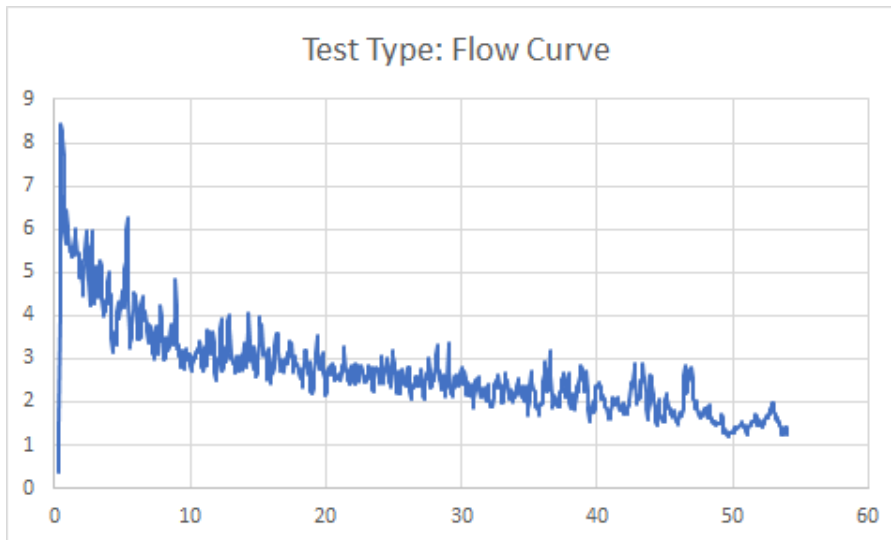
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,40, 30 minutt, urørt

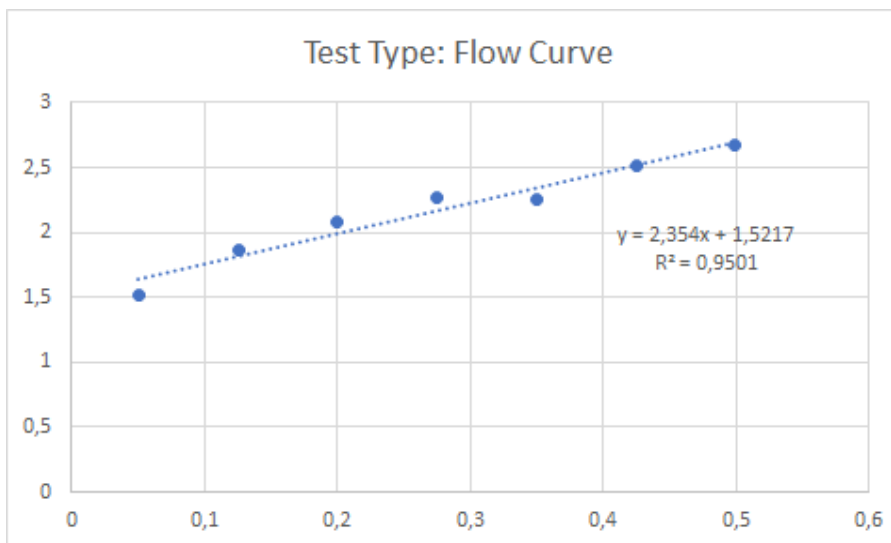
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



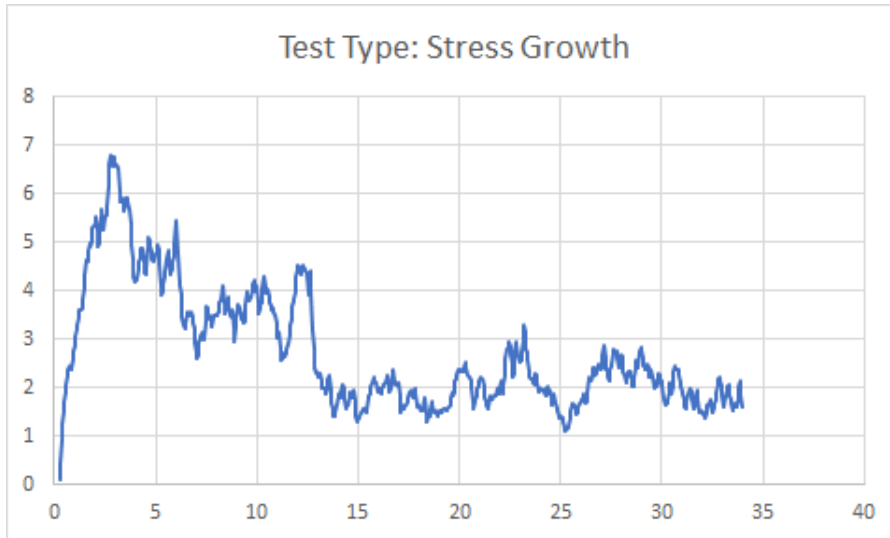
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



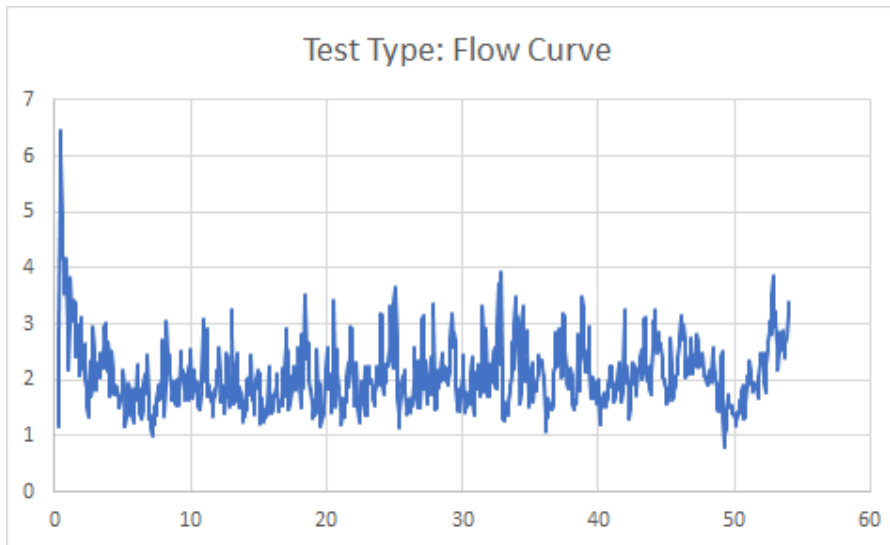
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 0 minutt, urørt

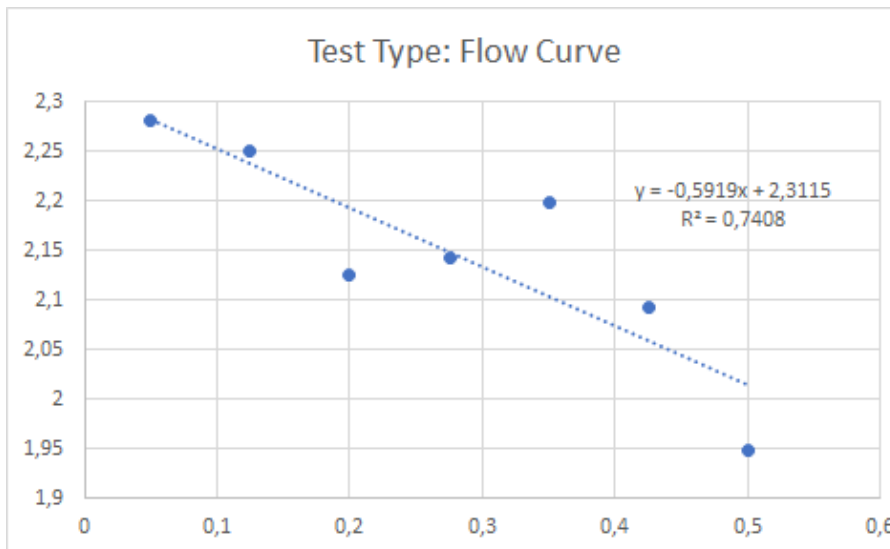
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



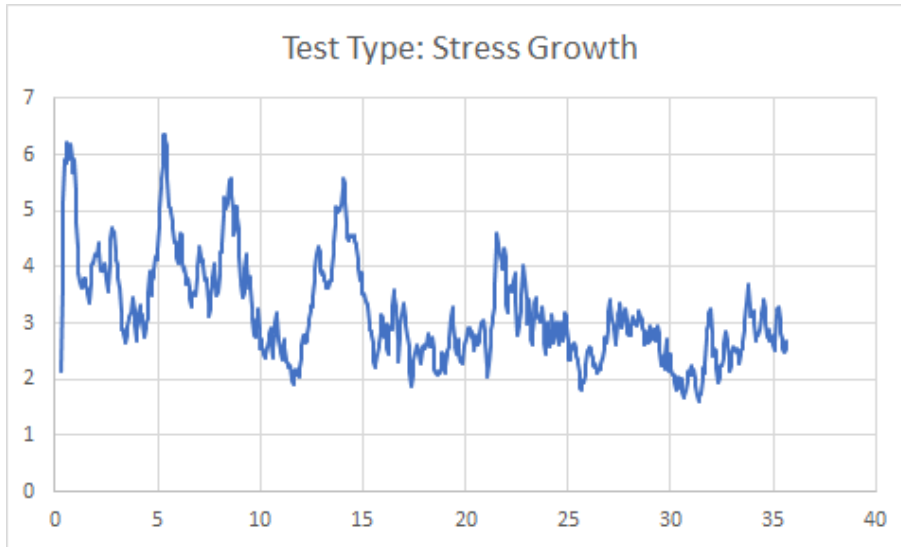
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



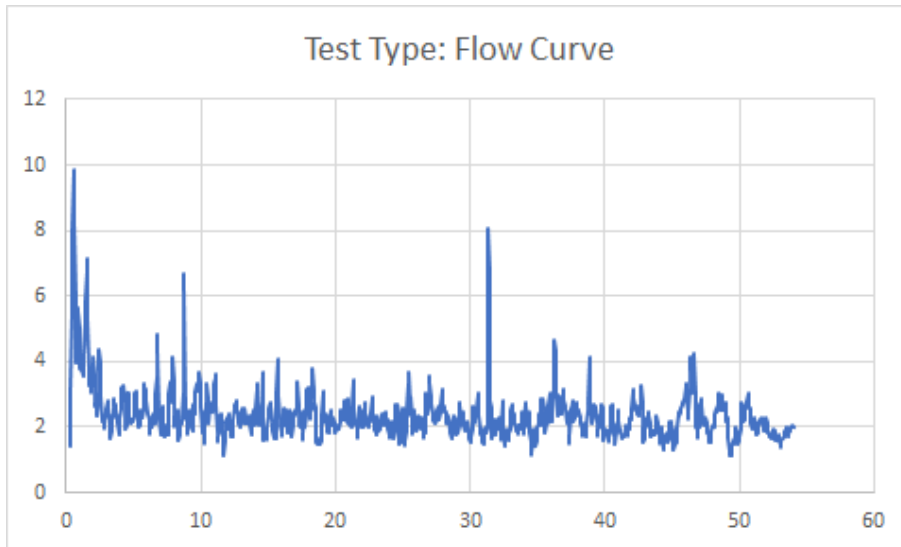
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 10 minutt, rørt

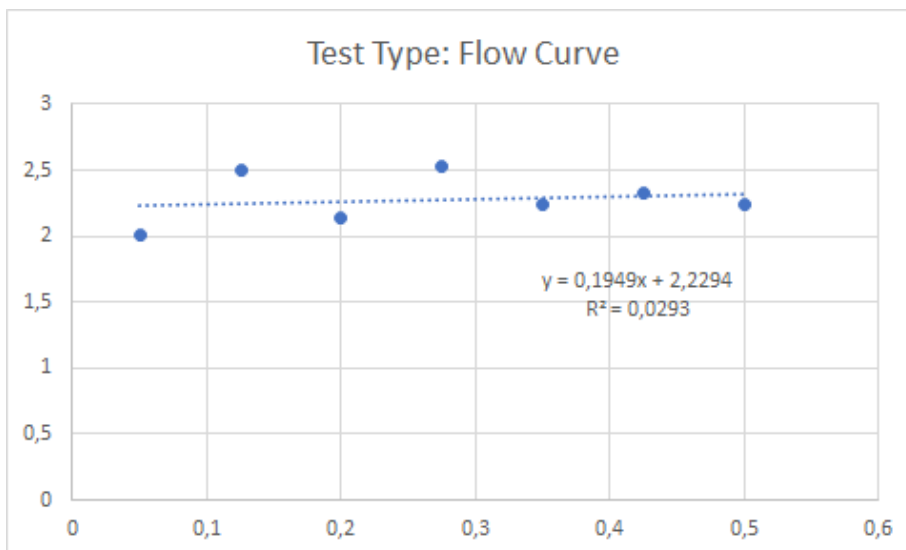
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



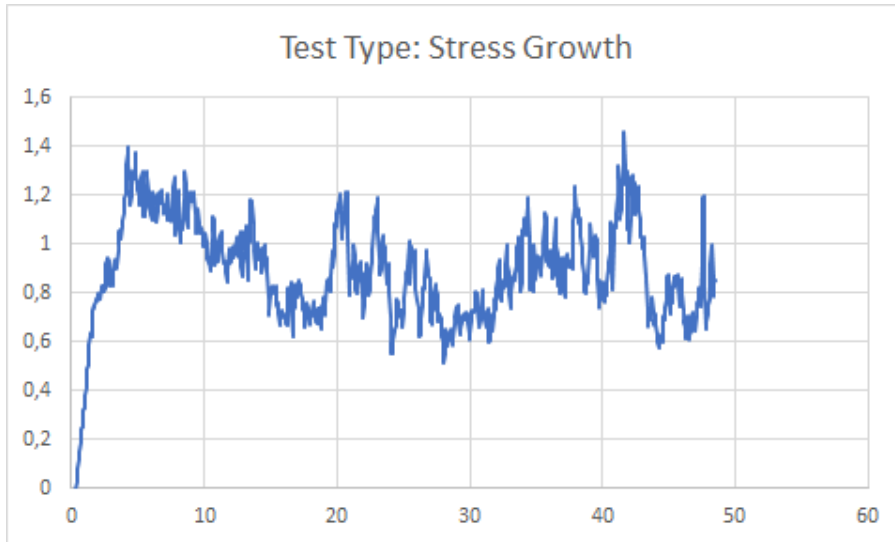
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



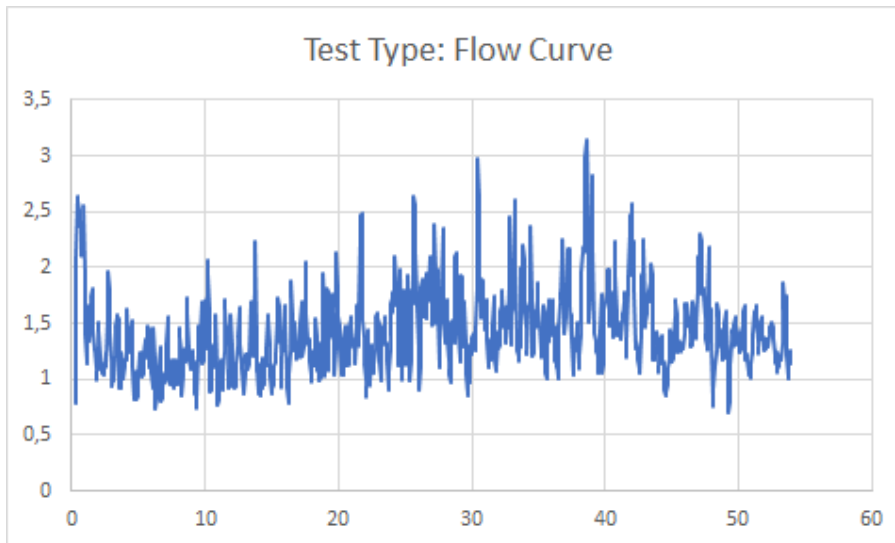
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 10 minutt, urørt

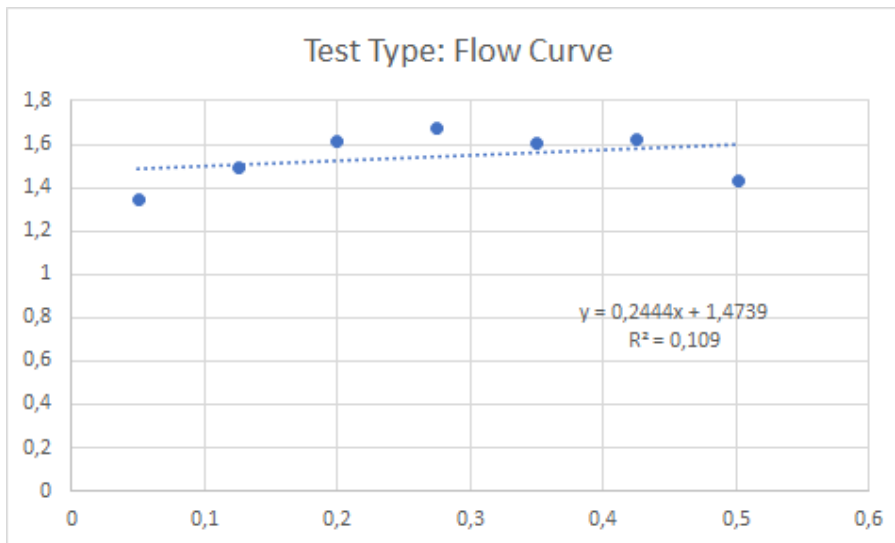
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



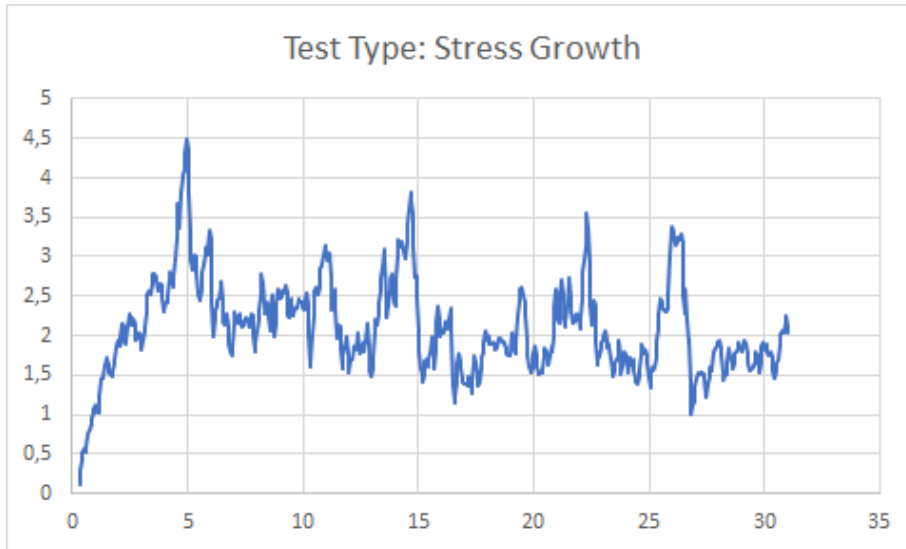
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



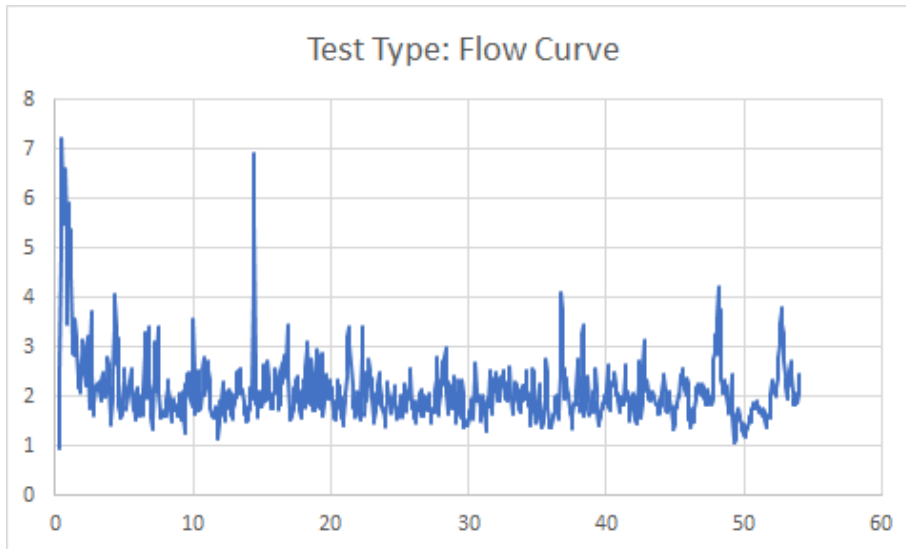
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 30 minutt, rørt

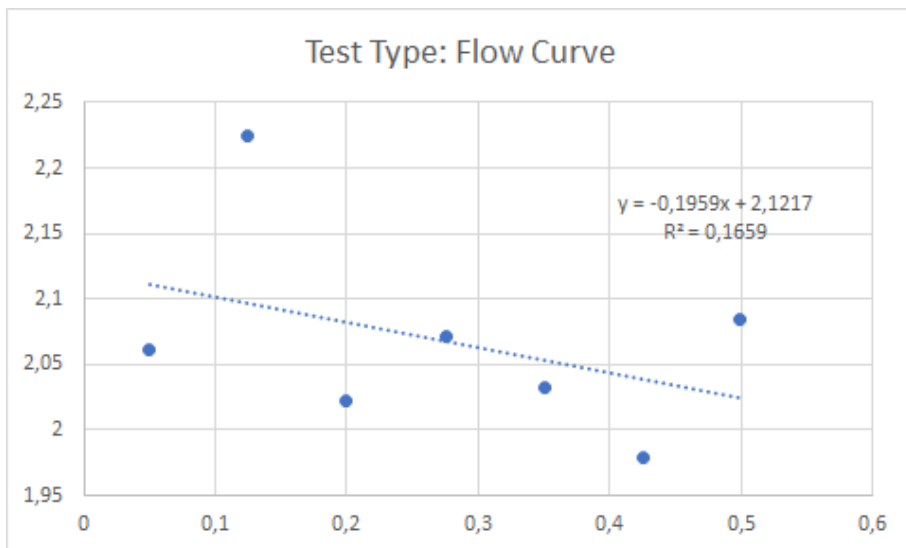
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



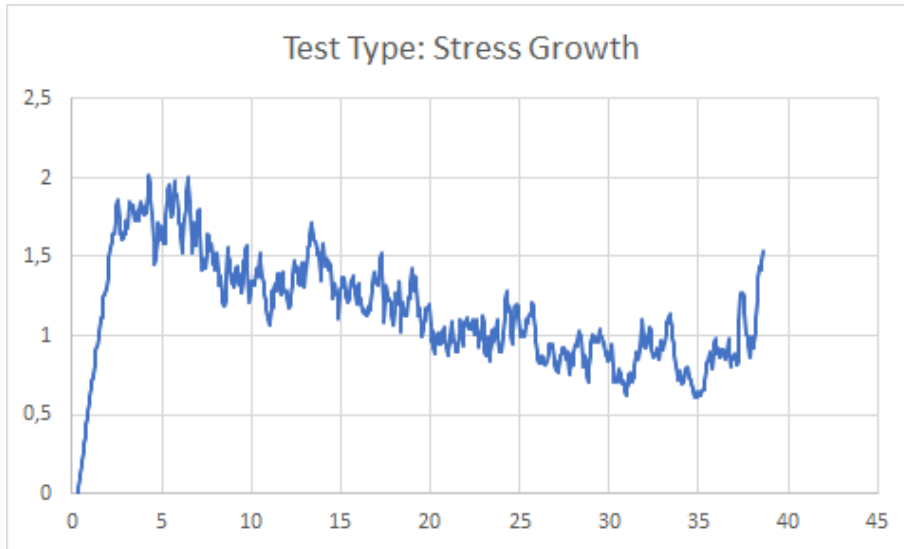
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



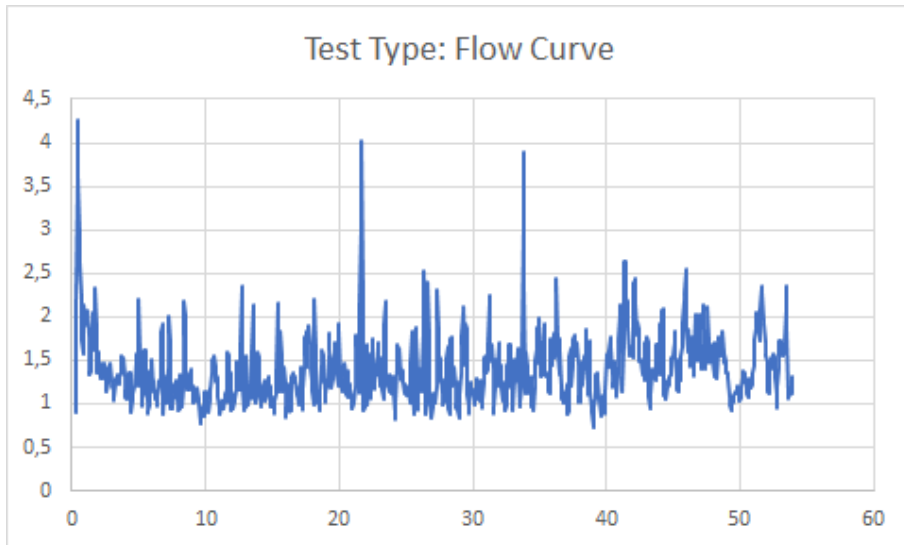
Betongens reologiske egenskaper

V/C-tall 0,60, 30 minutt, urørt

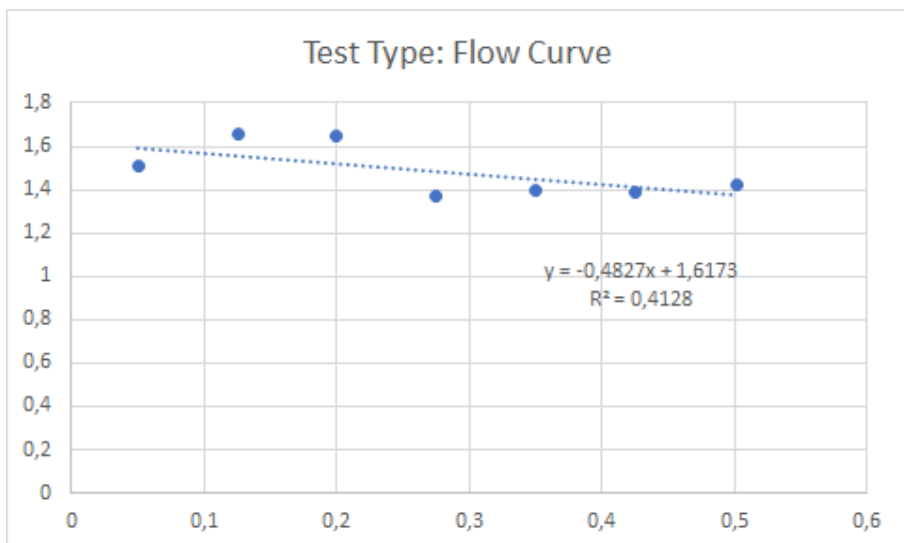
Stress growth, time vs torque [seconds vs Nm]



Flow curve, time vs torque [seconds vs Nm]



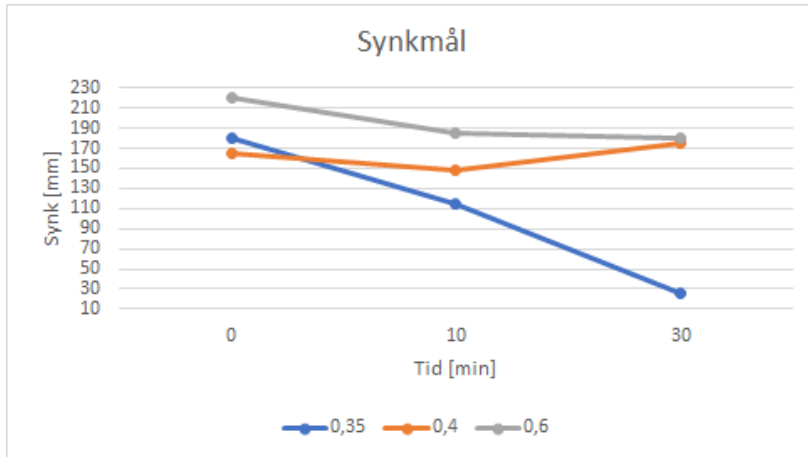
Flow curve, speed vs torque [rev/s vs Nm]



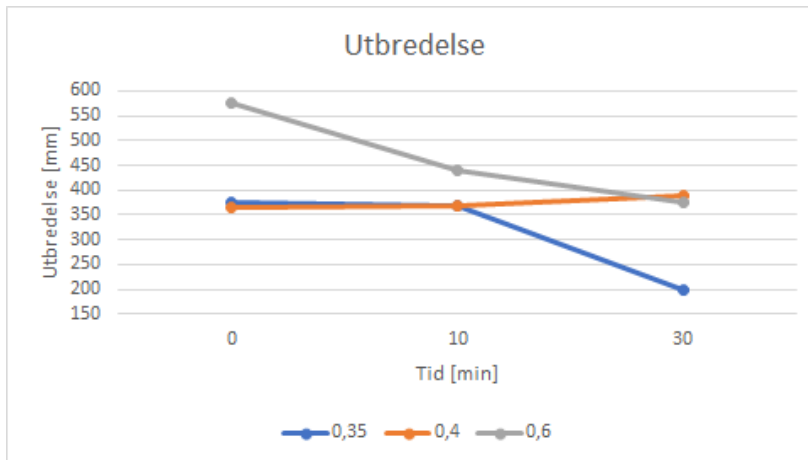
9.3 Synk og utbredelse

9.3.1 - 300 matriksvolum, 0 % SF

Synkmål, sammenligning av V/C-tall

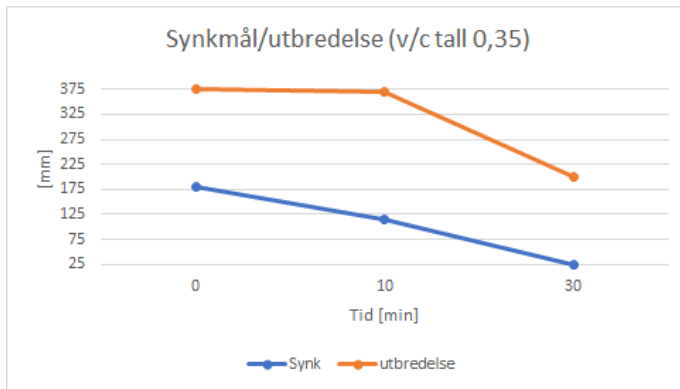


Utbredelse, sammenligning av V/C-tall

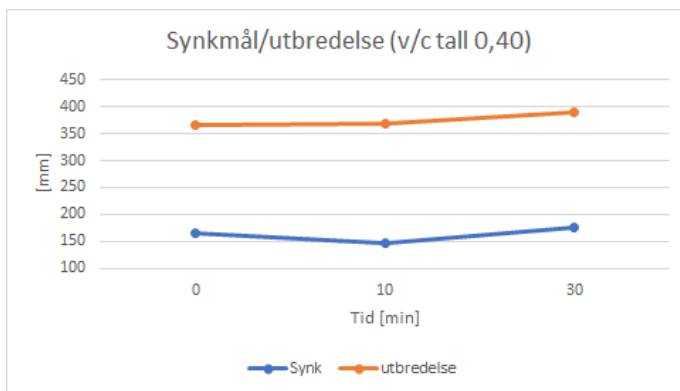


Betongens reologiske egenskaper

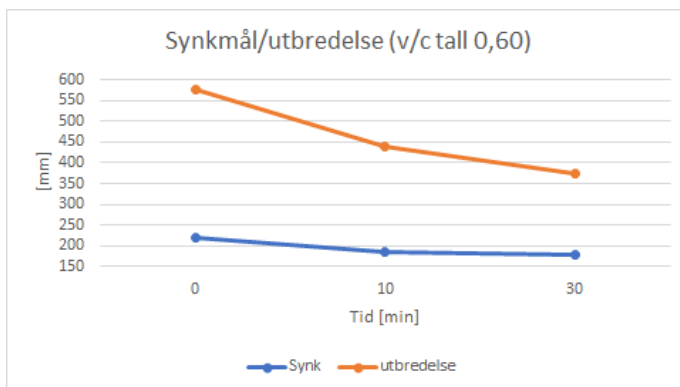
V/C-tall 0,35, sammenligning av synkmål/utbredelse



V/C-tall 0,40, sammenligning av synkmål/utbredelse

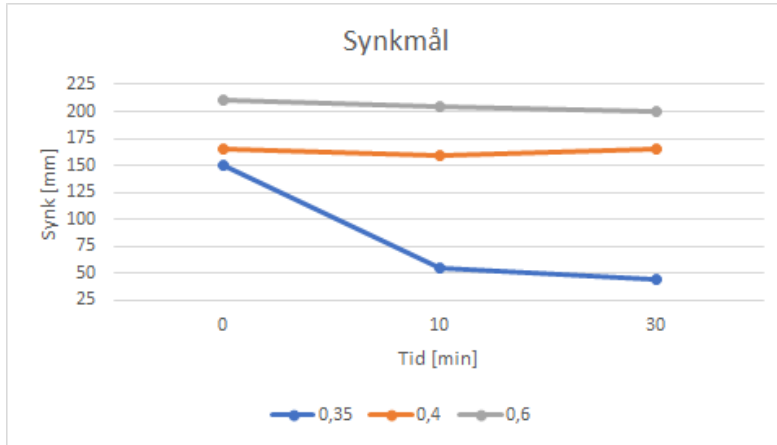


V/C-tall 0,60, sammenligning av synkmål/utbredelse

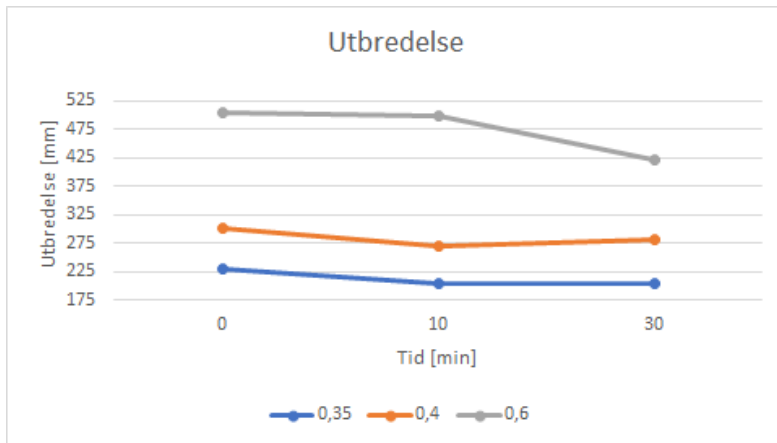


9.3.2 - 300 matriksvolum, 6 % SF

Synkmål, sammenligning av V/C-tall

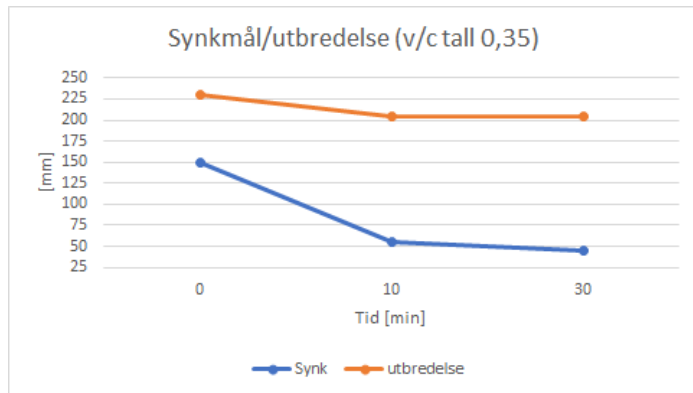


Utbredelse, sammenligning av V/C-tall

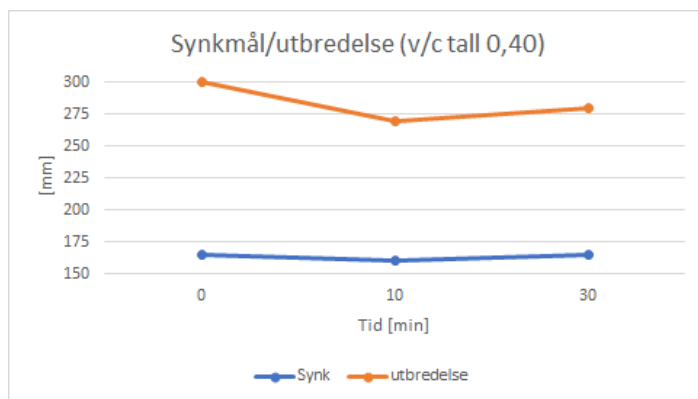


Betongens reologiske egenskaper

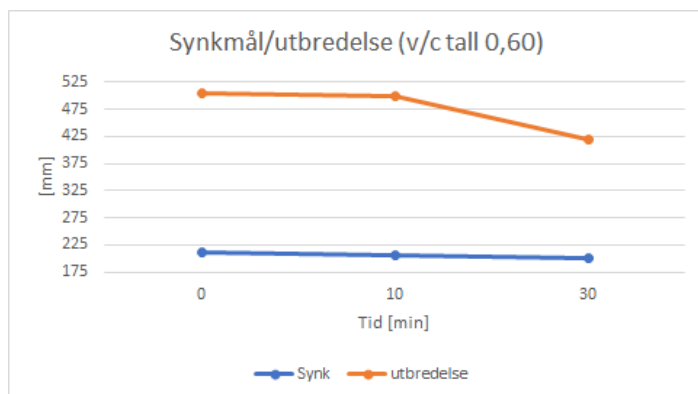
V/C-tall 0,35, sammenligning av synkmål/utbredelse



V/C-tall 0,40, sammenligning av synkmål/utbredelse

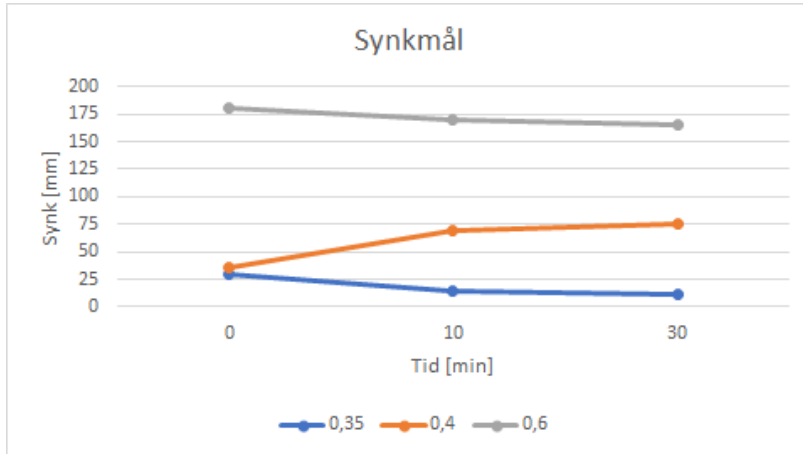


V/C-tall 0,60, sammenligning av synkmål/utbredelse

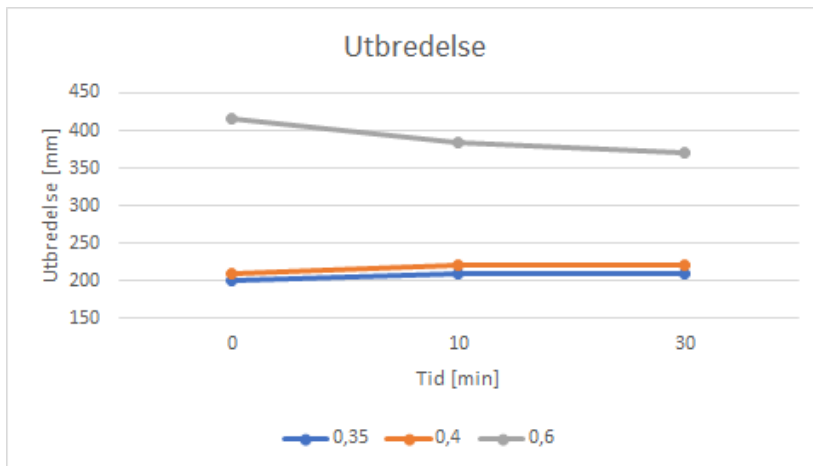


9.3.3 - 300 matriksvolum, 10 % SF

Synkmål, sammenligning av V/C-tall

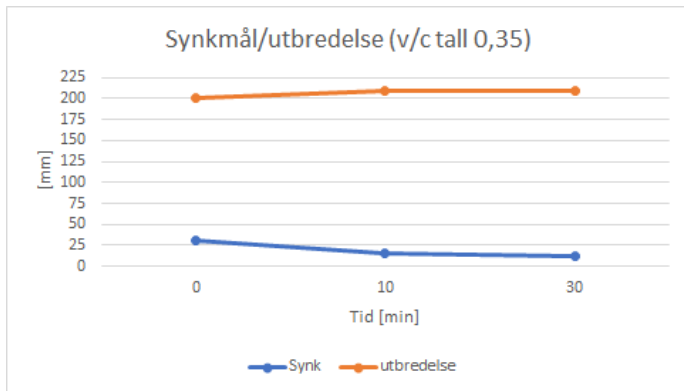


Utbredelse, sammenligning av V/C-tall

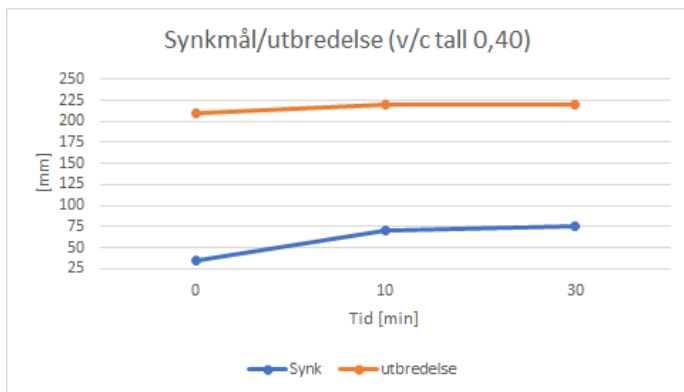


Betongens reologiske egenskaper

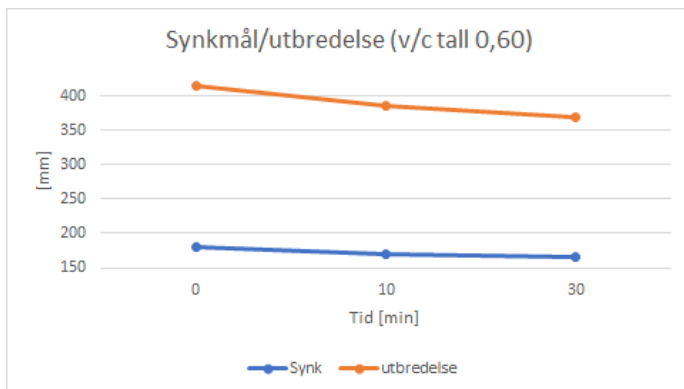
V/C-tall 0,35, sammenligning av synkmål/utbredelse



V/C-tall 0,40, sammenligning av synkmål/utbredelse

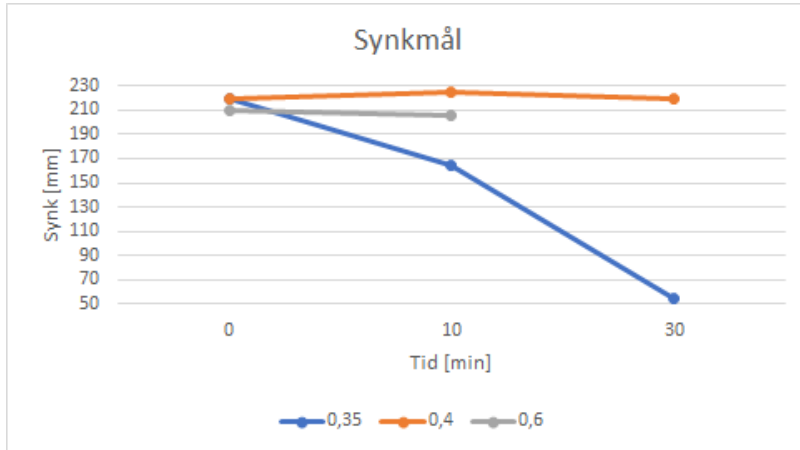


V/C-tall 0,60, sammenligning av synkmål/utbredelse

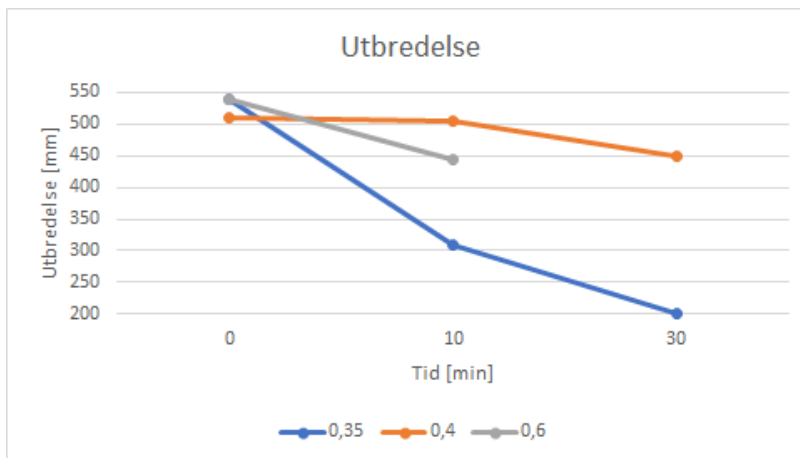


9.3.4 - 320 matriksvolum, 0 % SF

Synkmål, sammenligning av V/C-tall

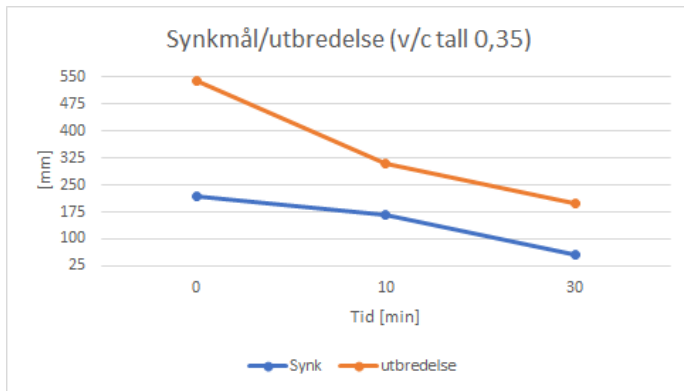


Utbredelse, sammenligning av V/C-tall

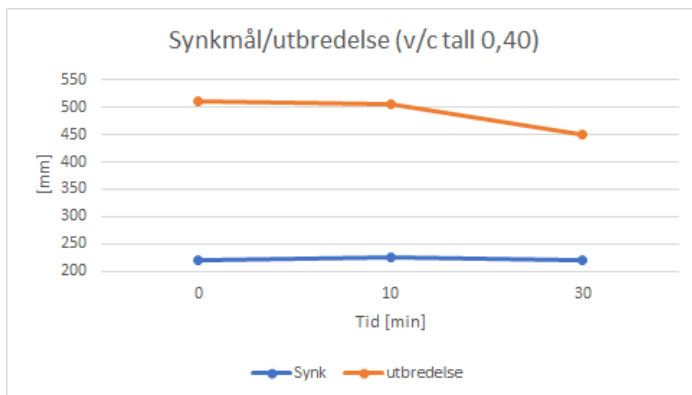


Betongens reologiske egenskaper

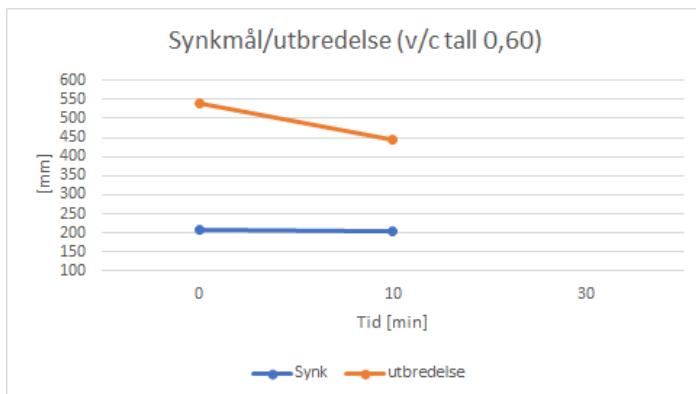
V/C-tall 0,35, sammenligning av synkmål/utbredelse



V/C-tall 0,40, sammenligning av synkmål/utbredelse

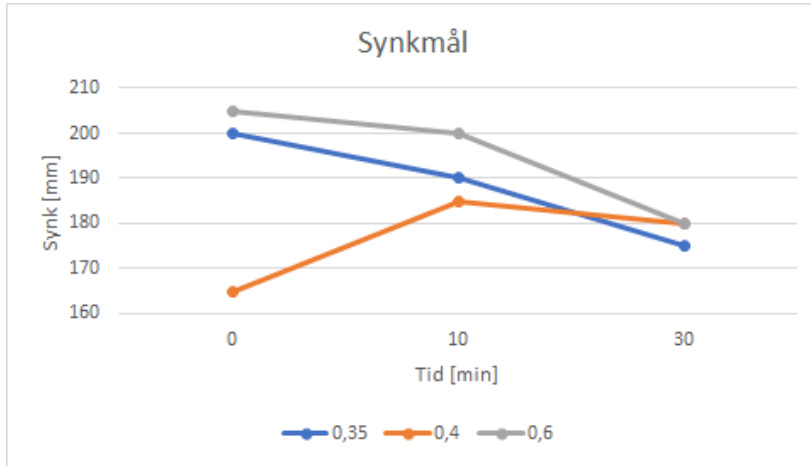


V/C-tall 0,60, sammenligning av synkmål/utbredelse

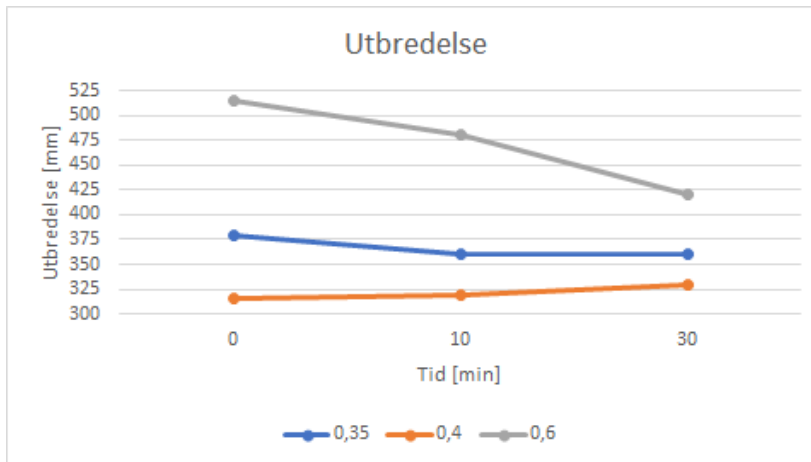


9.3.5 - 320 matriksvolum, 6 % SF

Synkmål, sammenligning av V/C-tall

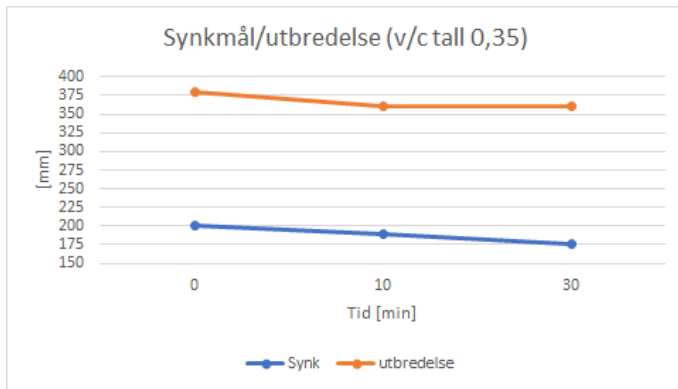


Utbredelse, sammenligning av V/C-tall

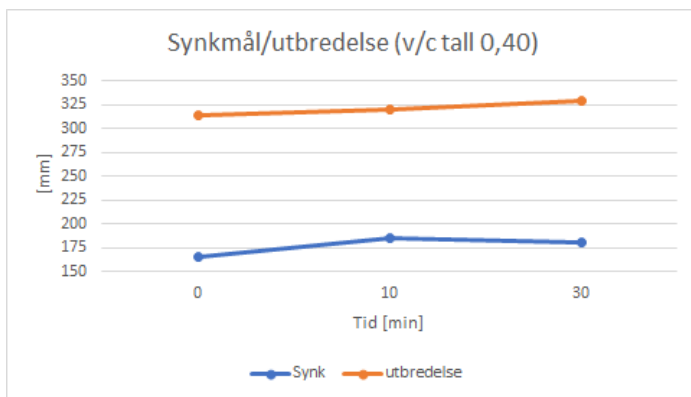


Betongens reologiske egenskaper

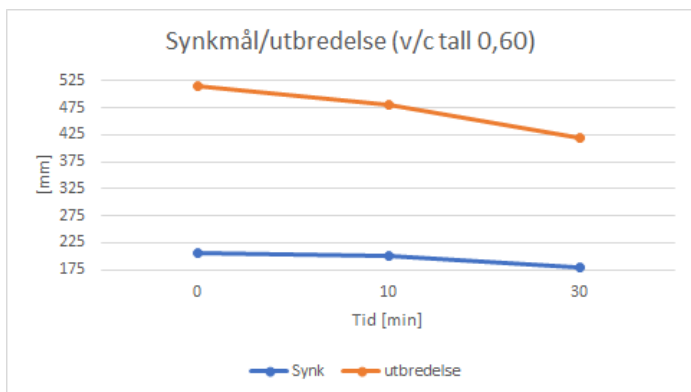
V/C-tall 0,35, sammenligning av synkmål/utbredelse



V/C-tall 0,40, sammenligning av synkmål/utbredelse

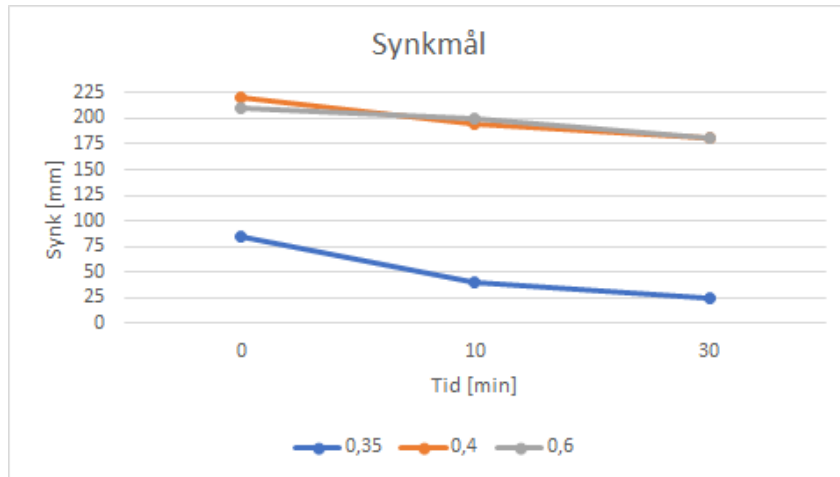


V/C-tall 0,60, sammenligning av synkmål/utbredelse

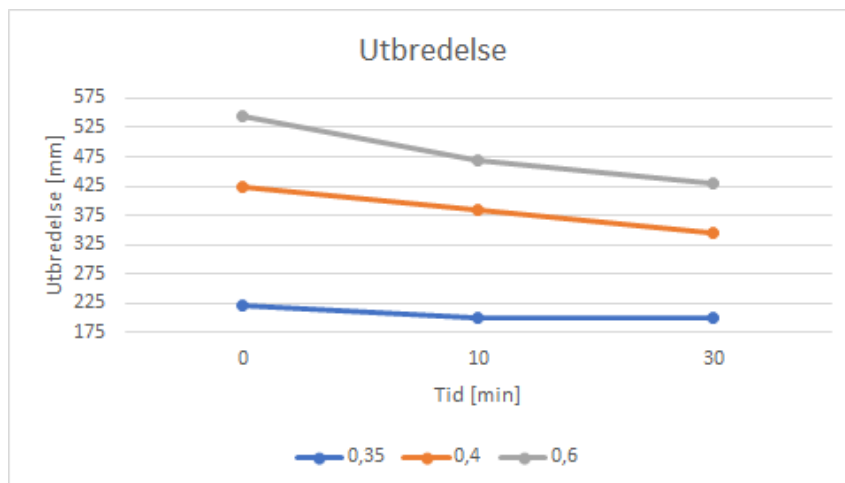


9.3.6 - 320 matriksvolum, 10 % SF

Synkmål, sammenligning av V/C-tall

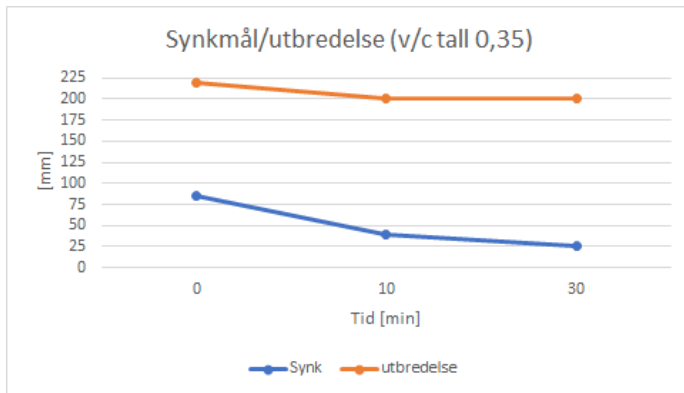


Utbredelse, sammenligning av V/C-tall

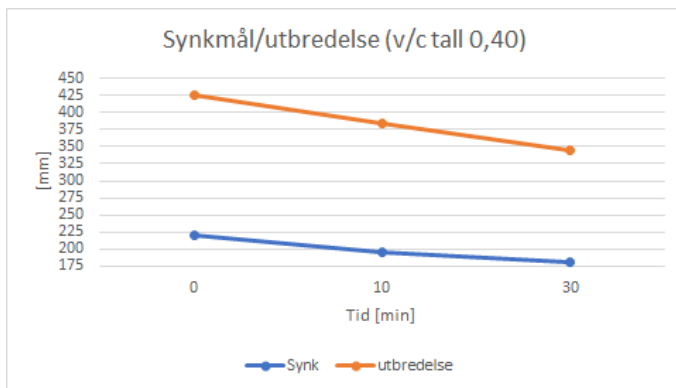


Betongens reologiske egenskaper

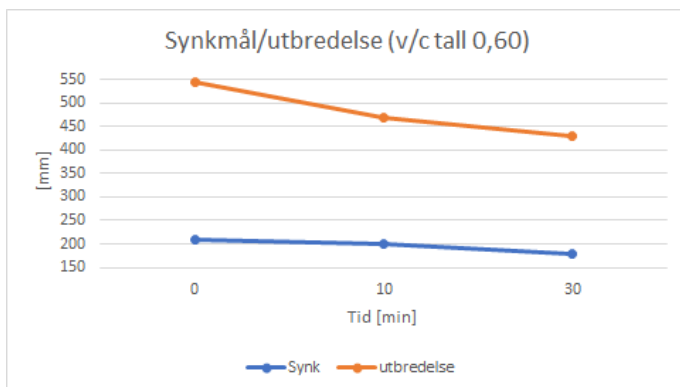
V/C-tall 0,35, sammenligning av synkmål/utbredelse



V/C-tall 0,40, sammenligning av synkmål/utbredelse

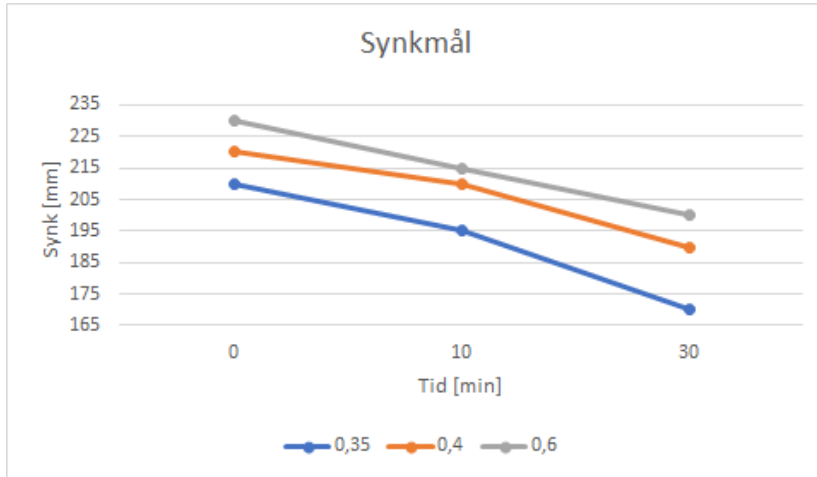


V/C-tall 0,60, sammenligning av synkmål/utbredelse

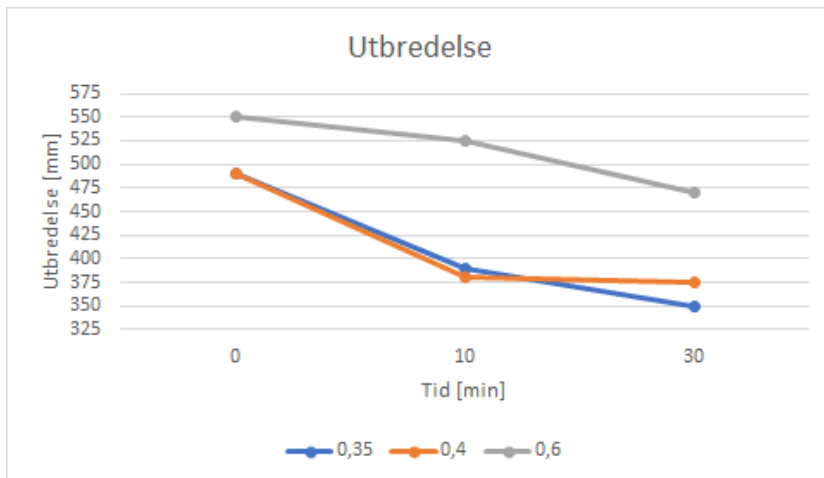


9.3.7 - 320 matriksvolum, 6 % SF, tilpasset SP

Synkmål, sammenligning av V/C-tall

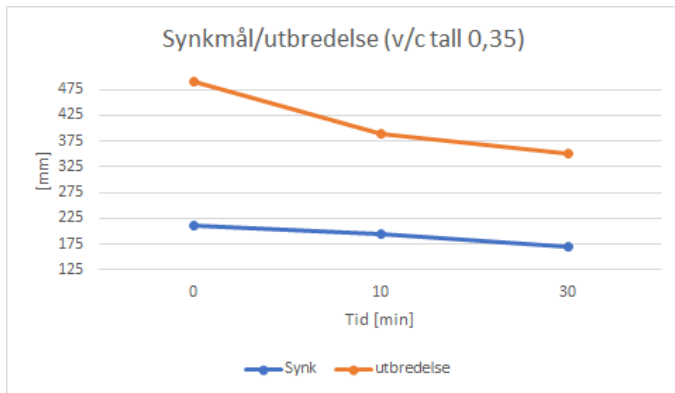


Utbredelse, sammenligning av V/C-tall

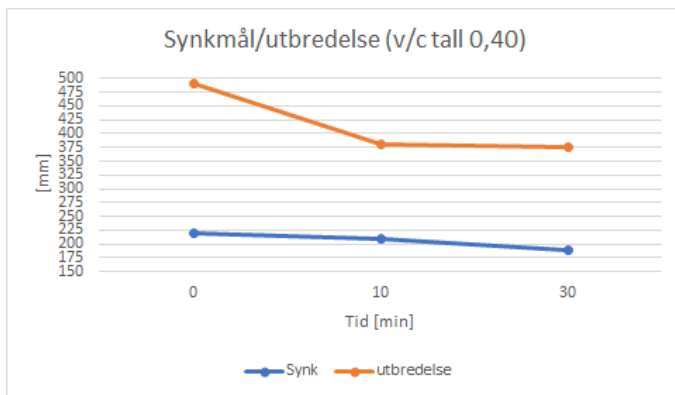


Betongens reologiske egenskaper

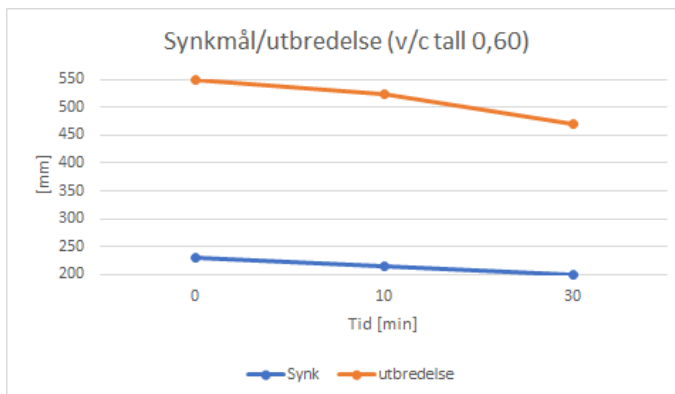
V/C-tall 0,35, sammenligning av synkmål/utbredelse



V/C-tall 0,40, sammenligning av synkmål/utbredelse

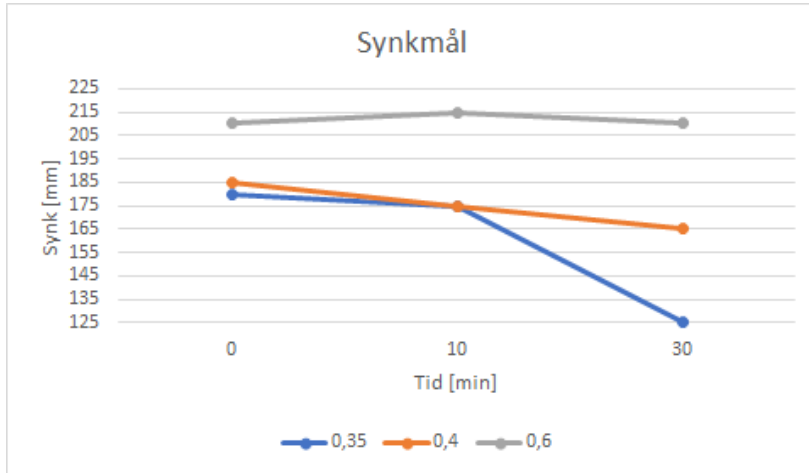


V/C-tall 0,60, sammenligning av synkmål/utbredelse

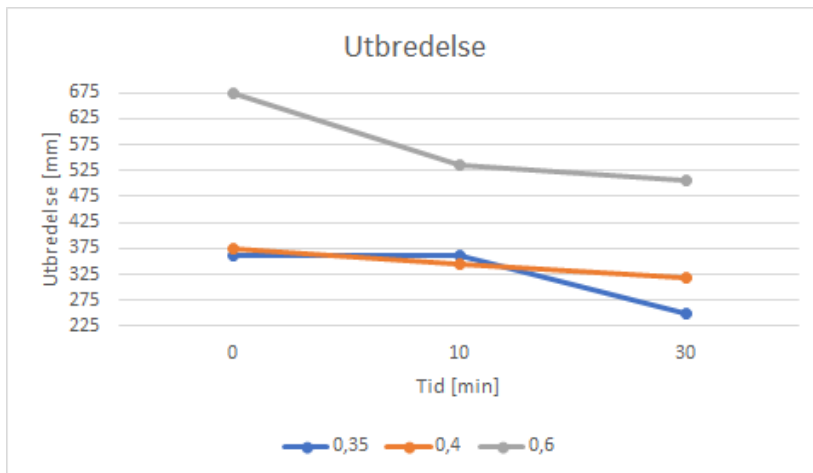


9.3.8 - 340 matriksvolum, 6 % SF

Synkmål, sammenligning av V/C-tall

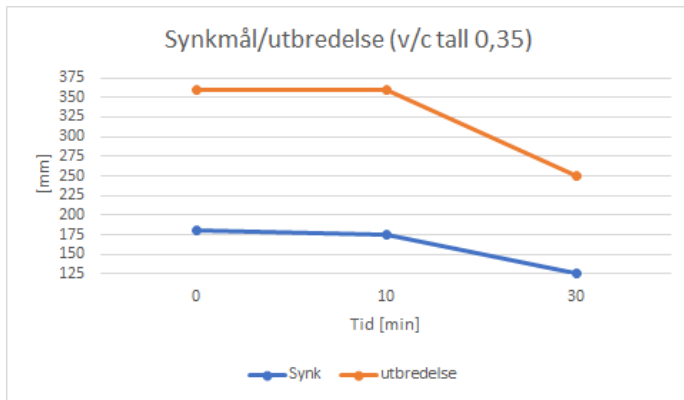


Utbredelse, sammenligning av V/C-tall

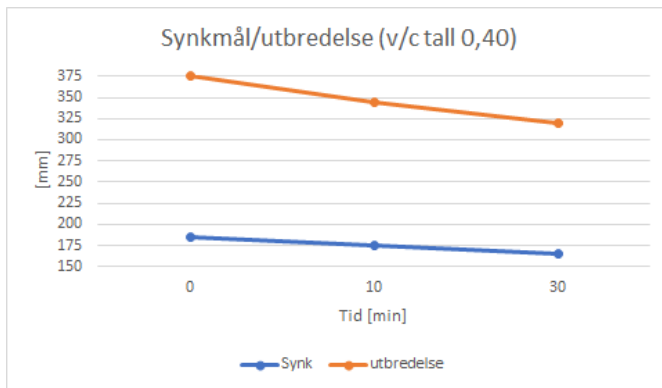


Betongens reologiske egenskaper

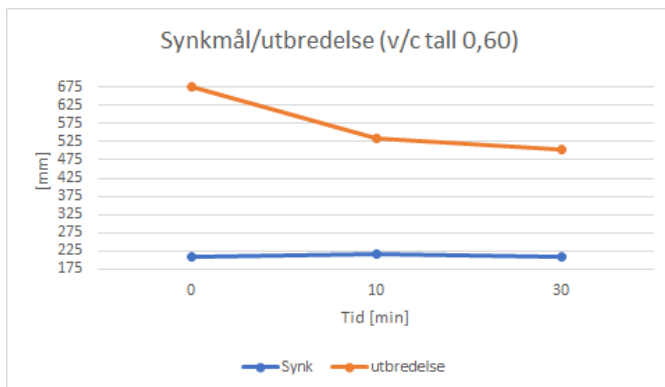
V/C-tall 0,35, sammenligning av synkmål/utbredelse



V/C-tall 0,40, sammenligning av synkmål/utbredelse



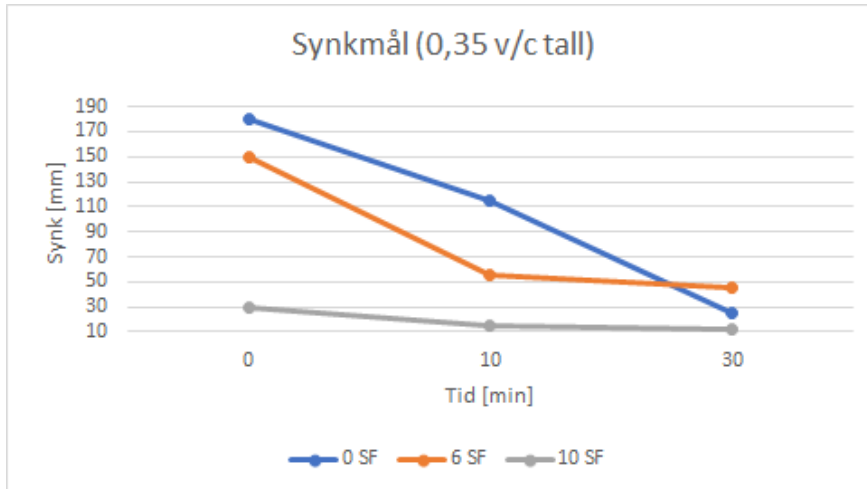
V/C-tall 0,60, sammenligning av synkmål/utbredelse



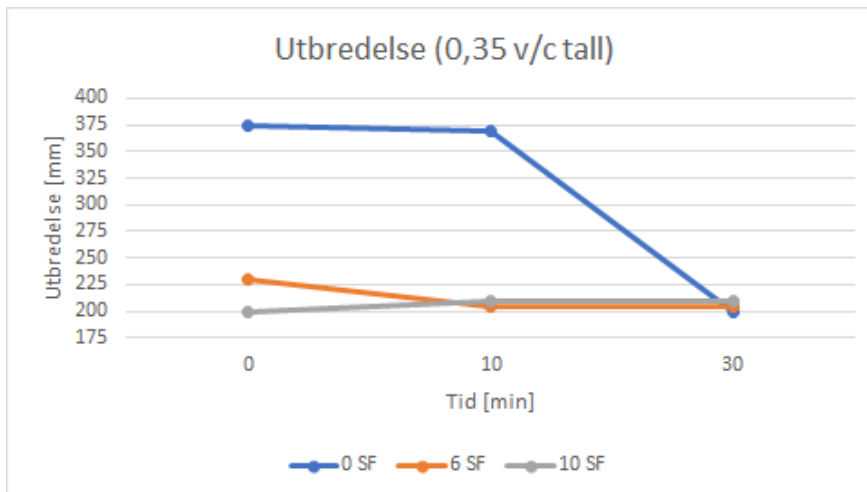
9.4 Sammenligning av SF

9.4.1 - 300 matriksvolum, V/C-tall 0,35

Synkmål for V/C-tall 0,35, sammenligning av SF

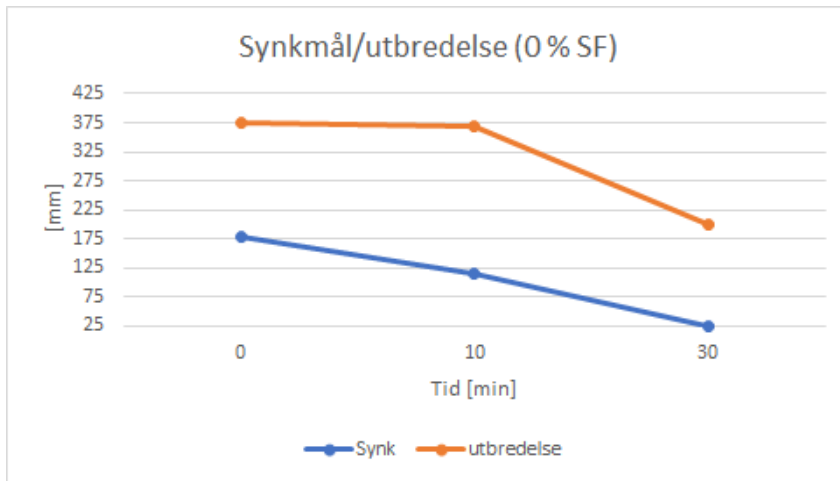


Utbredelse for V/C-tall 0,35, sammenligning av SF

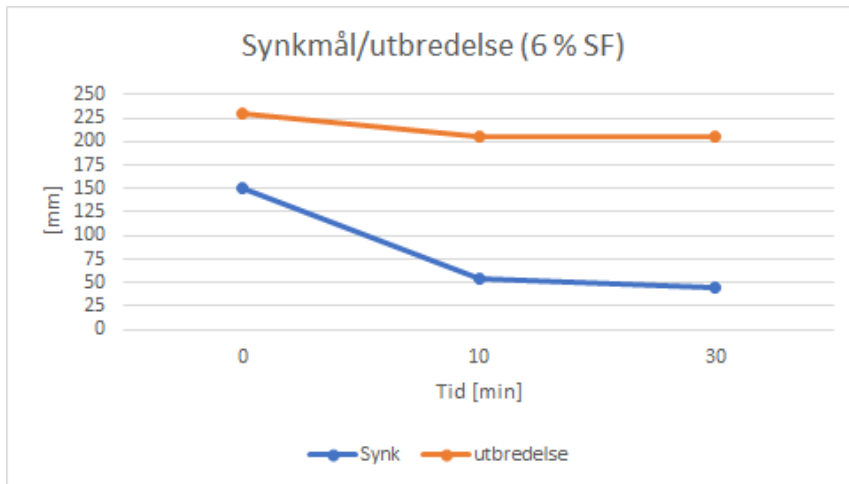


Betongens reologiske egenskaper

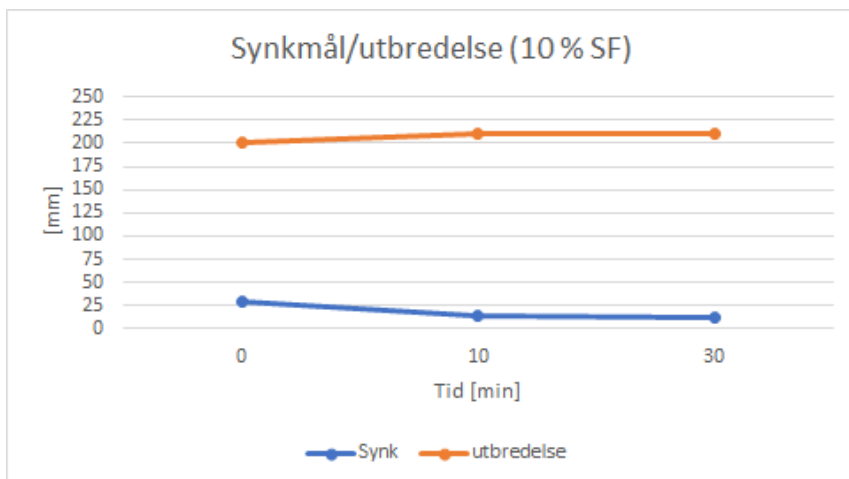
Sammenligning av synkmål/utbredelse for 0 % SF



Sammenligning av synkmål/utbredelse for 6 % SF

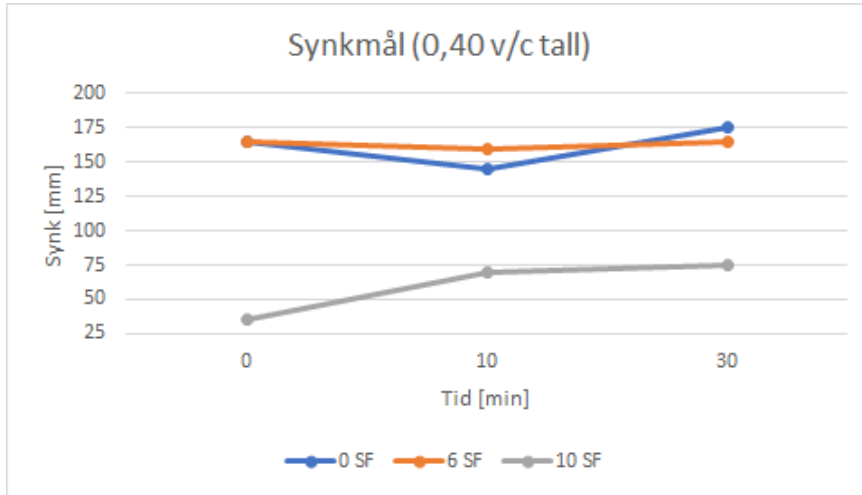


Sammenligning av synkmål/utbredelse for 10 % SF

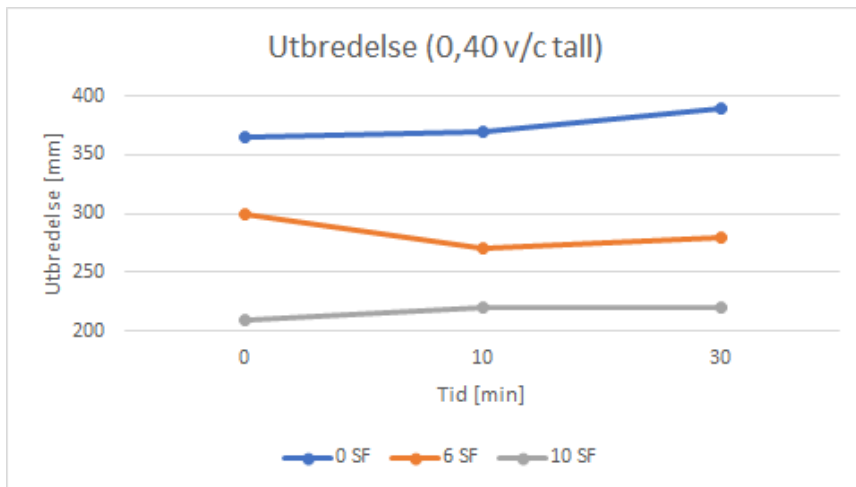


9.4.2 - 300 matriksvolum, V/C-tall 0,40

Synkmål for V/C-tall 0,40, sammenligning av SF

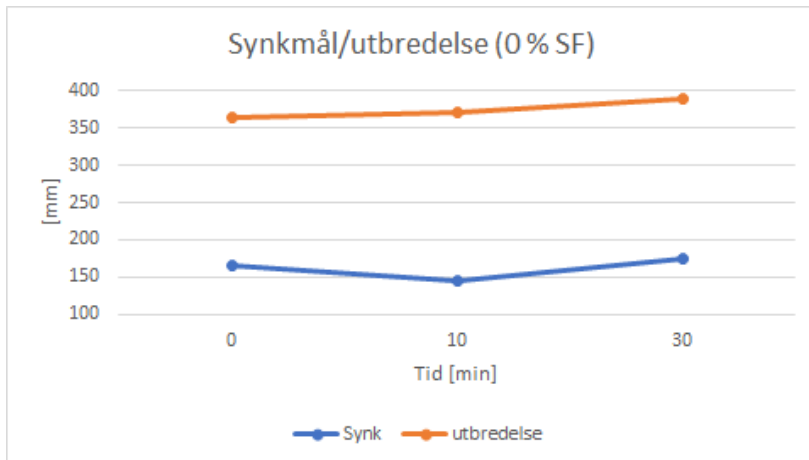


Utbredelse for V/C-tall 0,40, sammenligning av SF

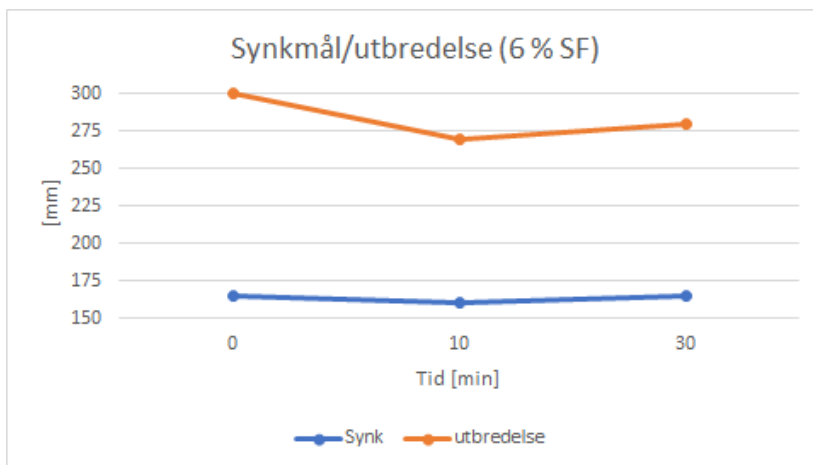


Betongens reologiske egenskaper

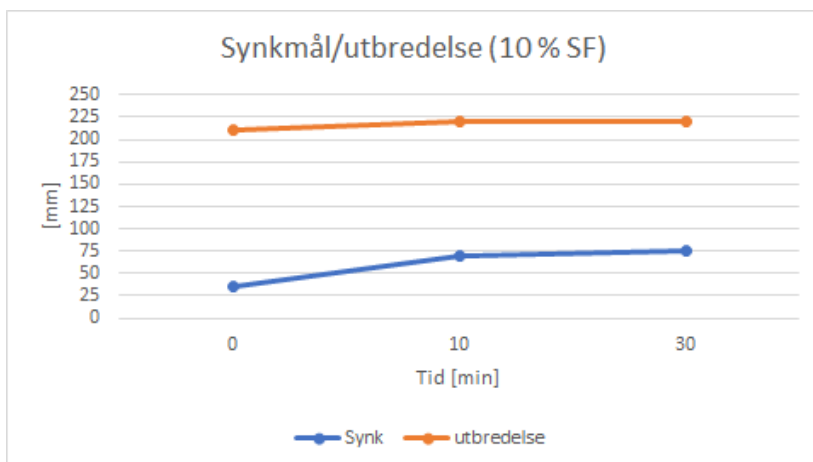
Sammenligning av synkmål/utbredelse for 0 % SF



Sammenligning av synkmål/utbredelse for 6 % SF

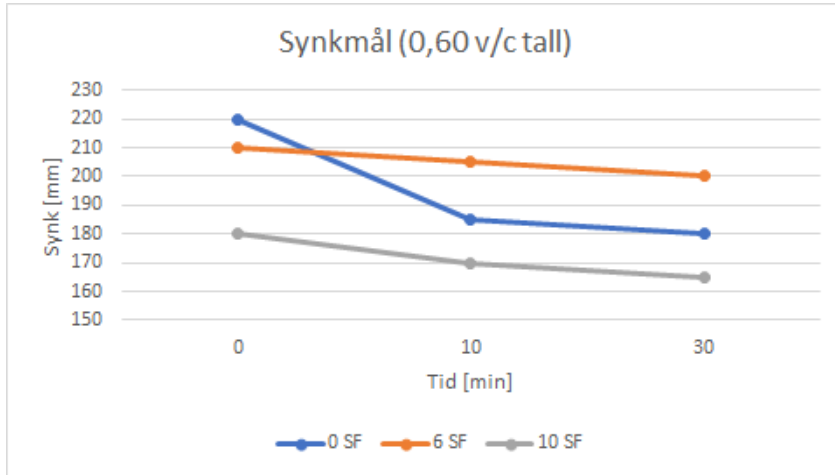


Sammenligning av synkmål/utbredelse for 10 % SF

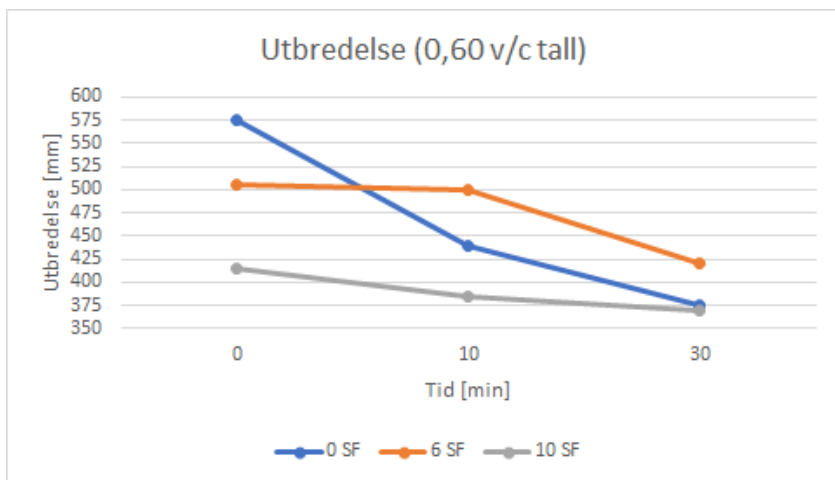


9.4.3 - 300 matriksvolum, V/C-tall 0,60

Synkmål for V/C-tall 0,60, sammenligning av SF

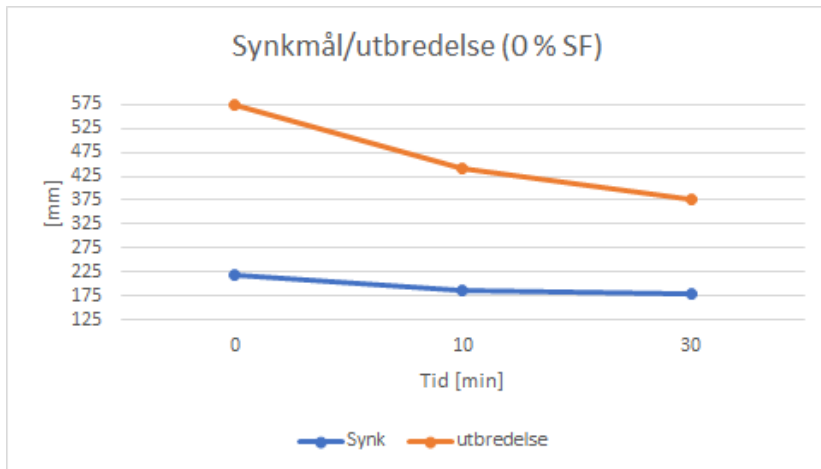


Utbredelse for V/C-tall 0,60, sammenligning av SF

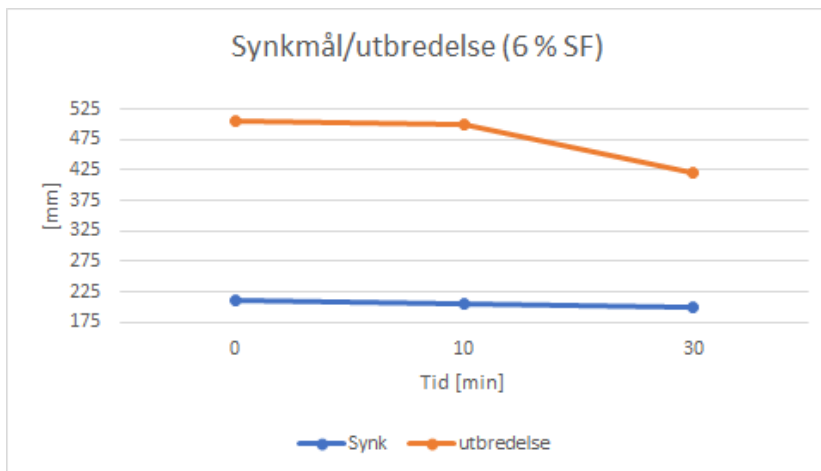


Betongens reologiske egenskaper

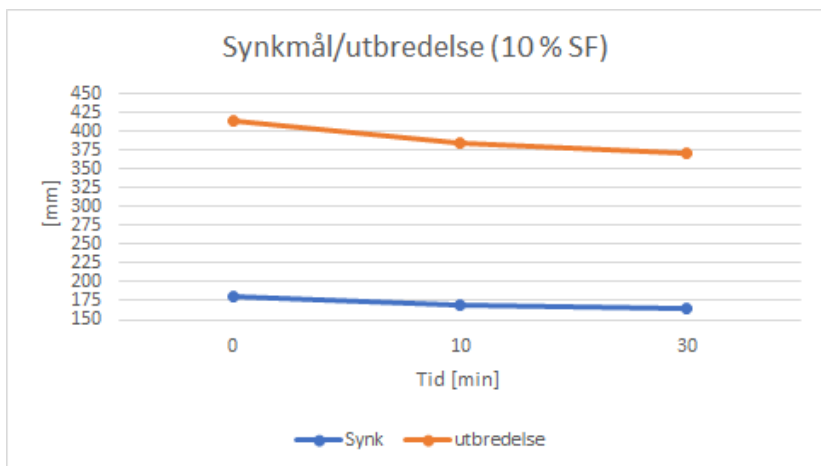
Sammenligning av synkmål/utbredelse for 0 % SF



Sammenligning av synkmål/utbredelse for 6 % SF

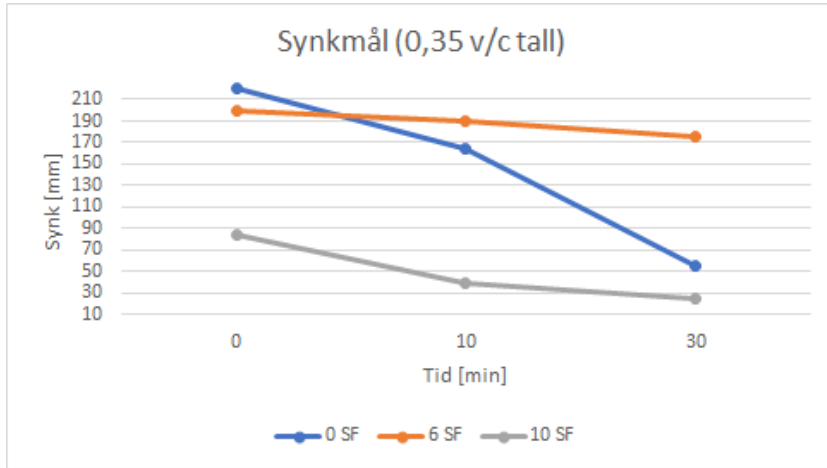


Sammenligning av synkmål/utbredelse for 10 % SF

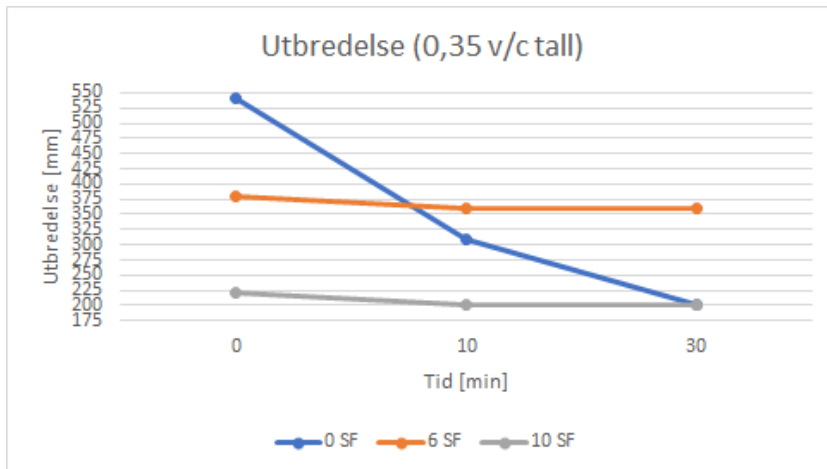


9.4.4 - 320 matriksvolum, V/C-tall 0,35

Synkmål for V/C-tall 0,35, sammenligning av SF

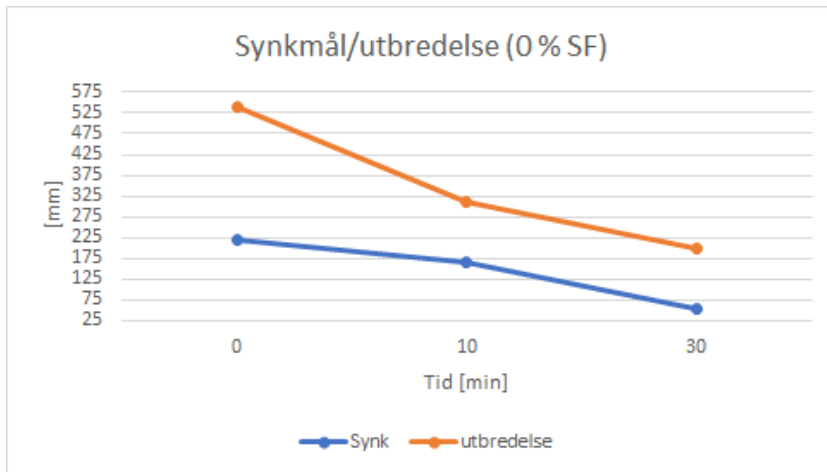


Utbredelse for V/C-tall 0,35, sammenligning av SF

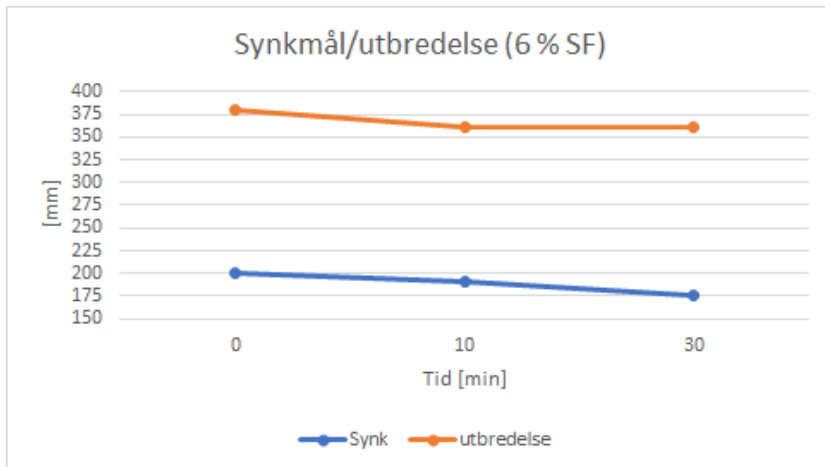


Betongens reologiske egenskaper

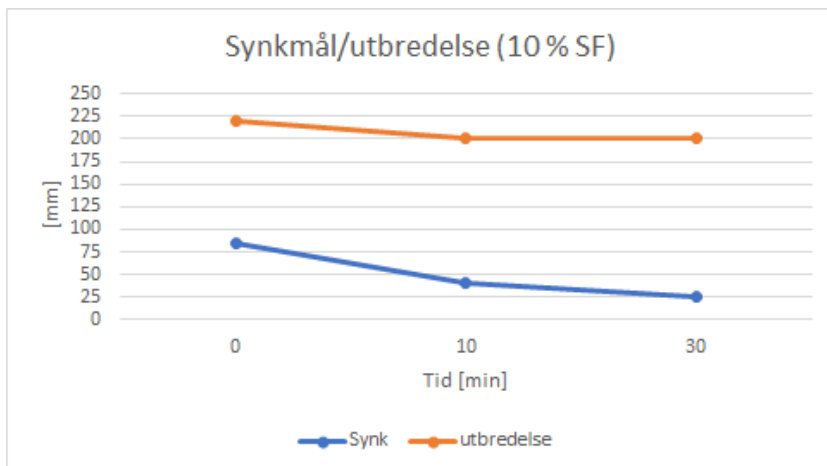
Sammenligning av synkmål/utbredelse for 0 % SF



Sammenligning av synkmål/utbredelse for 6 % SF

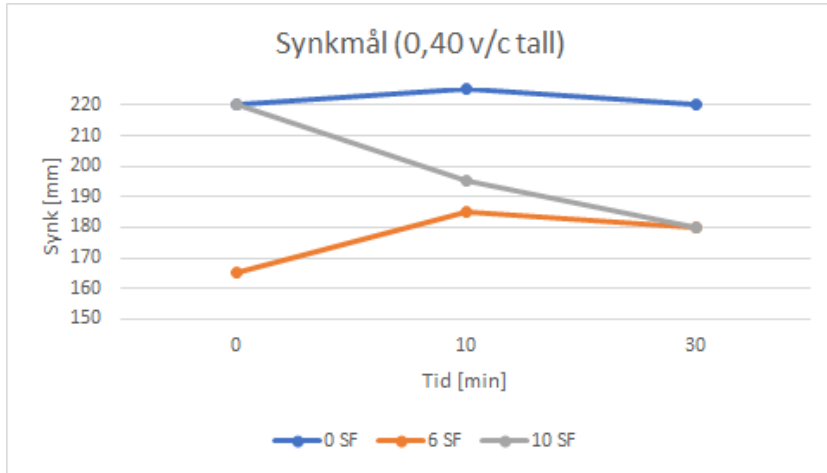


Sammenligning av synkmål/utbredelse for 10 % SF

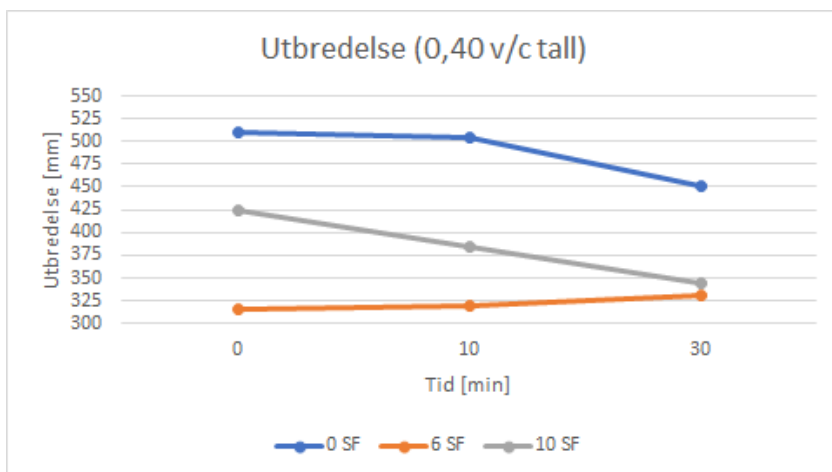


9.4.5 - 320 matriksvolum, V/C-tall 0,40

Synkmål for V/C-tall 0,40, sammenligning av SF

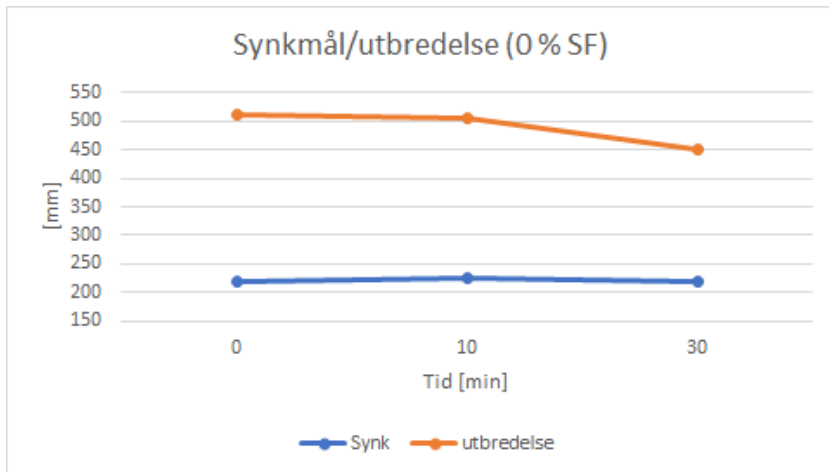


Utbredelse for V/C-tall 0,40, sammenligning av SF

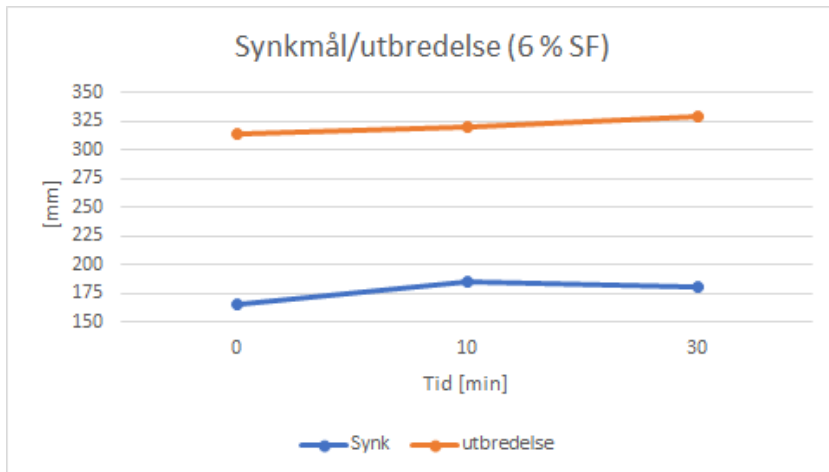


Betongens reologiske egenskaper

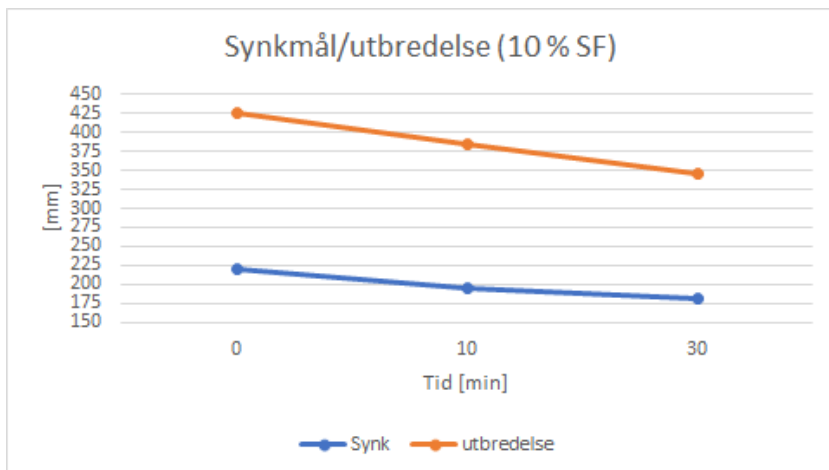
Sammenligning av synkmål/utbredelse for 0 % SF



Sammenligning av synkmål/utbredelse for 6 % SF

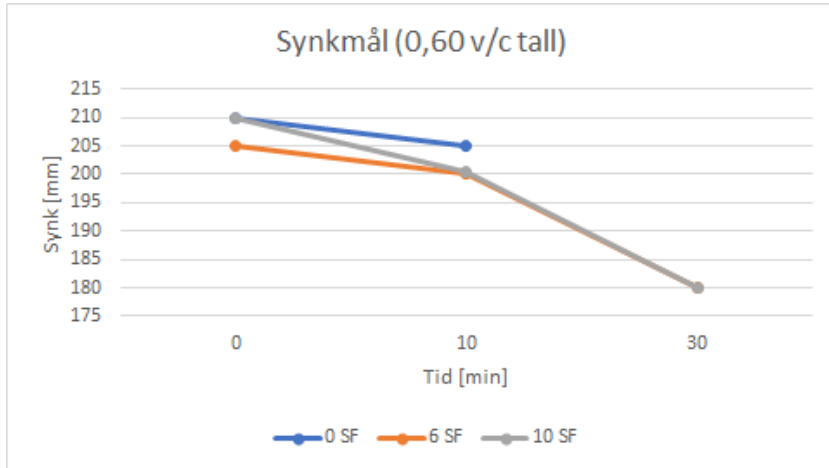


Sammenligning av synkmål/utbredelse for 10 % SF

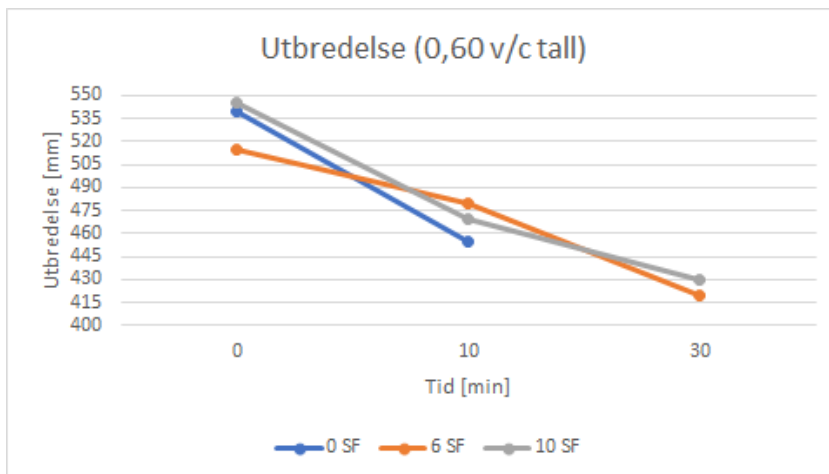


9.4.6 - 320 matriksvolum, V/C-tall 0,60

Synkmål for V/C-tall 0,60, sammenligning av SF

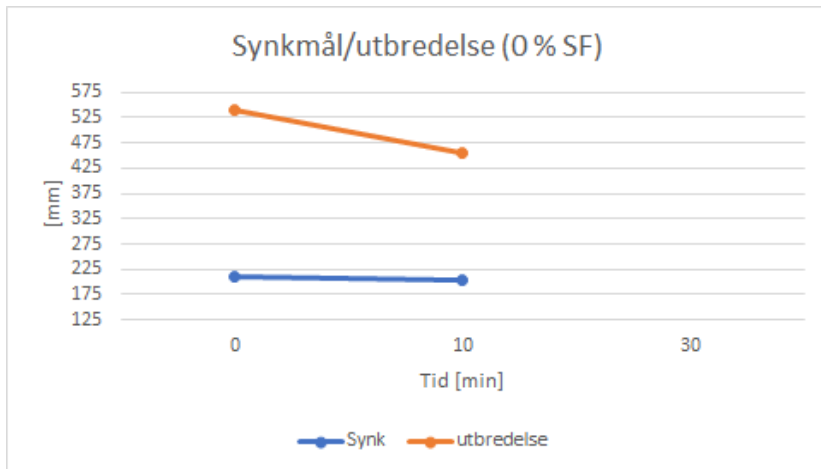


Utbredelse for V/C-tall 0,60, sammenligning av SF

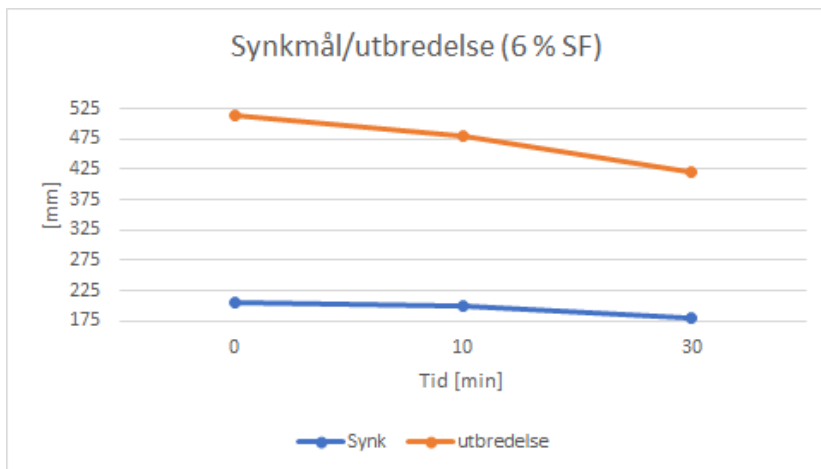


Betongens reologiske egenskaper

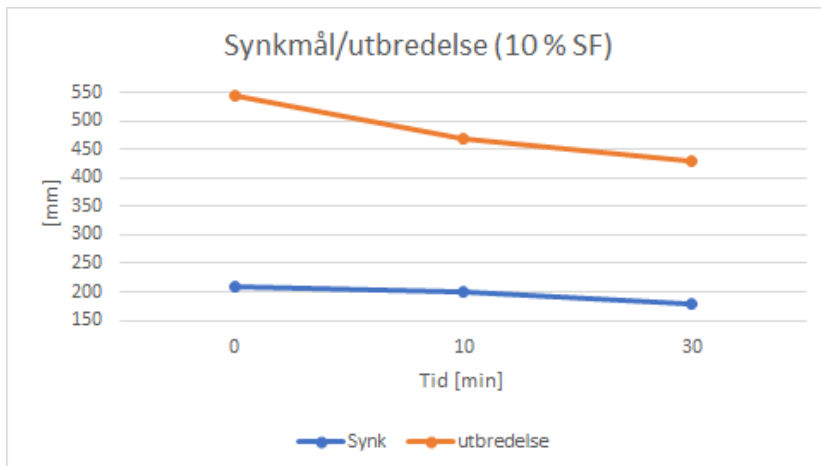
Sammenligning av synkmål/utbredelse for 0 % SF



Sammenligning av synkmål/utbredelse for 6 % SF



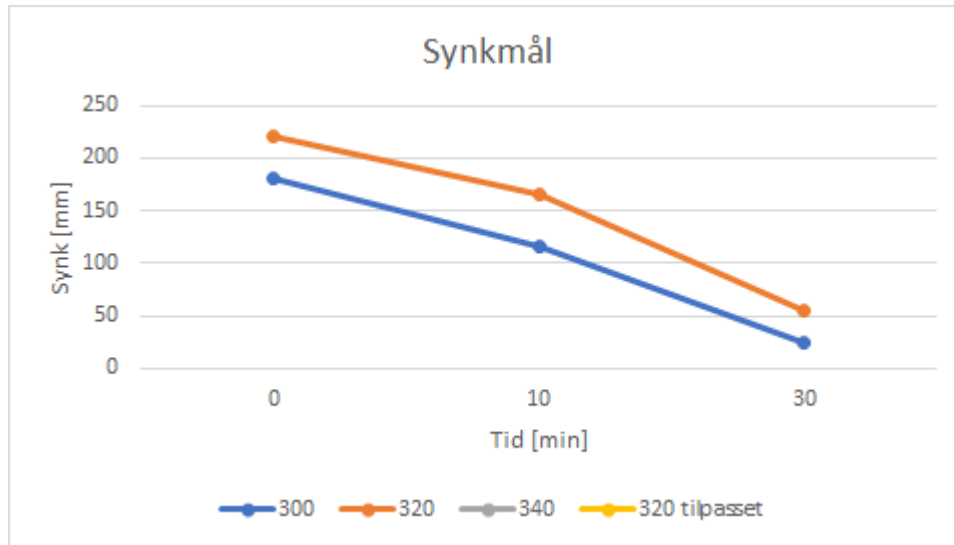
Sammenligning av synkmål/utbredelse for 10 % SF



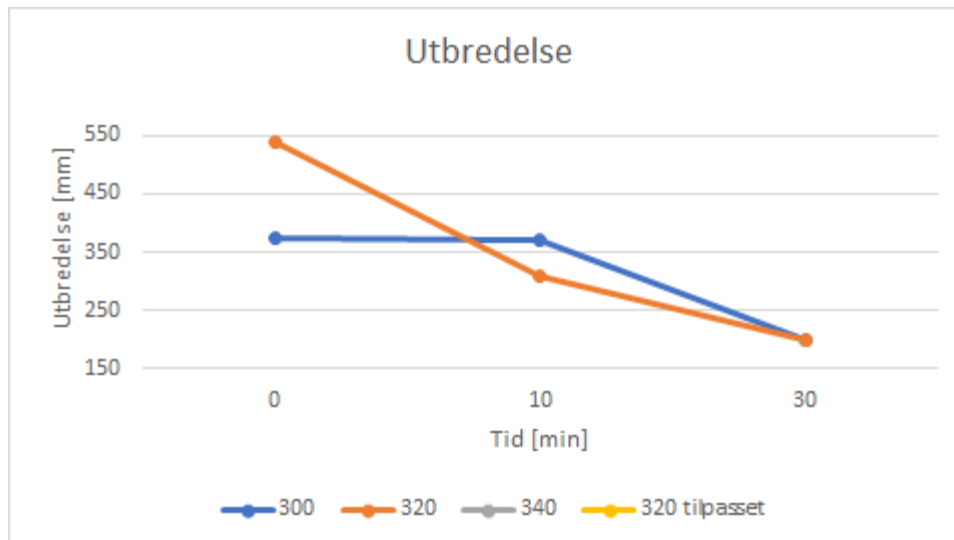
9.5 Sammenligning av matriksvolum med samme % SF og V/C-tall

9.5.1 - 0 % SF & V/C-tall 0,35

Synkmål, 0 % SF & V/C-tall 0,35

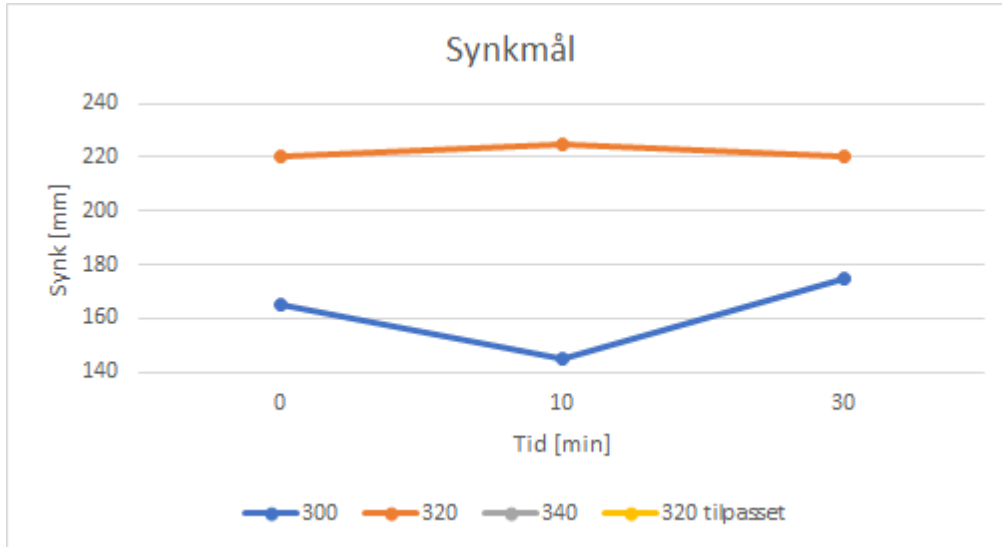


Utbredelse, 0 % SF & V/C-tall 0,35

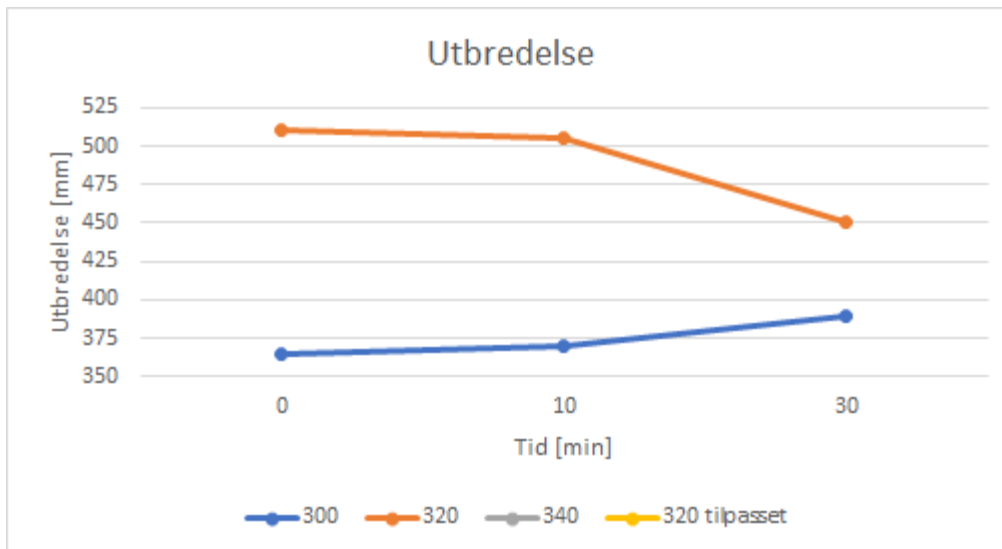


9.5.2 - 0 % SF & V/C-tall 0,40

Synkmål, 0 % SF & V/C-tall 0,40

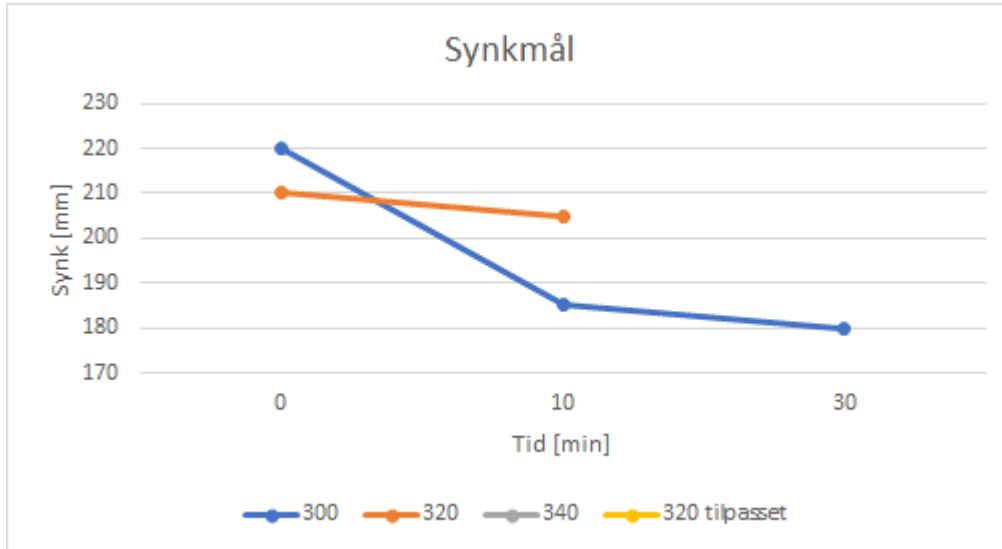


Utbredelse, 0 % SF & V/C-tall 0,40

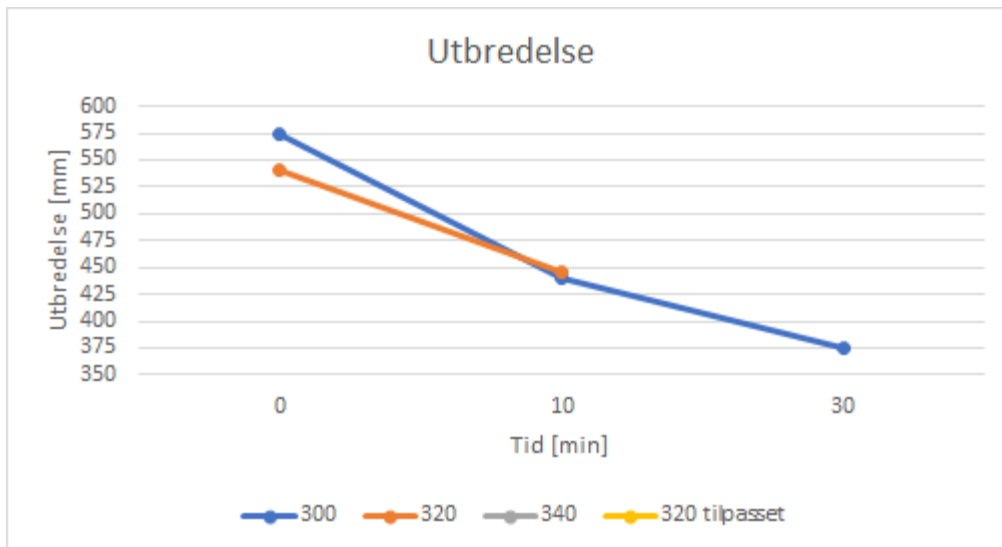


9.5.3 - 0 % SF & V/C-tall 0,60

Synkmål, 0 % SF & V/C-tall 0,60

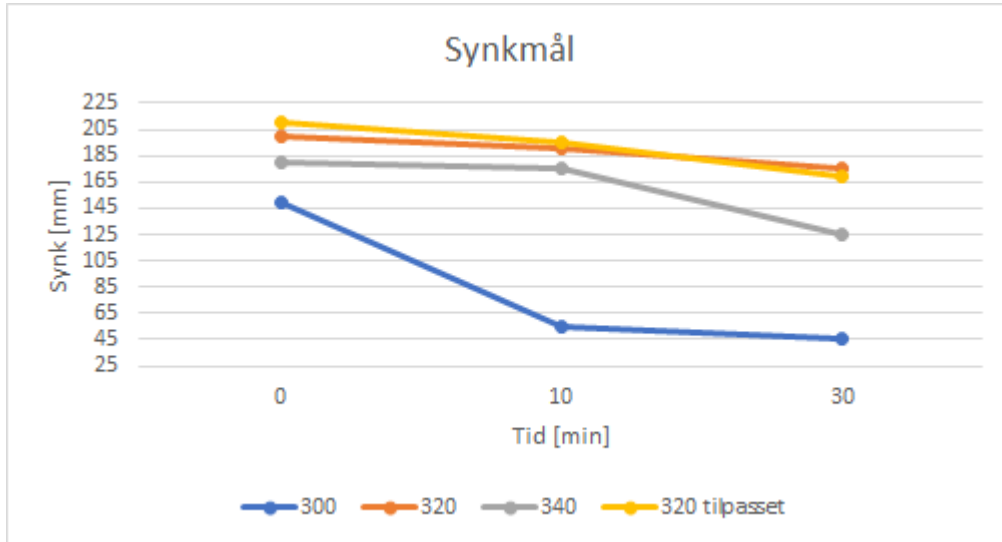


Utbredelse, 0 % SF & V/C-tall 0,60

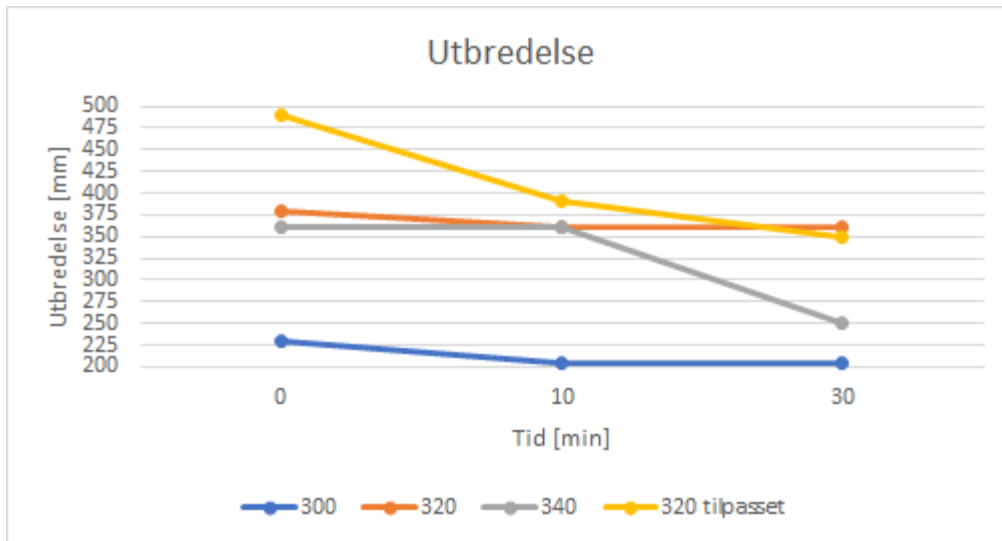


9.5.4 - 6 % SF & V/C-tall 0,35

Synkmål, 6 % SF & V/C-tall 0,35

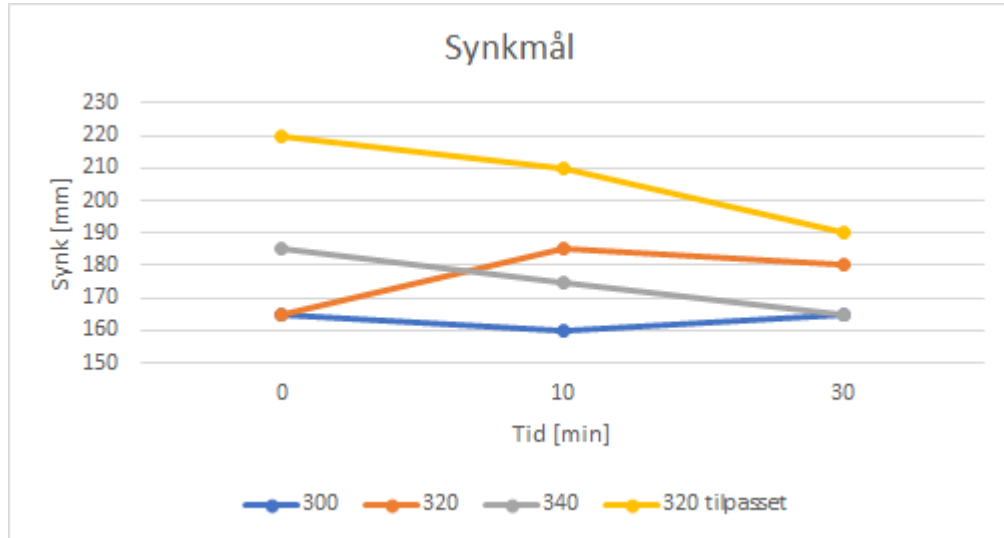


Utbredelse, 6 % SF & V/C-tall 0,35

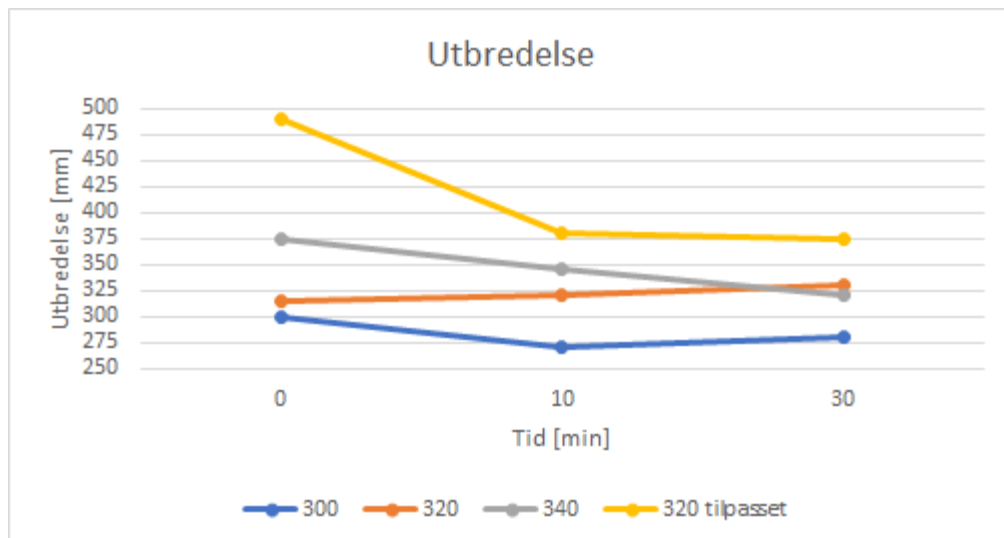


9.5.5 - 6 % SF & V/C-tall 0,40

Synkmål, 6 % SF & V/C-tall 0,40

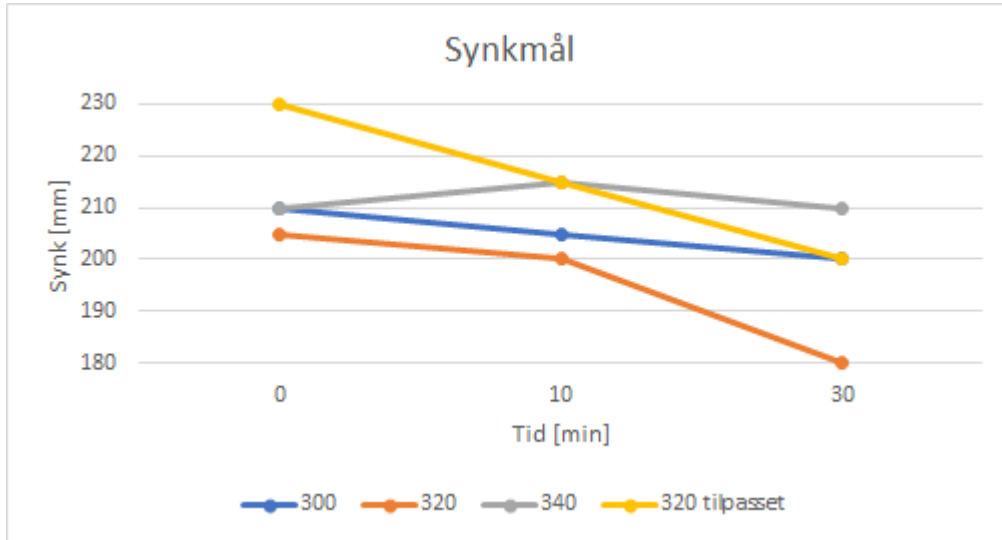


Utbredelse, 6 % SF & V/C-tall 0,40

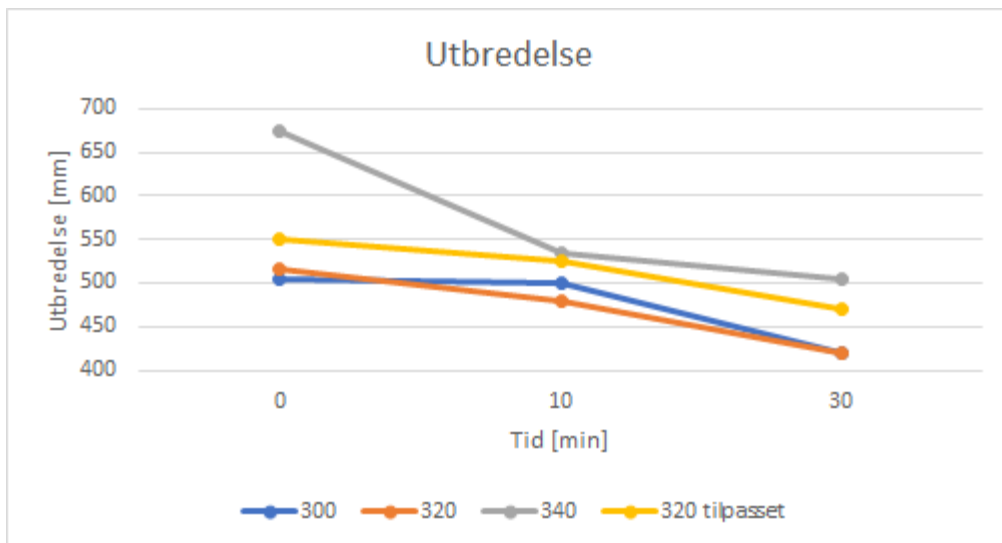


9.5.6 - 6 % SF & V/C-tall 0,60

Synkmål, 6 % SF & V/C-tall 0,60

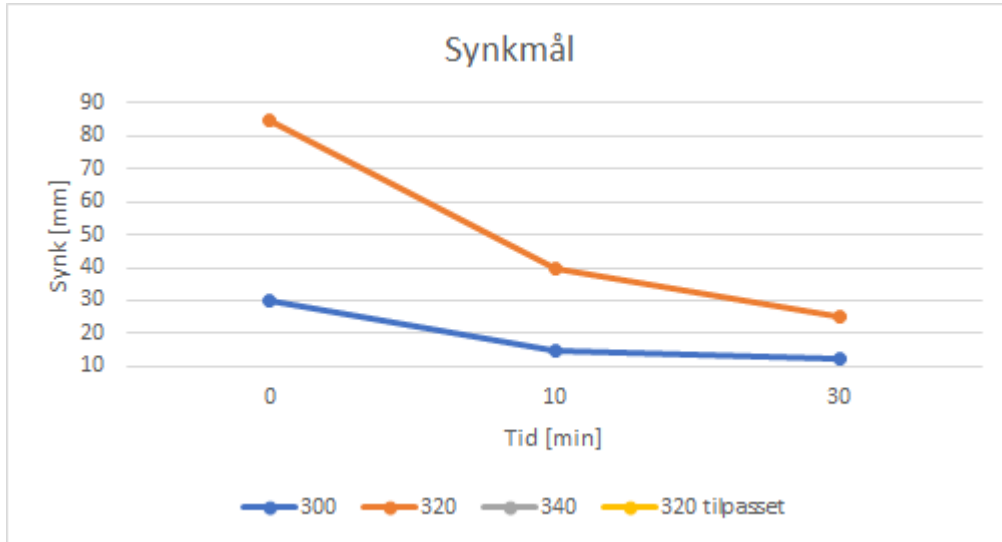


Utbredelse, 6 % SF & V/C-tall 0,60

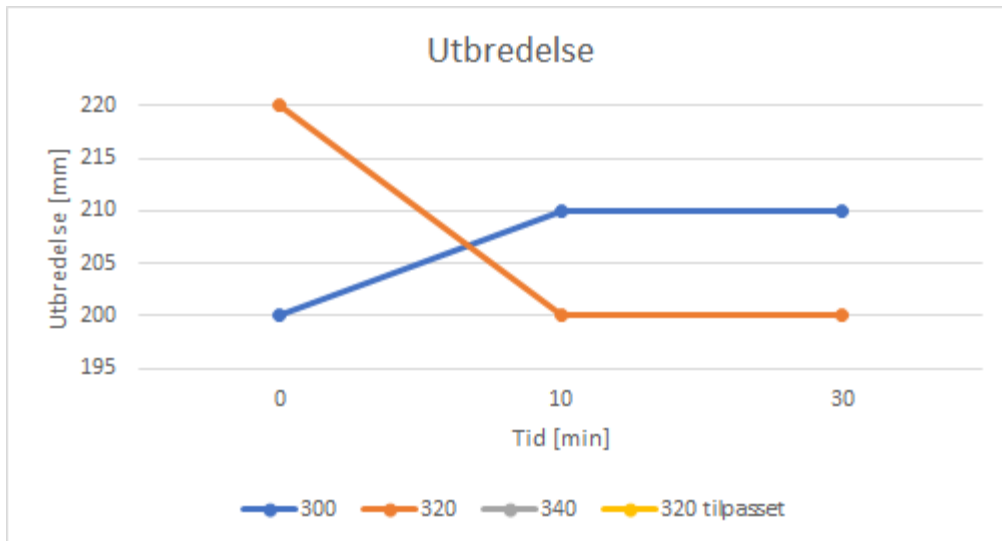


9.5.7 - 10 % SF & V/C-tall 0,35

Synkmål, 10 % SF & V/C-tall 0,35

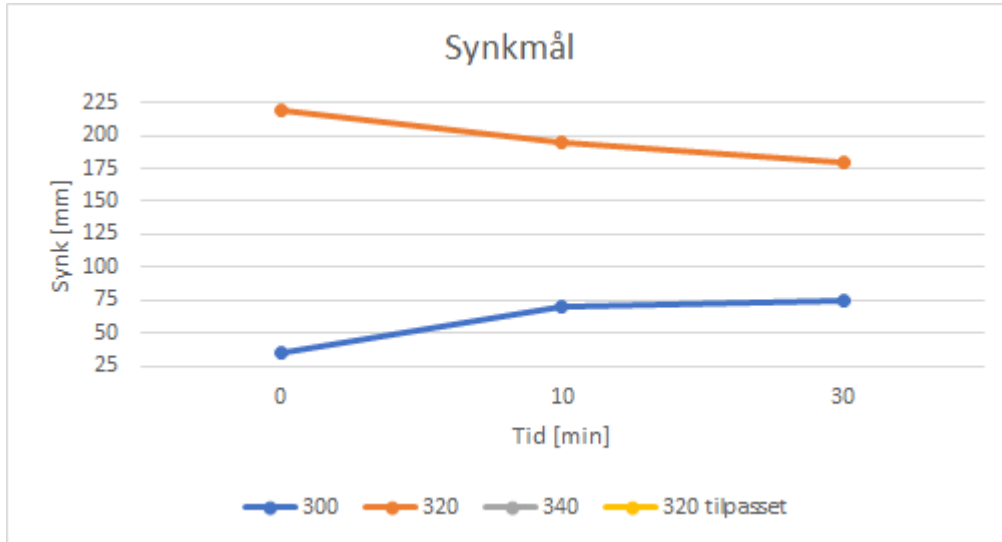


Utbredelse, 10 % SF & V/C-tall 0,35

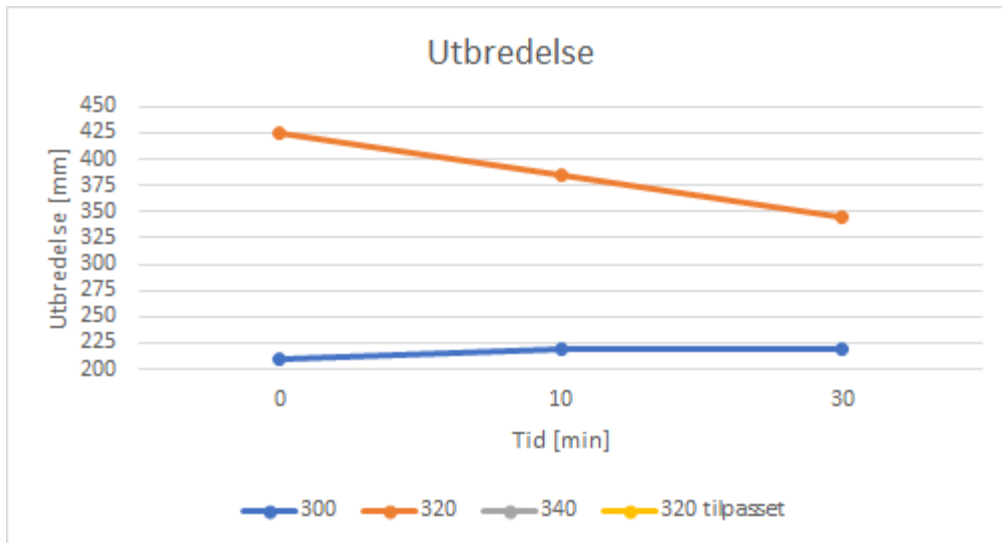


9.5.8 - 10 % SF & V/C-tall 0,40

Synkmål, 10 % SF & V/C-tall 0,40

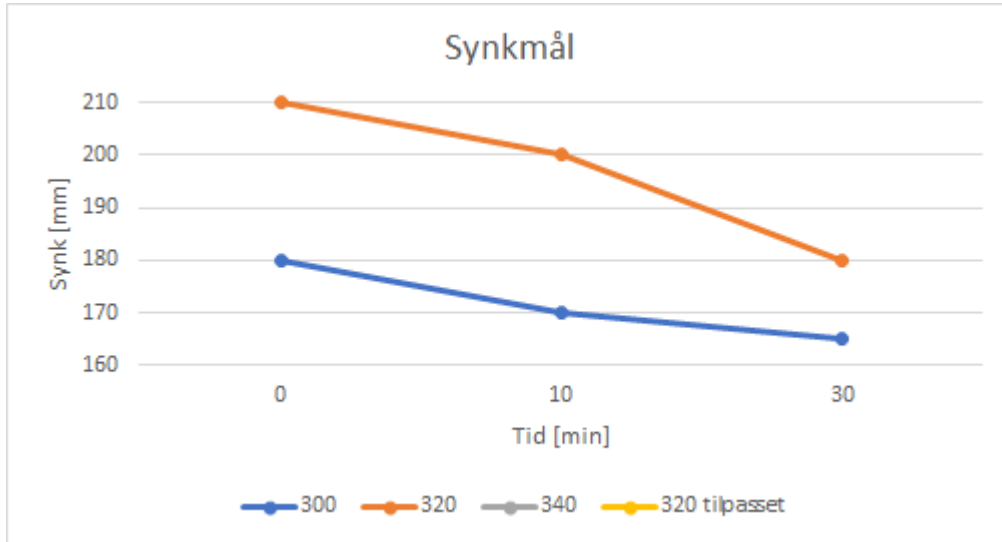


Utbredelse, 10 % SF & V/C-tall 0,40

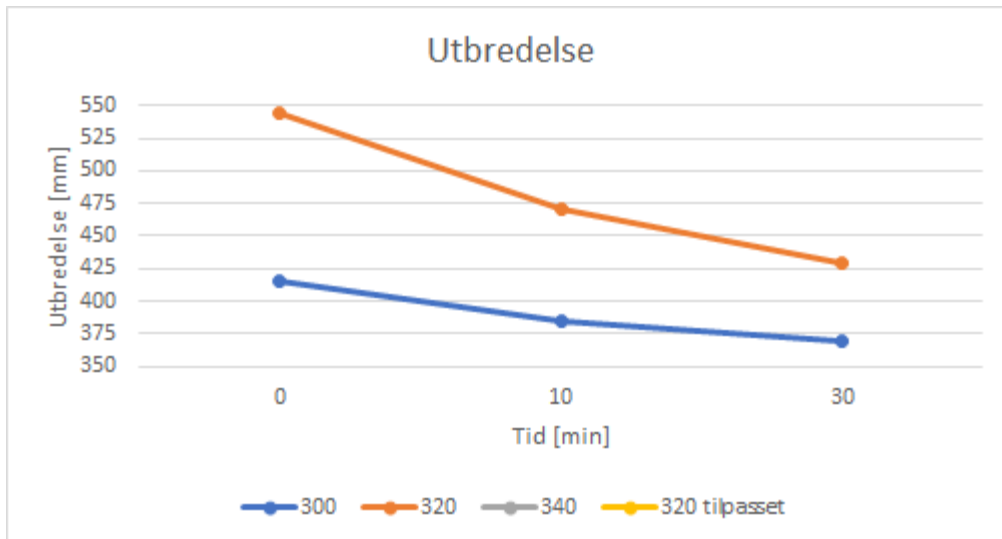


9.5.9 - 10 % SF & V/C-tall 0,60

Synkmål, 10 % SF & V/C-tall 0,60

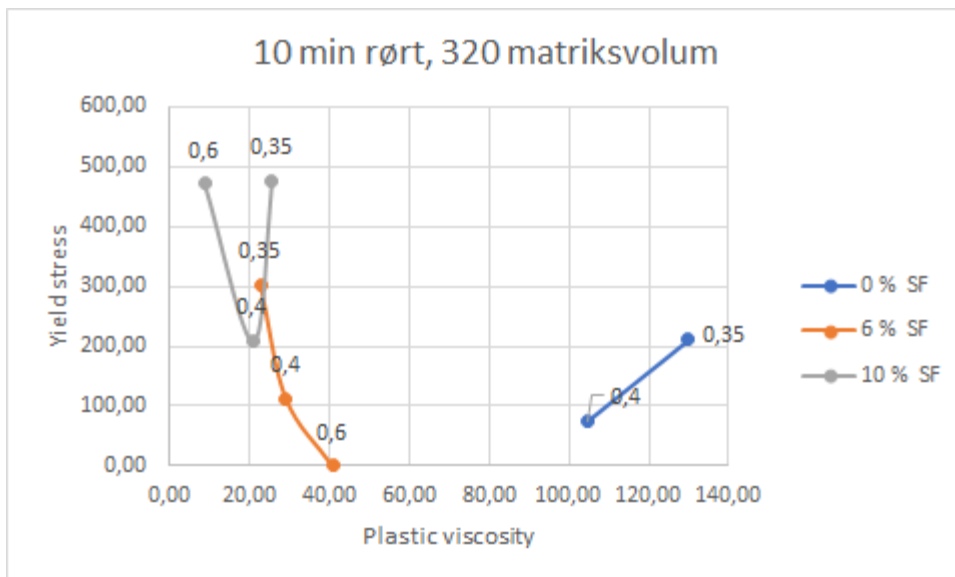
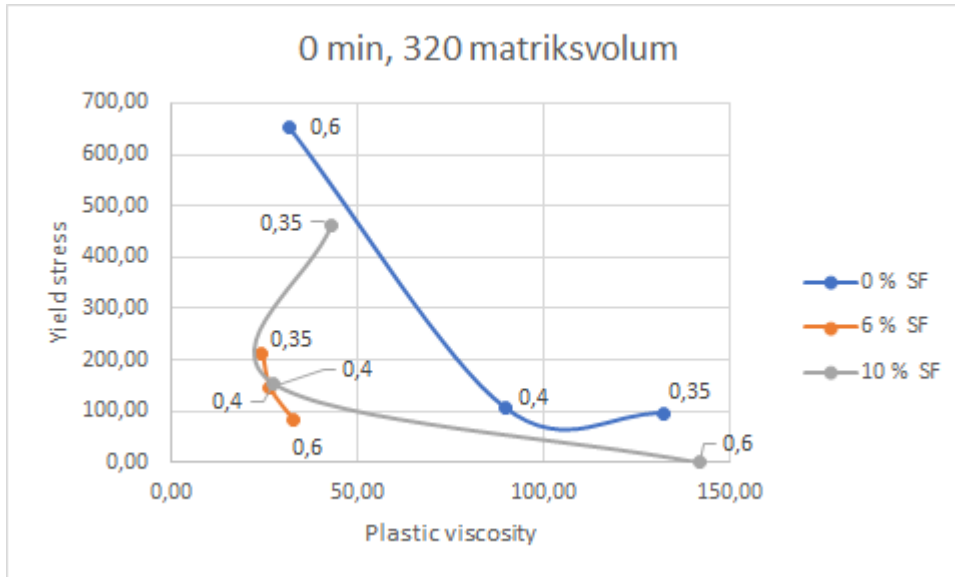


Utbredelse, 10 % SF & V/C-tall 0,60

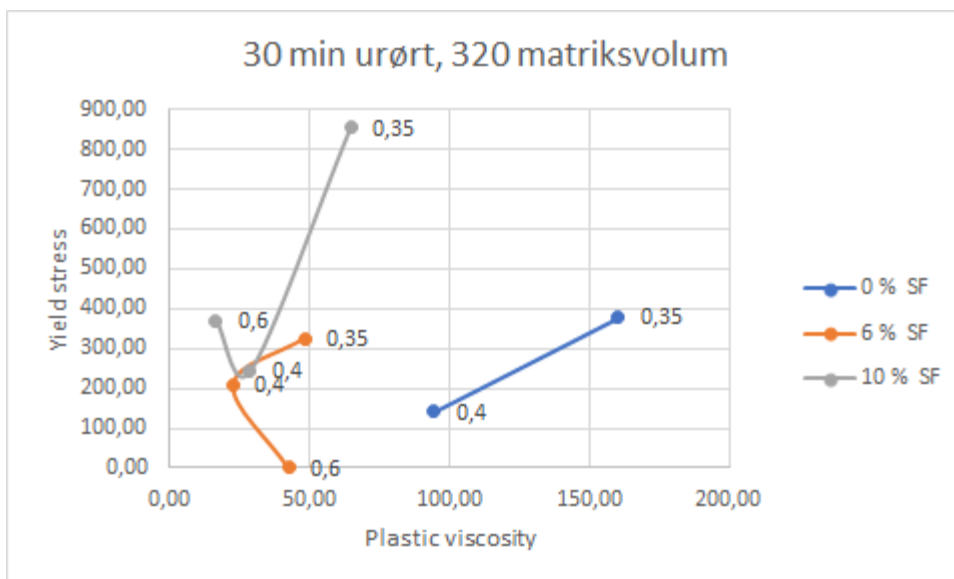
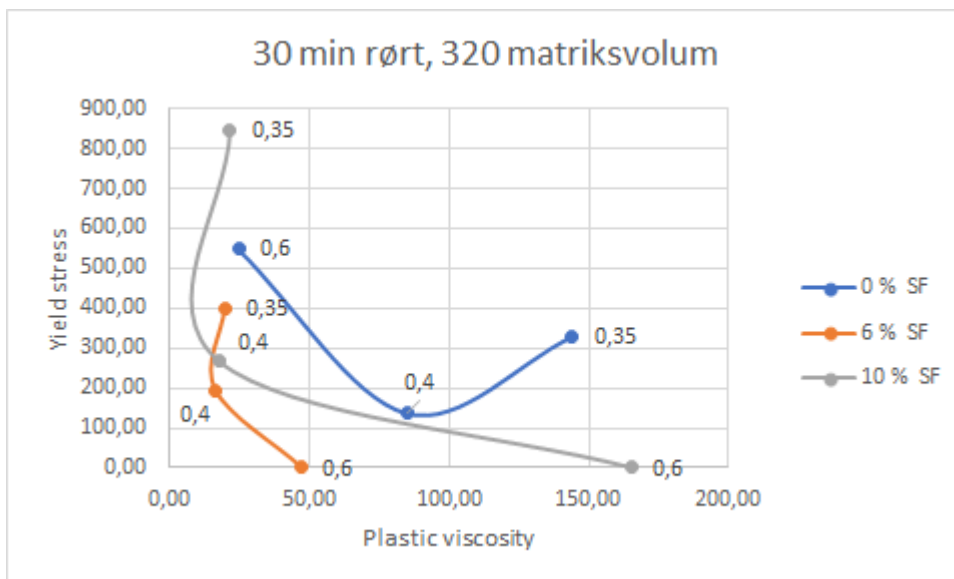
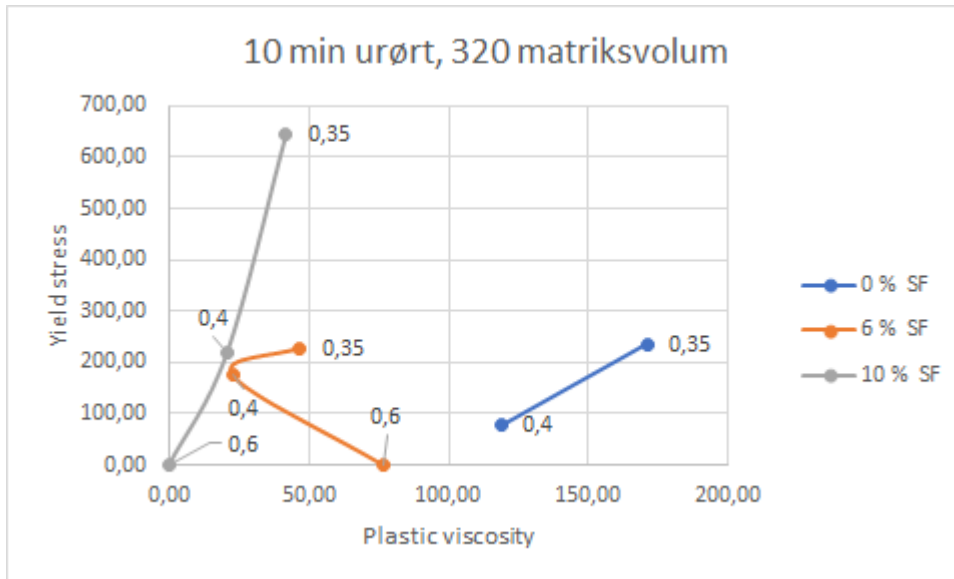


9.6 Effekten av V/C-tall på bingham parameterne

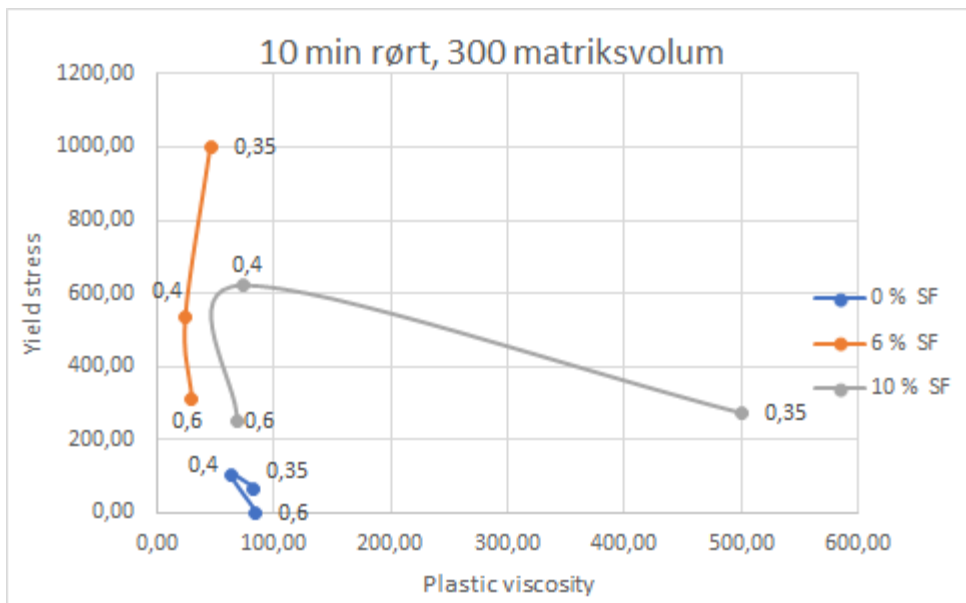
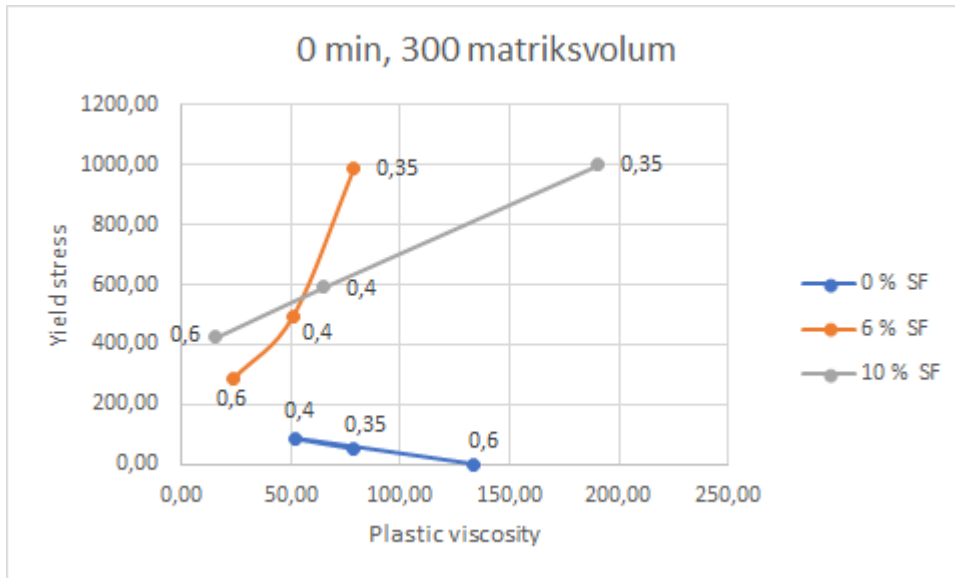
9.6.1 - 320 matriksvolum



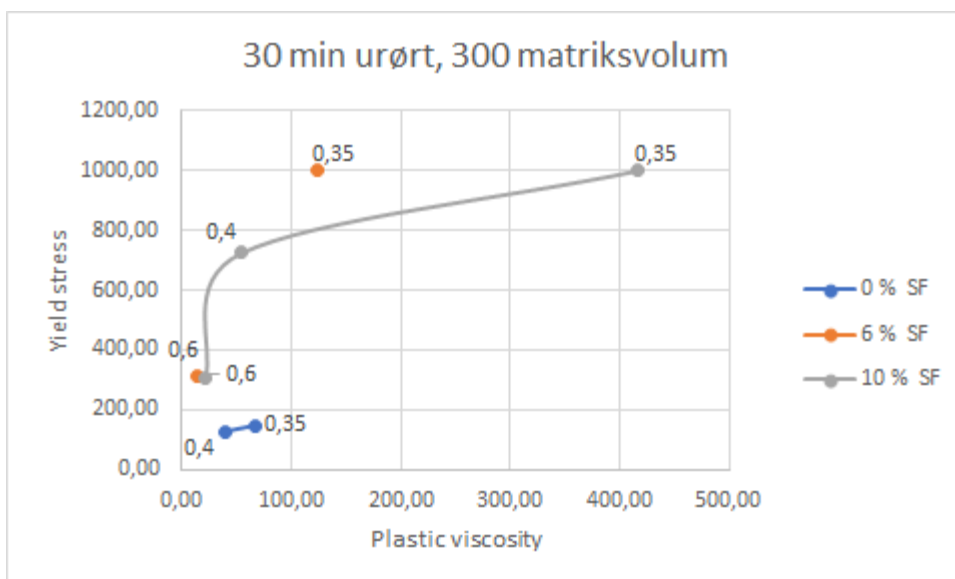
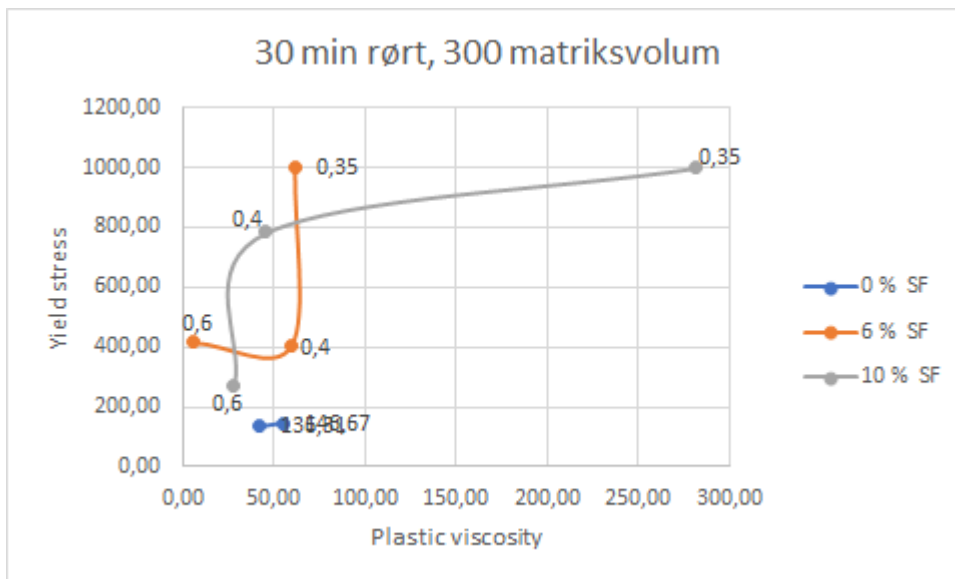
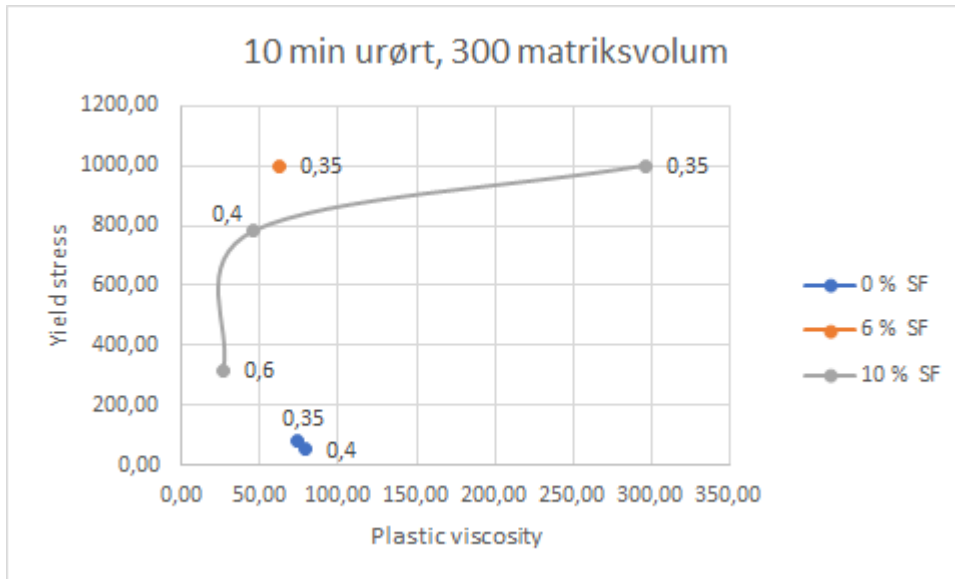
Betongens reologiske egenskaber



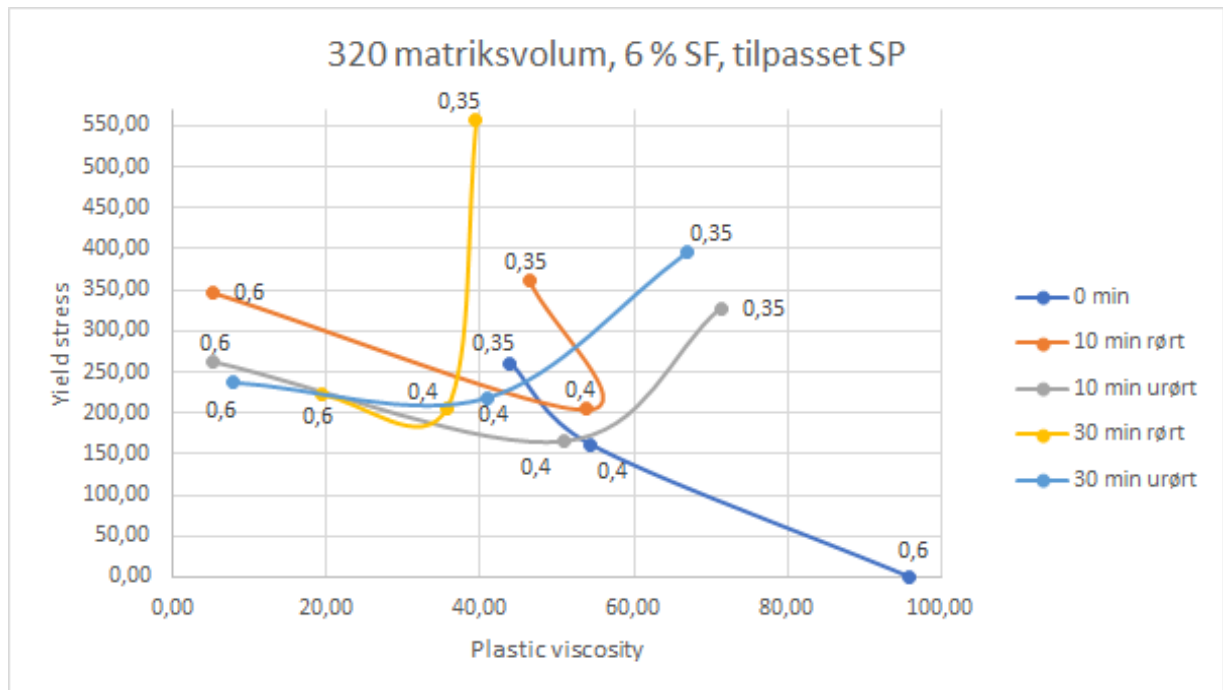
9.6.2 - 300 matriksvolum



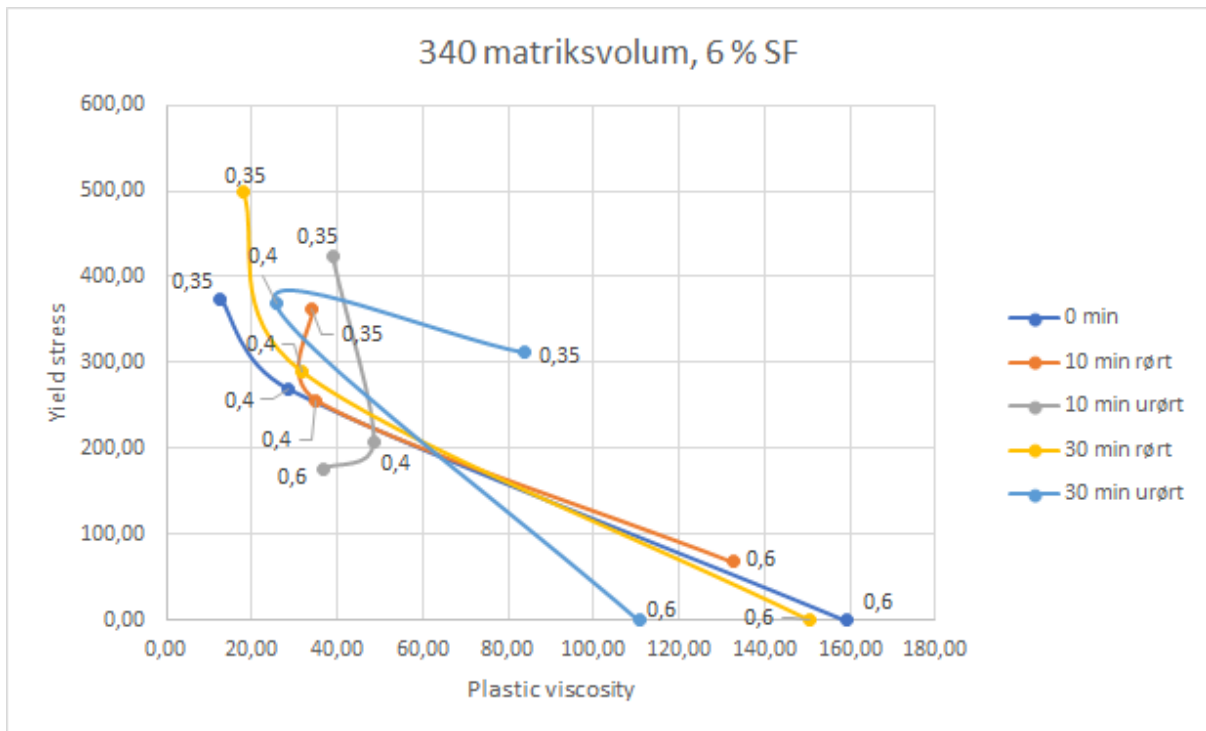
Betongens reologiske egenskaber



9.6.3 - 320 matriksvolum, 6% SF, tilpasset SP

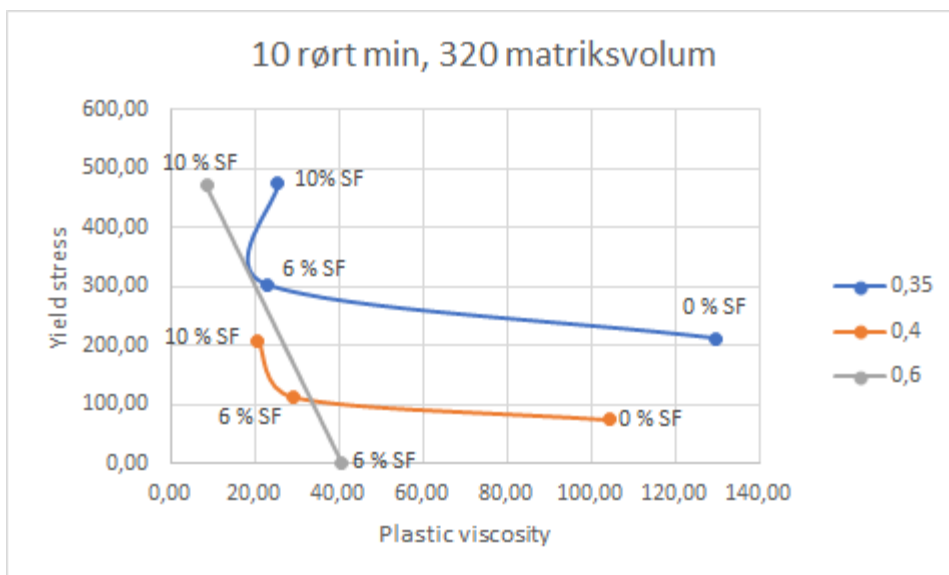
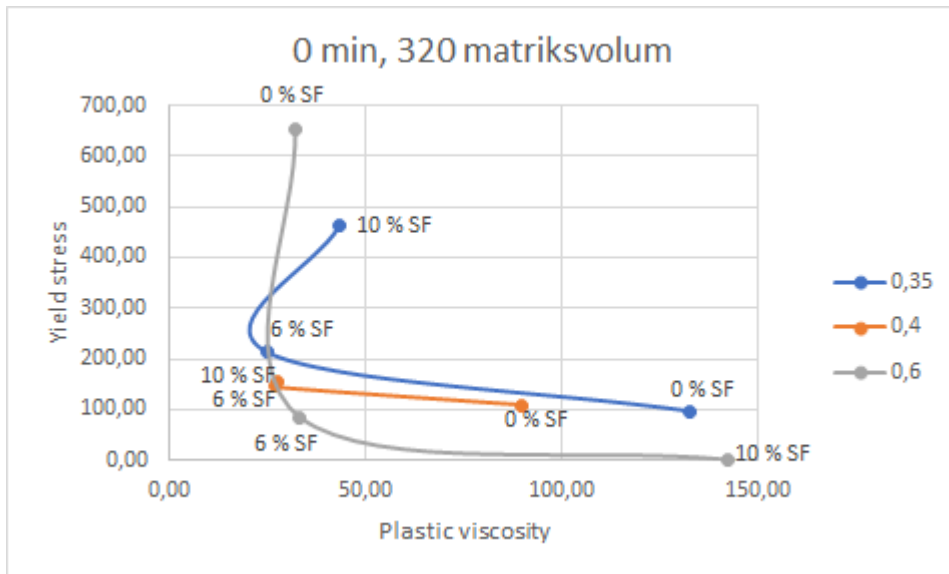


8.6.4 - 340 matriksvolum, 6% SF

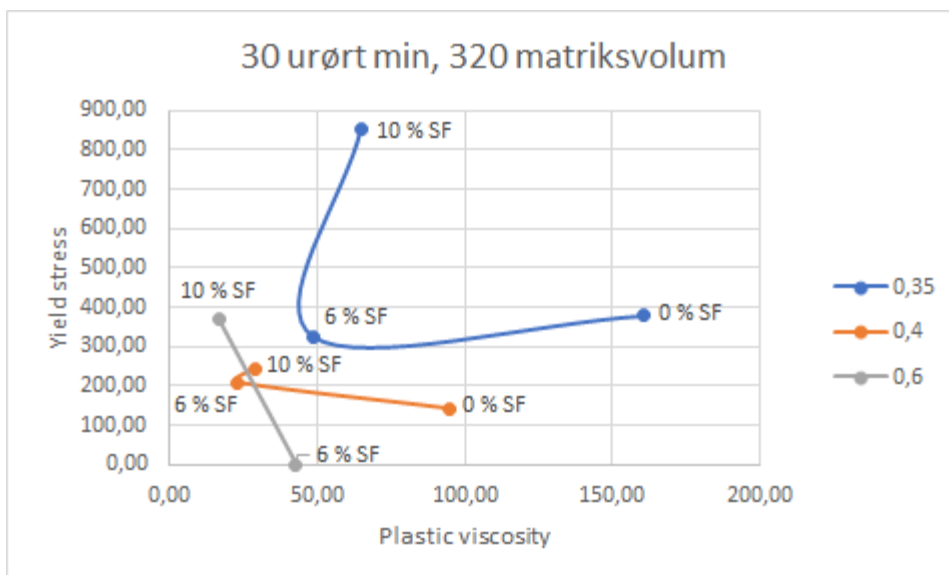
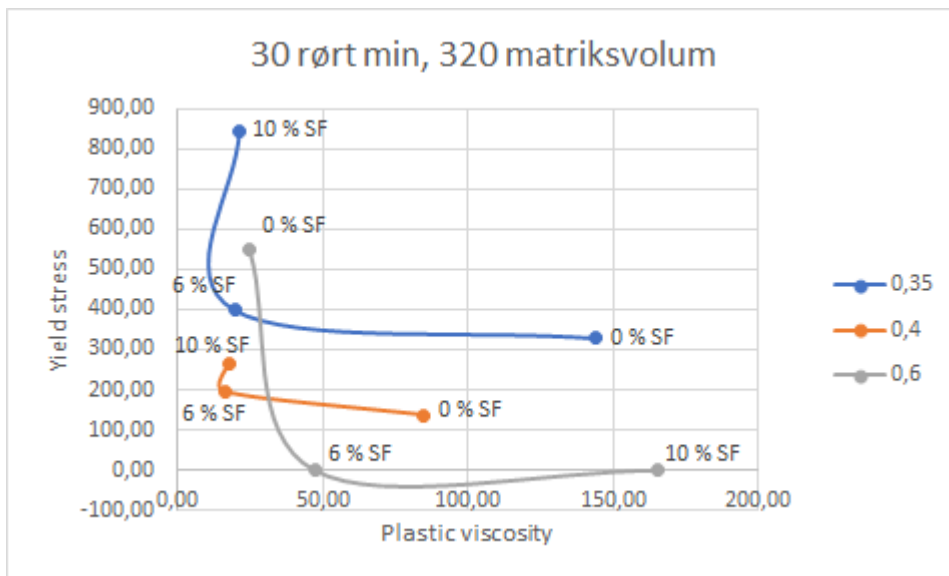
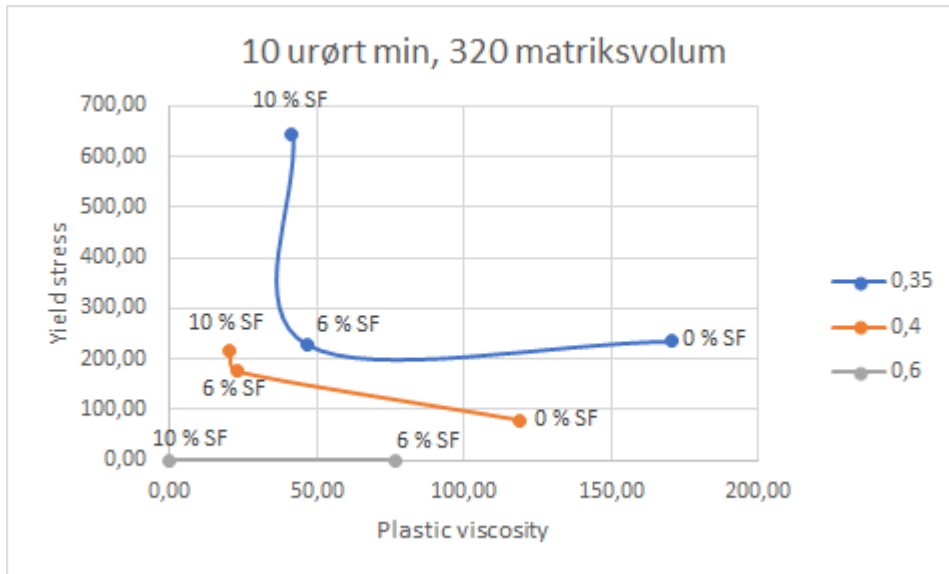


9.7 Effekten av SF på bingham parameterne

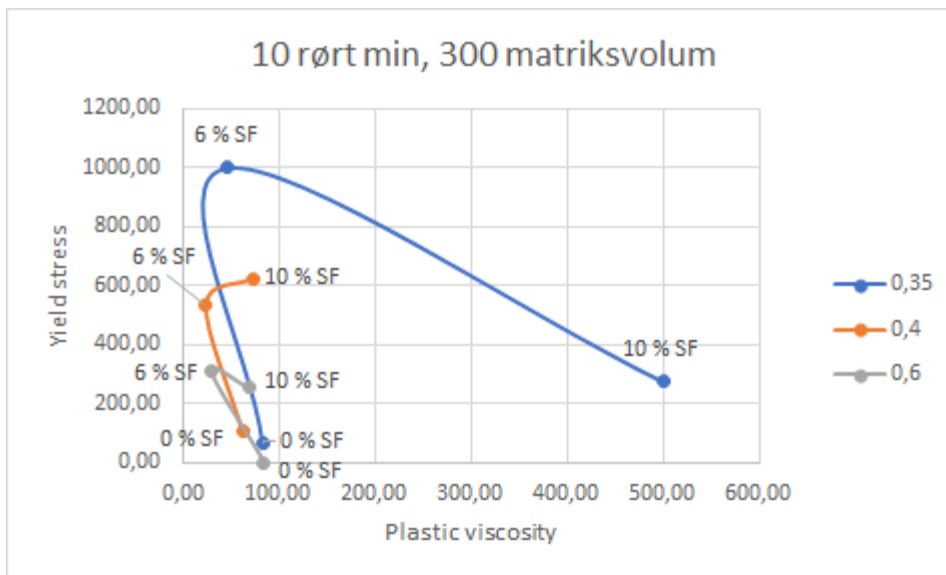
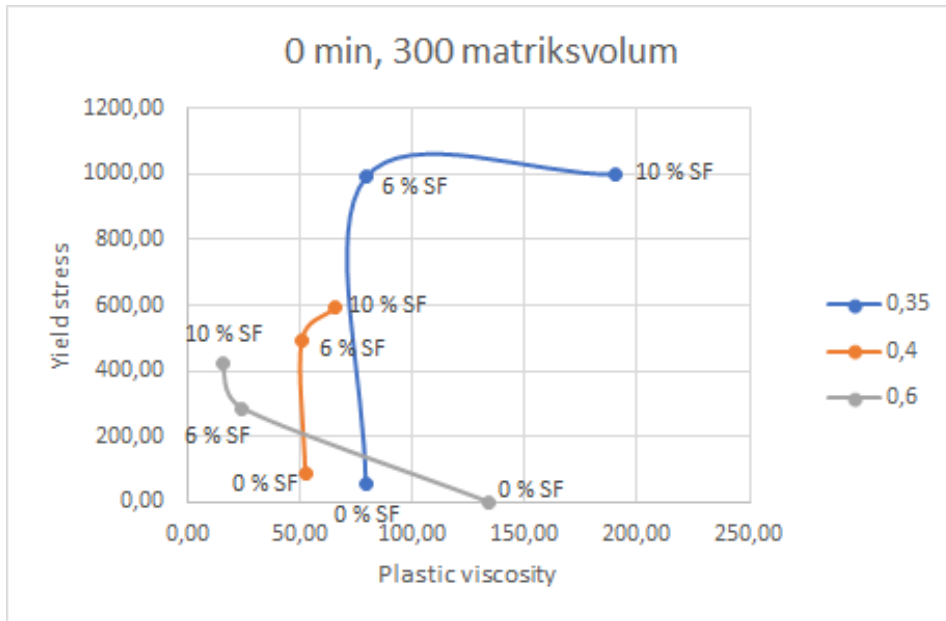
9.7.1 - 320 matriksvolum



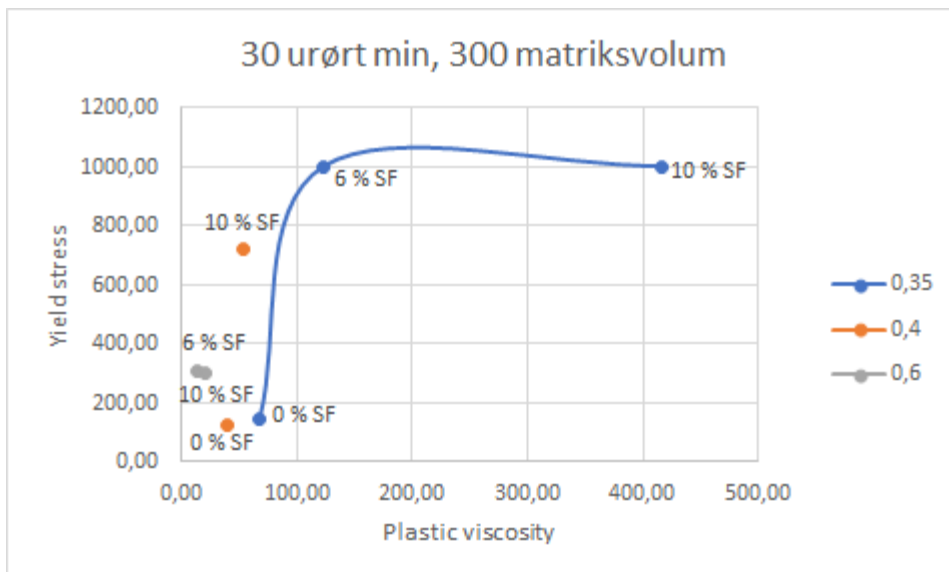
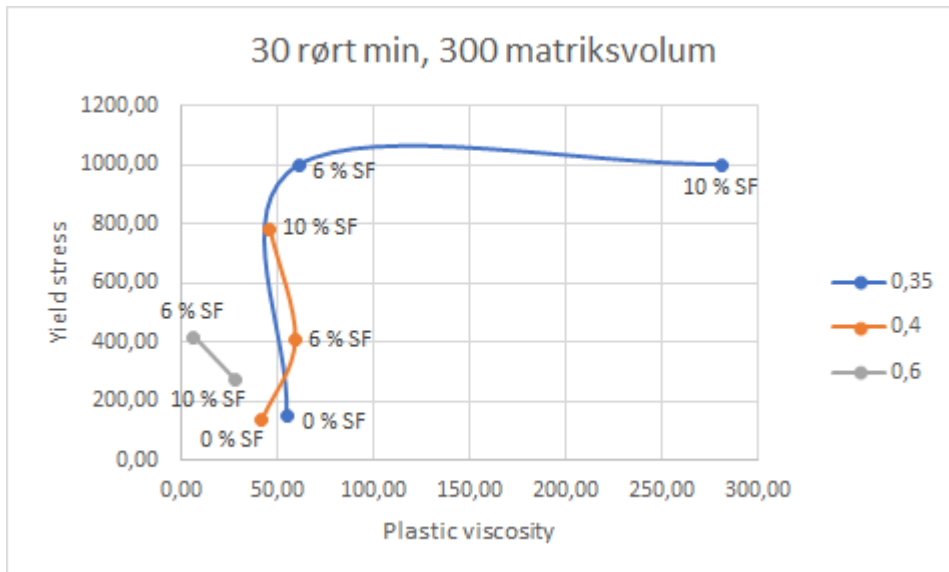
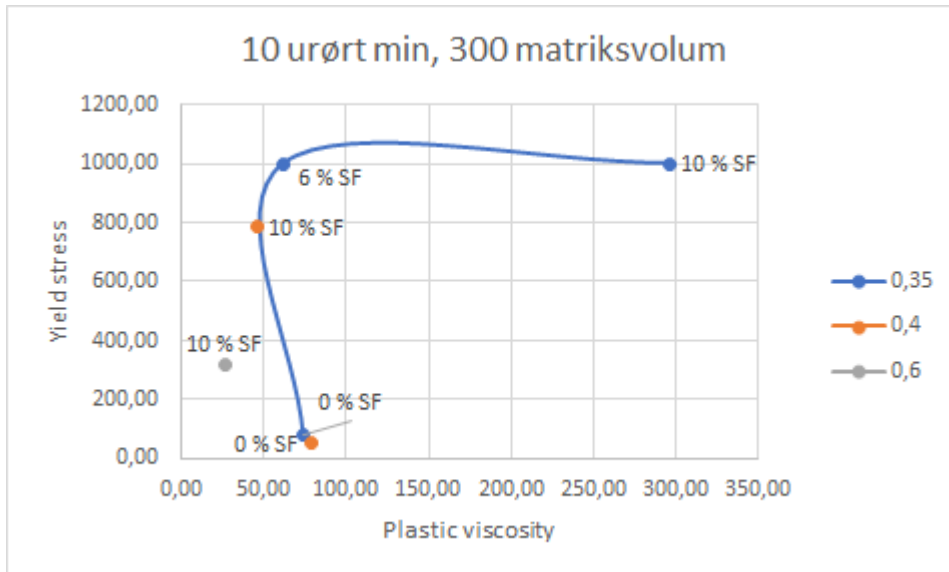
Betongens reologiske egenskaber



9.7.2 - 300 matriksvolum

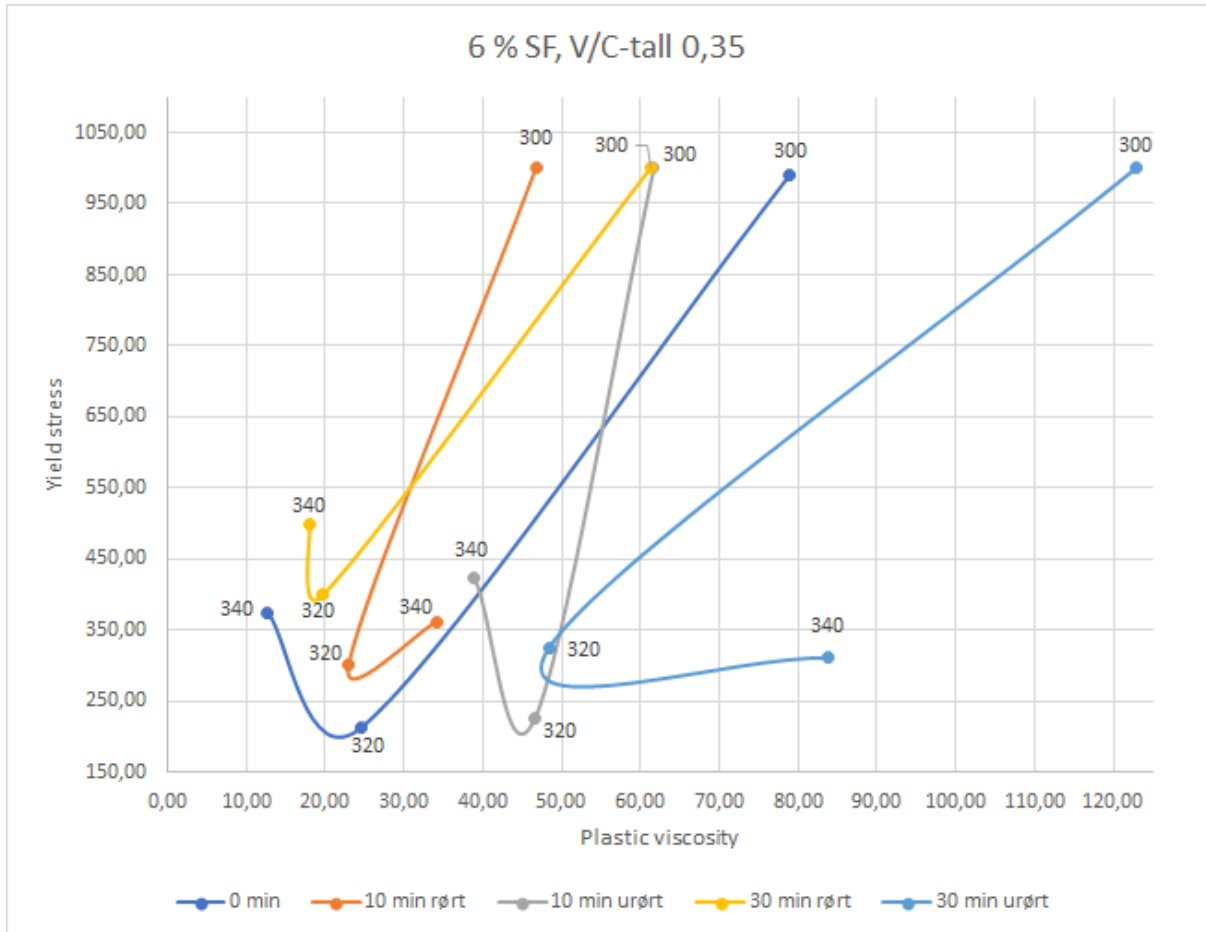


Betongens reologiske egenskaper

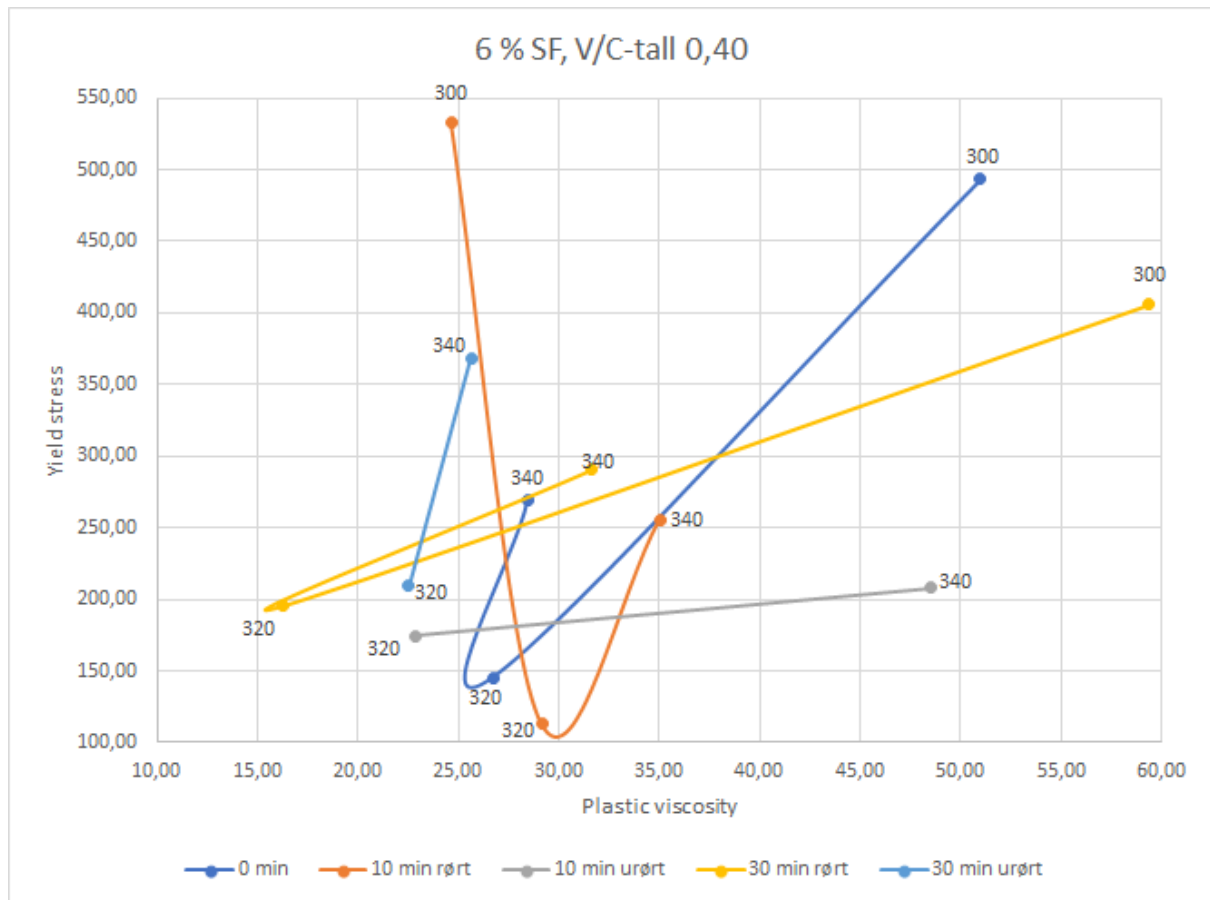


9.8 Effekten av mengde sement på bingham parameterne

9.8.1 - V/C-tall 0,35



9.8.2 - V/C-tall 0,40



9.8.3 - V/C-tall 0,60

