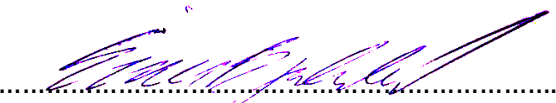




Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Konstruksjoner og materialer - Byggkonstruksjoner	Vårsemesteret, 2017 Åpen / Konfidensiell
Forfatter: Simon Brunvathne Bjerkestrand	 (signatur forfatter)
Veileder(e): Kjell Tore Fosså	
Tittel på masteroppgaven: <i>Glidestøp – løftefrekvensens effekt på friksjon</i> Engelsk tittel: <i>Slipforming – lifting frequency effect on friction</i>	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Friksjon Glidestøp Glideforskaling Gliderigg Laboratorieprogram	Sidetall: 66 + vedlegg/annet: 8 Stavanger, 10.06.2017

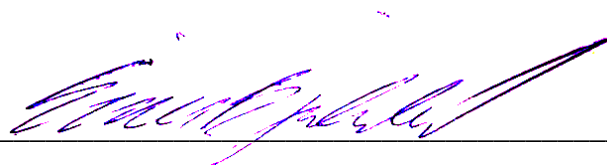
FORORD

Denne oppgaven er skrevet våren 2017 av Simon Brunvathne Bjerkestrand som den avsluttende delen av 2-årig masterstudie i konstruksjoner og materialer – retning bygg, ved Universitetet i Stavanger.

Jeg vil benytte anledningen til å takke min veileder Kjell Tore Fosså, for hans hjelp og forslag til emne. I tillegg har hans doktoravhandling vært svært nyttig da det finnes begrenset med litteratur om glidestøp.

En stor takk også til Arnfinn Bjerkestrand, Espen Lamo og Jarle Berge, som har vært med og hjulpet med arbeid i laboratoriet. Uten deres hjelp ville alle prøvene ikke vært mulige.

Stavanger, 10.06.2017



Simon Brunvathne Bjerkestrand

SAMMENDRAG

Glidestøp er en effektiv støpeteknikk for produksjon av betongkonstruksjoner som har vært i bruk i flere tiår, og har blitt vellykket gjennomført i de fleste tilfeller. Men i motsetning til tradisjonell støping, oppstår det friksjon mellom forskalingen og betongoverflaten ved bruk av glidestøp. Dersom denne friksjonen blir høy, kan det oppstå løfteriss og andre overflateskader i betongen.

Denne oppgaven vil studere hvordan valgt løftfrekvens påvirker friksjonen mellom glidepanel og betong, formulert som følgende forskningsspørsmål: *Hvilken effekt har løftfrekvensen ved glidestøp på friksjonen mellom glidepanel og betong?*

For å besvare forskningsspørsmålet ble det først foretatt en gjennomgang av relevant litteratur og tidligere forskning. Deretter ble det satt opp et laboratorieprogram, som ble gjennomført på betonglaboratoriet ved Universitetet i Stavanger. Det ble utført totalt 12 betongblandinger og 10 praktiske forsøk i glideriggen. Dette gav data til undersøkelsen som ble behandlet og analysert. For å oppnå høy validitet på resultatene ble det også kontrollert og verifisert at glideriggen har en god reproduserbarhet og at betongblandinger brukt i samtlige forsøk er tilnærmet like.

Resultat fra forsøkene indikerer at glideriggen produserer like resultater, det vil si at glideriggens reproduserbarhet er tilfredsstillende. Gjennom de kvantitative prøvene av samtlige betongblandinger, er det blitt verifisert at det ikke er store variasjoner i egenskaper som kan påvirke resultat fra målinger i glideriggen.

På bakgrunn av resultatene fra laboratieforsøkene kan det konkluderes med at løftfrekvensen påvirker friksjonen mellom glidepanelet og betongoverflate i liten grad. Ettersom det er blitt brukt en konstant glidehastighet ved alle forsøkene, må løftehøyden økes dersom tidsintervall mellom hvert løft kortes ned. Det vil si at reduksjonen av friksjon man oppnår ved å løfte panelet oftere, annulleres av friksjonsøkningen som kommer av at hvert løft da blir kortere.

Ingen av prøvene gav betydelig merkbare skader i betongoverflaten som var i kontakt med glidepanelet. Ettersom målt friksjon var generelt sett lav ved samtlige forsøk, kan disse resultatene bygge opp under teoriene om at det er en korrelasjon mellom høy friksjon og risiko for løfteriss.

INNHALDSFORTEGNELSE

FORORD	ii
SAMMENDRAG.....	iv
INNHALDSFORTEGNELSE	v
LISTE OVER FIGURER OG TABELLER	vii
1 INTRODUKSJON	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Mål med oppgaven	1
1.3 Omfang og avgrensninger	2
1.4 Metodebruk	2
1.5 Forklaring av ord og uttrykk	4
2 TEORI.....	5
2.1 Bakgrunn og aktualitet	5
2.2 Glidestøp som produksjonsmetode	6
2.3 Glideformens oppbygning.....	8
2.4 Glidehastighet.....	10
2.5 Betong brukt til glidestøp.....	11
2.5.1 Støpelighet	11
2.5.2 Avbinding	12
2.6 Glideform sammenlignet med tradisjonell forskaling.....	13
2.7 Friksjon ved glidestøp	14
2.8 Effektivt trykk	15
2.9 Overflateskader	16
2.9.1 Løfteriss	16
2.9.2 Valker/utglidning	16
3 LABORATORIEARBEID	17
3.1 Referanseblanding.....	17
3.1.1 Sement.....	17
3.1.2 Pozzolaner.....	18
3.1.3 Tilslag	19
3.1.4 Tilsetningsstoff	21
3.1.5 Blandeprosess	21

3.1.6	Prøving av fersk betong	22
3.1.7	Prøving av herdet betong	23
3.2	Gliderigg.....	25
3.2.1	Glideriggens oppbygning.....	25
3.2.2	Glidepanel	26
3.2.3	Registrering av normaltrykk	26
3.2.4	Poretrykksmåler	27
3.2.5	Temperaturmåler.....	27
3.2.6	Datainnsamling	28
3.2.7	Glideriggens reproduserbarhet.....	28
3.3	Testprogram	30
3.3.1	Løftefrekvenser	30
3.4	Feilkilder og svakheter	33
4	RESULTATER OG DRØFTING	34
4.1	Prøveblandinger	34
4.2	Resultat fra prøving av betong	34
4.3	Temperaturutvikling.....	36
4.5	Poretrykk	38
4.6	Normalkraft	41
4.7	Friksjon.....	45
4.8	Overflateskader	49
5	KONKLUSJON	52
6	KILDER.....	54
7	VEDLEGG.....	57
	Vedlegg A – Proporsjoneringsark.....	58
	Vedlegg B – Utdrag fra testmålinger	59
	Vedlegg C – Norcem Anlegg FA.....	60
	Vedlegg D – Dynamon SX-N.....	61
	Vedlegg E – Velde 0/8.....	62
	Vedlegg F – Velde 8/16	63
	Vedlegg G – Poretrykksmåler.....	64

LISTE OVER FIGURER OG TABELLER

Figur 1 – Undersøkellesdesign [3].	3
Figur 2 – Utsparingskasse til vindu [10].	7
Figur 3 – Midtdeler på motorvei [11].	7
Figur 4 – Oppbygning av glideforskaling (Bjerkestrand, 2017).	8
Figur 5 – «Slipp», ikke nøyaktig skalert [1].	9
Figur 6 – Støpelighetskonseptet [12].	11
Figur 7 – Statisk friksjon og glidefriksjon (Bjerkestrand, 2017).	14
Figur 8 – Illustrasjon av valker/utglidning ved etter glidestøp (Bjerkestrand, 2017).	16
Figur 9 – Morfologi til sement, flygeaske og silikastøv [17].	18
Figur 10 – Siktekurve for fint tilslag brukt.	20
Figur 11 – Siktekurve for fint tilslag brukt.	20
Figur 12 – Siktekurve for sammensatt tilslag.	21
Figur 13 – Synkmål (Bjerkestrand, 2017).	22
Figur 14 – Synkutbredelsesmål (Bjerkestrand, 2017).	23
Figur 15 – Gliderigg sett forfra og fra siden (Bjerkestrand, 2017).	25
Figur 16 – Lastsensor for registrering av løftekraft (Bjerkestrand, 2017).	26
Figur 17 – Lastsensor for registrering av trykk (Bjerkestrand, 2017).	27
Figur 18 – Plassering av poretrykksmåler i beholder (Bjerkestrand, 2017).	27
Figur 19 – Gliderigg med målere (Bjerkestrand, 2017).	29
Figur 20 – F1:10.15: høyde og rate per time / høyde og rate for ett løft.	30
Figur 21 – F2:10.15: høyde og rate per time / høyde og rate for ett løft.	31
Figur 22 – F3:04.06: høyde og rate per time / høyde og rate for ett løft.	31
Figur 23 – F4:20.30: høyde og rate per time / høyde og rate for ett løft.	32
Figur 24 – F5:40.60: høyde og rate per time / høyde og rate for ett løft.	32
Figur 25 – Temperaturutvikling i betongen.	36
Figur 26 – Temperaturutvikling og friksjon ved prøve F4:20.30.	36
Figur 27 – Resultater fra prøve 1 i reproduserbarhetstest, F1:10.15 (1).	37
Figur 28 – Resultater fra prøve 2 i reproduserbarhetstest, F1:10.15 (2).	37
Figur 29 – Målt poretrykk for F1:10.15.	38
Figur 30 – Målt poretrykk for F2:10.15.	38
Figur 31 – Målt poretrykk for F3:04.06.	39

Figur 32 – Målt poretrykk for F4:20.30.....	39
Figur 33 – Målt poretrykk for F5:40.60.....	40
Figur 34 – Normalkraft for F1:10.15.	41
Figur 35 – Normalkraft for F2:10.15.	42
Figur 36 – Normalkraft for F3:04.06.....	42
Figur 37 – Normalkraft for F4:20.30.	43
Figur 38 – Normalkraft for F5:40.60.	43
Figur 39 – Sammenstilling av normalkraft.	44
Figur 40 – Friksjon ved løftefrekvens F1:10.15.	46
Figur 41 – Friksjon ved løftefrekvens F2:10.15.	46
Figur 42 – Friksjon ved løftefrekvens F3:04.06.	47
Figur 43 – Friksjon ved løftefrekvens F4:20.30.	47
Figur 44 – Friksjon ved løftefrekvens F5:40.60.	48
Figur 45 – Betongoverflate for F1:10.15.	49
Figur 46 – Betongoverflate for F2:10.15.	49
Figur 47 – Betongoverflate for F3:04.06.	50
Figur 48 – Betongoverflate for F4:20.30.	50
Figur 49 – Betongoverflate for F5:40.60.	51
Tabell A – Glidepanelets ruhet [14].....	14
Tabell B – Betongblanding.	17
Tabell C – Verdier for sement.	18
Tabell D – Løftefrekvenser benyttet i oppgaven.	30
Tabell E – Resultater fra synkmål, utbredelsesmål og måling av luftinnhold.	34
Tabell F – Resultater fra trykkfasthetstest.	35
Tabell G – Betongareal i kontakt med glidepanel.	45

1 INTRODUKSJON

1.1 Bakgrunn

Glidestøp er en støpeteknikk for produsering av betongkonstruksjoner som har vært i bruk i flere tiår. Vertikal glidestøp er hovedsakelig blitt brukt til høye konstruksjoner med enkel geometrisk utforming, som for eksempel tårn, siloer og offshore plattformer. Betongen støpes lag på lag i en forskaling som kontinuerlig løftes etter hvert som betongen herder. Teknikken er vanligvis en arbeidsprosess som foregår 24 timer i døgnet. I de fleste tilfeller bør prosessen ikke stanses etter at den er satt i gang, og derfor er planlegging og prosjektering komplisert og krevende sammenlignet med andre støpeteknikker. Hovedforskjellen mellom glidestøp og tradisjonell støping er at forskalingen ved glidestøp løftes langs utstøpt betong mens ved tradisjonell støping monteres/demonteres en fast forskaling ved hver støpeprosedyre [1].

Glidestøp har vist seg å være en effektiv metode for produksjon av vertikale betongkonstruksjoner, og har blitt vellykket gjennomført i de fleste tilfeller. Men ved bruk av glidestøp oppstår det friksjon mellom forskalingen og betongoverflaten. Dersom denne friksjonen blir høy, kan det oppstå overflateskader i betongen, som for eksempel løfteriss [2].

I 2016 ble det bygget en gliderigg på betonglaboratoriet ved Universitetet i Stavanger (UiS). Denne riggen kan måle friksjonskreftene mellom glidepanel og betong under løfting, samt trykk fra betongen og temperaturutviklingen i betongen. Dette kan måles i hele perioden fra betongen er utstøpt til den er herdet. Glideriggen gir muligheter for utprøving, måling og forskning knyttet til betongkonstruksjoner, noe som har inspirert til denne masteroppgaven.

1.2 Mål med oppgaven

I 2016 ble glideriggen brukt til en masteroppgave som undersøkte hvilken effekt materialsammensetning til betongen har på friksjonen. I denne masteroppgaven vil det fokuseres på hvilken effekt parametre som styres av glideriggen har på friksjonen, formulert som følgende forskningsspørsmål:

Hvilken effekt har løftefrekvensen ved glidestøp på friksjonen mellom glidepanel og betong?

For å kunne undersøke dette må glideriggen produsere like resultater ved like tester. Derfor vil også glideriggens reproduserbarhet kontrolleres gjennom de praktiske forsøkene i betonglaboratoriet.

I denne oppgaven defineres løftefrekvens som løftehøyde og tid mellom hvert løft, gitt av en konstant glidehastighet – som her er 40 mm/time. Det vil si at etter samtlige forsøk, på ca. 10 timer, vil glidepanelet være løftet 40 cm.

1.3 Omfang og avgrensninger

Undersøkelsene i denne oppgaven er avgrenset til glidestøp av vertikale betongkonstruksjoner.

Betonglaboratoriet ved UiS ble brukt av flere studenter i forbindelse med master- og bacheloroppgaver samt prosjektoppgaver i fagene geoteknikk og betongteknologi. Dette medførte begrenset tilgjengelighet til laben og betongblanderens. Det var også begrenset tilgang til materialer (sand og tilsetningsstoff).

På grunn av glideriggens dimensjoner måtte det blandes rundt 70-80 liter ved hvert prøveprogram. Dette, i tillegg til hensyn til HMS i laboratoriet, medførte at det var nødvendig med en assistent under utførelsen av samtlige forsøk.

For å kunne endre løftefrekvensene i glideriggen måtte en elektriker komme og sette opp programmet slik at disse parametrene kunne endres manuelt ved hvert forsøk.

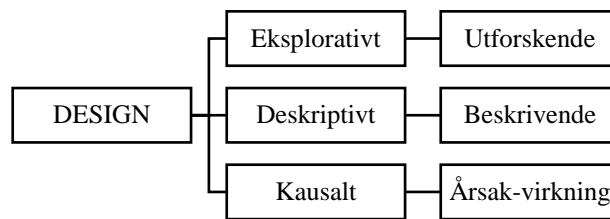
På tross av disse praktiske begrensningene, ble det gjennomført 12 betongblandinger og 10 praktiske forsøk i glideriggen. Dette gav data til undersøkelsen som ble behandlet og analysert som svar på forskningsspørsmålet.

1.4 Metodebruk

En metode er definert som en planmessig fremgangsmåte, og skal vise hvordan det blir utført datainnsamling og behandling av ulike typer data [3]. På denne måten kan innsamlet data og resultat etterprøves og kontrolleres. I dette kapittelet vil det gjøres rede for metodisk tilnærming som er benyttet i denne undersøkelsen, og de valg som er tatt i utførelsen av eksperimentet vil bli begrunnet.

I denne oppgaven benyttes det et *kausalt* design for å undersøke årsak-virkning til de aktuelle variablene [3]. Et kausalt design betyr at man bruker en form for eksperiment, og det er en undergruppe i undersøkelsesdesign. Hovedformålet med et eksperiment er

å manipulere de uavhengige variablene for å undersøke hvorvidt de har noen effekt på én eller flere avhengige variabler, samtidig som man forsøker i størst mulig grad å kontrollere for andre variabler som kan påvirke resultatene.



Figur 1 – Undersøkelsesdesign [3].

I et laboratorieeksperiment forsøker man å skape en kopi av virkeligheten, hvor man enkelt kan isolere og endre de uavhengige variablene i kontrollerte omgivelser. På denne måten sikrer man at forsøket får en høy *intern validitet*. Intern validitet beskriver i hvor stor grad det er sikkert at det faktisk er endring av de valgte uavhengige variablene som er årsaken til variasjonen i de avhengige variablene, og at denne variasjonen ikke kommer av andre forhold som vi har oversett i vår modell.

Man kan også validere forsøkene ytterligere ved å kontrollere reproduserbarheten av forsøket. I denne oppgaven ble dette gjort ved å utføre et forsøk to ganger med samme verdier for de uavhengige variablene.

1.5 Forklaring av ord og uttrykk

Armering:	stål innstøpt i en betongkonstruksjon til forsterking.
Betong:	materiale framstilt ved å blande sement, tilslag og vann, med eller uten iblanding av tilsetningsstoffer.
Fallbord:	apparat (plate) for konsistensmåling av fersk betong.
Fasthet:	den høyeste spenning et materiale tåler før brudd oppstår.
Filler:	tilslag, der mesteparten passerer 0.063 mm ved sikting.
Formolje:	olje for bruk i støpeformer.
Forskaling:	form til utstøping av betong.
Friksjon:	motstanden som bremser to gjenstander eller flater fra å gli mot hverandre.
Hydratisering:	betegnelse for kjemiske reaksjoner som skjer mellom sement og vann når disse blandes og som forårsaker at blandingen går over til en fast masse.
Komprimering:	bearbeiding (virbrering) av betongen etter at den er utstøpt for å drive ut luftbobler.
Løftefrekvens:	løftehøyde og tidsintervall mellom hvert løft, gitt av en glidehastighet.
Portlandsement:	hydraulisk bindemiddel som er fremstilt ved at portlandklinker og gips males sammen til et fint pulver.
Proporsjonering:	å bestemme mengde av hvert delmateriale i en betongblanding.
Prosjektering:	fase i et byggeprosjekt hvor utføring planlegges.
Siktekurve:	en kurve som angir materialets korngradering som funksjon av kornstørrelsene.
SKB:	selvkomprimerende betong.

2 TEORI

I dette kapitlet vil det gjennomgås relevant litteratur for denne oppgaven. Tidligere erfaringer, funn og eksperimenter ved bruk av glideforskaling på betongkonstruksjoner vil være hovedfokus, men det vil også redegjøres for teori vedrørende betong som konstruksjonsmateriale for glidestøp. Andre støpeteknikker vil også beskrives.

2.1 Bakgrunn og aktualitet

Sement, og betongen tilknyttet til sementen, kan ha en innledende avbindingstid på omtrent tretti minutter, hvoretter det er oppnådd tilstrekkelig fasthet til å forbli i samme form den ble støpet i. Det er denne egenskapen som inspirerte ingeniører til å utvikle teknikker med bevegelig forskaling slik at betongen kan produseres kontinuerlig [4].

Vertikal glidestøping ble først forestlått av Carrico fra Texas, som brukte en vinsj for å løfte forskalingen [2]. Glideforskaling som støpeteknikk, lik den vi bruker i dag, ble introdusert på begynnelsen av 1950-tallet, med innføringen av synkroniserte hydrauliske jekker. På den tiden ble metoden hovedsakelig benyttet til konstruering av siloer. Omtrent ti år senere ble den første bygningen oppført hvor glideforskaling ble benyttet. Et nevneverdig bygg som ble produsert med denne teknikken er Skylon Tower i Niagara Falls, Canada, som stod ferdig oppført i 1965 med en høyde på 160 meter [5].

I dag er utførelsesmetoden dominerende for vertikale betongkonstruksjoner som blant annet tårn, industripiper, trappetårn og heissjakter. I Norge er metoden også mye brukt i olje- og gassindustrien offshore, i forbindelse med produksjon av betongplattformer. Dette har bidratt til en kontinuerlig utvikling av støpeteknikken [1].

Ved bygging av det nye Munchmuseet i Oslo ble glidestøp benyttet for å produsere yttervegger og vertikale innervegger til tretten etasjer, tilsvarende omtrent 10 000 kvadratmeter vegg med rundt 700 tonn armering og 3 000 kubikkmeter betong [7]. Hele prosessen ble planlagt utført på om lag 30 dager, med en støpehastighet mellom 1.6 og 1.8 meter i høyden per døgn. Museet er planlagt ferdigstilt i 2019.

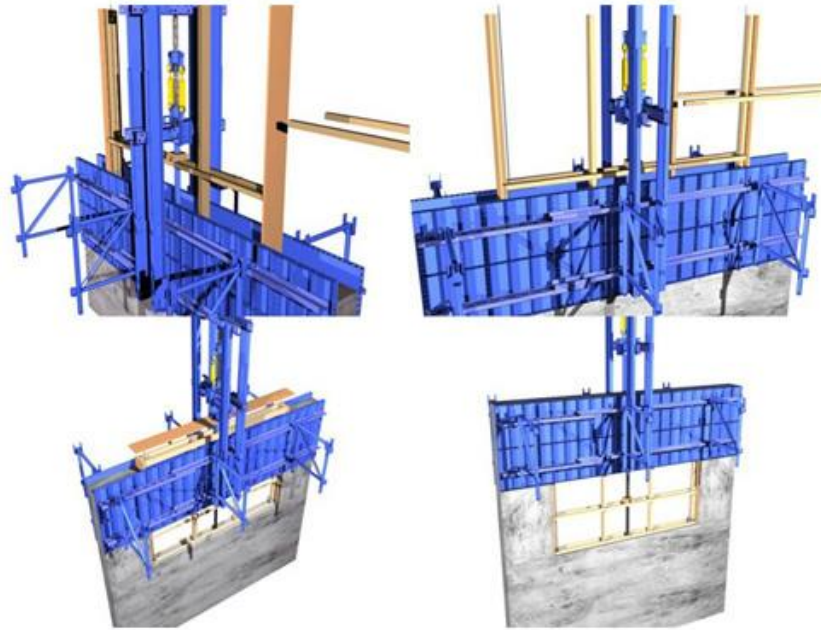
2.2 Glidestøp som produksjonsmetode

Glidestøp er vanligvis en arbeidsoperasjon som pågår døgnet rundt. Det kreves derfor en nøye planlegging med tanke på tilførsel av nødvendige materialer og bemanning tilstede til enhver tid. Det er en relativt komplisert operasjon sammenlignet med andre produksjonsteknikker. Kravene til materialer, bemanning, logistikk og utførelse i alle faser er derfor tilsvarende høyere [8].

Prosjekteringen av glidestøp bør være grundig nok utført til at stans i produksjon unngås i størst mulig grad etter at den først er satt i gang. Noen betraktninger, derimot, kan diktere avbrudd i produksjonen i visse tidsrom. Ved bygging i byer og ved tett bebyggelse for eksempel, kan krav til begrensning av støy- og luftforurensing føre til periodisk stans av arbeid. Glidestøp må derfor av og til planlegges deretter [2].

Glidestøp kan også utføres på konstruksjoner med mer komplisert geometri enn en konstruksjon med konstant tverrsnitt. I utgangspunktet er nesten hvilken som helst plan form mulig, forutsatt at forholdet mellom overflateareal og betongvolum ikke er overdrevent. Skarpe hjørner, for eksempel, bør unngås ettersom friksjon som utvikles har en tendens til å være større enn vekt til betongen, som gir fare for løfteriss og utglidning [9]. Konisk glidestøp kan også utføres, hvor veggtykkelse, radius og hellingsvinkel kan endres etter hvert som forskalingen stiger.

Åpninger for vinduer, dører, etc. dannes ved å støpe utsparingskasser av polystyren, papp, forskalingsrammer eller prefabrikerte betongelementer, slik at de forblir på plass mens glideforskalingen beveger seg forbi, se figur 2 [2]. Etersom forskalingen glir over betongoverflaten tillater metoden normalt ikke at innstøpingsgods stikker ut av vegglivet. Som eksempel er gulvbjelker vanligvis festet til konstruksjonen ved utsparingsopplegg, sveiseplater, bolter og andre anretninger som holdes i flukt med betongoverflaten.



Figur 2 – Utsparingskasse til vindu [10].

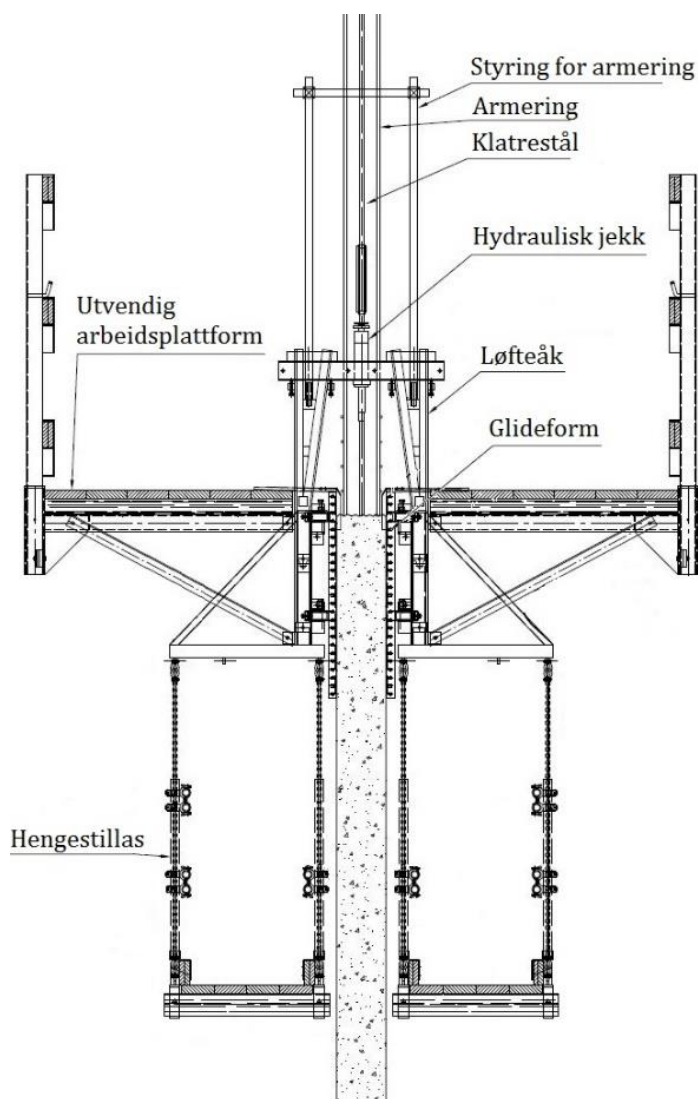
Prinsippet for glidestøping er ikke begrenset til vertikale konstruksjoner, og den samme generelle teknikken brukes for horisontal glidestøp. Ved for eksempel kontinuerlig støping av tunneller, dekker/veier av betong eller midtdeler på motorveier [2].



Figur 3 – Midtdeler på motorvei [11].

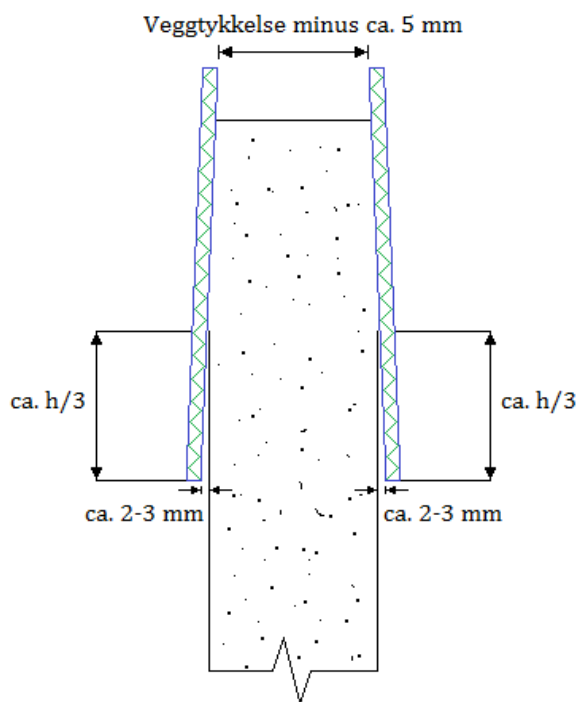
2.3 Glideformens oppbygning

Forskaling og glidepanel er festet til innsiden av to løfteåker. Løfteåkene løftes av hydrauliske jekker som er festet på et klatrestål, med noen meters mellomrom. Hvert løft styres fra en sentral hydraulikkenhet som sikrer at alle jekkene løftes samtidig [8]. Glidepanelet har vanligvis en høyde på 1.1 til 1.3 meter og med en overflate av stål. Utvendige arbeidsplattformer festes til løfteåkene, og danner en avstivning i horisontalplanet for å beholde ønsket geometri under glistøpen. Under arbeidsplattformen kan det monteres et hengestillas for inspeksjon av betongen som kommer frem, utførelse av herdetiltak og demontering av eventuelle utsparingskasser [1]. Dersom betongen har sår eller defekter, er skadene da så unge at mindre utbedringsarbeid er mulig fra hengestillaset [12].



Figur 4 – Oppbygning av glideforskaling (Bjerkestrand, 2017).

Glidepanelet monteres skråstilt slik at det er 2-3 mm større åpning i bunnen av formen enn i toppen, som figuren nedenfor viser. Denne teknikken kalles «slipp» og gjøres for at formen skal påvirke den ferske betongen i minst mulig grad [1]. Negativt slipp må unngås, da det forårsaker løfteriss under løftebevegelsene.



Figur 5 – «Slipp», ikke nøyaktig skalert [1].

Ved gjennomføring av glidestøp holdes glideformen tilnærmet full med betong. Betongen støpes i lag med tykkelse på 100 til 250 mm, og støpes i formen så fort høyden mellom eksisterende betong og topp av form tillater det. Vanligvis er glidehastigheten justert slik at første avbinding i betongen foregår rundt 200 til 400 mm over bunn av formen [8].

Glidestøp gir begrensninger på armeringen, både med tanke på mengde og montering. Armeringen må plasseres med tilstrekkelig nok avstand til at betongen kan fylles og vibreres i formen. For å sikre at plassering av armeringen blir som ønsket, monteres det en armeringsføring ca. 2-3 meter over overkant av formen. Denne fungerer som styring av armeringen (se figur 4) [1].

2.4 Glidehastighet

Hastigheten til glideformen planlegges med bakgrunn i konstruksjonens kompleksitet, bemanning, kompetansen til bemanning og begrensninger i forsyning av materialer. Glidehastigheten styres av betongens avbinding, som avhenger av temperaturen i betongen, betongsammensetning og egenskapene til sementen [9]. Forholdet mellom betongens avbinding og glideformens hastighet kan beregnes ut i fra formelen:

$$V_s = \frac{h_1 - h_2}{t_s - t_t}$$

I denne formelen betegnes h_1 som avstanden fra toppen av formen til gjennomsnittlig herdet betong, og h_2 er avstanden fra toppen av formen og videre til gjennomsnittlig posisjon til fersk betong. Tiden fra betongen ble blandet til støping er t_t , og t_s er avbindingstidspunkt. Ved beregning av avbindingstidspunkt for betongen må varmeoverføring fra underliggende betonglag tas i betraktning. Glidehastigheten kan også endres ved å bruke retarderende eller akselererende tilsetningsstoffer for å justere betongens avbinding [8].

Dersom glideformens hastighet er for rask, vil det forekomme utglidning av betong i underkant av formen. En lav glidehastighet derimot, gir lettere groing på glidepanelet [1]. Glidehastigheter varierer fra 40 mm per time opp til 900 mm per time, hvor gjennomsnittlig glidehastighet over en hel støpeperiode vanligvis ligger på omkring 300 mm per time [2].

2.5 Betong brukt til glidestøp

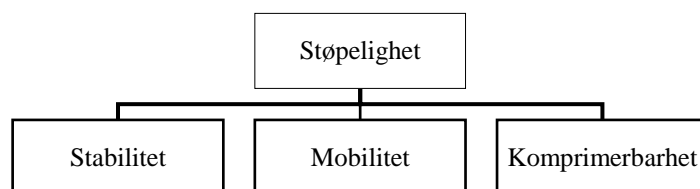
Egenskapene til betongen har en stor innvirkning på hvor vellykket glidestøpen blir. For glidestøp gjelder de samme grunnleggende kravene til betong som for andre metoder [1]. Betong med karakteristisk fasthet mellom 12 til 45 MPa med synk fra 0 til 180 mm er blitt brukt i glidestøp med hell. De viktigste parametrene for betongen som påvirker resultatet av glidestøping er avbindingstidpunkt, synkmål, blødning, tilslag og tilsetningsstoffer [2].

En betongsammensetning kan bestå av 7-8 delmaterialer [12]. Det er derfor vanskelig å forutse hvordan hvert materiale og kombinasjonen av materialene påvirker støpeligheten til betongen. *Partikkel-matriks modellen* (PM-modellen) er utviklet for å gi en forenklet modell av disse forholdene, ved å sortere betongens delmaterialer inn i to grupper eller faser (Fosså, K.T., 18.09.2015, *BYG600 Betongteknologi og betongkonstruksjoner videregående*). Den ferske betongen er da delt inn i en partikkelfase og en matriksfase.

Matriksfasen består av vann og tilsetningsstoff, samt alle faste materialer med en partikkelstørrelse på mindre enn 0.125 mm. Det vil si sement, silikastøv og filler i tilslag. Matriksfasen omslutter den faste partikkelfasen og fyller alle hulrom. Partikkelfasen er den resterende delen av tilslaget, med en størrelse på mer enn 0.125 mm [12].

2.5.1 Støpelighet

For håndtering og utplassering av betongen, samt ved tett armering, er det viktig at betongen har god støpelighet. Støpelighetsbegrepet kan deles inn i tre kategorier, som vist i figur 7.



Figur 6 – Støpelighetskonseptet [12].

Stabilitet kan defineres som betongens evne til å beholde sin homogenitet under hele den ferske fasen – både når den er i ro eller under transport, og ved støping og komprimering [12]. En betong med manglende stabilitet kan føre til separasjon, som vil si en utskillelse av vann, grovt tilslag eller sement. Separasjon oppstår når summen

av indre friksjon og kohesjon er for lav til å motvirke effekten av at bestanddelene i betongen har forskjellige densiteter.

Hvor lett den ferske betongen glir ut i formen kan betegnes som betongens *mobilitet*. Høy mobilitet oppnås ved et høyt vanninnhold og mindre mengder grovt tilslag, som gir lav indre friksjon. Denne typen betong er derimot mindre økonomisk, ettersom økt vanninnhold gir behov for større sementmengde for å opprettholde fasthetskrav. Derfor er det vanlig å bruke tilsetningsstoffer for å minke den indre friksjonen.

Komprimerbarhet er den ferske betongens evne til å fylle ut forskalingen samt evne til å slippe ut innesluttede luftlommer ved omarbeiding. Mengde energi som må til for å komprimere betongen tilstrekkelig avhenger av betongens mobilitet, men også kohesjonen til forskaling, densitet og luftinnhold.

2.5.2 Avbinding

Ettersom glidehastigheten bestemmes av betongens avbinding er det avgjørende for resultatet at betongen er kompatibel med valgt utførelsesmetode, det vil si glidehastighet [9]. Dersom avbindingen er for rask kan det føre til dårlig adhesjon mellom støpelagene. Hvis den er for langsom vil betongen kollapse når den forlater forskalingen.

Betongens avbindingstid er definert som forløpt tid, etter blanding, nødvendig for å oppnå en inntrengningsmotstand på 3.5 MPa [13]. For betong brukt i glidestøp er avbindingstidspunktet lik tiden det tar før et gitt område av betongen kan separeres fra forskalingen [2]. Tillatt eller nødvendig avbindingstid kan defineres som tid etter endt vibrering av betong og før betongen blir atskilt fra glideforskaling, og kan beregnes i henhold til følgende formel:

$$T = \frac{D - (F + t + t' + L)}{R}$$

T: tiden det tar før betongen oppnår delvis innledende avbinding (timer)

D: total forskalingsdybde (mm)

F: avstand mellom topp av forskaling og overflate til fersk betong (mm)

L: avstand mellom bunn av forskaling og herdet betong (mm)

t: dybde på ferskt betonglag (mm)

t': dybde på underliggende ferskt betonglag som ettervibreres (mm)

R: løftehøyde (mm)

2.6 Glideform sammenlignet med tradisjonell forskaling

Det finnes mange forskjeller mellom glideforskaling og fast forskaling. Høyden til fast forskaling kan være flere meter og holdes i samme posisjon helt til avforming. I glidestøp er forskalingshøyden vanligvis 1.1 til 1.3 meter og løftes sakte oppover samtidig som formen fylles med betong [1]. Armering i fast forskaling monteres før støpeprosessen begynner, mens i glideforskalingen blir armeringen festet når støpingen pågår. Vanligvis er tykkelsen på hvert lag med betong større ved bruk av fast forskaling enn ved glidestøp, men medgått tid mellom støping av hvert lag i glidestøp kan være lenger. Eksponeringstiden for glidestøpt betong er vanligvis rett etter avbinding, mens for betong støpt med fast forskaling er den mye senere [8]. Basert på nevnte punkt kan man si at hovedforskjellen mellom glideforskaling og fast forskaling er friksjonen som oppstår ved løft av glidepanelet.

I henhold til rapport utarbeidet av Statens Vegvesen er noen fordeler og ulemper ved glideforskaling følgende [9]:

- Fordeler
 1. Ingen horisontale støpeskjøter er mulig
 2. Tynnere betonglag og lav glidehastighet gir heldig revibrering
 3. Kan utføres raskere enn andre metoder, ved nøye planlegging
 4. Betong kan inspiseres tidlig nok til å utføre evt. utbedringer
 5. Lav glidehastighet gir fordeling av hydratasjonsvarme, lavere maksimumstemperatur og lavere herdespenninger
- Ulemper:
 1. For lav glidehastighet kan gi begroing på glidepanel og forårsake løfteriss
 2. Vibrering på armeringen kan gi hulrom langs armeringen og dårlig heft
 3. Større tidspress på både utstøping av betong og montering av armering
 4. Utsparinger plasseres mindre nøyaktig enn ved fast forskaling
 5. Stans av støpeprosess kan være problematisk og bør unngås

2.7 Friksjon ved glidestøp

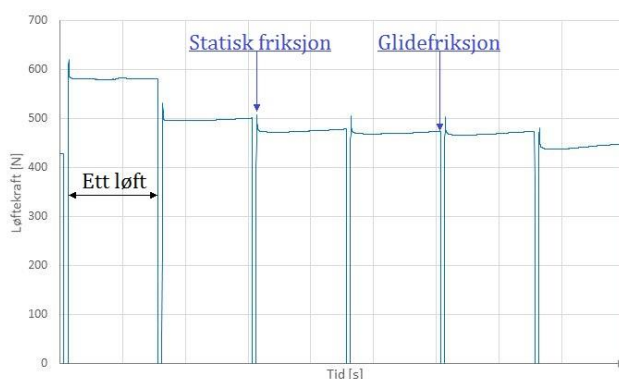
Friksjonen ved glidestøp dannes som følge av at glidepanelet blir løftet opp langs betongflaten. Denne friksjonen mellom glidepanelet og betongen avhenger av ruheten til panelet, betongareal i kontakt med panelet, effektivt trykk fra betongen, løftehøyde ved hvert løft og tid mellom de suksessive løftene [2].

Hvordan glidepanelets overflate påvirker friksjonen kan leses av tabell 1.

		Forskaling (panel)			
		Svært glatt	Glatt	Bordforskaling	Svært grovt
Friksjon [kN/m]		3.4	4.0	6.8	10.0
Ruhet [mm]		0.0225	0.0625	0.4900	1.4400

Tabell A – Glidepanelets ruhet [14].

Før hvert løft må løftekraften overgå friksjonen mellom betongen og glidepanelet. Denne kritiske friksjonskraften er definert som den statiske friksjonen [15]. Etter oppstart begynner panelet å gli langs betongoverflaten, og friksjonskraften avtar og stabiliseres til rett før neste løft. Den laveste friksjonskraften i denne perioden kalles glidefriksjon.



Figur 7 – Statisk friksjon og glidefriksjon (Bjerkestrand, 2017).

Normalkraften i en glideforskaling kommer fra trykket som virker på panelet fra betongen. Forholdet mellom friksjonskraften og normalkraften kan beskrives ved den generelle friksjonsligningen:

$$F = \mu \cdot N$$

F : friksjonskraft

N : normalkraft

μ : friksjonskoeffisient for statisk friksjon eller glidefriksjon

Den statiske friksjonen øker i det hydratiseringen starter, inntil maksimalverdien er nådd ved avbindingstidpunktet. Glidefriksjonen vil forbli omtrent den samme i hele perioden, og er derfor praktisk talt uavhengig av betongens tilstand, enten den er fersk eller herdet [8].

2.8 Effektivt trykk

Betongens egenskaper endrer betraktelig fra den plasseres i glideforskalingen til tidspunkt for avbinding. I den plastiske fasen vil betongen ha en flytende konsistens og lav skjærstyrke. Dette på grunn av liten kohesjon og lav intern friksjon mellom partiklene. I semi-plastisk fase vil skjærstyrken øke. Hovedsakelig på grunn av større effektivt trykk, men også på grunn av reaksjonene i sementen. Økt effektivt trykk resulterer i større intern friksjon og reaksjonen i sementen vil gi økt kohesjon mellom partiklene i betongen [8]. Ettersom det kun er de faste partiklene i den ferske betongen som kan motstå skjærspenninger, kan det effektive trykket erstatte normaltrykket, som gir følgende ligning:

$$F = \mu \cdot \sigma'$$

F : friksjonskraft

μ : friksjonskoeffisient for statisk friksjon eller glidefriksjon

σ' : effektivt trykk

Det effektive trykket representerer gjennomsnittlig trykk fra korn til korn, og kan beregnes ved følgende ligning dersom kontaktarealet mellom kornene antas å være neglisjerbar i forhold til det totale arealet:

$$\sigma' = \sigma - u$$

σ' : effektivt trykk

σ : totalt trykk

u : vannporetrykk

Det totale trykket i betongen vil i prinsippet være konstant, mens vannporetrykket er avtagende på grunn av utviklingen av kapillære krefter. De kapillære kreftene utvikles i vannporene på grunn av selvuttørking i betongen eller uttørking på overflaten. For selvuttørking vil reduksjonen av vannporetrykket avhenge primært av sementtype og –innhold [8].

Glidformens påvirkning på betongtrykket avhenger hovedsakelig av løfteraten og grad av komprimering [16]. Det høyeste trykket oppstår ved vibrasjon av betong og ved høye løft.

2.9 Overflateskader

Resultatet for herdet betong ved glidestøp er avhengig av eventuell dannelse av skader på overflaten som skjer ved bevegelsen av glidepanelet [1]. Disse skadene kan oppstå dersom strekkfastheten til betongen overskrides, og vil oppstå i perioden fra betongen har mistet støpeligheten til glidepanelet har passert overflaten [8]. Det er også i denne perioden hvor betongens strekkfastet er lavest.

2.9.1 Løfteriss

Løfteriss vises i form av lange horisontale riss/sprekker på overflaten, vinkelrett på løfteretningen [8]. Løfteriss forårsakes primært av at det går for lang tid mellom hvert løft eller at det har oppstått groing på panelet, som gjør at det dannes bindinger mellom panelet og betongen [1]. Da kan friksjonskraften øke betraktelig, noe som resulterer i riss i betongen.

For å hindre at det oppstår løfteriss er det viktig å sørge for at herdefronten ligger lavt i formen, samtidig som den er høy nok til at ikke betongen kollapser ut. På den måten vil størstedelen av betongen som påvirkes av glidepanelets løft være i plastisk fase. Dette er hensiktsmessig da løfteriss ikke kan oppstå når betongen er i plastisk fase [1].

2.9.2 Valker/utglidning

Valker/utglidning av betong i glideform kan oppstå, hvor betongen ved bunn av glidepanel blir separert eller forskyvet i forhold til underliggende eldre betong [8]. Dette oppstår som følge av at det er for stor åpning mellom formhud og den ferske betongen, ved endring i geometri, dersom glideformen ikke er i vater eller det har oppstått negativt slipp.



Figur 8 – Illustrasjon av valker/utglidning ved etter glidestøp (Bjerkestrand, 2017).

Dersom slippet er for stor eller herdefronten blir for lavt i formen kan også valker/utglidning oppstå. For å unngå at slike mangler skal oppstå, er det derfor viktig at glidehastigheten holdes mest mulig jevn [1].

3 LABORATORIEARBEID

For å undersøke hvilken effekt løftefrekvensen har på friksjonen mellom glidepanel og betong ved glidestøp, ble det gjennomført laboratoriearbeid som innebar 12 betongblandinger og 10 praktiske forsøk. Dette praktiske laboratoriearbeidet ble utført i glideriggen på betonglaboratoriet ved Universitetet i Stavanger.

3.1 Referanseblending

Betong som brukes i glidestøp må ha god støpelighet og være tilpasset geometri og armeringsmengde [1]. Ved tett armering bør det brukes betong med synk på mer enn 200mm, slik at den omslutter armeringen i størst mulig grad. Glidehastigheten som er ønsket styres av avbindingen. Avbindingsegenskapene til betongen kan justeres ved å bruke retarderende eller akselererende tilsetningsstoff.

Betong brukt i denne oppgaven ble valgt på bakgrunn av ønskede egenskaper med tanke på støpelighet samt hvilke materialer som var tilgjengelige i laboratoriet. Det ble valgt en selvkomprimerende betong (SKB) med v/c-tall på 0,4, med følgende sammensetning:

Materialer	Resept [kg/m ³]
Norcem Anlegg FA	396.6
Elkem Microsilika	19.8
Vann	166.6
Velde 0/8	971.4
Velde 8/16	844.3
Dynamon SX-N	4.6

Tabell B – Betongblending.

SKB er betong som støpes uten mekanisk komprimering, ettersom nødvendig komprimering blir ivaretatt av gravitasjon og egenvekten til betongen. Det ble valgt å bruke SKB fordi det gjorde manuelt arbeid i laboratoriet enklere med tanke på håndtering og transportering av den ferske betongen. SKB gir også mindre variasjoner i kvaliteten på betongen, og dermed mer lignende resultater for hvert støp [12].

3.1.1 Sement

For alle blandinger ble Norcem Anleggsement FA benyttet, som er en Portlandsement med flygeaske utviklet for anleggskonstruksjoner og konstruksjoner med krav til høy

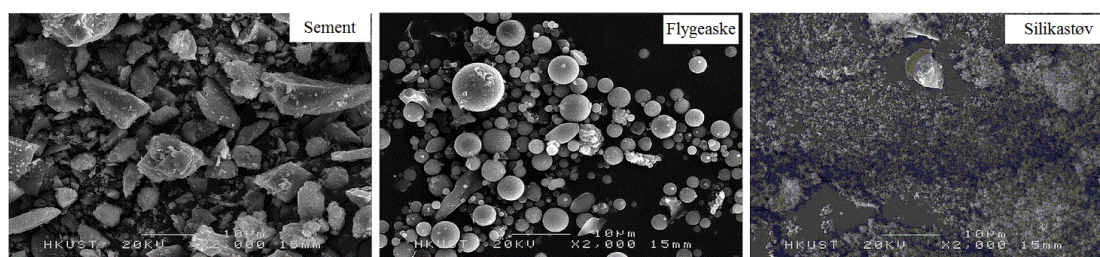
sluttfasthet. Sementen gir gode støpelighetsegenskaper ved lave v/c-tall og har en relativt lav varmeutvikling. Anlegg FA sement er derfor godt egnet for støping av konstruksjoner med store tverrsnitt, som ofte er utsatt for temperatur-relaterede sprekker/riss [12].

ANLEGGSEMENT FA (CEM II/A-V 42,5 N)	
Mineralegenskaper:	
Sulfat (SO ₃) [%]	≤ 3.5
Klorid (Cl) [%]	≤ 0.085
Alkalier (Na ₂ O _{ekv}) [%]	0.6
Klinker [%]	83
Flygeaske [%]	17
Fysiske egenskaper:	
Finhet (Blaine) [m ² /kg]	390
Spesifikk vekt [kg/m ³]	3.02
Begynnende størkning [min]	165

Tabell C – Verdier for sement.

3.1.2 Pozzolaner

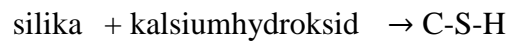
Pozzolaner er materialer som reagerer med vann og kalsiumhydroksid, og danner kjemiske forbindelser med sementlignede egenskaper. I Norge er silikastøv og flygeaske de to mest relevante pozzolanene til bruk i betongproduksjon [12]. Begge disse pozzolanene er biprodukt fra industri, hvor flygeaske kommer fra kullbrenning og silikastøv fra produksjon av ferroselisium (FeSi). Hovedforskjellen mellom flygeaske og silikastøv er finhet og SiO₂-innhold. Silikastøv har generelt sett større SiO₂-innhold og består av mindre og finere partikler enn flygeaske.



Figur 9 – Morfologi til sement, flygeaske og silikastøv [17].

Den kjemiske reaksjonen for begge pozzolanene er i prinsippet like:





Reaksjonen fører til mer C-S-H gelè per gram sement, det vil si mer bindemiddel og følgelig bedre egenskaper med tanke på styrke og bestandighet.

Silikastøv påvirker i liten grad verken avbindingstidspunkt eller temperaturutvikling ved de normalt tillatte doseringene (opp til 10%). Den pozzolaniske reaksjonen innvolverer noe større varmeavgivning enn sementhydratiseringen, men reaksjonen er saktere og produserer derfor ikke høyere temperetaurer [12].

Elkem Microsilica er brukt i samtlige betongblandinger. Mikrosilika er en meget reaktiv pozzolan og gir betongen en tettere mikrostruktur, lavere permeabilitet og en høyere elektrisk motstand som fører til bedre bestandighet [18].

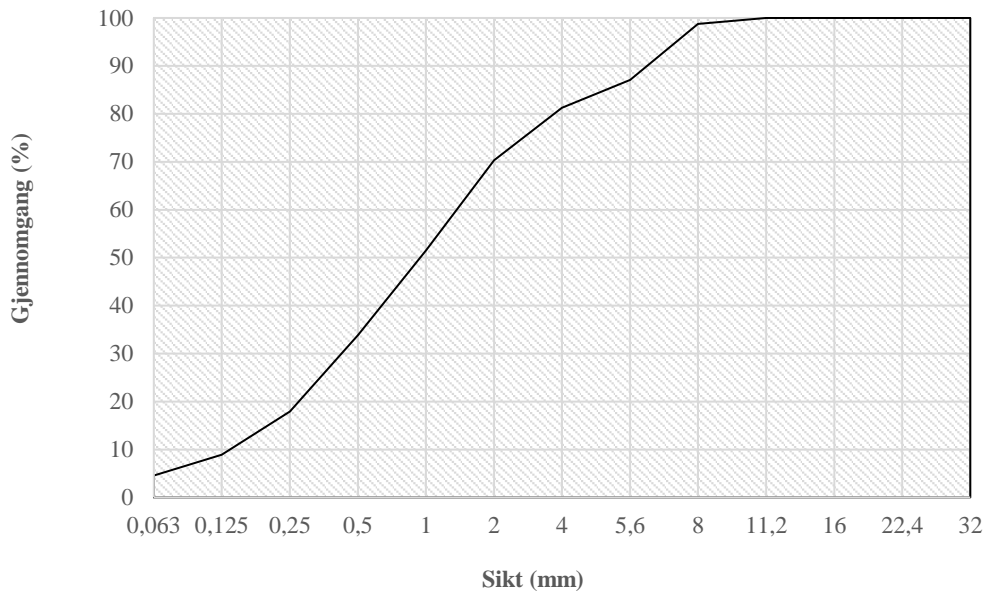
Det produseres lite flygeaske (FA) i Norge og størsteparten blir derfor importert, hovedsakelig fra Danmark. FA forbedrer vanligvis støpeligheten dersom den fungerer som erstatning for sement, men dette er ikke nødvendigvis tilfellet for sement med FA innblandet [12].

3.1.3 Tilslag

Tilslag er en betegnelse på sand- og steinmaterialer brukt i betong. Vanligvis opptar tilslaget mellom 65 og 75% av betongvolumet, og har dermed stor innvirkning på totalkostnaden for produksjon av betongen [12]. I Norge deler man vanligvis tilslaget inn i fint tilslag (sandpartikler på diameter mellom 0-8 mm) og grovt tilslag (stein med diameter på mer enn 8 mm).

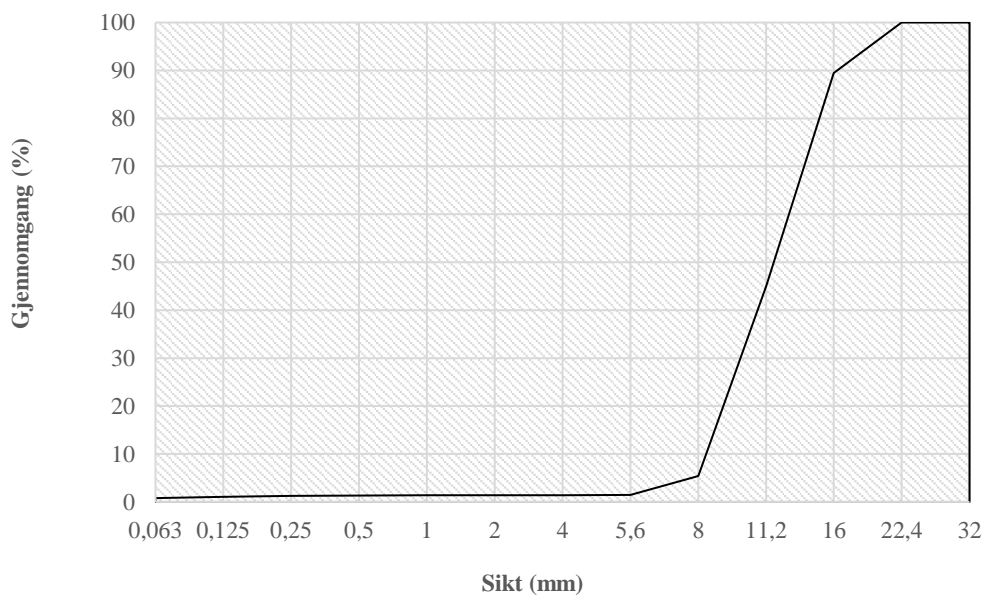
Tilslaget brukt i denne oppgaven er begge fra Velde, med gradering på henholdsvis 0/8mm og 8/16mm og følgende siktekurver:

Velde 0/8



Figur 10 – Siktekurve for fint tilslag brukt.

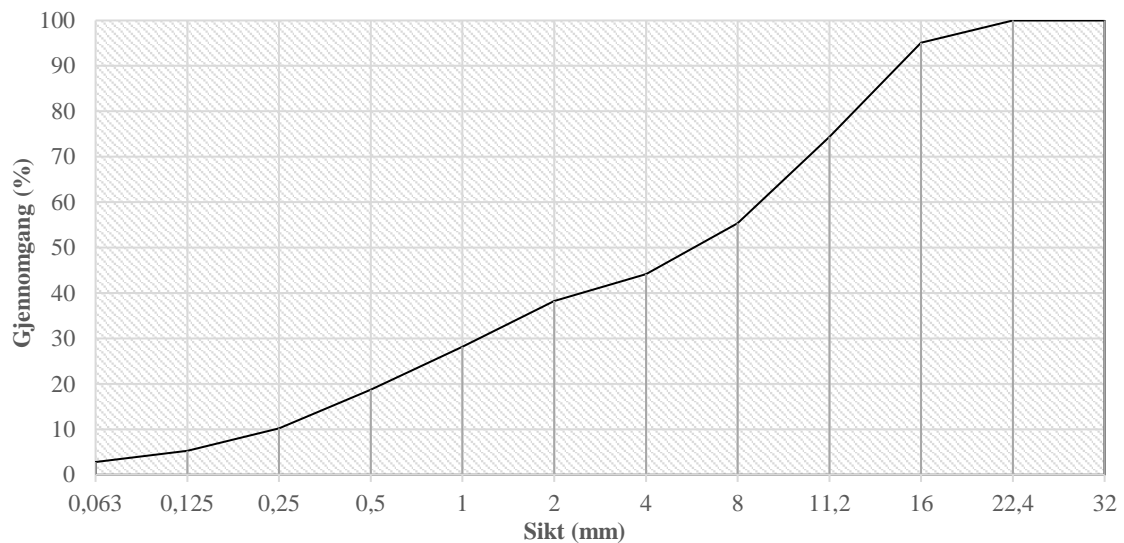
Velde 8/16



Figur 11 – Siktekurve for fint tilslag brukt.

I henhold til Norsk betongforening – publikasjon nr. 25 bør siktekurven for tilslag som brukes i betongen til glidestøp være velgradert og uten store sprang [1]. Av siktekurven for det sammensatte tilslaget ser man derfor at benyttet tilslag er godt egnet for glidestøp.

Sammensatt tilslag



Figur 12 – Siktekurve for sammensatt tilslag.

3.1.4 Tilsetningsstoff

I henhold til NS-EN 206:2013+A1:2016+NA:2017 er tilsetningsstoff definert som materiale som tilsettes betongen i blandingsprosessen, i en mengde som ikke overstiger 5% av vekten til sementen, for å endre egenskapene til fersk og/eller herdet betong [19]. I denne oppgaven benyttes det Dynamon SX-N fra Mapei for å øke og opprettholde betongens støpelighet samt redusere tilsatt vannmengde.

3.1.5 Blandeprosess

Før blanding ble alle materialene veid opp i henhold til resepten. Deretter ble fuktinnholdet i sanden målt ved hjelp av en fukttester. For denne prosedyren ble anvisning fra produsenten fulgt. Etter måling ble sand- og vanninnhold korrigert.

Til å blande betongen ble det brukt en laboratorieblender (Eirich R09T), og hver blanding bestod av 80 liter betong. Før blanding ble utstyr (blender, fuktmåler, fallbord, synkkjegle) fuktet og terningsformer smurt med formolje.

Valgt prosedyre for blanding var:

- 3 minutter tørrblanding
- 2 minutter blanding etter tilsetning av vann og TS
- 1 minutt stopp
- 1 minutt ytterligere blanding

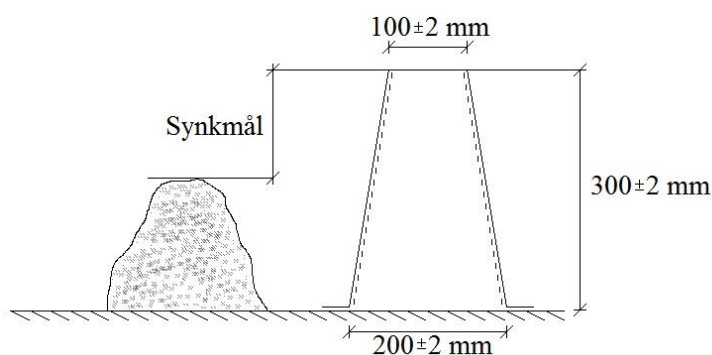
Etter blanding ble det utført tester av den ferske betongen, før den ble plassert i glideriggen.

3.1.6 Prøving av fersk betong

Fersk betong er definert som en fullstendig blandet betong, klar til støping [19]. Alle prøvene som ble gjort på den ferske betong ble utført i henhold til NS-EN 12350.

3.1.6.1 Synkmål og synkutbredelsesmål

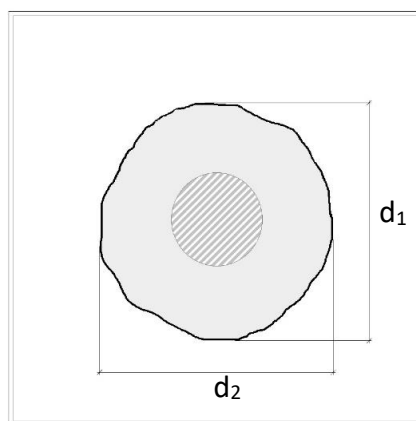
Synkmål er den vanligste metoden for å avgjøre betongens støpelighet [12]. En synkkjegle med minimum/maksimum diameter og høyde på henholdsvis 100/200 og 300 mm plasseres på et fallbord. Kjeglen holdes fast mot underlaget og fylles med betong. Deretter løftes synkkjeglen jevnt oppover i løpet av 2-5 sekunder. Umiddelbart etter at kjeglen er fjernet, måles synkmålet – det vil si høydeforskjellen mellom toppen av kjeglen og betongens høyeste punkt.



Figur 13 – Synkmål (Bjerkestrand, 2017).

En selvkompimerende betong (SKB) har synkmål på over 250 mm, og er derfor lite egnet for å beskrive betongens støpelighet [12]. Synkutbredelsesmål er derfor en bedre metode for prøving av selvkompimerende betong.

Måling av synkutbredelse utføres på samme måte som for synkmål og med samme utstyr, men her måles det hvor langt ut betongen brer seg – i motsetning til hvor langt ned betongen synker. Dette gjøres ved å måle diameteren på den største utbredelsen (d_1) og diameteren vinkelrett på denne (d_2). Synkutbredelsesmålet er da middel-verdien av disse to målingene.



Figur 14 – Synkutbredelsesmål (Bjerkestrand, 2017).

Et vanlig kriterium for at betong skal karakteriseres som selvkomprimerende er at det har et utbredelsesmål på over 650 mm [12].

3.1.6.2 Luftinnhold

For måling av luftinnhold ble det brukt en FTS Luftporemåler B2020, og målingen ble utført i henhold til bruksanvisningen. Betongen ble fylt til randen i den fuktete bøtten, overflødig betong skrapet av og lokket festet. Kuleventilene ble åpnet og vann ble injisert inn i en av kuleventilene, helt til det kom vann ut av den andre ventilen. Trykket ble pumpet opp inntil manometerviseren stod ca. 10 mm forbi det røde justeringsmerket, og deretter nedjustert inntil manometerviseren stod eksakt over justeringsmerket. Kuleventilene ble stengt og hevarmen trykket ned inntil manometerviseren falt til ro. Til slutt ble luftmengden i prosent lest direkte av manometeret.

3.1.6.3 Støping av terninger

For hver betongblanding ble det støpt 5 terninger, med dimensjonene 100x100x100 mm, i henhold til NS-EN 12390-2:2009. Terningene ble smørt med formolje og fylt med betong. Etersom betongen er selvkomprimerende ble det ikke utført ytterligere komprimering. Overflødig betong ble skrapet av og prøvene dekket med plastfolie. Prøvene stod i formen over natten ved romtemperatur. Deretter ble prøvene fjernet fra formen og plassert i et vannbad ved temperatur på 20 ± 2 °C, for herding i 28 døgn før test av trykkfasthet ble utført.

3.1.7 Prøving av herdet betong

Kvalitet for herdet betong angis blant annet i henhold til betongens trykkfasthet. I denne oppgaven ble trykkfastheten målt i henhold til NS-EN 12390-3:2009, etter 28 døgn.

Prøvestykkene ble plassert sentrisk i prøvetrykkmaskinen, og slik at belastningsretningen var vinkelrett på støperetningen. Deretter ble lasten påført uniformt fordelt over flaten med en kontinuerlig belastningshastighet på 8 ± 2 kN/s, helt til brudd oppstod. Bruddlast ble avlest og notert.

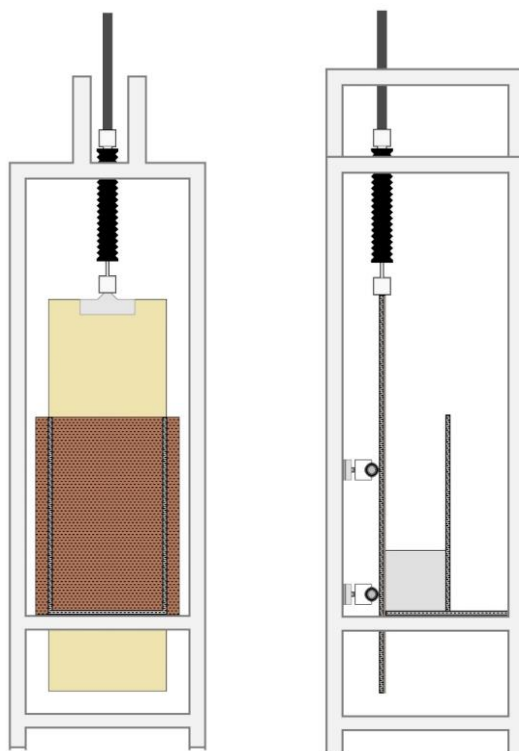
3.2 Gliderigg

Formålet med glideriggen er å simulere realistiske laster som ett eller flere lag med betong utsettes for ved glidestøping. Prøveprogrammet i dette studiet fokuserer på parametrene ved støpeteknikken som påvirker disse lastene, det vil si høyde per løft og løftfrekvens.

I motsetning til de fleste glideformer som benyttes til glidestøping, har riggen i laboratoriet kun glidepanel på én av sidene. Det er heller ikke mulig å utføre testprogrammet med slipp - som blir benyttet i alle glideformer [1]. Det er derimot de samme hovedparametrene som styrer friksjonen og trykket ved glidestøp i glideriggen som i andre glideformer. Glideriggen benyttes til å kunne isolere og endre disse parametrene hver for seg, og studere hvilken effekt det gir på resultatet av støpingen.

3.2.1 Glideriggens oppbygning

Glideriggen er bygd opp av et rammeverk bestående av stålsøyler og har høyde på 3000 mm og bredde og lengde på 1000 mm. Stålsøylene er kvadratiske RHS med bredde og lengde på 100 mm. I stålrammen er glidepanelet montert, med høyde på 2000 mm og bredde på 600 mm, samt beholder for betongen, bestående av forskalingsplater med bredde på 600mm, dybde på 300mm og høyde på 1000 mm. Dette gir en maksimum betongkapasitet ved hvert prøveprogram på 180 liter.



Figur 15 – Gliderigg sett forfra og fra siden (Bjerkestrand, 2017).

3.2.2 Glidepanel

Glidepanelet har en høyde som gjør det mulig å løfte panelet 1000mm ved hver test. Panelet består av en 22 mm forskalingsplate belagt med en 0.9 mm tynn stålplate mot glideflaten. Toppen av panelet er festet til en motor som gjør det mulig å løfte panelet.

Mellom panelet og motoren er det installert en lastcelle av typen HBM U2B, som registrerer kraften motoren bruker for å løfte og holde oppe platen under hele testperioden. Data som blir registrert brukes til å beregne friksjonskraften mellom glidepanelet og betongflaten. Sensoren registrerer laster i en rekkevidde på opp til 20 kN og nøyaktighet opp til 0.1 kN [20]. I toppen av glideriggen er det montert en servomotor, koblet til en sensor, som måler glidepanelets posisjon.



Figur 16 – Lastsensor for registrering av løftkraft (Bjerkestrand, 2017 .

3.2.3 Registrering av normaltrykk

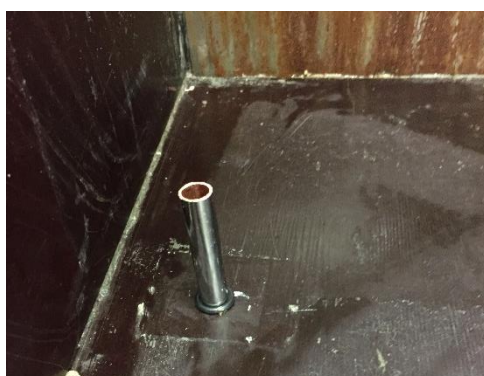
Bak glidepanelet er det plassert fire lastsensorer av typen HBM C2 med ruller som registrerer betongtrykket og fordelingen av trykket som virker på glidepanelet, i en rekkevidde opp til 5 kN og nøyaktighet opp til 0.1 kN [21]. Disse fire lastsensorene er fordelt i to rekker i forskjellig høyde med to sensorer i hver rekke. Avstanden mellom sensorene er 400 mm i bredden og 580 mm i høyden.



Figur 17 – Lastsensor for registrering av trykk (Bjerkestrand, 2017).

3.2.4 Poretrykksmåler

Poretrykket i betongen ble målt av en poretrykksmåler av typen HBM P8AP, som måler poretrykket i en rekkevidde fra 0-10 bar [22]. Måleren ble montert i bunnen av betongbeholderen med en avstand på omtrent 50 mm fra glidepanelet. For å kunne bruke måleren til flere prøver ble det benyttet et 70 mm langt kobberør med en innvendig diameter på 10 mm til å forlenge måleren, som ble støpt inn i betongen.



Figur 18 – Plassering av poretrykksmåler i beholder (Bjerkestrand, 2017).

Før prøving ble poretrykksmåleren dyppet i en bønne med vann, montert i glideriggen, forlengelsesrøret koblet til måleren og fylt med hydraulikkolje. Røret ble forseglet i betongbeholderen ved bruk av en O-ring av gummi.

3.2.5 Temperaturmåler

Temperaturutviklingen i betongen ble målt ved hjelp av tre Type T Thermocouple (kobber/konstantan). Denne typen termoelement er egnet for målinger i et område fra -200°C til 350°C [23]. En måler ble plassert i midten av betongoverflaten og de to andre

målerene ble plassert på henholdsvis høyre og venstre side. Alle målesensorene ble dyttet omtrent 100 mm ned i betongen etter utstøping.

3.2.6 Datainnsamling

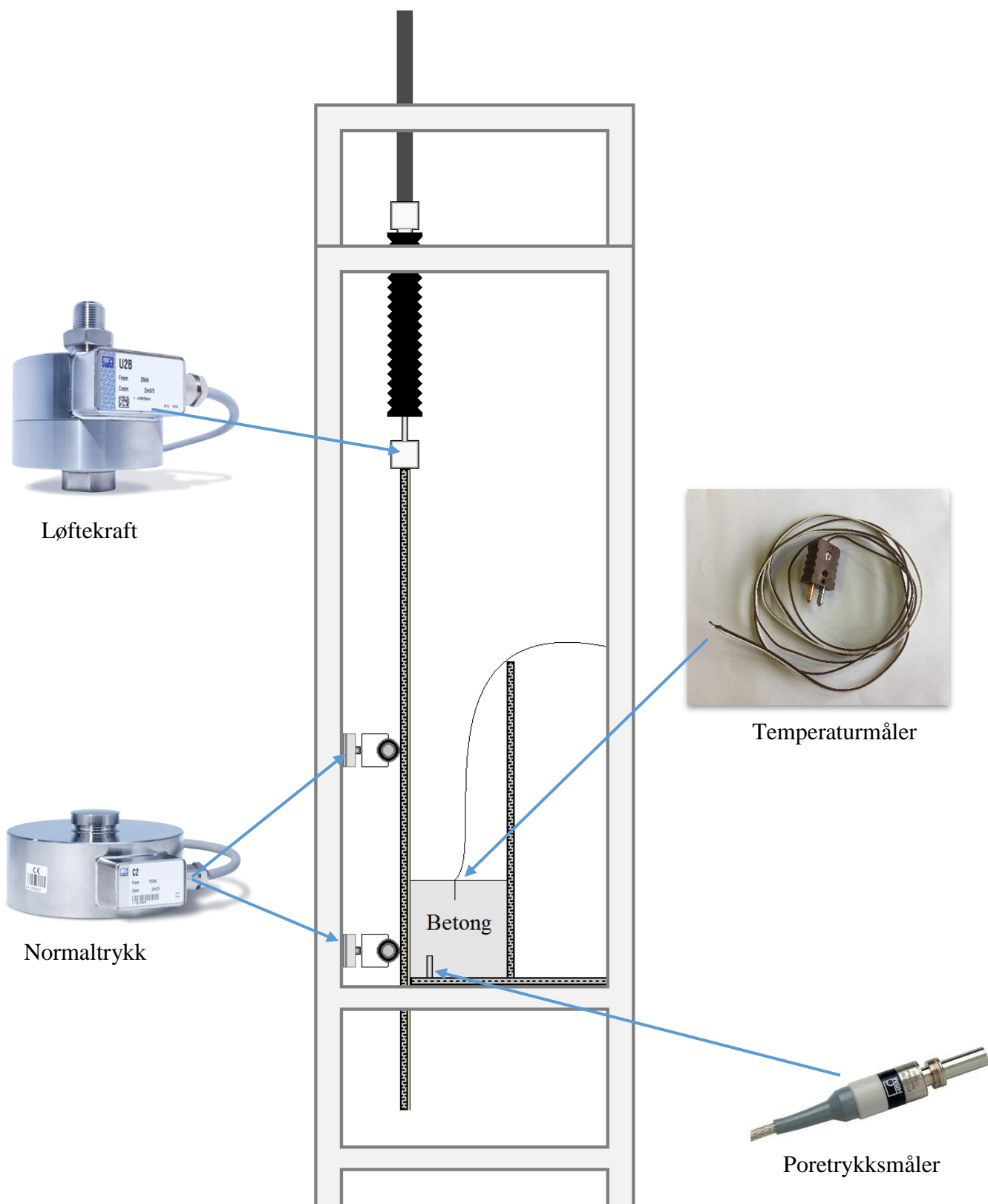
For registrering av data ble catman DAQ Software benyttet. Programmet registrerer data hvert sekund og gir også en visuell representasjon i sanntid – i form av grafer og tabeller. Parametrene som blir registrert ved en test i glideriggen er:

- Løftekraft
- Normaltrykk fra betongen
- Temperatur i betongen
- Posisjon til glidepanelet
- Poretrykk
- Tid

Programmet ble startet når vannet ble tilsatt i betongblandingen, slik at tidspunkt for avbinding i betongen samsvarer med tidsforløpet dataprogrammet viser.

3.2.7 Glideriggens reproduserbarhet

For kontroll og verifisering av glideriggens reproduserbarhet ble hvert testprogram utført to ganger med nøyaktig like parametre, dvs. samme løftefrekvens. Totalt ble det utført ti tester i glideriggen.



Figur 19 – Gliderigg med målere (Bjerkestrand, 2017).

3.3 Testprogram

Målet med testprogrammet var å studere hvilken effekt løftefrekvensen har i forhold til friksjon og overflateskader. Som tidligere nevnt er hovedforskjellen mellom glideforskaling og fast forskaling nemlig denne friksjonen, som oppstår i en glidestøp når panelet løftes. Eventuelle overflateskader oppstår også oftest ved løftingen.

3.3.1 Løftefrekvenser

Løftefrekvenser benyttet i de forskjellige prøvene er vist av tabell E. Samtlige prøver har samme totale løfterate, på 40 mm per time. Hver frekvens er vist nærmere i delkapitlene under.

	Indeksnavn	Netto høyde	Tidsintervall	Løfterate
Frekvens 1	F1:10.15	10 mm	15 min	40 mm/t
Frekvens 2	F2:10.15	10 mm	15 min	40 mm/t
Frekvens 3	F3:04.06	4 mm	6 min	40 mm/t
Frekvens 4	F4:20.30	20 mm	30 min	40 mm/t
Frekvens 5	F5:40.60	40 mm	60 min	40 mm/t

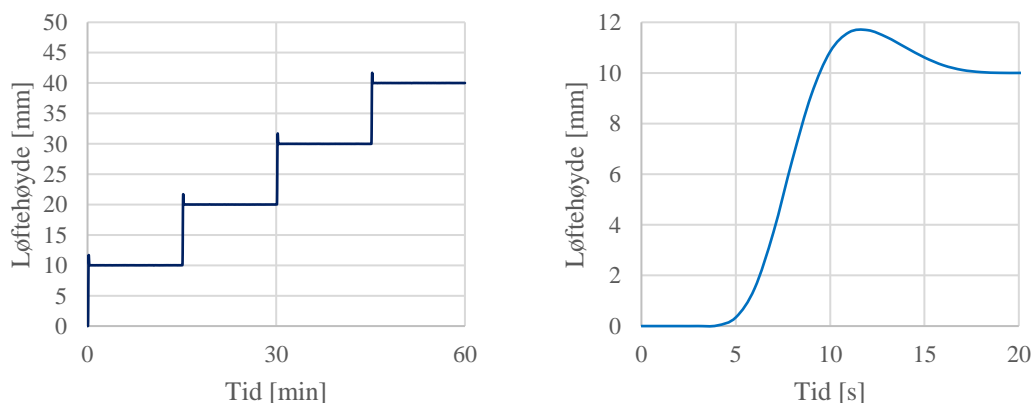
Tabell D – Løftefrekvenser benyttet i oppgaven.

Forklaring av indeksnavn;

Eks.: F1:10.15; hvor F1 står for frekvens 1, 10 betyr at hvert løft er på 10 mm netto og 15 angir tidsintervall mellom hvert løft i minutter.

3.3.1.1 Frekvens 1 – F1:10.15

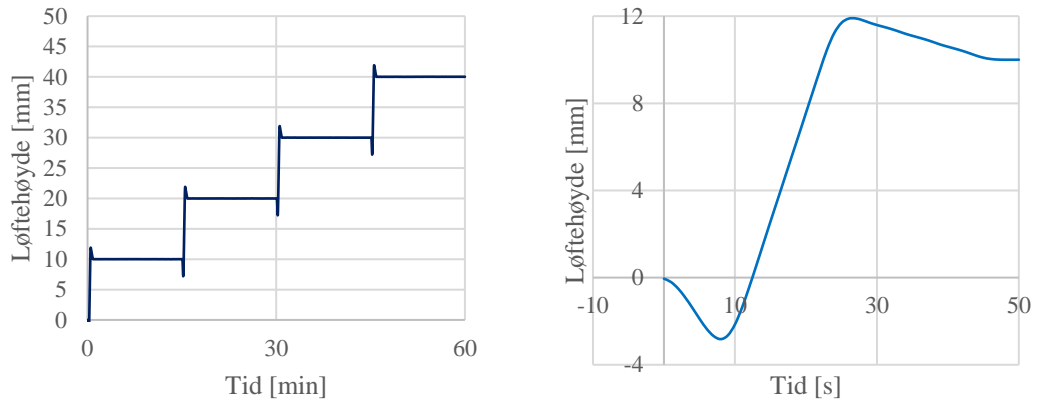
	Løftehøyde [mm]	Løfterate [mm/s]
Løft 1:	12	1.5
Løft 2:	-2	0.4



Figur 20 – F1:10.15: høyde og rate per time / høyde og rate for ett løft.

3.3.1.2 Frekvens 2 – F2:10.15

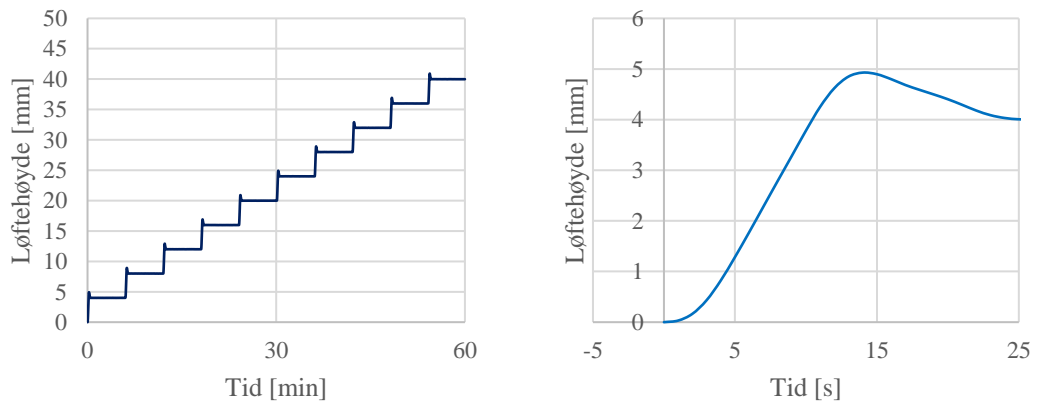
	Løftehøyde [mm]	Løfterate [mm/s]
Løft 1:	-3	0.2
Løft 2:	15	0.5
Løft 3:	-2	0.1



Figur 21 – F2:10.15: høyde og rate per time / høyde og rate for ett løft.

3.3.1.3 Frekvens 3 – F3:04.06

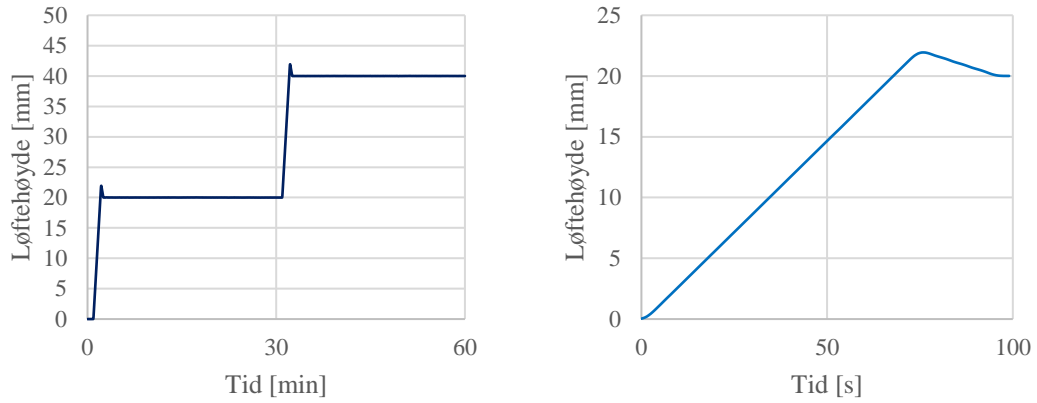
	Løftehøyde [mm]	Løfterate [mm/s]
Løft 1:	5	2.0
Løft 2:	-1	0.1



Figur 22 – F3:04.06: høyde og rate per time / høyde og rate for ett løft.

3.3.1.4 Frekvens 4 – F4:20.30

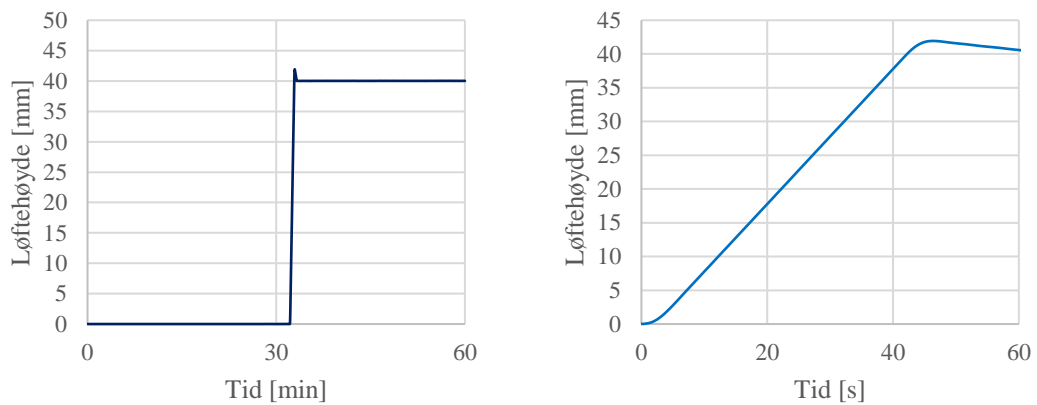
	Løftehøyde [mm]	Løfterate [mm/s]
Løft 1:	22	0.3
Løft 2:	-2	0.1



Figur 23 – F4:20.30: høyde og rate per time / høyde og rate for ett løft.

3.3.1.5 Frekvens 5 – F5:40.60

	Løftehøyde [mm]	Løfterate [mm/s]
Løft 1:	42	1.0
Løft 2:	-2	0.1



Figur 24 – F5:40.60: høyde og rate per time / høyde og rate for ett løft.

3.4 Feilkilder og svakheter

Feilkilden som glideriggen kan produsere og som kan gi størst påvirkning på målingene ble vurdert til å være begroing på glidepanelet. Begroing ble forsøkt begrenset ved å rengjøre panelet grundig før og etter hvert forsøk. I tillegg ble det utført syrevasking av panelet mellom hvert fjerde forsøk. For å kontrollere at det ikke hadde blitt utviklet begroing som påvirker resultatene i stor grad, ble et forsøk med de samme parametrene utført i starten og slutten av hele laboratoriearbeidet. Resultatene fra prøvene ble sammenlignet og kontrollert. Panelet ble også inspisert før hvert forsøk.

Ettersom målet med oppgaven var å studere løftefrekvensers effekt på friksjonen, skulle betongen være mest mulig lik i de forskjellige forsøkene. For å sikre dette ble det utført prøver av fersk og herdet betong, som kan leses av kapittel 3.1.6 og 3.1.7. I tillegg ble temperaturutviklingen av de forskjellige betongblandinene gjort, parallellt med forsøk i gliderigg. Resultatet av disse målingene ble også sammenlignet.

Forsøkene i glideriggen er ikke fullstendig representativt for støping i naturlige omgivelser. Det er heller ikke tatt hensyn til eventuelle begrensninger i forhold til praktisk utførelse av glidestøp på bygge- eller anleggsplass. På tross av disse mindre svakhetene, er det vurdert til at resultatene fra denne oppgaven er overførbare til praktisk glidestøp i stor grad.

4 RESULTATER OG DRØFTING

I dette kapittelet vil det presenteres resultater fra de forskjellige prøvene som ble utført i laboratoriet. Forklaring vedrørende behandling av rådata og eventuelle omregninger vil også bli presentert. Dette vil videre bli drøftet med fokus på hvilken effekt løftefrekvensen ved glidestøp har på friksjonen mellom glidepanel og betong.

4.1 Prøveblandinger

Det ble utført totalt 3 prøveblandinger før testing i glideriggen ble utført. Dette for å komme frem til en resept som gav betong med god støpelighet. Den første blandingen var svært seig og gav et utbredelsesmål på bare 470 mm. Derfor ble matriksinnholdet økt. Den andre blandingen gav en betong med tilstrekkelig synk- og utbredelsesmål, men her ble betongen ustabil, med separasjon. For å hindre dette, ble vanninnholdet minket ved å øke innhold av tilsetningsstoffet Dynamon SX-N, i tillegg til at sandandelen ble økt. Den tredje og endelige prøveblandingen ble en stabil betong med utbredelsesmål på 680 mm. Resepten for den siste blandingen ble derfor brukt som utgangspunkt til alle testene i glideriggen.

De forskjellige prøvene på betongen (synk, trykkfasthet, luft og utbredelse) ble gjort for å stadfeste betongens egenskaper, samt kontrollere for betydelig avvik i betongblandingene som kan ha påvirket resultatet av de forskjellige testene i glideriggen. Målet med blandingene var å få de så like hverandre som mulig, med tanke på temperaturutvikling, avbinding, støpelighet og andre aktuelle parametre. På den måten ble det sikret at det i størst mulig grad kun var variasjon i løftefrekvenser som påvirket de endelige resultatene fra prøvene i glideriggen.

4.2 Resultat fra prøving av betong

Resultatene fra prøving av fersk betong som ble brukt i de forskjellige testene i glideriggen er presentert i tabellen nedenfor.

	Synkmål [mm]	Utbredelse [mm]	Luftinnhold [%]
F1:10.15	270	710	5.2
F2:10.15	260	690	5.6
F3:04.06	270	700	5.3
F4:20.30	280	720	4.8
F5:40.60	260	700	5.4

Tabell E – Resultater fra synkmål, utbredelsesmål og måling av luftinnhold.

Som vi ser av resultatene er støpeligheten til betongen brukt i de forskjellige prøvene tilnærmet like, og samtlige kan klassifiseres som selvkomprimerende betong med et utbedringsmål på 69-72 cm.

Resultatene fra prøving av herdet betong som ble brukt i de forskjellige testene i glideriggen er presentert i tabellen nedenfor.

	Trykkfasthet – f_c [MPa]				
	F1:10.15	F2:10.15	F3:04.06	F4:20.30	F5:40.60
Terning 1	71.98	69.95	70.39	72.65	75.16
Terning 2	72.64	71.43	70.32	72.56	74.25
Terning 3	73.68	68.86	69.79	70.78	73.07
Terning 4	72.58	70.68	69.70	74.11	72.36
Terning 5	73.70	71.86	70.57	73.05	73.94
Min.	71.98	68.86	69.70	70.78	72.36
Maks.	73.70	71.86	70.57	74.11	75.16
Gj.snitt	72.92	70.56	70.15	72.63	73.76
Std.avvik	0.6727	1.0699	0.3449	1.0765	0.9663

Tabell F – Resultater fra trykkfasthetstest.

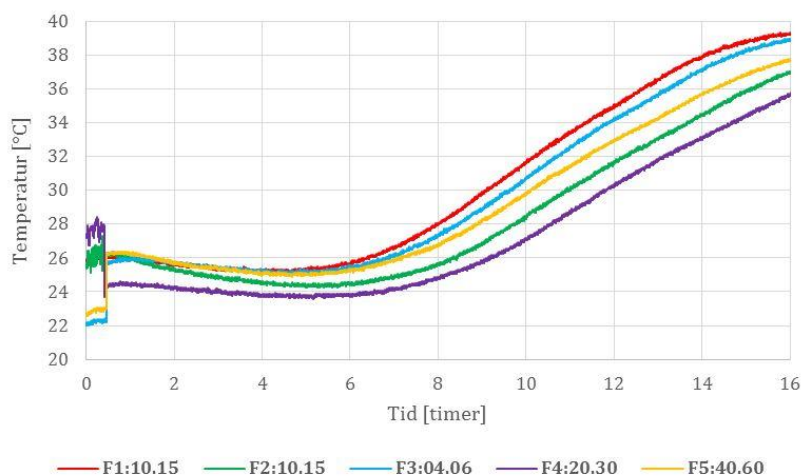
Som vi kan se av tabellen tilfredsstillers alle prøvene minimumskravet til karakteristisk trykkfasthet for betong i trykkfasthetsklasse B50, som er:

$$\mathbf{B50} \rightarrow \text{NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008} \rightarrow f_{ck,Cube} = 60 \text{ MPa} + 8 \text{ MPa} = 68 \text{ MPa}$$

Selv om det ikke var satt noe krav til trykkfasthet til betongen i denne oppgaven, er det likevel interessant å se at betongen kan brukes i konstruksjoner med krav til relativt høy fasthet, det vil si typiske konstruksjoner hvor glidestøp blir brukt. Etersom v/c-tall i alle blandningene er 0.40 kan man klassifisere betongen som en M40 B50 betong, hvor M40 er bestandighetsklassen som angir vanninnholdet i betongen.

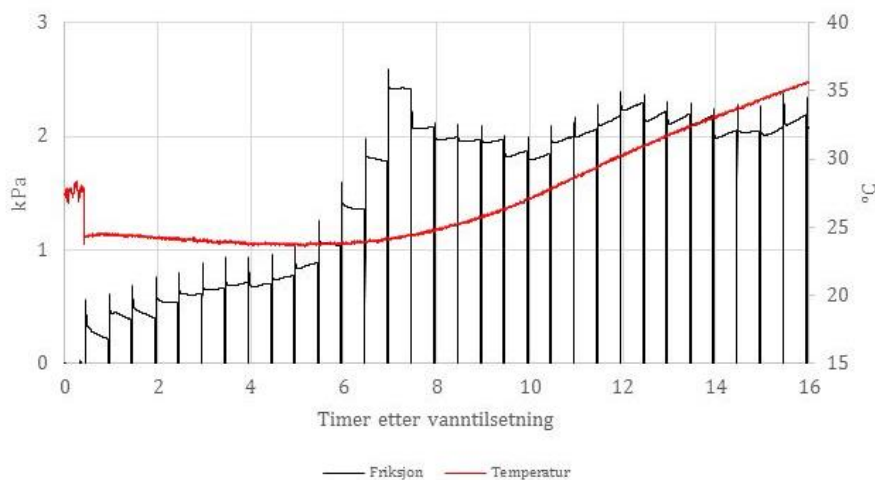
4.3 Temperaturutvikling

Temperaturutviklingen i betongen fra de forskjellige prøvene er vist av figuren nedenfor.



Figur 25 – Temperaturutvikling i betongen.

Som man kan se av figuren er temperaturutviklingen i de forskjellige prøvene omtrent like, hvor samtlige prøver har en hydratiseringsprosess som begynner etter omlag 6 timer etter vanntilsetning. Variasjon i temperatur for de forskjellige prøvene kan blant annet komme av variasjon i romtemperatur, ettersom ytterporten ble sporadisk åpnet/lukket da prøvene ble utført.

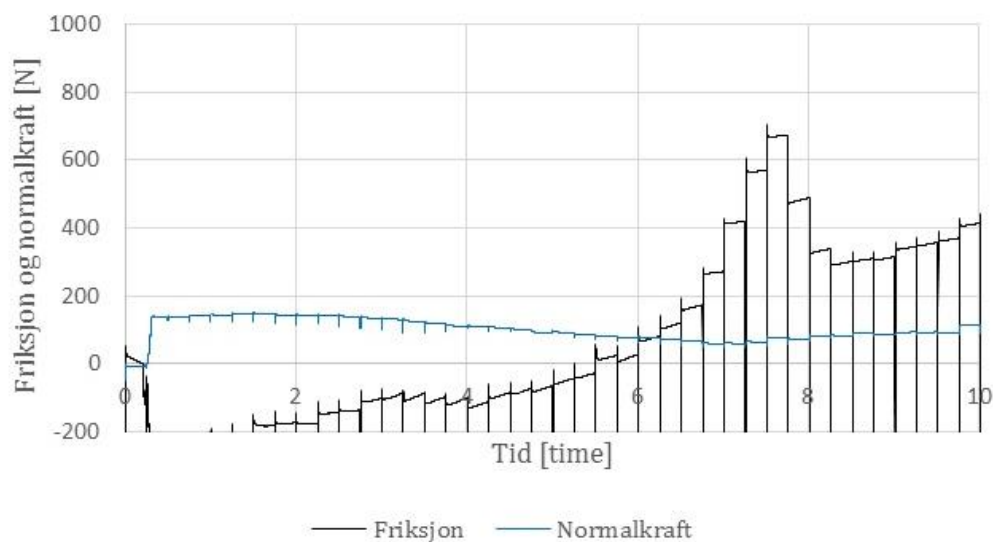


Figur 26 – Temperaturutvikling og friksjon ved prøve F4:20.30.

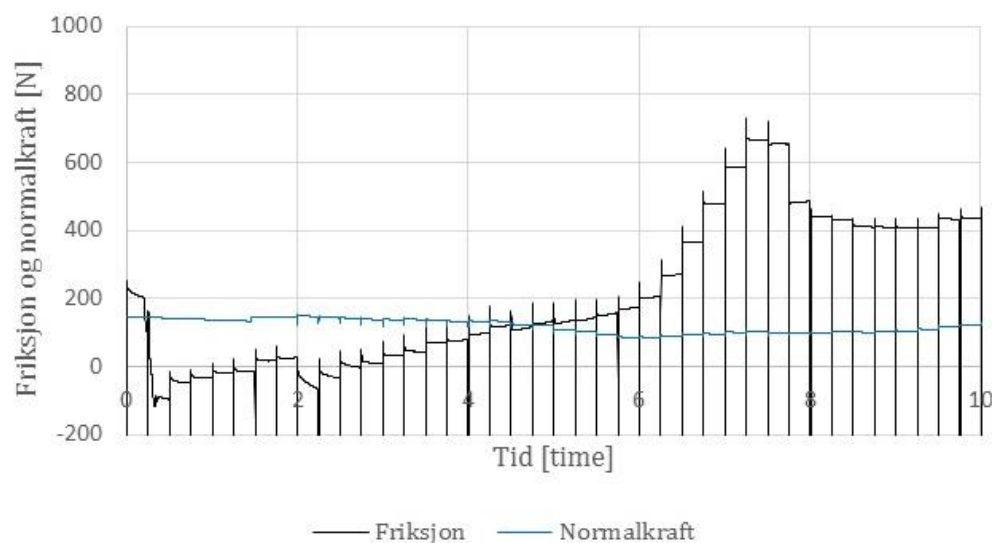
Friksjonen øker betydelig i det hydratiseringsprosessen begynner, helt til maksimumsverdien er nådd ved avbindingstidspunkt. Dette viser en korrelasjon mellom hydratiseringsprosess i betongen og friksjon mellom glidepanel og betongoverflaten.

4.4 Glideriggens reproduserbarhet

Resultatet fra reproduserbarhetstesten er vist av figur 29 og figur 30, og viser målt friksjon (løftekraft) og normalkraft mot forløpt tid.



Figur 27 – Resultater fra prøve 1 i reproduserbarhetstest, F1:10.15 (1).

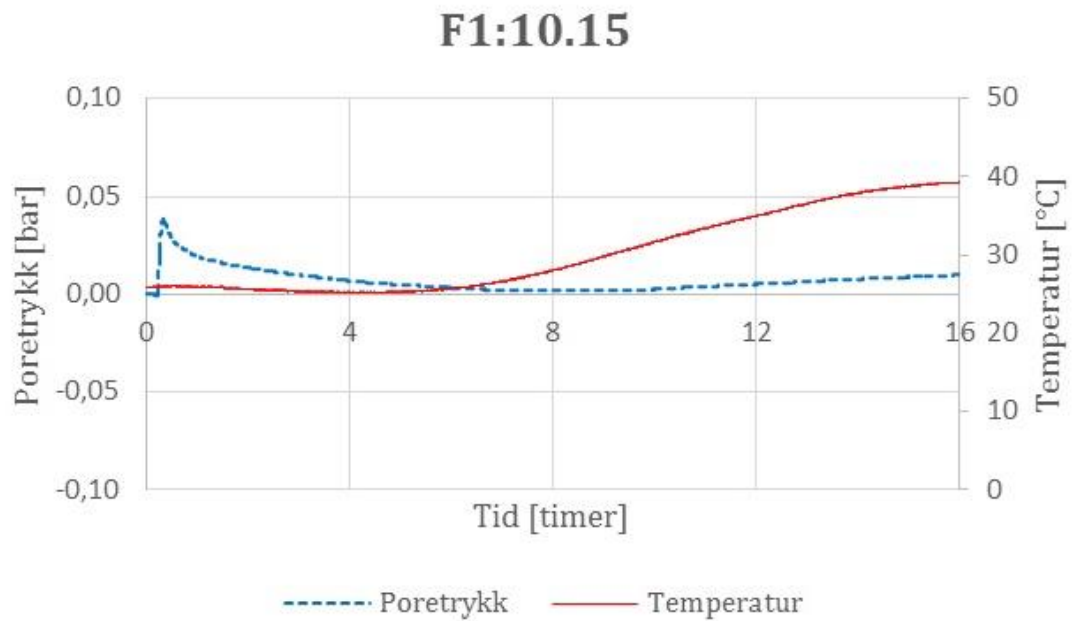


Figur 28 – Resultater fra prøve 2 i reproduserbarhetstest, F1:10.15 (2).

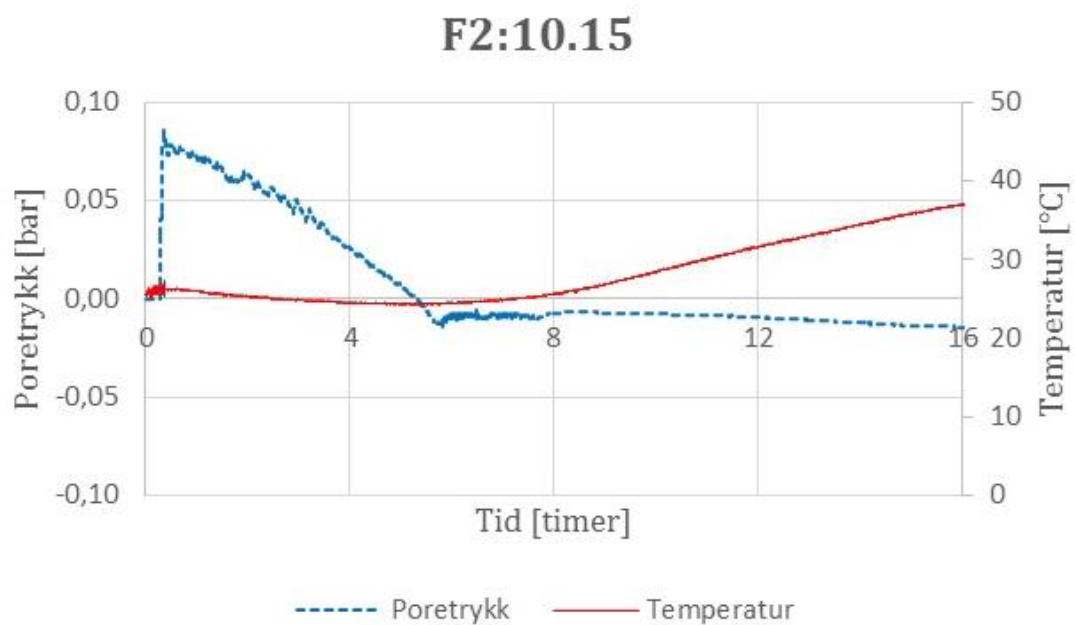
Maksimum friksjon for begge testene skjer rundt syv og en halv time etter vanntilsetning, med en friksjonsverdi på omlag 700N. Etter denne verdien er nådd jevnes friksjonen ut, og etter åtte timer stabiliseres den på rundt 400N. Normalkraften begynner på rundt 170N for begge prøvene, synker gradvis ved tidspunkt for avbinding og stabiliseres etter at maksimum verdi for friksjonen er nådd. Basert på disse resultatene kan det konkluderes med at glideriggen produserer like resultater.

4.5 Poretrykk

Det ble registrert følgende poretrykk for de forskjellige prøvene:

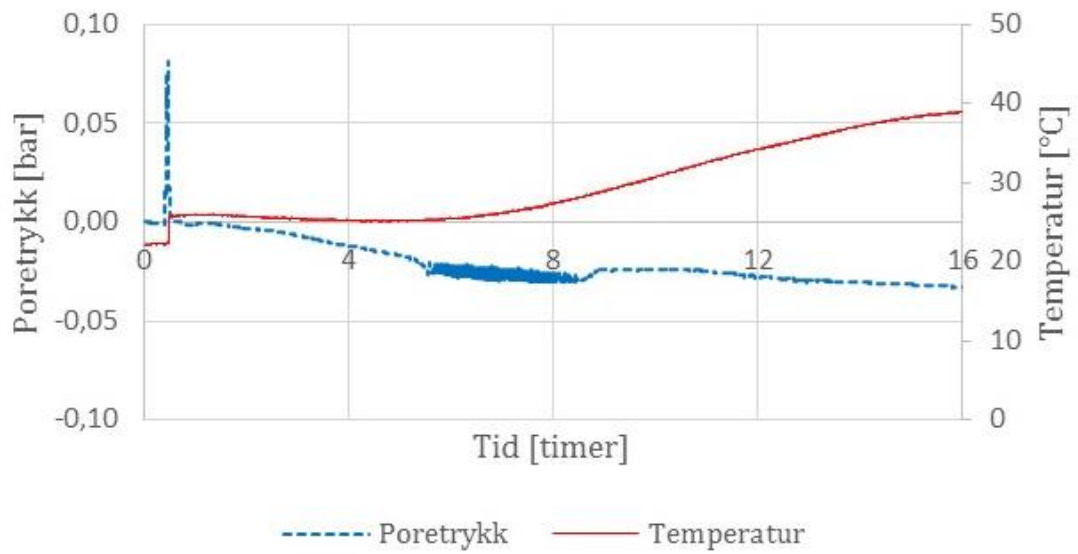


Figur 29 – Målt poretrykk for F1:10.15.



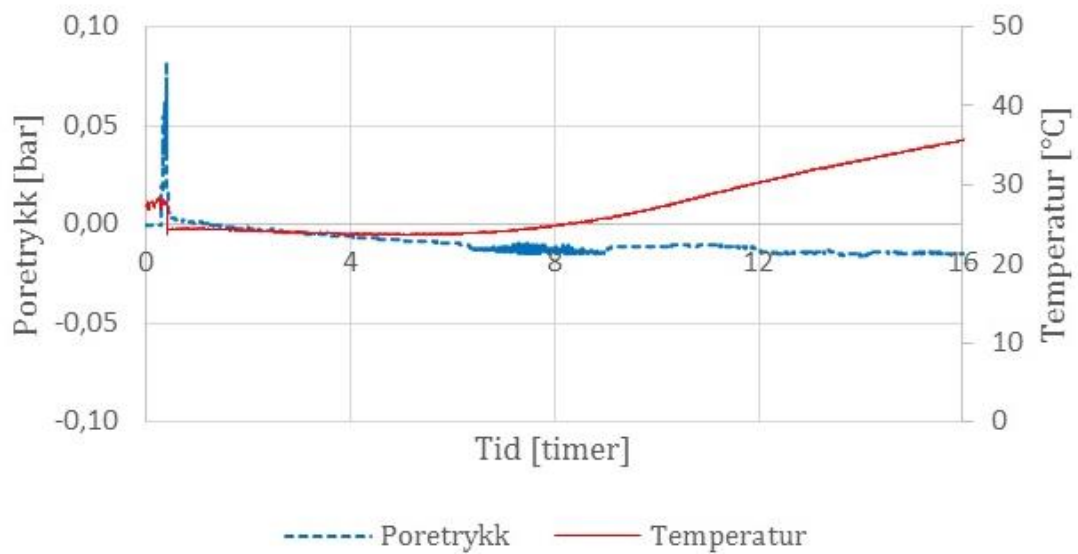
Figur 30 – Målt poretrykk for F2:10.15.

F3:04.06



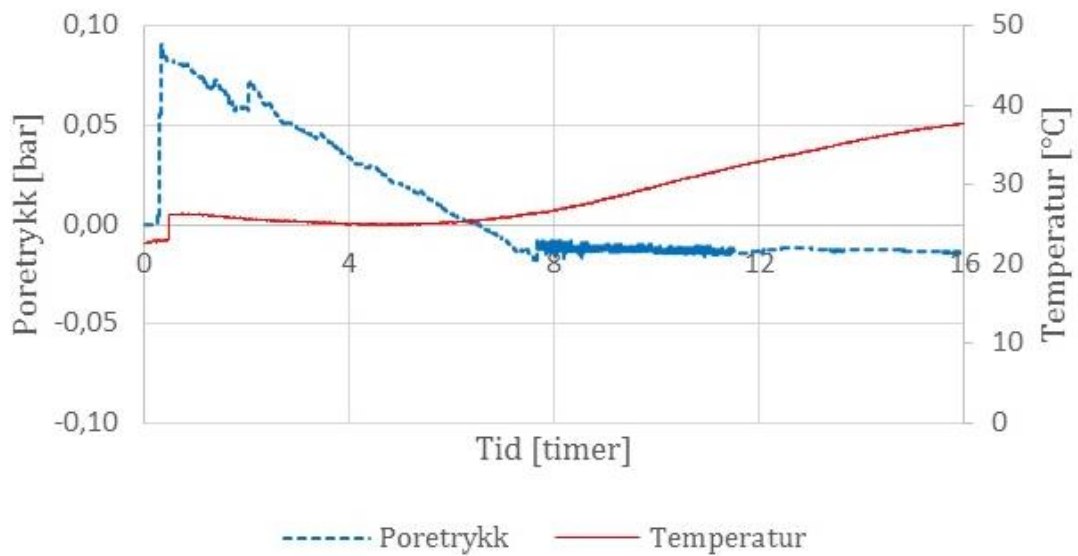
Figur 31 – Målt poretrykk for F3:04.06.

F4:20.30



Figur 32 – Målt poretrykk for F4:20.30.

F5:40.60



Figur 33 – Målt poretrykk for F5:40.60.

I innledende fase vil poretrykket avhenge av tettheten til faste partikler i betongen og målingens dybde. Deretter vil poretrykket falle noe, på grunn av at de faste partiklene vil falle til ro. Her vil poretrykket være omtrent lik det hydrostatiske trykket i betongen. Til slutt vil poretrykket synke betraktelig når hydratiserings-prosessen starter [8].

Resultat fra poretrykksmålingene viser avvik i registrering av poretrykket. Ettersom betongsammensetning, luftinnhold og målingens dybde er like i alle prøvene skulle poretrykket fra de forskjellige målingen vært noen lunde like i innledende fase. Poretrykksmåleren er plassert med en avstand fra glidepanelet på ca. 50 mm og burde derfor være upåvirket av variasjon i løftefrekvens. Ved rengjøring av glideriggen og måleutstyr ble det registrert tilfeller av betongrester i poretrykksmåleren, som mest sannsynlig forårsaket de ustabile målingene.

På bakgrunn av disse funnene er det konkludert med at resultatene fra poretrykksmåling ikke kan brukes til videre beregning og sammenligning.

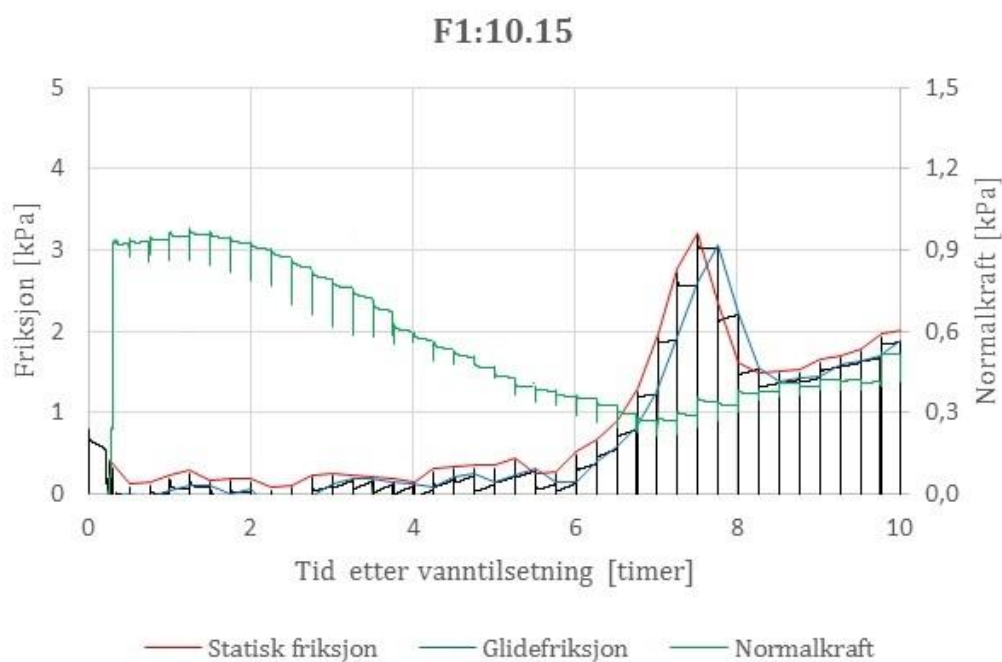
4.6 Normalkraft

For å sammenligne normalkraften fra de forskjellige prøvene, ble registrert måling gjort av de fire lastsensorene bak glidepanelet behandlet på følgende måte:

$$\sigma = \frac{(N_1 + N_2 + N_3 + N_4)/4}{A}$$

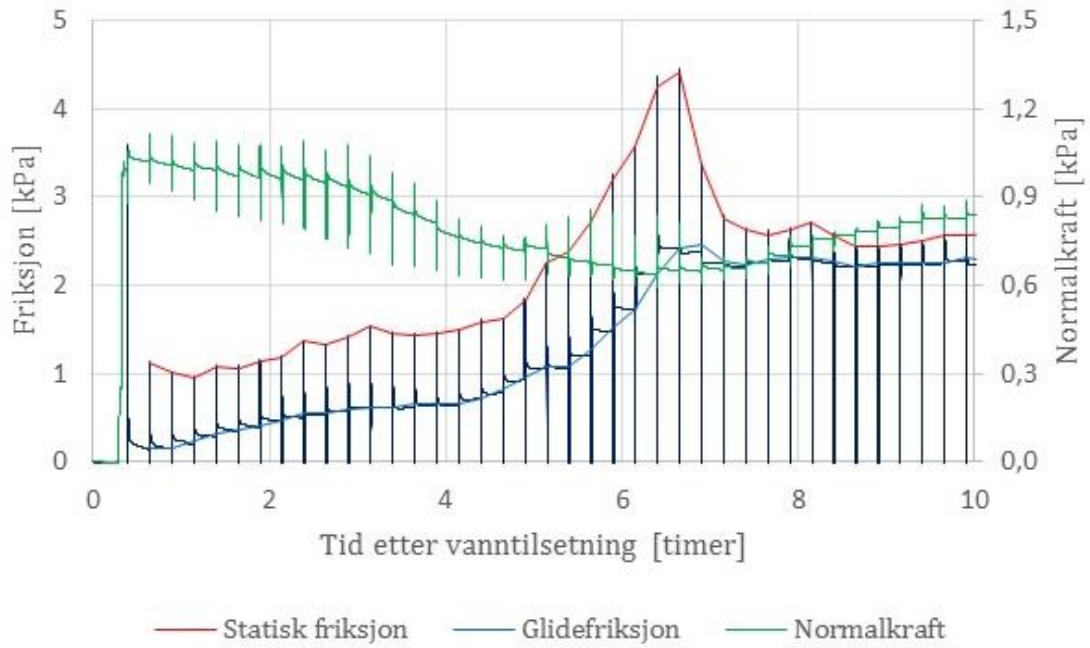
- σ : normalkraft [kPa]
- N_1 : registrert last fra sensor nederst til venstre [N]
- N_2 : registrert last fra sensor nederst til høyre [N]
- N_3 : registrert last fra sensor øverst til venstre [N]
- N_4 : registrert last fra sensor øverst til høyre [N]
- A : areal av betong i kontakt med glidepanel [m²]

Dette ble gjort for å ta høyde for variasjon i betongmengde og –areal i kontakt med glidepanel i de forskjellige prøvene.



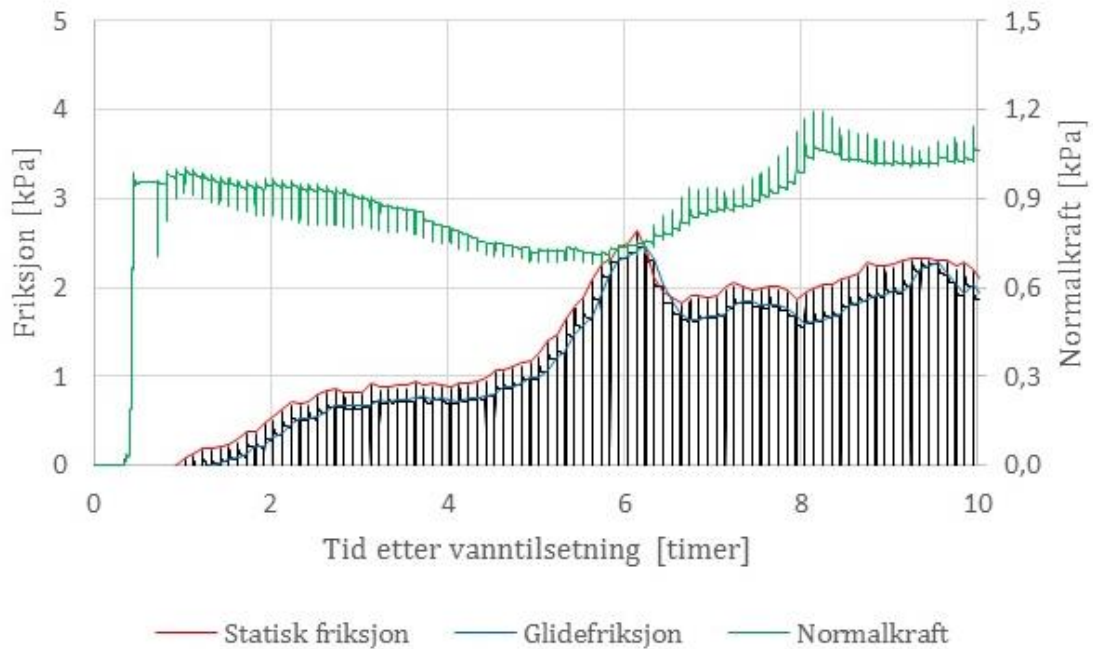
Figur 34 – Normalkraft for F1:10.15.

F2:10.15



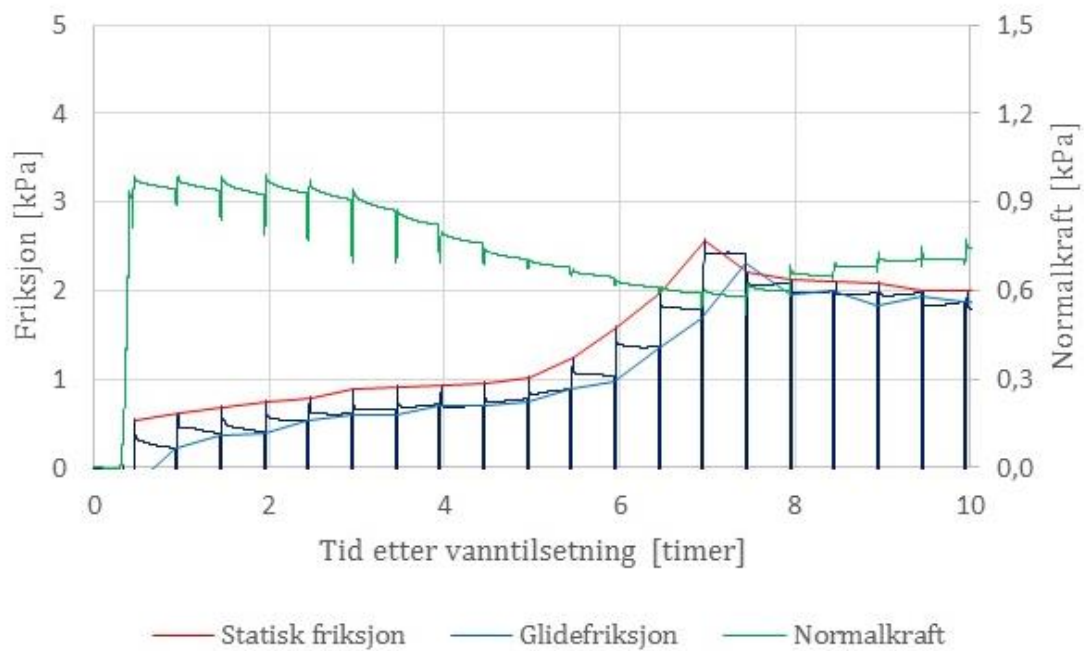
Figur 35 – Normalkraft for F2:10.15.

F3:04.06



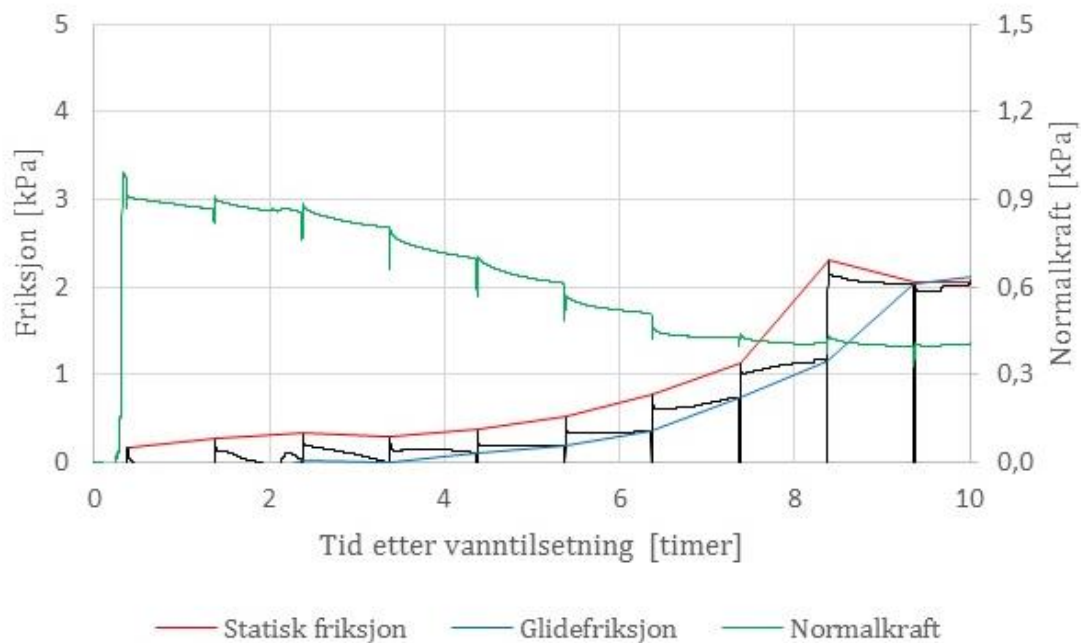
Figur 36 – Normalkraft for F3:04.06

F4:20.30



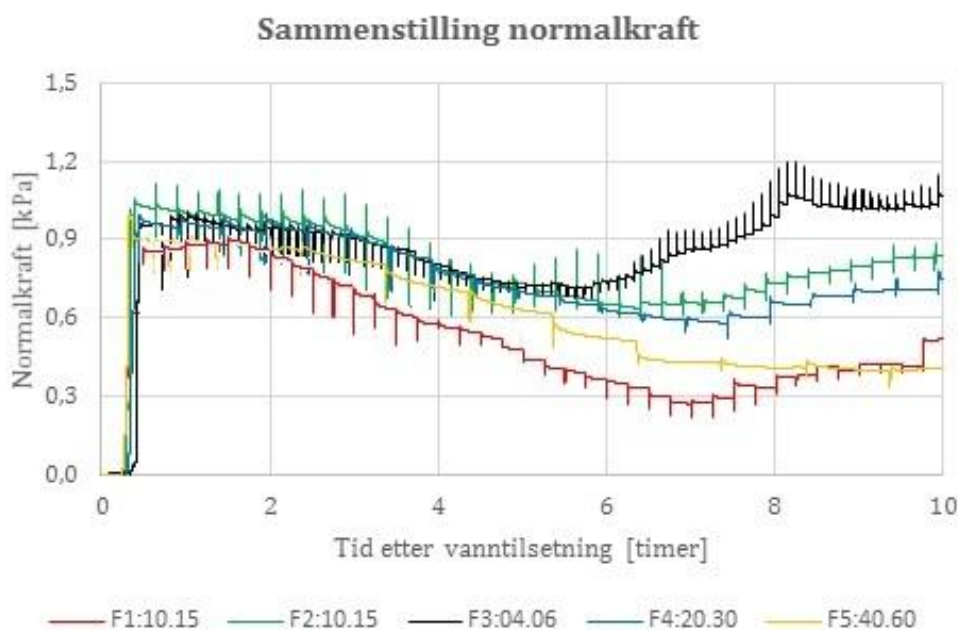
Figur 37 – Normalkraft for F4:20.30.

F5:40.60



Figur 38 – Normalkraft for F5:40.60.

Ettersom betongen ikke er fast nok til å motstå defomasjon ved løft synker normaltrykket like etter utstøping, jevner seg ut og når sin laveste verdi. Etter dette øker normaltrykket igjen. Dette fordi betongen går over i transformasjonsfasen og begynner å få elastiske egenskaper – betongen blir fast nok til å motstå defomasjon I større grad. Den mest fremtredende korrelasjonen mellom normalkraft og friksjon er at friksjonen er på det høyeste når normalkraften er på det laveste.



Figur 39 – Sammenstilling av normalkraft.

Normalkraften i samtlige prøver starter på rundt 0.9 kPa etter utstøping. Deretter synker den til mellom 0.3 og 0.7 kPa, for så å øke igjen. Utviklingen av normalkraften er omtrent lik for alle prøvene. Dette er som forventet, da betongsammensetning er lik for samtlige prøver og det ble ikke gjort noen manuell komprimering etter utstøping.

4.7 Friksjon

For å evaluere friksjonen mellom glidepanelet og betongen ved hvert forsøk må friksjonen i glideriggen trekkes fra den målte løftekraften. Vekten av panelet blir tatt i betraktning når sensoren nullstilles før hvert program.

$$F_S = F_{MS} - F_R$$

$$F_G = F_{MG} - F_R$$

F_{MS} : målt statisk kraft [N]

F_{MG} : målt glidekraft [N]

F_S : statisk løftekraft [N]

F_G : glidekraft [N]

F_R : friksjon i gliderigg [N] ($F_R=150\text{N}$)

Friksjonen per kvadratmeter beregnes ut fra formlene:

$$F_{AS} = \frac{F_S}{A}$$

$$F_{AG} = \frac{F_G}{A}$$

F_{AS} : statisk friksjon [Pa]

F_{AG} : glidefriksjon [Pa]

A: areal av betong i kontakt med glidepanel [m^2]

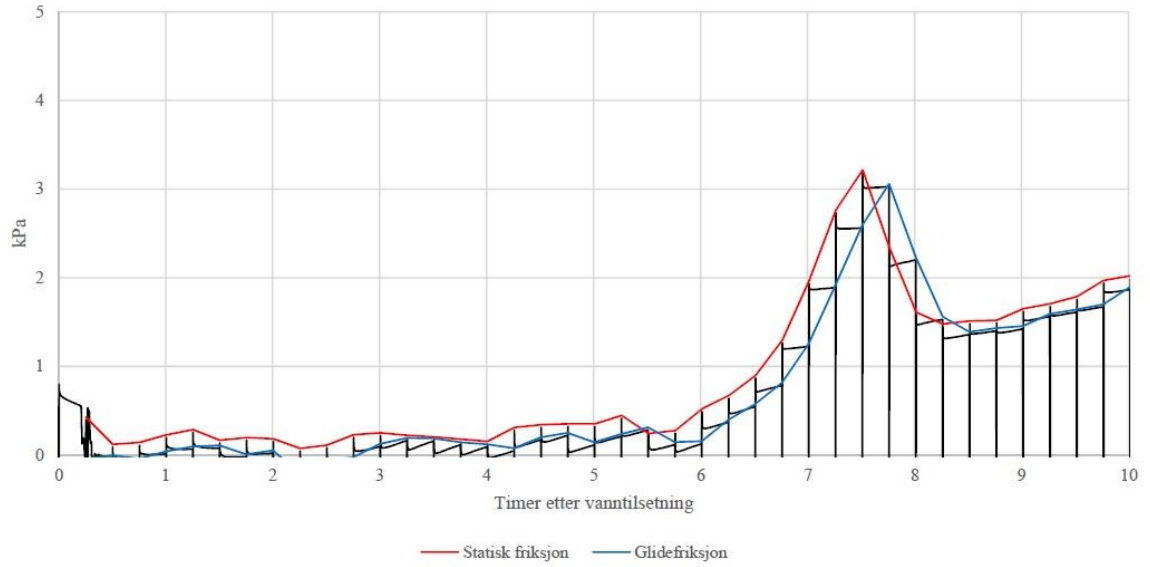
Overflateareal for de forskjellige prøvene er noe variert på grunn av svinn etter prøving av fersk betong for glideriggen ble fylt med betongen. Oversikt over overflateareal av betong i kontakt med glidepanel er vist i tabellen nedenfor.

	F1:10.15	F2:10.15	F3:04.06	F4:20.30	F5:40.60
A: areal [cm^2]	2 220	2 520	2 520	2 400	2 580

Tabell G – Betongareal i kontakt med glidepanel.

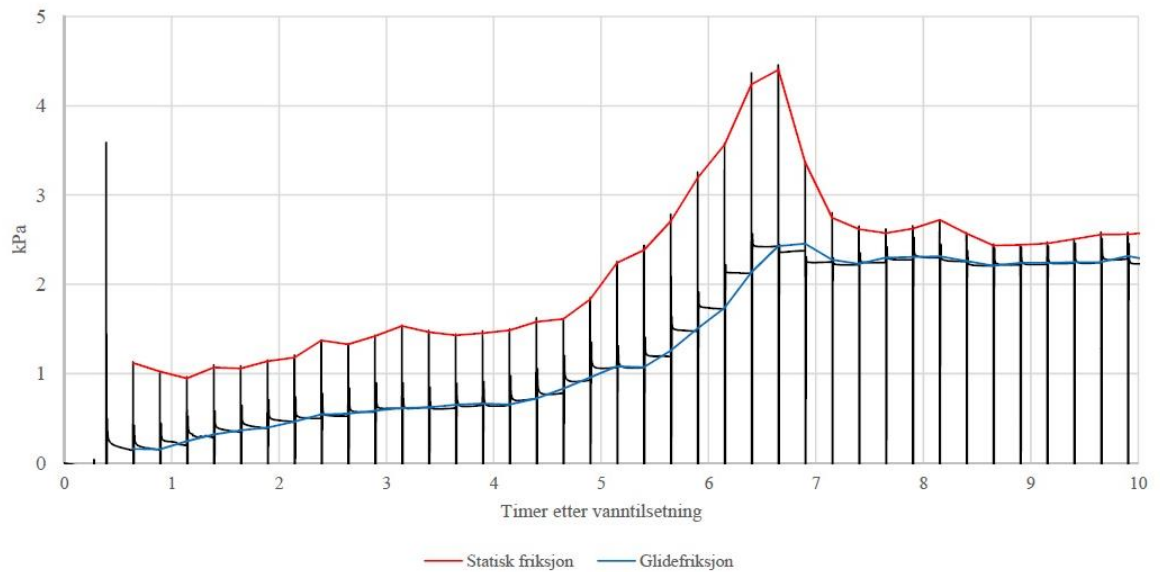
Resultat av friksjoner ved de forskjellige prøvene er vist av grafene på påfølgende sider;

F1:10.15



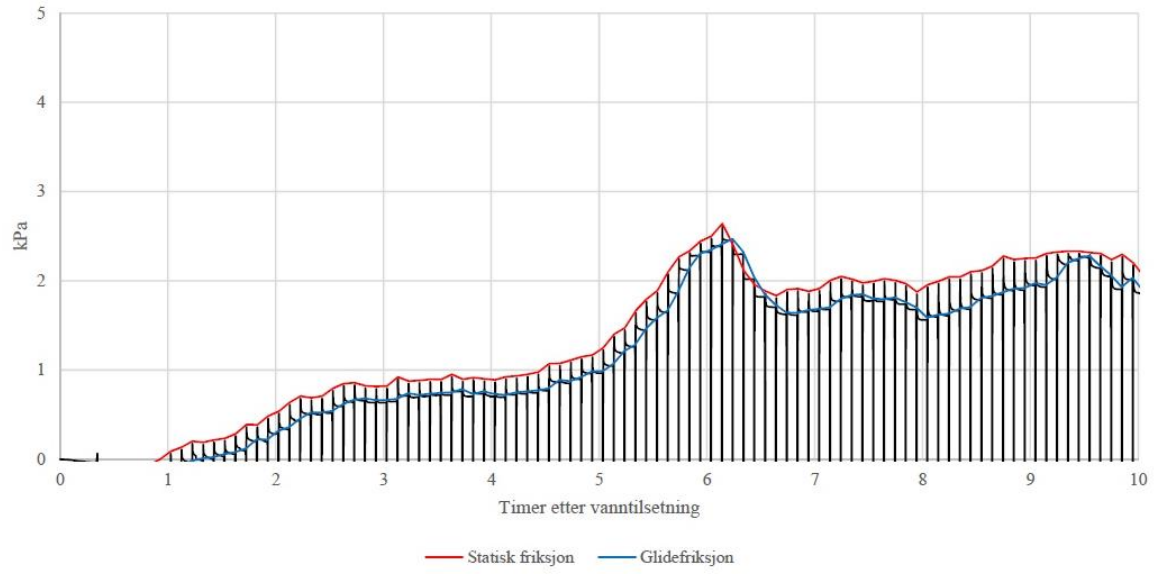
Figur 40 – Friksjon ved løftfrekvens F1:10.15.

F2:10.15



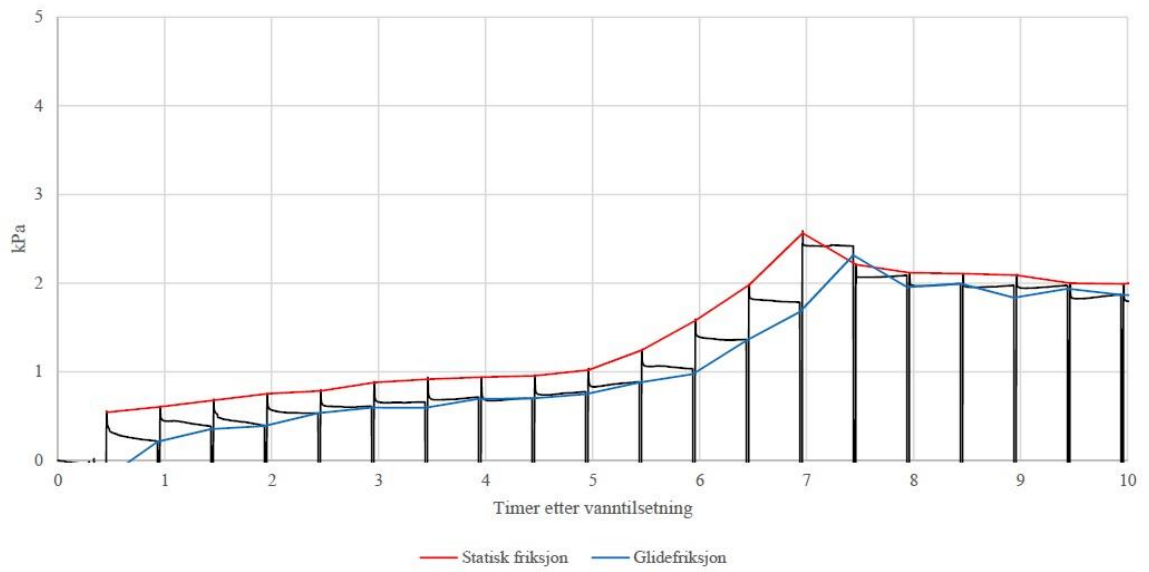
Figur 41 – Friksjon ved løftfrekvens F2:10.15.

F3:04.06

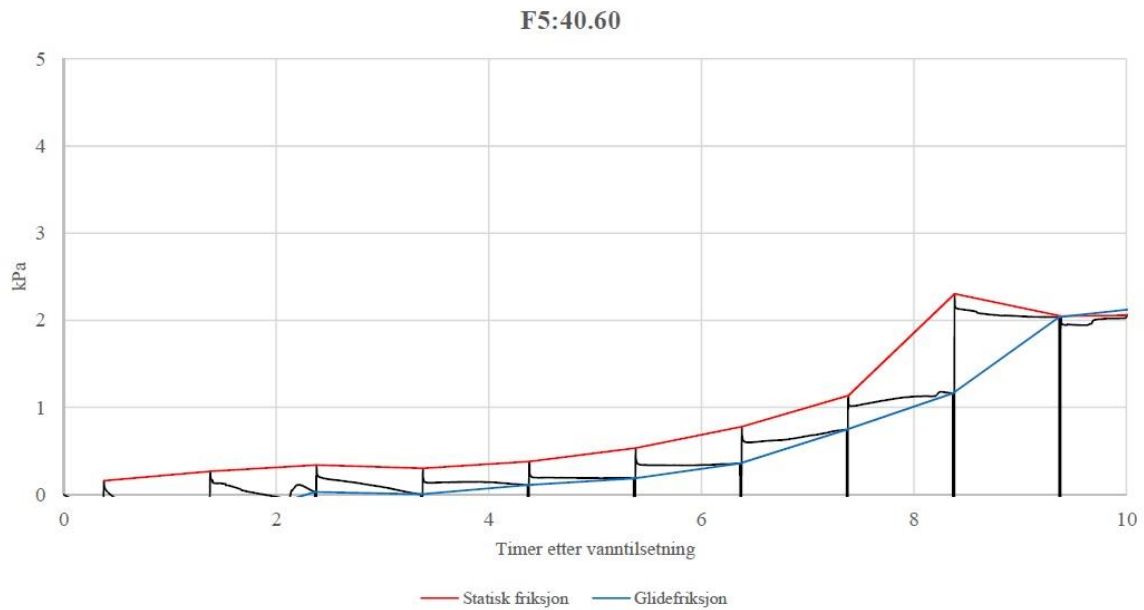


Figur 42 – Friksjon ved løftefrekvens F3:04.06.

F4:20.30



Figur 43 – Friksjon ved løftefrekvens F4:20.30.



Figur 44 – Friksjon ved løftefrekvens F5:40.60.

Etter utstøping øker friksjonen mellom glidepanelet og betongen jevnt og gradvis. Etter at hydratiseringsprosessen er begynt øker friksjonen betydelig, helt til den når sin maksimumverdi etter rundt 7 timer fra vanntilsetning. Den største registrerte friksjonen i hver enkelt forsøk ligger i området mellom 2.5 kPa og 3.0 kPa (med unntak av forsøk med løftefrekvens F2:10.15). Deretter minker friksjonen og stabiliserer seg rundt 2 kPa, etter hvert som betongen er herdet.

Den største forskjellen i sammenligningen av prøvene skjer ved prøve F2:10.15, hvor løft av glidepanel initieres med å først senke panelet 3 mm før den løftes. Ved denne senkingen blir friksjonen betydelig økt – brått og i en kortvarig periode. Dette gir også den største forskjellen mellom statisk friksjon og glidefriksjon, hvor forskjellen mellom maksimum statisk friksjon og maksimum glidefriksjon er på hele 1 kPa. I de andre prøvene er disse to verdiene tilnærmet like.

4.8 Overflateskader

Bildene nedenfor viser betongoverflate for de forskjellige prøvene som var i kontakt med glidepanelet under hvert forsøk.



Figur 45 – Betongoverflate for F1:10.15.



Figur 46 – Betongoverflate for F2:10.15.



Figur 47 – Betongoverflate for F3:04.06.



Figur 48 – Betongoverflate for F4:20.30.



Figur 49 – Betongoverflate for F5:40.60.

Det ble ikke observert løfteriss på noen av prøvene. De horisontale merkene som kan observeres på nedre del av betongoverflatene har oppstått som følge av at teiprester fra tetting nederst i betongformen er blitt dratt med glidepanelet oppover betongoverflaten. Valker/utglidning av betongen er ikke aktuelt da betongen ikke kommer frem under glidepanelet i denne type gliderigg, på grunn av riggens begrensede dimensjoner.

De mest fremtredende mangelen ved betongoverflaten er dannelse av varierende mengde porer. Noen av de større porene ser også ut til å ha blitt utvidet, ettersom de er blitt spredd utover ved forskyvningen av glidepanelet. Nedre del av betongoverflaten har generelt sett færre porer. Dette er som følge av at vekten fra overliggende betong bidrar til et større trykk som «komprimerer» den selvkomprimerende betongen i større grad enn for betong som ligger nærmere toppflaten.

5 KONKLUSJON

Utgangspunktet for denne masteroppgaven var forskningsspørsmålet: Hvilken effekt har løftefrekvensen ved glidestøp på friksjonen mellom glidepanel og betong? Hovedformålet med laboratoriearbeidet har vært å forbedre forståelsen av glidestøp som metode for betongproduksjon, da spesielt med hensyn til parametre som styres av løfteteknikk.

Ved sammenligning av resultatene fra forsøkene med samme løftefrekvens gir glideriggen like resultater med få avvik eller uregelmessigheter. Det vil si at glideriggens reproducerbarhet er tilfredsstillende. Gjennom kvantitative prøver av samtlige betongblandinger, er parametre i blandingen som kan påvirke friksjonen blitt kontrollert og forsikret om at er tilnærmet like for alle forsøkene.

På bakgrunn av resultatene fra laboratorieforsøkene kan det konkluderes med at løftefrekvens påvirker friksjonen mellom glidepanelet og betongoverflate i liten grad. Tidligere forskning har vist at økt løftehøyde ved hvert løft gir lavere friksjon, og det samme gjør kortere tid mellom hvert løft. Hvilken av disse parametrene som påvirker friksjonen i størst grad er uvisst, men resultatene i denne oppgaven tilsier at de er tilnærmet like. Dette er fordi det er blitt brukt en konstant glidehastighet ved alle forsøken, noe som gjør at når løftehøyden økes må tidsintervall mellom hvert løft minke. Dermed tilpasses løftefrekvensen gitt glidehastighet. Det vil si at friksjonsreduksjonen man oppnår ved å løfte panelet oftere, annulleres av friksjonsøkningen som kommer av at hvert løft da blir kortere.

Ingen av prøvene gav betydelig merkbare skader i betongoverflaten som var i kontakt med glidepanelet. Etersom målt friksjon var generelt sett lav ved samtlige forsøk, kan disse resultatene bygge opp under teorine om at det er en korrelasjon mellom høy friksjon og risiko for løfteriss.

I denne oppgaven ble det tatt utgangspunkt i at løftefrekvensen defineres som en løftehøyde og tidsintervall mellom hvert løft gitt av glidehastigheten, som i denne oppgaven var 40 mm/time. For videre forskning med bruk av glideriggen i laboratoriet ved UiS kan det være aktuelt å gjøre forsøk med variasjon i både løftefrekvens og glidehastighet i ett og samme forsøk. På denne måten kan man optimalisere variasjon

av løftefrekvens og glidehastighet tilpasset de forskjellige fasene fra fersk til herdet betong, for minimalisering av friksjon under hele støpeoperasjonen. Da bør det også gjøres forsøk hvor det støpes flere lag med betong i glideriggen.

6 KILDER

- [1] Fosså, K. T., Måge, I., Perlestenbakken, S., Uharmar, L. G., Haram, E., Krampl, S., Lahus, O., Fergestad, S. (2017). *Veiledning for prosjektering og utførelse av konstruksjoner utstøpt med glideforskaling*. Oslo: Norsk betongforening, Publikasjon nr. 25.
- [2] O'Brien, J. B. (1973). *Principles and Practice of Slipform*. Sydney: Cement and Concrete Association of Australia
- [3] Gripsrud, G., Olsson, U. H., Silkoset, R. (2010). *Metode og datanalyse*. Oslo: Cappelen Damm
- [4] Row, J. R. (2011, 17.8). A Non-stop Method for Building Concrete Structures. Hentet fra: <http://www.brighthubengineering.com/building-construction-design/123381-a-non-stop-method-for-building-concrete-structures/>
- [5] The Constructor. (2017). Slipform Construction Method. Hentet fra: <https://theconstructor.org/construction/slipform-construction/185/>
- [6] Skylon Tower. (2016, 14.10). Construction of Skylon Tower. Hentet fra: <https://www.skylon.com/wp-content/uploads/2013/05/>
- [7] Garathun, M. G. (2016, 03.11) Slik støpes alle 13 etasjer av det nye Munchmuseet på 30 dager. Hentet fra: <https://www.tu.no/artikler/slik-stopes-alle-13-etasje-av-det-nye-munchmuseet-pa-30-dager/363832>
- [8] Fosså, K. T. (2001). *Slipforming of Vertical Concrete Structures*. (Doktoravhandlingsgrad), Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim
- [9] Kompen, R. (1994). *Bruk av glideforskaling kontra klatreforskaling*. Oslo: Statens vegvesen, Veglaboratoriet, Intern rapport 1669.
- [10] Timber Box Out to Form Openings. [Bilde] (2017). Hentet fra: <http://www.slipform-int.com/products/illustrations.php>

- [11] Big Concrete Step Barrier Motorway. [Bilde] (2013). Hentet fra:
http://www.powerslipformers.com/imgs/big_concrete-step-barrier-motorway.jpg
- [12] Jacobsen, S. (2010). *TKT 4215 Concrete Technology 1*. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- [13] NS-EN 480-2:2006. (2006). *Tilsetningsstoffer for betong, mørtel og injiseringsmasse - Prøvmåter - Del 2: Bestemmelse av avbindings-/størkningstid*.
- [14] Kordina, K. (1990). *Versuche zur Ermittlung von Schalungsdruck und Schalungsreibung im Gleitbau*. Technische Universität Braunschweig, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz.
- [15] Steinecke, M., Prokopowicz, J., Bach, W. (1964). TRANSLATION: EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE PRESSURE EXERTED ON, AND THE FRICTION ENCOUNTERED BY, SLIDING FORMWORK. Oversatt av Amerongen, C. V. (1968). London: Cement and Concrete Association
- [16] Reichverger, Z., Jaegermann, C. (1982). Friction and pressure of concrete in slip-form concreting. Israel: Israel Institute of Technology/The standards Institution of Israel.
- [17] Morphology of cement, fly ash, slag and silica fume. [Bilde] (2014). Hentet fra:
http://pubs.rsc.org/services/images/RSCpubs.ePlatform.Service.FreeContent.ImageService.svc/ImageService/ArticleImage/2014/RA/c4ra06306f/c4ra06306f-f1_hi-res.gif
- [18] Elkem. (2017). Microsilica 971. Hentet fra: <https://www.elkem.com/no/elkem-silicon-materials/refractories/microsilica/microsilica-grade-971/>
- [19] NS-EN 206:2013+A1:2016+NA:2017. (2017). *Betong - Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar*.

- [20] HBM. (2017). U2B Load Cell: Reliable Compressive and Tensile Force Measurement From 0.5 to 200 kN. Hentet fra: <https://www.hbm.com/en/2407/u2b-highly-versatile-load-cell-for-tensile-and-compressive-forces/>
- [21] HBM. (2017). C2 Load Cell: Reliable Compressive Force Measurement From 0.5 to 200 kN Hentet fra: <https://www.hbm.com/en/2420/c2-type-series-force-transducer-for-compressive-forces/>
- [22] HBM. (2017). P8AP. Hentet fra: <https://www.hbm.com/en/2484/p8ap-for-static-and-dynamic-liquid-and-gas-pressures/>
- [23] Thermocouple. (2011). Type T Thermocouple. Hentet fra: <http://www.thermocoupleinfo.com/type-t-thermocouple.htm>

7 VEDLEGG

- A. Proporsjoneringsark
- B. Utdrag fra testmålinger
- C. Norcem Anlegg FA
- D. Dynamon SX-N
- E. Velde 0/8
- F. Velde 8/16
- G. Poretrykksmåler

Vedlegg A – Proporsjoneringsark

Prosj./id.:		Navn på serie / blandingsnummer			
Blandevolum:	90 liter				
Dato:	02.feb				
Utført av:	Simon Bjerkestrand				
Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Anlegg FA	396,6	35,698			35,698
Elkem Microsilica MS-971D	19,8	1,785	0	0,000	1,785
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	166,6	14,993		-1,628	13,365
Absorbent vann	0,0	0,000			0,000
Årdal 0/8 mm nat. vask.	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Velde 0-8	971,4	87,427	0,0	0,000	87,427
Velde 8-16	844,3	75,988	1,7	1,292	77,280
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	4,6	0,411	82	0,337	0,411
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

Vedlegg B – Utdrag fra testmålinger

Prøve nr: 5
 Dato: 11.03.2017
 Frekvens: F3:04.06
 Software: Vanntilsetn.
 Gliderigg: Utstøping
 Dimensjon: 60x30x40

Time	Position	Temperatur	Pore	Tension	Right Upper	Right Lower	Left Upper	Left Down	Total Upper	Total Lower
h	mm	°C	pressure	Wall	N	N	N	N	kN	kN
			bar	kN						
8,16083	300,55750	27,60105	-0,02746	0,39556	108,47437	466,02914	128,05623	327,49115	236,49057	793,48071
8,16111	300,55792	27,58804	-0,02752	0,39538	108,47514	465,97275	128,05167	327,45831	236,48678	793,39147
8,16139	300,55927	27,56771	-0,02757	0,39521	108,47723	465,91595	128,04614	327,42676	236,48334	793,30312
8,16167	300,56128	27,55035	-0,02762	0,39505	108,47704	465,85968	128,04166	327,39682	236,47867	793,21691
8,16194	300,56299	27,53942	-0,02767	0,39489	108,47497	465,80618	128,03860	327,36807	236,47354	793,13467
8,16222	300,56369	27,53666	-0,02772	0,39474	108,47203	465,75302	128,03630	327,33856	236,46830	793,05200
8,16250	300,56378	27,54572	-0,02777	0,39459	108,46900	465,69849	128,03351	327,30881	236,46248	792,96771
8,16278	300,56369	27,56310	-0,02782	0,39445	108,46658	465,64505	128,02908	327,27899	236,45563	792,88445
8,16306	300,56348	27,57864	-0,02787	0,39430	108,46446	465,59265	128,02309	327,24991	236,44752	792,80297
8,16333	300,56287	27,58910	-0,02792	0,39416	108,46396	465,54068	128,01880	327,21991	236,44272	792,72100
8,16361	300,56146	27,59493	-0,02798	0,39401	108,46462	465,49060	128,01859	327,18954	236,44317	792,64056
8,16389	300,56143	27,59501	-0,02803	0,39387	108,46553	465,44424	128,01971	327,16144	236,44521	792,56609
8,16417	300,56244	27,59279	-0,02809	0,39374	108,46612	465,40103	128,02013	327,13614	236,44621	792,49758
8,16444	300,56320	27,59227	-0,02814	0,39362	108,46592	465,35825	128,02037	327,11035	236,44626	792,42901
8,16472	300,56348	27,59280	-0,02819	0,39349	108,46404	465,31390	128,02051	327,08203	236,44452	792,35635
8,16500	300,56345	27,59391	-0,02824	0,39335	108,46204	465,26672	128,01880	327,05515	236,44081	792,28228
8,16528	300,56339	27,59415	-0,02829	0,39323	108,46177	465,21896	128,01721	327,03104	236,43895	792,21041
8,16556	300,56332	27,59226	-0,02834	0,39313	108,46272	465,17325	128,01620	327,00836	236,43889	792,14202
8,16583	300,56329	27,58982	-0,02839	0,39302	108,46311	465,13019	128,01442	326,98514	236,43750	792,07574
8,16611	300,56332	27,58947	-0,02844	0,39290	108,46142	465,08826	128,01103	326,96219	236,43242	792,01086
8,16639	300,56332	27,59031	-0,02848	0,39280	108,45921	465,04395	128,00841	326,94159	236,42758	791,94595
8,16667	300,56332	27,59015	-0,02852	0,39269	108,45746	464,99600	128,00517	326,91968	236,42260	791,87609
8,16694	300,56332	27,58104	-0,02857	0,39258	108,45731	464,94714	127,99982	326,89612	236,41709	791,80367
8,16722	300,56393	27,56201	-0,02862	0,39248	108,45908	464,89856	127,99493	326,87469	236,41398	791,73367
8,16750	300,56537	27,53941	-0,02867	0,39240	108,45996	464,85239	127,99490	326,85303	236,41483	791,66583
8,16778	300,56567	27,52320	-0,02873	0,39231	108,45788	464,81076	127,99802	326,83124	236,41586	791,60241
8,16806	300,56454	27,51520	-0,02877	0,39222	108,45329	464,77338	128,00066	326,80978	236,41391	791,54357
8,16833	300,56357	27,51179	-0,02881	0,39213	108,44939	464,73727	128,00116	326,78976	236,41051	791,48745
8,16861	300,56314	27,50965	-0,02885	0,39204	108,44764	464,69949	128,00015	326,76990	236,40776	791,42980

Vedlegg C – Norcem Anlegg FA

PRODUKTDATABLAD

ANLEGGSEMENT FA

CEM II/A-V

SIST REVIDERT JUNI 2015

Sementen tilfredsstiller kravene i NS-EN 197-1:2011 til Portland-flygeaskesement CEM II/A-V 42,5 N.

Egenskap		Deklarerte data	Krav ifølge NS-EN 197-1:2011
Finhet (Blaine m ² /kg)		390	
Spesifikk vekt (kg/dm ³)		3,02	
Volumbestandighet (mm)		1	≤ 10
Begynnende størkning (min)		165	≥ 60
Trykkfasthet (MPa)	1 døgn	15	
	2 døgn	24	≥ 10
	7 døgn	37	
	28 døgn	55	≥ 42,5 ≤ 62,5
Sulfat (% SO ₃)		≤ 3,5	≤ 3,5
Klorid (% Cl ⁻)		≤ 0,085	≤ 0,10
Vannløselig krom (ppm Cr ⁶⁺)		≤ 2	≤ 2 ¹
Alkalier (% Na ₂ O _{ekv}) ²		0,6	
Klinker (%)		83	80-94
Sekundære bestanddeler (%)		17	6-20

1. I henhold til EU forordning REACH Vedlegg XVII punkt 47 krom VI forbindelser.
2. Beregnet ut fra klinkerdelen.

NORCEM
HEIDELBERGCEMENT Group

Norcem AS, Postboks 142, Lilleaker, 0216 Oslo
Tlf. 22 87 84 00 firmapost@norcem.no www.norcem.no



Dynamon SX-N

12.11

Superplastiserende tilsetningsstoff

PRODUKTBSKRIVELSE

Dynamon SX-N er et svært effektivt superplastiserende tilsetningsstoff basert på modifiserte akrylpolymerer.

Produktet tilhører Dynamonsystemet basert på den Mapelutviklede DPP-teknologien (DPP = Designed Performance Polymers) der tilsetningsstoffenes egenskaper skreddersys til ulike betongformål.

Dynamonsystemet er utviklet på basis av Mapels egen sammenstilling og produksjon av monomerer.

BRUKSOMRÅDE

Dynamon SX-N er et tilnærmet allround-produkt som er anvendelig i all betong for å øke støpeligheten og/eller redusere tilsatt vannmengde.

Noen spesielle bruksområder er:

- Vannrett betong med krav til høy eller svært høy fasthet og med strenge krav til bestandighet i aggressive miljøer.
- Betong med særlige krav til høy støpelighet; i konsistensklasser S4 og S5 etter NS-EN 206-1.
- Selvkomprimerende betong med ønske om lengre åpenid. Om nødvendig kan SKB stabiliseres med en viskositetsaker - **Viscofluid** eller **Viscostar**.
- Til produksjon av frostbestandig betong – da i kombinasjon med luftinnførende tilsetningsstoffer - **Mapeair**. Valg av type luftinnførende stoff gjøres ut fra egenskapene til de andre delmaterialer som er tilgjengelige.
- Til golvstøp for å oppnå en smidig betong med bedret støpelighet. Store doseringer og lave temperaturer kan retardere betongen noe.

Produsent:
Mapei AS
Vallsetvegen 6, 2120 Sagstua, Norway
Tlf: +47 62 97 20 00 Fax: +47 62 97 20 99
post@mapei.no
www.mapei.com

EGENSKAPER

Dynamon SX-N er en vannløsning av aktive akrylpolymerer som effektivt dispergerer (løser opp) sementklaser.

Denne effekten kan prinsipielt utnyttes på tre måter:

1. For å redusere mengden tilsatt vann, men samtidig beholde betongens støpelighet. Lavere w/c-forhold gir høyere fasthet, tetthet og bestandighet i betongen.
2. For å forbedre støpeligheten sammenlignet med betonger med samme w/c-forhold. Fastheten forblir dermed den samme, men muliggjør forenklet utstøping.

3. For å redusere både vann og sementmengde uten å forandre betongens mekaniske styrke. Gjennom denne metoden kan en blant annet redusere kostnadene (mindre sement), redusere betongens svinnpotensial (mindre vann) og redusere faren for temperaturgradienter på grunn av lavere hydrasjonsvarme. Spesielt er denne siste effekten viktig ved betonger med større sementmengder.

VÆR OPPMERKSOM PÅ

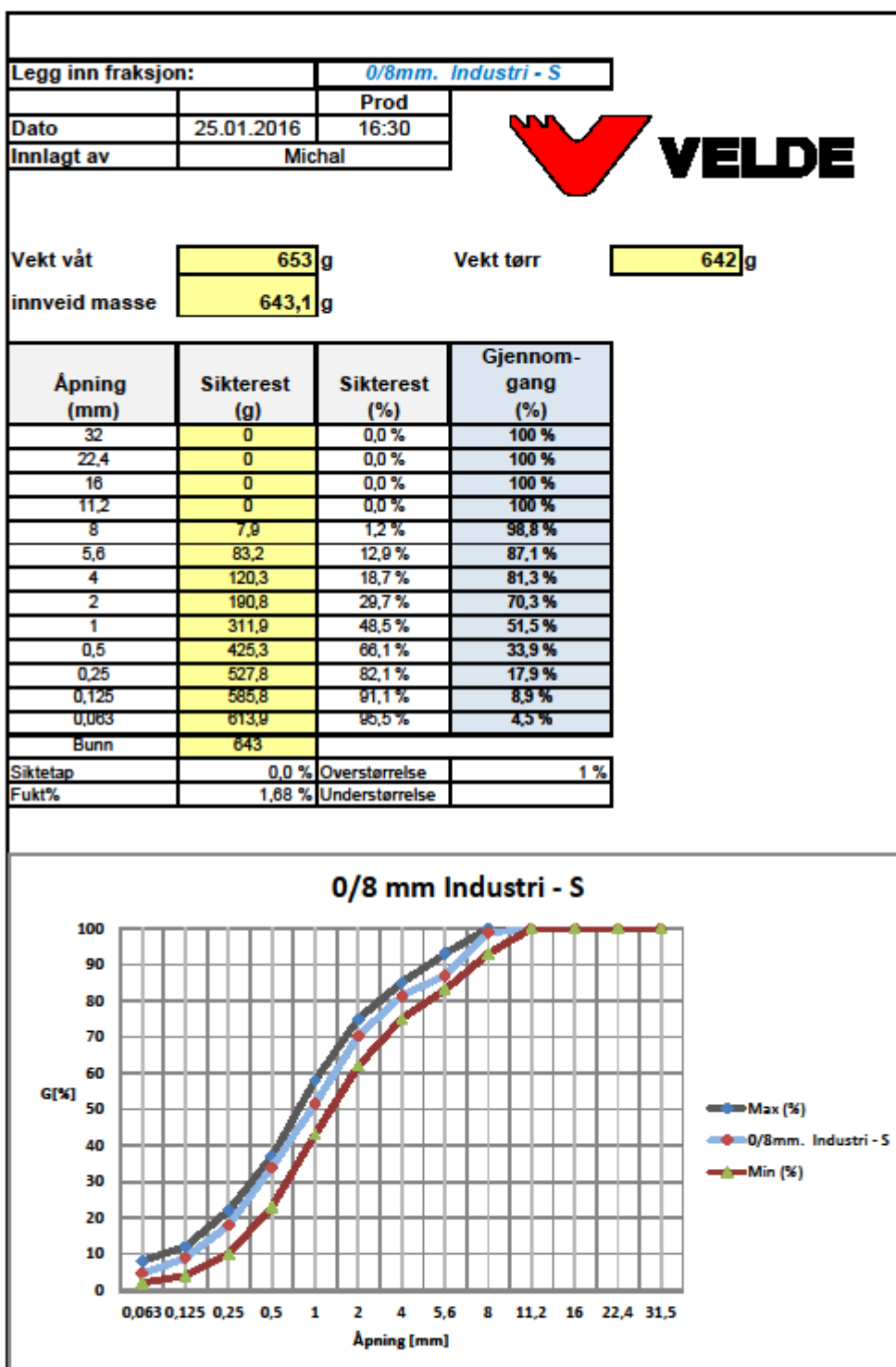
Dynamon SX-N lar seg kombinere med andre Mapei tilsetningsstoffer, som f.eks styrkingsakselererende stoffer som **Mapequick** og styrkingsretard-erende stoffer som **Mapetard**. Produktet lar seg også kombinere med luftinnførende tilsetningsstoffer, **Mapeair**, for produksjon av frostbestandig betong.



CE
1274
03
1274 - CPD - 702
EN-934-2:
T 3.1/3.2



Vedlegg E – Velde 0/8



Vedlegg F – Velde 8/16

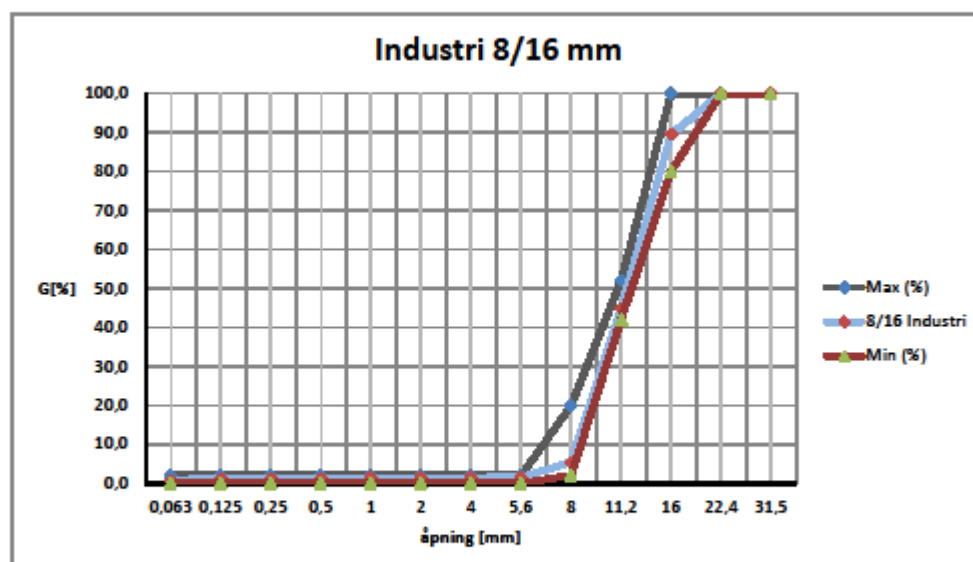
Legg inn fraksjon: **8/16 Industri**

Dato: 19.01.2016
Innlagt av: Kamil



Vekt våt: 2490,7 g Vekt tørr: 2475,8 g
innveid masse: 2475,8 g

Åpning (mm)	Sikterest (g)	Sikterest (%)	Gjennomgang (%)
32	0	0,0 %	100,0 %
22,4	0	0,0 %	100,0 %
16	260,2	10,5 %	89,5 %
11,2	1362,5	55,0 %	45,0 %
8	2341,8	94,6 %	5,4 %
5,6	2439	98,5 %	1,5 %
4	2440,9	98,6 %	1,4 %
2	2441,1	98,6 %	1,4 %
1	2441,6	98,6 %	1,4 %
0,5	2442,2	98,6 %	1,4 %
0,25	2444,4	98,7 %	1,3 %
0,125	2448,6	98,9 %	1,1 %
0,063	2455,3	99,2 %	0,8 %
Bunn	2476		
Siktetap	0,0 %	Overstørrelse	11 %
Fukthalt	0,60 %	Understørrelse	5 %



P8AP

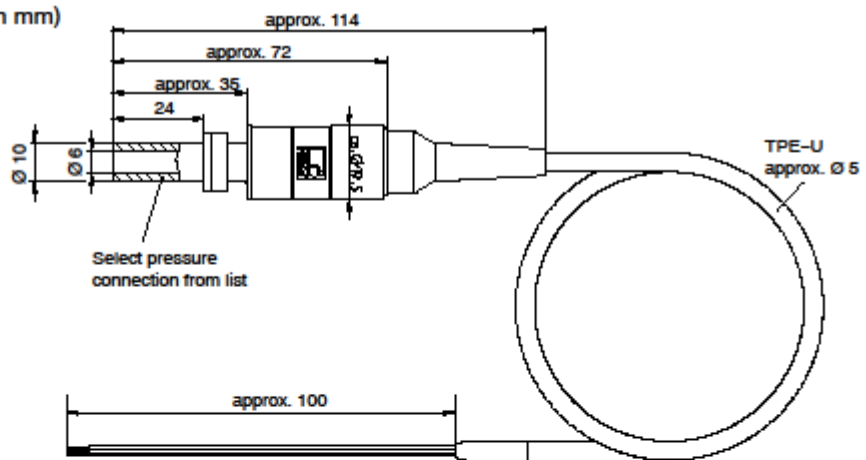
Absolute pressure transducer



Special features

- 2 mV/V strain gage sensor
- No sealing between pressure connection and strain gage sensor; no liquid filler
- Fast and economical installation
- Diverse pressure connection options
- Corrosion-resistant
- Mounting position as desired
- For static and dynamic pressures

Dimensions (in mm)



Pin assignment:					
Excitation voltage (+)	blue	Output voltage (-)	red		
Excitation voltage (-)	black	Sense lead (+)	green		
Output voltage (+)	white	Sense lead (-)	gray		
		Cable shield	blank		