



Statisk elektrisitet i produksjonslinje for plastprodukter

Kent-André Skinstad
Kay Erik Henriksen

Bachelor i elektronikk

Innlevert:

Veileder ved Hexagon Ragasco:

Veileder ved NTNU:

Mai 2018

Ronny Skjølås

Arild Moldsvor

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for elektroniske systemer

Oppgavens tittel:	Dato:	16. mai 2018		
Statisk elektrisitet i produksjonslinje for plastprodukter	Antall sider:	111		
	Antall vedlegg:	17		
	Masteroppgave		Bacheloroppgave	X
Navn:				
Kent-André Skinstad, Kay Erik Henriksen				
Veileder:				
Arild Moldsvor				
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere:				
Ronny Skjølås, Svein Erik Nordal				

Sammendrag:

Formålet med oppgaven har vært å utvikle målemetodikk og kartlegge oppbyggingen av statisk elektrisitet i produksjon av plastprodukter og på grunnlag av dette anbefale tiltak. Dette gjorde at det var mulig å undersøke påvirkningen som produksjonslinjen og andre ytre faktorer hadde for den elektrostatiske ladningen i et industrielt tilvirket plastprodukt.

Det har blitt gjennomført målinger på plastgranulat, delprodukt i produksjonslinjen og ferdige produkter på pall. Målingene på plastgranulat er gjort med en egenutviklet prototype for måling i rørsystemer. Alle målinger var utført på en slik måte at de kunne sammenliknes. Før gjennomføringen var det ingen gitte referanseverdier eller krav for målingene, slik at målemetoden derfor var vanskelig å verifisere.

Resultatene av målingene viser en sammenheng mellom friksjon under transport og elektrostatisk ladning, men samtidig at plastgranulat og delprodukt ikke direkte kan sammenliknes. Tester viser at ionisering reduserer ladningen på ferdigpakket pall og bør derfor implementeres i pakkeprosessen. Tilsvarende kan det tenkes at ionisering også kan benyttes i rørsystemet som transporterer granulat. Utjevningjording på innsiden av rørsystemet som transporterer plastgranulat kan implementeres for å redusere den statiske ladningen.

Det er påvist at plastproduktene i produksjonslinjen er elektrostatisk oppladet og at den elektrostatiske ladningen påvirkes gjennom hele produksjonsprosessen. Samtidig konkluderes det med at det er gjort for få målinger til at kartleggingen er fullstendig, og at det burde installeres en logge-enhet for kontinuerlig måling over en lengre periode.

Stikkord:

Statisk elektrisitet
Plast
Industri
Elektrisk felt


 Kent-André
 Skinstad


 Kay Erik
 Henriksen

Title of thesis:	Date:	May 16th 2018	
Static electricity in production line for plastic products	Number of pages:	111	
	Number of appendices:	17	
	Masterthesis		Bachelorthesis X
Names: Kent-André Skinstad, Kay Erik Henriksen			
Supervisor: Arild Moldsvor			
External contacts/ supervisors: Ronny Skjølås, Svein Erik Nordal			

Summary:

The purpose of this project has been to develop methods of measurement and map the buildup of static electricity in the production of plastic products and by this recommend measures. This made it possible to investigate the influence that the production line and other external factors have on the electrostatic charge of an industrially manufactured plastic product.

Measurements have been made on plastic granules, subassemblies in the production line and the finished products on pallets. The measurements on plastic granules are made with a prototype designed by the participants for measurements in piping systems for transport. All measurements were performed in a way that allowed them to be compared. Prior to implementation, there were no given values for reference or requirements for the measurements, so the methods of measurement were therefore difficult to verify.

The results of the measurements show a connection between friction during transport and electrostatic charge, but the plastic granules and subassemblies can therefore not be directly compared. Tests show that electrostatic charge are reduced by ionizing pre-packed pallet and should therefore be implemented in the packing process. Ionization may also be used in the piping system for plastic granules, and in addition, potential equalization by adequate grounding inside the piping system can be implemented to reduce electrostatic charge.

It has been shown that the plastic products in the production line are electrostatically charged and that the static charge is affected throughout the manufacturing process. At the same time, it is concluded that too few measurements have been made for the mapping to be complete and that a logging device should be installed for continuous measurements over a longer period of time.

Keywords:

Static electricity
Plastic
Industry
Electrical field


Kent-André
Skinstad


Kay Erik
Henriksen

Forord

”Statisk elektrisitet i produksjonslinje for plastprodukter” har blitt utført av to tredjeårs ingeniørstudenter ved studiet Elektronikingeniør på NTNU i Gjøvik. Oppgaven er etter ønske fra oss i samråd med Hexagon Ragasco, siden vi syntes en fersk oppgave som omhandlet reelle utfordringer i lokal industri virket interessant. Statisk elektrisitet er en stor utfordring i mange ulike sammenhenger, og det er derfor viktig å både ha kunnskap om dette og kunne se på ulike utfordringer og innvirkninger dette har i industri. Oppgaven ga oss i tillegg verdifull erfaring med tverrfaglige prosjekter i et industriselskap, statistisk analyse av måledata og generelt dokumentering i et prosjekt. Prosjektet ga oss til slutt mye kunnskap om statisk elektrisitet vi forhåpentligvis også kan få bruk for i fremtidig arbeid.

Vi ønsker å takke Frode Nilsen v/ Elcare ESD, Even Karstein Myhre v/ TOPRO Elektronikk AS, Vibeke Narmo v/ Krepro AS, Robin Langøen v/ EM Agenturer AS og John Bagby v/ Fraser Anti-Static Techniques for utveksling av erfaringer og informasjon som har hjulpet oss mye gjennom prosjektet.

En stor takk rettes også til vår oppdragsgiver Hexagon Ragasco for god oppgave og veiledning av Ronny Skjølås og Svein Erik Nordal, og veileder Arild Moldsvor v/ NTNU i Gjøvik for all hjelp. Begge parter har vært en god støtte og motivasjon til å fortsette arbeidet, og har kommet med gode forslag til videre arbeid underveis.

Til slutt rettes en generell takk alle operatører, mekanikere og andre hos Hexagon Ragasco som har vært positivt innstilt til å hjelpe oss gjennom oppgaven.

Gjøvik, 16. mai 2018


Kent-André
Skinstad


Kay Erik
Henriksen

Innhold

Figurer	XIII
Tabeller	XIX
Ordliste	XXI
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	3
1.2 Problemstilling	3
1.3 Avgrensning	4
1.4 Rapportens oppbygning	4
2 Teori	7
2.1 Hexagon Ragasco	9
2.2 Plast	9
2.2.1 Teori	9
2.2.2 Industriell produksjon av plastprodukter	10
2.3 Statisk elektrisitet	11
2.3.1 Generelt	11
2.3.2 Elektrisk felt	11
2.3.3 Ledningsevne	12
2.3.4 Triboelektrisk effekt	12
2.3.5 Elektrostatisk induksjon	14
2.3.6 Andre årsaker	14
2.3.7 Utfordringer	15
2.4 Måleinstrumenter	16
2.4.1 Elektrostatiske måleinstrumenter	16
2.4.2 Wolfgang Warmbier EFM51	16
2.4.3 Logger	17
2.4.4 Fluke 971 Temperature Humidity Meter	18
2.4.5 IRT 260 IR-Termometer	18
2.5 Tiltak for å redusere statisk elektrisitet	18
2.5.1 ESD Protected Area	18
2.5.2 Ionisering	19
2.5.3 Jording	20
2.5.4 Luftfuktighet	20

2.6	Standarder	21
3	Metode	23
3.1	Statistikk	25
3.2	Anvendt utstyr og programvare	27
3.3	Innsamling av informasjon	28
4	Granulat	29
4.1	Teori	31
4.2	Masterbatch	31
4.2.1	Metode	31
4.2.2	Resultater og diskusjon	33
4.3	Materialmiks	34
4.3.1	Metode	34
4.3.2	Resultater og diskusjon	38
5	Topphatt	47
5.1	Teori	49
5.2	Utladning	50
5.2.1	Metode	51
5.2.2	Resultater og diskusjon	52
5.3	Ladningsfordeling	55
5.3.1	Metode	56
5.3.2	Resultater og diskusjon	58
5.4	Etter presse	60
5.4.1	Metode	60
5.4.2	Resultater og diskusjon	63
5.5	Før snapcelle	74
5.5.1	Metode	74
5.5.2	Resultater og diskusjon	75
6	Pakking	83
6.1	Teori	85
6.2	Metode	86
6.3	Resultater og diskusjon	86

7	Diskusjon	91
7.1	Erfaringer	93
7.2	Granulat	95
7.3	Topphatt	97
7.4	Ionisering	99
7.5	Etikk	99
7.6	Generelt	100
7.7	Forslag til videre arbeid	101
8	Konklusjon	103
	Referanseliste	107
	Vedlegg	112
A	Liste over bedrifter som er kontaktet	113
B	Dokumenter Elcare ESD	114
B.1	Elcare ESD: Feltmålere	114
B.2	Elcare ESD: Jording	119
B.3	Elcare ESD: Ionisering	122
C	Masterbatch: Figurer	126
D	Probetest: Testresultater	129
E	Materialmiks: Detaljerte måleresultater	130
F	Materialmiks: Måleresultater	140
G	Materialmiks: Figurer	142
H	Materialmiks: Etter transport	150
I	Utladning: Figurer	153
J	Ladningsfordeling: Figurer	156
K	Etter presse: Figurer	157
L	Før snapcelle: Figurer	169

M Pakking: Måleresultater	175
N Pakking: Figurer	176
O Datablad: Elektrostatisk feltmeter EFM51	178

Figurer

2.1	Elektrisk felt i platekondensator	12
2.2	Målinger av elektrostatisk felt er gjort med feltmeteret EFM51.	17
3.1	Forklaring på hvordan prosesskapabilitetsdiagrammer er satt opp	26
4.1	Masterbatch oppbevares på to forskjellige måter basert på hvor mye som blir brukt i produksjonen.	32
4.2	Måleoppsett for målinger på materialmiks som passerer gjennom måleprobe som er montert på rørsystem fra mikser til presse.	35
4.3	Detaljerte måleresultater av målinger på materialmiks og måleprober er gjort med video-opptak og videoanalyse.	36
4.4	Målinger på jording av måleprobe montert til høyre på bildet nærmest mikser.	37
4.5	Bilde av måleprobene 1 og 2.	38
4.6	Bilde av måleprobene 3 og 4.	39
4.7	Bilde av Måleprobene 5 og 6.	40
4.8	Bilde og skisse av Måleprobene 7 og 8.	40
4.9	Måleprobe 9 hadde to kryss bestående av aluminiumsbolter på 10mm med en avstand på ca. 10 cm mellom.	41
4.10	Skisser av Måleprobe 10 og 11	42
4.11	Detaljerte måleresultater for måleprobe 9, grå linje, og måleprobe 11, i gult, under test av måleprober (hentet fra vedlegg G, figur G.6).	43
4.12	Sammenlikning av den statiske ladningen i materialmiksen før (ved mikser) og etter transport (før presse/doserer), (hentet fra vedlegg H, figur H.6).	45
4.13	En skisse av ladningen i rørsystem etter transport gjennom rørsystem hvor det mest sannsynlig dannes en seksjon med negativt ladet luft i forkant av materialmiksen.	46
5.1	Presse 1 ved normal drift	49
5.2	Toppmatter transporteres på bufferbaner fra presse til snapcelle i prosessen IMP	50
5.3	Oppsett ved måling av utladning på topphatt	51
5.4	Alle måleresultater (nivå) ved måling av utladning på topphatt (hentet fra vedlegg I, figur I.1)	52
5.5	Alle måleresultater (temp) ved måling av utladning på topphatt (hentet fra vedlegg I, figur I.2)	53
5.6	Gjennomsnitt av alle måleresultater (nivå) ved måling av utladning på topp- hatt (hentet fra vedlegg I, figur I.3)	54

5.7	Matematisk fremstilling av elektrostatisk utladning til topphatt i fem timer (hentet fra vedlegg I, figur I.5)	54
5.8	Oppsett ved måling av ladningsfordeling på topphatt	56
5.9	Målepunkter ved måling av ladningsfordeling på topphatt	57
5.10	Målepunkter ved måling av ladningsfordeling på topphatt	57
5.11	Alle måleresultater ved måling av ladningsfordeling på topphatt (hentet fra vedlegg J, figur J.1)	58
5.12	Gjennomsnitt av måleresultater ved måling av ladningsfordeling på topphatt (hentet fra vedlegg J, figur J.2)	59
5.13	Oppsett ved målinger på topphatt direkte etter produksjon	61
5.14	Måleområder etter presse	62
5.15	Alle måleresultater på topphatt etter støping ved presse 1 (hentet fra vedlegg K, figur K.3)	63
5.16	Alle måleresultater på topphatt etter støping ved presse 2 (hentet fra vedlegg K, figur K.4)	64
5.17	Alle måleresultater på topphatt etter støping ved presse 3 (hentet fra vedlegg K, figur K.5)	64
5.18	Blå - Gjennomsnittlig nivå i forhold til presse på topphatt etter støping (hen- tet fra vedlegg K, figur K.10)	66
5.19	Grå - Gjennomsnittlig nivå i forhold til presse på topphatt etter støping (hentet fra vedlegg K, figur K.11)	66
5.20	Rød - Gjennomsnittlig nivå i forhold til presse på topphatt etter støping (hentet fra vedlegg K, figur K.12)	67
5.21	Gul - Gjennomsnittlig nivå i forhold til presse på topphatt etter støping (hentet fra vedlegg K, figur K.13)	67
5.22	Grønn - Gjennomsnittlig nivå i forhold til presse på topphatt etter støping (hentet fra vedlegg K, figur K.14)	68
5.23	Prosesskapabilitet for presse 1	69
5.24	Prosesskapabilitet for presse 2	70
5.25	Prosesskapabilitet for presse 3	70
5.26	Prosesskapabilitet for alle presser	70
5.27	Prosesskapabilitet for farge Blå	71
5.28	Prosesskapabilitet for farge Grå	72
5.29	Prosesskapabilitet for farge Rød	72
5.30	Prosesskapabilitet for farge Gul	72
5.31	Prosesskapabilitet for farge Grønn	73

5.32 "Før snap", målepunkt før topphatt monteres på produkt	75
5.33 Alle måleresultater (nivå) ved måling på topphatt før snapcelle (hentet fra vedlegg L, figur L.1)	76
5.34 Blå - Nivå på topphatt før snapcelle (hentet fra vedlegg L, figur L.5)	77
5.35 Grå - Nivå på topphatt før snapcelle (hentet fra vedlegg L, figur L.6	78
5.36 Rød - Nivå på topphatt før snapcelle (hentet fra vedlegg L, figur L.7)	78
5.37 Prosesskapabilitet alle målinger på delprodukt før snapcelle	80
5.38 Prosesskapabilitet for farge Blå	80
5.39 Prosesskapabilitet for farge Grå	80
5.40 Prosesskapabilitet for farge Rød	81
6.1 Bilder av den automatiserte pakkeprosessen for pakking av gassbeholdere på pall.	85
6.2 Bilde og skisse av målepunktene til ferdigpakket pall.	87
6.3 Ferdigpakkede paller med gassbeholdere beveger seg nedover et rullebånd fra pakkemaskin til et endepunkt hvor de hentes med truck og plasseres på transportmiddel eller på lager.	89
C.1 Måleresultater for ladningsnivået i masterbatch for forskjellige farger og forskjellige nivåer	126
C.2 Måleresultater for ladningsnivået i masterbatch med $\frac{1}{3}$ nivå med granulat. Masterbatch'er med mer enn $\frac{1}{3}$ nivå med granulat er utelatt fra grafen.	126
C.3 Måleresultater for ladningsnivået i masterbatch med $\frac{2}{3}$ nivå med granulat. Masterbatch'er med mindre enn $\frac{1}{3}$ eller mer enn $\frac{2}{3}$ nivå med granulat er utelatt fra grafen.	127
C.4 Måleresultater for ladningsnivået i masterbatch med $\frac{3}{3}$ nivå med granulat. Masterbatch'er med mindre enn $\frac{3}{3}$ nivå med granulat er utelatt fra grafen.	127
C.5 Måleresultater for ladningsnivået i masterbatch for forskjellige farger og forskjellige nivåer relatert til luftfuktigheten ved måling.	128
G.1 Detaljerte måleresultater for test av måleprobe 9 for fem måleserier etter hverandre i tid.	142
G.2 Utdrag av detaljerte måleresultater for test av måleprobe 9 hvor man kan se oppbygningsnivået før materialmiksen suges gjennom måleproben.	142
G.3 Utdrag av detaljerte måleresultater for test av måleprobe 9 hvor man kan se toppnivået (> 60% av toppverdien) når materialmiksen er i kontakt med måleproben.	143

G.4	Utdrag av detaljerte måleresultater for test av måleprobe 9 hvor man kan se mellomnivået ($60\% \geq x > 10\%$ av toppverdien) til ladningen etter at materialmiksen har passert.	143
G.5	Utdrag av detaljerte måleresultater for test av måleprobe 9 hvor man kan se bunn-nivået til ladningen ($\leq 10\%$ av toppverdien) til måleproben.	144
G.6	Sammenlikning av probetester for måleprobe 9 og 11 hvor hvert punkt i måleseriene til hver probe er gjennomsnittet av samme punktet i alle måleseriene. 144	
G.7	Sammenlikning av probetester for måleprobe 9 og 11 for oppbygningsnivået hvor hvert punkt i måleseriene til hver probe er gjennomsnittet av samme punktet i alle måleseriene.	145
G.8	Sammenlikning av probetester for måleprobe 9 og 11 for toppnivået ($> 60\%$ av gjennomsnittlig toppverdi) hvor hvert punkt i måleseriene til hver probe er gjennomsnittet av samme punktet i alle måleseriene.	145
G.9	Sammenlikning av probetester for måleprobe 9 og 11 for mellomnivået ($60\% \geq x > 10\%$ av gjennomsnittlig toppverdi) hvor hvert punkt i måleseriene til hver probe er gjennomsnittet av samme punktet i alle måleseriene.	146
G.10	Sammenlikning av probetester for måleprobe 9 og 11 for bunn-nivået ($\leq 10\%$ av gjennomsnittlig toppverdi) hvor hvert punkt i måleseriene til hver probe er gjennomsnittet av samme punktet i alle måleseriene.	146
G.11	Detaljert sammenlikning av gjennomsnittet til hele måleserien av to like måleprober (9) i serie med og uten jording.	147
G.12	Detaljert sammenlikning av gjennomsnittet til oppbyggingsnivået til måleserien av to like måleprober (9) i serie med og uten jording.	147
G.13	Detaljert sammenlikning av gjennomsnittet til toppnivået ($> 60\%$ av toppverdien) til måleserien av to like måleprober (9) i serie med og uten jording. 148	
G.14	Detaljert sammenlikning av gjennomsnittet til mellomnivået ($60\% \geq x > 10\%$ av toppverdien) til måleserien av to like måleprober (9) i serie med og uten jording.	148
G.15	Detaljert sammenlikning av gjennomsnittet til bunn-nivået ($< 10\%$ av toppverdien) til måleserien av to like måleprober (9) i serie med og uten jording. 149	
H.1	Detaljert sammenlikning av gjennomsnittet til to målinger på materialmiksfør presse.	150
H.2	Detaljert sammenlikning av gjennomsnittet til oppbyggingsnivået til to målinger på materialmiksfør presse.	150
H.3	Detaljert sammenlikning av gjennomsnittet til toppnivået til to målinger på materialmiksfør presse.	151

H.4	Detaljert sammenlikning av gjennomsnittet til mellomnivået til to målinger på materialmiks før presse.	151
H.5	Detaljert sammenlikning av gjennomsnittet til bunn-nivået til to målinger på materialmiks før presse.	152
H.6	Sammenlikning av den målinger på materialmiksen før (ved mikser) og etter transport (før presse/doserer.	152
I.1	Alle måleresultater (nivå) ved måling av utladning på topphatt	153
I.2	Alle måleresultater (temp) ved måling av utladning på topphatt	153
I.3	Gjennomsnitt av alle måleresultater (nivå) ved måling av utladning på topphatt	154
I.4	Gjennomsnitt av alle måleresultater (temp) ved måling av utladning på topphatt	154
I.5	Matematisk fremstilling av elektrostatisk utladning til topphatt i fem timer .	155
I.6	Matematisk fremstilling av temperaturreduksjon til topphatt i fem timer . .	155
J.1	Alle måleresultater ved måling av ladningsfordeling på topphatt	156
J.2	Gjennomsnitt av måleresultater ved måling av ladningsfordeling på topphatt	156
K.1	Alle måleresultater (nivå) på topphatt etter støping	157
K.2	Alle måleresultater (temp) på topphatt etter støping	157
K.3	Alle måleresultater på topphatt etter støping ved presse 1	158
K.4	Alle måleresultater på topphatt etter støping ved presse 2	158
K.5	Alle måleresultater på topphatt etter støping ved presse 3	159
K.6	Nivå i forhold til temperatur på topphatt etter støping ved presse 1	159
K.7	Nivå i forhold til temperatur på topphatt etter støping ved presse 2	160
K.8	Nivå i forhold til temperatur på topphatt etter støping ved presse 3	160
K.9	Gjennomsnittlig nivå i forhold til luftfuktighet på topphatt etter støping . .	161
K.10	Blå - Gjennomsnittlig nivå i forhold til presse på topphatt etter støping . . .	161
K.11	Grå - Gjennomsnittlig nivå i forhold til presse på topphatt etter støping . . .	162
K.12	Rød - Gjennomsnittlig nivå i forhold til presse på topphatt etter støping . .	162
K.13	Gul - Gjennomsnittlig nivå i forhold til presse på topphatt etter støping . . .	163
K.14	Grønn - Gjennomsnittlig nivå i forhold til presse på topphatt etter støping .	163
K.15	Gjennomsnittlig nivå i forhold til farge	164
K.16	Gjennomsnittlig nivå i forhold til innetemperatur sortert etter farge	164
K.17	Gjennomsnittlig nivå i forhold til utetemperatur sortert etter farge	165
K.18	Prosesskapabilitet for presse 1	165
K.19	Prosesskapabilitet for presse 2	166
K.20	Prosesskapabilitet for presse 3	166
K.21	Prosesskapabilitet for alle presser	166

K.22	Prosesskapabilitet for farge Blå	167
K.23	Prosesskapabilitet for farge Grå	167
K.24	Prosesskapabilitet for farge Rød	167
K.25	Prosesskapabilitet for farge Gul	168
K.26	Prosesskapabilitet for farge Grønn	168
L.1	Alle måleresultater (nivå) ved måling på topphatt før snapcelle	169
L.2	Alle måleresultater (temp) ved måling på topphatt før snapcelle	169
L.3	Nivå i forhold til temperatur på topphatt før snapcelle	170
L.4	Gjennomsnittlig nivå i forhold til luftfuktighet på delprodukt før snapcelle .	170
L.5	Blå - Nivå på topphatt før snapcelle	171
L.6	Grå - Nivå på topphatt før snapcelle	171
L.7	Rød - Nivå på topphatt før snapcelle	172
L.8	Gjennomsnittlig nivå i forhold til innetemperatur på topphatt før snapcelle .	172
L.9	Gjennomsnittlig nivå i forhold til utetemperatur på topphatt før snapcelle .	173
L.10	Prosesskapabilitet alle målinger på delprodukt før montasje	173
L.11	Prosesskapabilitet for farge Blå	174
L.12	Prosesskapabilitet for farge Grå	174
L.13	Prosesskapabilitet for farge Rød	174
N.1	Måleresultater for ferdigpakket pall før og etter ionisering med en avstand på 1,0m	176
N.2	Måleresultater for ferdigpakket pall før og etter ionisering med en avstand på 0,5m	176
N.3	Måleresultater for ferdigpakket pall før og etter ionisering med en avstand på 0,25m	177

Tabeller

2.1	Utdrag av den triboelektriske rekken[14]	13
2.2	Liste over IEC-standarder for statisk elektrisitet	21
3.1	Liste over anvendt utstyr og programvare	27
4.1	Testresultater for måleprobe	42

Ordliste

- Buffer** Et område i en produksjonsprosess der delprodukter mellomlagres.
- Bufferbane** Transportbånd i buffersystem laget av POM (acetalplast).
- Buffertralle** Ei tralle med tre etasjer, der hensikten er å mellomlagre delprodukter.
- Doserer** En enhet på presse som tilfører materialmiks til presse.
- EPA** ESD Protected Area, et definert område hvor alle overflater, objekter og mennesker har samme elektriske potentiale.
- ESD** Electrostatic Discharge, momentan utladning av statisk elektrisitet.
- ESDs** ESD Sensitive komponenter/utstyr (ESD Sensitive Devices).
- Flytfront** Punktene i verktøyet der den innsprøytete plasten møtes.
- HDPE** High Density Polyethylene
- Hotstamp** En prosess hvor plastfolie med logo eller kjennemerke smeltes inn i topphatt.
- IMP** Injection Moulding Process, prosess der tredelers ytre casing sprøyttestøpes og monteres.
- Innløp** Punktene i verktøyet der plasten sprøytes inn.
- Kappe** 1/3 av ytre casing, den største delen som selve beholderen/sylinderen av plast settes ned i.
- Lagringstank** En mindre tank for mellomlagring av råmateriale fra silo i produksjonslokalet.
- LCL** Lower Control Limit
- LDPE** Low Density Polyethylene
- LPG** Liquefied Petroleum Gas
- LSL** Lower Specification Limit
- Masterbatch** Plastgranulat av polyetylen med farge, ulike komponenter er tilsatt for å oppnå ulike egenskaper.

Materialmiks	Blanding av masterbatch og råmateriale.
NTNU	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Plastgranulat	Plast formet som små kuler eller sylinderformede gjenstander.
Plastrør	I sammenheng med granulat: Rør laget av PVC
PLP	Packing Line Process, prosess der produkter stables/pakkes på pall og kjøres ut.
Presse	Industriell maskin som sprøyttestøper topphatter bestående av materialmiks.
Rejectbånd	Et samleband produkter plasseres på ved feil/overproduksjon.
Råmateriale	Pellets av polyetylen uten farge.
Skjørtekant	Nedre del av topphatt med hull til snap og tekniske merkinger
Snap	Substantiv: Der toppring er festet på toppdel Verb: Montere (se <i>snapcelle</i>)
Snapcelle	Delprosess der toppdel snappes på kappe. Siste prosess før palletering.
Tophatt	Samlebetegnelse for toppdel med toppring.
Toppdel	1/3 av ytre casing, den nest største delen som monteres på kappe.
Toppriing	1/3 av ytre casing, den minste delen som monteres på topphatt.
UCL	Upper Control Limit
USL	Upper Specification Limit
Verktøy	I sammenheng med sprøyttestøping: Formen av metall produktet former seg etter.

Kapittel 1

Innledning

Dette kapitlet omhandler bakgrunn for oppgaven, problemstilling, avgrensninger som er gjort og hvordan rapporten er strukturert.

1.1 Bakgrunn

Statisk elektrisitet er et fenomen som har vært kjent i flere århundrer, og er en kjent utfordring i dagens industri. Dagens utfordringer er særlig knyttet opp mot produksjon og håndtering av sensitiv elektronikk, men også mot sykehus og andre industrier generelt. Selv om utfordringen med statisk elektrisitet er godt kjent innenfor industrien så er det gjort lite forskning på området i industri som ikke produserer elektronikk, og det finnes lite informasjon om målemetoder, effektivitet til tiltak, og få forskrifter eller standarder. Statisk elektrisitet er ofte omtalt som en "usynlig fiende" som er vanskelig å konkretisere og som kan være vanskelig å relatere til utfordringer i produksjon av plastprodukter.

Hexagon Ragasco er en vareproduserende bedrift med en helautomatisert produksjon som prosesserer råvarer som HDPE og glassfiber i flere prosesstrinn, der resulterende delprodukter settes sammen til et komplett produkt. Plast fra utvendige siloer transporteres i rør inn til produksjon, tilsettes farge og transporteres videre til produksjonen. Dette kan medføre oppbygging av statisk elektrisitet som skaper utfordringer både ved produksjon og ved ferdig produkt: Under normal produksjon kan materiale klumpe seg i doseringsenheter og rørsystem slik at gammel farge kan bli liggende igjen ved fargebytte, og ved lagring av ferdige produkter trekker produktene til seg forurensning og støv fra lokalet.

1.2 Problemstilling

Det har tidligere blitt gjort enkle tester på ionisering av delprodukter og montert utjevning-jording på alle rørsystemer i deres produksjon, men det er et ønske om å ha mer kunnskap og informasjon om oppbygging av statisk elektrisitet i deres plastprodukter. Dette innebærer at man ønsker å utføre målinger på ulike punkter, og at man dermed må ha kunnskap om ulike måleinstrumenter, måleteknikker, statisk elektrisitet generelt, og spesielt, i plast.

Denne oppgaven har derfor som mål å utvikle målemetodikk for måling av statisk elektrisitet på plastproduktene, kartlegge oppbyggingen av statisk elektrisitet i produksjonslinjen og på grunnlag av dette foreslå tiltak for å redusere statisk elektrisitet i de ulike delprosessene som inngår i produksjonen til Hexagon Ragasco.

1.3 Avgrensning

Oppgaven begrenses til å omfatte nødvendig teori, manuelle målinger med elektrostatiske feltmeter i prosessene IMP og PLP, analyse av måling og testing eller anbefaling av tiltak. Dette vil si at oppgaven benytter instrumenter og utstyr som allerede eksisterer, men at det er mulig oppgaven krever nytenkning i forhold målemetoder eller måter å redusere statisk elektrisitet på. Alle målinger og tiltak skal utføres på en slik måte at effektiviteten i produksjonslinjen ikke påvirkes i stor grad. Grundig analyse av komponenter i masterbatch og råmateriale utelates. Det er i forbindelse med nevnte punkter noen ytterligere begrensninger som skal tilfredstilles:

- Oppgaven skal omfatte målemetodikk for granulater, topphatter og ferdigpakket pall
- Oppgaven avgrenses til målinger på masterbatch i containere og materialmiks i rørsystemer
- Oppgaven avgrenses til målinger på topphatter etter produksjon i presser og før montering i snapcelle, hvor buffersystemet i mellom og videre transport utelates fra målinger
- Oppgaven avgrenses til målinger på ferdigpakket pall med produkter
- Oppgaven skal omfatte anbefalinger til enkle tiltak som reduserer statisk elektrisitet vha. eksisterende teknologi

Rapportens detaljnivå og teoretiske grunnlag er avgrenset til et nivå som forventes av personer med bakgrunn innenfor ingeniørfag på høyskole- og universitetsnivå.

1.4 Rapportens oppbygning

Denne rapporten tar for seg prosessen som skal til for å kunne måle, kartlegge og redusere statisk elektrisitet i de relevante områdene, diskusjon av resultater/erfaringer og en konklusjon for oppgaven som diskuterer måloppnåelse. Sentrale begreper og forkortelser forklares først for å gi leseren nødvendig kunnskap som trengs for å kunne forstå innholdet. Rapporten deles deretter inn i kapitler som hver tar for seg et hovedelement/måleområde. Alle kapitler har lik oppbygging, og disse merkes med nummer på formen (K), videre merkes nytt delkapittel med nummer på formen (K.DK) og underkapittel på formen (K.DK.UK). Figurer og tabeller nummereres innenfor hovedkapitlene på formen (K.F), der K er kapittel; F er figurnummer. Dersom en figuren er en del av et vedlegg så merkes den på formen (V.F), der V er bokstavnummeret (A-Z) til vedlegget og F er figurnummeret. Dersom en figur hentes fra vedlegg inn i et kapittel refereres det i figurteksten til vedlegget og figurnummeret i vedlegget.

Kapittel 1 omhandler bakgrunn og problemstilling for prosjektet, og gir grunnlaget for arbeidet som er gjort.

Kapittel 2 forklarer teorien bak alle de ulike elementene i oppgaven, og inneholder informasjon man trenger i gjennomføringen.

Kapittel 3 gjør rede for og gir innblikk i de ulike metodene/verktøyene som er tatt i bruk i oppgaven.

Kapittel 4-6 inneholder nødvendig teori, metode/gjennomføring og resultater/diskusjon for hvert av hovedelementene. Her vil ulike valg begrunnes, og resultatene vil kommenteres.

Kapittel 7 samler all diskusjon av resultater, og ser sammenhenger på tvers av kapitler og måleområder.

Kapittel 8 tar for seg konklusjonen, og ser resultatet i sammenheng med problemstillingen. Til slutt er det en liste over referanser som er brukt og vedlegg til oppgaven. Vedleggene inneholder datablad, måleresultater og andre viktige figurer/illustrasjoner.

Alle bilder og alle diagrammer som er relevante for rapporten er tatt eller laget av prosjektdeltakerne med tillatelse fra Hexagon Ragasco, hvor spesielle unntak merkes spesifikt. Logoer og spesielle merkinger er fjernet fra bilder og vedlegg.

Kapittel 2

Teori

Dette kapitlet omhandler teori om statisk elektrisitet, plast, måleinstrumenter og eksisterende tiltak som reduserer statisk elektrisitet. Dette inkluderer også teori om verktøy som er brukt.

2.1 Hexagon Ragasco

Hexagon Ragasco[1][2] er en verdensledende produsent av kompositt LPG beholdere med over 12 millioner produserte produkter i bruk over hele verden. Bedriften har over 100 ansatte og er lokalisert i Raufoss Industripark. Ragasco ble etablert i 1998 og kom på markedet i 2000 med 150 000 produserte produkter første driftsår. Produksjonen er helautomatisert med "state-of-the-art" teknologi, og er under kontinuerlig utvikling for å alltid kunne levere flest mulig produkter med høyest mulig kvalitet for å svare til etterspørsel i markedet. Hele produksjonslinjen overvåkes vha. sensorer og datasystemer som brukes til forbedring og analyse av produksjonen. Designen til beholderne har i stor grad vært uendret fra starten, men kunder de siste årene har kunnet velge mellom forskjellige varianter av ytre casing og merking. Dette har resultert i flere hundretalls mulige produktkonfigurasjoner med valgfri farge, type merking (hotstamp, støpt logo, klistremerker etc.) og form på ytre casing. Produktene, som i sin helhet er laget av polyetylen/kompositt, er både lettere og tryggere enn en tradisjonell stålbeholder. Komposittbeholderne tåler høyere trykk, ruster ikke og eksploderer ikke. Etter produksjon sendes gassbeholderne til en ekstern påfyllingsstasjon for LPG før sluttproduktet blir levert til kunden.

2.2 Plast

2.2.1 Teori

Plast[3] er et kunststoff som lages gjennom polymerisasjon, og det finnes to hovedtyper; termoplast og herdeplast. Termoplast er plast som kan formes på nytt ved oppvarming, mens herdeplasten ikke kan endre form etter herding. Eksempler på termoplast er polyamid (nylon), polyeten/polyetylen og polyvinylklorid (PVC), og eksempler på herdeplast er polyester og gummi. Mange plasttyper er formbare[4] og kan derfor støpes til ulike harde objekter. På grunn av dette, og plastens lave kostnad, har plast tatt over mange bruksområder andre materialer som for eksempel tre, stein, metall og keramikk tradisjonelt har hatt.

Polyetylen/polyeten[5] er framstilt av gassen eten (C_2H_4) og er den plasttypen det fremstilles mest av i verden (rundt 80 millioner tonn pr. år). Polyetylen (PE) er ikke sterkt og hardt, men har høy formbarhet og lav friksjon og er derfor egnet og mye brukt som råmateriale i plaststøping. PE deles vanligvis inn i LDPE (Low Density Polyethylene) og HDPE (High Density Polyethylene), der forskjellen er tettheten til eten-molekylene i plasten. De fleste polyetylenere har god kjemisk resistivitet, noe som betyr at de i stor grad kan motstå sterke

syrer/baser og andre sterke kjemiske sammensetninger. PE absorberer svært lite vann og gass, på grunn av den lave permeabiliteten, mens for eksempel oksygen trenger lett igjennom. PE kan bli sprø og miste sin farge i sola, og plasttypen brenner sakte. En viktig egenskap er at PE er en god elektrisk isolator som enkelt kan bli elektrostatisk oppladet.

Det ferdige produktet av PE får sitt endelige utseende ved å tilsette en viss prosent masterbatch til råmaterialet før den smeltes og formes. Masterbatchene består av utvalgte pigmenter/additiver som smeltes sammen med en base. Hvilke og hvor stor andel pigmenter som tilsettes bestemmer hvilke egenskaper den ferdige blandingen får. Ulike pigmenter gir ulike farger, og det gir masterbatchen svært ulike egenskaper og oppførsel. Noen mørke farger, som for eksempel svart og blå, inneholder mange organiske pigmenter, noe som gjør masterbatchen mer ledende. For å få riktig farge trenger man kun en liten prosentandel masterbatch i blandingen med råmaterialet. Blandingsforholdet avhenger av type farge og krav til kvalitet basert på området den skal brukes i. For eksempel blandes det mer masterbatch i ytre casing til kunder i land med mer sollys for at produktet ikke skal falme i fargen over tid.

2.2.2 Industriell produksjon av plastprodukter

Dagens plastindustri produserer plastprodukter i mange ulike fasonger og størrelser, og de har svært mange bruksområder. Det finnes mange ulike måter å forme plast på, og i industri er støping en utbredt metode å gjøre dette på. Det finnes mange ulike måter å støpe plast på, og de avhenger av plasttype og bruksområde. Sprøytstøping[6] foregår ved at en varm skrue smelter og transporterer plastgranulat ved rotasjon gjennom kanaler inn i et lukket verktøy med ønsket form. Plasten former seg etter verktøyet, og ved nedkjøling stivner plasten til det ferdige produktet. Verktøyet åpnes og produktet kan hentes ut. Andre metoder[7] er eksempelvis formblåsing, ekstrudering og vakuumentrekk.

Den ytre casingen til et ferdig produkt fra Hexagon Ragasco består av tre deler: toppring, toppdel og kappe. Disse består av polyetylen og produseres ved hjelp av sprøytstøping, som gjøres i prosessen IMP. Topphattens utforming er karakteristisk for hele gassbeholderen til Hexagon Ragasco, og er formet både for å være ergonomisk og et element av design. Midt på den største flaten finnes logo, og hele toppdelen/toppringen har samme farge. Parametere som komponenter i masterbatch, kjøletid og innsprøytningshastighet gir topphatten sin endelige form og farge.

2.3 Statisk elektrisitet

2.3.1 Generelt

Statisk elektrisitet[8] er et felt innunder elektrostatikk og omhandler stillestående elektrisitet i faste stoffer, dette vil si overskudd av ladde partikler i ro. En gjenstand holdes oppladet inntil overskuddet av de ladde partiklene har mulighet til å ledes vekk, noe som skaper en elektrisk strøm. Dette betyr at elektrostatikk også omhandler kortvarige enkelthendelser der ladningene har hastighet, men som dermed knyttes til ESD. I en nøytral gjenstand vil elektronene holde seg i ro rundt atomkjernene sine og de binder stoffet sammen. Elektronene i det ytterste skallet sitter løst slik at de er frie til å bevege på seg og dermed kan påvirkes av elektrostatiske krefter. Dette gjør at de enten flyttes på innad i den nøytrale gjenstanden, eller at de tiltrekkes og overføres til andre, ladde gjenstander. Dette vil resultere i underskudd av elektroner i den opprinnelig nøytrale gjenstanden slik at denne nå blir positiv. Hadde elektroner blitt tilført ville polariteten til gjenstanden vært motsatt. I forbindelse med statisk elektrisitet snakker man ofte om friksjon mellom isolerende materialer, men det kan også oppstå ved andre mekaniske påkjenninger.

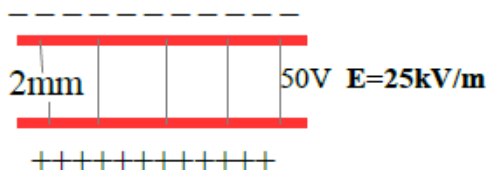
2.3.2 Elektrisk felt

Alle punktladninger er omgitt av et elektrisk felt[9], og vil påvirke eller blir påvirket av andre ladde partikler. En punktladning er omgitt av et radielt felt, og retningen til feltlinjene bestemmes av polariteten til ladningen. Det elektriske feltet fra en punktladning virker med en kraft på andre punktladninger i nærheten. Størrelse og retning på denne kraften uttrykkes ved hjelp av Coulomb's lov[10] (2.1), der q_1 er punktladningen, q_2 er testladning, k_e er Coloumb's konstant ($8.99 \cdot 10^9 Nm^2C^{-2}$) og r er avstanden mellom ladningene q_1 og q_2 .

En ladet gjenstand inneholder overskudd av enten negative (elektroner) eller positive (protoner) ladninger og vil på lik måte påvirke andre ladninger i nærheten med en elektrisk kraft. Superposisjonsprinsippet er gyldig for elektriske felt, slik at det totale elektriske feltet fra flere punktladninger fås ved å addere feltet fra hver av punktladningene. Et elektrisk felt måles i elektrisk feltstyrke [V/m].

$$F = k_e \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \Rightarrow |E| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q|}{r^2} \quad (2.1)$$

Et eksempel på et elektrisk felt og resulterende elektrisk feltstyrke, som vist i vedlegg B.1, er illustrert i figur 2.1. Man har en kondensator med potensialforskjell lik 50V mellom platene, og en avstand lik 0,002m mellom platene. Resulterende feltstyrke er $E = \frac{V}{m} = \frac{50}{0,002} = 25\text{kV/m}$.



Figur 2.1: Elektrisk felt i platekondensator

2.3.3 Ledningsevne

I elektrostatikk er det viktig å skille mellom ledere[11] og isolatorer[12]. I et materiale som leder godt vil kreftene mellom atomkjernene og elektronene være ganske små, slik at elektronene er frie til å bevege på seg. I et materiale som er en god isolator vil kreftene mellom atomkjernene og elektronene være betydelig større, og elektronene kan i liten grad bevege på seg. Dette gjør at elektrisk strøm flyter godt i en leder og at strøm flyter dårlig i en isolator. Dette gjør også at ulike materialer oppfører seg ulikt i forhold til statisk elektrisitet og at oppbygning og utladning varierer med materiale. I en isolator vil elektronene holdes i ro slik at ved tilførsel av elektroner vil ikke disse i stor grad spre seg utover, og slik at gjenstanden kan forbli ladd over en periode. I en leder vil elektronene derimot fordele seg jevnt utover og den vil enkelt lede vekk de ekstra ladningene og dermed nøytraliseres hurtigere.

2.3.4 Triboelektrisk effekt

Den mest kjente og utbredte årsaken til statisk elektrisitet kalles triboelektrisk effekt[13] og er oppladning av materiale som følge av fysisk kontakt og friksjon mellom to gjenstander. Ved kontakt og separasjon/friksjon mellom to gjenstander vil det overføres elektroner, slik at det blir underskudd av elektroner i den ene gjenstanden og overskudd av elektroner i den andre. Dette gir gjenstandene en ladning, gitt av antall elektroner overført, som gjør at disse etterpå trekkes mot hverandre. Et godt eksempel på dette er plastfilm eller tape som dras av en rull, hvor det vil oppstå friksjon mellom filmen/tapen og resten av rullen, noe som gir energi til forflytning av elektroner. Antall elektroner som overføres avhenger blant annet av materialene, overflateruhet, temperatur og deformasjon. Det er nå utbredt å se triboelektrisk effekt i sammenheng med adhesjon, som er to materials evne til å klistre seg til hverandre som følge av en elektrostatisk binding i mellom de ulike molekylene.

Tabell 2.1: Utdrag av den triboelektriske rekken[14]

+
Polyurethane foam
Hair
Glass
Leather
Quartz
Lead
Silk
Paper
Wool
0
Steel
Amber
Polystyrene
Hard rubber
Sulfur
Gold, Platinum
Polyester
Polyethylene Polyethylene
Polypropylene
Vinyl (PVC)
Ebonite
-

Ulike materialer gir ulik overføring av elektroner, noe som har med kreftene innad i atomene og dermed om materialet er en leder eller en isolator. For å kunne forstå dette nærmere kan man bruke triboelektriske rekken, en rekke som lister forskjellige materialer som vist i tabell 2.1. Den første triboelektriske rekken ble publisert i 1757 av Johan Carl Wilcke, og har siden den gang blitt testet og endret flere ganger. Rekken viser forskjellige materialer og deres evne til å miste eller få elektroner når utsatt for triboelektrisk effekt. Materialer høyt på lista har en tendens til å miste elektroner, og dermed bli positiv, mens materialer lavt på lista har en tendens til å få elektroner. To materialer langt fra hverandre på lista utveksler flere elektroner enn to materialer tett ved hverandre på lista, og får dermed i absoluttverdi høyere ladning etter separasjon.

2.3.5 Elektrostatisk induksjon

Elektrostatisk induksjon[15] handler om redistribusjon eller omplassering av ladninger innad i en gjenstand som følge av den elektrostatiske kraften som virker fra andre nærliggende ladninger. I en nøytral, ledende gjenstand vil elektronene i de ytterste skallene holde seg i ro rundt deres atomkjerner siden det ikke virker noen ytre elektrostatisk kraft på ladningene i gjenstanden. Dersom en ladd gjenstand finnes i nærheten, vil den virke med en kraft og tilrekke seg ladninger i den nøytrale gjenstanden. Eksempelvis, dersom den nøytrale gjenstanden består av et materiale som er en god leder og den ytre gjenstanden har positiv ladning, vil elektronene i den nøytrale gjenstanden tiltrekkes og flyttes til den siden der den ytre gjenstanden virker med en kraft. På lik måte vil de positive ladningene innad i den nøytrale gjenstanden frastøtes og flytter seg til motsatt side. Siden man nå har to separate "øyer" med ladninger, sier man at ladningene er indusert, men siden ladningene kun er omplassert innad i gjenstanden har gjenstanden fortsatt ingen ladning, den er fortsatt nøytral. Man sier at gjenstanden er polarisert, de induserte ladningene har skapt poler innad i gjenstanden.

Elektrostatisk induksjon og polarisering kan også foregå i gjenstander laget av et isolerende materiale, men på en litt annen måte. På lik måte er denne gjenstanden bygd opp av atomer, men der er ikke elektronene frie til å bevege seg fritt innad i gjenstanden. Dersom eksempelet ovenfor overføres hit, slik at den nøytrale gjenstanden er en isolator, vil ikke elektronene i gjenstanden kunne forflytte seg i like stor grad. Siden atomkjernen holder elektronene mye tettere vil ikke elektronene kunne forflytte seg til den ene siden i gjenstanden, men den ene siden av atomet kan bli mer negativt enn den andre. Den elektrostatiske induksjonen skjer dermed kun innad i atomet, hvor elektroner og protoner forflytter seg og har annen plassering enn det som er forventet. Det samme prinsippet følger atomene i molekyler, siden noen atomer, avhengig av grunnstoff, trekker mer på elektronene enn andre. Kjemisk resulterer dette i polare bindinger, der de grunnstoffene som trekker mest på elektronene vil ha en liten negativ ladning mens de andre vil ha en liten positiv ladning.

2.3.6 Andre årsaker

Det er flere andre årsaker til statisk elektrisitet og separasjon av ladninger i tillegg til triboelektrisk effekt og elektrostatisk induksjon. For å forstå noen av disse ser man på polarisasjonen[16] $P [C/m^2]$ til et materiale, som uttrykker hvor godt ytre elektriske felt påvirker atomene og dens struktur i dette materialet.

Her fokuseres det på tre andre viktige årsaker til separasjon av ladning. Pyroelektrisitet[17], som i sammenheng med statisk elektrisitet kalles pyroelektrisk effekt, oppstår når temperaturendring endrer egenskaper og deriblant polariseringen P . Piezoelektrisitet[18], som i sammenheng med statisk elektrisitet kalles piezoelektrisk effekt, oppstår når mekanisk påkjenning, som oftest trykk, endrer egenskaper og polariseringen P . Ofte er effekten sett på som en lineær sammenheng mellom den mekaniske og elektriske tilstanden til et materiale. Fotoelektrisk effekt[19] handler om at et metall kan gi fra seg elektroner når det er utsatt for lys, noe som skjer på grunn av energien i fotonene i lyset. Effekten krever en lysfrekvens høyere enn grensefrekvensen til metallet.

2.3.7 utfordringer

Det er mange utfordringer med statisk elektrisitet i industri og forskjellige arbeidsmiljøer som gjør at tiltak og eliminering lenge har vært viktig for mange bedrifter. Det er i hovedsak elektrostatisk utladning, ESD, som er utfordringen[20], siden en oppladet gjenstand i seg selv ikke gjør noen skade. Det finnes eksempler på ulykker og uønskede hendelser som følge av ESD, og det er en hverdagslig utfordring i all elektronikkproduksjon i sammenheng med ESDs. Problemet er økende, både på grunn av mindre og mer sensitive komponenter, men også like mye på grunn av at kretskort stadig blir mindre, noe som begrenser muligheten for innebygde tiltak i kretskortene.

Det er ikke bare i elektronikkproduksjon statisk elektrisitet og ESD er en utfordring, men problematikken dukker stadig opp i annen industri og på sykehus. I annen industri er det størst risiko i forhold til brennbare stoffer og avfall[21], mens det også kan skape mange utfordringer i forbindelse med selve produksjonen av et produkt[22]. Eksempelvis kan statisk elektrisitet skape store problemer ved lakkering av plast, lagring av produkter og transport av diverse råstoffer. Utenom produksjonsmessige utfordringer kan også ESD være et ubehag for mennesker, ødeleggende for sensorer og måleutstyr i tillegg til at ESD på sykehus kan utgjøre en stor risiko i forhold til pasienter. Store elektrostatiske utladninger kan i ekstreme tilfeller forårsake personskade, og det har vært tilfelle av død som følge av ekstrem utladning.

2.4 Måleinstrumenter

2.4.1 Elektrostatisk måleinstrumenter

Det finnes mange ulike måter å måle og demonstrere statisk elektrisitet på, der noen av disse prinsippene strekker seg helt tilbake til de første eksperimentene med elektroskopene på 1700-tallet. Etterhvert som læren om elektrisitet vokste kunne man utvikle stadig mer nøyaktige og avanserte måleapparater, fra de første elektrometerne på 1800-tallet til de moderne elektrostatisk feltmetere og voltmeter som brukes i dag.

Det finnes mange typer instrumenter for måling av elektrostatisk felt, og det er bruksområdet som utgjør forskjellene. En fellesnevner for de fleste instrumentene er at målingene gjøres uten å være i direkte kontakt med måleobjektet, med unntak av enkelte instrumenter som er laget for måling på en konstant ladning. Der det er nødvendig med nøyaktige målinger med god oppløsning så brukes det ofte elektrometer, nanovoltmeter eller potensial-mikroskop. Kjennetegnet på disse er at de benytter seg av spesialiserte måleprober som måler potensialet vha. referanseverdier og andre faktorer, som f.eks kapasitans, veldig nærme måleobjektet. Elektrostatisk feltmeter, som omtalt i vedlegg B.1, måler det elektriske feltet (V/m) basert på avstanden fra måleobjektet på litt større skala. I disse tilfellene brukes det ofte en teknikk som kalles roterende plate eller "field mill", men det kan også være en vibrerende probe[23]. Andre typer instrumenter brukes for å detektere ladninger som lades ut til jord vha. armlenker på arbeidsplasser, resistansen på utstyr i EPA-områder og mengden ladning en person generer. Flere instrumenter som kan være til samme bruk kan ha flere ulike navn, som f.eks Elektrostatisk Målingsenhet[24] og Elektrostatisk Voltmeter[25], og det kan derfor være utfordrende å finne riktig instrument med riktig teknikk i forhold til bruksområdet. I tillegg har noen instrumenter mulighet for tilkobling til jord for målinger av statisk elektrisitet med polaritet, og noen instrumenter har analog/digital utgang.

2.4.2 Wolfgang Warmbier EFM51

EFM51 er et elektrostatisk feltmeter, se datablad i vedlegg O (merk: Databladet har en feil i definisjonen av pre-programmerte avstander) og figur 2.2, som brukes til å måle elektrostatisk felt. Instrumentet benytter seg av måleteknikken roterende plate som betyr at en eller flere elektroder blir alternerende utsatt for og skjermet mot det elektriske feltet som måles. Dette gjør at det vil gå en elektrisk vekselstrøm til og fra elektrodene som er proporsjonal med styrken til det elektrostatisk feltet. Denne strømmen forsterkes og regnes om til feltstyrke [V/m]. Instrumentet har totalt seks modus hvor fire av disse bruker en

forhåndsdefinert avstand til måleobjektet (2,5,10 og 20cm) og modusen "E-Field" for avstander utenfor dette. I de fire modusene hvor avstanden [m] er forhåndsdefinert så gjør instrumentet multiplikasjonen ($\frac{V}{m} \cdot m = V$) automatisk og man kan lese av verdien [V] direkte på instrumentet. Ved bruk av "E-Field"-modus må man multiplisere den avleste verdien [V/m] med den ønskede avstanden [m] for å få riktig resultat [V]. Den siste modusen er "CPS"-modus som står for "Charge Plate Set" som er en egen modus for test av luftionisering hvor en plate må monteres foran instrumentet. Instrumentet har påmontert to avstandsguider for den minste avstanden (2cm) og har en ledning som tilkobles jordingspunkt for nøyaktige målinger og polaritet på ladninger. Instrumentet har ikke oppgitt noen spredningsvinkel i databladet, men i vedlegg B.1 så kan man se at spredningsvinkelen kan antas til å være 4-5 ganger større enn avstanden. Dette vil si at en måling med 2cm avstand vil kunne måle i et område formet som en sylinder med diameter 8-10cm og høyde 2cm.



Figur 2.2: Målinger av elektrostatisk felt er gjort med feltmeteret EFM51.

2.4.3 Logger

Ved overvåking av elektrostatisk felt over lengre perioder så er det mulig å bruke en logger som består av måleenhet, avhengig av bruksområde, og en A/D-konverter som kobles til pc eller nettverk[26]. Ved hjelp av tilhørende software så kan man behandle måleresultatene på en enkel måte, men det finnes også varianter som lagrer resultatene i format til Excel,

som bitmap fil (*.jpg) eller har en utgang for digitalt signal. De aller fleste loggerne er laget for å overvåke og varsle om feil eller brudd på armlenker og arbeidsmatter. Det finnes flere forskjellige typer som har forskjellige bruksområder, men mesteparten av de er rettet mot sikring og overvåking av EPA.

2.4.4 Fluke 971 Temperature Humidity Meter

Fluke 971 er en temperatur- og luftfuktighetsmåler[27] og er et lett og ergonomisk verktøy som måler raskt og nøyaktig. Dette er et instrument som måler relativ luftfuktighet og bruker en "Electronic capacitance polymer film sensor" for å foreta målinger. Instrumentet har et måleområde fra -20 til 60 °C med en oppløsning på 0,1 grad og unøyaktighet på $\pm 0,5$ grader fra 0-45 grader og $\pm 1,0$ grader i måleområde -20-0 grader og 45-60 grader.

2.4.5 IRT 260 IR-Termometer

IRT 260 er et IR-termometer[28] som brukes til å måle overflatetemperaturen til et objekt. Instrumentet pekes mot objektet og når man trykker på en knapp lyser det en laser mot området som skal måles. Dette instrumentet har et måleområde på 0-260 °C med en oppløsning på 0,1 grad og unøyaktighet på $\pm 2\%$ eller ± 2 grader.

2.5 Tiltak for å redusere statisk elektrisitet

2.5.1 ESD Protected Area

Standarden CLC/TR 61340-5-2:2008[29] omhandler definisjonen av EPA-området og hvordan et slikt område skal utføres. Formålet med standarden er å standardisere hvordan man identifiserer, lager og vedlikeholder et EPA-område. Målet med et EPA-område er å beskytte ESDs i områder hvor disse er mest sårbare for ESD, som f.eks. produksjonsprosesser og pakkeprosesser. EPA-områder er mest brukt i elektronikkproduksjon hvor man lager produkter som er sårbare mot ESD og hvor et slikt tiltak er kritisk. Et slikt beskyttet område skal kontrollere nivået med statisk elektrisitet i og rundt alle objekter som kommer inn i området. Alle personer og ledende objekter skal enten kobles til jord med motstand eller, hvis jord ikke er tilgjengelig, kobles til nærmeste person eller objekt som er tilkoblet jord. Størrelsen på et EPA-området kan variere fra en enkelt arbeidsplass i et større rom, en hel fabrikk som inneholder tusenvis av arbeidsplasser eller en portabel arbeidsoverflate/matte til bruk i f.eks. feltarbeid. EPA-området må merkes godt med skilting og/eller godt synlig markeringsteip på gulvet som enkelt skal gi ansatte og besøkende en klar beskjed om at man går inn i et beskyttet område.

2.5.2 Ionisering

Et kjent tiltak for produsenter som lager plastprodukter er luftionisering[30]. En luftioniserer er en enhet som enkelt fortalt gjør luft, som ellers er en god isolator, ledende. Denne teknikken lager store mengder positive (kationer) og negative ioner (anioner) i luften rundt et objekt eller på en overflate. Hvis objektet/overflaten er nøytral så påvirkes ikke objektet/overflaten, men dersom objektet/overflaten har en statisk ladning så vil objektet/overflaten tiltrekke seg de ionene som den mangler. Det vil si at hvis objektet/overflaten er positivt ladet så vil den tiltrekke seg negative ioner og motsatt hvis den er negativt ladet. Det finnes to forskjellige typer teknikker for luftionisering: elektrisk og radioaktiv. Test av virkningsgrad og effektivitet til luftionisering er standardisert[31]. Disse testene gjennomføres ved å lade opp metallplater til et kjent nivå, ($\pm 1000V$) for så å påvirke de med ionisering av luften. Tiden det tar før metallplaten når et spesifisert nivå ($\pm 100V$) bestemmer effektiviteten og virkningsgraden til ioniseringsutstyret. Dette kan gjøres på en stor skala for å se hvor stort område utstyret påvirker og tiden det tar for flere plater, plassert uten at de er i kontakt med hverandre, å lade seg ut til spesifisert nivå.

Elektriske ioniserere, omtalt i vedlegg B.3, lager et intensivt elektrisk felt vha. "high-voltage emitter pin" for å ionisere/lade molekylerne i luften. Denne typen kalles "Corona Ionization" og fungerer slik at elektronene separeres fra kjernen i luftmolekylerne. Det finnes tre varianter av denne typen: AC, "Steady-state DC" og "Pulse DC"[30]. AC-varianten bruker en eller flere "high-voltage emitter pins" som alternerer mellom positiv og negativ polaritet. Denne varianten er brukt ofte i større produksjonsanlegg. "Steady-state DC" har minimum to emittere som konstant produserer både positive og negative ioner. Denne varianten er mest brukt i mindre områder, arbeidsplasser og små rom. "Pulse DC" har en eller flere par med separate, alternerende emittere og er mest brukt i såkalte nøytrale rom hvor det produseres legemidler, gjøres sensitiv forskning o.l og hvor man har spesielle krav til luftkvalitet og forurensning. Radioaktive ioniserere benytter isotopet polonium for å generere ioner gjennom å sende ut alfapartikler i høy hastighet. Denne teknikken lager store mengder ionisert luft ved å ionisere på atomnivå. Luftionisering er ganske utbredt i plastindustri som et tiltak for å eliminere statisk elektrisitet i kritiske prosesser. Da benytter man som oftest vifter som blåser ionisert luft på objektet/overflaten for å nøytralisere det.

2.5.3 Jording

Utjevningjording er en viktig del i kampen mot oppbygging av uønsket statisk elektrisitet i industri[30]. ESD-beskyttelse handler nettopp om å lede all skadelig ladning til jord på en effektiv og kontrollert måte. Det er mange forskjellige angrepsmetoder for å fjerne eller hindre uønsket statisk elektrisitet og gjerne må man vurdere de ulike metodene opp mot hvor problemet er og hvor viktig det er å fjerne det. Den første angrepsmetoden er å jorde alle personene som er innblandet i prosessene hvor man har problemer. Dette gjøres vha. spesialsko, antistatiske armbånd og arbeidsmatter, spesialstoler, spesialklær etc. Disse tiltakene fungerer i hovedsak best sammen med spesialgulv og på faste arbeidsplasser/områder. I tilfeller hvor man har automatiserte prosesser som benytter roboter, samlebånd, rør etc. så er det viktig at utjevningjording brukes i alle ledd hvor statisk elektrisitet kan oppstå. Disse prosessene er ofte involvert i behandling av materialer og produkter som er årsaken til uønsket ladning og kan ofte være delaktig i å skape statisk elektrisitet. De fleste leverandører av maskiner og produkter til automatiserte prosesser følger ESD standarder når det gjelder jording, men i industrien så er ikke dette en høy prioritet med mindre det er kritisk ovenfor kvaliteten på produktene. Hvis en maskin er bygd opp av metall- og plastdelene så er en løsning å koble metalldelene til jord og bytte ut plastdelene med antistatiske deler.

2.5.4 Luftfuktighet

Et vanlig tiltak i konstruksjon av et EPA-område er å kontrollere luftfuktigheten[20]. Siden vann leder elektrisitet så vil høy luftfuktighet forbedre ledningsevnen til luften og dermed lade ut statisk elektrisitet på ladede objekter. Små vannpartikler vil legge seg på objektene og overflatene for deretter å tiltrekke seg ladningen. Vannpartiklene vil etterhvert komme i kontakt med hverandre og fordele ladningene seg imellom og bort fra objektet eller overflaten. Luftfuktighet kan implementeres som et forebyggende tiltak på lik linje som utjevningjording, men for best virkning så bør luftfuktigheten være på minst 65% for at en film av fuktighet binder alle objekter sammen. Når luftfuktigheten økes betraktelig så kan mennesker føle et ubehag og det er større fare for bakterievekst i f.eks. ventilasjonsanlegg.

2.6 Standarder

Det finnes noen ulike standarder vedrørende statisk elektrisitet i forhold til elektronikk, elektriske systemer og industrielle systemer. De mest relevante og utbredte er standardene fra IEC ("International Electrotechnical Commission") og CLC ("European Committee for Electrotechnical standardization"), og her finnes det standarder som omhandler fenomenet statisk elektrisitet og håndtering/måling/tiltak i forhold til dette. De aktuelle standarder for denne oppgaven står i tabell 2.2. Det ble ikke funnet standarder som er spesielt rettet mot produksjon av plastprodukter, men mer generelle standarder for flere områder innenfor industrien.

Tabell 2.2: Liste over IEC-standarder for statisk elektrisitet

Navn	Beskrivelse
IEC 61340 2-1:2015	Electrostatics - Part 2-1: Measurement methods - Ability of materials and products to dissipate static electric charge
IEC 61340 4-7:2017	Electrostatics - Part 4-7: Standard test methods for specific applications - Ionization
IEC 61340 5-1:2016	Electrostatics - Part 5-1: Protection of electronic devices from electrostatic phenomena - General requirements
IEC 61340 5-2:2008	Electrostatics - Part 5-2: Protection of electronic devices from electrostatic phenomena - User guide
IEC TR 61340-1:2012	Electrostatics - Part 1: Electrostatic phenomena - Principles and measurements

Kapittel 3

Metode

Dette kapitlet omhandler fremgangsmåten og verktøyene som er brukt for måling og analyse i oppgaven. Dette omhandler også hvordan nødvendig teori for oppgaven er tilegnet.

3.1 Statistikk

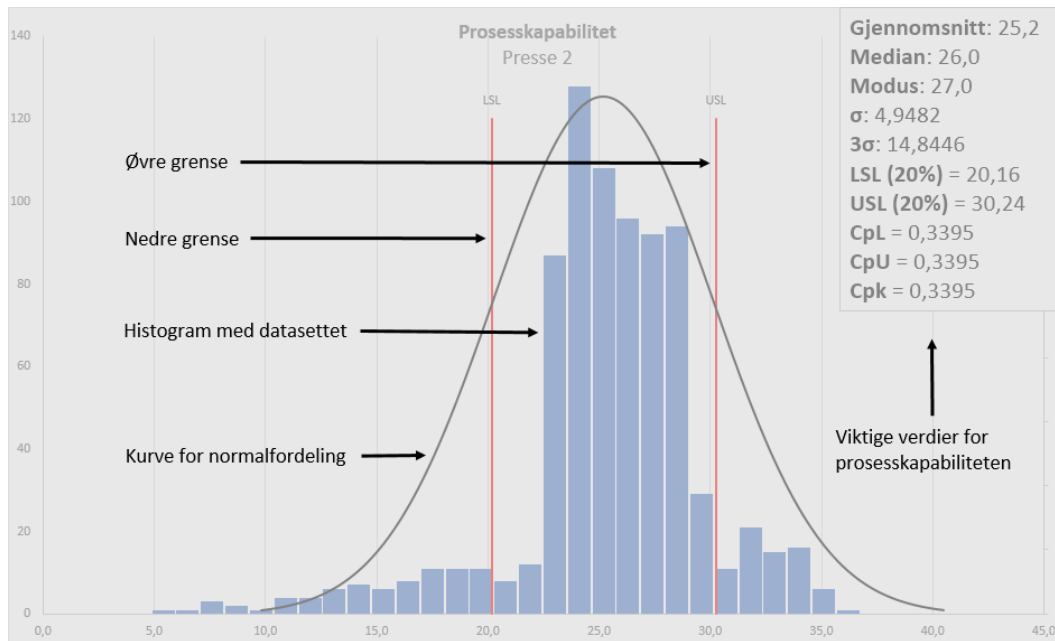
I statistisk analyse finnes noe som heter prosesskapabilitet[32], som er et vanlig mål på spredning og yteevne til prosesser i industri. Formålet er å uttrykke hvor godt en prosess møter en spesifisering enten ved hjelp av en prosesskapabilitetsindeks, Cpk , eller en prosessytelsesindeks, Ppk . Man antar at en produksjonsprosess produserer produkter der spesifiseringene/dimensjonene er normalfordelt, slik at produksjonen kan uttrykkes ved hjelp av en forventningsverdi, μ og et standardavvik, σ . En industriell prosess styres vanligvis etter øvre og nedre kontrollgrenser, LCL og UCL , slik at spesifiseringen holdes innen for øvre og nedre spesifisergrense, LSL og USL . Prosesskapabilitetsindeksen vil i forhold til produksjonen fortelle hvor mange normalfordelinger som har plass innenfor de satte spesifisergrensene, og ser både på spredning og plassering av forventningsverdi i forhold til disse grensene. Et mål som i tillegg kan brukes er prosesskapabilitet, Cp , som kun sier noe om spredning der man antar at forventningen ligger midt i mellom grensene. Cpk regnes ut ved hjelp av to hjelpeverdier, CpL og CpU , som vises i formlene 3.1, 3.2 og 3.3. Et vanlig minimumskrav for Cpk er 1,33, som tilsvarer 4σ . Det betyr at spredningen i et datasett ikke skal være større enn at det plass til fire standardavvik mellom øvre og nedre spesifisergrense. I dagens industri er både 6σ og noen ganger 8σ vanlige krav, som tilsvarende betyr at spredningen ikke skal være større enn at det er plass til seks eller åtte standardavvik mellom spesifisergrensene. Kravet om 6σ er en del av den prosessforbedrende metodikken ”six sigma”[33].

$$CpL = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (3.1)$$

$$CpU = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (3.2)$$

$$Cpk = \min(CpL, CpU) \quad (3.3)$$

I analyse av prosesskapabilitet for prosesser/målepunkter videre i denne rapporten, vil en rekke figurer vise et datasett, dets normalfordeling, og utregnede verdier for prosesskapabilitetsindeksen. Figur 3.1 viser hvordan en slik figur typisk vil se ut, og de viktige verdiene til høyre i figurene vil være de verdiene som legger grunnlaget for analysen.



Figur 3.1: Forklaring på hvordan prosesskapabilitetsdiagrammer er satt opp

3.2 Anvendt utstyr og programvare

Tabell 3.1: Liste over anvendt utstyr og programvare

Utstyr/Programvare	Beskrivelse
Wolfgang Warmbier EFM51	Elektrostatisk feltmeter som har blitt benyttet under målinger av statisk elektrisitet. Modusene som er brukt er 2 cm, 10cm og E-Field.
Cymbalstativ	Stativ som har blitt benyttet under måling, det ble påmontert metallsylinder med hull til strips for feste av EFM51.
Fluke 971	Måleinstrument som er benyttet for måling av innetemperatur og relativ luftfuktighet i området rundt under måleserier.
IRT 260	IR-termometer som er benyttet til å måle overflatetemperatur på topphatter.
Emit 50672 Overhead zero volt ionizer	Ioniseringsvifte som benyttes i testing på ferdigpakket pall med beholdere[34].
Yr	Alle utetemperaturer er tatt fra værmeldingstjenesten med målestasjon på Raufoss gjennom denne telefonappen.
Microsoft Excel	Program basert på regneark hvor alle måleresultater er notert og analyser/grafar er laget.
L ^A T _E X	Typesettingssystem for dokumentproduksjon som rapporten er skrevet i.
Draw.io	Nettbasert program som har blitt brukt til å lage enkle skisser og figurer.
Adobe Premiere Pro	Videoredigeringsprogram som er benyttet for på gjøre videoanalyse
GoPro Hero 3+	Videokamera som er benyttet for å gjøre videoopptak av måleserier

3.3 Innsamling av informasjon

I starten av prosjektet var det viktig å samle sammen informasjon om påvirkningene av statiske elektrisitet i produksjon av produkter. Liste over alle bedriftene som er kontaktet er vist i vedlegg A der de bedriftene som har oppgitt en kontaktperson har svart ved forespørsel. Mange forskjellige bedrifter ble kontaktet og forskjellige problemstillinger ble fremstilt basert på hvilken kompetanse bedriften hadde. Bedriftene som ble kontaktet var blant annet plastprodusenter, råd og utvalg innenfor ESD-spesialisering, elektronikkprodusenter, produsenter av maskiner og robotarmer og leverandører av måleinstrumenter og utstyr til EPA.

Gjennom kontakt med Frode Nilsen i El-care ESD er det mottatt fire dokumenter, som vist i vedlegg B, som er basert på erfaringer med ESD. Disse benyttes som underlag i kapittel 2.2.1 for å fylle på med erfaringsbasert teori som det ikke finnes nok informasjon om eller er gjort forskning på. Disse dokumentene brukes i rapporten med tillatelse fra Frode Nilsen.

Ved innsamling av informasjon som er relevant for rapporten så har det også blitt benyttet internetbaserte artikler og rapporter.

Kapittel 4

Granulat

Dette kapitlet omhandler målinger og analyser av granulat brukt i produksjonen av topphatter. Målingene og analysene er gjort på masterbatch i containere/plastsekker og materialmiks i rørsystem.

4.1 Teori

Masterbatch, råmateriale og materialmiks består alle av plastgranulat, hvor masterbatch er pigmenterte granulater som blandes med råmateriale for å gi farge på ferdige produkter. Flere masterbatch'er kan ha samme farge, men med forskjellige egenskaper. Der det er gjort målinger på flere masterbatch'er med lik farge så gis de et nummer etter fargen for å skille de fra hverandre. Råmaterialet lagres i siloer utenfor produksjonslokalet og transporteres inn til en lagringstank vha. vakuumpumper gjennom metall-, keramikk- og plastrør. Lagringstanken sender råmateriale videre til mikserer hvor den blandes med masterbatch, og denne materialmiksen sendes til doserere som sitter på hver presse. Masterbatch'en lagres i mindre containere, som vist i figur 4.1a eller i store plastsekker hengende over større containere, som vist i figur 4.1b, avhengig av hvor mye som brukes. Mikseren henter råmateriale og masterbatch ved behov, og blander den som omtalt i underkapittel 2.2.2, og lagrer den mengden materialmiks som er programmert før den suges videre til dosereren.

I dosereren, som er montert på hver presse, sitter det en nivåføler som gir et signal til mikseren når nivået med materialmiks er under et bunn-nivå. Da starter en vakuumpumpe som suger materialmiksen gjennom rør til dosereren i en gitt periode også ettersuges det luft i en lengre periode for å rense røret for granulat. Materialmiksen transporteres gjennom en blanding av plastrør og rør av rustfritt stål over en lengre avstand basert på plasseringen til pressen.

4.2 Masterbatch

De forskjellige masterbatch'ene kan bestå av forskjellige komponenter basert på hvilken farge den har. Dette kan føre til at det elektrostatiske feltet kan variere og hvordan den lades opp eller lades ut. Feltet kan også variere med hvor ofte granulaten brukes i produksjonen og hvor ofte det etterfylles granulat. Alle målingene i dette delkapittelet omhandler målinger på overflaten av masterbatch i containere med minst mulig ytre påvirkning annet enn det som er normalt.

4.2.1 Metode

Uavhengig av hvordan masterbatch'en oppbevares måles ladningen i granulaten etter samme fremgangsmåte. Instrumentet tilkobles jord ved nærmeste jordingspunkt og målinger foretas i E-field modus med feltmåler ved kjente avstander som måles med målebånd. Alle målinger gjøres i senter av containeren og i senter av inspeksjonsluker for større containerne

til store plastsekker. Avstanden til målepunktet er bestemt av nivået med granulat i senter av containeren og topper med granulat flates ikke ut for å minske risikoen for å forstyrre ladningen. Nivået av granulat i containerne vurderes på en skala fra $\frac{1}{3}$ (nærmest tom) til $\frac{3}{3}$ (tilnærmet full), som noteres sammen med ladningsnivået, luftfuktighet, romtemperatur, utetemperatur og avstanden til materialet for å kunne se sammenhengen mellom disse variablene og ladningsnivået. Det statiske nivået multipliseres med avstanden som ble målt i meter, for å skalere ned det elektrostatiske feltet. For å kunne samle mest mulig av feltet så foretas målinger med avstander over 20 cm.



(a) Masterbatch som ikke brukes mye lagres i små containere og kobles til rørsystem ved bruk.



(b) Masterbatch lagres i større plastsekker hengende over containere tilkoblet rørsystem for farger som er mye brukt.

Figur 4.1: Masterbatch oppbevares på to forskjellige måter basert på hvor mye som blir brukt i produksjonen.

4.2.2 Resultater og diskusjon

Det ble utført tre måleserier på masterbatch'er ved tre forskjellige dager på et utvalg av tjue masterbatch'er, som vist i vedlegg C. Hexagon Ragasco har flere masterbatch'er enn det utvalget det ble gjort målinger på, men de lagres i hyller flere meter over bakken hvor de er vanskelige å få tak i. Noen av masterbatch'ene har blitt etterfylt eller brukt i produksjonen mellom målingene og derfor kan noen masterbatch'er ha måleresultater i flere figurer avhengig av nivået med granulat i containeren. I disse tilfellene så er dataetiketten slettet for å tydeliggjøre at dette ikke er måling.

I figur C.1 kan man se måleresultatene og man kan se at ladningen i de forskjellige masterbatch'ene er spredt over et intervall på -11 kV til 25 kV. Innenfor de forskjellige fargene kan man også se en variasjon i ladningsnivået hvor den største variasjonen er på Grå (2) hvor variasjonen er på 21 kV (fra 25,0 kV til 4,0 kV) over tre målinger. Mens den minste variasjonen i ladningsnivået er på Pastell grønn hvor variasjonen er på 0,33 kV (fra 0,48 kV til 0,15 kV). I figur C.2 kan man se nivået av statisk elektrisitet basert på et granulat-nivå på $\frac{1}{3}$. Man kan se at Grå (2) har det høyeste nivået med ladning på 25 kV og Rød (2) har en ladning på 16,25 kV. Resten av masterbatch'ene, med unntak av Grå (1) og Grønn (1), har et litt lavere nivå og mindre spredning.

I figur C.3 kan man se at nivået av statisk elektrisitet basert på et granulat-nivå på $\frac{2}{3}$. Her er det flere punkter som viser mer spredning siden det var flere containere som hadde dette granulat-nivået. Her kan vi også se at Grønn (2) har en negativ ladning på -2,75 kV som er den minste ladningen, mens Blå (4) har den høyeste ladningen på 15 kV. I figur C.4 kan man se at ved et granulat-nivå på $\frac{3}{3}$ så er det flere negative ladede farger med minste ladning på -11 kV på Svart og den største ladningen på Blå (3) på 8,19 kV.

I figur C.5 så kan man se en enkel grafisk fremstilling av den statiske ladningen i fargene i forhold til luftfuktigheten som ble målt før hver måling. Her kan man se at spredningen, fra den høyeste til den minste ladningen, er mindre ved lavere luftfuktighet og større ved høyere luftfuktighet. Måling 2 og 3 har nesten lik spredning, der måling 3 har en spredning på 1,555 kV større enn måling 2. Måling 3 har det høyeste ladningsnivået og har nesten ingen negative verdier, mens måling 2 har verdier fra -11 kV og til 13,345 kV. Dette strider litt imot teorien om at høyere luftfuktighet gir mindre ladning i isolerende materialer, som omtalt i underkapittel 2.5.4.

Det er mange faktorer som spiller inn i en slik måling som f.eks når masterbatch'en ble

brukt sist, når det ble etterfylt, hvor mye containeren er flyttet på og om den har blitt håndtert av en person. Det er også en stor usikkerhet i målemetoden som ble brukt siden noen containere hadde topper med granulat utenfor senter. Dette kan ha ført til at noe av den elektrostatiske ladningen har blitt utelatt eller at avstanden som har blitt brukt for å skalere ned feltet har blitt feil. Målingene har også bare konsentrert seg om hva ladningen er på overflaten av granulatet og det er sannsynlig at dette gir et unøyaktig bilde av ladningen i materialet. Under småtester for å se hvordan man skulle få målt ladningen i masterbatch så ble det observert at ved å ta hånden gjennom granulatet og flytte på den så økte den statiske ladningen betydelig. Ved testing så kunne man se at plastsekker inneholdende masterbatch som tømmes ned i en container kan føre til en statisk ladning på over 20 kV kun som følge av friksjon, og det er derfor sannsynlig at denne ladningen legger seg på toppen av containeren og dermed påvirker målingene. Ved å ha en måleprobe som kan ligge i ro i midten av containeren eller en måleprobe som granulatet går gjennom så har man kanskje en mulighet til å få et mer nøyaktig bilde av ladningen i granulatet.

4.3 Materialmiks

For å kunne kartlegge den statiske ladningen i et produkt eller materiale så er det naturlig å starte med granulatet, i dette tilfellet materialmiksen. Rørsystemene som transporterer plastgranulat til mikserne og presser består av både rustfrie rør og plastrør som er tilkoblet jord vha. jordklemmer på stålrør og jordledning som er surret på utsiden av plastrør. Isolasjonen på jordledningen som er surret rundt plastrørene fjernes og legges på innsiden av plastrørene som kobles til stålrør eller utstyr ved at ledningen klemmes mellom plastrøret og stålrøret. Alle punktene i dette underkapittelet omhandler tester på denne materialmiksen.

4.3.1 Metode

Det var nødvendig å utvikle en prototype for måling på materialmiks i rørsystem siden målinger på utsiden av rørene ikke var mulig under normale forhold. Ideen bak prototypen, heretter refert til som måleprobe, var å benytte seg av en teknikk som brukes for å måle virkningsgraden eller hastigheten på en ioniseringsvifte. Måten man gjør dette på er å lade opp en metallplate til et kjent nivå for deretter å måle ladningen med et instrument, gjerne et elektrostatiske feltmeter, mens man utsetter metallplaten for ionisert luft. Ideen er at istedenfor å lade opp platen til et kjent nivå så kan man bytte ut kilden som lader opp platen. Ved å utvikle et rør laget av et materiale med god ledningsevne så kan man overføre ladningen i materialet som passerer gjennom røret til overflaten på røret. Dette kan da måles med et feltmeter på utsiden av røret som vist i figur 4.2.



Figur 4.2: Måleoppsett for målinger på materialmiks som passerer gjennom måleprobe som er montert på rørsystem fra mikser til presse.

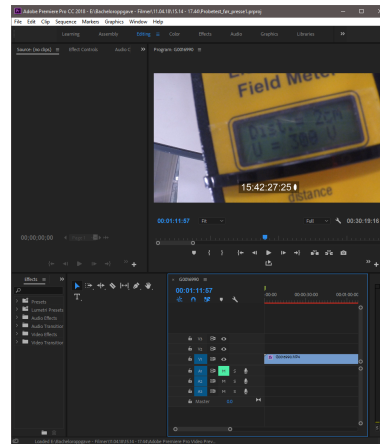
Aluminiumsrør ble valgt pga. ledningsevnen og fordi mekanikerne på Hexagon Ragasco hadde muligheten til å sveise aluminium. Kobberrør ble også vurdert pga. ledningsevnen, men ble ikke brukt fordi det trengs ekstra kompetanse for å sveise kobber og fordi kobber er tyngre enn aluminium, i tillegg til at det er dyrere. Rustfritt stål ble også vurdert, men ble valgt bort pga. dårligere ledningsevne og høy vekt. Aluminiumsrørene ble rengjort og slipt for å fjerne eventuelt overflatebehandling som kunne forstyrre overføringen av ladningen til røret.

Måleproben ble koblet til rørsystemet som fører materialmiksen fra mikser til presse. Mellom proben og røret ble det koblet på et plastrør, likt det som er brukt i rørsystemet, som skiller proben fra utjevningssjordingen på mikseren og rørsystem for å forhindre at ladningen lades ut til jord under målinger. Måleproben ble tilkoblet i skjøter mellom plastrør, stålrør eller maskiner uten store inngrep i systemet på de målepunktene hvor måleprobene ble brukt.

Denne målemetoden handler ikke om å detektere det reelle elektrostatiske nivået i materialet, men å etablere et godt og stabilt referansepunkt som kan sammenlignes med andre målepunkter. Det er viktig at nivået som måles har en god oppløsning og en stabil verdi over tid. Det er også viktig at proben tåler påkjenningen av materialet som passerer og at mindre deler sikres eller velges bort for å redusere risikoen for å ødelegge kritiske maskiner og utstyr. Måleinstrumentet ble rettet mot en ren flate med 2 cm avstand for å minimere forstyrrelser. Måleresultatet ble avlest manuelt ved tilnærmet toppverdi og/eller filmet og avlest hvert halve sekund på utvalgte måleserier. Testene ble forsøkt utført på mikserer som transporterte tilnærmet lik mengde med materialmikks på tilnærmet lik måte.



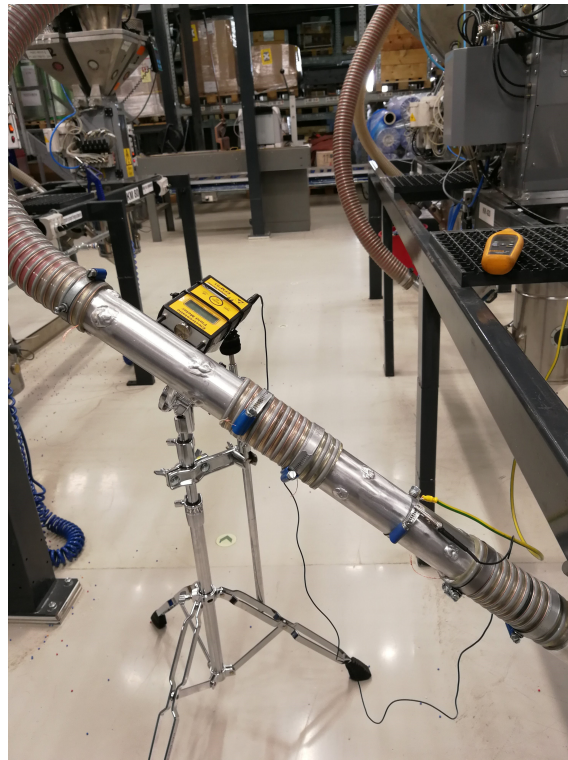
(a) Oppsett av målinger på måleprobe med video-opptak vha. GoPro-kamera.



(b) Skjermdump av videoredigeringsprogram for analyse av video-opptak.

Figur 4.3: Detaljerte måleresultater av målinger på materialmikks og måleprober er gjort med video-opptak og videoanalyse.

Ved videoanalyse av måleresultater, som vist i figur 4.3b, ble det notert en verdi for hvert halve sekund for hver måleserie, hvor startpunktet er definert som da vakuumpumpene starter og sluttpunktet er rett før pumpene starter opp igjen. Dette gir rundt 300-500 punkter som gir en detaljert kurve over oppførselen til måleproben. Måleresultatene ble deretter delt opp i fire nivåer: Oppbygnings-, topp-, mellom- og bunn-nivå, som vist i et eksempel i vedlegg E. Hvert nivå, med unntak av oppbygningsnivået, er definert fra det punktet man har to sammenhengende verdier som oppfyller kravet for nivået. Oppbygningsnivået er definert fra startpunktet til starten på toppnivået (i grønt), toppnivået gjelder for alle verdier over $> 60\%$ av toppverdien til måleserien, mellomnivået (i blått) er definert for alle verdier mellom $\geq 60\%$ og $> 10\%$ av toppverdien og bunn-nivået (i gult) er definert for alle verdier $\geq 10\%$ av toppverdien.



Figur 4.4: Målinger på jording av måleprobe montert til høyre på bildet nærmest mikser.

Videre var tanken at hvis en måleprobe fanger opp ladningen i materialet som passerer gjennom så kan man koble proben til jord og dermed lede bort ladningen. Ved tester gjort med jording så ble det festet et metallbånd tilkoblet nærmeste jordpunkt rundt røret som skulle jordes. For å måle virkningen til måleprobe med jording så ble to prober satt i serie og måleproben nærmest mikseren ble tilkoblet jord mens den andre ble brukt som målepunkt,

som vist i figur 4.4. Måleproben ble også implementert med jording for å teste effekten på presser. Der ble proben plassert nærmest mulig doserer ved presse og topphatter ble målt før og etter. Dette er omtalt i delkapittel 5.4.2.

4.3.2 Resultater og diskusjon

Det ble utviklet flere forskjellige versjoner av måleproben hvor alle begynte med et rent aluminiumsrør med en lengde på 25-30 cm, som vist i figur 4.5a. Første forsøket ble gjort på aluminiumsrør uten modifikasjoner og var stabil med et toppnivå på $\approx 100V$. Dette ga oss ikke en god nok oppløsning på målingen og det ble observert at bare en liten del av materialmiksen var i kontakt med røret. For å overføre mest mulig ladning fra materialmiksen til røret så var det nødvendig at plastgranulaten var i kontakt med mest mulig av røret. Dermed ble resten av forsøkene gjort på en slik måte at arealet inne i røret ble gjort mindre vha. ledere fra installasjonskabler uten å generere for mye statisk elektrisitet gjennom friksjon. Måleprobe 2 var et aluminiumsrør med kobberleder fra installasjonskabel som ble plassert i midten av røret som et grovt gitter, vist i figur 4.5b. Målingene ga stabile måleresultater med toppnivå på $\approx 300V$ selv om kobberleder bare ble lagt inntil og teipet fast på utsiden av røret.



(a) Måleprobe 1 var et rent aluminiumsrør lik den på bildet over.



(b) Måleprobe 2 var et aluminiumsrør med et gitter av kobberledere gjennom sentrum av røret.

Figur 4.5: Bilde av måleprobene 1 og 2.

Siden det var utfordrende å sveise sammen aluminium og kobber med god kontakt så ble måleprobe 3, som vist i figur 4.6a, utviklet etter samme prinsipp som måleprobe 2 der kobberlederen ble byttet ut med aluminiumsleder fra en større inntakskabel og lederne ble sveist fast med litt avstand i lengderetningen av røret. Denne proben ga stabile resultater med toppnivå på $\approx 1200V$. Neste forsøk var på måleprobe 4 hvor antall aluminiumsledere i gitteret ble doblet og spredt utover lengden av røret, som vist i figur 4.6b. Disse målingene viste at toppnivået ble forbedret til $\approx 3800V$.



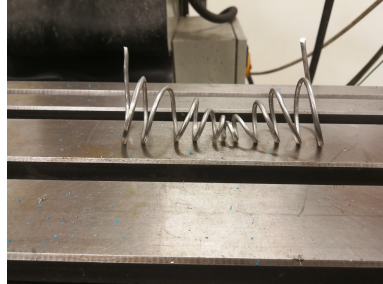
(a) Måleprobe 3 var et aluminiumsrør med sveiste aluminiumsledere gjennom røret innvendig spredt over lengden av røret.



(b) Måleprobe 4 var et aluminiumsrør med flere sveiste aluminiumsledere gjennom røret innvendig spredt over lengden av røret.

Figur 4.6: Bilde av måleprobene 3 og 4.

Neste test var med måleprobe 5 hvor det ble lagd to spiraler av aluminiumsledere som ble plassert inne i røret og hvor ende på hver spiral ble sveist fast i røret, som vist i figur 4.7a. Dette forbedret toppnivået ytterligere til $\approx 6600V$. Etter at denne proben ble demontert så ble det observert at spiralen nærmest mikseren hadde røket i sveisen, løsnet og hengt seg opp i den andre spiralen. Dette førte til at senere tester med andre måleprober ble vurdert og godkjent av mekanikere og prosessledere før de ble satt inn i produksjonen. Neste videreutvikling var måleprobe 6 med flere små aluminiumsledere plassert på en slik måte at de etterlignet oppbygningen til en spiral, som vist i figur 4.7b. Denne ble ikke godkjent for montering i produksjonen fordi det var for stor risiko for at de mindre delene kunne løsne og dermed forårsake skader på utstyr.



(a) Måleprobe 5 hadde to spiraler sveist fast på hver sin side innvendig i aluminiumsrøret.

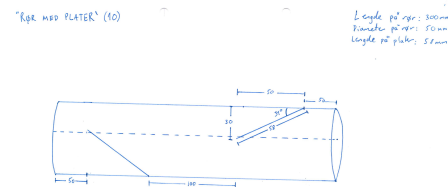


(b) Måleprobe 6 hadde flere aluminiumsledere sveist i en formasjon som etterlignet en spiral gjennom hele lengden av aluminiumsrøret.

Figur 4.7: Bilde av Måleprobene 5 og 6.



(a) Måleprobe 7 lik utforming som måleprobe 6 bortsett fra at spiralene ble festet i begge ender og det ble montert en sikring i enden i form av to bolter i kryss.



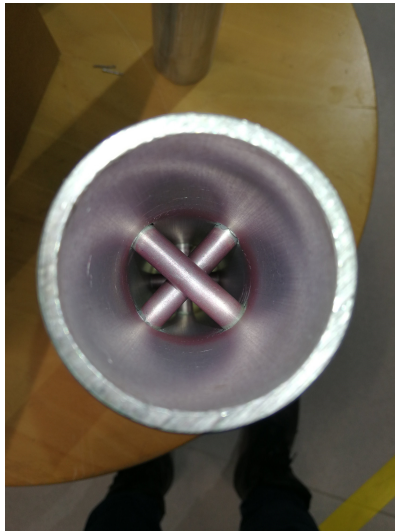
(b) Skisse av måleprobe 8 som hadde sveist to plater i vinkel for å halvere diameteren til røret. Materialmiksen passerte fra høyre til venstre.

Figur 4.8: Bilde og skisse av Måleprobene 7 og 8.

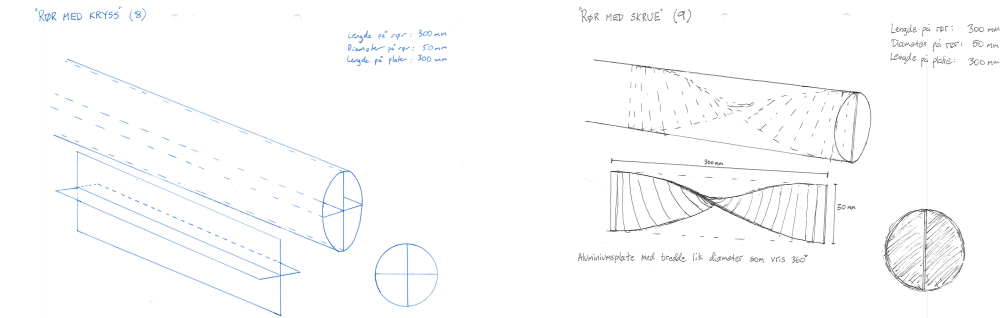
Måleprobe 7, som vist i figur 4.8a, besto av to spiraler hvor hver ende av spiralene ble sveist fast i røret og det ble montert en sikring bestående av to bolter i kryss i enden av røret.

Denne proben ga et toppnivå på $\approx 8700 - 9600V$. Etter testing ble det observert at spirale-
ne hadde blitt deformert under påkjenningene av materialmiksen. Det var uvisst hvor mye
friksjon selve spiralene i måleprobene genererte og om måleresultatet var innenfor et relativt
reelt område. På bakgrunn av dette ble måleprober med spiraler valgt bort i senere tester.
De neste versjonene av måleproben ble laget av aluminiumsplater og bolter som ga en mer
robust og sikker konstruksjon. Måleprobe 8, som vist i figur 4.8b, ble konstruert med to
plater med 10 cm mellomrom i en vinkel på ca. 30 grader som effektivt halverte diameteren
på røret og tvingte mesteparten av materialmiksen i kontakt med platen og røret. Denne
proben ga stabile målinger på $\approx 4200V$.

Måleprobe 9 var en videreutvikling av måleprobe 2, 3 og 4 hvor diameteren på lederen ble økt
til aluminiumsbolter på 10mm montert i to kryss på mot hver sin ende av røret, som vist i
figur 4.9. Målingene på denne proben ga et stabilt toppnivå på $\approx 4300V$. Måleprobe 10 besto
av to plater sveist i et kryss, som vist i figur 4.10a, hvor platene ligger i lengderetningen
til røret. Dette delte røret inn i fire forskjellige kammerer og ga et lavere stabilt nivå på
 $\approx 2400V$. Måleprobe 11 besto av en plate som var vridd tilnærmet 180 grader i ene enden
for å tvinge materialet gjennom en slags skrue, som vist i figur 4.10b. Dette delte proben
inn i to kammerer som granulaten måtte gjennom og ga et lavere stabilt nivå på $\approx 2400V$.
Alle testresultatene for måleprobene er vist i tabell 4.1.



Figur 4.9: Måleprobe 9 hadde to kryss bestående av aluminiumsbolter på 10mm med en
avstand på ca. 10 cm mellom.



(a) Skisse av måleprobe 10 som hadde to plater sveist i et kryss i lengderetningen av røret og delte røret i fire kammerer.

(b) Skisse av måleprobe 11 som hadde en plate vridd 180 grader gjennom lengderetningen til røret og delte røret inn i to kammerer.

Figur 4.10: Skisser av Måleprobe 10 og 11

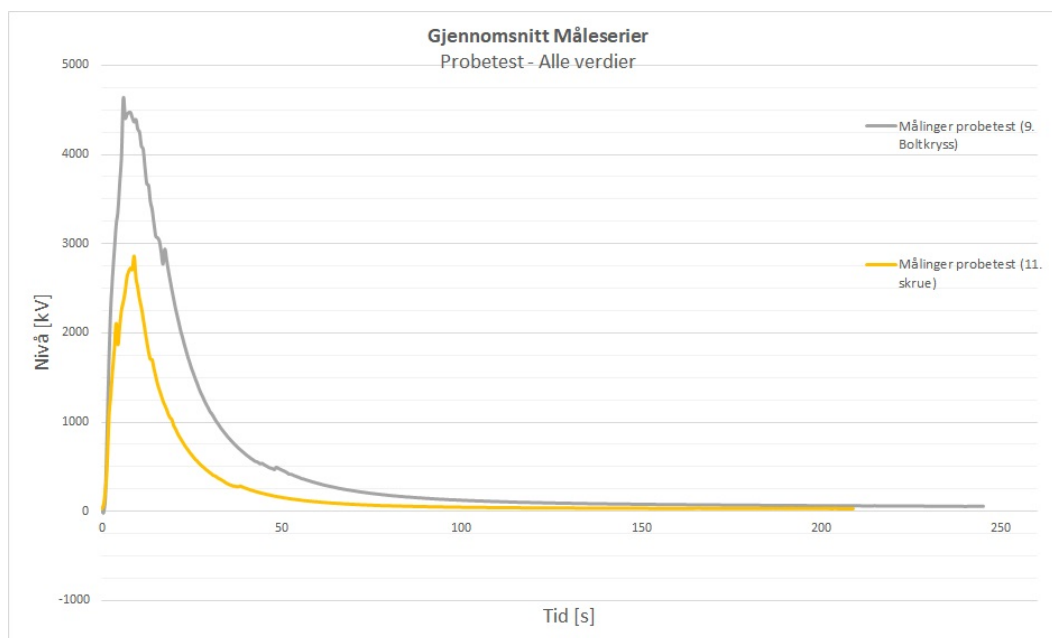
Tabell 4.1: Testresultater for måleprobe

Nr	Type	Beskrivelse	Høyeste verdi
1	Rør	Rent aluminiumsrør	$\approx 100V$
2	Kobbergitter	Aluminiumsrør med kobberleder	$\approx 300V$
3	Grovt gitter	Al-rør med al-leder	$\approx 1200V$
4	Fint gitter	Al-rør med al-leder	$\approx 3800V$
5	Spiral	Al-rør med spiral av al-leder	$\approx 6600V$
6	Spiralgitter	Al-rør med gitter formet som spiral	<i>Forkastet før test</i>
7	Forsterket spiral	Al-rør med to spiraler og sikring	$\approx 8700 - 9600V$
8	Skrå plater	Al-rør med sveiste plater	$\approx 4200V$
9	Boltkryss	Al-rør med sveiste bolter i kryss	$\approx 4300V$
10	Platekryss	Al-rør med sveiste plater i kryss	$\approx 2400V$
11	Skrue	Al-rør med sveist vridd plate	$\approx 2800V$

I vedlegg D kan man se en tabell med manuelle måleresultater som er gjort under probetestene. Måleprobene 1-4 er utelatt siden det ikke ble utført måleserier på disse grunnet lave nivåer og kun enkle tester ble utført. I vedlegget kan man se at de fleste nivåene er stabile med unntak av noen målinger i en måleserie. Probe 5,8,9,10,11 var de mest stabile gjennom testene som ble gjort. Testverdiene må i enkelte tilfeller analyseres i segmenter pga. at det var store variasjoner i målingene mest sannsynlig pga. et oksidasjonslag i nyproduserte måleprober som gir en periode med lavere måleresultat. Dette kan man se på målingen i vedlegg D med måleprobe 9 i kolonne 6. Målingene er ustabile i de 14 første målingene før de stabiliserer seg på et jevnt resultat. Målingen i kolonne 7 i samme vedlegg er gjort

på en mikser hvor det var en feil på rørsystemet som førte til et unormalt høyt nivå ved målinger. Ved målinger utenpå plastrøret kunne man måle en ladning på over 10 kV, hvor man normalt ikke kan måle ladning i det hele tatt. Dette er mest sannsynlig et resultat av et skadet plastrør og/eller manglende jording.

Det ble gjort videoanalyser på test av måleprobene 9 og 11 for å se hvordan nivået oppfører seg og hvor stor forskjell det var i formen på de basert på forskjellen i måleresultatene etter testing. Disse to ble valgt med tanke på begrenset tid og tidkrevende arbeid med videoanalyse. I figur 4.11 så kan man se gjennomsnittet av fem måleserier som er tatt etter hverandre for måleprobe 9 og måleprobe 11. Mer detaljerte måleserier med måleprobene er vist i vedlegg G. Her kan man se at oppførselen i ladningen på måleproben har en tilnærmet lik form, men nivået er generelt lavere på måleprobe 11 i forhold til måleprobe 9.



Figur 4.11: Detaljerte måleresultater for måleprobe 9, grå linje, og måleprobe 11, i gult, under test av måleprober (hentet fra vedlegg G, figur G.6).

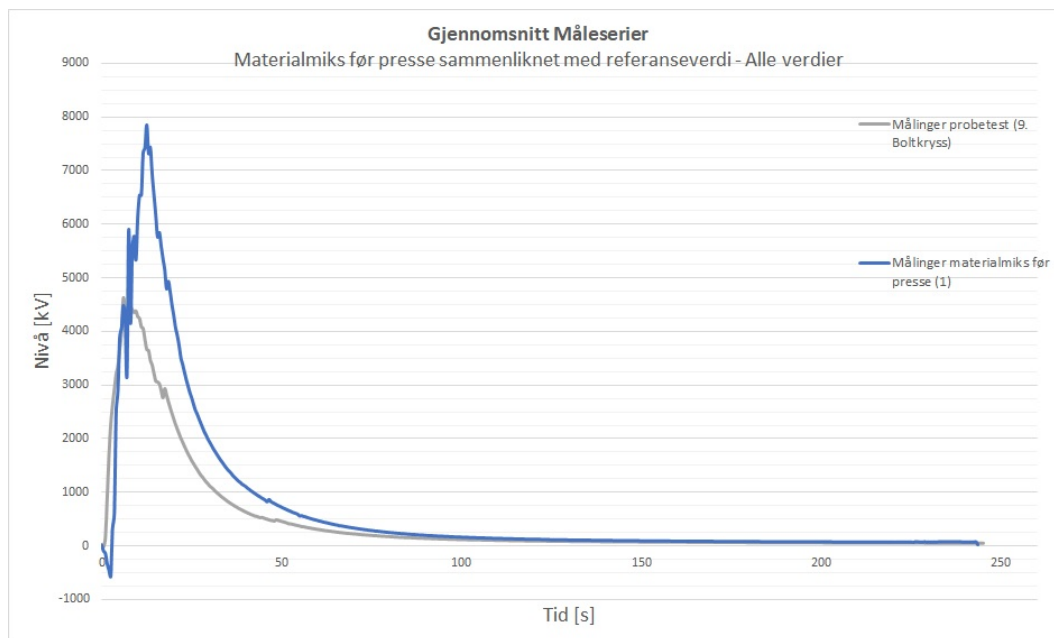
Etter testing av måleprober så ble måleprobe 9 valgt som måleprobe for materialmiks pga. at den hadde en robust oppbygning, var enkel å reproducere av mekanikerne og hadde et stabilt nivå med god oppløsning under testing. Måleproben ble satt inn i rørsystemet nærmest mulig mikseren for å få et referansepunkt for det statiske nivået. Referansenivået til målepunktet før transporten av materialmiks fra mikser til doserer ble satt til målingene

gjort under testingen av måleprobene pga. begrenset tid.

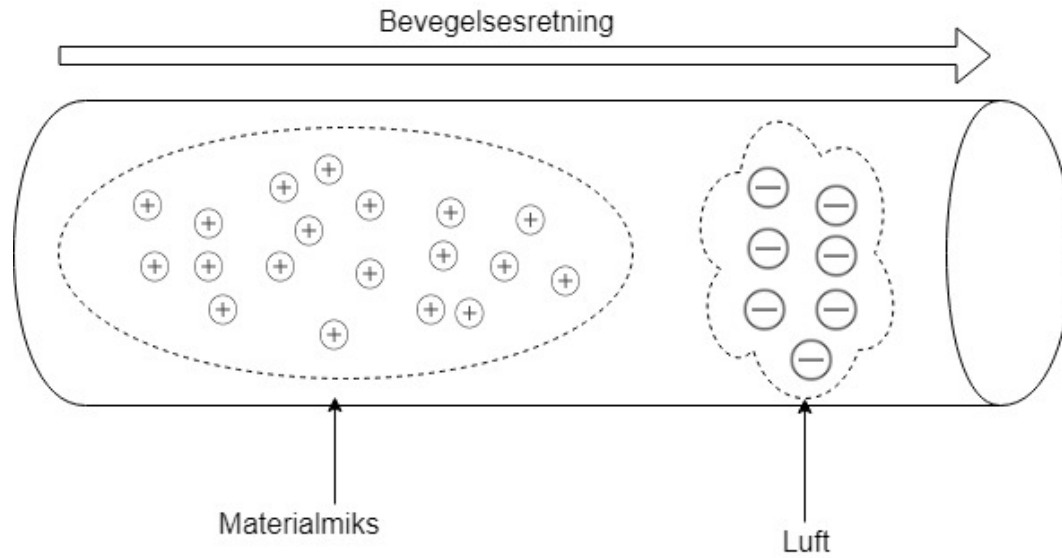
For å kunne fortsette målingene ble måleprobe 9 reproduisert to ganger for å totalt ha tre måleprober, slik at det var mulig å gjøre forsøk med jording av materialmiksen. Måleprobene ble nummerert fra 9.1-9.3, slik at en probe kan brukes til måling sammen med en annen probe med og uten jording. Måleprobe 9.1 var proben som alle målingene ble utført på og måleprobe 9.2 og 9.3 ble jordet under tester. Måleprobe 9.3 ble også ytterligere modifisert med å doble antall kryss med bolter, fra to til fire, for å øke kontaktarealet i røret og se om dette hadde noen virkning på testing med jording. Tester på denne måleproben kunne tyde på at måleproben genererte for mye statisk elektrisitet og enkle tester gjort med jording ga negative resultater. Den første testen innebar å sette måleprobe 9.1 og 9.2 i serie i rørsystemet med måleprobe 9.2 nærmest mikseren for så å måle virkningen som måleprobe 9.2 hadde på materialmiksen. I vedlegg F kan man se alle målingene gjort på materialmiksen med og uten jording. Test nr. 6 i vedlegget viser måleresultater for måleprobe 9.1 med måleprobe 9.2 to i serie uten tilkoblet jording. Målingene viser et stabilt nivå som er litt høyere enn test nr. 1, som er måleprobe 9.1 alene. Dette ga en indikasjon på at måleprobe 9.2 ikke genererer betydelig høyere elektrostatisk ladning ved å bli plassert i rørsystemet. Etter denne testen så ble måleprobe 9.2 tilkoblet jord vha. et metallbånd som ble festet rundt røret som ble koblet til nærmeste jordingspunkt. I de resterende testene med jording, test nr. 8 og 9, så ble den statiske ladningen redusert med $\approx 30 - 40\%$, som vist i figur G.11. Under disse testene ble det ikke gjort video-opptak, men den manuelle avlesningen gir et omtrentlig bilde av reduksjon i ladningen. Det ble også gjort en test hvor alle de tre måleprobene ble plassert i serie med jording på de to første og måleprobe 9.1 ble plassert lengst fra mikseren. Dette ble gjort som et forsøk på å fjerne ytterligere ladning i materialmiksen. Denne testen ga et nivå med tilnærmet lik reduksjon som med to måleprober og kan gi en indikasjon på at ladningen ikke kan fjernes fullstendig.

Det ble foretatt målinger på materialmiksen etter transporten rett før dosereren montert på pressen. Som man kan se av figur H.1 at ladningen i materialmiksen er større, mest sannsynlig pga. friksjon i rørsystemet. Hvis man ser dette i sammenheng med referanseverdien, som er målt ved mikseren før materialmiksen er transportert gjennom rørsystemet, som vist i figur 4.12, så kan man se at nivået øker gjennom rørsystemet. Ladningen i materialmiksen øker i gjennomsnittlig toppverdi fra mikseren til dosereren med ca. 3,2 kV, fra 4,6 kV til 7,8 kV. Det er for få tester og mange ukjente variabler til å si noe definitivt, men de kan tyde på at friksjon oppstår når materialmiksen transporteres gjennom rørsystemet.

Man kan også se av målingene gjort på materialmiks før presse, i vedlegg H, at ladningen i oppbygningsfasen, som vist i figur H.2, har negative nivåer. Dette kan tyde på at luften som suges gjennom rørsystemet av vakuumpumpene i forkant av materialmiksen blir påvirket av ladningen i materialmiksen ved at en liten seksjon med luft er negativt ladet, som vist i figur 4.13. Dette nivået ser man ikke i mellomnivået eller bunn-nivået og det oppstår kun rett før materialmiksen passerer gjennom måleproben. Mengden måleresultater og perioden for målinger er for liten til å si noe definitivt om hvordan ladningen i materialmiksen oppfører seg, men kan gi en indikasjon på hvordan den statiske elektrisiteten bygger seg opp i produksjonslinjen.



Figur 4.12: Sammenlikning av den statiske ladningen i materialmiksen før (ved mikser) og etter transport (før presse/doserer), (hentet fra vedlegg H, figur H.6).



Figur 4.13: En skisse av ladningen i rørsystem etter transport gjennom rørsystem hvor det mest sannsynlig dannes en seksjon med negativt ladet luft i forkant av materialmiksen.

Kapittel 5

Topphatt

Dette kapitlet omhandler målinger som er foretatt på topphatter og en analyse av disse resultatene. Det første delkapitlet omhandler teori mens de etterfølgende delkapitlene er om tester på *utladning* og *ladningsfordeling*, samt målinger ved målepunktene *etter presse* og *før snapcelle*.

5.1 Teori

Den ytre casingen til et ferdig produkt fra Hexagon Ragasco består av tre deler, som nevnt i underkapittel 2.2.2, og sprøytestøpes i prosessen IMP. Det er totalt seks presser fordelt på tre maskinsett som produserer topphatter, der tre presser produserer toppring, og de tre resterende produserer toppdel. Materialmiks fra mikserne transporteres til en doserer på hver presse, og topphatten støpes ved at smeltet materialmiks sprøytes gjennom fire innløp inn i verktøyet. Når verktøyet topphatten har fått sin endelige form og toppdelspressen åpner for henting, monteres toppring og toppdel sammen av robot ved at toppringen først hentes i sin respektive presse og deretter snappes på toppdel. Videre legger roboten topphatten på en bufferbane, slik at disse fraktes til snapcelle for montasje. Figur 5.1 viser bufferbaner og rejectbånd ved et pressesett, og man ser topphatter på vei videre i buffersystem til venstre mot toppen av figuren. Roboten legger defekte topphatter på renna under rejectbånd, som vist nederst i figuren.

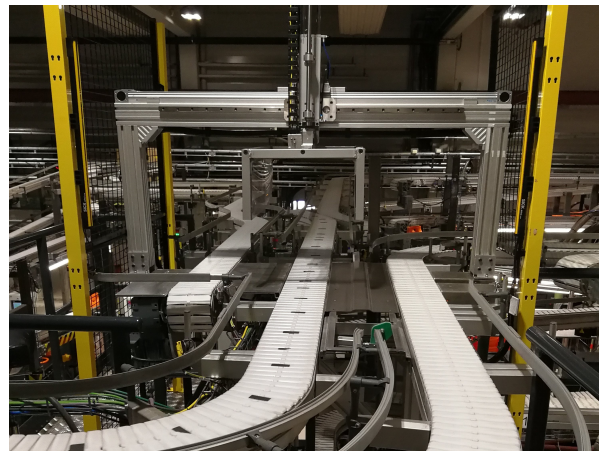


Figur 5.1: Presse 1 ved normal drift

Transporten av topphatter fra presser til snapcelle gjøres i tre bufferbaner, en for hvert maskinsett. Hver av bufferbanene har omtrent samme form og lengde, som bufferbanen vist i figur 5.2a, og gjennom systemet fraktes 8, 16 eller 32 topphatter om gangen. Dette gjør at lengden på banen, sensorer og annet utstyr er tilpasset dette antallet. Skulle bufferet bli fullt, for eksempel på grunn av stopp i snapcelle, plasseres de tilkommende topphattene på et rejectbånd, lik plasseringen av de fire topphattene i figur 5.1, slik at de kan plasseres på buffertraller. I løpet av transporten gjennom buffersystemet samles topphattene fra de tre pressene til ei felles bane, som til slutt ender i snapcelle. Derfor sitter det i bufferet en overskyver, som vist i figur 5.2b. Den midterste banen fra presse 1 går rett igjennom, mens topphatter fra presse 2 eller presse 3 skyves over i den midterste.



(a) Det er en bufferbane for hver presse som har omtrent samme form og lengde



(b) Topphatter samles inn på ett transportbånd i buffersystemet

Figur 5.2: Topphatter transporteres på bufferbaner fra presse til snapcelle i prosessen IMP

Videre i analysen vil pressesett som produserer topphatter bli omtalt som presse 1, presse 2 og presse 3. Fargene Blå (2), Grå (1), Rød (2), Gul (1) og Grønn (1) vil for enkelhets skyld bli omtalt som henholdsvis Blå, Grå, Rød, Gul og Grønn.

5.2 Utladning

Delkapittelet "utladning" omhandler målinger på topphatt over tid som har til hensikt å undersøke hvordan nivået av statisk elektrisitet utarter seg når topphatten kjøles ned i friluft, slik at man kan få innsikt i om det elektrostatiske nivået har en sammenheng med temperatur. På bakgrunn av det som er omtalt i underkapittel 2.5.4 er det sannsynlig at topphatten i liten grad vil lade seg ut i luften, siden det om vinteren er lav luftfuktighet.

5.2.1 Metode

Instrumentet ble plassert på stativ og tilkoblet et jordingspunkt nær produksjonslinjen. For topphatten ble det benyttet et bord med en isolerende flate slik at den kunne ligge i ro under hele måleserien, som består av 60 målinger over en time. Den nyproduserte topphatten ble løftet av bufferbanen med hansker slik at det skulle være minst mulig risiko for påvirkning, og lagt slik at måleinstrumentet måler på innløpet til venstre for logo. Avstanden fra bordet opp til punktet måleinstrumentet målte på var 7cm, og avstanden mellom topphatt og instrument var 2cm. Overflatetemperatur ble målt på omtrent samme punkt. Inne- og utetemperatur samt luftfuktighet i produksjonslokalet ble registrert, og en stoppeklokke ble aktivert. Første verdi ble registrert så fort oppsettet var klart, og avleste verdier på måleinstrument og termometer ble notert hvert minutt. Siden instrumentet slår seg av automatisk etter ca. 15 minutter ble det kontrollert skrudd av og på ved hver 10. måling. Oppsettet vises i figur 5.3, som samtidig viser måling av temperatur med IR-termometer. Et slikt oppsett tillot så like målinger så mulig innad i hver måleserie og i mellom alle måleseriene. En forutsetning var at oppsettet ble plassert på en slik måte at målingene ikke forstyrret produksjonen og motsatt, siden det her var svært viktig at topphatten fikk ligge i ro og at stativet med instrumentet sto i ro.

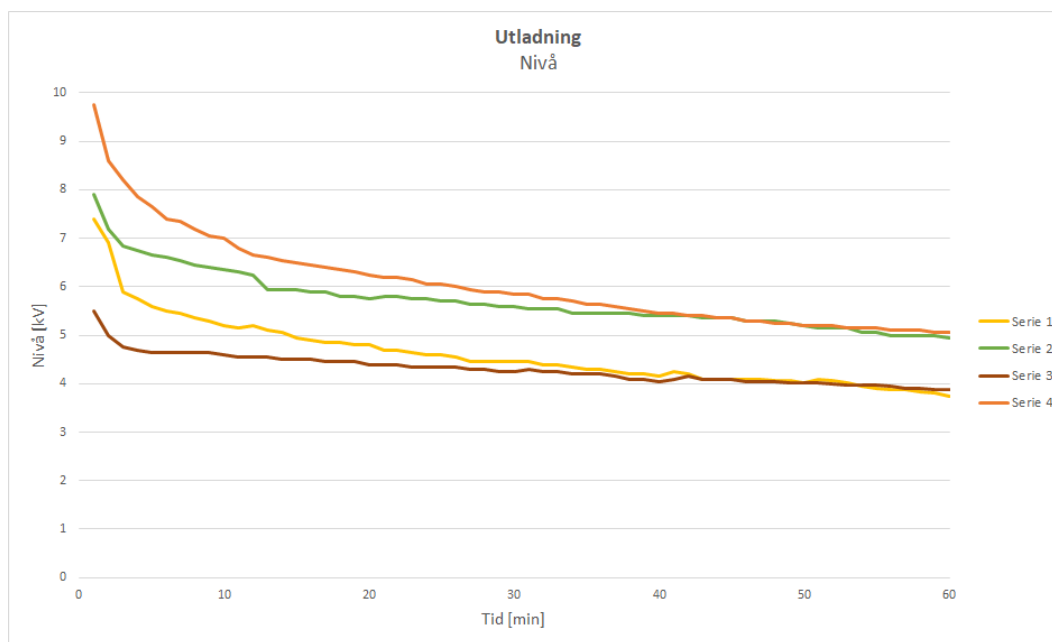


Figur 5.3: Oppsett ved måling av utladning på topphatt

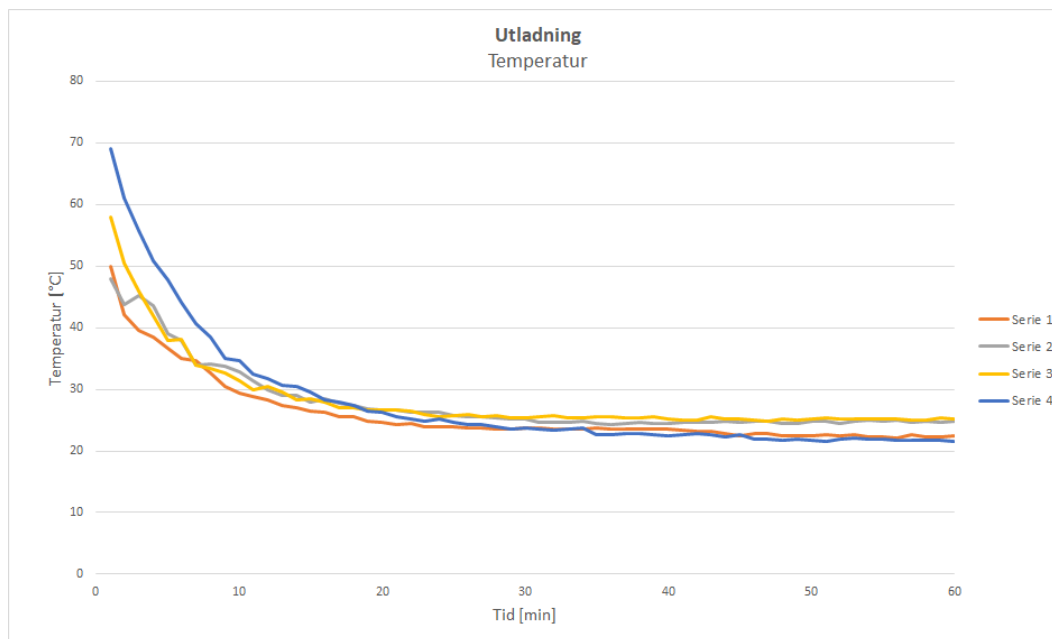
Etter selve målingene ble analysen gjennomført ved å se på formen på kurvene til datasettene, og det ble vurdert som hensiktsmessig å illustrere videre forløp vha. en matematisk tilnærming. På denne måten kan man matematisk illustrere hvordan utladningen antageligvis vil foregå videre, som kan gi resultater som kan være relevant for andre målepunkter og for generell forståelsen av statisk elektrisitet i plastprodukter. Tilnærmingen er gjennomført vha. Microsoft Excel.

5.2.2 Resultater og diskusjon

Måleseriene på dette målepunktet ble gjennomført på to forskjellige dager og er fire serier. Seriene er gjennomført på topphatter med fargene Grønn og Rød, og alle topphattene er hentet fra presse 2. Alle figurer finnes i vedlegg I. Alle måleresultater er representert i figurene 5.4 og 5.5, der figur 5.4 viser nivået av statisk ladning mens figur 5.5 viser registrerte temperaturer.

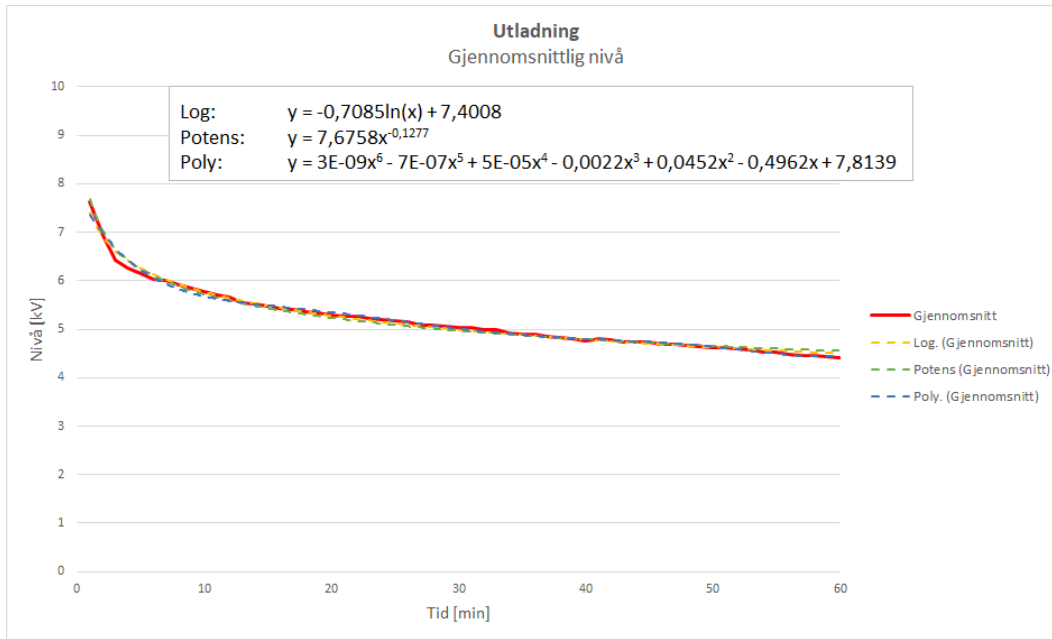


Figur 5.4: Alle måleresultater (nivå) ved måling av utladning på topphatt (hentet fra vedlegg I, figur I.1)

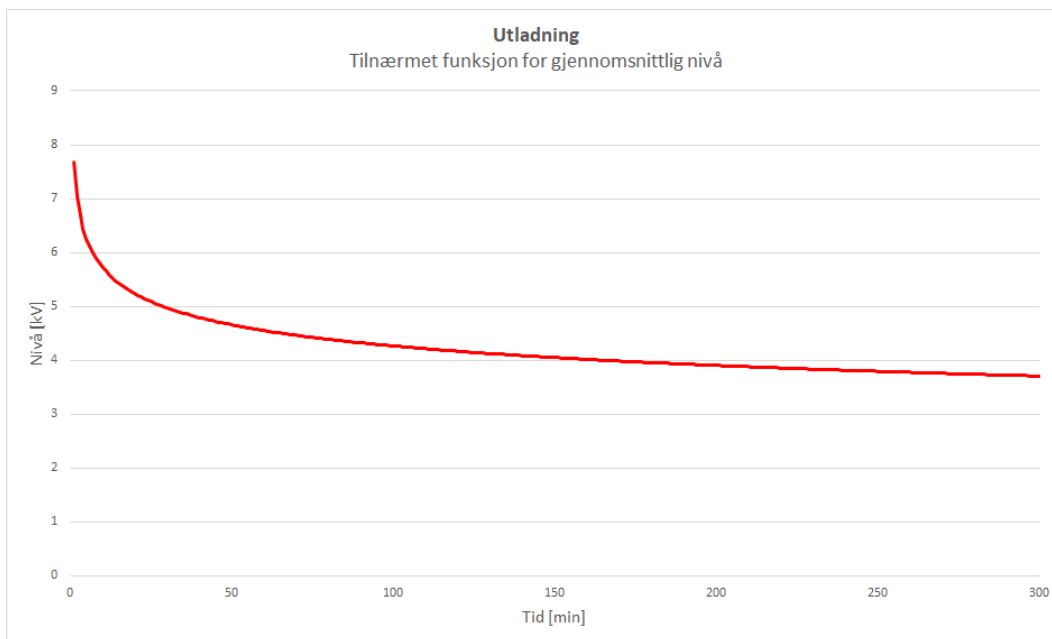


Figur 5.5: Alle måleresultater (temp) ved måling av utladning på topphatt (hentet fra vedlegg I, figur I.2)

Det fremgår tydelig at grafene i figurene 5.4 og 5.5 har en tilnærmet lik form, og at både nivå og temperatur er synkende under hele serien. Grafene i figur 5.5 er nærmere hverandre enn det de er i figur 5.4, samtidig som de stabiliserer seg mot slutten av serien. Man ser også at selv om temperaturenes startverdi er ulik ender alle omtrent i intervallet $[22, 25]$ °C. Dette er tilfelle også i figur 5.4, der startverdiene er mer ulike i forhold til sluttverdiene, og der to og to av seriene ender tilnærmet identisk. Dette indikerer i begge figurer et klart mønster som for eksempel serie 4 i figur 5.4 underbygger, der nevnte serie har en startverdi på 9,75 kV og likevel ender på 5 kV sammen med serie 2, som til forskjell hadde startverdi 7,9 kV. Det kan på bakgrunn av dette se ut til at både elektrostatisk nivå og temperatur raskt reduseres til en viss verdi i løpet av de 10-20 første minuttene, og at dette raskt stabiliserer seg i en relativt flat kurve.



Figur 5.6: Gjennomsnitt av alle måleresultater (nivå) ved måling av utladning på topphatt (hentet fra vedlegg I, figur I.3)



Figur 5.7: Matematisk fremstilling av elektrostatisk utladning til topphatt i fem timer (hentet fra vedlegg I, figur I.5)

Figur 5.6 viser gjennomsnittlig elektrostatisk nivå og tre forslag til matematisk tilnærming for nivået, mens figur I.4 viser tilsvarende for gjennomsnittlig temperatur. Figur 5.7 viser en slik matematisk tilnærming med funksjonen $y = 7,6758 \cdot x^{(-0,1277)}$ for og hvordan utladningen forløper de fem første timene, mens figur I.6 viser tilsvarende tilnærming for temperatur med funksjonen $y = 54,332 \cdot x^{(-0,223)}$. Figurene viser på lik måte som de faktiske målingene at kurven i stor grad har stabilisert seg innen en time er gått, men den viser at den vil fortsette å synke, og sannsynligvis vil verken nivå eller temperatur nå 0. Fem timer er valgt siden den gir en kurve som er tilstrekkelig for å illustrere poenget.

Denne testen ga et resultat der det vises tydelig at den statiske ladningen reduseres med 30-50% innen en time er gått, og at temperaturen har blitt stabil etter denne perioden. Årsaken til denne utladningen er sannsynligvis at lufta rundt topphatten leder elektronene vekk, i prinsippet er lufta rundt til en viss grad en jordleder. Litt uventende er det at dette skjer selv om luftfuktigheten i produksjonslokalet for tre av fire serier har vært ca. 10%, som er lavt, og som i følge teori i underkapittel 2.5.4 skulle tilsi luft som leder svært dårlig. Vår teori er at utladningen som skjer den første halvtimen henger sammen med den høye temperaturen på topphatten i dette tidsrommet. Høy temperatur gir antakelig økt luftfuktighet akkurat i området rundt topphatten, og vil dermed lede godt fram til temperaturen er tilstrekkelig redusert. Dette underbygges av formen på grafene i figurene, siden temperatur og utladning tydelig henger sammen. En annen årsak kan være at plastens kjemiske egenskaper endres med temperatur, og at energien i den ekstra varmen gjør at ladningene forflyttes ut i luft/ned i bordet fortere. Dersom den statiske ladningen skal reduseres ytterligere, vil sannsynligvis den beste løsningen være ionisering og/eller økt luftfuktighet kan som omtalt i underkapittel 2.5.4 gi dårligere arbeidsmiljø.

5.3 Ladningsfordeling

Delkapittelet "ladningsfordeling" omhandler målinger på topphatt som har til hensikt å undersøke hvordan den statiske ladningen er fordelt over hele topphatten. Dette kan gi innsikt i hvordan statisk elektrisitet i plast oppfører seg i sammenheng med de mekaniske påkjenninger og omgivelser. Som nevnt i underkapittel 2.2 er plast et isolerende materiale og det er dermed sannsynlig at den statiske ladningen ikke er jevnt fordelt. Dette skal i dette delkapitlet bekreftes eller avkreftes.

5.3.1 Metode

Fremgangsmåte og oppsett var svært likt som i delkapittel 5.2, og instrument på stativ kunne derfor brukes på lik måte. Forskjellen var at det måtte være mulig å måle hele veien rundt topphatten, og en roterbar krakk med en isolerende flate ble derfor benyttet. Instrumentet var tilkoblet et jordingspunkt nærme produksjonslinjen, og en nyprodusert topphatt ble løftet ned fra bufferbanen med en hanske og plassert midt på krakken med en avstand på 2cm fra instrumentet. Målinger ble gjort med en avstand på 4,5cm fra krakken og opp til punktet der instrumentet målte på topphatten, og krakken ble under måleserien rotert med klokka mens instrumentet sto i ro. Figur 5.8a viser oppsett med instrument på stativ og dens orientering i forhold til topphatt der man samtidig kan se hvordan oppsettet tillot rotering av topphatt selv om instrumentet sto i ro. Samtidig var det like viktig for dette målepunktet at oppsettet ble plassert slik at det ikke forstyrret produksjonen og motsatt, og det var viktig å ha kontroll på instrumentet i forhold til topphatt slik at avstanden på 2cm ble ivaretatt.



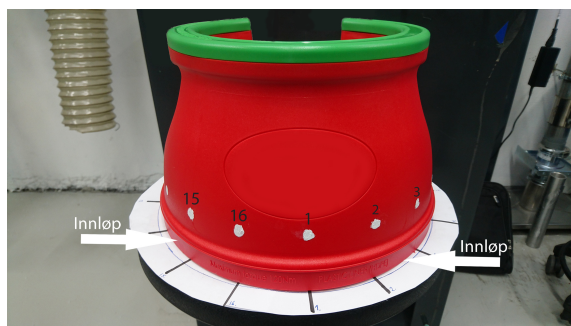
(a) Instrumentets plassering ift. topphatt



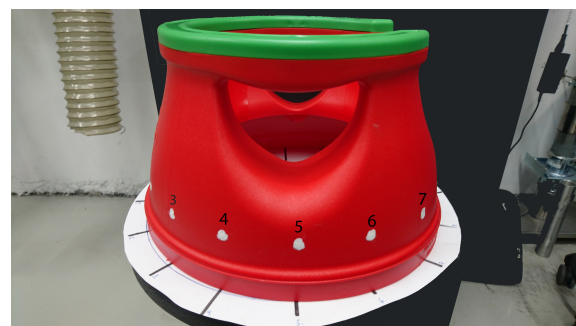
(b) Oversiktsbilde med mal for målepunkter

Figur 5.8: Oppsett ved måling av ladningsfordeling på topphatt

For å kunne gjennomføre konsistente målinger som er sammenliknbare, var det helt nødvendig å utforme en mal/gradskive for målepunktene rundt topphatten, som vist i figur 5.8b. Det ble utformet en skive som er delt inn i 16 deler der alle delene er like store, noe som resulterte i $22,5^\circ$ mellom hvert punkt. Selv om skjørtekanten på topphattene ikke nødvendigvis er en sirkel med konstant radius, ga denne en så god pekepinn som mulig på hvor instrumentet skulle plasseres ved de ulike punktene. Figurene 5.9 og 5.10 gir en god visuell framstilling av områdene det ble målt på og er i riktig rekkefølge i forhold til rotasjon med klokka. Punktene på topphattene i figurene er tegnet på i etterkant for å vise målepunktene.



(a) Bak



(b) Høyre side

Figur 5.9: Målepunkter ved måling av ladningsfordeling på topphatt



(a) Foran



(b) Venstre side

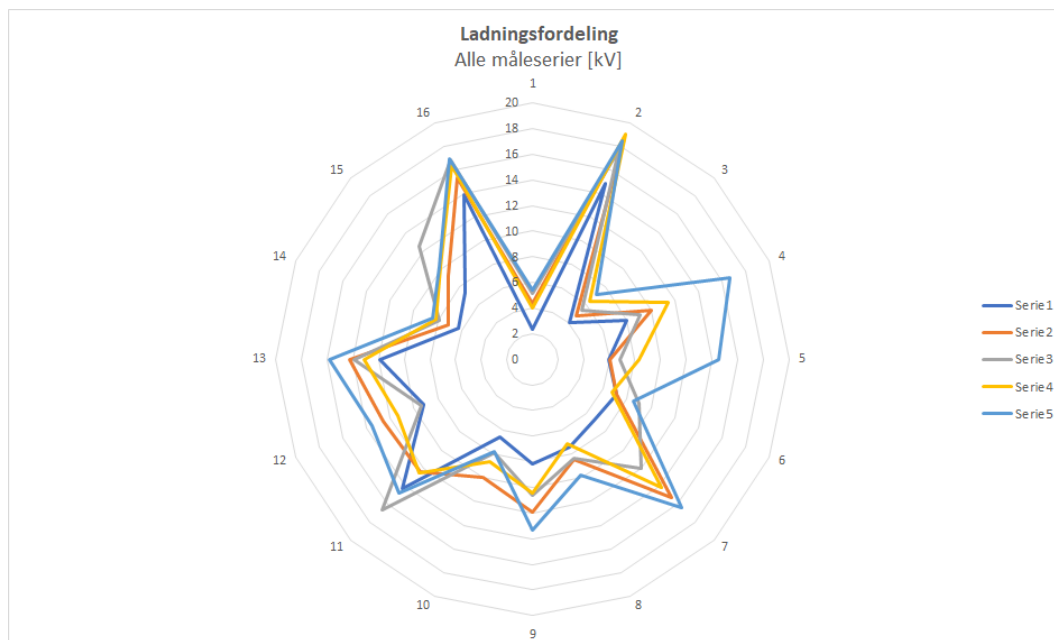
Figur 5.10: Målepunkter ved måling av ladningsfordeling på topphatt

Ved test, som omtalt i delkapittel 5.2, ble det funnet at den elektrostatiske ladningen avhenger av tiden etter produksjon. Derfor var det hensiktsmessig å gjennomføre målinger på ladningsfordeling etter at statisk nivå hadde stabilisert seg, og målinger ble derfor gjort tidligst 30 minutter etter at topphatten var produsert. Måleserien ble deretter gjort deretter ca. de neste to minuttene, og man antok at mesteparten av utladning er gjort slik

at man ved sammenlikning ser bort fra denne tiden. Dette betyr altså at måleserien gjort eksempelvis 36 minutter etter produksjon er likestilt med måleserie gjort 30 minutter etter produksjon. Hensikten er fordelingen av ladning, og det generelle nivået i seg selv er dermed ikke vektlagt.

5.3.2 Resultater og diskusjon

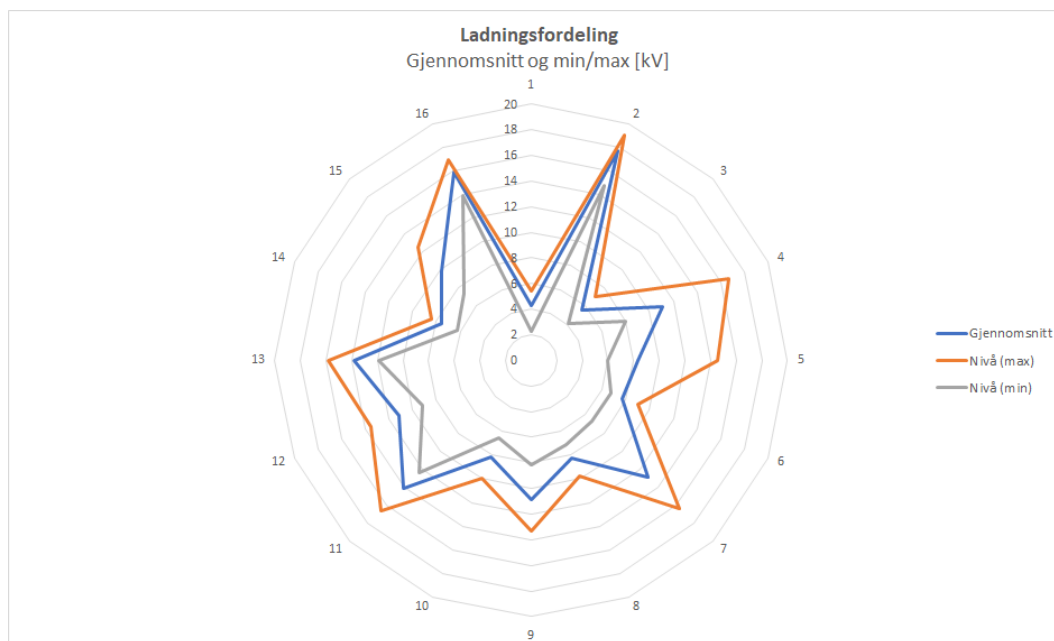
Måleseriene på dette målepunktet ble gjennomført over en dag og er fem serier med hver 16 punkter. Seriene er gjort på topphatter fra samme presse og med samme farge, og de er på samme måte som delkapittel 5.2 gjort som en kort test/verifikasjon. Alle figurer finnes i vedlegg J. Alle måleresultater representert ved kurver vises i figur 5.11 nedenfor, der figuren er et radardiagram med 16 punkter rundt og intervallet $[0, 20]$ kV på vertikal akse. Dette gir en visuell framstilling av hvordan ladningen er fordelt dersom man ser topphatten fra undersiden.



Figur 5.11: Alle måleresultater ved måling av ladningsfordeling på topphatt (hentet fra vedlegg J, figur J.1)

Av figur 5.11 kan man tydelig se et mønster i fordeling av ladning. Alle serier gjentar seg til en viss grad, og punktene 2, 4, 7, 11, 13 og 16 skiller seg ut ved at det er et nivå ≥ 16 kV. Dersom man tenker seg topphatten i forhold til punktene i figuren, er 1 midt på bak ved logo, og 9 er foran der toppringen er delt. Altså er innløpene omtrent ved punktene 3,

7, 11 og 15, noe som kan forklare toppene ved 7 og 11, mens punktene 2, 4, 13 og 16 i så måte skiller seg ut. Antakeligvis kan disse toppene ha en sammenheng med flytfrontene i verktøyet, selv om det da kan bli vanskelig å forklare den lave verdien ved punktet 1. Den kan derimot forklares ved at det er logo der, slik at den elektrostatiske ladningen oppfører seg annerledes på dette området. Samlet viser testen en relativt klar sammenheng mellom nivå og mekanisk påkjenning i presse.



Figur 5.12: Gjennomsnitt av måleresultater ved måling av ladningsfordeling på topphatt (hentet fra vedlegg J, figur J.2)

Figur 5.12 viser en serie med gjennomsnittene til hvert punkt, en serie med høyeste verdier for hvert punkt og en serie med laveste verdier for hvert punkt. Av figuren fremgår tydelig spredning og forskjell mellom laveste og høyeste serie, samtidig som mønsteret tydelig bevares, spesielt i serien med gjennomsnittene. Serien med høyeste verdier forsterker mønsteret, mens serien med laveste verdier er nærmere senter og med punktene 4 og 7 tydelig flatere. Poenget med figuren er hovedsak å få frem at mønsteret gjentar seg relativt likt over alle målingene, og at spredningen i de forskjellige punktene ikke er stor.

5.4 Etter presse

Målepunktet ”etter presse” omhandler måling på topphatt rett etter at den er produsert, og er et skritt videre i kartleggingen av statisk elektrisitet i produksjonslinjen i forhold til masterbatch og materialmiks. Formålet er å undersøke nivået av statisk elektrisitet i topphatt når den er fersk fra presse, og siden en topphatt produseres gjennom sprøytestøping som omtalt i delkapittel 2.2.2, er det sannsynlig med et nivå $\neq 0$. Målingene i delkapittelet er gjennomført for å bekrefte eller avkrefte dette, og slik at man kan sammenlikne det elektrostatiske nivået mellom ulike presser og farger.

5.4.1 Metode

I motsetning til målingene i delkapitlene 5.2 og 5.3 skulle målinger nå gjennomføres i produksjonslinjen ved normal drift, og ved måling ønsket man at topphatten var så fersk som mulig. På den måten fikk man en sammenheng med presse slik at resultatene kunne sammenliknes med andre målepunkter. I grove trekk var oppsett lik oppsettene i delkapitlene 5.2 og 5.3, og det var her svært viktig at topphatten ikke ble rørt av andre enn robot og at målinger ikke hadde noen påvirkning på produksjonslinjen. Det var hensiktsmessig at topphatter ble plassert på rejectbånd av robot, siden dette båndet er mye lavere orientert høydemessig enn bufferbanen og siden man på den måten hadde mer kontroll over buffersystemet. Instrument på stativ ble derfor plassert ved rejectbånd tilkoblet nærmeste jordingspunkt og på en slik måte at instrumentet målte på ei så stor flate som mulig på nedre del av topphatten. Ved alle målinger i hver serie var det en topphatt på hver side av den aktuelle topphatten det skulle måles på, slik at man unngikk å håndtere en topphatt før den ble målt. Inne- og utetemperatur samt luftfuktighet ble registrert før hver serie, og hver serie besto av 100 målinger. På grunn av at instrumentet slår seg av etter ca. 15 minutter ble instrumentet kontrollert slått av og på ved hver 25. måling. For hver måling ble temperatur på topphatt målt vha. termometer og notert sammen med ladningsnivået. Siden topphatter ble plassert på rejectbånd ved måling var det viktig at målte topphatter ble stablet på buffersystem eller i buffertraller for at produksjonen skulle fortsette som normalt. Figur 5.13 viser oppsett ved målinger, og viser topphattene på rejectbånd.



Figur 5.13: Oppsett ved målinger på topphatt direkte etter produksjon

Ved test, som omtalt i delkapittel 5.3, ble det oppdaget at ladningen ikke er jevnt fordelt på en topphatt. Dette gjorde at instrumentet måtte plasseres med en fornuftig avstand unna måleobjektet for å unngå unødvendig variasjon i måleverdier. Spredningsvinkel til instrumentet er ikke oppgitt i datablad, men det ble funnet at en avstand på 10 cm fra måleobjekt var passende, slik at det var viktig å stille inn instrumentet på riktig modus. Observasjon viste at robot plasserer topphatten slik at måleområde blir likt på presse 1 og 2, men at topphatten er rotert omtrent 90° med klokka ved presse 3. Dette vises i figur 5.14a og 5.14b, der man kan se at man på begge steder får en stor flate å måle på, og det ble derfor vurdert som ubetydelig for våre målinger.



(a) Presse 3



(b) Presse 1/2

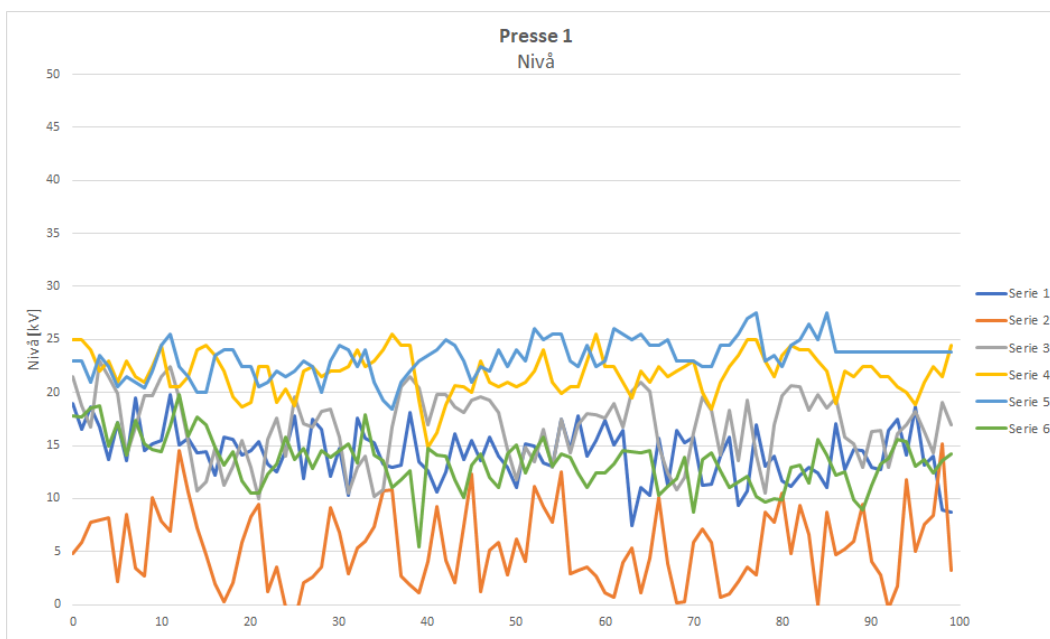
Figur 5.14: Måleområder etter presse

I analysen av måleresultater var det hensiktsmessig å sammenlikne farger, både uavhengig og avhengig av presse, presser i forhold til hverandre og ellers en generell sammenlikning i forhold til andre registrerte faktorer. Analysen inkluderer også tilsvarende sammenlikninger med prosesskapabilitet og prosesskapabilitetsindekser. Dette er et statistisk verktøy som beskrevet i delkapittel 3.1, og er et vanlig mål på spredning og yteevne til prosesser i industri. I denne analysen ble prosesskapabilitetsindeksen C_{pk} regnet ut for to ulike verdier for hver av disse grensene LSL og USL, slik at man fikk en prosesskapabilitet i forhold til gjennomsnittet for det aktuelle datasettet, og en prosesskapabilitet i forhold til konstante grenser. Dette vil altså si at $C_{pL} = C_{pU}$ for de første grensene, slik at gjennomsnittet er sentrert i spesifikasjonsområdet, mens $C_{pL} \neq C_{pU}$ for de faste grensene. De førstnevnte grensene har blitt satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt, mens de faste grensene har blitt satt ut i fra den serien med lavest gjennomsnitt, $LSL = 5,4$, og den serien med høyest gjennomsnitt, $USL = 36,8$. Disse er valgt slik for å få illustrert spredningen i forhold til et kjent intervall, og på grunn av at det ikke er noen industrielle krav til målingene på dette målepunktet. Det var forventet at dette var et stort nok intervall for dette målepunktet, som representerer spennet i datasettet, slik at man kunne sammenlikne med samme intervall på målepunktet omtalt i delkapittel 5.5.

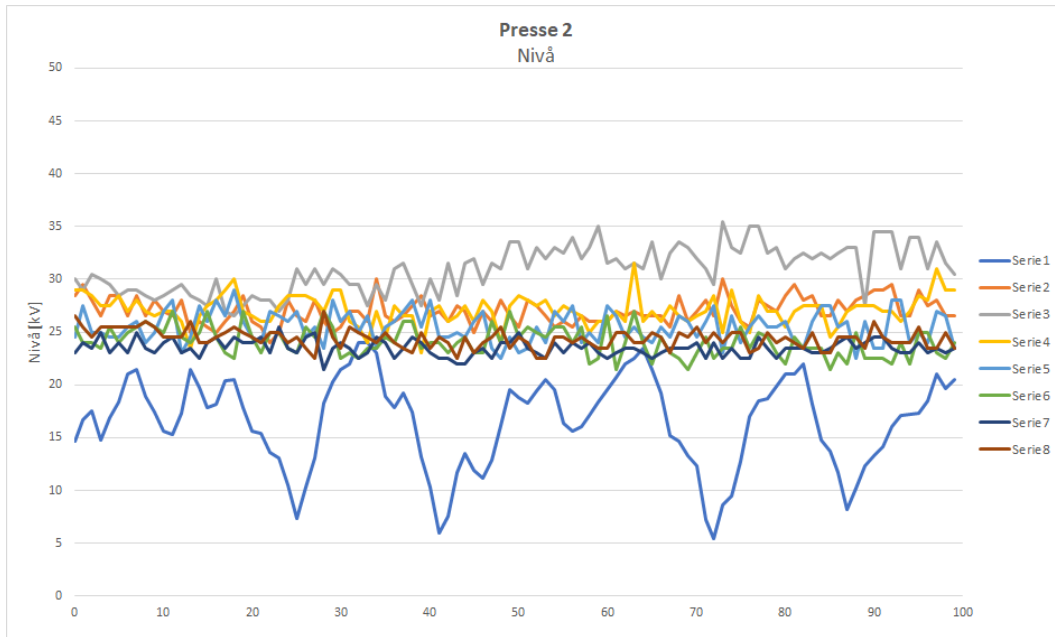
5.4.2 Resultater og diskusjon

Måleserier på dette målepunktet ble gjennomført i et tidsrom på ca. en måned. Alle målingene er gjort etter metoden som nevnt i forrige underkapittel, og det er forsøkt så godt det har latt seg gjøre å gjennomføre like mange måleserier på hver presse. Dette har resultert i 20 måleserier og dermed 2000 avleste verdier over fem forskjellige farger (Blå, Grå, Rød, Gul og Grønn). Alle figurer finnes i vedlegg K, og disse representerer alle måleresultater.

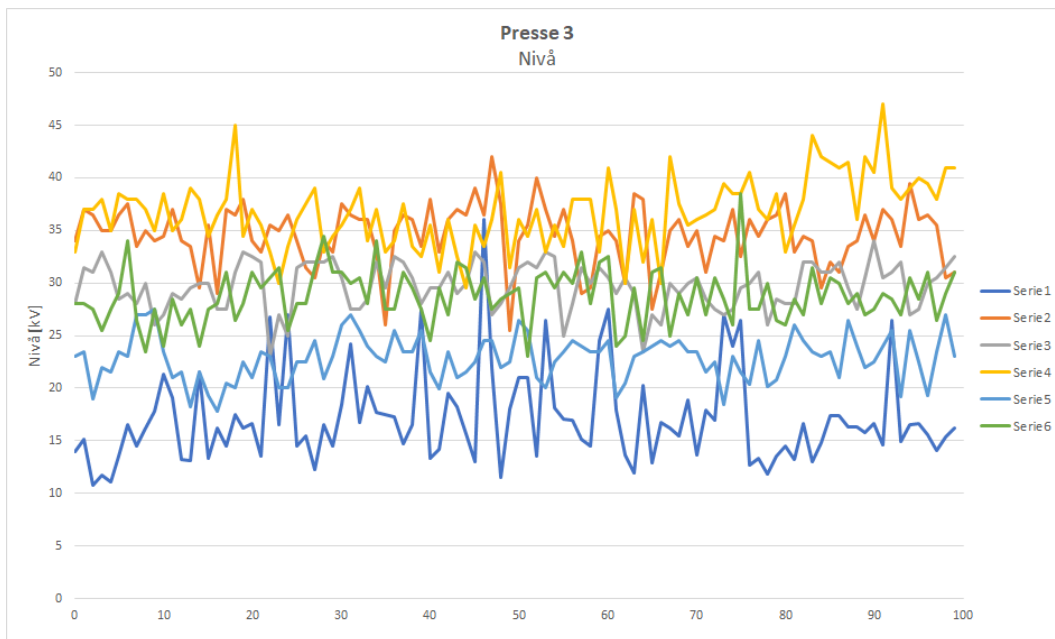
Figur K.1 viser alle måleresultater i form av elektrostatisk nivå, der alle måleserier er framstilt med hver sin farge. Tilsvarende viser K.2 alle måleresultater i form av registrerte temperaturer på topphattene, og begge figurene har like store intervall på vertikal akse. Disse er henholdsvis $[-10, 50]$ kV og $[30, 90]$ °C, og gjør at spredning i figurene er sammenliknbare. Av figur K.1 ser man at måleseriene er fordelt over et område som med unntak av en serie er $[0, 50]$ kV, og av figur K.2 ser man at alle temperaturer ligger i intervallet $[50, 80]$ °C. Det er vanskeligere å skille alle seriene med elektrostatisk nivå fra hverandre enn det seriene med temperatur, siden disse seriene tydelig er mer varierende og pulserende. Dette er en indikasjon på at det elektrostatiske nivået kan variere selv om temperaturen endres lite, nivå varierer gjennomsnittlig med 11,7kV når temperaturen gjennomsnittlig varierer med 4,3°C.



Figur 5.15: Alle måleresultater på topphatt etter støping ved presse 1 (hentet fra vedlegg K, figur K.3)



Figur 5.16: Alle måleresultater på topphatt etter støping ved presse 2 (hentet fra vedlegg K, figur K.4)



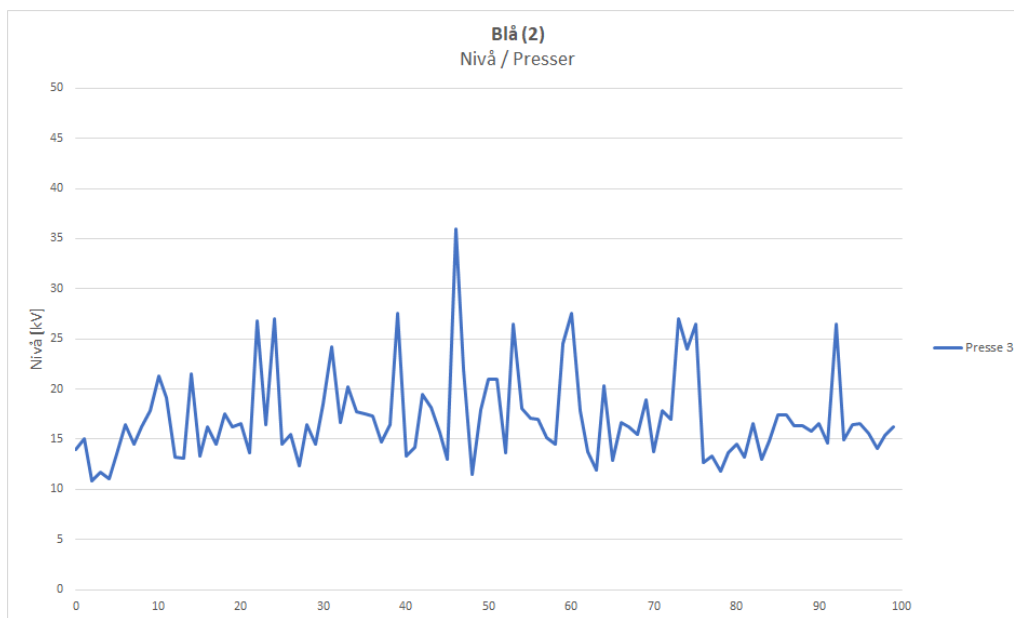
Figur 5.17: Alle måleresultater på topphatt etter støping ved presse 3 (hentet fra vedlegg K, figur K.5)

Figurene 5.15, 5.16 og 5.17 viser elektrostatisk nivå i forhold til presse, og alle tre figurer har grafer med intervallet $[0, 50]$ V på vertikal akse. Figurene viser måleresultatene tydeligere enn figur K.1, og viser at måleseriene er fordelt over henholdsvis intervallene $[-1.6, 27.5]$ kV for presse 1, $[5.4, 35.5]$ kV for presse 2 og $[10.8, 47.0]$ kV for presse 3. Dette er en indikasjon på at det finnes et mønster og at nivå avhenger av presse. Av nevnte vedlegg vil man kunne lese av at gjennomsnittlig nivå er 15,8kV for presse 1, 24,9kV for presse 2 og 28,3kV for presse 3. Man vil samtidig kunne lese av at gjennomsnittlig temperatur ikke varierer på samme måte som nivå, men det kan ha noe med gjennomføringen av målingene å gjøre: Ved test, som omtalt i delkapittel 5.2, er det observert at temperaturen på topphattene synker raskt de første minuttene etter at den er produsert.

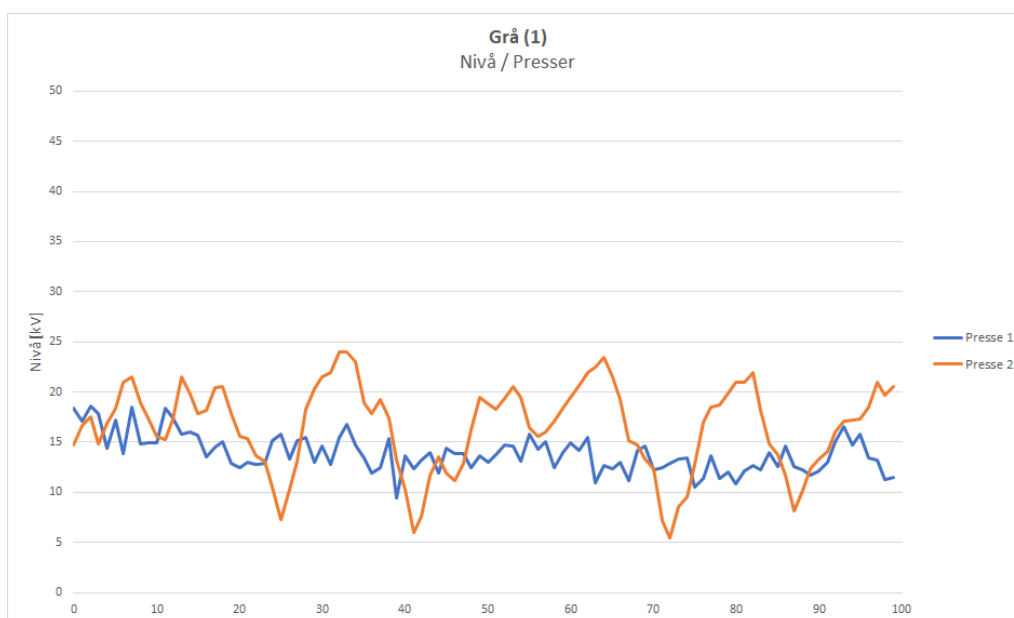
Figurene K.6, K.7 og K.8 er grafiske fremstillinger av nivå i forhold til temperatur. Seriene er de samme som i figurene K.3, K.4 og K.5. Aksene har verdier i de samme intervallene i alle tre grafer, som er $[50, 80]$ °C på horisontal akse og $[-5, 55]$ kV på vertikal akse. Av disse figurene fremgår det at hver serie er relativt konsentrert på ett område, men samtidig at noen av disse samlingene er mye mer spredt enn andre. Serie 1 ved presse 2 og presse 3 skiller seg ut mest, siden disse har en relativ stor spredning. En kan observere at seriene ved presse 1 i gjennomsnitt har lavere nivå enn seriene ved presse 2 selv om temperaturen er høyere. Samtidig vil man se at spredningen i nivå er i størrelsesorden 30-40kV for alle presser selv om temperaturene er ulike, og for samtlige presser gir ikke høyeste temperatur nødvendigvis høyest nivå. Av disse figurene er det også enkelt å lese av intervallet temperaturene ligger i, som for alle pressene er ulike. Det virker kritisk at målemetoden ikke tillater måling ved nøyaktig samme tidspunkt for de tre pressene, dersom man antar at topphattene holder samme temperatur øyeblikkelig etter produksjon uavhengig av presse.

Etter temperatur er det hensiktsmessig å se på luftfuktighet i forhold til gjennomsnittlig nivå, som vist i figur K.9. Grafen har intervallet $[0, 30]$ % på horisontal akse og $[0, 40]$ kV på vertikal akse. Man ser tydelig at ingen av luftfuktighetene er identiske, og samtidig at spredningen i luftfuktighet er størst ved presse 1. I tillegg ser man at spredningen er minst ved presse 2, selv om dette er pressen med flest punkter. Det viktigste figuren viser er at det elektrostatiske nivået oppfører seg motsatt enn forventet, siden lineær regresjon for punktene for alle tre presser gir en linje med positivt stigningstall. Altså gir økt luftfuktighet økt nivå, noe som strider i mot teorien i 2.5.4. Spredning i luftfuktigheter ved presse 1 skyldes stor spredning i tidspunkter.

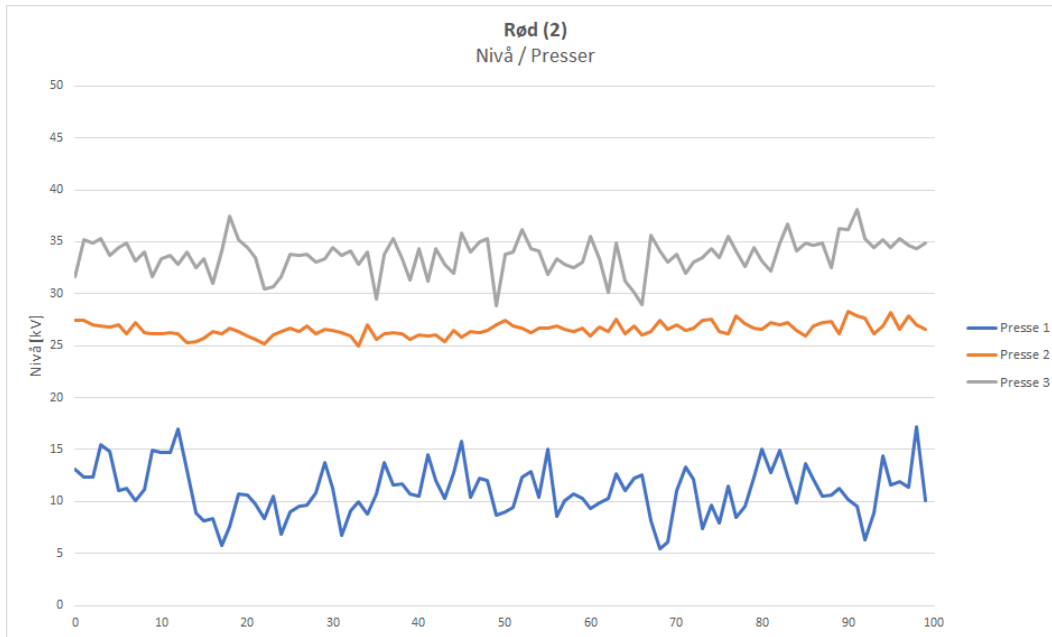
Figurene 5.18-5.22 viser gjennomsnittlig nivå for alle fargene inndelt etter de aktuelle pressene, slik at både presser og farger kan sammenliknes. Alle figurene har tall i intervallet [0, 50]kV på vertikal akse, og pressene i hver figur skiller med farge.



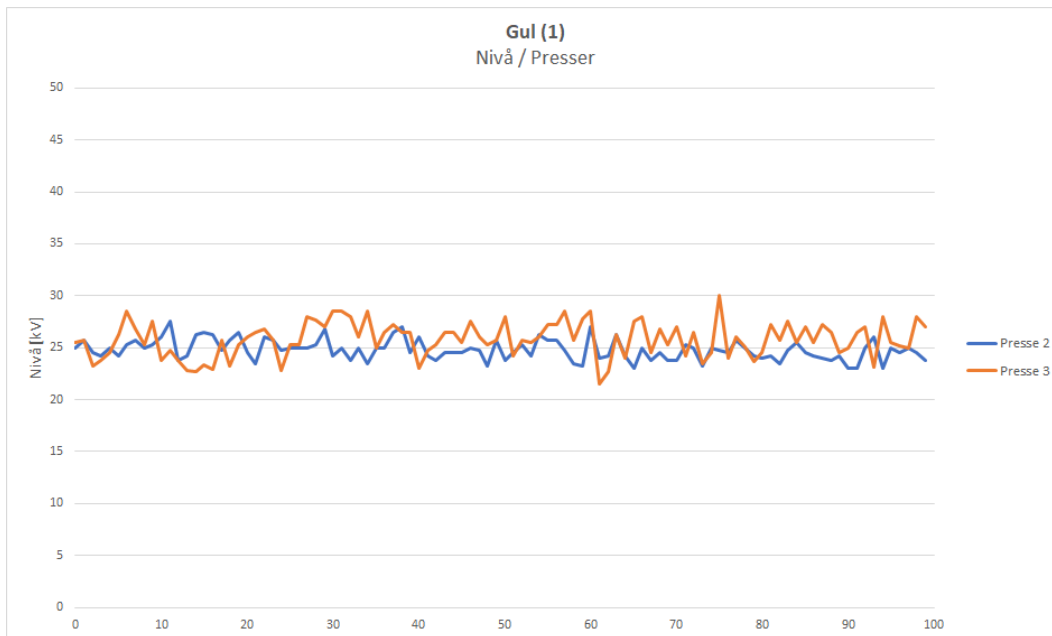
Figur 5.18: Blå - Gjennomsnittlig nivå i forhold til presse på topphatt etter støping (hentet fra vedlegg K, figur K.10)



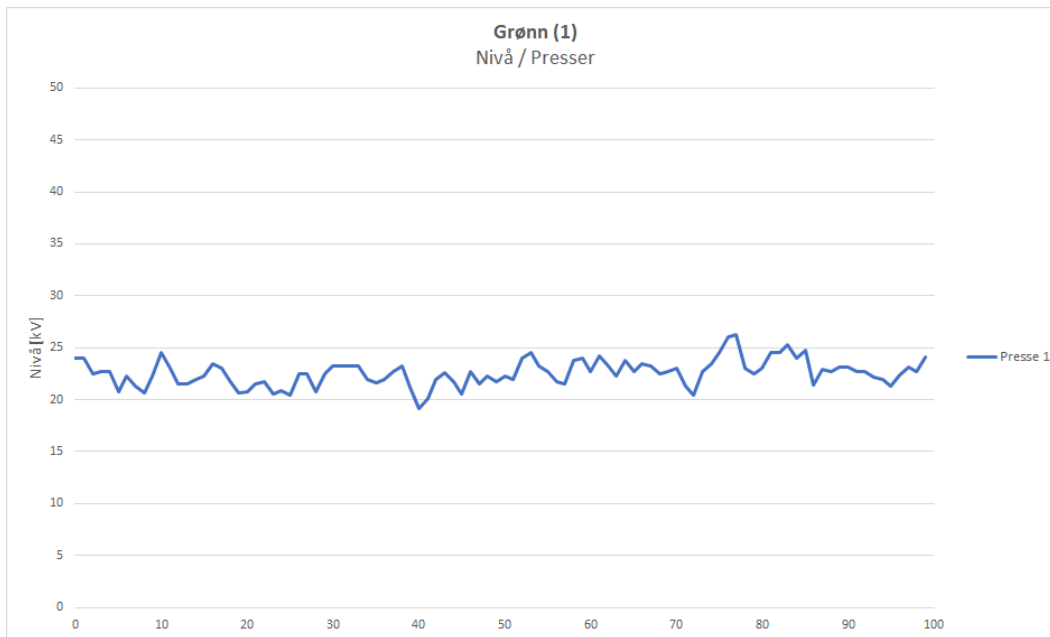
Figur 5.19: Grå - Gjennomsnittlig nivå i forhold til presse på topphatt etter støping (hentet fra vedlegg K, figur K.11)



Figur 5.20: Rød - Gjennomsnittlig nivå i forhold til presse på topphatt etter støping (hentet fra vedlegg K, figur K.12)



Figur 5.21: Gul - Gjennomsnittlig nivå i forhold til presse på topphatt etter støping (hentet fra vedlegg K, figur K.13)

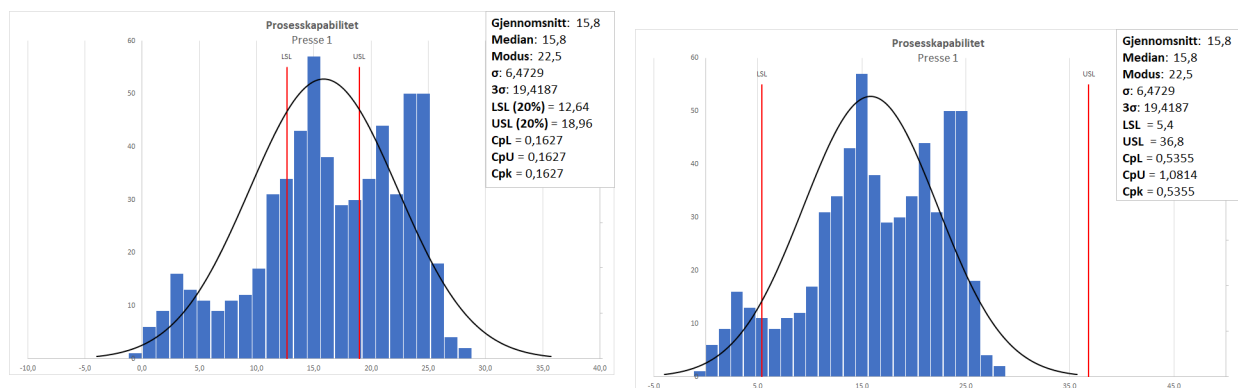


Figur 5.22: Grønn - Gjennomsnittlig nivå i forhold til presse på topphatt etter støping (hentet fra vedlegg K, figur K.14)

Figuren 5.18 består kun av en serie på ei presse og representerer derfor denne serien, mens figuren 5.22 har to ulike serier på samme presse. Figurene 5.19, 5.20 og 5.21 har serier ved flere ulike presser, og for Grå og Gul kan man tydelig se at seriene samler seg på et område. For Grå har man gjennomsnittene 13,89 kV (presse 1) og 16,51 kV (presse 2), mens man for Gul har gjennomsnittene 24,80 kV (presse 2) og 25,81 kV (presse 3). Det kan på bakgrunn av dette tenkes at samme farge gjennomsnittlig gir samme nivå uansett presse. Figur 5.20 strider i mot denne teorien, siden det her er et tydelig skille mellom nivåene på de ulike pressene. Til sammenlikning er gjennomsnittet ved presse 1 (11,03 kV) den laveste av alle gjennomsnittene, og gjennomsnittet ved presse 3 (33,68 kV) er det høyeste gjennomsnittet av alle. Gjennomsnittet ved presse 2 er 26,57 kV. I tillegg kan man lese av figur K.1 og K.2 i vedlegg K at den laveste serien ikke har den laveste temperaturen, noe som støtter opp mot observasjonene tilknyttet figurene K.6-K.8. Antakeligvis er det ikke gjort nok målinger over et stort nok tidsrom til at man kan si hvilke farge som "har rett", men det er samtidig Rød det er gjort flest målinger på. En helhetlig oversikt over gjennomsnittlig nivå i forhold til farge vises i figur K.15.

Figurene K.16 og K.17 viser gjennomsnittlig nivå for hver serie sortert etter farge, der figur K.16 viser nivå i forhold til registrert innetemperatur og figur K.17 viser nivå i forhold til registrert utetemperatur. Nivået representeres som prikker, som er fargekodet i forhold til den aktuelle fargen, og begge figurer har vertikal akse med tall i intervallet [0, 40]kV og en horisontal akse med intervall på 30°C. Figurene indikerer at høyeste nivå ikke nødvendigvis har høyeste temperatur, at laveste nivå ikke nødvendigvis henger sammen med laveste temperatur, og at spredning varierer med farge. For eksempel kan man ut i fra figur K.17 argumentere for at nivåene for Grå har et jevnere nivå med spredte temperaturer enn nivåene for Gul med samlede temperaturer, og at Rød tydelig illustrerer stort avvik i nivå (i intervallet [5, 37]kV) med en relativt jevn temperatur (i intervallet [2, 8]°C). I figur K.16 er alle nivåer for Rød innenfor et mindre temperaturintervall (i intervallet [22.6, 26.5]°C), noe som henger sammen med at spredning uavhengig farge er [22.0, 26.5]kV, men spredningen i nivå er lik som i figur K.17. Man kan samtidig se at Grå også her har jevnt nivå, men man må ta hensyn til at det sannsynligvis ikke er gjennomført nok målinger på samtlige farger, og at temperaturer sannsynligvis ikke har endret seg nok over måleperioden, selv om man ser en sammenheng tilsvarende den som ble funnet mellom nivå og temperatur på topphattene.

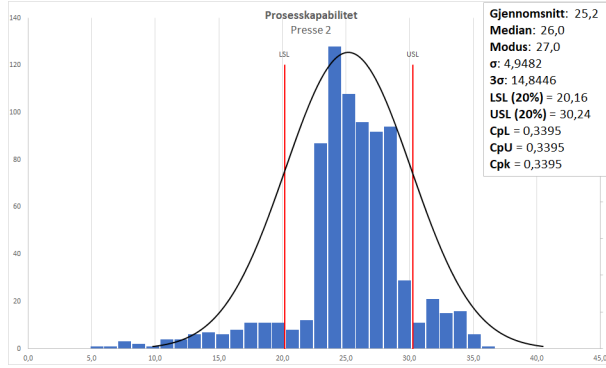
Analysen av prosesskapabilitet gjøres med to forskjellige verdier på hver av de øvre og nedre grensene, og figurene vil derfor bli listet opp to og to slik at det samme datasettet med to forskjellige spesifikasjonsområder er plassert ved siden av hverandre. Figurene 5.23 - 5.26 viser prosesskapabilitetsdiagrammer for hver av pressene, og til slutt alle presser, med samme oppsett i hver figur som vist i underkapittel 3.1. Analysen konsentrerer seg derfor først og fremst om sammenlikning mellom diagrammene med sammenliknbare grenser.



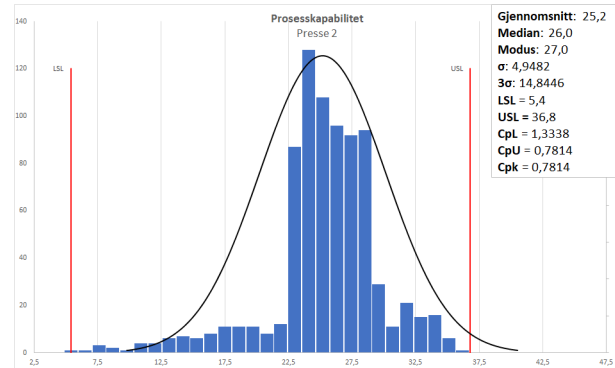
(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt (hentet fra vedlegg K, figur ??)

(b) LSL og USL er henholdsvis 5,4 og 36,8 (hentet fra vedlegg K, figur K.18b)

Figur 5.23: Prosesskapabilitet for presse 1

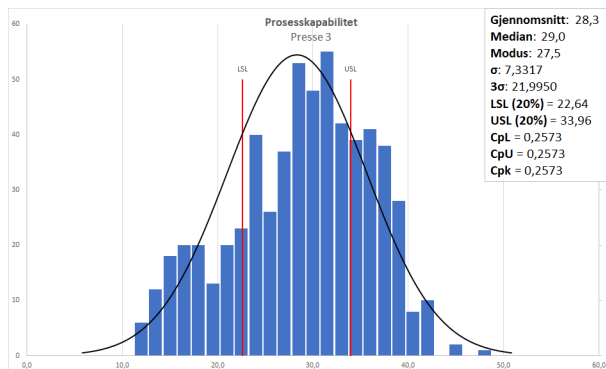


(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt (hentet fra vedlegg K, figur K.19a)

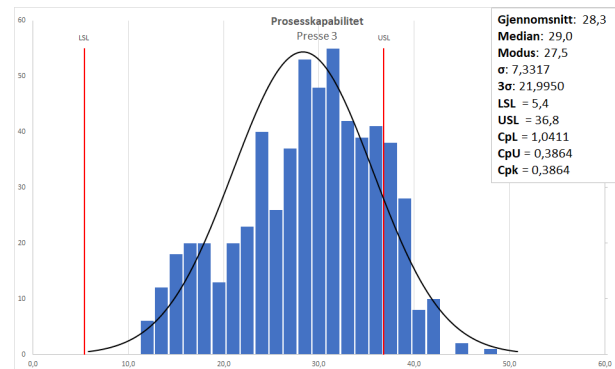


(b) LSL og USL er henholdsvis 5,4 og 36,8 (hentet fra vedlegg K, figur K.19b)

Figur 5.24: Prosesskapabilitet for presse 2

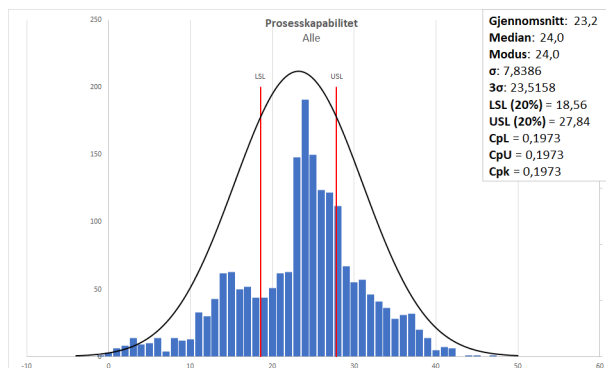


(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt (hentet fra vedlegg K, figur K.20a)

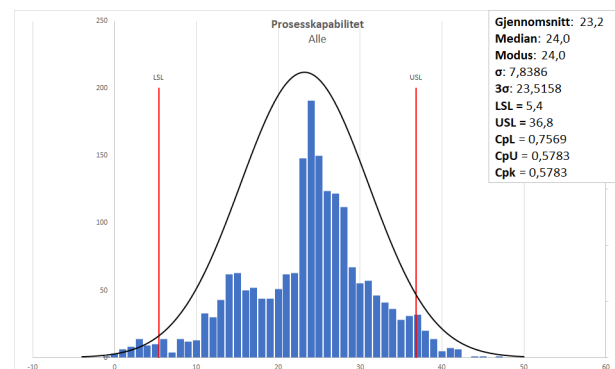


(b) LSL og USL er henholdsvis 5,4 og 36,8 (hentet fra vedlegg K, figur K.20b)

Figur 5.25: Prosesskapabilitet for presse 3



(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt (hentet fra vedlegg K, figur K.21a)

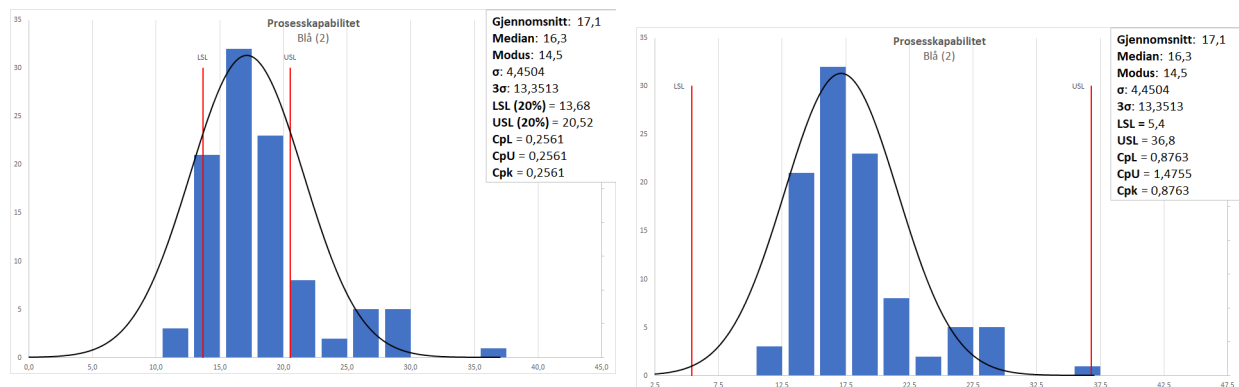


(b) LSL og USL er henholdsvis 5,4 og 36,8 (hentet fra vedlegg K, figur K.21b)

Figur 5.26: Prosesskapabilitet for alle presser

Av figurene 5.23a - 5.26a ser man at samtlige prosesskapabilitetsindekser er under kravet på 1,33, som nevnt i delkapittel 3.1. Man ser også at presse 1 har den laveste indeksen, $Cpk = 0,1627$, og at presse 2 har den høyeste indeksen, $Cpk = 0,3395$. Dette tyder på at 20% opp og ned i forhold til gjennomsnitt er et for smalt område for dette målepunktet, siden den høyeste indeksen er $1,33 - 0,3395 = 0,9905$ unna kravet. Når det gjelder de faste grensene som vist i figuren 5.23b - 5.26b, så ser man en klar forbedring der presse 3 har den laveste indeksen, $Cpk = 0,3864$, mens presse 2 også her har den høyeste indeksen, $Cpk = 0,78$. Her er ikke $CpL = CpU$, slik at man har en CpL for presse 2 og presse 3 som er over 1, mens man for presse 1 har en CpU som er over 1. For presse 2 er faktisk indeksen høyere enn kravet, $CpL = 1,3338$, slik at det er en lav CpU som gir lav Cpk . Dette indikerer at gjennomsnittet for samtlige presser ikke ligger midt i spesifikasjonsområdet, slik at kapabiliteten virker bedre for den ene grensen enn for den andre.

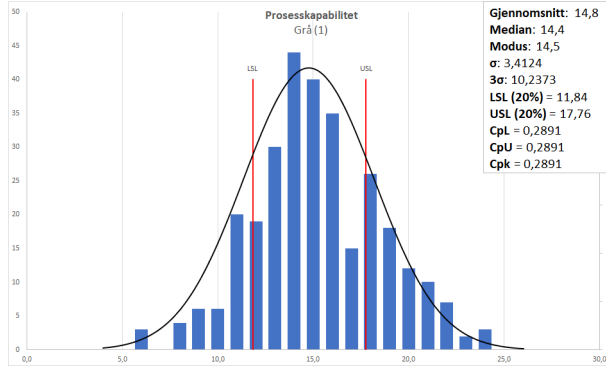
Videre presenteres prosesskapabilitetsdiagrammer for fargene, og analysen gjøres på samme måte som for presser. Diagrammene vises i figur 5.27 - 5.31, og er tilsvarende to og to diagrammer der grensene er forskjellige.



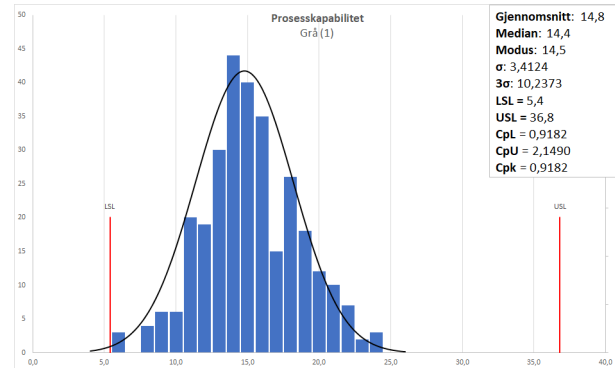
(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt (hentet fra vedlegg K, figur K.22a)

(b) LSL og USL er henholdsvis 5,4 og 36,8 (hentet fra vedlegg K, figur K.22b)

Figur 5.27: Prosesskapabilitet for farge Blå

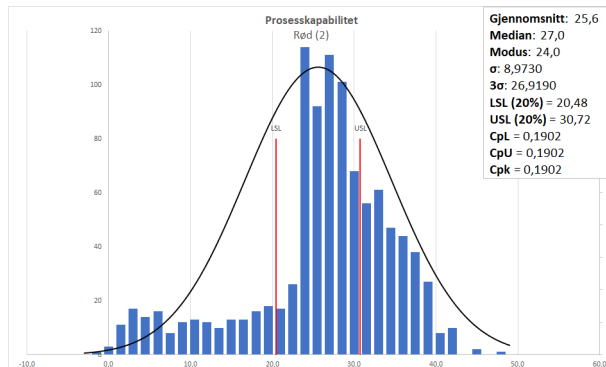


(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt (hentet fra vedlegg K, figur K.23a)

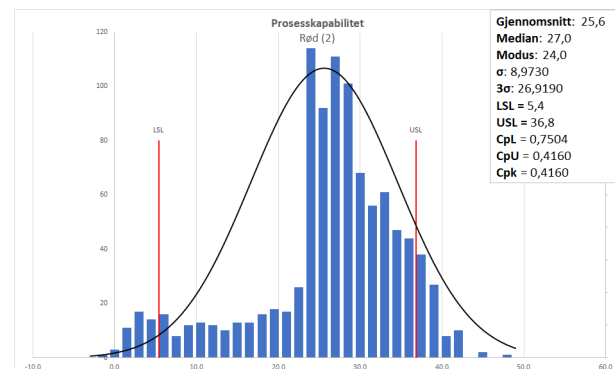


(b) LSL og USL er henholdsvis 5,4 og 36,8 (hentet fra vedlegg K, figur K.23b)

Figur 5.28: Prosesskapabilitet for farge Grå

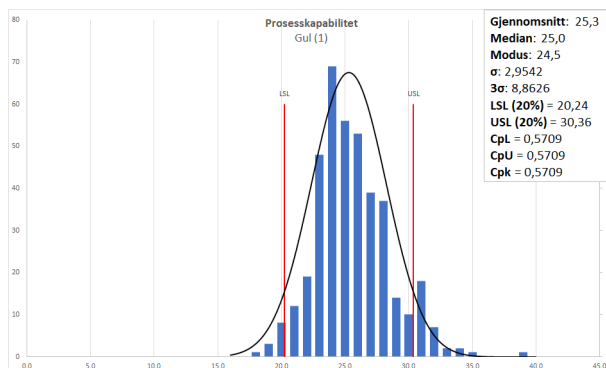


(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt (hentet fra vedlegg K, figur K.24a)

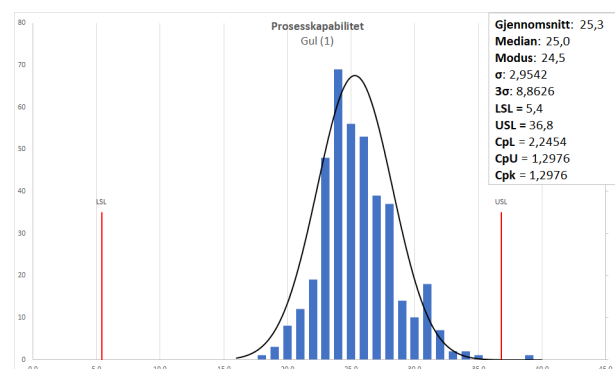


(b) LSL og USL er henholdsvis 5,4 og 36,8 (hentet fra vedlegg K, figur K.24b)

Figur 5.29: Prosesskapabilitet for farge Rød

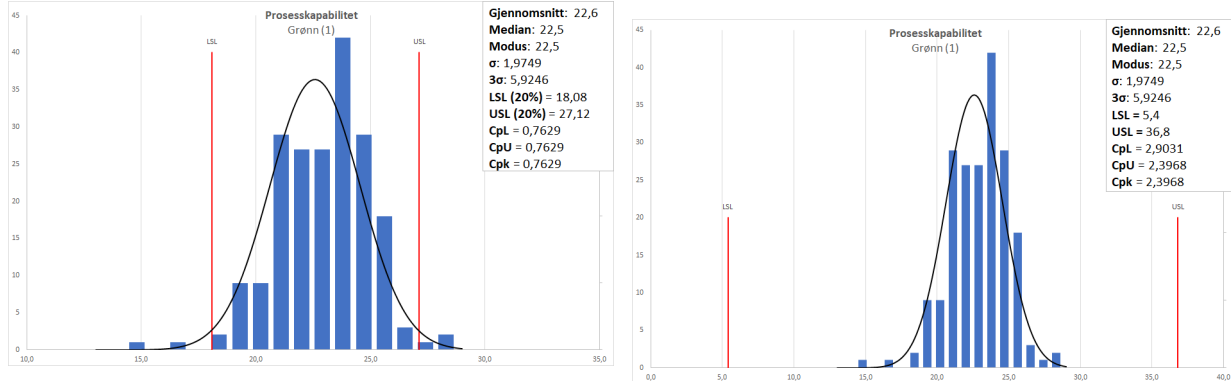


(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt (hentet fra vedlegg K, figur K.25a)



(b) LSL og USL er henholdsvis 5,4 og 36,8 (hentet fra vedlegg K, figur K.25b)

Figur 5.30: Prosesskapabilitet for farge Gul



(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt (hentet fra vedlegg K, figur K.26a)

(b) LSL og USL er henholdsvis 5,4 og 36,8 (hentet fra vedlegg K, figur K.26b)

Figur 5.31: Prosesskapabilitet for farge Grønn

Figurene 5.27a - 5.31a viser også her lave prosesskapabilitetsindekser, der Rød har lavest indeks, $Cpk = 0,1902$, mens Grønn har høyest indeks, $Cpk = 0,7629$. Den høyeste indeksen er her høyere enn for presser, men ingen av dem er over kravet. I så måte kan det virke som at 20% opp og ned i forhold til gjennomsnitt er for smalt også her, og for de fargene det er målt mindre på kan det være logisk at spredningen er mindre, et eksempel er Grønn som har høyeste Cpk . Samtidig har man nest laveste indeks, $Cpk = 0,2561$, for Blå der det er færrest målinger, slik at denne teorien ikke videre kan underbygges. Prosesskapabilitetsindeksene med de faste grensene vises i 5.27b - 5.31b, og viser også her en klar forbedring. Rød har også her laveste indeks, $Cpk = 0,4160$, og Grønn har også her høyeste indeks, $Cpk = 2,3968$. I likhet med indeksene for presser er det for samtlige presser slik at $CpL \neq CpU$, der Grå har et godt eksempel: $CpL = 0,9182$, $CpU = 2,1490$. Det kan se ut til at gjennomsnittene her er enda lengre unna senter i spesifikasjonsområdet enn gjennomsnittene for presser, slik at grensenes evne til å representere spredning kan være litt begrenset. Samtidig vil nettopp dette vise en tendens i forhold det man i følge gjennomsnittene skulle ha forventet, og de viser en faktisk spredning som kan sammenliknes. Konsekvensen er at det er kun Grønn som er innenfor kravet på 1,33, mens Gul er nærme med $Cpk = 1,2976$.

Det ble ved de siste måleseriene gjennomført test med jordet probe før doserer for å se om dette hadde noen effekt på den statiske ladningen i topphattene. Resultatene, som er representert ved serie 7 og 8 i figur K.4, viser ingen sammenheng siden gjennomsnittlig nivå faktisk økte med 0,9kV. Det er sannsynligvis for mange andre faktorer som spiller inn, som gjør at det ikke er nok med en liten test. Det kan derfor tenkes at ladningen i materialmiksen ikke overføres direkte til den ferdig støpte topphatten, slik at all statistisk ladning genereres i presse eller på grunn av andre faktorer som f.eks robot.

5.5 Før snapcelle

Målepunktet ”før snapcelle” omhandler måling på topphatt rett før den sendes inn i snapcelle for montasje på resten av produktet. Formålet er å undersøke nivået av statisk elektrisitet på topphatt etter at den har gått gjennom buffersystemet, slik at man har muligheten til å sammenlikne nivået før og etter systemet for å kunne se om det genereres statisk ladning. Man har ingen andre forutsetninger enn målinger gjort på de allerede omtalte målepunktene, og det forventes derfor en ladning tilsvarende ”etter presse” med en naturlig utladning som vist i delkapittel 5.2.2. Dette delkapitlet kan bekrefte eller avkrefte om denne forventningen innfrir.

5.5.1 Metode

I likhet med målingene omtalt i delkapittel 5.4 skulle målingene her gjøres i produksjonslinjen ved normal drift. Derfor kunne samme oppsett benyttes, og instrument på stativ ble satt opp i produksjonslinjen og tilkoblet nærmeste jordingspunkt. Transportbåndet var plassert lavt høydemessig i utgangspunktet, slik at målinger kunne gjøres mens topphattene ble transportert i linjen. Instrumentet ble plassert slik at målinger ble gjennomført med en avstand 10cm unna topphatten, og overflatetemperatur ble ved gjennomføringen målt på omtrent samme punkt. Ved måling var det en topphatt på hver side av den aktuelle topphatten det skulle måles på, for å etterligne forrige målepunkt. Det ble observert at transportbåndet var bredere enn topphatten slik at det var stor variasjon i avstandene til instrumentet, og det ble derfor festet en plastkloss til transportbåndet som skjøyv alle topphattene til samme posisjon. I tillegg ble det observert at alle topphatter kom med tilfeldig rotasjon som følge av transportetappen fra presse gjennom buffersystemet, og det ble besluttet at dette måtte neglisjeres siden det var fare for å ødelegge måleresultatene ved å håndtere topphattene manuelt. En måleserie besto av 100 målinger, og dersom det tok over 15 minutter å gjennomføre en serie ble instrumentet kontrollert skrudd av og på. Inne- og utetemperatur samt luftfuktighet ble registrert ved seriestart. Figurene 5.32a og 5.32b viser henholdsvis målepunktet med omgivelse og hvordan instrumentet er satt opp i forhold til transportbåndet.



(a) Utsikt inn i snapcelle fra målepunkt



(b) Oppsett av instrument ved målepunktet

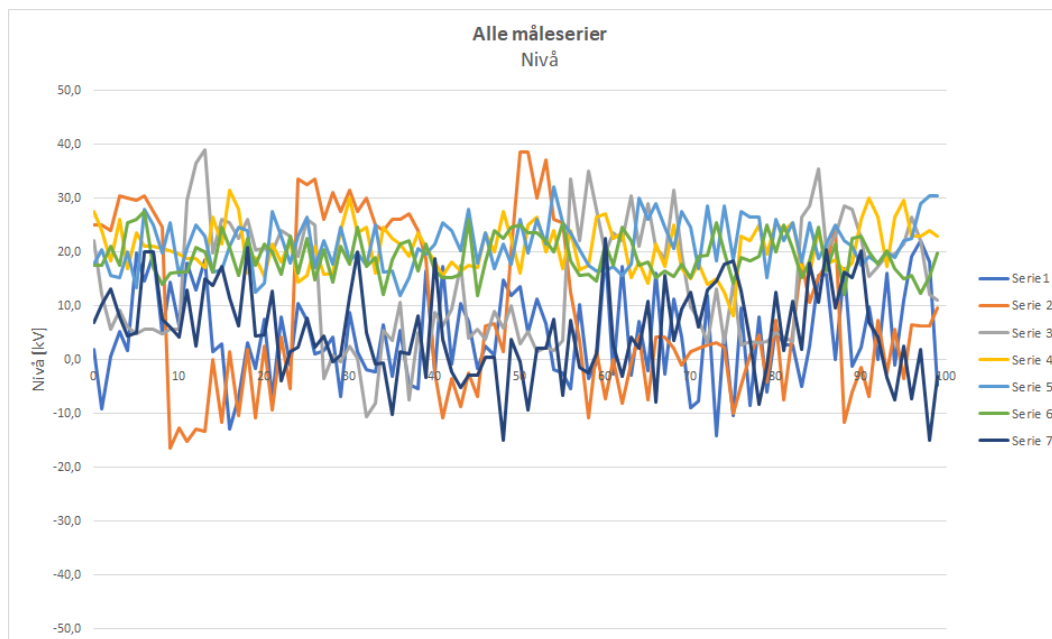
Figur 5.32: ”Før snap”, målepunkt før topphatt monteres på produkt

I analysen av måleresultater så vi primært på måleresultatene mot de andre registrerte parametrene, men også prosesskapabilitet og prosesskapabilitetsindekser. Prosesskapabilitetsdiagrammene er utformet på den måte som beskrevet i 3.1. Analysen ble gjort på samme måte som i delkapittel 5.4, slik at prosesskapabilitetsindeksene ble regnet ut på samme måte: I forhold til gjennomsnitt for det aktuelle datasettet og i forhold til de faste grensene $LSL = 5,4$ og $USL = 36,8$. De faste grensene er like som i forrige delkapittel, og de ble brukt siden det før måling var forventet samme verdier og spredning som for ”etter presse”. Samtidig ble disse og de andre grensene brukt til illustrere spredning i forhold til et kjent intervall.

5.5.2 Resultater og diskusjon

Alle måleserier er gjort etter den nevnte metoden i forrige underkapittel, og det er forsøkt å gjøre så mange målinger som mulig på så mange ulike farger som mulig. Alle måleserier er gjort på så lik måte som mulig, og de har bestått av 100 enkeltmålinger. Dette har resultert i 700 målinger over tre ulike farger (Blå, Grå og Rød), men det er kun en måleserie på hver av fargene Blå og Grå. En serie har i snitt tatt 27 minutter, mens 20 minutter har vært mest vanlig. Variasjonen i tid kommer av variasjon i produksjonslinja, siden dette målepunktet avhenger av produksjonsflyt inn i snapcelle. Alle figurer finnes i vedlegg L, og disse representerer alle måleresultater.

For å få et overblikk over alle resultater viser figur 5.33 alle måleresultater i form av elektrostatisk nivå, mens figur L.2 viser alle registrerte temperaturer. Begge figurer har grafer med intervallet $[-50, 50]$ på vertikal akse.

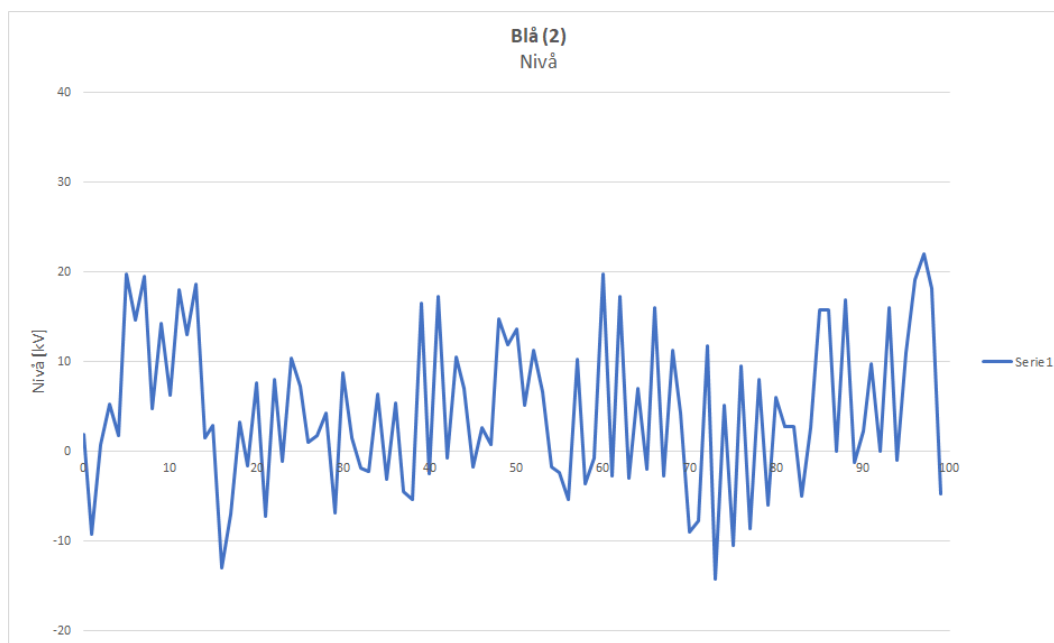


Figur 5.33: Alle måleresultater (nivå) ved måling på topphatt før snapcelle (hentet fra vedlegg L, figur L.1)

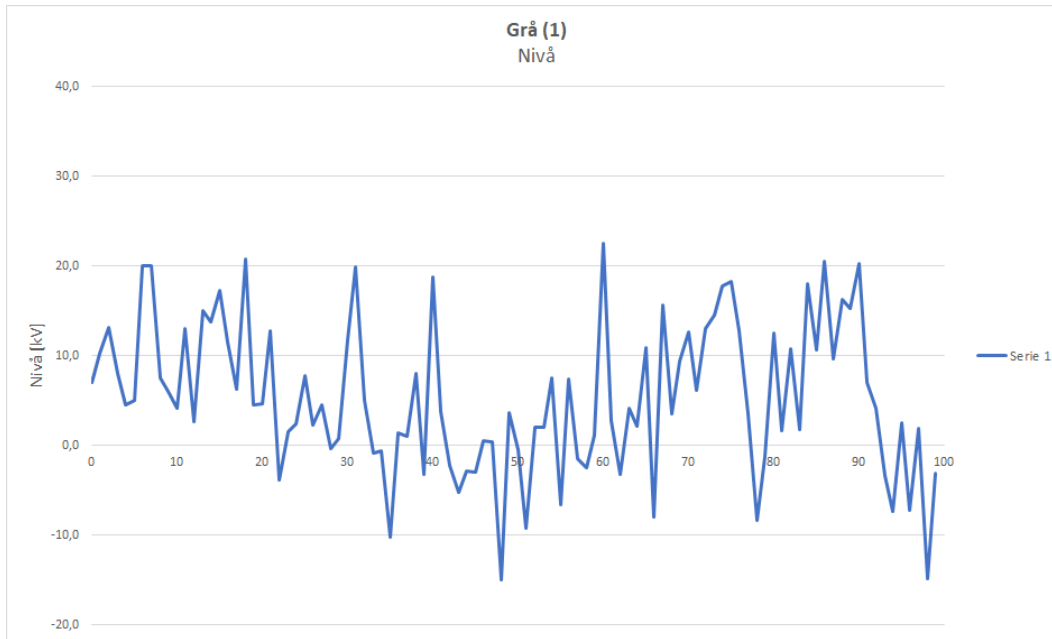
Man ser av figur 5.33 at måleseriene er spredt omtrent over intervallet $[-20, 40]$ kV, og at flere av seriene har en pulserende form. Serie 2 og 3 er de som skiller seg mest ut i så måte, der serie 2 har en klar puls der polaritet skifter for omtrent hver 16. måling. Det ble registrert gjennom denne serien at det mest sannsynlig er topphatter fra presse 3 som har de positive verdiene. Videre ser en av figur L.2 at temperaturene er meget stabile ved dette målepunktet, noe som er naturlig siden alle topphatter er romtemperert innen de kommer til snapcelle. Samtidig kan man se av figurer i L at temperaturene ikke nødvendigvis passer 100% med den registrerte romtemperaturen, men dette er mest sannsynlig på grunn av usikkerhet i instrumenter og at det er to forskjellige instrumenter som brukes til disse målingene. Figur L.3 illustrerer de små forskjellene i temperatur ytterligere, men man ser at noen av målingene i serie 7 skiller seg ut. I figur L.8 ser man at den registrerte romtemperaturen ved denne serien er det nest høyeste. Det kan tenkes at noen av disse målingene skiller seg ut på grunn av forskjell i overflatetemperatur og romtemperatur, særlig dersom disse topphattene har beveget seg kontinuerlig gjennom buffersystemet slik at de er så ferske som mulig.

Videre analyseres gjennomsnittlig nivå i forhold til luftfuktighet, som vist i figur L.4. Figuren viser høyeste nivå (21,5kV) ved luftfuktighet lik 16%, og viser at høyest luftfuktighet (22,8%) gir nest lavest nivå (5,37kV). Til sammenlikning kan man lese av at luftfuktighet på 16,1% gir gjennomsnittlig nivå lik 13,9kV, og at lavest luftfuktighet (10,1%) gir lavest nivå (4,5kV). Gjennomsnittlig luftfuktighet er i intervallet [10.1, 22.8]%, mens tilsvarende gjennomsnittlig nivå er i intervallet [4.5, 21.5]kV. Disse resultatene strider med teorien i 2.5.4, siden det er lavest luftfuktighet som gir lavest elektrostatisk nivå. Resultatene er sannsynligvis litt forstyrret av de negative verdiene i flere av seriene, og det kan derfor tenkes at tendensene man ser her ikke er helt korrekte.

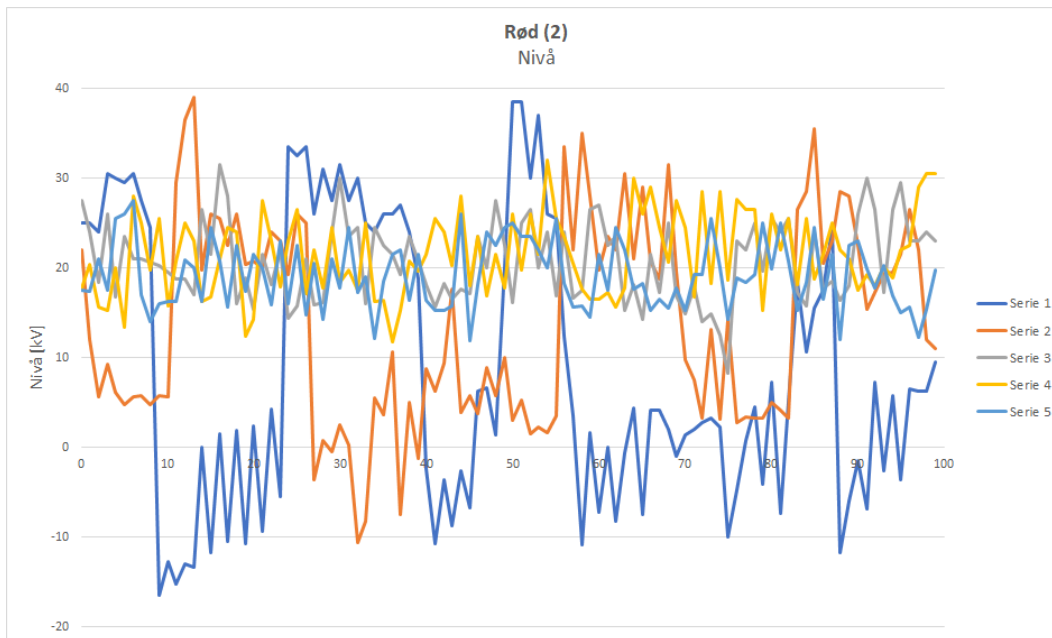
Figurene 5.34, 5.35 og 5.36 viser alle seriene inndelt etter farge, der alle tre figurer har grafer med intervallet [-20, 40]kV på vertikal akse.



Figur 5.34: Blå - Nivå på topphatt før snapcelle (hentet fra vedlegg L, figur L.5)



Figur 5.35: Grå - Nivå på topphatt før snapcelle (hentet fra vedlegg L, figur L.6)

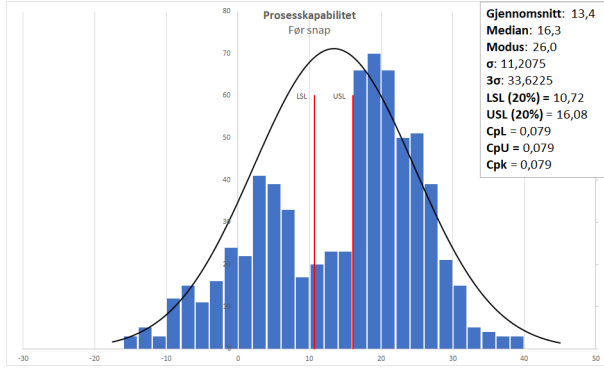


Figur 5.36: Rød - Nivå på topphatt før snapcelle (hentet fra vedlegg L, figur L.7)

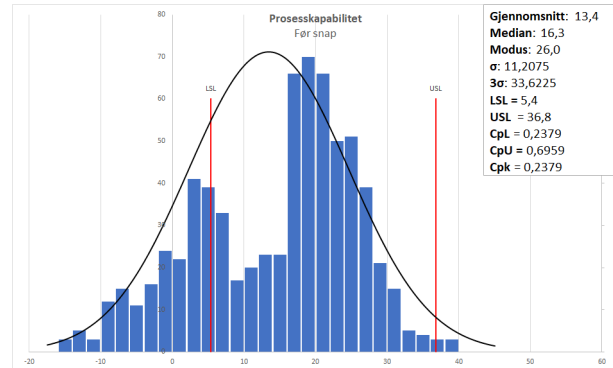
Man ser av alle tre figurer at alle serier har store variasjoner, som allerede vist i figur 5.33, og disse forekommer uavhengig av farge. Figur 5.34 og 5.35 inneholder bare en serie hver, men er serier med stor spredning siden nivåene ligger i henholdsvis intervallet $[-14.2, 22.0]$ kV og $[-15.0, 22.5]$ kV. Her kan man i motsetning til de to nevnte figurene se i figur 5.36 at de tre siste seriene til en viss grad er stabilisert. Til sammenlikning har man nivå i intervallet $[-16.5, 38.5]$ kV for serie 1 på Rød, men nivå i intervallet $[11.8, 32.0]$ kV for serie 4 og i intervallet $[11.9, 27.5]$ kV for serie 5. Det er ikke enkelt å finne svar på hvorfor seriene på Rød oppfører seg slik når seriene er gjort innenfor et lite tidsrom, men det kan henge sammen med presse, lengde på bufferbaner eller andre påvirkninger vi ikke har kontroll på. Også her er det for få målinger til å kunne trekke noen slutninger.

Videre viser L.8 og L.9 gjennomsnittlig nivå sortert etter farge, der L.8 viser nivå i forhold til registrert innetemperatur, mens L.9 viser nivå i forhold til registrert utetemperatur. Av figur L.8 kan man se et relativt lite spenn i temperatur, som er i intervallet $[23.5, 26.0]^{\circ}\text{C}$ mens nivået er spredt i intervallet $[4.5, 21.5]$ kV. Tilsvarende ser man av figur L.9 at nivået er spredt i samme intervall, selv om temperaturen her er spredt i intervallet $[-7, 12]^{\circ}\text{C}$. For begge figurer gjelder det ikke at høyest temperatur gir høyest nivå, men det gjelder for figur L.9 at lavest temperatur gir lavest nivå. I samme figur kan man se antydning til rett linje med positivt stigningstall, men i begge tilfeller er det vanskelig å vurdere om nivået faktisk henger sammen med temperatur. Det er fremdeles for få målinger, men det er indikasjoner på at utetemperatur har innvirkning på nivå. Sett sammen med luftfuktighet stemmer det fremdeles ikke med teorien, siden laveste serie har lavest utetemperatur og lavest luftfuktighet.

Til slutt analyseres prosesskapabilitetsdiagrammene, og de er stilt opp på lik måte som i underkapittel 5.4.2. Diagrammet for alle måleresultater vises i figur 5.37, mens diagrammer for farger vises i figur 5.38 - 5.40.

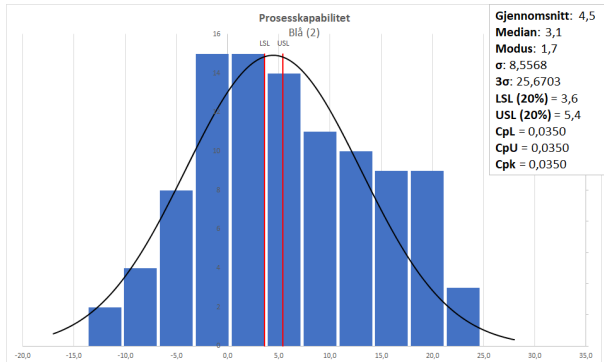


(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt (hentet fra vedlegg L, figur L.10a)

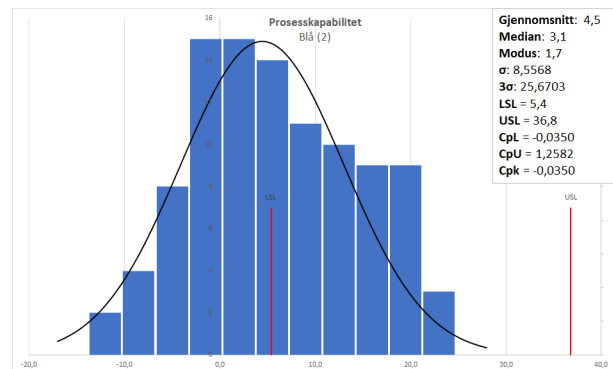


(b) LSL og USL er faste verdier (hentet fra vedlegg L, figur L.10b)

Figur 5.37: Prosesskapabilitet alle målinger på delprodukt før snapcelle

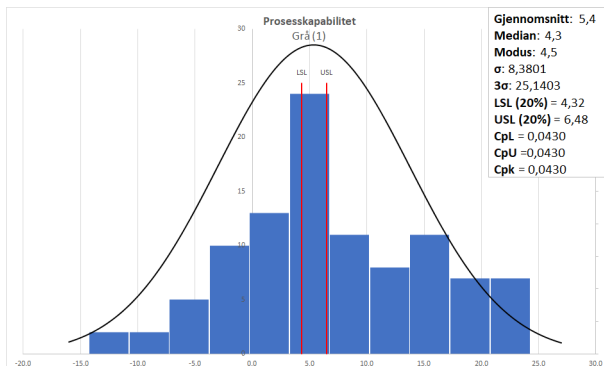


(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt (hentet fra vedlegg L, figur L.11a)

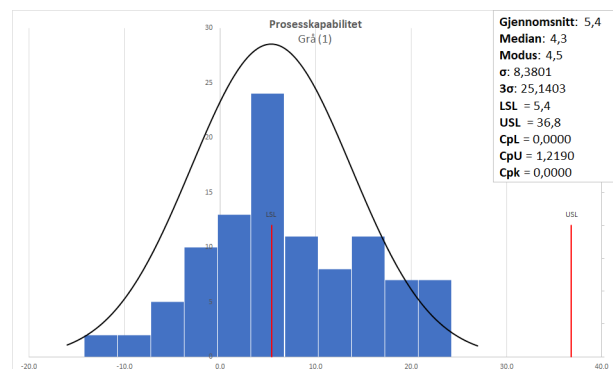


(b) LSL og USL er faste verdier (hentet fra vedlegg L, figur L.11b)

Figur 5.38: Prosesskapabilitet for farge Blå

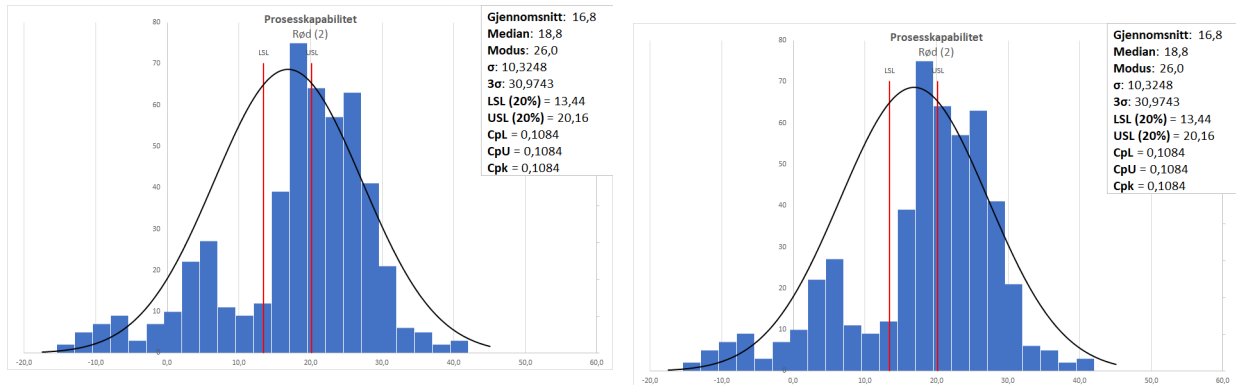


(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt (hentet fra vedlegg L, figur L.12a)



(b) LSL og USL er faste verdier (hentet fra vedlegg L, figur L.12b)

Figur 5.39: Prosesskapabilitet for farge Grå



(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt (hentet fra vedlegg L, figur L.13a)

(b) LSL og USL er faste verdier (hentet fra vedlegg L, figur L.13b)

Figur 5.40: Prosesskapabilitet for farge Rød

Man ser av figurene at prosesskapabilitetsindeksene er lave, iallefall i forhold til kravet på 1,33, og at ingen tilfredsstiller dette kravet. Figur 5.37 viser at for alle målinger er $C_{pk} = 0,079$ med grenser i forhold til gjennomsnitt og $C_{pk} = 0,2379$ med de faste grensene 5,4 og 36,8. Med de faste grensene ser man at $C_{pU} > C_{pL}$, men at C_{pU} bare er lik 0,6959 og uansett ikke høy nok. I figurene 5.38a - 5.40a ser man at Blå har laveste indeks, $C_{pk} = 0,0350$, og at Rød har høyeste indeks, 0,1084. Altså gir grensene et smalt intervall og spredningen går langt utenfor. Figurene 5.38b - 5.40b viser at Blå også her har laveste indeks, $C_{pk} = -0,0350$, og at Rød også her har høyeste indeks, $C_{pk} = 0,3680$. En maksimumsindeks på 0,3680 er relativt lavt, $1,33 - 0,3680 = 0,9620$ unna kravet, og en negativ indeks betyr at gjennomsnittet er på "feil side" av den ene grensen. I tillegg har Grå en $C_{pk} = 0$, som betyr at gjennomsnittet ligger på den ene grensen. Dette viser ytterligere at spredningen går langt utenfor spesifikasjonsområdet, og at forventningsverdien er plassert feil. Man kan samtidig se at C_{pU} for Blå og Grå er henholdsvis 1,2582 og 1,2190, altså er kravet nesten er nådd på den delen av spesifikasjonsområdet som ligger over gjennomsnittet. Med resultatene man har er det tvil om at normalfordeling er en riktig tilnærming, og det virker svært vanskelig å ha en forventningsverdi relatert til presser.

Kapittel 6

Pakking

Dette kapitlet omhandler målinger og tester med ionisering i forhold til pakkeprosessen av ferdige produkter. Fokus er på ferdigpakket pall, og hensikten er å teste hvilken innvirkning ionisering har på det elektrostatiske feltet rundt pallen med gassbeholdere.

6.1 Teori

Denne testen ble utviklet etter standarden IEC 61340 4-7:2017[30] for standardisert testing av virkningsgraden til ioniseringsvifter. Produksjonslinjen for pakking av gassbeholdere på paller er helautomatisert med robot som stabler beholdere på pall, som vist i figur 6.1a og en maskin som pakker pallen inn i plastfilm fra en rull, som vist i figur 6.1b. En plastduk legges over toppen av pallen og festes inntil pallen med plastfilmen for å dekke til toppen av pallen. Videre sendes pallen på et rullebånd, som vist i figur 6.2b hvor de hentes av en truck og plasseres på lastebil eller på lager.



(a) Automatisert stableprosess



(b) Automatisert pakking av pall i plastfilm

Figur 6.1: Bilder av den automatiserte pakkeprosessen for pakking av gassbeholdere på pall.

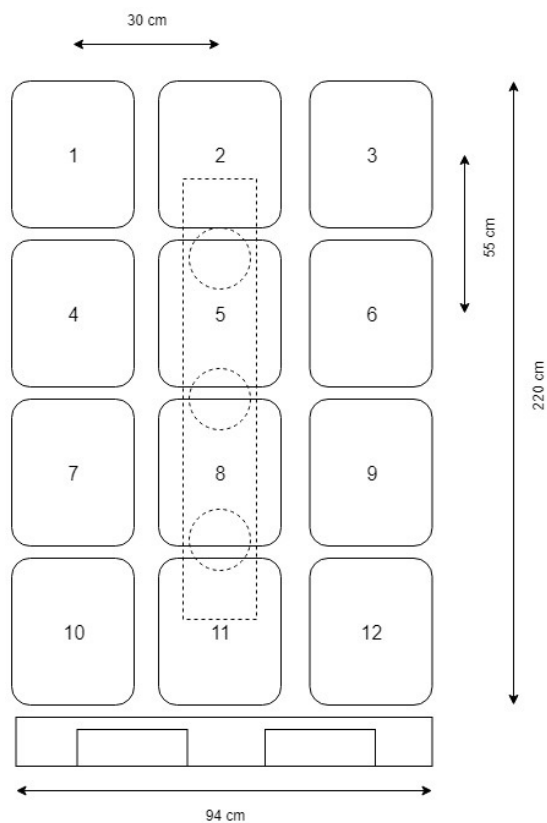
6.2 Metode

Måleinstrumentet ble stilt inn på 2cm avstand og det ble valgt ut tolv forskjellige målepunkter, i senter på gassbeholderene, for å se ladningen på flere punkter. På figur 6.2a så kan man se hvordan målepunktene ble definert, hvilke avstander som var mellom beholderne og hvor ioniseringsviften ble plassert. Målingene ble gjort på kortsiden av pallen siden denne var enkel å komme til uten at den var blitt håndtert av operatører eller truck. Første måling ble foretatt på alle målepunkter uten noen påvirkning som vist i figur 6.2b, mens neste måling ble tatt etter at pallen ble påvirket av en ioniseringsvifte[33] i forskjellige avstander. Det ble brukt en upåvirket pall for hver av forsøkene for å se virkningen av ioniseringsviften ved forskjellige avstander. Ioniseringsviften ble satt i modus for full hastighet og det var kun avstanden som varierte i den andre målingen på hver pall. Det ble foretatt en måling på målepunkt 8 under ioniseringen for å bestemme perioden til ioniseringen. Perioden ioniseringsviften påvirket ladningen på pallen ble definert som startpunktet og den tiden det tok, i sekunder, før ladningsnivået nådde et nivå på $|100V|$ eller der nivået ikke forandret seg betydelig lenger, som vi omtaler som at nivået stagnerte. Etter at nivået stagnerte så ble alle målepunkter målt på nytt og notert ned for å se påvirkningen av ionisering på pallen. Det er ønskelig å redusere absoluttverdien til målepunktene slik at de nærmer seg null og derfor blir alle verdier som sammenlignes omtalt med absoluttverdier.

6.3 Resultater og diskusjon

Som man kan se i vedlegg M så er ladningen før ionisering størst på toppen og minst nærme midten av pallen. Dette er mest sannsynlig pga. at pakkemaskinen påfører mer plastfilm rundt toppen av pallen og at det påføres en plastduk på toppen. Bunnen av pallen har også litt større nivå enn midten av pallen. Dette er også mest sannsynlig pga. at pakkemaskinen påfører mer plastfilm for å feste pallen solid sammen med gassbeholderne. Dette er et godt eksempel på hvordan statisk elektrisitet kan oppstå som en virkning av friksjon, som nevnt i underkapittel 2.3.4. Alle figurer brukt i dette delkapittelet er hentet fra vedlegg N med unntak av bilder og skisser.

Etter ionisering så ser man tydelig et felt med reduserte verdier på midten av pallen. Avhengig av avstanden mellom pallen og ioniseringsviften så reduseres de ulike målepunktene til forskjellige nivåer. Under den første testen, som brukte en avstand lik 1,0 meter, så er det de sju øverste målepunktene på pallen som reduseres mest, fra 74,8% til 86,8%. Dette vil si at den største verdien ble redusert fra $|25,0kV|$ til $|3,3kV| - |4,0kV|$. I figur N.1 så



(a) Skisse av målepunktene på ferdigpakket pall med gassbeholdere hvor plasseringen av ioniseringsviften er merket med stiplede linjer.



(b) Bilde av målepunktet for ferdigpakket pall med gassbeholdere.

Figur 6.2: Bilde og skisse av målepunktene til ferdigpakket pall.

kan man se en grafisk fremstilling av de forskjellige målepunktene før og etter ionisering med en avstand på 1,0 meter. Med denne avstanden så stagnerte nivået ved målepunkt 8 på $|1,33kV|$ etter $\approx 22,5$ sekunder. Det gjennomsnittlige nivået ble redusert med $|9,61kV|$ som gir en reduksjon på 69,3% på hele siden av pallen. Den største reduksjonen var på målepunktene 1-7 mens den minste reduksjonen var på målepunkt 12 med 30,2%. Dette kan tyde på at ioniseringsviften ikke var godt nok plassert eller at en annen faktor gjorde at den ioniserte luften som skulle treffe dette punktet var utenfor virkningsområdet til viften. De resterende 11 målepunktene hadde en reduksjon på over 47,9% som viser at ioniseringsviften også fungerer godt på denne avstanden. Det høyeste nivået var dermed også på målepunkt 12 etter ionisering på $|7,4kV|$ som er nesten 1 kV høyere enn det nest høyeste nivået.

Ved neste test ble avstanden mellom ioniseringsviften og pallen halvert fra 1,0m til 0,5m. Nivået før ionisering var noe lavere ved målepunkt 4-9, de fire beholderne i midten på pallen, men nivået på toppen og bunnen av pallen er tilnærmet likt den første testen. Med en avstand på 0,5 meter så stagnerte nivået på $-0,56 \text{ kV}$ etter ≈ 12 sekunder. Det gjennomsnittlige nivået ble redusert med $|6,94 \text{ kV}|$ som er en gjennomsnittlig reduksjon på 58,2%. Som man kan se av figur N.2 og vedlegg M så reduseres målepunkt 12 minst med 19,8% mens de 11 andre målepunktene reduseres med over 40,2%. Denne avstanden ga en litt dårligere gjennomsnittlig reduksjon hvor målepunktene 1-7 ble redusert mest, fra 66,7% til 75,1%. Man kan se at de laveste nivåene er ved målepunktene 4-9 på midten av pallen. Ut i fra denne testen så kan man se at reduksjonen er mest konsentrert rundt målepunkt 4-9 i forhold til den første testen hvor man også fikk en stor reduksjon ved målepunkt 1 og 2 i tillegg. Dette er mest sannsynlig fordi spredningen til ioniseringsviften ikke er like effektiv på denne flaten ved denne avstanden.

Under den siste testen ble avstanden halvert igjen, fra 0,5m til 0,25m. Nivået før ionisering var tilnærmet likt fordelt som den første testen med et litt høyere nivå på bunnen av pallen og et lavere nivå ved målepunkt 7-9. Med en avstand på 0,25 meter så stagnerte nivået på $|100 \text{ V}|$ etter ≈ 10 sekunder. Dette var den første testen hvor nivået traff et tilnærmet "nøytralisert" nivå under testen. Det gjennomsnittlige nivået ble redusert med $|7,05 \text{ kV}|$ som er en reduksjon på 65,1%. Som man kan se av figur N.3 og vedlegg M så er reduksjonen størst ved målepunkt 1-8, fra 67,6% til 90,8%, mens reduksjonen er minst ved målepunkt 12 med 16,9% og målepunkt 9-11 reduseres med 36,7% til 56,6%. Nivåene ved målepunkt 4-9 ble redusert til under $|2,0 \text{ kV}|$ som kan tyde på at mesteparten av den ioniserte luften ble konsentrert i dette området. Reduksjonen er også betydelig i toppen av pallen ved målepunkt 1-3, men minst i bunnen av pallen ved målepunkt 10-12.

Plasseringen av ioniseringsviften er viktig, som vist i testene over, og tiden det tar før nivået stagnerer eller treffer et ønsket nivå varierer også med avstanden mellom viften og pallen. Ved at man plasserer viften nærmere pallen så kan man redusere nivået med statisk elektrisitet effektivt over et mindre område. Resten av målepunktene blir også påvirket, men ikke redusert til det stagnerte eller ønskelige nivået. Ved at man beveger viften over overflaten til pallen så kan man redusere nivået til et jevnt lavt nivå. Den mest effektive måten å plassere viften for å nå et ønskelig lavt nivå er 0,25 meter eller mindre. Hvis man roterer ioniseringsviften 90 grader i forhold til figur 6.2a og plasserer denne på hver side av pallen så kan man redusere nivået jevnt over hele pallen ved å bevege den fra topp til bunn. Dette kan gjøres i automatiserte prosesser som kan gjøres samtidig som pallen beveger seg nedover

rullebåndet, som vist i figur 6.3, eller pallen kan stoppes i påvente av henting med truck for ionisering i en liten periode. En enklere og mer effektiv måte å redusere det statiske nivået etter pakkeprosessen er å montere en ioniseringsvifte på pakkemaskinen som kontinuerlig blåser ionisert luft på rullen med plastfilm eller på pallen under pakkeprosessen. Disse tiltakene har ikke blitt testet, men baserer seg på testene som er blitt utført.



Figur 6.3: Ferdigpakke paller med gassbeholdere beveger seg nedover et rullebånd fra pakkemaskin til et endepunkt hvor de hentes med truck og plasseres på transportmiddel eller på lager.

Testene i dette kapitlet gir et godt bilde av hvordan man kan redusere den statiske elektrisiteten, men det anbefales flere tester for å se hvordan man på best måte kan redusere ladningen. En effekt som man ser ut i fra testene er også at pallen lader seg opp etter at ioniseringen er over og det bør testes om nivået stabiliserer seg etter en viss tid og hvilket nivå den stabiliseres på. Disse testene ble ikke utført pga. begrenset tid.

Kapittel 7

Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres alle resultater og sammenhenger mellom foregående kapitler. Det diskuteres også i forhold til videre arbeid og hvilke etiske aspekter oppgaven inneholder.

7.1 Erfaringer

Det var stor fokus på effektive måleserier for å kunne samle nok data på mange punkter for å kartlegge det statiske nivået i enkelte områder av produksjonslinjen. Derfor ble det valgt ut noen relevante målepunkter hvor det ble foretatt flere måleserier. Dette ble gjort pga. en begrenset periode på over en måned hvor alle målinger ble utført, noe som er et resultat av mengde teori og erfaringsbasert kunnskap som måtte tilegnes for å utvikle målemetodikk, gjennomføre målinger og analyse. Alle målingene er også utført på samme årstid, i perioden mars/april, med lite skiftende vær som kan gi et ukorrekt bilde mtp. resten av året. I starten av perioden dedikert til målinger ble det bestemt maks antall målinger i en serie på en slik måte at serien ikke tok for lang tid og man hadde muligheten til å få sammenliknbare målinger på samme dag og med samme farge på flere presser. Alle målingene ble utført med begge prosjektdeltakerne siden alt måtte gjøres manuelt og dermed krevde mye ressurser. Antall målinger ble bestemt ut ifra tiden det tok å utføre den, f.eks tok 100 målinger på topphatter ca. 45-50 minutter fra første til siste måling. Hvis man regner med 10-15 minutter for å plassere instrument, ta målinger for luftfuktighet og inne-/utetemperatur og forberedelser så tar måleserien ca. 55-65 minutter. Da har man et lite utvalg målinger, men har tid til å flytte seg til neste målepunkt eksempelvis ved neste presse. Ved målinger på materialmiks så ble det løpende vurdert hvor store måleseriene skulle være avhengig av produksjonen. Noen miksere transporterte materialmiks i en høyere frekvens enn andre miksere som førte til at det ble en variasjon av størrelsen på måleseriene. Målet var å få 30 målinger i en serie innenfor ca. en time for å holde tidsskjema. I noen tilfeller varte en måleserie på 30 målinger i over 1,5 timer som førte til at det ble vurdert ved senere anledninger hvor kritisk målingen var avhengig av tiden det ville ta. Disse vurderingene, målemetodene og instrumentet som ble brukt førte igjen til at mengden måleresultatene i mange tilfeller er for liten til å trekke gode slutninger og konklusjoner.

Det var utfordrene å finne informasjon som man kunne relatere til gjennomføringen av prosjektet og man var avhengig av erfaringer fra personer med kunnskap på området. Godt dokumenterte instrumenter og måleteknikker var vanskelig å finne eller hadde mangelfull informasjon. Dette førte til at perioden med målinger ble mindre enn først antatt og man brukte mye tid på å finne ut av enkelte problemer og utfordringer. Måleinstrumenter som ble anbefalt å bruke var ikke tilpasset området den skulle brukes og var kostbare uten noen garanti for hvordan de kunne implementeres i prosjektet. Det ble derfor viktig å kontakte mange firma om hvordan man kunne angripe denne utfordringen og det etter en lengre periode bestemt, i samråd med oppdragsgiver, at man skulle gjøre manuelle målinger med

et tilgjengelig instrument.

Instrumentet EFM51 er ikke beregnet for lange måleserier slik vi har gjort i dette prosjektet og slår seg av etter ≈ 10 -15 minutter bruk, mest sannsynligvis avhengig av batteristatus. Dette førte til at ved enkelte målepunkter så ble det innført rutiner for å slå av og på instrumentet mellom målinger. Det ble tilstrebet å gjøre dette på tidspunkt hvor denne operasjonen gjorde minst skade på målingene. Ved videoanalyse av måleprober så kunne man se at en kontrollert av/på-operasjon tar ≈ 7 -8 sekunder. I enkelte måleserier, som måtte forkastes i analysen, så kunne man se at dersom man ikke gjør dette kan man miste flere titalls sekunder før man oppdager at instrumentet har slått seg av. I målinger utført på topphatter så har man mistet enkelte målinger i en måleserie pga. denne funksjonen til instrumentet. Siden EFM51 ikke er beregnet på lange måleserier så er den ikke laget for å være i drift over lang tid og dermed så er den ikke laget spesielt energieffektiv. I løpet av perioden med målinger i produksjonslinjen så har instrumentet brukt over 20 stk 9V batterier.

Produksjonen til Hexagon Ragasco er kontinuerlig døgnet rundt, men på dagtid er det en mindre produksjon pga. tester og andre typer arbeid. Det er i tillegg vedlikeholdsstopp på dagtid en gang i uken, noe som innebærer at alle produksjonsprosesser stoppes. Derfor ble alle målingene forsøkt utført på ettermiddag og kveld for å sikre minst mulig dødtid før, under og mellom måleserier. Man prøvde også å skaffe oversikt over ordreplanen til produksjonen, slik at man kunne planlegge målinger utifra dette. Det viste seg at det stadig ble endringer, at det plutselig ble satt i gang produksjon av reservedeler på enkelte presser til topphatter, eller at det oppsto annen uventet stopp på grunn av feil i en prosess. Det samme gjaldt materialmiks der ordrebytte eller uventet stopp kunne forsinke eller i verste fall stoppe en måleserie. Alle disse tingene til sammen gjorde at det var svært vanskelig å forutsi effektiviteten til en dag med målinger, og at man kunne risikere mye dødtid. Dette gjaldt også ved spørsmål eller andre ting der vi var avhengig av operatører eller mekanikere i produksjonen, siden det i begynnelsen kunne ta lang tid både å finne ut hvem man skulle snakke med og hvor man kunne finne dem. Det ble satt spørsmål ved dette under et statusmøte, og de tidsmessige utfordringene med dette ble deretter betydelig mindre. Det var viktig å holde en god dialog med operatører, mekanikere og veiledere, som i enkelte tilfeller kunne være utfordrende for alle parter.

7.2 Granulat

Materialmiksen består av polyetylen og er et isolerende materiale som holder godt på statisk ladning. Det er derfor sannsynlig at både råmaterialet og masterbatch har en ”basisladning” før de transporteres i rørsystemer i produksjonen. Råmaterialet leveres av tankbiler som pumper materialet inn i utvendige siloer før det transporteres inn til lagringstank. Dette vil mest sannsynlig føre til en statisk ladning i råmaterialet. Masterbatch leveres i plastsekker og vil sannsynligvis få en statisk ladning ved at granulatet tømmes over i containere. Disse blandes i en mikser og vil fordele noe ladning seg i mellom før de transporteres over en lengre avstand til presser. Våre målinger på masterbatch kan tyde på at de forskjellige masterbatch’ene har forskjellig ”basisladning” som varierer med luftfuktighet, nivået av granulat og hvor mye de har blitt håndtert eller brukt i produksjonen. Ladningen i masterbatch viser at enkelte granulat er mer ladet, enten positivt eller negativt. Målingene kan tyde på at ladningen blir mer positiv ved høyere luftfuktighet, noe som strider imot teorien nevnt i underkapittel 2.5.4. Det er også sannsynlig at andre faktorer påvirker ladningen i masterbatch’en ved høyere luftfuktighet. Det er ikke tatt tilstrekkelig med målinger over en lang nok periode for å kunne se hvordan ladningen oppfører seg og målemetoden tar ikke hensyn til den generelle ladningen i granulatet. Målemetoden fører sannsynligvis til at granulatet som ligger øverst i containeren blir målt, mens resten ikke blir tatt med i målingene. I enkelte containere var det også slik at granulatet var formet i en haug som kunne påvirke målingene. Disse kunne ikke jevnes ut for å få en stor flate å måle på siden all påvirkning eller forstyrrelse av granulatet førte til høyere ladningsnivå pga. friksjon. Ladningen i noen masterbatch’er har en stor spredning, hvor enkelte farger er relativt jevne i ladning mest sannsynlig pga. at de er lite brukt i produksjonen eller består av komponenter som kan påvirke ladningsnivået. Usikkerheten i forhold til en ujevn flate med materiale på toppen av granulatet i containerne har en stor påvirkning på resultatet og kan føre til den store spredningen. Nivået av granulat i containere påvirker også målingene og kan gi en unøyaktig og upresis sammenlikning. I utgangspunktet var det planlagt å utføre flere måleserier gjennom perioden med målinger, men dette ble nedprioritert til fordel for andre målepunkter pga. begrenset tid. For å få et mer korrekt bilde av ladningen bør det utvikles en bedre målemetode for å måle det faktiske nivået i masterbatch’ene over en lengre periode.

Ved målinger på materialmiksen så ble det utviklet en måleprobe for måling av statisk elektrisitet i rørsystemet, siden en enkel test viste at andre muligheter måtte utelukkes. Gjennom tester, som omtalt i delkapittel 4.3, så ble det bevist at man kan måle ladningen vha. et aluminiumsrør hvor det ble plassert ledere, bolter, plater eller gitter innvendig. Teorien bak en

slik måleprobe er at ladningen i materialmiksen vil overføres til måleproben og dermed gjøre det mulig å måle det elektrostatisk feltet vha. en elektrostatisk feltmåler på utsiden. Det er ikke gjort nok målinger eller gode nok tester for å verifisere at måleresultatene er korrekte, men i dette prosjektet så ble resultatet behandlet som et referansenivå for sammenlikning med andre målinger. Siden man ikke har gode nok målinger eller et godt teoretisk grunnlag for den statiske ladningen i materialmiksen så er det vanskelig å verifisere måleproben. Man kan forvente en ladning i materialmiksen, men man kan ikke forvente nivået til ladningen basert på de testene som vi har utført. Man kan uansett se at ved å bruke en måleprobe med to 10mm bolter i kryss på to punkt på et aluminiumsrør, som vist i underkapittel 4.3.2, så kunne man få stabile målinger som var tilnærmet repeterbare og hadde en god oppløsning. Ved videoanalyser så kan man se at ladningen øker når materialmiksen passerer måleproben og at proben lader seg ut eller fordeler ladningen over hele flaten til aluminiumsrøret. Det er uvisst hvor og hvordan ladningen i måleproben lader seg ut og det bør gjøres flere målinger og tester for å se et mer korrekt bilde av virkemåten til måleproben. Det kan tenkes at måleprobene som er testet kan påvirke ladningen i materialmiksen idet den passerer ved å generere friksjon og dermed et høyere nivå med statisk elektrisitet, men mest sannsynlig så har materialmiksen en "basisladning" som vist i målinger på masterbatch. Gjennom tester med to måleprober i serie, som vist i delkapittel 4.3.2, kan det tyde på at måleprobe 9.1 og 9.2 ikke generer mer statisk elektrisitet gjennom friksjon, men sannsynligvis så påvirker de hverandre i forhold til hvor langt unna hverandre de er plassert. Ytterligere testing kreves for å se hva slags påvirkning de har på hverandre og om man får en reell fremstilling av virkemåten. Ved testing på måleprobe 7 så kan man se at måleproben har et mye høyere måleresultat enn resten av måleprobene. Dette kan tyde på at spiralene i måleproben genererte et høyere nivå med statisk elektrisitet vha. friksjon og at man må gjøre ytterligere tester på hvor mye man kan plassere på innsiden av røret før målingene påvirkes. Det er også en risiko ved å plassere metall eller andre materialer som ikke tåler for mye mekanisk stress innvendig i måleproben. Dette kan føre til at måleproben deformeres eller små biter kan bli ødelagt og kan dermed bli med materialmiksen til presser. En slik feil kan føre til skader og produksjonsstopp som er lite ønskelig og kostbart. Ved jording av måleprobe så kan man se at den statiske ladningen reduseres, ut i fra målinger omtalt i underkapittel 4.3.2, men det er utført for få tester til å si noe om måleproben er effektiv nok til et slikt bruksområde. Det er mange faktorer som kan påvirke effektiviteten til en jordnet måleprobe og ytterligere testing bør gjøres.

7.3 Topphatt

Testen ”utladning”, omtalt i delkapittel 5.2, viser tydelig at nivå og temperatur henger sammen. De reduseres kraftig de første 10-20 minuttene og flater ut etter ca. 30-50 minutter. Dette kan tyde på at den høye temperaturen på topphatten vil skape et lite område rundt topphatten som har en høyere luftfuktighet og som da leder bort ladningen. Når temperaturen reduseres så reduseres også luftfuktigheten i dette området som fører til at grafene, som er vist i figur 5.4, flater ut. Målingene gjort ved punktene ”etter presse og ”før snapcelle” viser tendenser til at nivå fulgte luftfuktigheten i rommet i motsatt retning, men sannsynligvis kan ikke disse observasjonene sammenliknes siden luftfuktigheten i rommet og luftfuktigheten lokalt rundt en topphatt antakeligvis er ulike.

Resultatene av testen ”ladningsfordeling”, omtalt i delkapittel 5.3, viser sammenheng mellom mekanisk påkjenning i presser og nivå av statisk elektrisitet på topphatter. Innløpene i verktøyet og flytfrontene som dermed oppstår kan forklare noen av toppene, mens det antakeligvis er andre kjemiske eller mekaniske detaljer som forklarer de andre. Det er dermed snakk om en kombinasjon av pyroelektrisk og piezoelektrisk effekt, og kanskje er det en ganske naturlig årsak når man snakker om temperaturer på flere hundre grader og trykk på mange hundre bar.

Siden topphattens elektrostatisk ladning ikke er jevnt fordelt, måtte instrumentet måle på topphatt med større avstand for å fange opp feltet. Dette kan føre til at den elektrostatisk feltmålerens spredningsvinkel er for stor, slik at den fanger opp ladningen fra andre topphatter rundt den topphatten det måles på. Dette ble ignorert og gjort på lik måte med de samme ”forstyrrelsene” rundt for å unngå å håndtere topphatten. Ladningens ujevne spredning viser at plast er isolerende, og dermed at elektrostatisk induksjon i liten grad foregår.

Målingene ”etter presse”, omtalt i delkapittel 5.4, viser et ulikt nivå over de forskjellige pressene, og at spredningen for hver av pressene er ganske stor (ca. 30kV). Dersom en ser på gjennomsnittet av alle målinger på hver presse, vil man se at presse 3 har høyest nivå, mens presse 1 tydelig har det laveste. Det kan være på grunn av at målinger er gjort akkurat i det tidsrommet der det statiske nivået reduseres raskest, som omtalt i ”utladning”. Det er gjennom målinger ved ”etter presse” og ”før snapcelle” derimot ikke funnet en tydelig sammenheng mellom nivå og temperatur, og det er derfor vanskelig å argumentere for at temperatur gir forskjellen mellom presser. Det kan også være i relasjon med den mekaniske påkjenningen i presser, og at disse påvirkningene varierer fra presse til presse, eller det kan

være at en presse er bedre jordet enn en annen.

Resultatene av ”etter presse” og ”før snapcelle”, omtalt i delkapittel 5.5, viser at det er Rød som har størst spredning, og at det er Grønn (og Gul) som har minst variasjon. Dette kan være på grunn av at det er få serier på disse fargene, eller det kan være at de tilfeldigvis kommer fra samme presse. Samtidig er det Gul og Rød som har gjennomsnittlig høyest nivå, noe som stemmer med operatørens erfaringer ved at disse lyse og sterke fargene er merkbart mer statistisk enn andre farger. Det kan være, som omtalt i 2.2, at masterbatchen til sterke farger inneholder færre elektrisk ledende pigmenter slik at den elektrostatiske ladningen ikke ledes bort, eller det kan være i sammenheng med at de tilfeldigvis kommer fra presse 3.

Testene med prosesskapabilitet ble gjort for å kunne sammenlikne spredning ved målepunktene ”etter presse” og ”før snapcelle”. Grensene er først satt i forhold til gjennomsnitt for å se på spredningene isolert, og deretter som de faste grensene 5,4 og 36,8, for å se hvordan målingene ved ”før snapcelle” er i forhold til målingene ved ”etter presse”. Det er helt klart at indeksene ved ”etter presse” er høyere enn indeksene ved ”før snapcelle”, men det er bare en indeks på den ene fargen etter presse på som var innefor kravet. I forhold til gjennomsnitt kan man se at samtlige indekser ved presser er høyere enn indeksen før snapcelle, og man ser tilsvarende i forhold til farger. Dette sier noe om at spredningen, dersom gjennomsnittet er senter i spesifikasjonsområdet, er mer spredt før snapcelle enn etter presse. Ved de faste grensene er indeksene mer komplisert, og de tar ikke hensyn til gjennomsnittets plassering. Tilsvarende ser man her at samtlige presser har høyere indeks enn før snapcelle, og det er svært tydelig i forhold til farger. Først kan man legge merke til at enten CpL eller CpU er over 1 for samtlige presser, og det samme gjelder 4 av 5 farger etter presse. Dette gjelder ikke for alle målinger før snapcelle, men for 2 av 3 farger. Deretter kan man legger merke til at laveste nivå på farger etter presse er 0,4160 mens to av indeksene til fargene før snapcelle er -0,0350 og 0. I begge tilfeller er indikasjonen at gjennomsnittet til målingene ved ”før snapcelle” er lengre unna midten av spesifikasjonsområdet, og for to av fargene er gjennomsnittet på den ene grensen eller utenfor området. Det er svært sannsynlig at de ulike verdiene ved ”etter presse” og ”før snapcelle” skyldes påvirkninger i buffersystem i tillegg til naturlig utladning i luft. Dette viser hvilken innvirkning triboelektrisk effekt har på produktene.

Det kan diskuteres om den elektrostatiske ladningen kan sammenliknes med utgangen i en prosess som produserer i forhold til kjente krav, og dermed om måleresultatene før snapcelle

kan betraktes som normalfordelt. Dette fordi det på bakgrunn av denne sammenlikningen virker nær sagt umulig å forvente en verdi på dette målepunktet. Det kan samtidig diskuteres om de faste grensene, som er valgt på bakgrunn av gjennomsnittlig høyeste/laveste serie etter presse, er valgt riktig. Ideelt skulle indeksene etter presse nådd kravet slik at man kunne sett hvor langt unna kravet målingene ved ”før snapcelle” er, men avstanden mellom indeksene blir trolig lik uansett grenser, og man får derfor frem poenget.

7.4 Ionisering

Ionisering er en effektiv måte å redusere en slik utfordring på, men gjøres som regel på steder hvor det er kritisk å unngå ESD eller adhesjon/triboelektrisk effekt. I elektronikkproduksjon er det helt essensielt å luftionisere objekter og overflater siden det er kritisk for produksjonen. I produksjon av plastdeler så er det mer kritisk i prosesser hvor man f.eks ruller ut store plastduker for så å dele de eller ved lakking av deler. I litt mindre kritiske prosesser er det mer et ubehag eller en usynlig fiende siden det er så vanskelig å relatere problemer til statisk elektrisitet. I enkelte prosesser som pakking av paller, som omtalt i kapittel 5.5.2, er det fullt mulig å implementere ioniseringsvifter for å redusere den statiske ladningen. Hvis man kunne implementert ioniseringsvifter i selve pakkeprosessen så kunne man også fjernet ladningen i gassbeholderne før de pakkes og under selve pakkeprosessen. Dette kan hjelpe til i problematikken med forurensning som de ferdige produktene tiltrekker seg under transport eller på lager.

7.5 Etikk

Statisk elektrisitet i industri er en mye større utfordring enn mange tror, og det finnes for lite kunnskap og informasjon om emnet. Ved å tydeliggjøre og sette et fokus på påvirkningen av statisk elektrisitet og utfordringene dette kan gi i plastproduksjon og industri generelt, så kan man bidra til økt varsomhet og kjennskap til denne ”usynlige fienden”. Antakeligvis kan dette bidra til å effektivisere og redusere feil i produksjonsprosesser som ikke direkte er knyttet til elektronikkproduksjon, og dermed øke effektiviteten og produktiviteten.

En annen viktig side ved saken er hva statisk elektrisitet og ESD gjør med arbeidsmiljøet til operatører og arbeidere i en produksjonslinje. Først og fremst kan man oppleve å få støt mange ganger daglig, avhengig av hva man driver med, som i noen ekstreme tilfeller kan gi brennmerker og skade ved høye strømmer/spenninger ($\geq 200kV$). Det viktigste i en industri er likevel kanskje hvor farlig ESD er i kombinasjon med brennbare stoffer, og det er dermed

viktig å gjøre et arbeid som potensielt kan avverge branner og alvorlige ulykker.

Denne oppgaven har hatt fokus på å kartlegge målinger, analysere måling og på bakgrunn av dette kunne foreslå tiltak som helst burde verifiseres. Et vanlig forløp, som vi har sett flere andre steder, er at det er et fokus på tiltak og å fjerne statisk elektrisitet, men at effekten av tiltaket sjeldent måles og verifiseres. Vår oppfatning er at det er naturlig å måle for å kartlegge først, for og deretter kunne implementere tiltak man kan måle på og sammenlikne med kartleggingen. På denne måten finner man kilden til utfordringen, og man finner også kanskje ut hvilke tiltak som er nødvendig og hvor. På denne måten kan tiltaket utnyttes så effektivt som mulig, og man kan potensielt redusere kostnadene i forbindelse med dette.

Rapporten har ikke fokusert på etiske utfordringer i selve produksjonen som f.eks. at det brukes granulat inneholdende olje eller forurensning.

7.6 Generelt

Man ser ved måling på topphatt at buffersystemet har en påvirkning på det elektrostatisk nivået, og mest sannsynlig vil dette gjelde generelt både i denne og i andre produksjonslinjer som produserer plastprodukter. Man kan dessverre ikke direkte sammenlikne måleresultatene for materialmiks og topphatt siden ladning i materialmiks ikke nødvendigvis overføres til topphatt, som påvist i testen med jordet probe. Det er sannsynlig at den ene eller begge av målemetodene ikke viser reellt nivå, eller at ladningen jordes bort og at all ladning skapes i sprøytestøpingen, eller at ladningen i materialmiks er neglisjerbar ved støping på grunn av andre faktorer. Et eksempel på faktorer som kan spille inn er luftfuktighet i forhold til elektrostatisk ladning, der økt luftfuktighet i omgivelsene for både materialmiks og topphatt gir mer positivt nivå.

Implementering av EPA er et ressurs- og tidskrevende tiltak som er effektivt til å redusere elektrostatisk felt på objekter. I sammenheng med produksjonen til Hexagon Ragasco så anses dette tiltaket som en dårlig løsning på utfordringene med statiske ladninger. Hele produksjonslokalet må mest sannsynlig bygges om og omfattende tiltak må iverksettes samtidig som effekten er uviss. I hovedsak så vil alle personer innenfor området ikke ha stasjonære arbeidsplasser og da er EPA lite effektivt. Det er derfor mer fordelaktig å se på andre løsninger for utfordringene.

Når en ser på alle måleresultatene i oppgaven, ser man at nesten alle resultater har positive verdier. I følge den triboelektriske rekken, som omtalt i underkapittel 2.3.4, er PE (polyetylen) en av materialene nederst på listen, noe som vil si at PE har lett for å bli negativt ved triboelektrisk oppladning. Satt i sammenheng med buffersystem, som har bufferbaner laget av POM (polymetylen), kan dette virke riktig siden nivået før snapcelle i 99% av tilfellene er lavere. Altså er det sannsynlig at POM er høyere opp enn PE på listen, slik at PE får igjen elektroner gjennom transporten og derfor blir mindre positiv. Dersom en ser på transport av materialmiks i rør, som består av rustfritt stål og plastrør, ser man at det samme skjer her. Dette virker også riktig, siden PVC er under PE på listen, slik at PVC oftere får elektroner og PE dermed blir mer positiv.

Man anser kostnadene med utvikling av måleprober og annet i prosjektet som så små at de i dette tilfellet ikke vil gjøre noen forskjell for arbeidsgiveren. Derimot kan et passende måleinstrument og utstyr relatert til tiltak være relativt kostbart, og viktigheten bør derfor utredes og vurderes deretter.

7.7 Forslag til videre arbeid

Det anbefales å bruke et måleinstrument som er tilpasset lengre måleperioder og som kan implementeres i systemene til Hexagon Ragasco. Med en slik løsning kan man hele tiden overvåke den statiske elektrisiteten i alle prosesser og se dette i sammenheng med andre verdier som samles inn vha. sensorer i produksjonslinjen og i forhold til årstider og værskifte. Instrumentet kan mest sannsynlig implementeres i eksisterende datasystemer og man kan se effekten av tiltak over en lengre periode. Målemetodikken må revurderes, men noen av metodene som er brukt kan lett overføres til et slikt instrument.

Det anbefales å fortsette arbeidet med måleprober og jording av materialmiks i rørsystemet samt å vurdere tiltak som nevnt i delkapittel 7.4 for å redusere oppbyggingen til statisk elektrisitet. Utjvningsjording av eksisterende rørsystem kan utvides med måleprober som er konsentrert i områder hvor det er kritisk å redusere ladningen. Det bør gjøres ytterligere tester for å kartlegge hvor et slikt tiltak har best effekt.

I andre prosesser som transport av materialmiks, omtalt i delkapittel 4.3, så er det vanskeligere å implementere ionisering på en enkel måte. En mulig løsning er å benytte seg av at vakuumpumpene som suger materialmiksen gjennom rørsystemene suger ren luft i en periode etter at granulaten har kommet frem til doseren på pressen. Hvis man kunne byttet ut

denne luften med ionisert luft så kunne man ha redusert oppbyggingen av statisk elektrisitet i rørsystemene og i materialmiksen. En annen mulighet for å redusere den generelle statiske oppbyggingen er også litt større ioniseringssystem som ”Intelligent Room Ionization System” (IRIS)[35] Dette er en helt ny type ioniserer som nøytraliserer ladninger i store rom, men har per dags dato ikke kommet på det europeiske markedet.

Topphatter kan også ioniseres f.eks etter at de produsert for å hindre en videre oppbygging av statisk elektrisitet etter pressing. Plasseringen av en ioniseringsvifte i denne delen av produksjonen må være slik at den får best effekt i forhold til produksjonslinjen. Ved observasjon av produksjonslinjen så er det flere steder hvor ferdigstøpte produkter står stille på samlebånd i buffersystem. På disse stedene er det mulig å implementere ionisering for å nøytralisere ladningen. Det som er viktig er å vurdere hvor kritisk det er å nøytralisere produktene på forskjellige steder og hvordan det vil påvirke produksjonen. Effekten ved å ionisere topphatter rett etter at de er ferdigstøpt vil kunne føre til lavere statisk ladning, men topphattene vil mest sannsynlig uansett bli elektrostatisk oppladet gjennom transport og buffersystem. Dette anbefales at det gjøres tester med for å finne et punkt hvor det passer inn i produksjonslinjen til Hexagon Ragasco uten å påvirke effektiviteten til produksjonen.

Kapittel 8

Konklusjon

Dette kapitlet omhandler konklusjonen for oppgaven og besvarer problemstillingen i første kapittel. Kapitlet er en kort oppsummering av prosjektet.

Denne rapporten hadde som mål å utvikle målemetodikk, kartlegge statisk elektrisitet i plastprodukter og på bakgrunn av dette foreslå tiltak. Rapporten fokuserer på hvordan den statiske elektrisiteten oppfører seg i delprosessene med sprøyttestøping og pakking hvor det har blitt gjort målinger på plastgranulat, ferdig delprodukt og ferdigpakket pall med produkter. For å kunne gjennomføre dette har det blitt utviklet en prototype for en måleprobe i aluminium for måling på plastgranulat, målerutiner og oppsett for måling på topphatter i forskjellige deler av produksjonslinjen og målemetode for måling på ferdigpakket pall. Under transport av materialmiks gjennom rørsystem så ser man at nivået øker pga. friksjon, men det er ingen åpenbar sammenheng mellom nivået på materialmiks og topphatter. Ladningsnivået til topphatter påvirkes gjennom bufferbaner og av andre faktorer på en slik måte at man ikke kan forutsi dette nivået ved ulike punkter i produksjonslinjen. Tester viser at ioniseringsvifter reduserer ladningen på ferdigpakket pall og bør derfor implementeres i pakkeprosessen. Tilsvarende kan det tenkes at ionisering også kan benyttes i rørsystemet som transporterer granulat. Utjevningsjording på innsiden av rørsystemet som transporterer materialmiks kan implementeres for å redusere den statiske ladningen.

Det er gjennom målinger påvist at plastproduktene i produksjonslinjen til Hexagon Ragasco er elektrostatisk oppladet og at den elektrostatiske ladningen påvirkes gjennom hele produksjonsprosessen. Basert på tester og teori kan den elektrostatiske ladningen reduseres og/eller fjernes vha. eksisterende teknologi, noe vi anbefaler at gjøres. Samtidig konkluderes det med at det er gjort for få målinger til at kartleggingen er fullstendig og at det er derfor burde ha blitt installert en logge-enhet for kontinuerlig måling over en lengre periode. Dette bør installeres på en slik måte at man kan hente ut mer informasjon fra sensorer og måleutstyr som sitter på maskiner for å få en god nok oversikt og færre ukjente variabler.

Referanseliste

1. Our Company [Internett].
Hexagon Ragasco; u.å. [sitert: 23.02.18]
Tilgjengelig fra: <http://www.hexagonragasco.com/about/our-company>
2. Our History [Internett].
Hexagon Ragasco; u.å. [sitert: 23.02.18]
Tilgjengelig fra: <http://www.hexagonragasco.com/about/our-history>
3. Plast [Internett].
Store Norske Leksikon; 20.02.18 [sitert: 23.02.18]
Tilgjengelig fra: <https://snl.no/plast>
4. Formbarhet [Internett].
Store Norske Leksikon; 14.02.09 [sitert: 23.02.18]
Tilgjengelig fra: <https://snl.no/formbarhet>
5. Polyethylene [Internett].
Wikipedia; 24.04.18 [sitert: 09.03.18]
Tilgjengelig fra: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylene>
6. Sprøytestøping [Internett].
Norsk Formblåsing Plastprodukter; u.å. [sitert: 01.05.18]
Tilgjengelig fra: <https://norskformblasing.no/utvikling-og-produksjon/sproytestop/>
7. Plastic Moulding Techniques [Internett].
Plastic Moulding; u.å. [sitert: 01.05.18]
Tilgjengelig fra: <http://www.plasticmoulding.ca/techniques.htm>
8. Static electricity [Internett].
Wikipedia; 23.04.18 [sitert: 23.04.18]
Tilgjengelig fra: https://en.wikipedia.org/wiki/Static_electricity
9. Elektrisk felt [Internett].
Store Norske Leksikon; 09.12.16 [sitert: 30.01.18]
Tilgjengelig fra: https://snl.no/elektrisk_felt

10. Elektrisitet [Internett].
Store Norske Leksikon; 20.02.18 [sitert: 20.02.18]
Tilgjengelig fra: <https://snl.no/elektrisitet>
11. Electrical conductor [Internett].
Wikipedia; 23.04.18 [sitert: 23.04.18]
Tilgjengelig fra: https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_conductor
12. Insulator [Internett].
Wikipedia; 25.04.18 [sitert: 25.04.18]
Tilgjengelig fra: [https://en.wikipedia.org/wiki/Insulator_\(electricity\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Insulator_(electricity))
13. Triboelektrisk effekt [Internett].
Store Norske Leksikon; 08.10.14 [sitert: 30.01.18]
Tilgjengelig fra: https://snl.no/triboelektrisk_lading
14. Triboelectric series [Internett].
Soft Matter Wiki; 09.12.11 [sitert: 30.01.18]
Tilgjengelig fra: http://soft-matter.seas.harvard.edu/index.php/Triboelectric_series
15. Electrostatic induction [Internett].
Wikipedia; 19.04.18 [sitert: 19.04.18]
Tilgjengelig fra: https://en.wikipedia.org/wiki/Electrostatic_induction
16. Polarisasjon [Internett].
Store Norske Leksikon; 26.02.18 [sitert: 26.02.18]
Tilgjengelig fra: <https://snl.no/polarisasjon>
17. Pyroelektrisitet [Internett].
Store Norske Leksikon; 20.02.18 [sitert: 26.02.18]
Tilgjengelig fra: <https://snl.no/pyroelektrisitet>
18. Piezoelektrisitet [Internett].
Store Norske Leksikon; 20.02.18 [sitert: 26.02.18]
Tilgjengelig fra: <https://snl.no/piezoelektrisitet>
19. Fotoelektrisk effekt [Internett].
Store Norske Leksikon; 20.02.18 [sitert: 26.02.18]
Tilgjengelig fra: https://snl.no/fotoelektrisk_effekt

20. ESD Electronics Effects [Internett].
Radio-Electronics; u.å. [sitert: 25.01.18]
Tilgjengelig fra: <http://www.radio-electronics.com/info/circuits/esd/electronics-esd.php>
21. Guidelines for the control of static electricity in industry
Occupational Safety and Health Service, Occupational Safety and Health Service, 1982
Tilgjengelig fra: http://www-eng.lbl.gov/shuman/NEXT/GAS_SYS/staticelectricity.pdf
22. Anti-Static Control Problems in The Plastics Industry [Internett].
British Plastics Federation; 2018 [sitert: 25.01.18]
Tilgjengelig fra: http://www.bpf.co.uk/plastipedia/processes/Anti_Static_Control_Problems_in_the_Plastics_Industry.aspx
23. International Electrotechnical Commission, IEC Standard nr. 61340-1.
Electrostatics - Part 1: Electrostatic phenomena - Principles and measurements [Internett]. Geneve: IEC; 2012 [sitert 20.02.18]
Tilgjengelig fra: <http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=583368>
24. Elektrostatisk Målingsenhet, IZH10-H, SMC [Internett].
Elfa Distrelec; 2018 [sitert: 06.02.18]
Tilgjengelig fra: https://www.elfadistrelec.no/no/elektrostatisk-malingsenhet-smc-izh10/p/18009843?q=*filter_Buyable=1filter_Category3=Jordtestere&page=2&origPos=2origPageSize=50simi=99.65
25. Electrostatic Voltmeter ESVM 1000 [Internett].
Wolfgang Warmbier; u.å. [sitert: 06.02.18]
Tilgjengelig fra: <http://shop.warmbier.com/en/electrostatic-voltmeteresvm-1000.html?group=723>
26. WS Aware SMP Monitorer [Internett].
Krepro; 2018 [sitert: 06.02.18]
Tilgjengelig fra: <https://www.krepro.no/ws-aware-monitorer-clone.html>

27. Fluke 971 temperatur- og fuktighetsmåler [Internett].
Fluke; 2018 [sitert: 01.03.18]
Tilgjengelig fra: <http://www.fluke.com/fluke/nono/hvac-iaq-intstrumenter/klimainstrumenter/fluke-971.htm?pid=56155>
28. IR-termometer IRT 260 [Internett].
Biltema; 2018 [sitert: 01.03.18]
Tilgjengelig fra: <http://www.biltema.no/no/Verktoy/Maleverktoy/Maleinstrument/IR-termometer-IRT-260-2000024200/>
29. European Committee for Electrotechnical standardization, CLC Standard nr. 61340-5-2. Electrostatics - Part 5-2: Protection of electronic devices from electrostatic phenomena - User guide. Brussels: CLC; 2008 [sitert 20.02.18]
Tilgjengelig fra: <http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=339524>
30. Terminating static in the cleanroom [Internett].
Solid State Technology; 2018 [sitert: 27.01.18]
Tilgjengelig fra: <http://electroi.com/blog/1998/04/terminating-static-in-the-cleanroom/>
31. International Electrotechnical Commission, IEC Standard nr. 61340-4-7. Electrostatics - Part 4-7: Standard test methods for specific applications - Ionization [Internett]. Geneve: IEC; 2017 [sitert: 20.02.18]
Tilgjengelig fra: <http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=871802>
32. Process Capability (Cp, Cpk) and Process Performance (Pp, Ppk) – What is the Difference? [Internett].
iSixSigma; 2018 [sitert: 01.05.18]
Tilgjengelig fra: <https://www.isixsigma.com/tools-templates/capability-indices-process-capability/process-capability-cp-cpk-and-process-performance-pp-ppk-what-difference/>
33. What is Six Sigma? [Internett].
iSixSigma; 2018 [sitert: 01.05.18]
Tilgjengelig fra: <https://www.isixsigma.com/new-to-six-sigma/getting-started/what-six-sigma/>

34. Overhead Zero Volt Ionizer Installation, Operation and Maintenance [Internett].
Desco Industries; 2018 [sitert: 20.03.18]
Tilgjengelig fra: <http://documents.desco.com/PDF/TB-6534.pdf>
35. IRIS Room Ionization System Operation and Maintenance Instructions [Internett].
Desco Industries; 2015 [sitert: 30.04.18]
Tilgjengelig fra: <http://documents.descoemit.com/pdf/TB-6589.pdf>

A Liste over bedrifter som er kontaktet

Bedrifter som er kontaktet			
Firma	Kontaktperson	Mail	Nettside
Hexagon Ragasco	Arild Hansen	arild.hansen@hexagonragasco.com	www.hexagonragasco.com
	Atle Rørhus	atle.rorhus@hexagonragasco.com	
	Margrethe Skattum	margrethe.skattum@hexagonragasco.com	
	Rolf Skogling	rolf.skogling@hexagonragasco.com	
	Rune Lille-Homb	rune.lille-homb@hexagonragasco.com	
	Tone Østerud	tone.osterud@hexagonragasco.com	
	Eivind Paulsrud	eivind.paulsrud@hexagonragasco.com	
Hapro	Roger Hagebakken	rogerh@hapro.no	www.hapro.no
Topro	Even Karstein Myhre	even.myhre@topro.no	www.topro.no
	Frode Kojen	frode.kojen@topro.no	
Sintef	Dag Henning Sæther	daghenning.sather@sintef.no	www.sintef.no
Fraser Antistatic	John Bagby	jbagby@fraser-antistatic.co.uk	www.fraser-antistatic.com
Monroe Electronics		electrostatics@monroe-electronics.com	www.monroe-electronics.com
Simco Ion		general@simco.nl	www.simco-ion.com
Omega NTNU	Magnus Iben Holt	magnusih@stud.ntnu.no	omega.ntnu.no
Swedish Electrostatics		info@swedishelectrostatics.se	www.swedishelectrostatics.com
Alpha Lab Inc		mail@trifield.com	www.alphalabinc.com
Haug SCP		info@haug-static.com	www.haug-static.com
EM Agenturer	Robin Langøen	robin@emagenturer.no	www.emagenturer.no
Krepro AS	Vibeke Narmo	vibeke.narmo@krepro.no	www.krepro.no
Wolfgang Wambier		info@wambier.com	www.wambier.com
El-Care ESD	Frode Nilsen	frode@elcare-esd.com	www.elcare-esd.com

B Dokumenter Elcare ESD

B.1 Elcare ESD: Feltnålere

Av elektronikk. Frode Nilsen
frode@elcare-esd.com

Nyttig å vite om ESD(ElectroStatic Discharge) – elektrostatiske måleinstrumenter

For å kunne utøve effektiv ESD-kontroll må vi ha ulike instrumenter og apparater til rådighet, bl.a. elektrostatiske feltnålere og voltmeter. Også en ESD Event detektor kan komme til nytte for å detektere skadelige utladninger som vi ellers ikke så lett vil oppdage. Elektrostatiske voltmeter er ikke så anvendelige innen praktisk ESD-sikring som feltnålerne, men det er likevel greit å ha kjennskap til denne type instrumenter. Hva er egentlig forskjellen mellom feltnålere og voltmeter? Vanlige multimetere/voltmeter duger ikke til måling av statisk elektrisitet, vi trenger berøringsfrie instrumenter som kan måle statiske spenninger på flere tusen volt og som ikke belaster måleobjektet. Håndholdte feltnålere er enkle å bruke og de hjelper oss til å avsløre uønskede oppladbare materialer og gjenstander innenfor et ESD-beskyttet område (EPA). Elektrostatiske felt er årsak til elektrostatisk induksjon og utladninger som kan skade sensitiv elektronikk (ESDS).

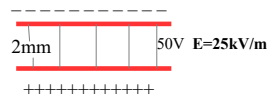
Hvilken type instrument skal vi velge, hvordan fungerer de, hvilke begrensninger har de, og hvordan skal de brukes korrekt? Vi prøver å gi svar.

Hva er et elektrostatisk felt?

Vi skal ikke bry oss med en inngående analyse av elektrostatiske felt men for å være godt forberedt til å jakte på felt i vårt ESD-miljø må vi vite følgende:

Alle oppladete personer og objekter er omgitt av et elektrostatisk felt. Feltet kan være negativt eller positivt, avhengig av om det er overskudd eller underskudd av elektroner i objektet eller personen som er årsaken til feltet. Elektriske felt måles i V/m, formel $E=V/m$.

Hvis f.eks. potensialforskjellen mellom platene i en kondensator er 50V og avstanden mellom platene er 0.002m, er absoluttverdien av feltstyrken $50/0.002=25kV/m$.



Bilde 1 Elektrostatisk felt i platekondensator

Felt som omgir isolerende materialer er til større bekymring i ESD-sammenheng enn felt som omgir konduktive materialer. Det er fordi isolerende materialer ikke kan lede strøm og forsøk på jording er dermed nytteløst. De holder på sin ladning etter å ha blitt triboelektrisk oppladet. Kun ionisering kan effektivt eliminere elektrostatiske felt fra slike materialer og gjenstander.

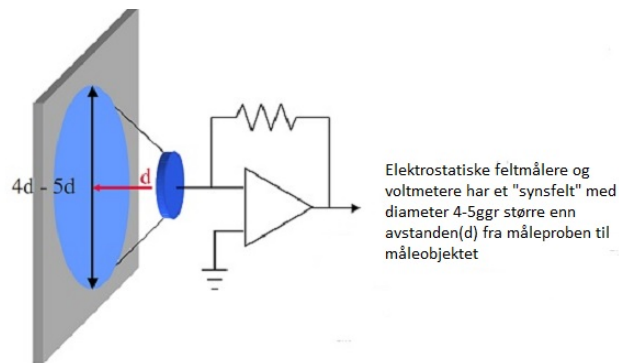
Elektrostatiske feltnålere - hvordan de kalibreres og nøyaktighet

Ved kalibrering av elektrostatiske feltnålere hos produsent tar man utgangspunkt i ei oppladet metallplate, isolert fra jord, med en bestemt størrelse, f.eks. 30x30cm og et bestemt potensial, f.eks. 1000V. Ved å holde proben (sensoren) på feltnåleren i en avstand på f.eks. 2,5cm fra platen, merker man av 1000V på målerens skala. En feltnåler gir altså korrekt avlesning av spenning ved å måle på ei konduktiv plate med omtrentlig samme størrelse og med samme avstand som ble benyttet ved kalibrering. Fordi «synsfeltet» hos feltnålerne har en diameter 4-5ggr større enn distansen til måleobjektet vil alt som detekteres i synsfeltet påvirke måleresultatet, se bilde 2. Er måleobjektet mindre eller mye større enn synsfeltet blir resultatet feil. For å unngå forvrengning av feltet det skal måles på må apparatene være godt skjermet.

En vanlig feiloppfatning er at det er en lineær sammenheng mellom avstand og potensial. Ved å måle fra en annen distanse eller ved å måle på ei flate med en annen størrelse enn under kalibrering, blir måleresultatet i beste fall en unøyaktig tilnærming. Feltnålere måler det elektriske feltet (V/d), ikke spenning i volt. Hva med måling på isolerende flater? På isolerende flater er ladning ujevnt

fordelt, polaritet og overflatespenningen varierer fra punkt til punkt. Det er strengt tatt ikke mulig å fastslå potensialet på en oppladet isolator med en elektrostatiske feltmåler.

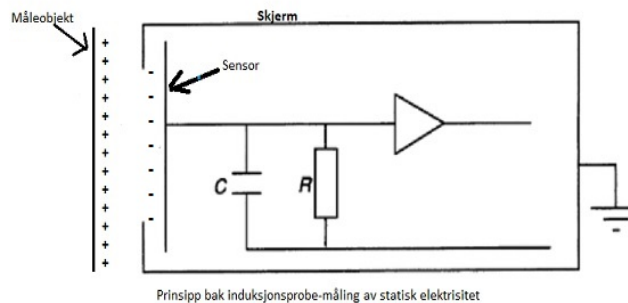
Elektrostatiske feltmålere er ikke særlig egnet til målinger på mindre flater fordi man risikerer elektrostatiske utladning mellom måleobjekt og probe når proben kommer nær inntil objektet.



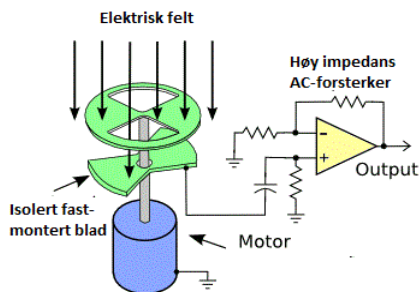
Bilde 2 «Synsfelt» hos elektrostatiske feltmålere og voltmeterer

Hvordan fungerer elektrostatiske feltmålere?

De enkleste og rimeligste målerne fungerer ved å plassere en måleprobe (induksjonsprobe) i en bestemt avstand fra en elektrostatiske oppladet flate, bilde 3. Feltet fra den oppladede flaten forårsaker en ladningsforskyvning (polarisering) i måleproben. Strømmen som flyter pga forskyvningen har en varighet på bare noen brøkdeler av et sekund før den opphører. Den induserte spenningen på proben benyttes for å gi et mål på feltstyrken. Enkle induksjonsprobe-målere er utsatt for drift og uegnet til bruk i ionisert luft i motsetning til feltmølle(chopper stabilized)-instrumenter, se bilde 4. Ionisert luft kan påvirke måleresultatet til det ubrukelige ved at uønsket konduktivitet får strømmer til å flyte mot måleproben og dermed forstyrre målingene. En annen ulempe er at for hver ny måling må de nullstilles mot en jordreferanse for å sikre mot forskyvning av nullpunkt. Uegnet til kontinuerlige målinger.



Bilde 3 Induksjonsprobe-prinsipp



Bilde 4 Feltmølle (chopper stabilized)-prinsipp) benyttes både i elektrostatiske feltmålere og voltmeterer

Feltmålere med bra nøyaktighet fungerer etter feltmølle-prinsippet (chopper stabilized), bilde 4. De har god stabilitet og immunitet mot uønskede signaler i omgivelsene og kan brukes i ionisert luft, flere varianter finnes. De vanligste har en jordet, roterende lukker (ligner på mølleblader) som vekselvis eksponerer og skjærer den fastmonterte, isolerte følelektroden mot feltet. Strømmen til elektroden varierer i takt med lukkerens rotasjons- hastighet. Vi får en vekselstrøm hvor amplityden er proporsjonal med det elektriske feltet og frekvensen tilsvarer rotasjonshastigheten til lukkeren. Deteksjonen av strømmen utføres av en fasesensitiv forsterker (PSD). Både målere av induksjons- og chopper stabilized type er svært avstands-sensitive. Feltmålere er best egnet til måling på større flater.

Hvilken feltmåler skal jeg velge og hvordan skal de brukes riktig?

Det anbefales å velge en måler som fungerer etter feltmølle-prinsippet (chopper stabilized) pga de fordeler som beskrevet over, se bilde 5 og 6, måleområder fra 0-20kV (digital) og 0-30kV(analog). Begge har analog utgang for tilkobling av opptaksstyr eller X-Y plotter for dokumentasjon. Den digitale måleren har optisk avstandssensor som indikerer korrekt avstand til objektet, noe som er en forutsetning for realistisk måling. Videre kan tilleggsutstyr tilkobles for test av ioniseringsvifter og måling av kroppsooplading.

Uansett hvilken feltmåler man velger **må både instrument og bruker være jordet når måling utføres**,(gjelder ikke elektrostatiske voltmeterer). Avstand til måleobjekt som beskrevet i instrumentets brukermanual må overholdes. Proben må ikke tilsmusses. Løse gjenstander, f.eks. plastark som ligger på jordplan, kan vise seg å være triboelektrisk oppladet selv om instrumentet viser det motsatte. Det vil du oppdage når arket løftes fra jordplanet. Årsaken er at kapasitansen mot underlaget avtar og spenningen øker. Ha alltid denne formel i tankene når du jakter på felt: $V=Q/C$, V =spenning, Q = ladning, C = kapasitans. Da unngår du å gå i kapasitansfella.



Bilde 5 Analog feltmåler



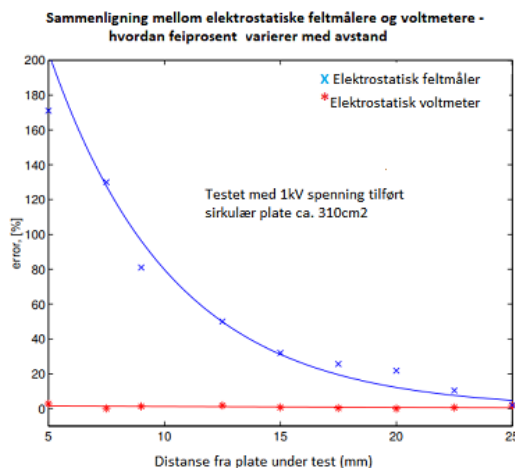
Bilde 6 Digital feltmåler

Elektrostatisk voltmeter

Også elektrostatiske voltmeter har et «synsfelt» som vist på bilde 2. Men virkemåten er forskjellig fra feltmålerne. De måler potensialet direkte, ikke feltet. Det gjøres ved å drive opp spenningen på en måleprobe inntil feltet foran proben er utlignet (=0). Voltmeterets spenning når feltet er utlignet tilsvarer spenningen på objektet det måles på. Fordi potensialet mellom måleproben og målepunktet =0 kan proben plasseres nært inntil målepunktet(1-5mm) uten risiko for gnistoverslag og slik bestemme potensialet på svært små gjenstander med stor nøyaktighet, f.eks. integrerte kretser. Variasjoner i måleavstand påvirker ikke måleresultatet som hos feltmålere, se bilde 8. Elektrostatiske voltmeter er mere kompliserte i konstruksjonen enn feltmålerne og kostbare i sammenligning. De har også flere bruks- områder og kan måle spenninger fra millivolt til flere kilovolt med god nøyaktighet. Voltmeteret som er beskrevet her er av spenningsfølger-type (DC-feedback) som er det mest avanserte. Potensialet på proben følger potensialet på måleobjektet. Andre og rimeligere voltmeter-typer finnes, f.eks AC-feedback.. De har alle til felles at de måler spenning direkte og er derfor ikke særlig påvirket av endringer i avstand til måleobjektet. Alle er godt egnet til målinger både på små og store flater.



Bilde 7 Elektrostatisk voltmeter



Bilde 8 Grafen illustrerer hvordan feilprosenten varierer med avstand mellom probe og testplate

ESD Event Detector

En event detektor skiller seg klart ut fra feltmålere/voltmeter ved at de registrerer en elektrostatisk utladning (ESD) når den skjer og ikke et elektrostatisk felt. I mange situasjoner og på mange steder kan det være svært vanskelig, ja nærmest umulig å avsløre skadelige utladninger uten hjelp av en EED. Det kan være utladninger pga manglende eller dårlig jording, ujordede loddebolter, materialer og verktøy som ikke har bra nok avledningsegenskaper, produksjonsprosesser og mange andre forhold som forårsaker utladninger som kan skade/degradere ESDS. Alle elektrostatiske utladninger inneholder høyfrekvente komponenter i MHz-GHz området. En EED fungerer som en radiomottaker og fanger opp RF-komponentene via sin antenne. Det er mange varianter av detektorene, fra de helt enkle som bare gir fra seg et lydsignal når ESD detekteres til de mere avanserte som viser styrken på utladningen og signaturer som indikerer om det er en HBM (Human Body Model)- eller CDM (Charged Device Model) utladning. Også

triggenivå kan stilles inn og tilkobling av ekstern antenne gjør det mulig å detektere utladninger på steder som kan være vanskelig tilgjengelig eller kanskje for risikable for mennesker å bevege seg inn i. Kontinuerlige målinger over tid er også mulig.



Bilde 9 ESD Event Detector (EED)

Konklusjon

Håndholdte elektrostatiske feltmålere er svært nyttige og uunnværlige instrumenter innen praktisk ESD-sikring. Dessuten er de enkle å bruke. For å ha maks nytte av de må man kjenne til deres begrensninger. På konduktive flater og gjenstander, kan de gi noenlunde korrekte måleresultater forutsatt at avstand til objekt og størrelse på objekt er tilnærmet lik de betingelser instrumentet ble kalibrert under. Videre er det en forutsetning at både bruker og instrument er jordet og at andre felt enn det som skal måles ikke innvirker på målingen. Ved måling på isolerende flater og objekter blir situasjonen en helt annen. Her blir det nærmest meningsløst å prøve og fastslå noe annet enn at gjenstanden er oppladet og polariteten. Avleste måleverdier er gjerne tilfeldige og uklare. Feltmålere kalles field locators på engelsk. Det er vel nettopp her de har sin verdi, lokalisering av felt og ikke for presise målinger på felt.

Elektrostatiske voltmeterer er relativt kostbare presisjonsinstrumenter med flere bruksområder enn feltmålerne og er mere kompliserte både i bruk og konstruksjon. Derfor er de ikke så «populære» innen praktisk ESD-sikring.

ESD Event Detektorer (EED) er utvilsomt fordelaktige i et produksjonsmiljø fordi uoppdagede utladninger (ESD) kan forringe produktkvalitet etc. og dermed få betydelige negative følger, både økonomisk og anseelsesmessig.

B.2 Elcare ESD: Jording



ELM Kurs & Tjenester

Av elektronikk, Frode Nilsen
frode@elcare-esd.com
www.elcare-esd.com

Nyttig å vite om ESD(ElectroStatic Discharge)-gulvbelegg, jording og oppladning av personell m.m.

Bedrifter som håndterer ubeskyttet ESD-følsom elektronikk, også kalt **ESDS(ESD Sensitive Device)**¹ er innforstått med at ESD-sikring er nødvendig for å unngå skader. Det handler om kvalitetssikring av elektronikk. Selv om vi har ESD-kvalitetsstandarder som veileder oss og er til stor nytte for implementering av et effektivt ESD-program, er det likevel behov for gode råd og tips hva angår flere ESD- messige forhold. Her ser vi nærmere på jording av personell og dertil tilhørende utstyr, krav og anbefalinger, samt en analyse av personoppladning. Vi har tatt utgangspunkt i internasjonalt ledende ESD-standard IEC 61340-5-1, som er harmonisert med amerikanske ANSI/ESD S.20.20. Det anbefales fra begynnelsen å innføre et ESD-program som sikrer alle områder i bedriften hvor behov for ESD-sikring er til stede, i motsatt fall kan det bli mere snakk om skadebegrensning enn effektiv ESD-sikring. Det er to metoder for jording av personell, via gulvbelegg, og via jordingsarmbånd. Vi ser nærmere på begge.

ESD-gulvbelegg

ESD-gulvbelegg er ofte den viktigste enkeltbestanddel innenfor ESD-sikring. Et godt belegg er et effektivt virkemiddel til bekjempelse av ESD-skader. Altså er det viktig å velge riktig type. Standarden krever en øvre resistansgrense, gjennomgangsmotstand til jord (**Rg**), på $<1G\Omega$ for slikt belegg. Dersom belegget skal benyttes til jording av personell er øvre resistansgrense,

Rg $<35M\Omega$, men nå gjelder **systemresistans**, som er kombinasjon person, fottoyt/gulv til jord, alternativt **Rg** $<1G\Omega$ og personoppladning $<100V$ ved såkalt «**walking test**».

Hvis man står foran valg av ESD-belegg bør man velge et belegg som oppfyller krav til **Rg** $<35M\Omega$ systemresistans. Et gulvbelegg med **Rg** $<1G\Omega$ kan muligens forhindre personoppladning $>100V$, men mange usikre variabler påvirker beleggets oppladningsegenskaper, bl.a. luftfuktighet, renholdsrutiner, forurensning mm. Måling av personoppladning ved «walking test» på et ESD-messig forsvarlig nivå med pålitelige, holdbare data, er en omfattende prosess som krever fagkompetanse og utstyr utover hva som behøves for gulv med systemresistans

Rg $<35M\Omega$. Høyohmige vinylbelegg har neppe mulighet til å klare 100V-grensen, høyohmige gummibaserte belegg kan klare det. Uansett, ESD-belegg med systemresistans **Rg** $<35M\Omega$ er utvilsomt det beste og tryggeste valget, dessuten er det lett å teste. Kan utføres uten spesiell fagkunnskap og med enkelt utstyr.

Vær oppmerksom på at det er bare i kombinasjon med ESD-fottoyt at gulvbelegget fungerer tilfredsstillende til jording av personell. Benyttes vanlige sko, har belegget minimal eller ingen effekt. Boning av ESD-gulvbelegg krever spesialpolish, vanlig polish må aldri benyttes. Merk at ESD-gulvbelegg bare er et krav dersom belegget inngår i et ESD-program.

Jordingsarmbånd

Jording via jordingsarmbånd er den foretrukne metode for jording av personell. Armbånd kan brukes både ved stående og sittende arbeid med **ESDS**¹, og det **skal alltid brukes** ved sittende arbeid fordi man da ikke kan være sikre på at føttene er trygt plassert på ESD-gulvet. Et komplett jordingsarmbåndssystem består av selve armbåndet og en kabel for tilkobling til f.eks. bordmatte. Krav til total resistans person/komplett armbåndssystem er $<35M\Omega$. Armbåndet skal sitte godt rundt håndleddet i direkte kontakt med hud. En sikkerhetsmotstand på vanligvis $1M\Omega$ 1/4W skal være innmontert i kabelen i enden nær armbåndet. Den skal beskytte mot elektrisk sjokk hvis kabelen kommer i kontakt med strømførende utstyr, beskytter mot spenninger opp til 250V. For høyere spenninger må armbånd/kabel endres tilsvarende. Kabelen er gjerne tilkoblet ESD-matte via trykknapp. Tilkobling til en ende av bordmatta via alligatorlemme er **ikke** akseptabelt.

Hvorfor 35MΩ?

Resistansgrensen er ikke tatt ut av lufta. Tester og matematikk viser at det ikke er mulig å overstige 100V personoppladning når systemresistansen er på 35MΩ, se nærmere forklaring og fysiske formler under avsnittet **ESD-gulvbelegg og oppladning**.

Hvorfor maks 100V kroppspotensial?

Fordi maks. 100V (HBM)personoppladning gir tilfredsstillende beskyttelse for de fleste elektronikk-komponenter. Komponenter som kan skades av spenninger <100V krever særskilte tiltak. Dessverre er ikke halvlederproduzentene særlig flinke til å oppgi ESD-følsomhetsnivåer i databladene. Merk at 100V er basert på simuleringsmodell, (HBM)Human Body Model, som simulerer utladning fra en person gjennom en finger mot en komponent. To andre simuleringsmodeller benyttes også for å simulere ESD-situasjoner, nemlig CDM(Charged Device Model) og den mindre viktige MM(Machine Model) som er en variant av HBM.

CDM

Forebygging av HBM-skader forhindrer **ikke** CDM-skader. CDM simulerer en ESD-situasjon hvor **ESDS**¹ lader seg opp enten triboelektrisk eller pga elektrostatisk induksjon og deretter utlades direkte mot f.eks. metall, altså selvskade pga selvutladning. CDM-skader kan være mere ødeleggende enn HBM-skader pga svært kort utladningstid og høy strømstyrke (lav kapasitans). CDM-skader forebygges hovedsakelig ved å fjerne eller å holde isolerende, oppladbare materialer på avstand fra ESDS og i tillegg benytte ioniseringsvifter for å nøytralisere ladning på slike materialer. Isolerende materialer kan som kjent ikke lede strøm og kan derfor **ikke jordes**, men de kan lades opp triboelektrisk.

Test av fottøy

At fottøyet er i orden er en absolutt betingelse for å ikke overskride 100V personoppladning. Periodisk test er obligatorisk. På markedet finnes forskjellige testapparater, noen er designet for å teste en og en fot, andre er designet for å teste begge føtter samtidig med uavhengige kretser for hver fot (anbefales). Man må også anskaffe et apparat som er innstilt på det resistansområdet som ESD-standarden krever, 100kΩ – 35MΩ. På apparater som er ment for å teste en fot i gangen, må man passe på å **ikke** stå med begge føttene på metallplata for da måles en resistansverdi som er bare halvparten av den reelle verdien (resistanser i parallell), og det blir feil. Man må også unngå å sette den foten som ikke er under test, på et ESD-gulv. Foten må løftes opp for å unngå feilmålinger. Sørg for rene skosåler før test.

Test av jordingsarmbånd

Test av jordingsarmbånd skal utføres periodisk og i overensstemmelse med bruk av jordingsarmbåndet, f.eks. daglig. Det finnes flere typer apparater i handelen, ofte er det kombinasjonsapparater som tester både fottøy og armbåndssystem (armbånd m/kabel). Det er viktig at man velger apparat som har et resistansområde som samsvarer med standarden (IEC61340-5-1), 750kΩ -35MΩ. Noen apparater har også velger for resistansområde. Pass på at riktig område er valgt. Testen utføres enkelt med armbåndet på håndleddet og ved å plugge kabelen til apparatet. Trykk på metallknappen på testapparatet og lysdioder (vanligvis) angir enten OK, eller feil på øvre eller nedre resistansgrense. Det kan være feil på armbånd eller kabel, kanskje begge deler, eller personen kan ha uvanlig tørr hud som kan avhjelpes med spesielle fuktighetskremer. Poenget er at man må finne årsaken til feilen før man går i gang med å håndtere **ESDS**¹.

¹ **ESDS(ESD Sensitive Device)** kan være elektronikk-komponent, kretskort, modul, tykk/tynnfilmotstand som er ESD-følsom

ESD-gulvbelegg og personoppladning



Når en person beveger seg over et gulv blir personen elektrisk oppladet som et resultat av kontakt og friksjon mellom skosåle og gulvbelegg, og en ladning (Δq) genereres for hvert skritt.

Hvis skrittfrekvensen er lik n skritt pr. tidsenhet, gir det en oppladningsstrøm

$$i_c = n\Delta q$$

Strømmen lader opp personen slik at spenningen, V , til å begynne med vil øke med en middelhastighet lik

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{n\Delta q}{C}$$

hvor C er personens kapasitans. Spenningsøkningen, ΔV , vil etter første skritt bli

$$\Delta V = \frac{\Delta q}{C}$$

Spenningen forårsaker en utladningsstrøm, i_d , gjennom resistansen R fra person til jord

$$i_d = \frac{V}{R} \quad \text{og spenningen vil nå sitt maksimum, } V_m, \text{ når } i_c = i_d \text{ eller}$$

$$V_m = Rn\Delta q$$

Hvis maks. akseptable kroppspotensial er $V_m = 100V$, må jordingsresistansen, R , oppfylle betingelsen under:

$$R \leq \frac{V_m}{n\Delta q_m} \quad R < \frac{V_m}{10^{-6}} = \frac{100}{10^{-6}} = 100M\Omega$$

$\Delta q_m = \epsilon_0 E_b A$ er maks. oppladning som genereres pr.skritt

ϵ_0 er en fysisk konstant, permittivitet i vakuum \approx luft $= 8.85 \cdot 10^{-12} F \cdot m^{-1}$ (Farad/meter).
 E_b er $3 \cdot 10^6 V/m$ er maks. feltstyrke før dielektrisk gjennomslag, A = skosåleareal (150cm²).
Skrittfrekvensen (n) er satt til 2/s som er i overensstemmelse med ISO standard.

Formelen viser at en systemresistans, R , på 100M Ω normalt er tilstrekkelig for å forhindre personoppladning på over 100V. Hvorfor krever ESD-standarder da maks. 35M Ω ?

Både praktiske forsøk og matematikk viser at det ikke er mulig å overstige 100V personoppladning når systemresistansen er på maks. 35M Ω . Selv om skrittfrekvensen økes til det dobbelte og skosålearealet økes betraktelig, overstiges ikke 100V grensen.

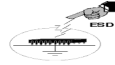
Merk at personens kapasitans, C , ikke har betydning for maks spenning, V_m , men er med på å bestemme, sammen med utladningsresistansen, hvor hurtig spenningen øker.

Kilde: www.incompliancemag.com **Is static electricity static?**

B.3 Elcare ESD: Ionisering



Av elektroniking, Frode Nilsen
frode@elcare-esd.com



Nyttig å vite om ESD(ElectroStatic Discharge) beskyttelse – Balansert Ionisering

Jording er et nøkkelord innen ESD-sikring, jording av personer, utstyr, gulv- og bordbelegg, stoler, reoler etc. Men hva med materialer som ikke kan jordes men som likevel er nødvendig innenfor EPA(ESD Protected Area) og nær **ESDS**¹?. Vi snakker om isolerende materialer som plast, glass, gummi, teflon samt kretskort mv. Isolatorer kan ikke lede strøm som konduktive materialer, men de kan lades opp triboelektrisk. Det er ingen grunn til å bekymre seg for elektrostatiske utladninger fra isolatorer, det er det elektriske feltet som omgir de som skaper problemer. Alle oppladde personer og gjenstander er omgitt av et elektrisk felt. Et elektrisk /elektrostatisk felt kan forårsake elektrostatisk induksjon hos ESDS som utsettes for feltet. Elektrostatisk induksjon er en av hovedårsakene til ESD-skader. Altså må vi sørge for å nøytralisere feltet.

Elektrisk oppladde konduktive materialer nøytraliseres ved jording, men for isolerende materialer finnes det i praksis bare en effektiv metode for nøytralisering, og det er **balansert luftionisering**. Ionisering benyttes i stor utstrekning innen elektronikkindustrien og på områder hvor statisk elektrisitet av ulike årsaker utgjør et problem. En ioneviftes oppgave er å nøytralisere det elektriske felt som oppstår rundt elektrostatiske oppladde, isolerende materialer. De fleste ioneviftene på markedet fungerer etter **Corona-prinsippet**, og det er disse vi hovedsakelig skal konsentrere oss om. En annen ioniseringsteknologi, Alfa-ionisering, basert på radioaktiv nedbrytning av Polonium 210, blir også omtalt.

Hva er luftioner?

Et ion er et atom eller molekyl som har en positiv eller negativ elektrisk ladning fordi det har mistet eller tatt opp elektroner, atomet/molekylet er altså ikke lengre elektrisk nøytralt. Et **luftion** er et elektrisk ladd molekyl som er en blanding av gasser, inkludert nitrogen, oksygen, karbondioksyd, vanddamp samt også spor av andre gasser. Luftioner forekommer naturlig i lufta i et forhold 1.2:1 i favor av positive ioner. Hvis et ion utsettes for et elektrisk felt, vil det bevege seg med en hastighet avhengig av feltstyrken og i en retning avhengig av både feltretningen og ionets polaritet som kan være positiv eller negativ.

Alfa-ionisering

Alfa-ionisering er den klart mest effektive metode for nøytralisering av oppladde, isolerende materialer. I motsetning til Corona-ionisatorer som benytter generering av elektrostatiske felt til ioneproduksjon, benytter Alfa-ionisatorer et radioaktivt grunnstoff, Polonium 210, som pga radioaktiv nedbrytning avgir alfa-partikler (helium-kjerner). Alfa-partiklene kolliderer med luftmolekyler som får revet løs elektroner og dermed blir positive ioner. Elektronene får ikke operere særlig lenge på egen hånd før de blir fanget opp av nøytrale molekyler som blir til negative ioner.

Fordelene med alfa-ionisatorer er: Perfekt ionebalanse (0 offset spenning), ypperlig i renrom, behøver ingen elektrisk strømforsyning og er derfor velegnet i brannfarlige og eksplosive miljøer. Alfa-ionisatorer er vedlikeholdsfrie. Leveres i mange forskjellige utgaver, takmontering, bordplassering, ioniseringspistoler etc.

Ulemper: Kostbare, trenger utskiftning årlig fordi halvparten av effekten er borte etter 138 dager (halveringstid for Polonium 210). Radioaktivitet kan virke skremmende på mennesker. Spesielle håndteringsregler. Ta gjerne kontakt med Statens Strålevern for eventuell anskaffelse.

Corona-ioniseringsvifter

Corona-ioniseringsvifter benytter et kraftig elektrisk felt som dannes ved å påtrykke høy spenning (5– 20kV) på nålespisser (emittere) til å akselerere elektroner. En del frie elektroner er alltid til stede i atmosfæren. Et positivt felt påvirker frie elektroner til å akselerere mot emitterne. På veien kolliderer de med luftmolekyler som får revet løs elektroner og dermed blir positive ioner. Det positive feltet frastøter de positive ionene, fortrinnsvis i retning mot det isolerende materialet som skal nøytraliseres. På samme måte vil et kraftig negativt elektrisk felt sende frie elektroner bort fra emitterne, de kolliderer med luftmolekyler som genererer flere frie elektroner som fanges opp av nøytrale molekyler nær emitterne. De negative ionene frastøtes av det negative elektriske feltet. Et oppladet objekt tiltrekker seg ioner av motsatt polaritet og en rekombinasjon finner sted.

Hva sier ledende ESD-standard IEC61340-5-1 om ioniseringsvifter?

Når ioniseringsvifter inngår i et ESD-program skal de kunne redusere en ladning fra 1000V til 100V på <20 sek. og offset spenning <+/-50V. En god ioniseringsvifte klarer å redusere fra 1000V til 100V på kanskje 4-5 sek. og en langt lavere offset-spenning. Det er viktig at ionebalansen blir best mulig ellers kan ioneviften risikere å virke mot sin hensikt, nemlig å lade opp gjenstanden/materialet i stedet for å nøytralisere. Mange ionevifter har korrigeringskretser som sørger for god balanse og stabilitet i ioneproduksjonen (anbefales).

Viktig å vite

Det er flere forhold som avgjør ioniseringseffekten og som man må ta hensyn til for å få optimal nytte av viftene. Det må ikke være hindringer som forstyrrer luftstrømmen mellom ioneviften og «arbeidsstedet». Ujordede elektrisk ledende objekter i ionestrømmen må jordes, ellers kan de ta opp ladning fra viftene.

Vær også oppmerksom på effekten av spenningsundertrykkelse (voltage suppression). F.eks. et oppladet isolerende plastark som ligger på arbeidsbordet vil ikke bli nøytralisert av ionestrømmen fordi det elektrostatisk feltet har kollapset. Det forklares med utgangspunkt i den grunnleggende formelen i elektroteknikk $Q=C \times V$ (ladning = kapasitans x spenning). Når arket ligger ned mot bordflaten er kapasitansen maks. og spenningen minimal. Løftes arket fra bord-platen kan man enkelt med en feltmåler sjekke at spenningen stiger og at det elektrostatisk feltet er fullt til stede. Ioneringen har hatt null effekt på plastarket, så vær på vakt! Emitterne krever rensing/utskiftning. Med tiden vil de avgi partikler. Spesielt i renrom er det uakseptabelt.

AC(Vekselstrøm)-ioniseringsvifter

Denne viftetyper er den mest benyttede og har den enkleste teknologien., er derfor også billigst i anskaffelse. Høy spenning påtrykkes nåler (emittere) som produserer henholdsvis positive og negative ioner i takt med nettfrekvensen (50Hz i Norge). Ioniseringseffekten er lav fordi positive og negative ioner følger tett etter hverandre fra de samme emittere separert i tid med bare en halvperiode (1/100s). Det betyr at tap av ioner pga rekombinasjon kan bli betydelig. For å minimere ionetapet, benyttes høy viftehastighet til å transportere ionene mot «arbeidsstedet». Det gjør at AC-ionevifter er lite egnet i f.eks. renrom. Dessuten kan ustabil nettfrekvens påvirke ionebalansen og nøytraliseringsseffekten.

DC(Likestrøm)-ioniseringsvifter

DC-viftene benytter separate emittere for å produsere henholdsvis positive og negative ioner vha høy positiv og negativ likespenning. Ioniseringseffekten er langt høyere enn hos AC-viftene. Fordi lavere luftstrøms hastighet kan benyttes, er de også velegnet i renrom. Ionebalansen er bedre enn hos AC-viftene som gjør de mere anvendelig til ESD-beskyttelse av svært følsom ESDS. DC-vifter er mere komplisert enn AC-vifter og prisen er høyere.

Pulsed DC(Likestrøm)-ioniseringsvifter

Denne teknologien er den mest avanserte og mest effektive blant Corona-ionevifter. Separate strømforsyninger benyttes for å generere positive og negative spenninger til emitterne. Metoden gir mulighet for forhåndsinnstilling av tidsintervallet for av/påslåing av emitterne samt forholdet mellom antallet positive og negative ioner som produseres (ioniseringsfrekvensen). Frekvensen er langt lavere enn hos AC-vifter slik at rekombinasjon av ioner reduseres betydelig og ytelsen øker deretter. Luftstrømmen kan kontrolleres etter behov uten at det går utover ytelsen. En minimum pulseringsfrekvens på 2-3 ggr/s er viktig for å unngå for høye spenningsvingninger på objektet som skal beskyttes. Virkemåten tillater at viftene gjerne kan plasseres i tak, 5 m eller høyere. Pulsed DC-vifter er vanligst i renrom.

Ioneviftene kan fås i forskjellige typer for best mulig tilpasning til sin oppgave. Vanlige typer i et elektronikkmiljø er: Overhead-vifter, benchtop-vifter og ioniseringspistoler. Alle kan leveres i AC eller DC versjon. Det er viktig å passe på at ione-luftstrømmen ikke forstyrres av luftstrømmer fra andre vifter eller fra ventilasjonsanlegget.

Overhead ionevifte

Som navnet forteller er overhead-viften konstruert plassering over arbeidsstedet, enten ved å henge ned fra taket eller under ei hylle. Fordelen med denne typen er at de tar opp minimalt med plass, er relativt stillegående, bra dekningsareal. Leveres i både AC og DC-versjon. Henges vanligvis 50-100cm over arbeidsstedet. Effektiviteten varierer med viftehastighet og avstand til arbeidsstedet.



Benchtop ionevifte

Viftetype som egner seg til mindre nøytraliseringsoppgaver. Kan stå på arbeidsbord eller monteres på vegg. Finnes både i AC og DC-versjon.
Rimelig i anskaffelse, støyer generelt mere enn overheadvifter.



Ioniseringspistol

Nøytraliserer elektrostatisk ladning hurtig, fjerner støv og partikler på bl.a. elektronisk utstyr. Svært anvendelig og fleksibelt apparat. Er avhengig av trykkluft.



Corona-ionisering og ozon

Et biprodukt av corona-ionisering er ozon. Ozon kan forårsake luftveisirritasjon, øyeirritasjon, sår hals, hodepine og moderat åndenød. Ozonutskillingen fra viftene er oftest svært lav og godt under maks. grenser satt av myndighetene, slik at de negative helseeffektene er svært uvanlige, sjekk likevel databladet.

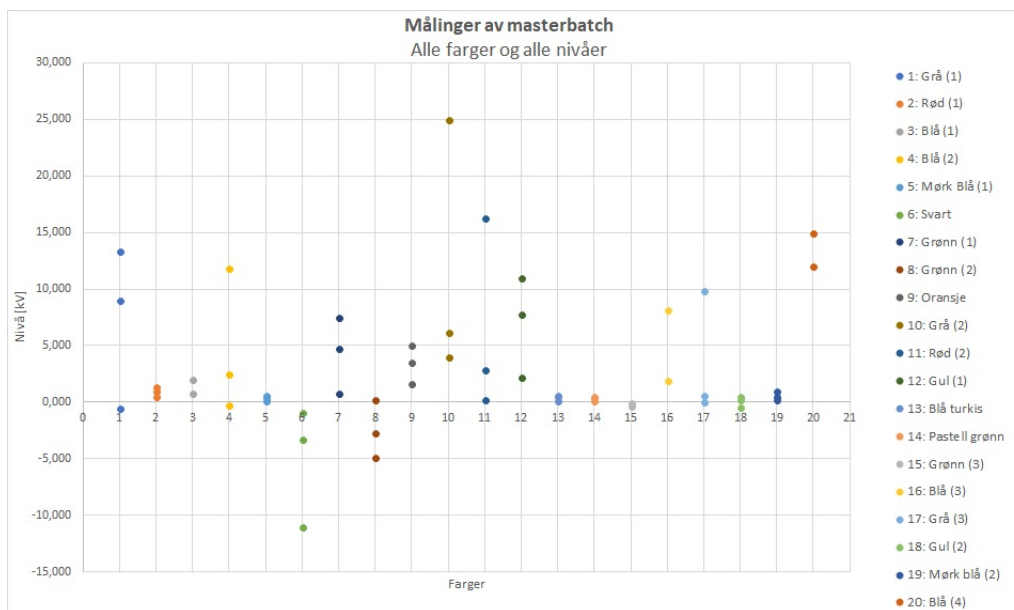
En grei forholdsregel er: Lukter det ozon er konsentrasjonen for høy.

Administrativ norm for ozon i arbeidsmiljøet er 0,2 mg/m³ luft.

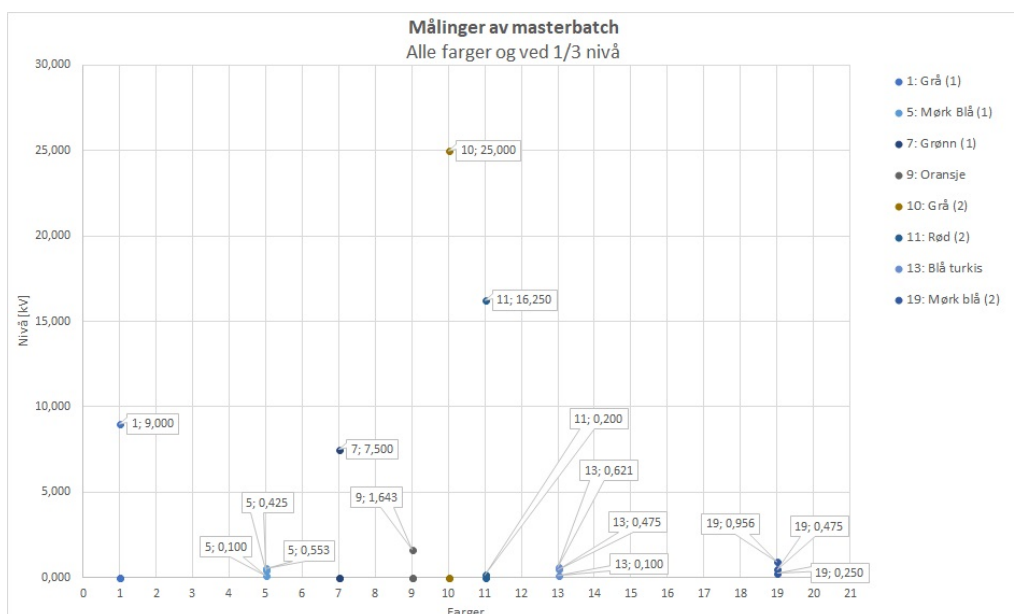
¹ESDS(ESD Sensitive Device) kan være elektronikk-komponent, kretskort, modul, tykk/tynnfilmotstand som er ESD-følsom

C Masterbatch: Figurer

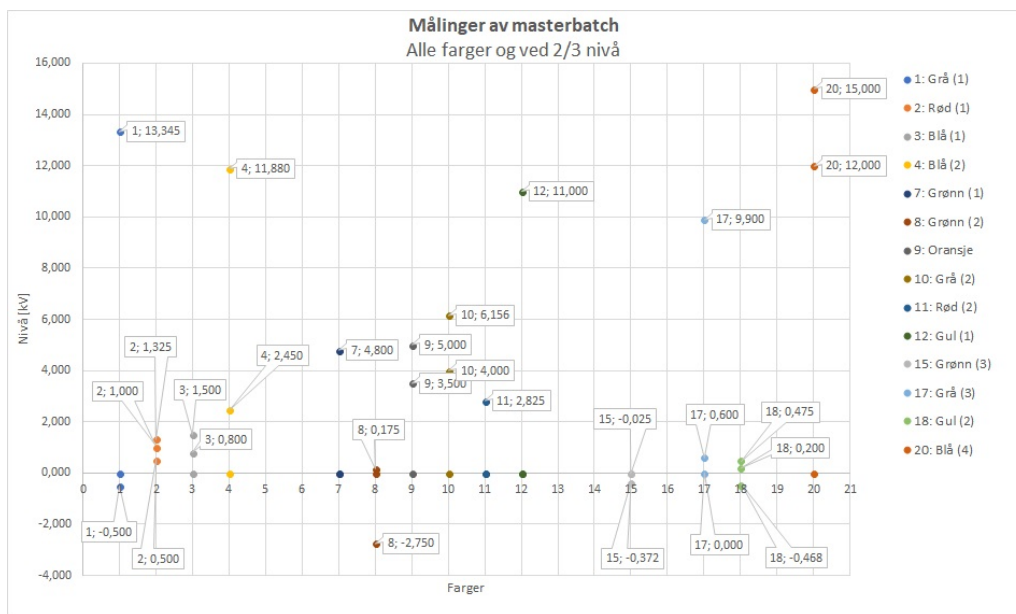
Vedlegget inneholder figurer som viser måleresultater for målinger på masterbatch. Disse er omtalt i delkapittel 4.2.



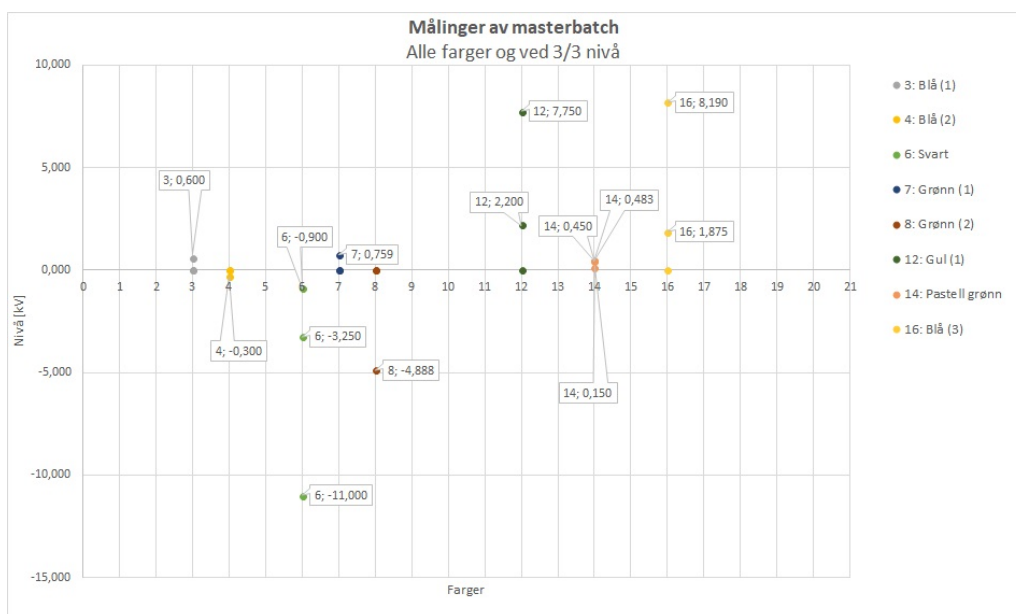
Figur C.1: Måleresultater for ladningsnivået i masterbatch for forskjellige farger og forskjellige nivåer



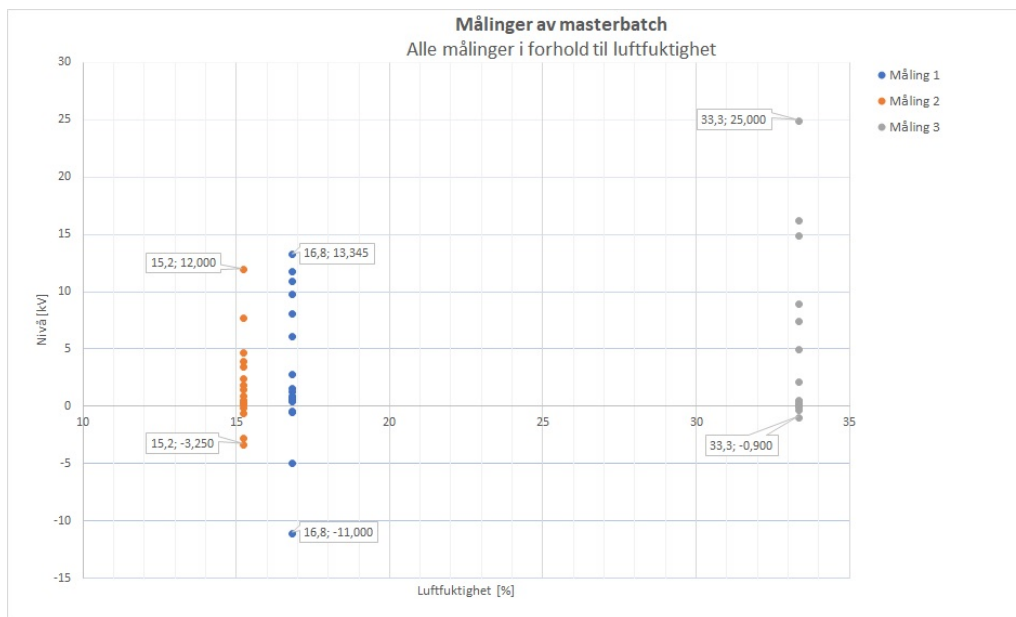
Figur C.2: Måleresultater for ladningsnivået i masterbatch med $\frac{1}{3}$ nivå med granulat. Masterbatch'er med mer enn $\frac{1}{3}$ nivå med granulat er utelatt fra grafen.



Figur C.3: Måleresultater for ladningsnivået i masterbatch med $\frac{2}{3}$ nivå med granulat. Masterbatch'er med mindre enn $\frac{1}{3}$ eller mer enn $\frac{3}{3}$ nivå med granulat er utelatt fra grafen.



Figur C.4: Måleresultater for ladningsnivået i masterbatch med $\frac{3}{3}$ nivå med granulat. Masterbatch'er med mindre enn $\frac{3}{3}$ nivå med granulat er utelatt fra grafen.



Figur C.5: Måleresultater for ldningsnivået i masterbatch for forskjellige farger og forskjellige nivåer relatert til luftfuktigheten ved måling.

E Materialmiks: Detaljerte måleresultater

Vedlegget inneholder eksempel på måleresultater for detaljert måling på materialmiks. Disse er omtalt i delkapittel 4.3.2.

Målinger materialmiks for presse (1)											
Dato	11.04.2018	IGNORER		Serie 2		Serie 3		Serie 4		Serie 5	
Start-tid	15:41:23,5	15:44:57,2	15:49:08,5	15:52:57,5	15:56:45,5	16:00:32,0	16:04:19,5	16:08:07,0	16:11:54,5	16:15:42,0	16:19:29,5
Slutt-tid	15:44:57,2	15:49:08,5	15:52:57,5	15:56:45,5	16:00:32,0	16:04:19,5	16:08:07,0	16:11:54,5	16:15:42,0	16:19:29,5	16:23:17,0
Periode	03:33,5	04:10,5	03:48,5	03:47,5	03:46,0	03:59,0	04:02,5	04:01,5	04:00,5	03:59,0	03:57,5
Antall punkt	428	502	458	435	454	479	479	479	479	479	479
Høyeste verdi (N)	835	870	775	870	790	855	855	855	855	855	855
Antall (N)	143	171	143	143	143	143	143	143	143	143	143
Antall (n)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Antall topp (>=60%)	36	46	49	47	46	47	46	47	46	47	46
Prosentandel (>=60%)	3,74%	3,19%	4,15%	3,74%	3,52%	3,55%	3,55%	3,55%	3,55%	3,55%	3,55%
Antall (60%>X>=10%)	57	55	60	62	61	60	61	60	61	60	61
Prosentandel (60%>X>=10%)	13,32%	10,96%	13,10%	13,03%	13,44%	12,53%	12,53%	12,53%	12,53%	12,53%	12,53%
Antall bunn (<10%)	355	417	379	376	364	402	402	402	402	402	402
Prosentandel (<10%)	82,94%	85,07%	82,75%	82,64%	80,18%	83,59%	83,59%	83,59%	83,59%	83,59%	83,59%
Sum	428	488	458	435	441	479	479	479	479	479	479
Avsk	0	74	0	0	13	0	0	0	0	0	0

Målinger materialmiks for presse (1)									
IGNORER									
Tid	Nivå	Tid	Nivå	Tid	Nivå	Tid	Nivå	Tid	Nivå
15:41:23,5	20	15:44:57,2	53	15:49:08,5	62	15:52:57,5	37	15:56:45,5	0
15:41:24,0	-109	15:44:58,0	-32	15:49:09,0	-118	15:52:58,0	-171	15:56:46,0	-112
15:41:24,5	-16	15:44:58,5	-138	15:49:09,5	-141	15:52:58,5	-125	15:56:46,5	-170
15:41:25,0	156	15:44:59,0	-18	15:49:10,0	-141	15:52:59,0	-1390	15:56:47,0	-115
15:41:25,5	-394	15:44:59,5	4	15:49:10,5	-262	15:52:59,5	-405	15:56:47,5	-34
15:41:26,0	-1100	15:45:00,0	-300	15:49:11,0	-720	15:53:00,0	0	15:56:48,0	-307
15:41:26,5	1835	15:45:00,5	-485	15:49:11,5	-485	15:53:00,5	295	15:56:48,5	-307
15:41:27,0	1835	15:45:01,0	-405	15:49:12,0	-405	15:53:01,0	295	15:56:49,0	-307
15:41:27,5	1835	15:45:01,5	-405	15:49:12,5	-405	15:53:01,5	295	15:56:49,5	-307
15:41:28,0	3370	15:45:02,0	0	15:49:13,0	2960	15:53:02,0	4160	15:56:50,0	-800
15:41:28,5	7000	15:45:02,5	0	15:49:13,5	3600	15:53:02,5	5000	15:56:50,5	0
15:41:29,0	5250	15:45:03,0	4850	15:49:14,0	5300	15:53:03,0	5450	15:56:51,0	2880
15:41:29,5	5250	15:45:03,5	4550	15:49:14,5	5250	15:53:03,5	6200	15:56:51,5	3720
15:41:30,0	5700	15:45:04,0	5350	15:49:15,0	3850	15:53:04,0	5900	15:56:52,0	4250
15:41:30,5	5950	15:45:04,5	5150	15:49:15,5	6000	15:53:04,5	5200	15:56:52,5	3180
15:41:31,0	6350	15:45:05,0	5950	15:49:16,0	6100	15:53:05,0	4800	15:56:53,0	5900
15:41:31,5	6450	15:45:05,5	6900	15:49:16,5	7550	15:53:05,5	4800	15:56:53,5	6150
15:41:32,0	8350	15:45:06,0	7600	15:49:17,0	7700	15:53:06,0	6150	15:56:54,0	8150
15:41:32,5	7050	15:45:06,5	6850	15:49:17,5	6550	15:53:06,5	6450	15:56:54,5	5900
15:41:33,0	8950	15:45:07,0	7550	15:49:18,0	7750	15:53:07,0	8350	15:56:55,0	5800
15:41:33,5	8950	15:45:07,5	7150	15:49:18,5	7400	15:53:07,5	7650	15:56:55,5	7550
15:41:34,0	8150	15:45:08,0	8700	15:49:19,0	7900	15:53:08,0	8700	15:56:56,0	6950
15:41:34,5	7650	15:45:08,5	7900	15:49:19,5	7300	15:53:08,5	7950	15:56:56,5	7300
15:41:35,0	7000	15:45:09,0	7300	15:49:20,0	6750	15:53:09,0	7950	15:56:57,0	7900
15:41:35,5	6500	15:45:09,5	6800	15:49:20,5	6300	15:53:09,5	6950	15:56:57,5	7050
15:41:36,0	6000	15:45:10,0	6400	15:49:21,0	6000	15:53:10,0	6800	15:56:58,0	6500
15:41:36,5	5500	15:45:10,5	6000	15:49:21,5	5600	15:53:10,5	6600	15:56:58,5	6000
15:41:37,0	5650	15:45:11,0	5750	15:49:22,0	5250	15:53:11,0	5750	15:56:59,0	5700
15:41:37,5	5350	15:45:11,5	5550	15:49:22,5	5300	15:53:11,5	5450	15:56:59,5	5450
15:41:38,0	5150	15:45:12,0	5250	15:49:23,0	5050	15:53:12,0	5250	15:57:00,0	4950
15:41:38,5	4900	15:45:12,5	5100	15:49:23,5	4800	15:53:12,5	5050	15:57:00,5	4700
15:41:39,0	4700	15:45:13,0	4850	15:49:24,0	4600	15:53:13,0	4800	15:57:01,0	4450
15:41:39,5	4450	15:45:13,5	4550	15:49:24,5	4400	15:53:13,5	4600	15:57:01,5	4300
15:41:40,0	4200	15:45:14,0	4400	15:49:25,0	4150	15:53:14,0	4350	15:57:02,0	4000
15:41:40,5	4000	15:45:14,5	4150	15:49:25,5	4000	15:53:14,5	4150	15:57:02,5	4000
15:41:41,0	3650	15:45:15,0	4050	15:49:26,0	3700	15:53:15,0	4050	15:57:03,0	3680

Gjennomsnitt (1,3,4,5,6)	
Område	Nivå
Oppbygning	6
-88	-125
16:00:32,0	16:00:32,0
16:00:32,5	-304
16:00:33,0	-208
16:00:33,5	-340
16:00:34,0	-1300
16:00:34,5	-660
16:00:35,0	0
16:00:35,5	0
16:00:36,0	3380
16:00:36,5	3350
16:00:37,0	5200
16:00:37,5	4800
16:00:38,0	5500
16:00:38,5	6550
16:00:39,0	6050
16:00:39,5	7150
16:00:40,0	8150
16:00:40,5	8550
16:00:41,0	8150
16:00:41,5	7900
16:00:42,0	8050
16:00:42,5	7550
16:00:43,0	6650
16:00:43,5	6150
16:00:44,0	5800
16:00:44,5	5800
16:00:45,0	5800
16:00:45,5	5350
16:00:46,0	5350
16:00:46,5	5100
16:00:47,0	4950
16:00:47,5	4700
16:00:48,0	4450
16:00:48,5	4300
16:00:49,0	4100
16:00:49,5	4000
16:00:50,0	3680

Notat:
 Oppbygningskurven (Red/Grøn): Alle verdier for toppkurven
 Toppkurven (Grøn): To toppverdier etter hverandre klassifiseres som starten på en topp. Du må derfor ta mellommåling verdier etter hverandre
 Mellommåling (Blå): Alle verdier etter toppkurven til man treffer to bunn.

15:41:41.5	3880	15:45:11.5	3740	15:49:26.5	3610	15:53:15.5	3750	15:57:03.5	3750	16:00:50.0	3500	Wellömnä	4890	5150
15:41:42.0	3440	15:45:16.0	3570	15:49:27.0	3430	15:53:16.0	3650	15:57:04.0	3660	16:00:50.5	3380		4800	
15:41:42.5	3320	15:45:17.5	3440	15:49:27.5	3270	15:53:16.5	3480	15:57:04.5	3480	16:00:51.0	3220		4740	
15:41:43.0	3160	15:45:17.0	3380	15:49:28.0	3100	15:53:17.0	3310	15:57:05.0	3300	16:00:51.5	2980		4500	
15:41:43.5	3010	15:45:17.5	3300	15:49:28.5	3000	15:53:17.5	3180	15:57:05.5	3190	16:00:52.0	2990		4300	
15:41:44.0	2920	15:45:18.0	3020	15:49:29.0	2860	15:53:18.0	3040	15:57:06.0	3040	16:00:52.5	2870		4300	
15:41:44.5	2790	15:45:18.5	2890	15:49:29.5	2790	15:53:18.5	2900	15:57:06.5	2910	16:00:53.0	2750		4074	
15:41:45.0	2600	15:45:19.0	2800	15:49:30.0	2680	15:53:19.0	2810	15:57:07.0	2810	16:00:53.5	2670		3924	
15:41:45.5	2600	15:45:19.5	2800	15:49:30.5	2600	15:53:19.5	2700	15:57:07.5	2690	16:00:54.0	2570		3732	
15:41:46.0	2490	15:45:20.0	2770	15:49:31.0	2500	15:53:20.0	2590	15:57:08.0	2610	16:00:54.5	2500		3506	
15:41:46.5	2390	15:45:20.5	2470	15:49:31.5	2400	15:53:20.5	2510	15:57:08.5	2490	16:00:55.0	2400		3380	
15:41:47.0	2300	15:45:21.0	2390	15:49:32.0	2300	15:53:21.0	2420	15:57:09.0	2400	16:00:55.5	2300		3234	
15:41:47.5	2220	15:45:21.5	2300	15:49:32.5	2220	15:53:21.5	2350	15:57:09.5	2330	16:00:56.0	2230		3098	
15:41:48.0	2160	15:45:22.0	2230	15:49:33.0	2140	15:53:22.0	2250	15:57:10.0	2240	16:00:56.5	2160		2976	
15:41:48.5	2080	15:45:22.5	2150	15:49:33.5	2080	15:53:22.5	2160	15:57:10.5	2160	16:00:57.0	2080		2854	
15:41:49.0	2010	15:45:23.0	2080	15:49:34.0	2000	15:53:23.0	2110	15:57:11.0	2110	16:00:57.5	2050		2760	
15:41:49.5	1980	15:45:23.5	2010	15:49:34.5	1930	15:53:23.5	2030	15:57:11.5	2020	16:00:58.0	1970		2646	
15:41:50.0	1880	15:45:24.0	1950	15:49:35.0	1870	15:53:24.0	1960	15:57:12.0	1950	16:00:58.5	1900		2532	
15:41:50.5	1820	15:45:24.5	1870	15:49:35.5	1820	15:53:24.5	1910	15:57:12.5	1890	16:00:59.0	1850		2462	
15:41:51.0	1760	15:45:25.0	1810	15:49:36.0	1770	15:53:25.0	1850	15:57:13.0	1830	16:00:59.5	1790		2374	
15:41:51.5	1710	15:45:25.5	1770	15:49:36.5	1710	15:53:25.5	1790	15:57:13.5	1770	16:01:00.0	1730		2288	
15:41:52.0	1650	15:45:26.0	1710	15:49:37.0	1650	15:53:26.0	1740	15:57:14.0	1720	16:01:00.5	1670		2208	
15:41:52.5	1600	15:45:26.5	1660	15:49:37.5	1600	15:53:26.5	1690	15:57:14.5	1670	16:01:01.0	1640		2126	
15:41:53.0	1550	15:45:27.0	1600	15:49:38.0	1550	15:53:27.0	1650	15:57:15.0	1620	16:01:01.5	1580		2062	
15:41:53.5	1500	15:45:27.5	1550	15:49:38.5	1500	15:53:27.5	1600	15:57:15.5	1580	16:01:02.0	1530		1990	
15:41:54.0	1450	15:45:28.0	1510	15:49:39.0	1450	15:53:28.0	1540	15:57:16.0	1530	16:01:02.5	1490		1930	
15:41:54.5	1410	15:45:28.5	1460	15:49:39.5	1420	15:53:28.5	1490	15:57:16.5	1480	16:01:03.0	1450		1870	
15:41:55.0	1370	15:45:29.0	1410	15:49:40.0	1370	15:53:29.0	1460	15:57:17.0	1450	16:01:03.5	1420		1812	
15:41:55.5	1320	15:45:29.5	1380	15:49:40.5	1330	15:53:29.5	1410	15:57:17.5	1410	16:01:04.0	1370		1756	
15:41:56.0	1290	15:45:30.0	1340	15:49:41.0	1300	15:53:30.0	1370	15:57:18.0	1360	16:01:04.5	1330		1702	
15:41:56.5	1250	15:45:30.5	1290	15:49:41.5	1250	15:53:30.5	1340	15:57:18.5	1330	16:01:05.0	1300		1652	
15:41:57.0	1220	15:45:31.0	1260	15:49:42.0	1210	15:53:31.0	1300	15:57:19.0	1300	16:01:05.5	1260		1600	
15:41:57.5	1180	15:45:31.5	1220	15:49:42.5	1190	15:53:31.5	1260	15:57:19.5	1270	16:01:06.0	1220		1554	
15:41:58.0	1150	15:45:32.0	1210	15:49:43.0	1160	15:53:32.0	1230	15:57:20.0	1240	16:01:06.5	1200		1508	
15:41:58.5	1130	15:45:32.5	1190	15:49:43.5	1130	15:53:32.5	1190	15:57:20.5	1220	16:01:07.0	1200		1460	
15:41:59.0	1120	15:45:33.0	1150	15:49:44.0	1100	15:53:33.0	1160	15:57:21.0	1180	16:01:07.5	1160		1418	
15:41:59.5	1070	15:45:33.5	1120	15:49:44.5	1090	15:53:33.5	1140	15:57:21.5	1130	16:01:08.0	1140		1384	
15:42:00.0	1060	15:45:34.0	1090	15:49:45.0	1060	15:53:34.0	1140	15:57:22.0	1100	16:01:08.5	1110		1348	
15:42:00.5	1030	15:45:34.5	1060	15:49:45.5	1030	15:53:34.5	1100	15:57:22.5	1100	16:01:09.0	1080		1302	
15:42:01.0	1000	15:45:35.0	1030	15:49:46.0	1010	15:53:35.0	1080	15:57:23.0	1070	16:01:09.5	1060		1270	
15:42:01.5	975	15:45:35.5	1010	15:49:46.5	985	15:53:35.5	1050	15:57:23.5	1040	16:01:10.0	1040		1238	
15:42:02.0	950	15:45:36.0	980	15:49:47.0	960	15:53:36.0	1030	15:57:24.0	1010	16:01:10.5	1010		1204	
15:42:02.5	925	15:45:36.5	955	15:49:47.5	935	15:53:36.5	1010	15:57:24.5	995	16:01:11.0	990		1178	
15:42:03.0	905	15:45:37.0	935	15:49:48.0	910	15:53:37.0	985	15:57:25.0	970	16:01:11.5	970		1146	
15:42:03.5	885	15:45:37.5	915	15:49:48.5	890	15:53:37.5	960	15:57:25.5	945	16:01:12.0	940		1126	
15:42:04.0	860	15:45:38.0	895	15:49:49.0	870	15:53:38.0	940	15:57:26.0	925	16:01:12.5	925		1104	
15:42:04.5	840	15:45:38.5	865	15:49:49.5	855	15:53:38.5	915	15:57:26.5	905	16:01:13.0	900		1072	
15:42:05.0	815	15:45:39.0	845	15:49:50.0	830	15:53:39.0	895	15:57:27.0	880	16:01:13.5	880		1049	
15:42:05.5	795	15:45:39.5	820	15:49:50.5	810	15:53:39.5	875	15:57:27.5	860	16:01:14.0	860		1033	
15:42:06.0	780	15:45:40.0	805	15:49:51.0	790	15:53:40.0	855	15:57:28.0	840	16:01:14.5	840		1019	
15:42:06.5	755	15:45:40.5	780	15:49:51.5	775	15:53:40.5	840	15:57:28.5	815	16:01:15.0	820		999	
15:42:07.0	735	15:45:41.0	760	15:49:52.0	750	15:53:41.0	815	15:57:29.0	800	16:01:15.5	805		976	
15:42:07.5	725	15:45:41.5	745	15:49:52.5	730	15:53:41.5	795	15:57:29.5	780	16:01:16.0	790		952	
15:42:08.0	705	15:45:42.0	730	15:49:53.0	715	15:53:42.0	780	15:57:30.0	765	16:01:16.5	770		930	
15:42:08.5	685	15:45:42.5	710	15:49:53.5	700	15:53:42.5	760	15:57:30.5	750	16:01:17.0	760		908	
15:42:09.0	675	15:45:43.0	695	15:49:54.0	680	15:53:43.0	740	15:57:31.0	730	16:01:17.5	740		886	
15:42:09.5	655	15:45:43.5	680	15:49:54.5	670	15:53:43.5	730	15:57:31.5	715	16:01:18.0	715		864	

15:42:10.0	640	15:45:44.0	660	15:49:55.0	650	15:53:44.0	715	15:57:32.0	700	16:01:18.5	700	818
15:42:10.5	625	15:45:44.5	650	15:49:55.5	640	15:53:44.5	680	15:57:32.5	685	16:01:19.0	685	860
15:42:11.0	610	15:45:45.0	630	15:49:56.0	625	15:53:45.0	695	15:57:33.0	675	16:01:19.5	675	822
15:42:11.5	500	15:45:45.5	615	15:49:56.5	610	15:53:45.5	660	15:57:33.5	655	16:01:20.0	660	803
15:42:12.0	585	15:45:46.0	605	15:49:57.0	595	15:53:46.0	645	15:57:34.0	645	16:01:20.5	645	785
15:42:12.5	565	15:45:46.5	590	15:49:57.5	585	15:53:46.5	630	15:57:34.5	630	16:01:21.0	630	766
15:42:13.0	555	15:45:47.0	580	15:49:58.0	570	15:53:47.0	620	15:57:35.0	615	16:01:21.5	620	748
15:42:13.5	540	15:45:47.5	565	15:49:58.5	560	15:53:47.5	605	15:57:35.5	600	16:01:22.0	600	734
15:42:14.0	530	15:45:48.0	550	15:49:59.0	550	15:53:48.0	590	15:57:36.0	590	16:01:22.5	590	714
15:42:14.5	515	15:45:48.5	540	15:49:59.5	535	15:53:48.5	580	15:57:36.5	580	16:01:23.0	580	699
15:42:15.0	510	15:45:49.0	525	15:50:00.0	525	15:53:49.0	560	15:57:37.0	565	16:01:23.5	570	684
15:42:15.5	495	15:45:49.5	520	15:50:00.5	510	15:53:49.5	560	15:57:37.5	555	16:01:24.0	560	668
15:42:16.0	485	15:45:50.0	510	15:50:01.0	500	15:53:50.0	545	15:57:38.0	545	16:01:24.5	550	653
15:42:16.5	475	15:45:50.5	500	15:50:01.5	495	15:53:50.5	535	15:57:38.5	535	16:01:25.0	535	639
15:42:17.0	465	15:45:51.0	480	15:50:02.0	485	15:53:51.0	525	15:57:39.0	525	16:01:25.5	530	623
15:42:17.5	455	15:45:51.5	475	15:50:02.5	470	15:53:51.5	510	15:57:39.5	510	16:01:26.0	515	610
15:42:18.0	445	15:45:52.0	465	15:50:03.0	460	15:53:52.0	505	15:57:40.0	505	16:01:26.5	505	599
15:42:18.5	435	15:45:52.5	455	15:50:03.5	455	15:53:52.5	495	15:57:40.5	495	16:01:27.0	500	583
15:42:19.0	430	15:45:53.0	450	15:50:04.0	445	15:53:53.0	485	15:57:41.0	485	16:01:27.5	500	552
15:42:19.5	420	15:45:53.5	440	15:50:04.5	440	15:53:53.5	475	15:57:41.5	475	16:01:28.0	490	552
15:42:20.0	410	15:45:54.0	430	15:50:05.0	430	15:53:54.0	470	15:57:42.0	470	16:01:28.5	480	560
15:42:20.5	400	15:45:54.5	420	15:50:05.5	420	15:53:54.5	460	15:57:42.5	465	16:01:29.0	475	546
15:42:21.0	400	15:45:55.0	415	15:50:06.0	410	15:53:55.0	450	15:57:43.0	455	16:01:29.5	465	539
15:42:21.5	386	15:45:55.5	405	15:50:06.5	400	15:53:55.5	440	15:57:43.5	445	16:01:30.0	455	526
15:42:22.0	371	15:45:56.0	400	15:50:07.0	400	15:53:56.0	435	15:57:44.0	440	16:01:30.5	450	515
15:42:22.5	366	15:45:56.5	386	15:50:07.5	389	15:53:56.5	425	15:57:44.5	425	16:01:31.0	440	505
15:42:23.0	357	15:45:57.0	384	15:50:08.0	382	15:53:57.0	415	15:57:45.0	420	16:01:31.5	430	495
15:42:23.5	351	15:45:57.5	376	15:50:08.5	377	15:53:57.5	410	15:57:45.5	410	16:01:32.0	415	478
15:42:24.0	345	15:45:58.0	368	15:50:09.0	369	15:53:58.0	400	15:57:46.0	405	16:01:32.5	410	467
15:42:24.5	338	15:45:58.5	362	15:50:09.5	362	15:53:58.5	400	15:57:46.5	400	16:01:33.0	405	458
15:42:25.0	331	15:45:59.0	356	15:50:10.0	357	15:53:59.0	390	15:57:47.0	385	16:01:33.5	405	451
15:42:25.5	327	15:45:59.5	340	15:50:10.5	350	15:53:59.5	383	15:57:47.5	385	16:01:34.0	374	440
15:42:26.0	327	15:46:00.0	343	15:50:11.0	345	15:54:00.0	376	15:57:48.0	378	16:01:34.5	384	433
15:42:26.5	320	15:46:00.5	337	15:50:11.5	339	15:54:00.5	371	15:57:48.5	373	16:01:35.0	380	426
15:42:27.0	314	15:46:01.0	330	15:50:12.0	332	15:54:01.0	366	15:57:49.0	367	16:01:35.5	373	417
15:42:27.5	309	15:46:01.5	326	15:50:12.5	326	15:54:01.5	358	15:57:49.5	360	16:01:36.0	366	409
15:42:28.0	303	15:46:02.0	326	15:50:13.0	322	15:54:02.0	353	15:57:50.0	353	16:01:36.5	360	402
15:42:28.5	297	15:46:02.5	319	15:50:13.5	316	15:54:02.5	347	15:57:50.5	349	16:01:37.0	356	394
15:42:29.0	293	15:46:03.0	309	15:50:14.0	310	15:54:03.0	341	15:57:51.0	342	16:01:37.5	350	388
15:42:29.5	288	15:46:03.5	303	15:50:14.5	306	15:54:03.5	336	15:57:51.5	337	16:01:38.0	345	382
15:42:30.0	282	15:46:04.0	298	15:50:15.0	301	15:54:04.0	331	15:57:52.0	333	16:01:38.5	340	371
15:42:30.5	278	15:46:04.5	294	15:50:15.5	297	15:54:04.5	325	15:57:52.5	328	16:01:39.0	334	369
15:42:31.0	273	15:46:05.0	289	15:50:16.0	292	15:54:05.0	320	15:57:53.0	323	16:01:39.5	330	362
15:42:31.5	268	15:46:05.5	284	15:50:16.5	287	15:54:05.5	315	15:57:53.5	317	16:01:40.0	325	356
15:42:32.0	265	15:46:06.0	280	15:50:17.0	283	15:54:06.0	309	15:57:54.0	312	16:01:40.5	320	351
15:42:32.5	260	15:46:06.5	275	15:50:17.5	279	15:54:06.5	306	15:57:54.5	308	16:01:41.0	316	344
15:42:33.0	255	15:46:07.0	270	15:50:18.0	274	15:54:07.0	301	15:57:55.0	304	16:01:41.5	311	338
15:42:33.5	252	15:46:07.5	267	15:50:18.5	271	15:54:07.5	296	15:57:55.5	299	16:01:42.0	306	334
15:42:34.0	248	15:46:08.0	262	15:50:19.0	266	15:54:08.0	293	15:57:56.0	295	16:01:42.5	302	328
15:42:34.5	246	15:46:08.5	258	15:50:19.5	262	15:54:08.5	288	15:57:56.5	290	16:01:43.0	298	323
15:42:35.0	240	15:46:09.0	255	15:50:20.0	259	15:54:09.0	286	15:57:57.0	286	16:01:43.5	293	318
15:42:35.5	236	15:46:09.5	251	15:50:20.5	255	15:54:09.5	280	15:57:57.5	282	16:01:44.0	290	312
15:42:36.0	234	15:46:10.0	247	15:50:21.0	250	15:54:10.0	275	15:57:58.0	278	16:01:44.5	286	308
15:42:36.5	230	15:46:10.5	243	15:50:21.5	248	15:54:10.5	271	15:57:58.5	274	16:01:45.0	282	303
15:42:37.0	227	15:46:11.0	239	15:50:22.0	244	15:54:11.0	268	15:57:59.0	271	16:01:45.5	278	298
15:42:37.5	224	15:46:11.5	237	15:50:22.5	240	15:54:11.5	264	15:57:59.5	267	16:01:46.0	274	294
15:42:38.0	221	15:46:12.0	233	15:50:23.0	237	15:54:12.0	260	15:58:00.0	264	16:01:46.5	271	289

Bunn-nivå

15:42:38.5	217	15:46:12.5	229	15:50:23.5	234	15:54:12.5	257	15:58:00.5	260	16:01:47.0	267	16:05:34.5	285
15:42:39.0	215	15:46:13.0	227	15:50:24.0	230	15:54:13.0	253	15:58:01.0	257	16:01:47.5	265	16:05:35.0	281
15:42:39.5	212	15:46:13.5	223	15:50:24.5	228	15:54:13.5	250	15:58:01.5	253	16:01:48.0	260	16:05:35.5	284
15:42:40.0	209	15:46:14.0	220	15:50:25.0	224	15:54:14.0	247	15:58:02.0	250	16:01:48.5	258	16:05:36.0	279
15:42:40.5	206	15:46:14.5	217	15:50:25.5	222	15:54:14.5	243	15:58:02.5	243	16:01:49.0	254	16:05:36.5	276
15:42:41.0	203	15:46:15.0	214	15:50:26.0	219	15:54:15.0	239	15:58:03.0	243	16:01:49.5	251	16:05:37.0	273
15:42:41.5	200	15:46:15.5	211	15:50:26.5	216	15:54:15.5	236	15:58:03.5	241	16:01:50.0	247	16:05:37.5	270
15:42:42.0	197	15:46:16.0	209	15:50:27.0	213	15:54:16.0	233	15:58:04.0	237	16:01:50.5	245	16:05:38.0	268
15:42:42.5	195	15:46:16.5	206	15:50:27.5	211	15:54:16.5	230	15:58:04.5	234	16:01:51.0	242	16:05:38.5	265
15:42:43.0	192	15:46:17.0	203	15:50:28.0	207	15:54:17.0	228	15:58:05.0	232	16:01:51.5	240	16:05:39.0	262
15:42:43.5	190	15:46:17.5	200	15:50:28.5	205	15:54:17.5	225	15:58:05.5	229	16:01:52.0	237	16:05:39.5	259
15:42:44.0	187	15:46:18.0	198	15:50:29.0	203	15:54:18.0	223	15:58:06.0	226	16:01:52.5	234	16:05:40.0	256
15:42:44.5	185	15:46:18.5	195	15:50:29.5	200	15:54:18.5	221	15:58:06.5	224	16:01:53.0	231	16:05:40.5	253
15:42:45.0	183	15:46:19.0	193	15:50:30.0	198	15:54:19.0	219	15:58:07.0	221	16:01:53.5	228	16:05:41.0	250
15:42:45.5	181	15:46:19.5	190	15:50:30.5	196	15:54:19.5	218	15:58:07.5	218	16:01:54.0	226	16:05:41.5	248
15:42:46.0	179	15:46:20.0	187	15:50:31.0	193	15:54:20.0	216	15:58:08.0	216	16:01:54.5	223	16:05:42.0	245
15:42:46.5	177	15:46:20.5	185	15:50:31.5	190	15:54:20.5	213	15:58:08.5	213	16:01:55.0	221	16:05:42.5	242
15:42:47.0	175	15:46:21.0	183	15:50:32.0	188	15:54:21.0	211	15:58:09.0	211	16:01:55.5	218	16:05:43.0	240
15:42:47.5	173	15:46:21.5	181	15:50:32.5	186	15:54:21.5	209	15:58:09.5	209	16:01:56.0	216	16:05:43.5	237
15:42:48.0	171	15:46:22.0	178	15:50:33.0	184	15:54:22.0	206	15:58:10.0	206	16:01:56.5	214	16:05:44.0	235
15:42:48.5	169	15:46:22.5	176	15:50:33.5	182	15:54:22.5	204	15:58:10.5	204	16:01:57.0	212	16:05:44.5	232
15:42:49.0	167	15:46:23.0	175	15:50:34.0	180	15:54:23.0	202	15:58:11.0	202	16:01:57.5	210	16:05:45.0	230
15:42:49.5	165	15:46:23.5	172	15:50:34.5	179	15:54:23.5	200	15:58:11.5	200	16:01:58.0	207	16:05:45.5	227
15:42:50.0	163	15:46:24.0	170	15:50:35.0	177	15:54:24.0	199	15:58:12.0	199	16:01:58.5	205	16:05:46.0	225
15:42:50.5	161	15:46:24.5	168	15:50:35.5	174	15:54:24.5	197	15:58:12.5	197	16:01:59.0	203	16:05:46.5	222
15:42:51.0	159	15:46:25.0	166	15:50:36.0	173	15:54:25.0	195	15:58:13.0	194	16:01:59.5	201	16:05:47.0	220
15:42:51.5	157	15:46:25.5	164	15:50:36.5	171	15:54:25.5	193	15:58:13.5	192	16:02:00.0	198	16:05:47.5	217
15:42:52.0	155	15:46:26.0	163	15:50:37.0	169	15:54:26.0	191	15:58:14.0	190	16:02:00.5	196	16:05:48.0	215
15:42:52.5	153	15:46:26.5	161	15:50:37.5	167	15:54:26.5	188	15:58:14.5	188	16:02:01.0	194	16:05:48.5	212
15:42:53.0	151	15:46:27.0	159	15:50:38.0	166	15:54:27.0	186	15:58:15.0	186	16:02:01.5	192	16:05:49.0	210
15:42:53.5	149	15:46:27.5	158	15:50:38.5	164	15:54:27.5	184	15:58:15.5	184	16:02:02.0	190	16:05:49.5	207
15:42:54.0	147	15:46:28.0	157	15:50:39.0	163	15:54:28.0	182	15:58:16.0	182	16:02:02.5	188	16:05:50.0	205
15:42:54.5	145	15:46:28.5	155	15:50:39.5	161	15:54:28.5	181	15:58:16.5	181	16:02:03.0	186	16:05:50.5	203
15:42:55.0	143	15:46:29.0	154	15:50:40.0	160	15:54:29.0	179	15:58:17.0	179	16:02:03.5	184	16:05:51.0	201
15:42:55.5	141	15:46:29.5	153	15:50:40.5	159	15:54:29.5	178	15:58:17.5	178	16:02:04.0	182	16:05:51.5	199
15:42:56.0	140	15:46:30.0	152	15:50:41.0	158	15:54:30.0	177	15:58:18.0	177	16:02:04.5	180	16:05:52.0	197
15:42:56.5	138	15:46:30.5	150	15:50:41.5	156	15:54:30.5	176	15:58:18.5	176	16:02:05.0	178	16:05:52.5	195
15:42:57.0	137	15:46:31.0	149	15:50:42.0	155	15:54:31.0	175	15:58:19.0	175	16:02:05.5	176	16:05:53.0	193
15:42:57.5	135	15:46:31.5	147	15:50:42.5	154	15:54:31.5	174	15:58:19.5	174	16:02:06.0	174	16:05:53.5	191
15:42:58.0	134	15:46:32.0	146	15:50:43.0	152	15:54:32.0	173	15:58:20.0	173	16:02:06.5	172	16:05:54.0	189
15:42:58.5	133	15:46:32.5	145	15:50:43.5	150	15:54:32.5	172	15:58:20.5	172	16:02:07.0	170	16:05:54.5	187
15:42:59.0	131	15:46:33.0	143	15:50:44.0	149	15:54:33.0	171	15:58:21.0	170	16:02:07.5	168	16:05:55.0	185
15:42:59.5	130	15:46:33.5	142	15:50:44.5	148	15:54:33.5	170	15:58:21.5	169	16:02:08.0	167	16:05:55.5	183
15:43:00.0	128	15:46:34.0	140	15:50:45.0	146	15:54:34.0	168	15:58:22.0	167	16:02:08.5	165	16:05:56.0	181
15:43:00.5	126	15:46:34.5	139	15:50:45.5	145	15:54:34.5	166	15:58:22.5	166	16:02:09.0	164	16:05:56.5	179
15:43:01.0	125	15:46:35.0	138	15:50:46.0	144	15:54:35.0	165	15:58:23.0	164	16:02:09.5	163	16:05:57.0	177
15:43:01.5	124	15:46:35.5	136	15:50:46.5	143	15:54:35.5	164	15:58:23.5	163	16:02:10.0	162	16:05:57.5	175
15:43:02.0	122	15:46:36.0	134	15:50:47.0	142	15:54:36.0	163	15:58:24.0	162	16:02:10.5	161	16:05:58.0	173
15:43:02.5	121	15:46:36.5	133	15:50:47.5	140	15:54:36.5	162	15:58:24.5	161	16:02:11.0	160	16:05:58.5	171
15:43:03.0	120	15:46:37.0	132	15:50:48.0	139	15:54:37.0	161	15:58:25.0	160	16:02:11.5	159	16:05:59.0	169
15:43:03.5	119	15:46:37.5	130	15:50:48.5	138	15:54:37.5	160	15:58:25.5	159	16:02:12.0	158	16:05:59.5	167
15:43:04.0	118	15:46:38.0	130	15:50:49.0	137	15:54:38.0	159	15:58:26.0	158	16:02:12.5	157	16:06:00.0	165
15:43:04.5	117	15:46:38.5	128	15:50:49.5	136	15:54:38.5	158	15:58:26.5	157	16:02:13.0	156	16:06:00.5	163
15:43:05.0	116	15:46:39.0	127	15:50:50.0	135	15:54:39.0	157	15:58:27.0	156	16:02:13.5	155	16:06:01.0	161
15:43:05.5	115	15:46:39.5	126	15:50:50.5	134	15:54:39.5	156	15:58:27.5	155	16:02:14.0	154	16:06:01.5	160
15:43:06.0	114	15:46:40.0	125	15:50:51.0	132	15:54:40.0	155	15:58:28.0	154	16:02:14.5	153	16:06:02.0	158
15:43:06.5	113	15:46:40.5	124	15:50:51.5	131	15:54:40.5	154	15:58:28.5	153	16:02:15.0	152	16:06:02.5	156

15432070	112	15464410	133	15505320	130	1554410	142	15582920	146	1602155	155	149
15432075	111	15464415	122	15505325	129	1554415	141	15582925	144	1602160	154	147
15432080	110	15464420	121	15505330	128	1554420	140	15583000	144	1602165	154	146
15432085	109	15464425	120	15505335	127	1554425	138	15583005	142	1602170	152	145
15432090	108	15464430	119	15505340	125	1554430	137	15583010	141	1602175	151	144
15432095	107	15464435	118	15505345	124	1554435	137	15583115	140	1602180	150	142
15433100	106	15464440	117	15505350	124	1554440	136	15583200	139	1602185	149	141
15433105	106	15464445	117	15505355	123	1554445	135	15583300	137	1602190	148	140
15433110	105	15464450	116	15505360	122	1554450	134	15583325	137	1602195	147	139
15433115	104	15464455	115	15505365	121	1554455	133	15583335	136	1602200	146	138
15433120	103	15464460	114	15505370	120	1554460	132	15583400	135	1602205	145	137
15433125	102	15464465	113	15505375	120	1554465	131	15583445	133	1602210	144	136
15433130	102	15464470	113	15505380	119	1554470	130	15583500	132	1602215	143	135
15433135	101	15464475	112	15505385	118	1554475	130	15583505	132	1602220	142	134
15433140	100	15464480	111	15505390	118	1554480	129	15583600	131	1602225	141	133
15433145	100	15464485	110	15505395	117	1554485	128	15583635	130	1602230	140	132
15433150	99	15464490	109	15505400	116	1554490	126	15583700	129	1602235	139	131
15433155	98	15464495	108	15510005	115	1554495	126	15583710	128	1602240	138	130
15433160	97	15465000	107	15510010	115	1554500	125	15583800	127	1602245	138	129
15433165	97	15465005	107	15510015	114	1554505	124	15583805	126	1602250	137	128
15433170	97	15465010	106	15510020	113	1554510	124	15583900	126	1602255	136	127
15433175	97	15465015	-	15510025	113	1554515	123	15583905	125	1602260	135	126
15433180	96	15465020	-	15510030	112	1554520	122	15584000	124	1602265	134	125
15433185	96	15465025	-	15510035	111	1554525	121	15584005	123	1602270	133	124
15433190	95	15465030	-	15510040	111	1554530	121	15584100	122	1602275	133	123
15433195	94	15465035	-	15510045	110	1554535	120	15584115	121	1602280	132	122
15433200	93	15465040	-	15510050	109	1554540	119	15584200	121	1602285	131	121
15433205	93	15465045	-	15510055	108	1554545	118	15584215	120	1602290	131	120
15433210	91	15465050	-	15510060	108	1554550	118	15584300	119	1602300	129	120
15433215	91	15465055	-	15510065	107	1554555	117	15584305	119	1602305	129	119
15433220	90	15465060	-	15510070	107	1554560	116	15584400	118	1602310	128	118
15433225	88	15465065	-	15510075	106	1554565	116	15584405	118	1602315	127	117
15433230	88	15465070	-	15510080	106	1554570	115	15584500	117	1602320	126	116
15433235	88	15465075	-	15510085	105	1554575	115	15584505	117	1602325	126	115
15433240	88	15465080	-	15510090	105	1554580	114	15584600	116	1602330	125	114
15433245	88	15465085	97	15510095	104	1554585	113	15584605	115	1602335	125	113
15433250	88	15465090	97	15511000	103	1554590	113	15584700	115	1602340	124	112
15433255	88	15465095	96	15511005	103	1554595	112	15584705	-	1602345	124	114
15433260	88	15470000	96	15511010	103	1555000	111	15584800	-	1602350	123	114
15433265	87	15470005	95	15511015	102	1555005	111	15584805	-	1602355	123	113
15433270	87	15470010	94	15511020	101	1555010	110	15584900	-	1602360	123	112
15433275	86	15470015	94	15511025	101	1555015	110	15584905	-	1602365	121	112
15433280	85	15470020	93	15511030	100	1555020	109	15585000	-	1602370	120	111
15433285	85	15470025	93	15511035	100	1555025	109	15585005	-	1602375	119	109
15433290	84	15470030	93	15511040	99	1555030	108	15585100	-	1602380	119	108
15433295	84	15470035	92	15511045	99	1555035	108	15585105	-	1602385	118	108
15433300	83	15470040	91	15511050	98	1555040	107	15585200	-	1602390	117	107
15433305	83	15470045	91	15511055	98	1555045	107	15585205	-	1602395	117	106
15433310	82	15470050	91	15511060	97	1555050	106	15585300	-	1602400	116	106
15433315	81	15470055	90	15511065	97	1555055	105	15585305	107	1602405	116	106
15433320	81	15470060	90	15511070	97	1555060	105	15585400	108	1602410	115	105
15433325	80	15470065	89	15511075	96	1555065	104	15585405	108	1602415	115	105
15433330	80	15470070	89	15511080	96	1555070	104	15585500	107	1602420	114	104
15433335	80	15470075	89	15511085	95	1555075	104	15585505	107	1602425	113	104
15433340	79	15470080	88	15511090	95	1555080	103	15585600	106	1602430	113	103
15433345	79	15470085	87	15511095	95	1555085	103	15585605	106	1602435	112	103
15433350	78	15470090	87	15512000	94	1555090	102	15585700	105	1602440	112	103

15:43:35.5	78	15:47:09.5	87	15:51:20.5	84	15:55:09.5	102	15:58:57.5	105	16:02:44.0	111	16:03:44.0	103
15:43:36.0	76	15:47:10.0	87	15:51:21.0	85	15:55:10.0	101	15:58:58.0	104	16:02:44.5	111	16:03:44.5	102
15:43:36.5	76	15:47:10.5	86	15:51:21.5	85	15:55:10.5	101	15:58:58.5	104	16:02:45.0	110	16:03:45.0	102
15:43:37.0	76	15:47:11.0	86	15:51:22.0	85	15:55:11.0	100	15:58:59.0	103	16:02:45.5	110	16:03:45.5	101
15:43:37.5	76	15:47:11.5	85	15:51:22.5	85	15:55:11.5	100	15:58:59.5	103	16:02:46.0	109	16:03:46.0	101
15:43:38.0	75	15:47:12.0	85	15:51:23.0	85	15:55:12.0	99	15:59:00.0	102	16:02:46.5	109	16:03:46.5	100
15:43:38.5	74	15:47:12.5	85	15:51:23.5	85	15:55:12.5	99	15:59:00.5	102	16:02:47.0	109	16:03:47.0	100
15:43:39.0	74	15:47:13.0	84	15:51:24.0	85	15:55:13.0	98	15:59:01.0	101	16:02:47.5	108	16:03:47.5	99
15:43:39.5	74	15:47:13.5	84	15:51:24.5	85	15:55:13.5	98	15:59:01.5	101	16:02:48.0	108	16:03:48.0	99
15:43:40.0	73	15:47:14.0	83	15:51:25.0	85	15:55:14.0	98	15:59:02.0	101	16:02:48.5	107	16:03:48.5	98
15:43:40.5	73	15:47:14.5	83	15:51:25.5	85	15:55:14.5	98	15:59:02.5	101	16:02:49.0	107	16:03:49.0	98
15:43:41.0	73	15:47:15.0	83	15:51:26.0	85	15:55:15.0	97	15:59:03.0	100	16:02:49.5	107	16:03:49.5	97
15:43:41.5	72	15:47:15.5	82	15:51:26.5	85	15:55:15.5	97	15:59:03.5	99	16:02:50.0	106	16:03:50.0	97
15:43:42.0	71	15:47:16.0	82	15:51:27.0	85	15:55:16.0	96	15:59:04.0	99	16:02:50.5	106	16:03:50.5	97
15:43:42.5	71	15:47:16.5	82	15:51:27.5	85	15:55:16.5	96	15:59:04.5	99	16:02:51.0	106	16:03:51.0	96
15:43:43.0	70	15:47:17.0	82	15:51:28.0	85	15:55:17.0	96	15:59:05.0	98	16:02:51.5	107	16:03:51.5	96
15:43:43.5	70	15:47:17.5	81	15:51:28.5	85	15:55:17.5	95	15:59:05.5	98	16:02:52.0	107	16:03:52.0	95
15:43:44.0	69	15:47:18.0	81	15:51:29.0	87	15:55:18.0	95	15:59:06.0	98	16:02:52.5	108	16:03:52.5	95
15:43:44.5	69	15:47:18.5	81	15:51:29.5	87	15:55:18.5	95	15:59:06.5	97	16:02:53.0	108	16:03:53.0	94
15:43:45.0	69	15:47:19.0	80	15:51:30.0	87	15:55:19.0	94	15:59:07.0	97	16:02:53.5	107	16:03:53.5	94
15:43:45.5	69	15:47:19.5	80	15:51:30.5	86	15:55:19.5	94	15:59:07.5	96	16:02:54.0	105	16:03:54.0	94
15:43:46.0	68	15:47:20.0	80	15:51:31.0	86	15:55:20.0	93	15:59:08.0	96	16:02:54.5	105	16:03:54.5	93
15:43:46.5	68	15:47:20.5	79	15:51:31.5	85	15:55:20.5	93	15:59:08.5	96	16:02:55.0	104	16:03:55.0	93
15:43:47.0	68	15:47:21.0	79	15:51:32.0	85	15:55:21.0	93	15:59:09.0	95	16:02:55.5	104	16:03:55.5	92
15:43:47.5	67	15:47:21.5	78	15:51:32.5	85	15:55:21.5	92	15:59:09.5	95	16:02:56.0	102	16:03:56.0	92
15:43:48.0	67	15:47:22.0	78	15:51:33.0	85	15:55:22.0	92	15:59:10.0	95	16:02:56.5	102	16:03:56.5	92
15:43:48.5	66	15:47:22.5	78	15:51:33.5	84	15:55:22.5	92	15:59:10.5	95	16:02:57.0	100	16:03:57.0	92
15:43:49.0	66	15:47:23.0	78	15:51:34.0	84	15:55:23.0	91	15:59:11.0	94	16:02:57.5	100	16:03:57.5	91
15:43:49.5	66	15:47:23.5	78	15:51:34.5	84	15:55:23.5	91	15:59:11.5	94	16:02:58.0	100	16:03:58.0	91
15:43:50.0	65	15:47:24.0	77	15:51:35.0	84	15:55:24.0	91	15:59:12.0	94	16:02:58.5	100	16:03:58.5	90
15:43:50.5	65	15:47:24.5	77	15:51:35.5	83	15:55:24.5	90	15:59:12.5	93	16:02:59.0	99	16:03:59.0	90
15:43:51.0	65	15:47:25.0	77	15:51:36.0	83	15:55:25.0	90	15:59:13.0	93	16:02:59.5	99	16:03:59.5	89
15:43:51.5	64	15:47:25.5	76	15:51:36.5	82	15:55:25.5	90	15:59:13.5	92	16:03:00.0	99	16:04:00.0	89
15:43:52.0	64	15:47:26.0	76	15:51:37.0	82	15:55:26.0	89	15:59:14.0	92	16:03:00.5	99	16:04:00.5	89
15:43:52.5	64	15:47:26.5	77	15:51:37.5	82	15:55:26.5	89	15:59:14.5	92	16:03:01.0	99	16:04:01.0	88
15:43:53.0	64	15:47:27.0	77	15:51:38.0	82	15:55:27.0	89	15:59:15.0	92	16:03:01.5	98	16:04:01.5	88
15:43:53.5	63	15:47:27.5	77	15:51:38.5	82	15:55:27.5	89	15:59:15.5	91	16:03:02.0	98	16:04:02.0	88
15:43:54.0	63	15:47:28.0	78	15:51:39.0	81	15:55:28.0	88	15:59:16.0	91	16:03:02.5	98	16:04:02.5	87
15:43:54.5	63	15:47:28.5	78	15:51:39.5	81	15:55:28.5	88	15:59:16.5	91	16:03:03.0	97	16:04:03.0	87
15:43:55.0	63	15:47:29.0	77	15:51:40.0	81	15:55:29.0	88	15:59:17.0	90	16:03:03.5	97	16:04:03.5	87
15:43:55.5	63	15:47:29.5	76	15:51:40.5	80	15:55:29.5	87	15:59:17.5	90	16:03:04.0	96	16:04:04.0	86
15:43:56.0	63	15:47:30.0	75	15:51:41.0	80	15:55:30.0	87	15:59:18.0	90	16:03:04.5	96	16:04:04.5	86
15:43:56.5	63	15:47:30.5	74	15:51:41.5	80	15:55:30.5	87	15:59:18.5	89	16:03:05.0	95	16:04:05.0	85
15:43:57.0	63	15:47:31.0	73	15:51:42.0	80	15:55:31.0	87	15:59:19.0	89	16:03:05.5	95	16:04:05.5	85
15:43:57.5	62	15:47:31.5	73	15:51:42.5	79	15:55:31.5	86	15:59:19.5	89	16:03:06.0	95	16:04:06.0	85
15:43:58.0	62	15:47:32.0	72	15:51:43.0	79	15:55:32.0	86	15:59:20.0	89	16:03:06.5	95	16:04:06.5	85
15:43:58.5	62	15:47:32.5	72	15:51:43.5	79	15:55:32.5	86	15:59:20.5	88	16:03:07.0	95	16:04:07.0	85
15:43:59.0	62	15:47:33.0	72	15:51:44.0	79	15:55:33.0	85	15:59:21.0	88	16:03:07.5	94	16:04:07.5	84
15:43:59.5	62	15:47:33.5	72	15:51:44.5	79	15:55:33.5	85	15:59:21.5	88	16:03:08.0	94	16:04:08.0	84
15:44:00.0	61	15:47:34.0	72	15:51:45.0	78	15:55:34.0	85	15:59:22.0	87	16:03:08.5	94	16:04:08.5	84
15:44:00.5	61	15:47:34.5	71	15:51:45.5	78	15:55:34.5	85	15:59:22.5	87	16:03:09.0	93	16:04:09.0	83
15:44:01.0	61	15:47:35.0	71	15:51:46.0	78	15:55:35.0	85	15:59:23.0	87	16:03:09.5	93	16:04:09.5	83
15:44:01.5	61	15:47:35.5	71	15:51:46.5	78	15:55:35.5	85	15:59:23.5	86	16:03:10.0	93	16:04:10.0	83
15:44:02.0	61	15:47:36.0	71	15:51:47.0	77	15:55:36.0	84	15:59:24.0	86	16:03:10.5	93	16:04:10.5	83
15:44:02.5	61	15:47:36.5	71	15:51:47.5	77	15:55:36.5	84	15:59:24.5	86	16:03:11.0	92	16:04:11.0	82
15:44:03.0	60	15:47:37.0	70	15:51:48.0	77	15:55:37.0	84	15:59:25.0	86	16:03:11.5	92	16:04:11.5	82
15:44:03.5	60	15:47:37.5	70	15:51:48.5	77	15:55:37.5	83	15:59:25.5	86	16:03:12.0	92	16:04:12.0	82

15:44:04.0	60	15:47:38.0	70	15:51:49.0	77	15:55:38.0	83	15:59:26.0	85	16:03:12.5	92	81
15:44:04.5	60	15:47:38.5	69	15:51:49.5	76	15:55:38.5	83	15:59:26.5	85	16:03:13.0	91	81
15:44:05.0	60	15:47:39.0	69	15:51:50.0	76	15:55:39.0	82	15:59:27.0	85	16:03:13.5	91	81
15:44:05.5	60	15:47:39.5	69	15:51:50.5	76	15:55:39.5	82	15:59:27.5	84	16:03:14.0	91	81
15:44:06.0	59	15:47:40.0	69	15:51:51.0	76	15:55:40.0	82	15:59:28.0	84	16:03:14.5	90	81
15:44:06.5	59	15:47:40.5	69	15:51:51.5	75	15:55:40.5	82	15:59:28.5	84	16:03:15.0	90	80
15:44:07.0	59	15:47:41.0	69	15:51:52.0	75	15:55:41.0	81	15:59:29.0	84	16:03:15.5	90	80
15:44:07.5	59	15:47:41.5	68	15:51:52.5	75	15:55:41.5	81	15:59:29.5	83	16:03:16.0	90	80
15:44:08.0	59	15:47:42.0	68	15:51:53.0	75	15:55:42.0	81	15:59:30.0	83	16:03:16.5	90	80
15:44:08.5	58	15:47:42.5	68	15:51:53.5	75	15:55:42.5	81	15:59:30.5	83	16:03:17.0	89	79
15:44:09.0	58	15:47:43.0	68	15:51:54.0	75	15:55:43.0	81	15:59:31.0	83	16:03:17.5	89	79
15:44:09.5	57	15:47:43.5	68	15:51:54.5	74	15:55:43.5	80	15:59:31.5	84	16:03:18.0	89	79
15:44:10.0	58	15:47:44.0	68	15:51:55.0	74	15:55:44.0	80	15:59:32.0	84	16:03:18.5	88	78
15:44:10.5	58	15:47:44.5	67	15:51:55.5	74	15:55:44.5	80	15:59:32.5	84	16:03:19.0	88	78
15:44:11.0	58	15:47:45.0	67	15:51:56.0	74	15:55:45.0	80	15:59:33.0	83	16:03:19.5	88	78
15:44:11.5	58	15:47:45.5	67	15:51:56.5	73	15:55:45.5	80	15:59:33.5	83	16:03:20.0	88	78
15:44:12.0	57	15:47:46.0	67	15:51:57.0	73	15:55:46.0	79	15:59:34.0	83	16:03:20.5	88	78
15:44:12.5	57	15:47:46.5	67	15:51:57.5	73	15:55:46.5	79	15:59:34.5	82	16:03:21.0	87	78
15:44:13.0	57	15:47:47.0	67	15:51:58.0	73	15:55:47.0	79	15:59:35.0	82	16:03:21.5	87	78
15:44:13.5	57	15:47:47.5	67	15:51:58.5	73	15:55:47.5	79	15:59:35.5	82	16:03:22.0	87	77
15:44:14.0	57	15:47:48.0	67	15:51:59.0	72	15:55:48.0	79	15:59:36.0	82	16:03:22.5	87	77
15:44:14.5	57	15:47:48.5	66	15:51:59.5	72	15:55:48.5	78	15:59:36.5	81	16:03:23.0	87	77
15:44:15.0	57	15:47:49.0	66	15:52:00.0	72	15:55:49.0	78	15:59:37.0	81	16:03:23.5	86	77
15:44:15.5	57	15:47:49.5	66	15:52:00.5	72	15:55:49.5	78	15:59:37.5	81	16:03:24.0	86	77
15:44:16.0	56	15:47:50.0	66	15:52:01.0	72	15:55:50.0	78	15:59:38.0	81	16:03:24.5	86	76
15:44:16.5	56	15:47:50.5	65	15:52:01.5	72	15:55:50.5	78	15:59:38.5	80	16:03:25.0	86	76
15:44:17.0	56	15:47:51.0	66	15:52:02.0	72	15:55:51.0	78	15:59:39.0	80	16:03:25.5	85	76
15:44:17.5	56	15:47:51.5	65	15:52:02.5	71	15:55:51.5	77	15:59:39.5	80	16:03:26.0	85	76
15:44:18.0	56	15:47:52.0	65	15:52:03.0	71	15:55:52.0	77	15:59:40.0	80	16:03:26.5	85	75
15:44:18.5	56	15:47:52.5	65	15:52:03.5	71	15:55:52.5	77	15:59:40.5	80	16:03:27.0	85	75
15:44:19.0	55	15:47:53.0	65	15:52:04.0	71	15:55:53.0	77	15:59:41.0	79	16:03:27.5	85	75
15:44:19.5	55	15:47:53.5	65	15:52:04.5	71	15:55:53.5	76	15:59:41.5	79	16:03:28.0	84	75
15:44:20.0	55	15:47:54.0	64	15:52:05.0	70	15:55:54.0	77	15:59:42.0	79	16:03:28.5	84	75
15:44:20.5	55	15:47:54.5	64	15:52:05.5	70	15:55:54.5	77	15:59:42.5	78	16:03:29.0	84	75
15:44:21.0	55	15:47:55.0	64	15:52:06.0	70	15:55:55.0	76	15:59:43.0	78	16:03:29.5	84	75
15:44:21.5	55	15:47:55.5	64	15:52:06.5	70	15:55:55.5	76	15:59:43.5	78	16:03:30.0	84	74
15:44:22.0	55	15:47:56.0	64	15:52:07.0	70	15:55:56.0	76	15:59:44.0	78	16:03:30.5	83	74
15:44:22.5	55	15:47:56.5	64	15:52:07.5	70	15:55:56.5	75	15:59:44.5	78	16:03:31.0	83	74
15:44:23.0	54	15:47:57.0	64	15:52:08.0	70	15:55:57.0	75	15:59:45.0	78	16:03:31.5	82	74
15:44:23.5	54	15:47:57.5	63	15:52:08.5	69	15:55:57.5	75	15:59:45.5	77	16:03:32.0	83	74
15:44:24.0	54	15:47:58.0	63	15:52:09.0	69	15:55:58.0	75	15:59:46.0	77	16:03:32.5	83	73
15:44:24.5	54	15:47:58.5	63	15:52:09.5	69	15:55:58.5	75	15:59:46.5	77	16:03:33.0	83	73
15:44:25.0	54	15:47:59.0	63	15:52:10.0	69	15:55:59.0	75	15:59:47.0	77	16:03:33.5	82	73
15:44:25.5	54	15:47:59.5	63	15:52:10.5	69	15:55:59.5	74	15:59:47.5	77	16:03:34.0	82	73
15:44:26.0	54	15:48:00.0	62	15:52:11.0	68	15:56:00.0	74	15:59:48.0	77	16:03:34.5	82	73
15:44:26.5	54	15:48:00.5	62	15:52:11.5	68	15:56:00.5	74	15:59:48.5	77	16:03:35.0	82	73
15:44:27.0	54	15:48:01.0	62	15:52:12.0	68	15:56:01.0	74	15:59:49.0	77	16:03:35.5	81	72
15:44:27.5	53	15:48:01.5	62	15:52:12.5	68	15:56:01.5	74	15:59:49.5	77	16:03:36.0	81	72
15:44:28.0	53	15:48:02.0	62	15:52:13.0	68	15:56:02.0	74	15:59:50.0	76	16:03:36.5	81	72
15:44:28.5	53	15:48:02.5	62	15:52:13.5	68	15:56:02.5	73	15:59:50.5	76	16:03:37.0	81	72
15:44:29.0	53	15:48:03.0	62	15:52:14.0	68	15:56:03.0	73	15:59:51.0	76	16:03:37.5	81	72
15:44:29.5	53	15:48:03.5	62	15:52:14.5	67	15:56:03.5	73	15:59:51.5	76	16:03:38.0	81	72
15:44:30.0	53	15:48:04.0	61	15:52:15.0	67	15:56:04.0	73	15:59:52.0	75	16:03:38.5	80	72
15:44:30.5	53	15:48:04.5	61	15:52:15.5	67	15:56:04.5	73	15:59:52.5	75	16:03:39.0	80	71
15:44:31.0	53	15:48:05.0	61	15:52:16.0	67	15:56:05.0	73	15:59:53.0	75	16:03:39.5	80	71
15:44:31.5	52	15:48:05.5	61	15:52:16.5	67	15:56:05.5	73	15:59:53.5	75	16:03:40.0	80	71
15:44:32.0	52	15:48:06.0	61	15:52:17.0	67	15:56:06.0	72	15:59:54.0	75	16:03:40.5	79	71

15:44:32.5	52	15:48:06.5	61	15:52:17.5	67	15:56:06.5	72	15:59:54.5	75	16:03:41.0	79	16:04:09.0	71
15:44:33.0	52	15:48:07.0	61	15:52:18.0	67	15:56:07.0	72	15:59:55.0	74	16:03:41.5	79	16:04:09.5	71
15:44:33.5	52	15:48:07.5	60	15:52:18.5	67	15:56:07.5	72	15:59:55.5	74	16:03:42.0	79	16:04:10.0	71
15:44:34.0	52	15:48:08.0	60	15:52:19.0	67	15:56:08.0	72	15:59:56.0	74	16:03:42.5	79	16:04:10.5	71
15:44:34.5	51	15:48:08.5	60	15:52:19.5	67	15:56:08.5	72	15:59:56.5	74	16:03:43.0	78	16:04:11.0	70
15:44:35.0	51	15:48:09.0	60	15:52:20.0	67	15:56:09.0	71	15:59:57.0	74	16:03:43.5	79	16:04:11.5	70
15:44:35.5	51	15:48:09.5	60	15:52:20.5	67	15:56:09.5	71	15:59:57.5	74	16:03:44.0	79	16:04:12.0	70
15:44:36.0	51	15:48:10.0	60	15:52:21.0	67	15:56:10.0	71	15:59:58.0	74	16:03:44.5	78	16:04:12.5	70
15:44:36.5	51	15:48:10.5	60	15:52:21.5	67	15:56:10.5	71	15:59:58.5	73	16:03:45.0	78	16:04:13.0	69
15:44:37.0	51	15:48:11.0	59	15:52:22.0	67	15:56:11.0	71	15:59:59.0	73	16:03:45.5	78	16:04:13.5	69
15:44:37.5	51	15:48:11.5	59	15:52:22.5	67	15:56:11.5	71	15:59:59.5	73	16:03:46.0	78	16:04:14.0	69
15:44:38.0	51	15:48:12.0	59	15:52:23.0	67	15:56:12.0	71	16:00:00.0	73	16:03:46.5	78	16:04:14.5	69
15:44:38.5	51	15:48:12.5	59	15:52:23.5	67	15:56:12.5	70	16:00:00.5	73	16:03:47.0	77	16:04:15.0	69
15:44:39.0	51	15:48:13.0	59	15:52:24.0	66	15:56:13.0	70	16:00:01.0	73	16:03:47.5	77	16:04:15.5	68
15:44:39.5	51	15:48:13.5	59	15:52:24.5	66	15:56:13.5	70	16:00:01.5	72	16:03:48.0	77	16:04:16.0	68
15:44:40.0	50	15:48:14.0	59	15:52:25.0	66	15:56:14.0	70	16:00:02.0	72	16:03:48.5	77	16:04:16.5	68
15:44:40.5	50	15:48:14.5	59	15:52:25.5	66	15:56:14.5	70	16:00:02.5	72	16:03:49.0	77	16:04:17.0	68
15:44:41.0	50	15:48:15.0	58	15:52:26.0	66	15:56:15.0	70	16:00:03.0	72	16:03:49.5	77	16:04:17.5	68
15:44:41.5	50	15:48:15.5	59	15:52:26.5	66	15:56:15.5	70	16:00:03.5	72	16:03:50.0	77	16:04:18.0	68
15:44:42.0	50	15:48:16.0	58	15:52:27.0	66	15:56:16.0	70	16:00:04.0	72	16:03:50.5	76	16:04:18.5	68
15:44:42.5	50	15:48:16.5	58	15:52:27.5	65	15:56:16.5	70	16:00:04.5	72	16:03:51.0	76	16:04:19.0	68
15:44:43.0	50	15:48:17.0	58	15:52:28.0	65	15:56:17.0	70	16:00:05.0	71	16:03:51.5	76	16:04:19.5	68
15:44:43.5	50	15:48:17.5	58	15:52:28.5	65	15:56:17.5	69	16:00:05.5	71	16:03:52.0	76	16:04:20.0	67
15:44:44.0	50	15:48:18.0	58	15:52:29.0	65	15:56:18.0	69	16:00:06.0	71	16:03:52.5	76	16:04:20.5	67
15:44:44.5	50	15:48:18.5	58	15:52:29.5	65	15:56:18.5	69	16:00:06.5	71	16:03:53.0	76	16:04:21.0	67
15:44:45.0	50	15:48:19.0	57	15:52:30.0	65	15:56:19.0	69	16:00:07.0	71	16:03:53.5	76	16:04:21.5	67
15:44:45.5	50	15:48:19.5	57	15:52:30.5	65	15:56:19.5	69	16:00:07.5	71	16:03:54.0	76	16:04:22.0	67
15:44:46.0	49	15:48:20.0	57	15:52:31.0	65	15:56:20.0	69	16:00:08.0	71	16:03:54.5	75	16:04:22.5	67
15:44:46.5	49	15:48:20.5	57	15:52:31.5	65	15:56:20.5	69	16:00:08.5	71	16:03:55.0	75	16:04:23.0	67
15:44:47.0	49	15:48:21.0	57	15:52:32.0	64	15:56:21.0	70	16:00:09.0	70	16:03:55.5	75	16:04:23.5	67
15:44:47.5	49	15:48:21.5	57	15:52:32.5	64	15:56:21.5	70	16:00:09.5	70	16:03:56.0	75	16:04:24.0	66
15:44:48.0	49	15:48:22.0	57	15:52:33.0	64	15:56:22.0	70	16:00:10.0	70	16:03:56.5	75	16:04:24.5	66
15:44:48.5	49	15:48:22.5	57	15:52:33.5	64	15:56:22.5	69	16:00:10.5	70	16:03:57.0	75	16:04:25.0	66
15:44:49.0	49	15:48:23.0	56	15:52:34.0	64	15:56:23.0	69	16:00:11.0	70	16:03:57.5	74	16:04:25.5	66
15:44:49.5	48	15:48:23.5	56	15:52:34.5	64	15:56:23.5	68	16:00:11.5	70	16:03:58.0	74	16:04:26.0	66
15:44:50.0	48	15:48:24.0	56	15:52:35.0	64	15:56:24.0	68	16:00:12.0	70	16:03:58.5	74	16:04:26.5	66
15:44:50.5	49	15:48:24.5	56	15:52:35.5	64	15:56:24.5	68	16:00:12.5	70	16:03:59.0	74	16:04:27.0	66
15:44:51.0	48	15:48:25.0	56	15:52:36.0	63	15:56:25.0	69	16:00:13.0	69	16:03:59.5	74	16:04:27.5	66
15:44:51.5	49	15:48:25.5	56	15:52:36.5	63	15:56:25.5	69	16:00:13.5	69	16:04:00.0	73	16:04:28.0	66
15:44:52.0	48	15:48:26.0	56	15:52:37.0	63	15:56:26.0	66	16:00:14.0	69	16:04:00.5	74	16:04:28.5	66
15:44:52.5	48	15:48:26.5	56	15:52:37.5	63	15:56:26.5	66	16:00:14.5	69	16:04:01.0	73	16:04:29.0	66
15:44:53.0	48	15:48:27.0	56	15:52:38.0	63	15:56:27.0	66	16:00:15.0	69	16:04:01.5	73	16:04:29.5	66
15:44:53.5	48	15:48:27.5	56	15:52:38.5	63	15:56:27.5	66	16:00:15.5	69	16:04:02.0	73	16:04:30.0	65
15:44:54.0	48	15:48:28.0	56	15:52:39.0	63	15:56:28.0	66	16:00:16.0	69	16:04:02.5	73	16:04:30.5	65
15:44:54.5	48	15:48:28.5	55	15:52:39.5	62	15:56:28.5	67	16:00:16.5	69	16:04:03.0	73	16:04:31.0	65
15:44:55.0	48	15:48:29.0	55	15:52:40.0	62	15:56:29.0	67	16:00:17.0	68	16:04:03.5	73	16:04:31.5	65
15:44:55.5	48	15:48:29.5	55	15:52:40.5	62	15:56:29.5	67	16:00:17.5	68	16:04:04.0	72	16:04:32.0	65
15:44:56.0	47	15:48:30.0	55	15:52:41.0	62	15:56:30.0	67	16:00:18.0	68	16:04:04.5	72	16:04:32.5	64
15:44:56.5	48	15:48:30.5	55	15:52:41.5	62	15:56:30.5	66	16:00:18.5	68	16:04:05.0	72	16:04:33.0	64
15:44:57.0	47	15:48:31.0	55	15:52:42.0	62	15:56:31.0	66	16:00:19.0	68	16:04:05.5	72	16:04:33.5	64
		15:48:31.5	55	15:52:42.5	62	15:56:31.5	66	16:00:19.5	68	16:04:06.0	72	16:04:34.0	64
		15:48:32.0	55	15:52:43.0	62	15:56:32.0	66	16:00:20.0	68	16:04:06.5	72	16:04:34.5	64
		15:48:32.5	55	15:52:43.5	61	15:56:32.5	66	16:00:20.5	68	16:04:07.0	72	16:04:35.0	63
		15:48:33.0	55	15:52:44.0	61	15:56:33.0	66	16:00:21.0	67	16:04:07.5	72	16:04:35.5	63
		15:48:33.5	54	15:52:44.5	61	15:56:33.5	66	16:00:21.5	67	16:04:08.0	71	16:04:36.0	64
		15:48:34.0	54	15:52:45.0	61	15:56:34.0	66	16:00:22.0	67	16:04:08.5	71	16:04:36.5	64
		15:48:34.5	54	15:52:45.5	61	15:56:34.5	66	16:00:22.5	67	16:04:09.0	71	16:04:37.0	63

15490035	50
15490040	50
15490045	49
15490050	49
15490055	49
15490060	49
15490065	49
15490070	49
15490075	49
15490080	50

F Materialmiks: Måleresultater

Vedlegget inneholder måleresultater for måling på materialmiks og testing av jording. Disse er omtalt i delkapittel 4.3.2.

MÅLERESULTATER											
ID 3											
Materialmiks - Fra misker											
Test nr:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Start dato/tid	10.04.18 15:35	11.04.18 19:23	11.04.18 20:27	11.04.18 21:45	11.04.18 22:09	12.04.18 10:56	12.04.18 12:08	12.04.18 14:32	12.04.18 16:28	12.04.18 17:16	
Slutt dato/tid	10.04.18 17:32	11.04.18 20:22	11.04.18 21:31	11.04.18 22:05	11.04.18 22:28	12.04.18 12:53	12.04.18 14:08	12.04.18 14:49	12.04.18 17:05	12.04.18 17:35	
Tid brukt (min):	117	59	64	20	19	117	60	37	37	19	
Farge:	Rød 6015	Rød 6015	Rød 6015	Rød 6015	Rød 6015	Rød 6015	Rød 6015	Rød 6015	Rød 6015	Rød 6015	
Luftfuktighet:	17,5 %	17,8 %	17,2 %	18,5 %	17,9 %	16,4 %	15,0 %	16,2 %	14,4 %	12,5 %	
Temp inn/ute:	23,5/5	22,5/2	23,0/1	21,2/0	22,6/0	19,6/1	18,8/4	18,8/6	21,5/7	21,8/8	
Probe:	9.1 (boltkryss)	9.1 (boltkryss)	9.2 (boltkryss)	9.1 (boltkryss)	9.2 (boltkryss)	9.1 (boltkryss)	9.1 (boltkryss)	9.1 (boltkryss)	9.1 (boltkryss)	9.1 (boltkryss)	
1	4,1	9,7	4,0	3,7	6,8	4,6	3	3,0	2,5	2,5	
2	4,7	9,6	3,8	4,0	7,0	4,8	3,1	3,2	3,2	2,5	
3	4,7	9,6	4,0	3,3	7,3	5,1	3,0	3,2	2,2	2,7	
4	4,7	9,5	4,2	3,7	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
5	4,6	9,5	4,3	3,7	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
6	4,6	9,4	4,2	3,7	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
7	4,6	9,4	4,1	3,7	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
8	4,6	9,4	4,1	3,7	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
9	4,6	9,4	4,1	3,7	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
10	4,2	9,4	4,1	3,7	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
11	4,5	9,7	4,0	3,7	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
12	4,6	9,7	4,1	3,7	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
13	4,6	9,7	3,8	3,8	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
14	4,7	10,0	4,0	4,0	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
15	4,5	9,6	4,0	3,7	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
16	4,6	9,4	3,7	3,7	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
17	4,7	9,4	4,7	4,7	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
18	4,8	9,4	4,8	4,8	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
19	4,7	9,4	4,7	4,7	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
20	4,7	9,4	4,7	4,7	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
21	4,5	9,4	4,5	4,5	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
22	4,2	9,4	4,2	4,2	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
23	4,4	9,4	4,4	4,4	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
24	4,1	9,4	4,1	4,1	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
25	4,3	9,4	4,3	4,3	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
26	4,3	9,4	4,3	4,3	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
27	4,4	9,4	4,4	4,4	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
28	4,3	9,4	4,3	4,3	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
29	4,3	9,4	4,3	4,3	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
30	4,4	9,4	4,4	4,4	7,3	5,2	3,0	3,3	2,2	2,9	
Gjennomsnitt:	4,49	9,58	4,04	3,64	7,14	4,83	2,83	3,28	2,56	2,60	
Tid mellom sug:	3,54	3,56	4,16	4,00	3,48	3,54	4,00	3,42	3,42	3,48	
Reklusjon (N):											
Kommentar:	Test under normal drift. Laveste nivå er litt mellom hvert sug, ca 40-50 V. GoPro fil og med måling nr. 21.	Test under normal drift. Laveste nivå ca 270-330 V. Med måling nr. 12 og 13.	Test under normal drift. Laveste nivå ca 50-60 V.	Test under normal drift. Laveste nivå ca 50-60 V.	Test under normal drift. Laveste nivå ca 80-90 V.	Test under normal drift. Laveste nivå ca 40-60 V. "Instillering".	Test under normal drift. Laveste nivå ca 40-60 V.	Test under normal drift. Laveste nivå ca 35-45 V.	Test under normal drift. Laveste nivå ca 35-45 V.	Test under normal drift. Laveste nivå ca 20-30 V.	Test under normal drift. Laveste nivå ca 20-30 V.

MÅLERESULTATER

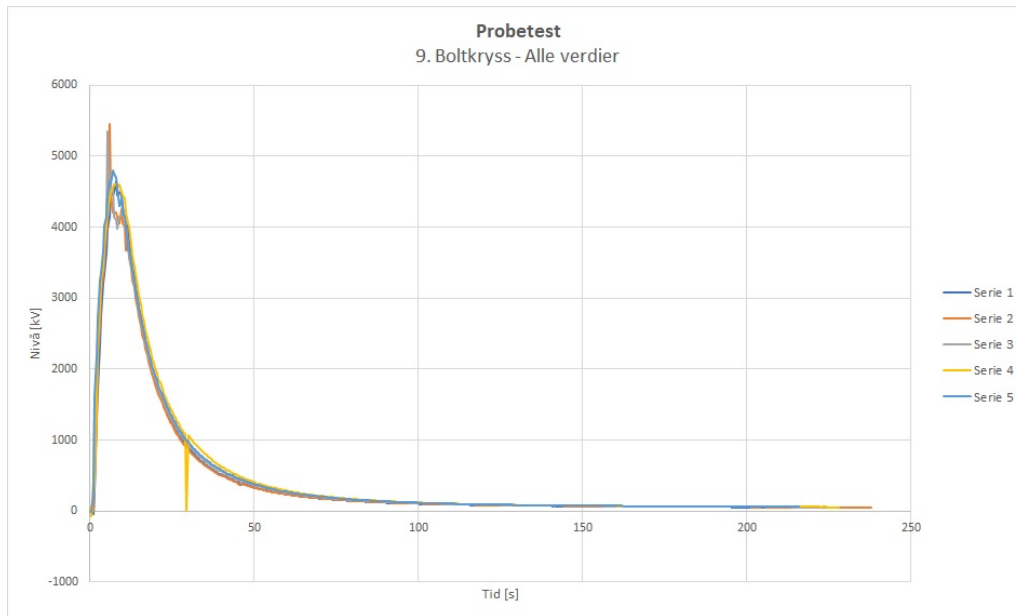
ID 4

Materialmiks - Fra malkser

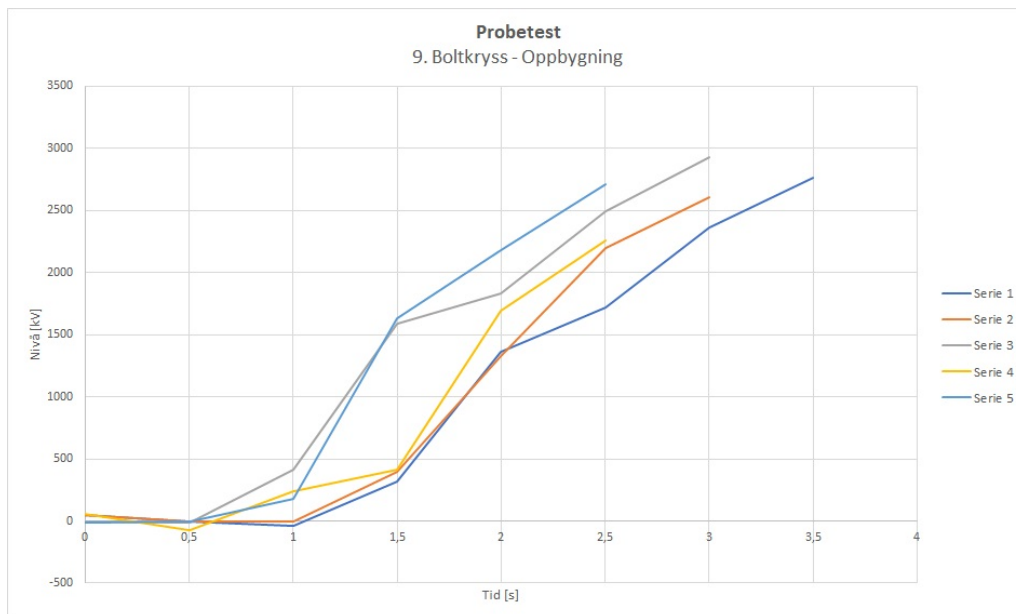
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
KMA20 12.04.18 17:45 12.04.18 18:10 12.04.18 18:30 20 Red 6015 13,0 % 14,6 % 19,3/8 9.3 (boltkruss)	KMA20 12.04.18 18:10 12.04.18 18:30 20 Red 6015 14,6 % 19,0/8 9.1 (boltkruss)	KM800 13.04.18 10:41 13.04.18 11:05 24 Red 6015 15,1 % 21,8/2 9.3 (boltkruss)	KM800 13.04.18 11:05 13.04.18 11:27 22 Red 6015 14,9 % 22,0/2 9.3 (boltkruss)	KM800 13.04.18 11:30 13.04.18 11:58 28 Red 6015 15,8 % 21,3/3 9.3 (boltkruss)	KM800 13.04.18 12:07 13.04.18 12:30 23 Red 6015 15,4 % 21,7/5 9.3 (boltkruss)	KM800 13.04.18 12:36 13.04.18 13:04 28 Red 6015 15,6 % 22,0/5 9.3 (boltkruss)	KM800 13.04.18 13:05 13.04.18 13:28 23 Red 6015 15,6 % 22,0/5 9.3 (boltkruss)	KM800 13.04.18 15:15 13.04.18 15:43 28 Red 6015 13,8 % 24,0/6 9.3 (boltkruss)	KM800 13.04.18 15:43 13.04.18 16:04 21 Red 6015 15,6 % 21,9/8 9.3 (boltkruss)	KM800 13.04.18 16:13 13.04.18 16:37 24 Red 6015 15,8 % 22,0/8 9.3 (boltkruss)
2,1 2,8 2,1 2,1 2,1 1,9	3,3 3,3 3,4 3,5 3,5	2,6 2,8 2,9 2,7 2,9 3,0 3,0 3,0 3,0	2,0 2,0 2,0 2,3 2,3 2,3 2,3 2,3 2,3	2,7 3,2 3,2 3,2 3,4 3,3 3,5 3,4 3,3	2,7 2,6 2,6 2,8 2,8 2,8 2,8 2,9 2,7	3,6 3,7 3,6 4,1 3,6 3,6 3,6 3,7 3,7	2,8 2,9 2,8 2,8 2,8 2,8 2,8 2,8 2,8	2,4 2,4 2,4 2,5 2,5 2,5 2,5 2,5 2,5	2,5 2,5 2,5 2,6 2,6 2,6 2,6 2,6 2,6	2,6 2,7 2,9 3,0 2,9 2,7 2,8 3,1 2,6 2,6 2,7
Test under normal drift. Målinger på probe 9.3 (19.1 og 9.3 i serie med 9.1 og 9.2) dobbeltkruss og 9.3 malkser og 9.1 legst ut i malkser. 9.2 dobbeltkruss er tilkoblet jord (klemme og slanger). Laveste nivå ca. 60-80 V.	Test under normal drift. Målinger på probe 9.3 (19.1 og 9.3 i serie med 9.1 og 9.2) dobbeltkruss og 9.3 malkser og 9.1 legst ut i malkser. 9.2 dobbeltkruss er tilkoblet jord (klemme og slanger). Laveste nivå ca. 40-50 V.	Test under normal drift. Målinger på probe 9.3 (19.1 og 9.3 i serie med 9.1 og 9.2) dobbeltkruss og 9.3 malkser og 9.1 legst ut i malkser. 9.2 dobbeltkruss er tilkoblet jord (klemme og slanger). Laveste nivå ca. 30-45 V. Ser at nivået går ned om man tar på jording i skjøteslange (?).	Test under normal drift. Målinger på probe 9.3 (19.1 og 9.3 i serie med 9.1 og 9.2) dobbeltkruss og 9.3 malkser og 9.1 legst ut i malkser. 9.2 dobbeltkruss er tilkoblet jord (klemme og slanger). Laveste nivå ca. 30-45 V.	Test under normal drift. Målinger på probe 9.3 (19.1 og 9.3 i serie med 9.1 og 9.2) dobbeltkruss og 9.3 malkser og 9.1 legst ut i malkser. 9.2 dobbeltkruss er tilkoblet jord (klemme og slanger). Laveste nivå ca. 300 V.	Test under normal drift. Målinger på probe 9.3 (19.1 og 9.3 i serie med 9.1 og 9.2) dobbeltkruss og 9.3 malkser og 9.1 legst ut i malkser. 9.2 dobbeltkruss er tilkoblet jord (klemme og slanger). Laveste nivå ca. 40-50 V.	Test under normal drift. Målinger på probe 9.3 (19.1 og 9.3 i serie med 9.1 og 9.2) dobbeltkruss og 9.3 malkser og 9.1 legst ut i malkser. 9.2 dobbeltkruss er tilkoblet jord (klemme og slanger). Laveste nivå ca. 40-50 V.	Test under normal drift. Målinger på probe 9.3 (19.1 og 9.3 i serie med 9.1 og 9.2) dobbeltkruss og 9.3 malkser og 9.1 legst ut i malkser. 9.2 dobbeltkruss er tilkoblet jord (klemme og slanger). Laveste nivå ca. 40-50 V.	Test under normal drift. Målinger på probe 9.3 (19.1 og 9.3 i serie med 9.1 og 9.2) dobbeltkruss og 9.3 malkser og 9.1 legst ut i malkser. 9.2 dobbeltkruss er tilkoblet jord (klemme og slanger). Laveste nivå ca. 40-50 V.	Test under normal drift. Målinger på probe 9.3 (19.1 og 9.3 i serie med 9.1 og 9.2) dobbeltkruss og 9.3 malkser og 9.1 legst ut i malkser. 9.2 dobbeltkruss er tilkoblet jord (klemme og slanger). Laveste nivå ca. 40-50 V.	Test under normal drift. Målinger på probe 9.3 (19.1 og 9.3 i serie med 9.1 og 9.2) dobbeltkruss og 9.3 malkser og 9.1 legst ut i malkser. 9.2 dobbeltkruss er tilkoblet jord (klemme og slanger). Laveste nivå ca. 30-40 V.
2,06 4,00	3,40 4,00	2,89 2,24	2,20 2,12 2,39 %	3,26 2,48	2,75 2,18 15,6 %	3,69 2,48	2,82 2,18 23,6 %	2,46 2,48	2,56 2,06 -4,1 %	2,80 2,24

G Materialmiks: Figurer

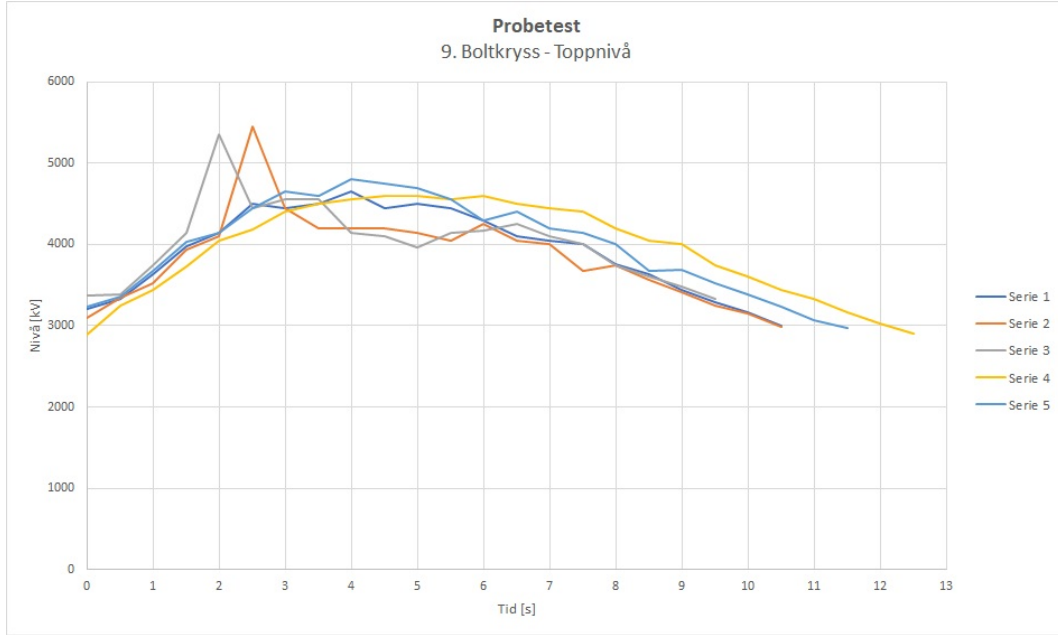
Vedlegget inneholder figurer som viser måleresultater for målinger på materialmiks. Disse er omtalt i delkapittel 4.3.



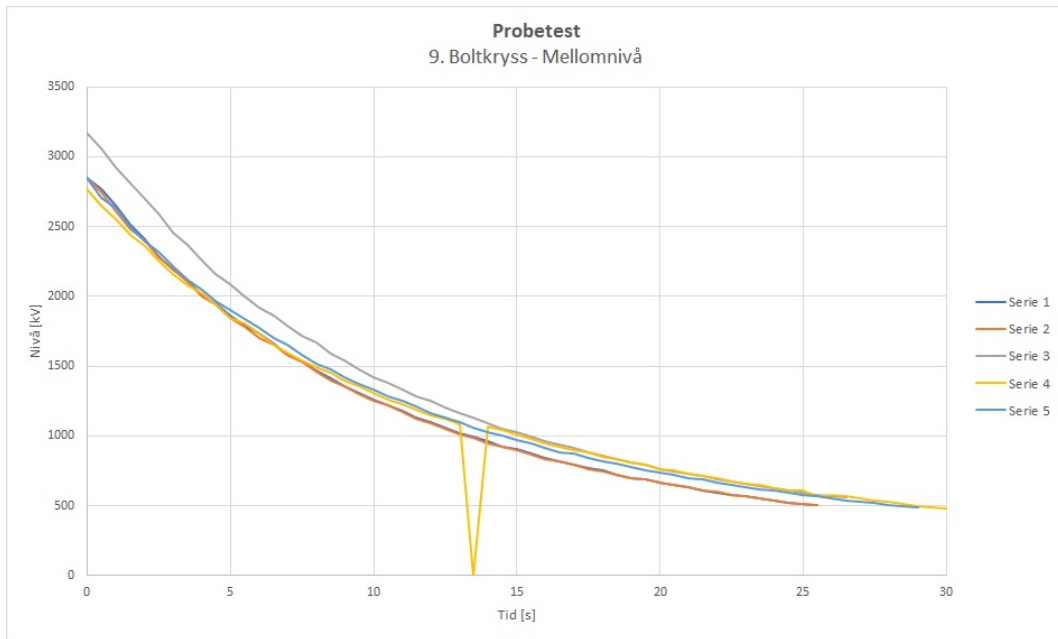
Figur G.1: Detaljerte måleresultater for test av måleprobe 9 for fem måleserier etter hverandre i tid.



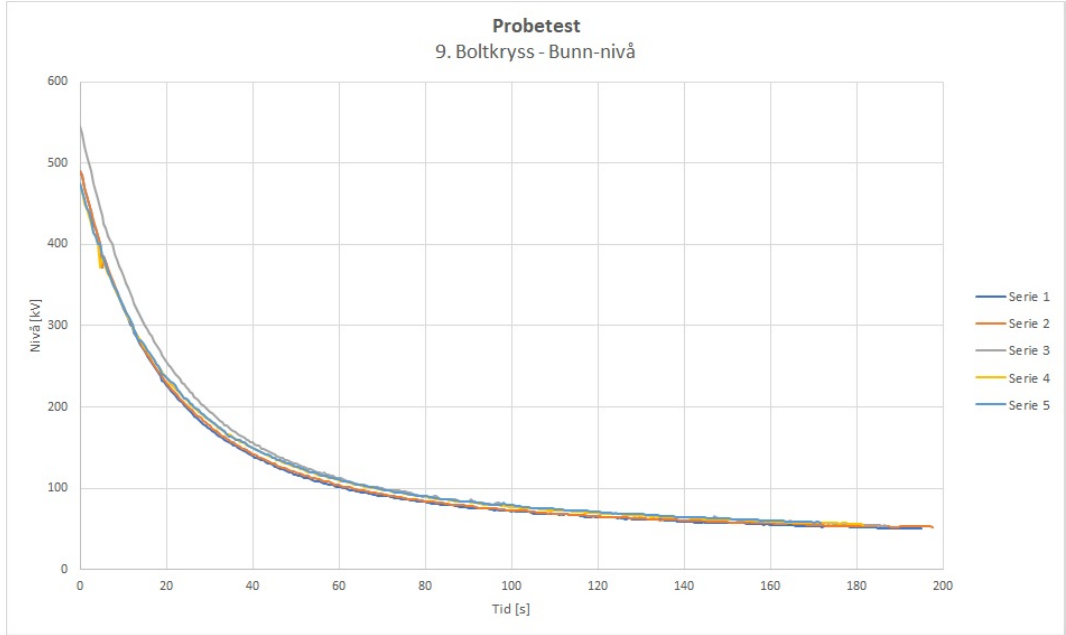
Figur G.2: Utdrag av detaljerte måleresultater for test av måleprobe 9 hvor man kan se oppbygningsnivået før materialmiksen suges gjennom måleproben.



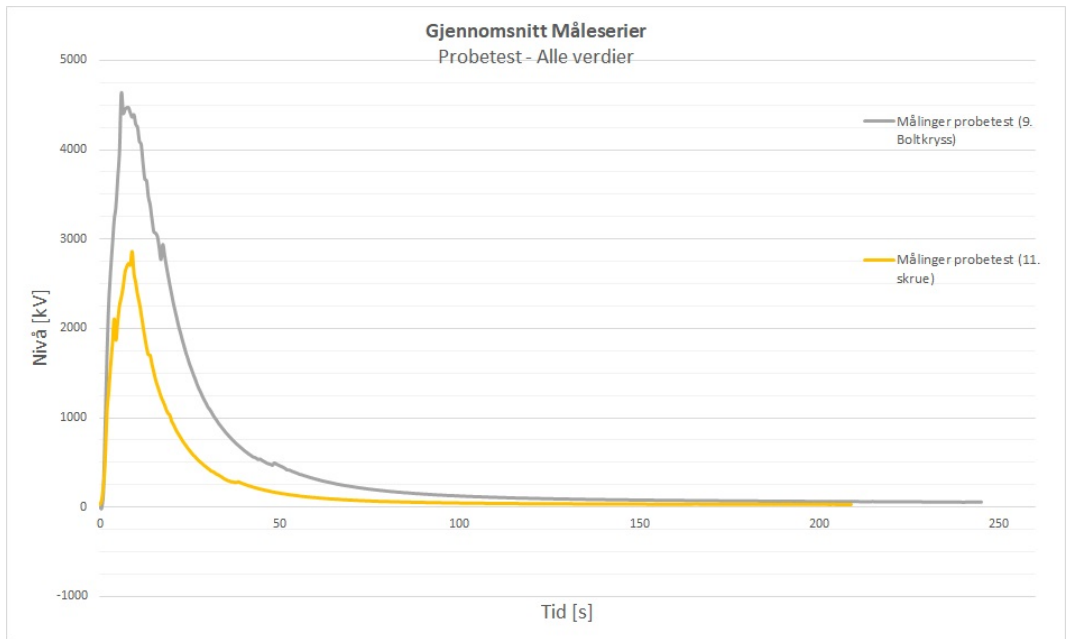
Figur G.3: Utdrag av detaljerte måleresultater for test av måleprobe 9 hvor man kan se toppnivået (> 60% av toppverdien) når materialmiksen er i kontakt med måleproben.



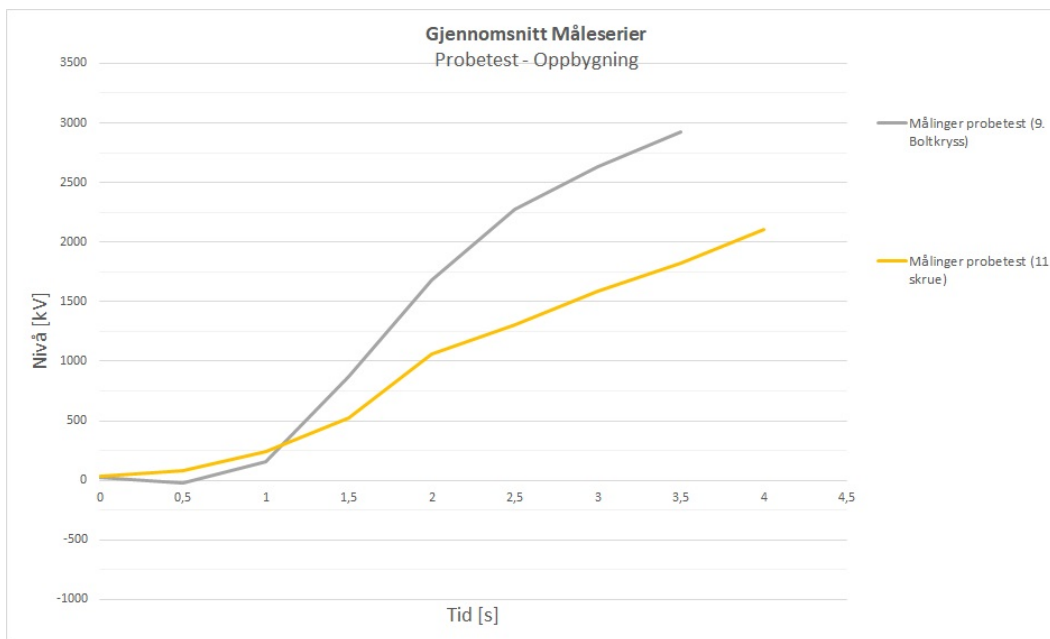
Figur G.4: Utdrag av detaljerte måleresultater for test av måleprobe 9 hvor man kan se mellomnivået ($60\% \geq x > 10\%$ av toppverdien) til ladningen etter at materialmiksen har passert.



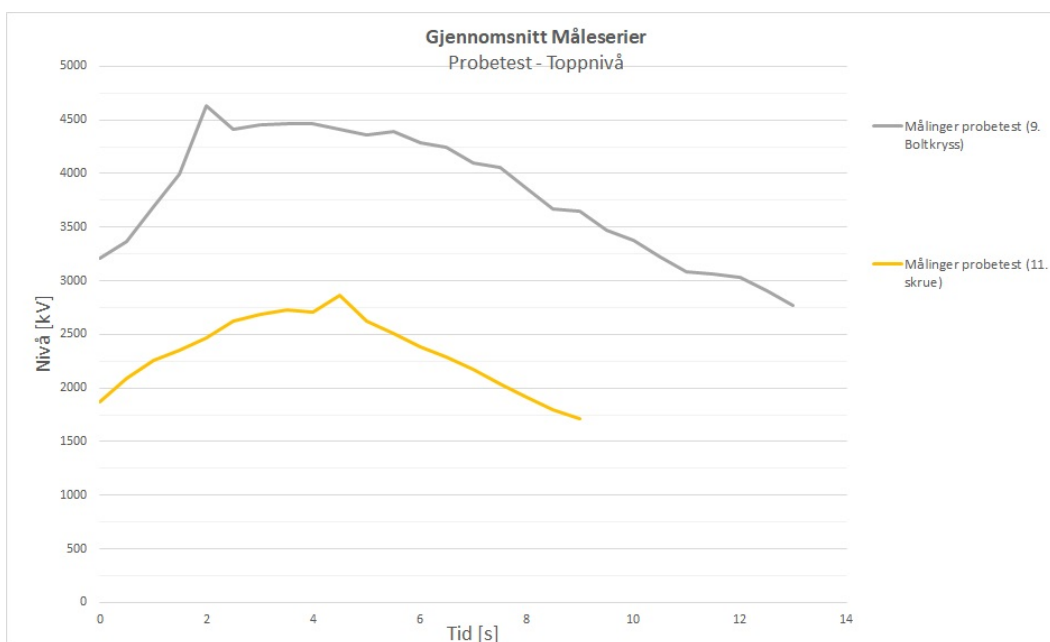
Figur G.5: Utdrag av detaljerte måleresultater for test av måleprobe 9 hvor man kan se bunn-nivået til ladningen ($\leq 10\%$ av toppverdien) til måleproben.



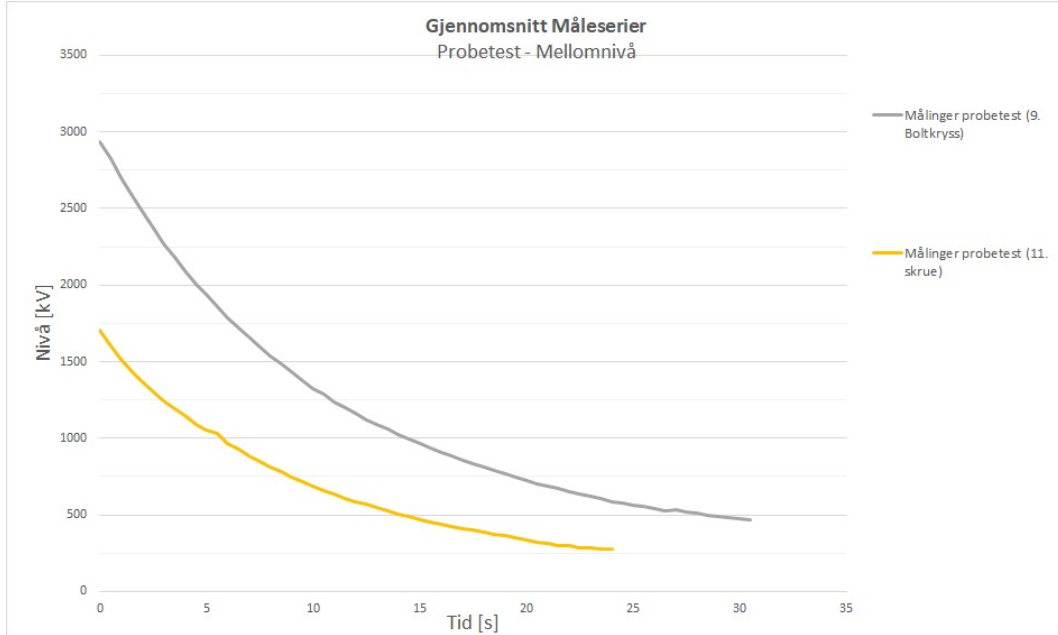
Figur G.6: Sammenlikning av probetester for måleprobe 9 og 11 hvor hvert punkt i måleseriene til hver probe er gjennomsnittet av samme punktet i alle måleseriene.



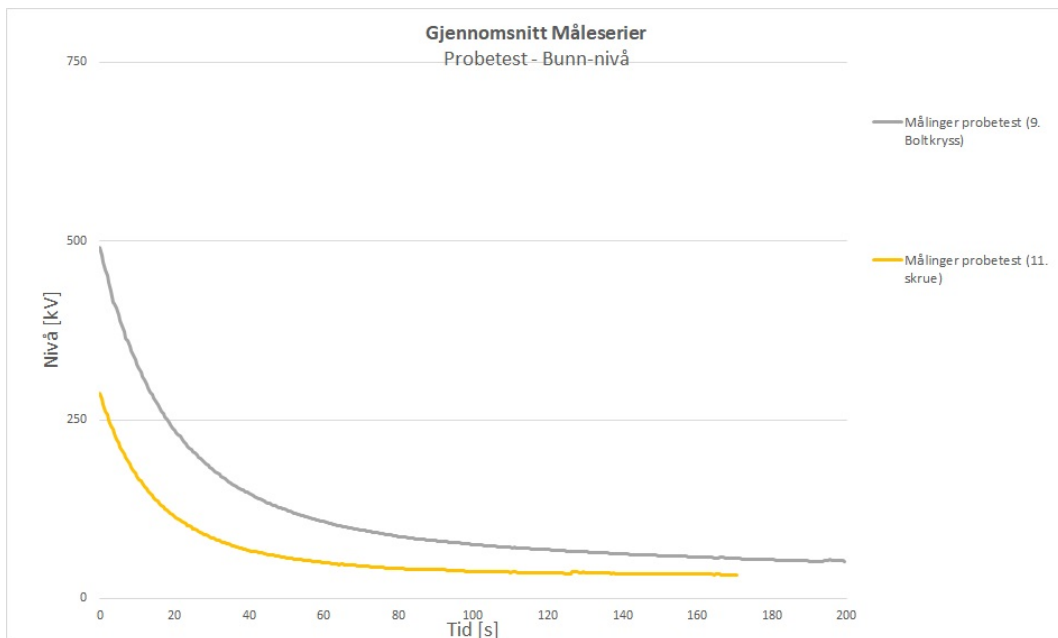
Figur G.7: Sammenlikning av probetester for måleprobe 9 og 11 for oppbygningsnivået hvor hvert punkt i måleseriene til hver probe er gjennomsnittet av samme punktet i alle måleseriene.



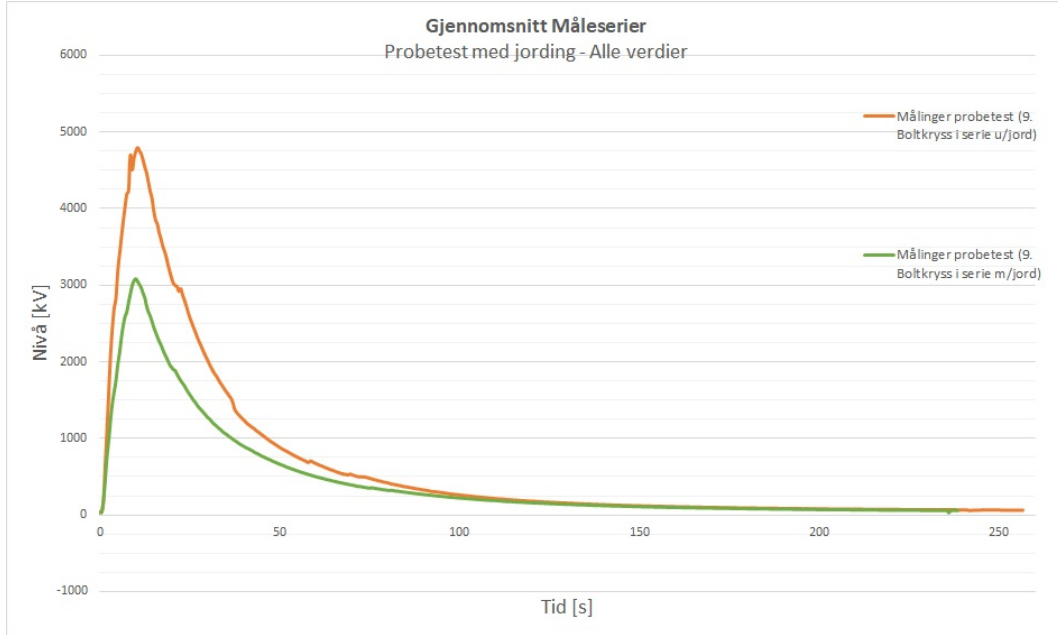
Figur G.8: Sammenlikning av probetester for måleprobe 9 og 11 for toppnivået (> 60% av gjennomsnittlig toppverdi) hvor hvert punkt i måleseriene til hver probe er gjennomsnittet av samme punktet i alle måleseriene.



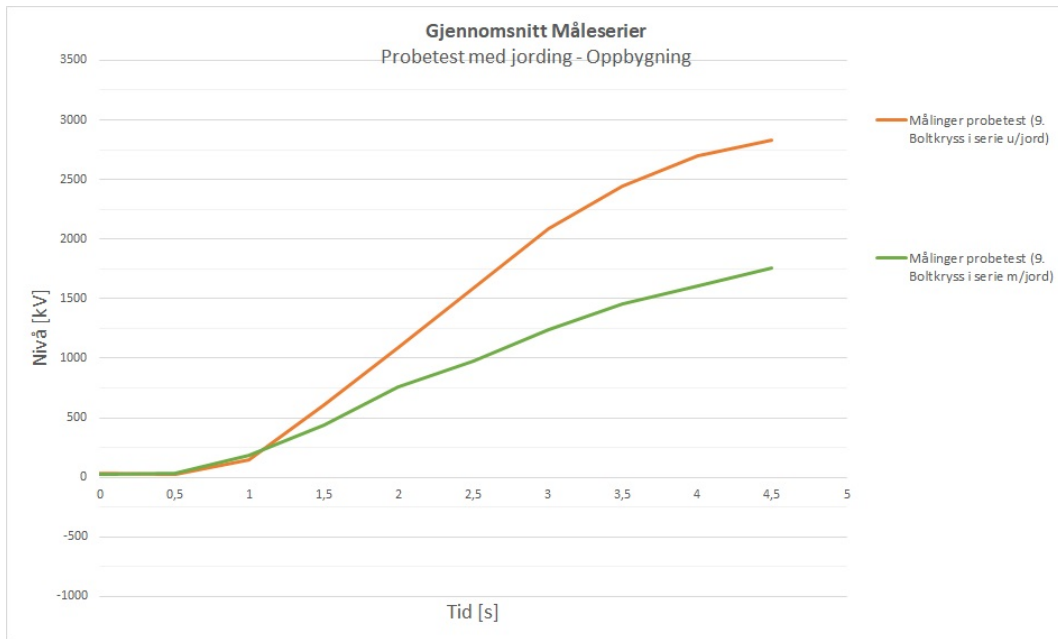
Figur G.9: Sammenlikning av probetester for måleprobe 9 og 11 for mellomnivået ($60\% \geq x > 10\%$ av gjennomsnittlig toppverdi) hvor hvert punkt i måleseriene til hver probe er gjennomsnittet av samme punktet i alle måleseriene.



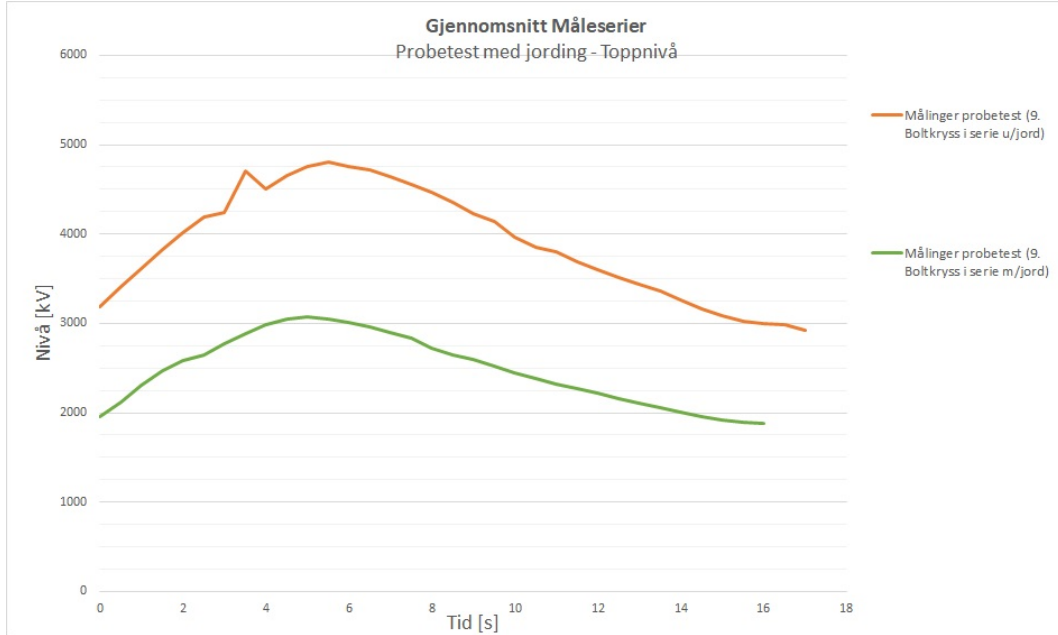
Figur G.10: Sammenlikning av probetester for måleprobe 9 og 11 for bunn-nivået ($\leq 10\%$ av gjennomsnittlig toppverdi) hvor hvert punkt i måleseriene til hver probe er gjennomsnittet av samme punktet i alle måleseriene.



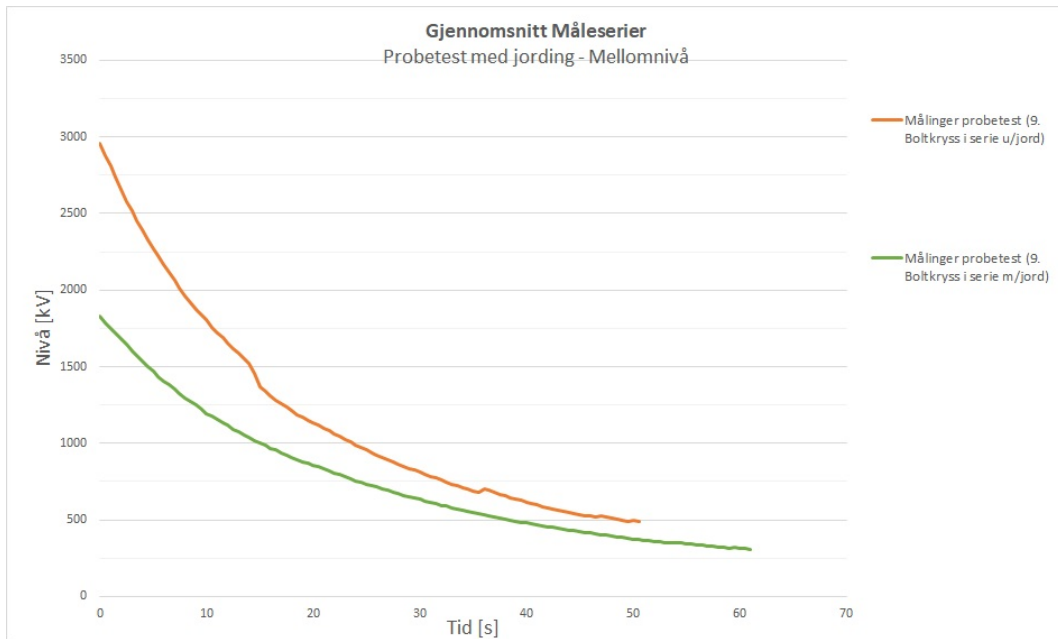
Figur G.11: Detaljert sammenlikning av gjennomsnittet til hele måleserien av to like måleprober (9) i serie med og uten jording.



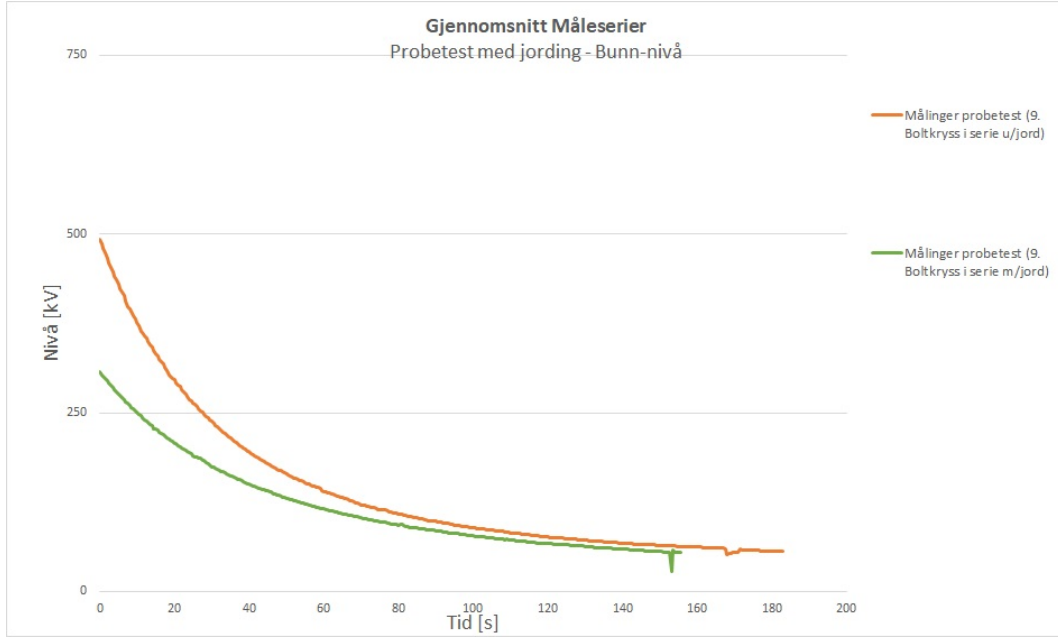
Figur G.12: Detaljert sammenlikning av gjennomsnittet til oppbyggingsnivået til måleserien av to like måleprober (9) i serie med og uten jording.



Figur G.13: Detaljert sammenlikning av gjennomsnittet til toppnivået (> 60% av toppverdien) til måleserien av to like måleprober (9) i serie med og uten jording.



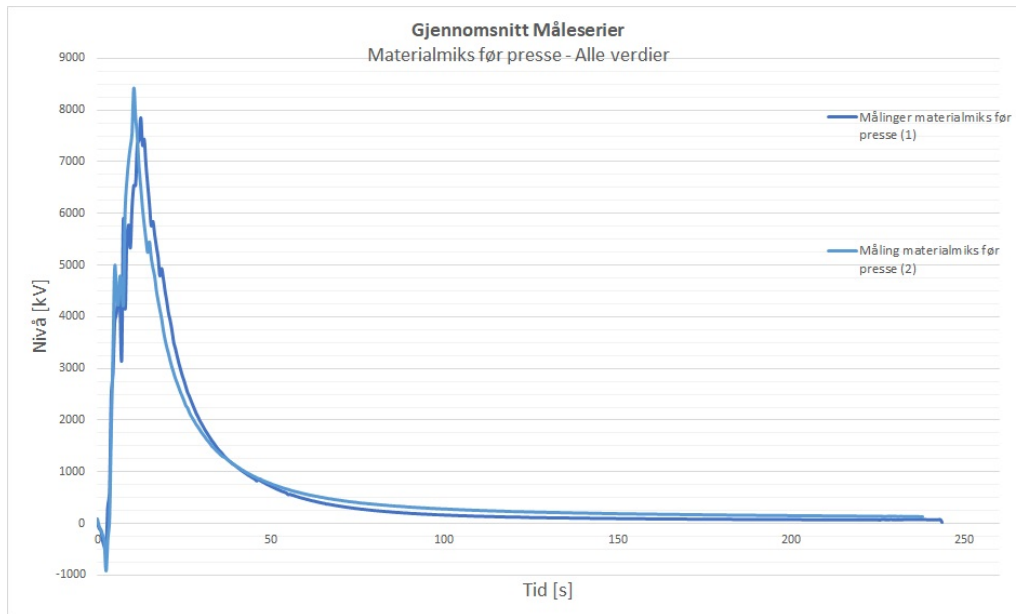
Figur G.14: Detaljert sammenlikning av gjennomsnittet til mellomnivået ($60\% \geq x > 10\%$ av toppverdien) til måleserien av to like måleprober (9) i serie med og uten jording.



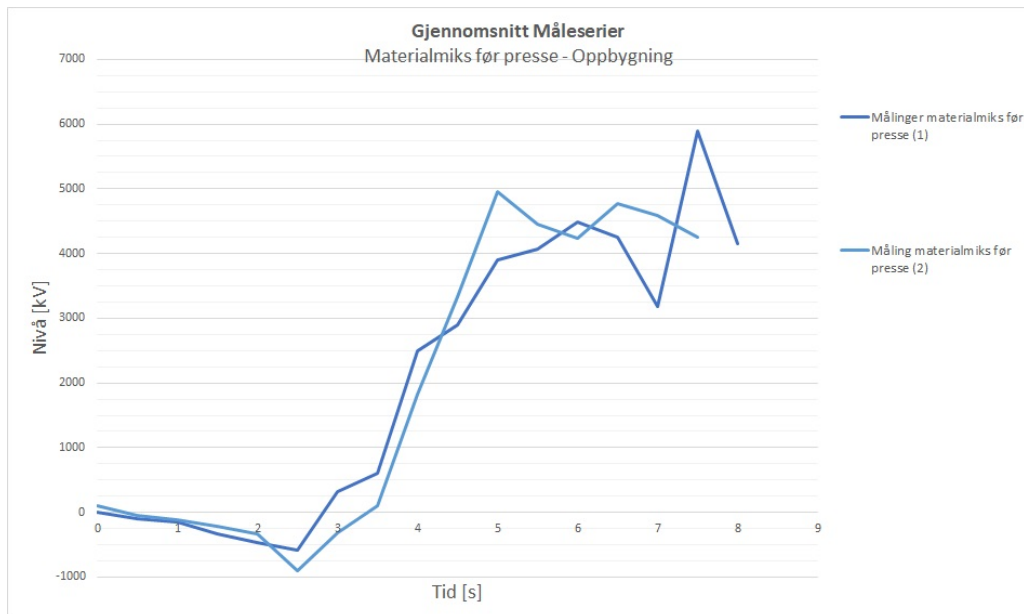
Figur G.15: Detaljert sammenlikning av gjennomsnittet til bunn-nivået (< 10% av toppverdien) til måleserien av to like måleprober (9) i serie med og uten jording.

H Materialmiks: Etter transport

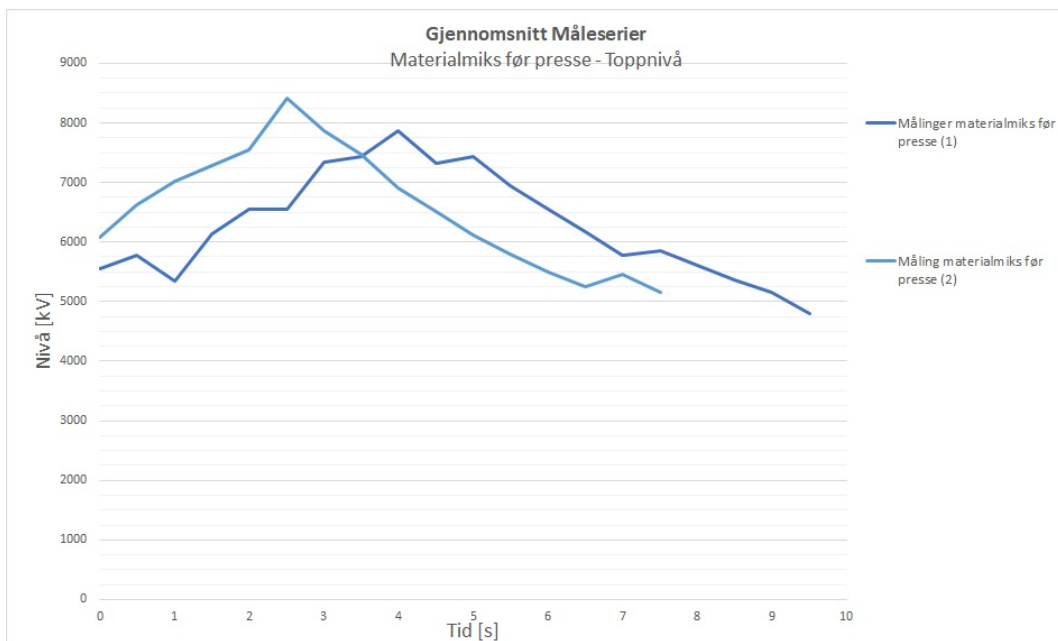
Vedlegget inneholder figurer som viser måleresultater for målinger på materialmiks. Disse er omtalt i delkapittel 4.3.



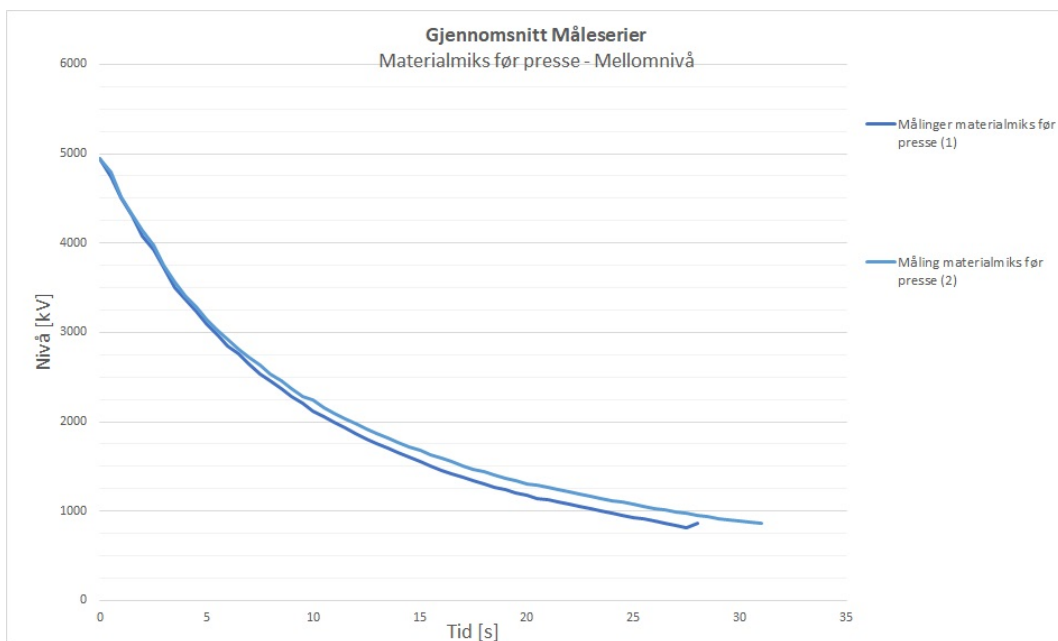
Figur H.1: Detaljert sammenlikning av gjennomsnittet til to målinger på materialmiks før presse.



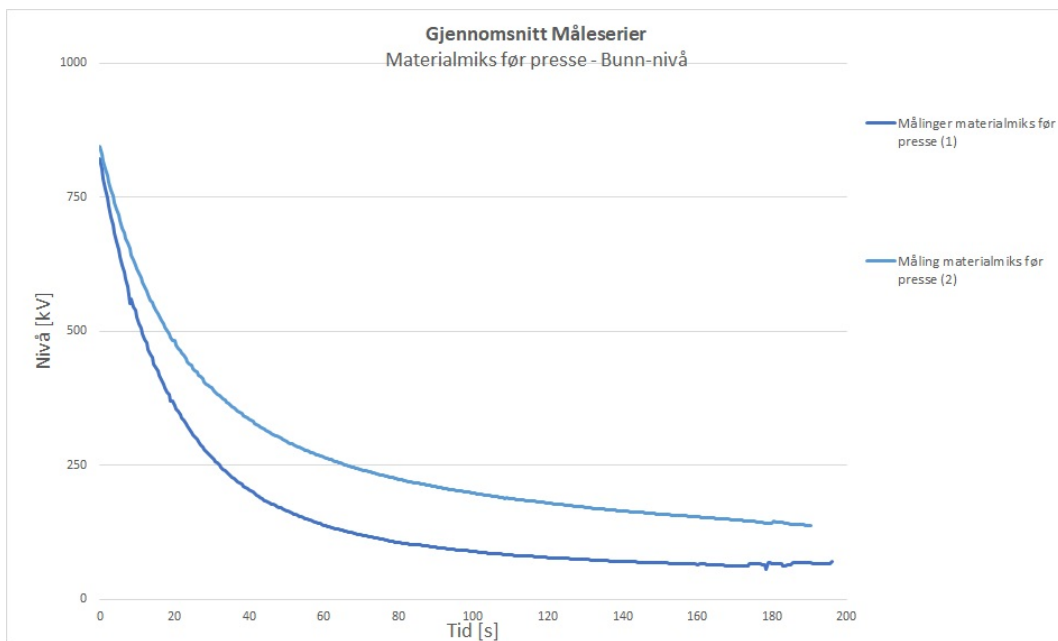
Figur H.2: Detaljert sammenlikning av gjennomsnittet til oppbyggingsnivået til to målinger på materialmiks før presse.



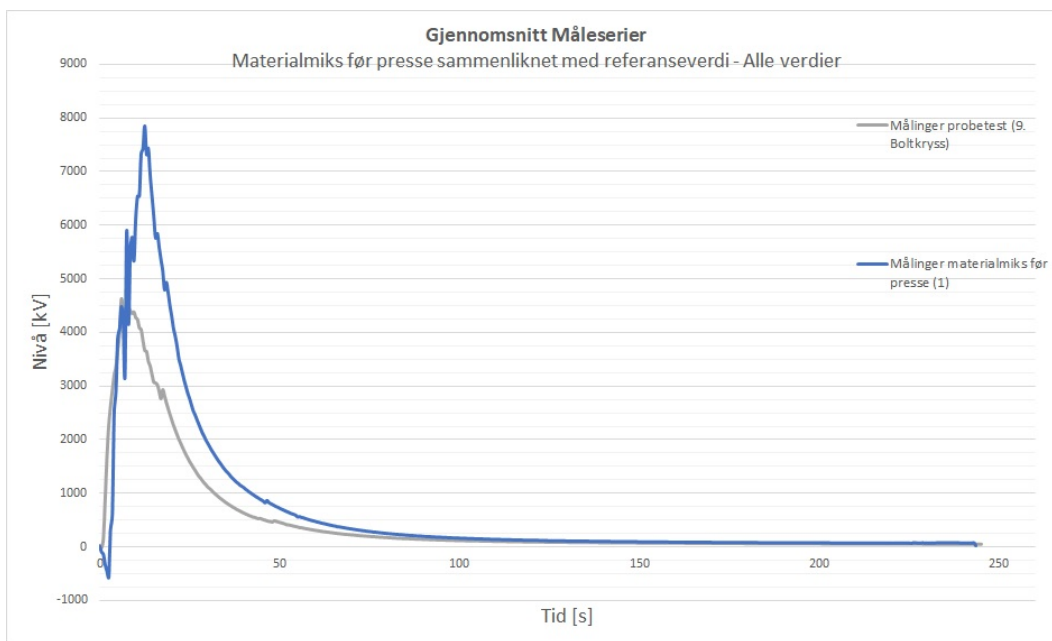
Figur H.3: Detaljert sammenlikning av gjennomsnittet til toppnivået til to målinger på materialmiks før presse.



Figur H.4: Detaljert sammenlikning av gjennomsnittet til mellomnivået til to målinger på materialmiks før presse.



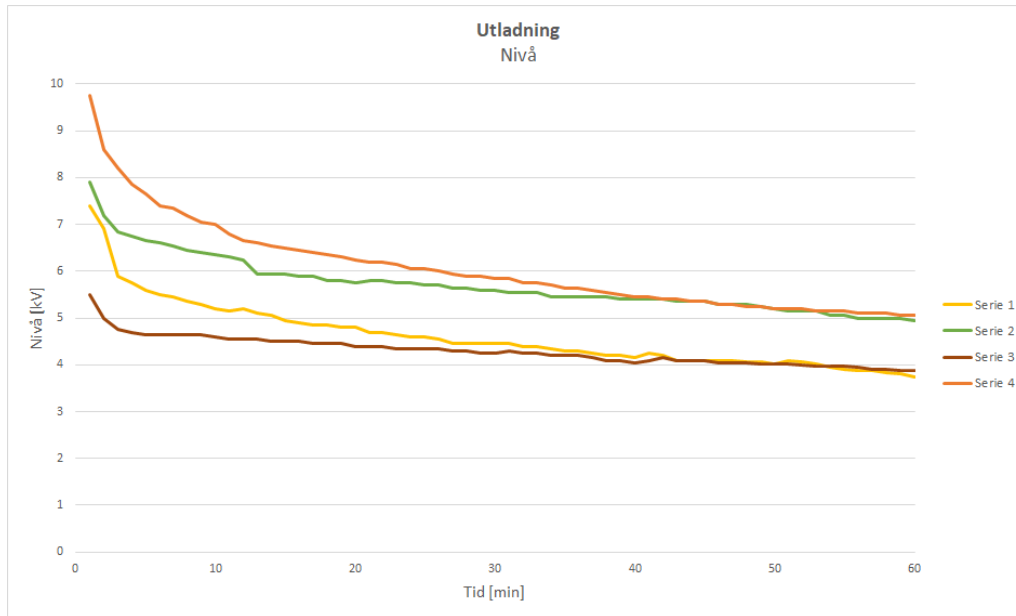
Figur H.5: Detaljert sammenlikning av gjennomsnittet til bunn-nivået til to målinger på materialmiks før presse.



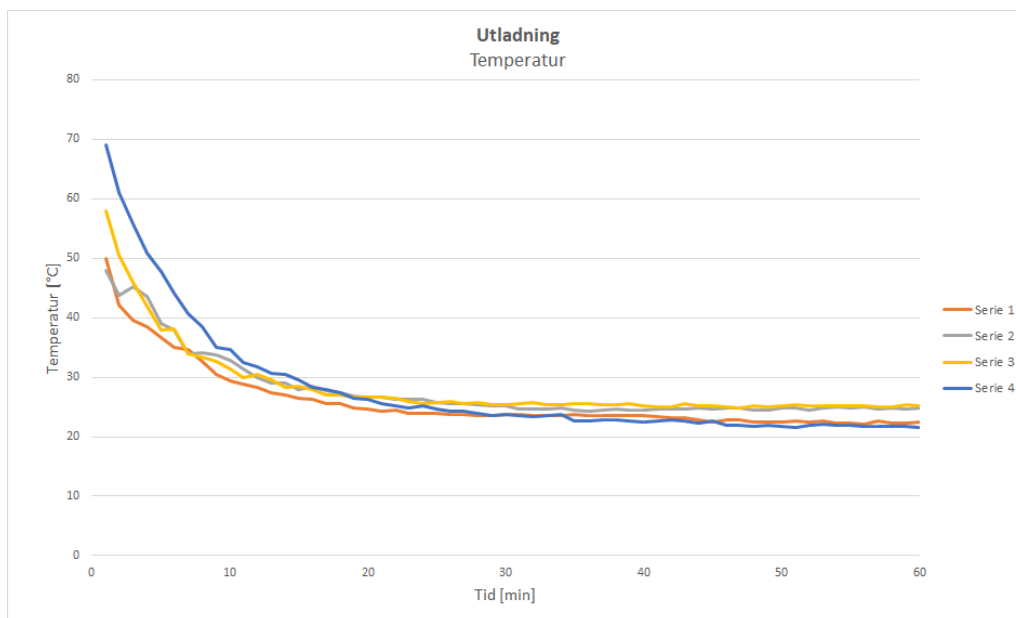
Figur H.6: Sammenlikning av den målinger på materialmiksen før (ved mikser) og etter transport (før presse/doserer).

I Utladning: Figurer

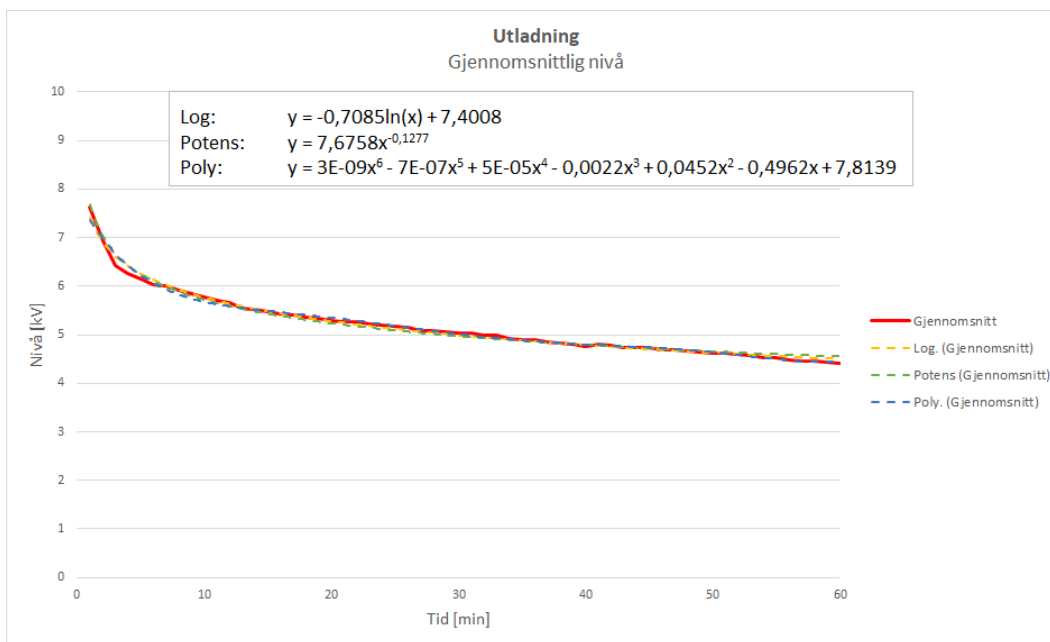
Vedlegget inneholder figurer som viser måleresultater for målinger på utladning. Disse er omtalt i delkapittel 5.2.



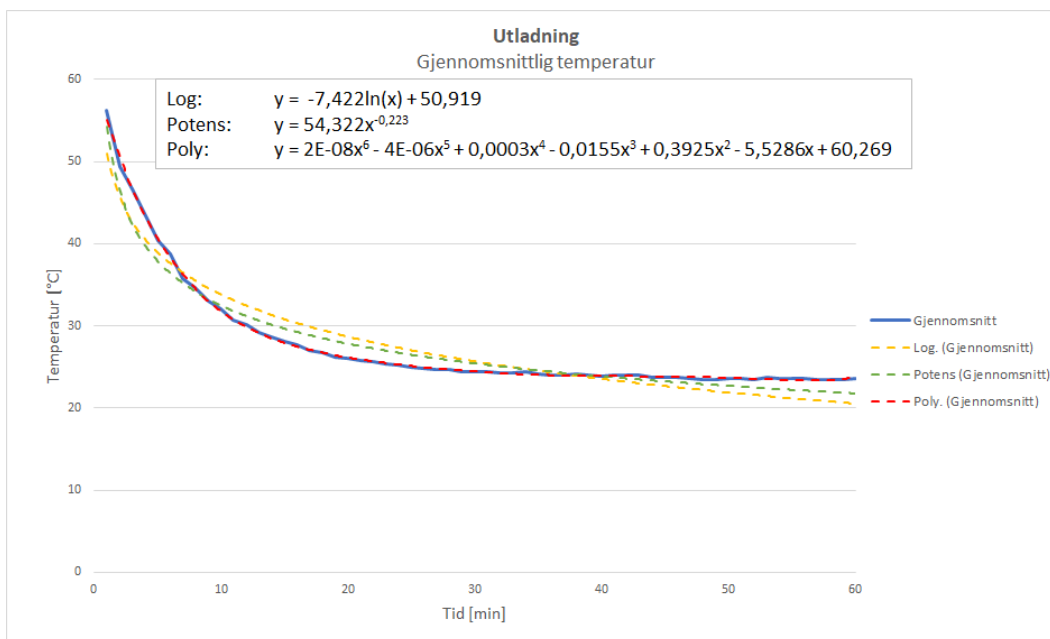
Figur I.1: Alle måleresultater (nivå) ved måling av utladning på topphatt



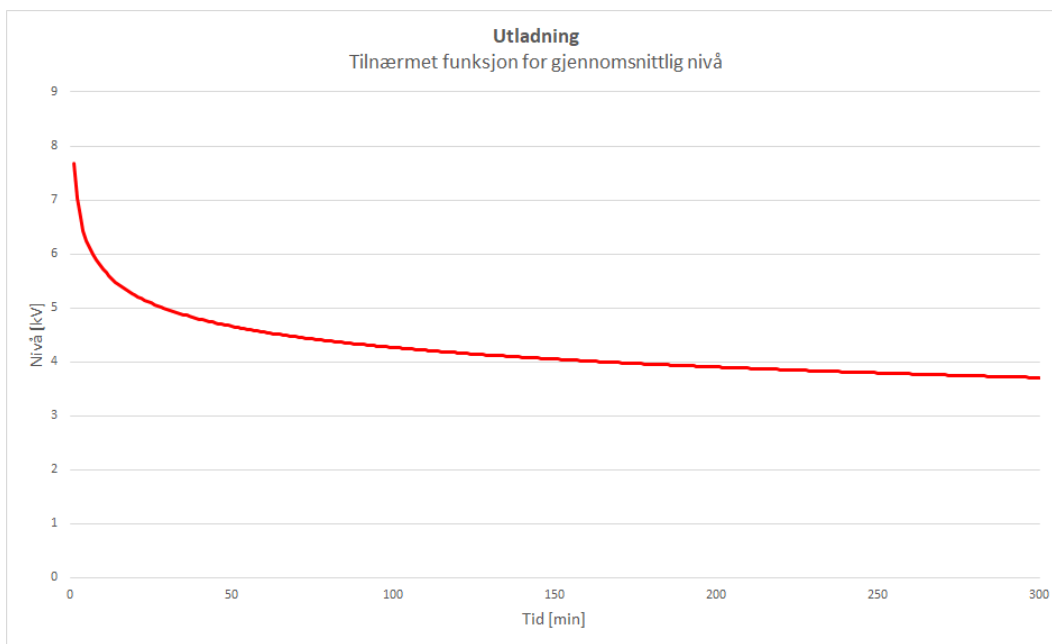
Figur I.2: Alle måleresultater (temp) ved måling av utladning på topphatt



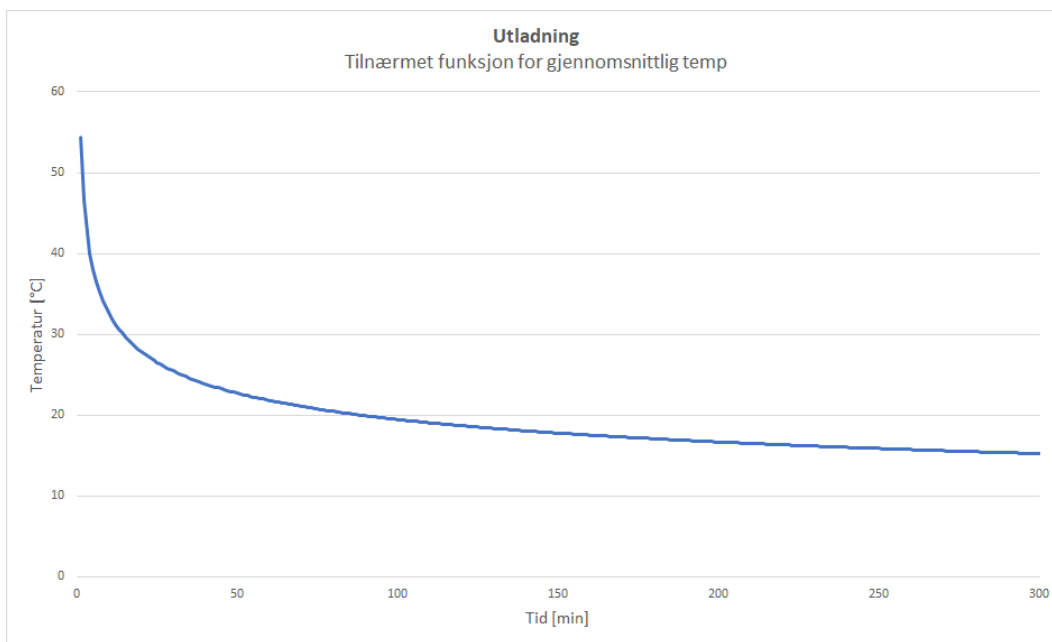
Figur I.3: Gjennomsnitt av alle måleresultater (nivå) ved måling av utladning på topphatt



Figur I.4: Gjennomsnitt av alle måleresultater (temp) ved måling av utladning på topphatt



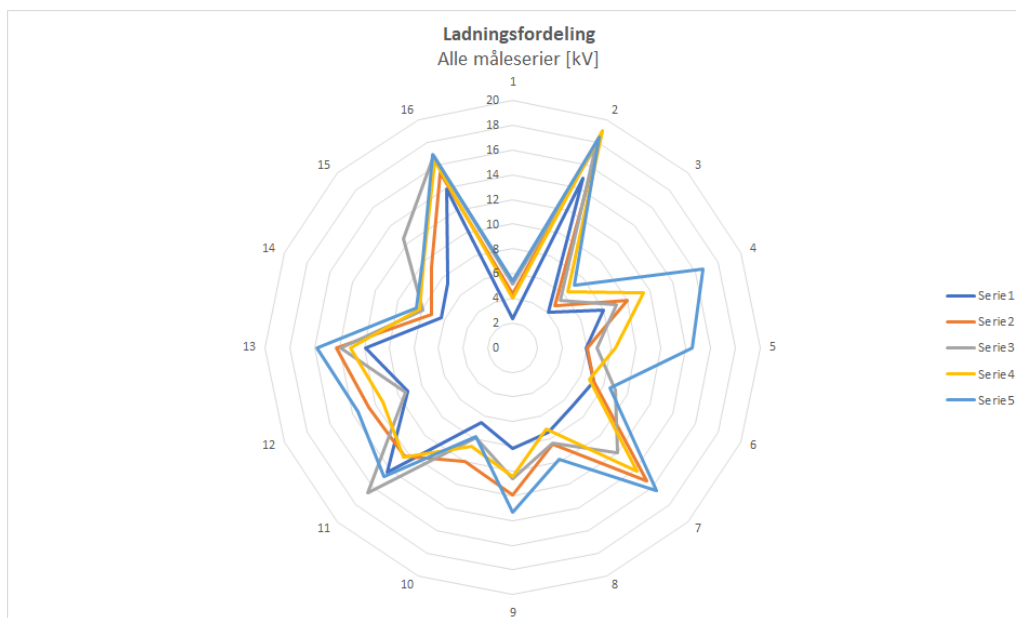
Figur I.5: Matematisk fremstilling av elektrostatisk utladning til topphatt i fem timer



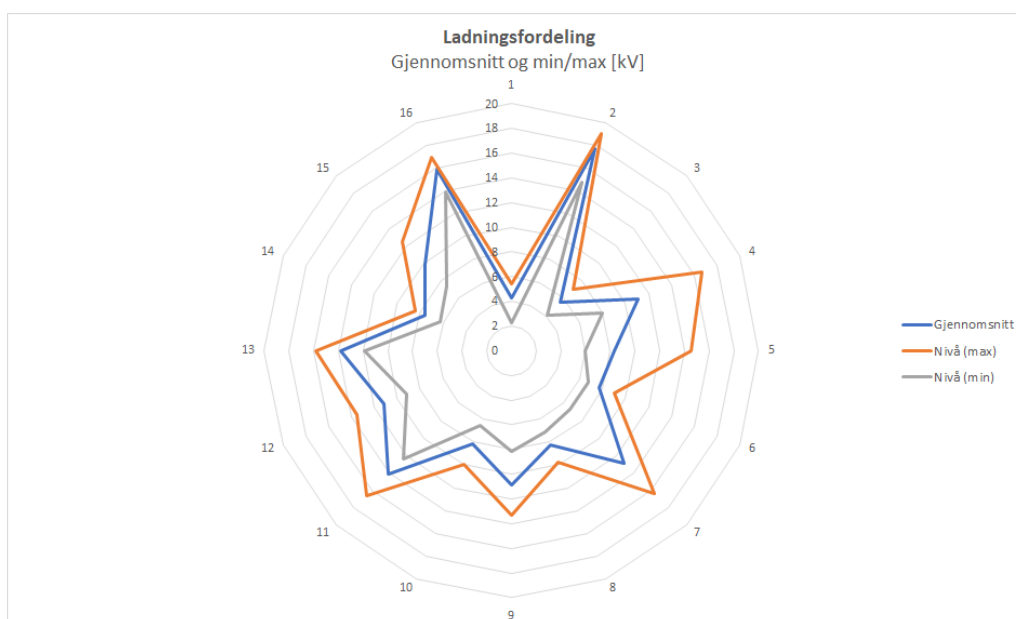
Figur I.6: Matematisk fremstilling av temperaturreduksjon til topphatt i fem timer

J Ladningsfordeling: Figurer

Vedlegget inneholder figurer som viser måleresultater for målinger på ladningsfordeling. Disse er omtalt i delkapittel 5.3.



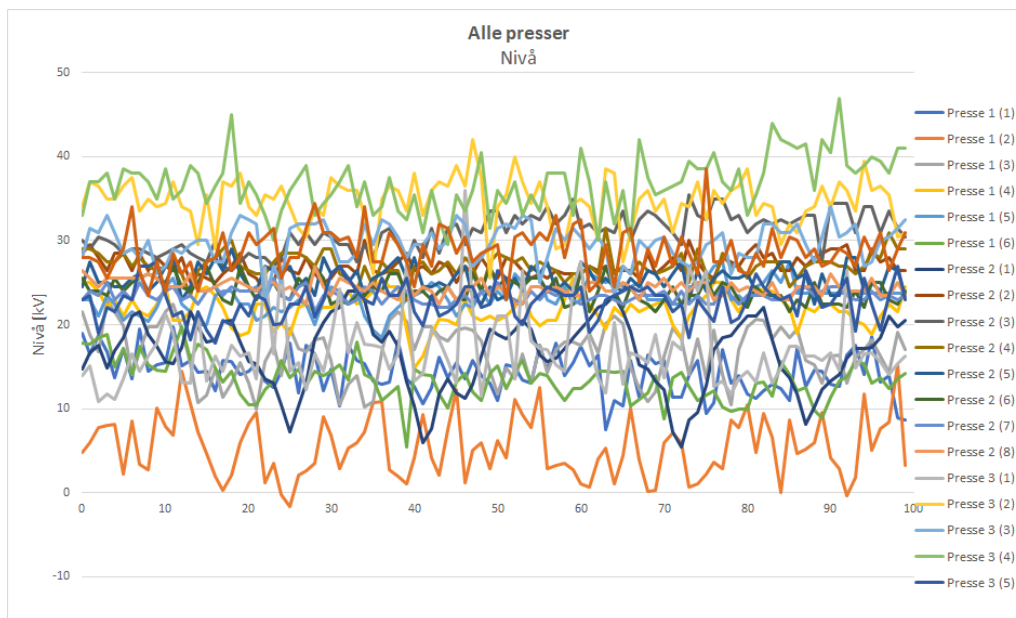
Figur J.1: Alle måleresultater ved måling av ladningsfordeling på topphatt



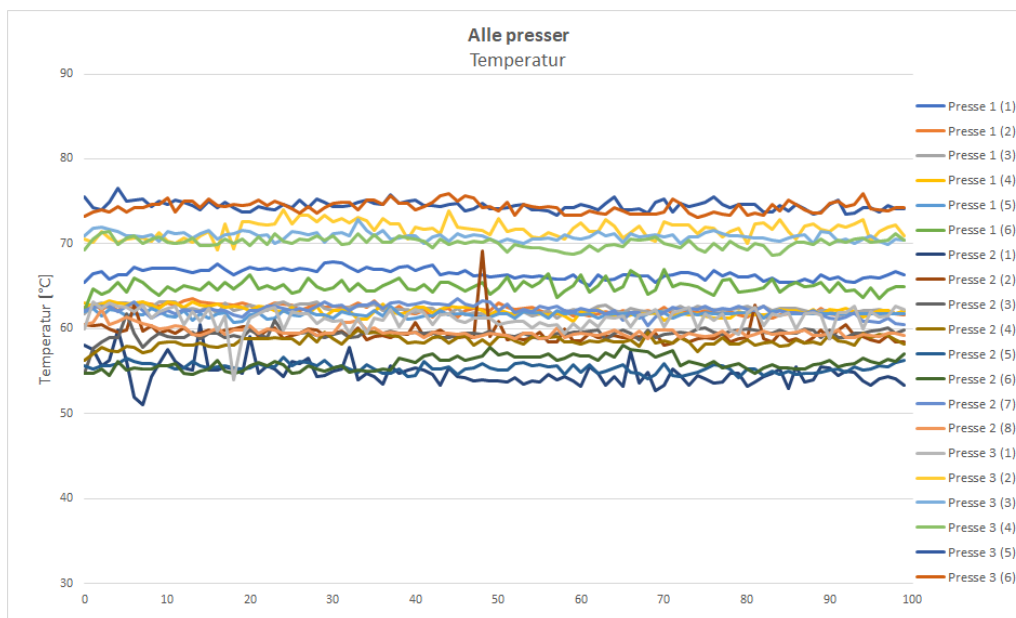
Figur J.2: Gjennomsnitt av måleresultater ved måling av ladningsfordeling på topphatt

K Etter presse: Figurer

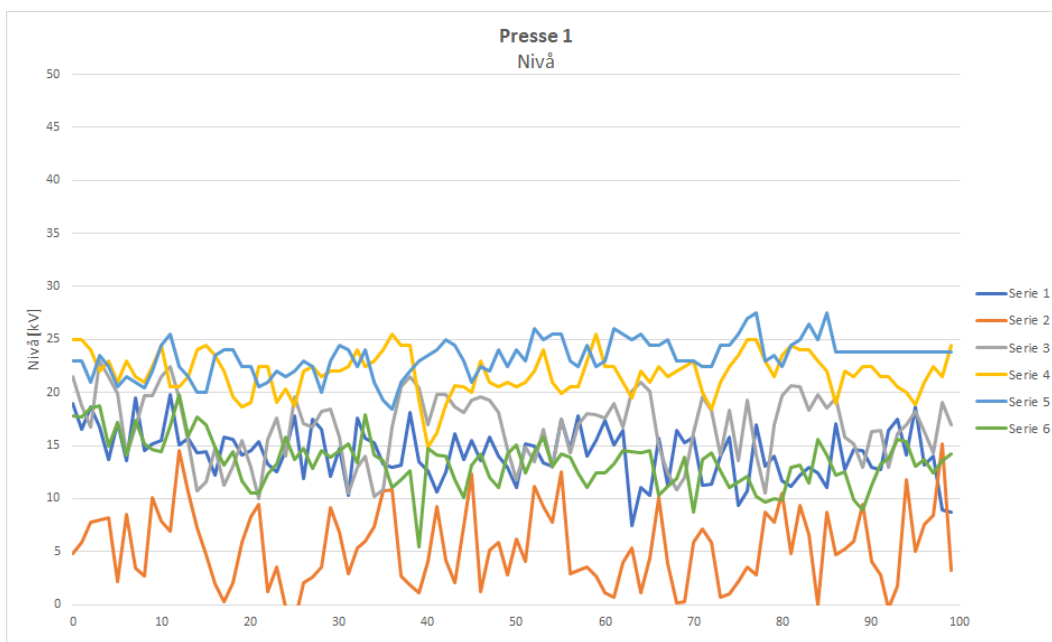
Vedlegget inneholder figurer som viser måleresultater for målinger etter presse. Disse er omtalt i delkapittel 5.4.



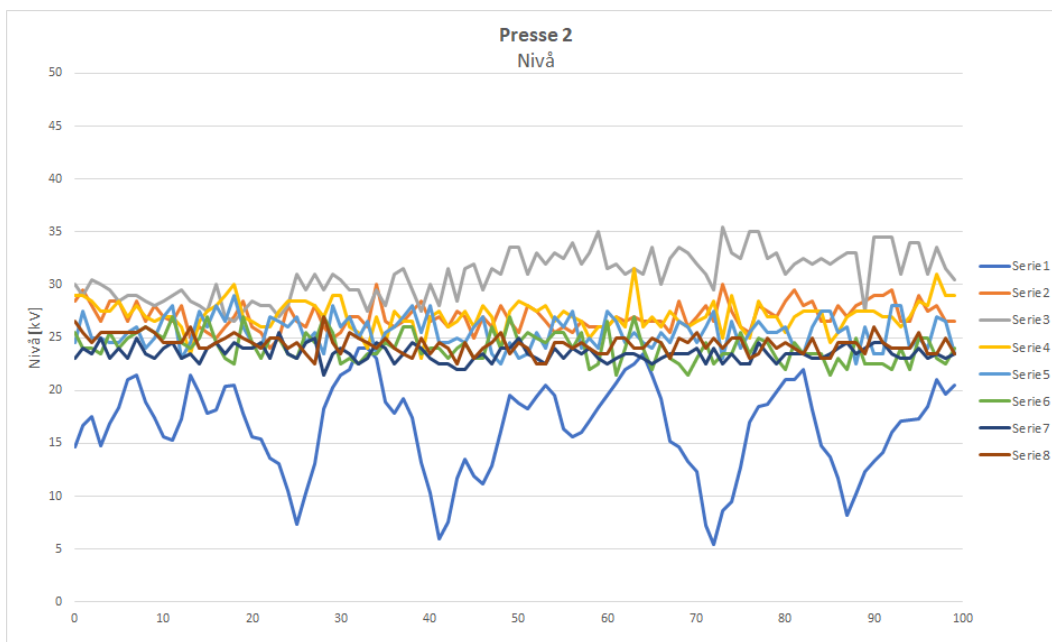
Figur K.1: Alle måleresultater (nivå) på topphatt etter støping



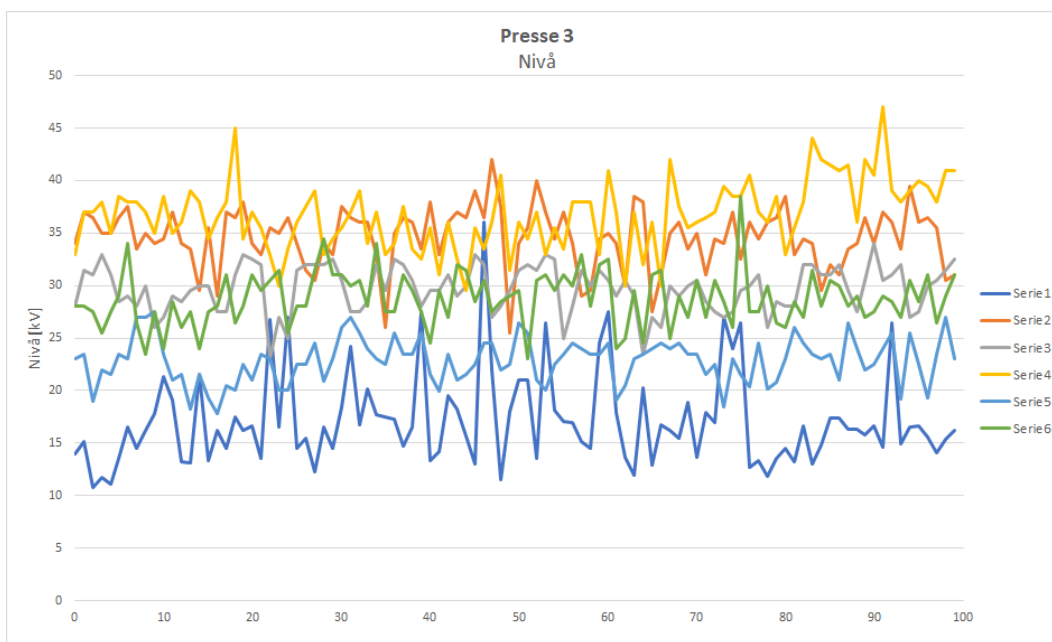
Figur K.2: Alle måleresultater (temp) på topphatt etter støping



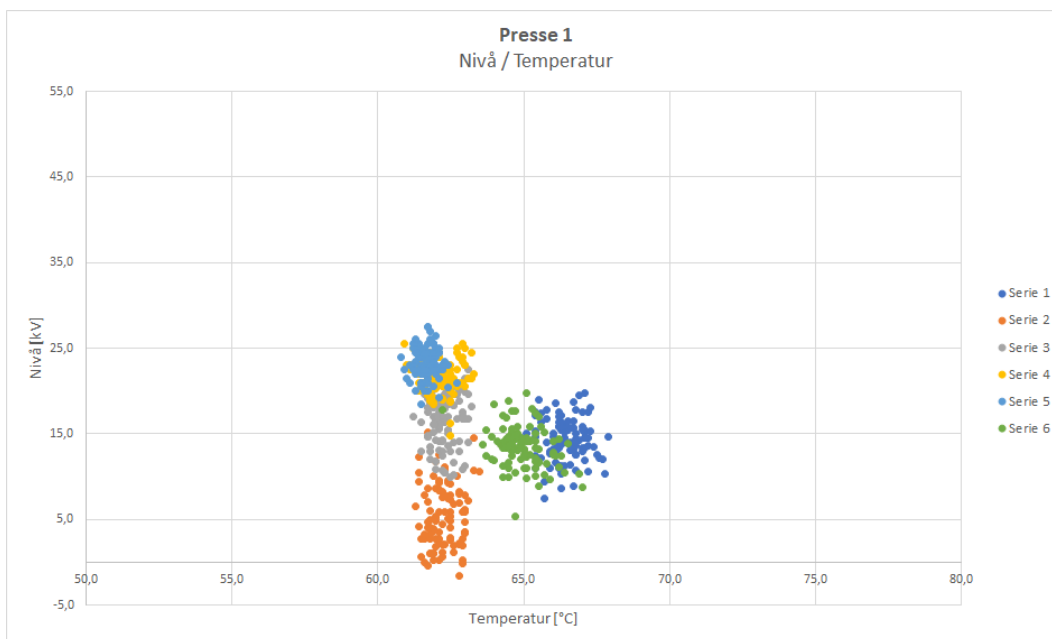
Figur K.3: Alle måleresultater på topphatt etter støping ved presse 1



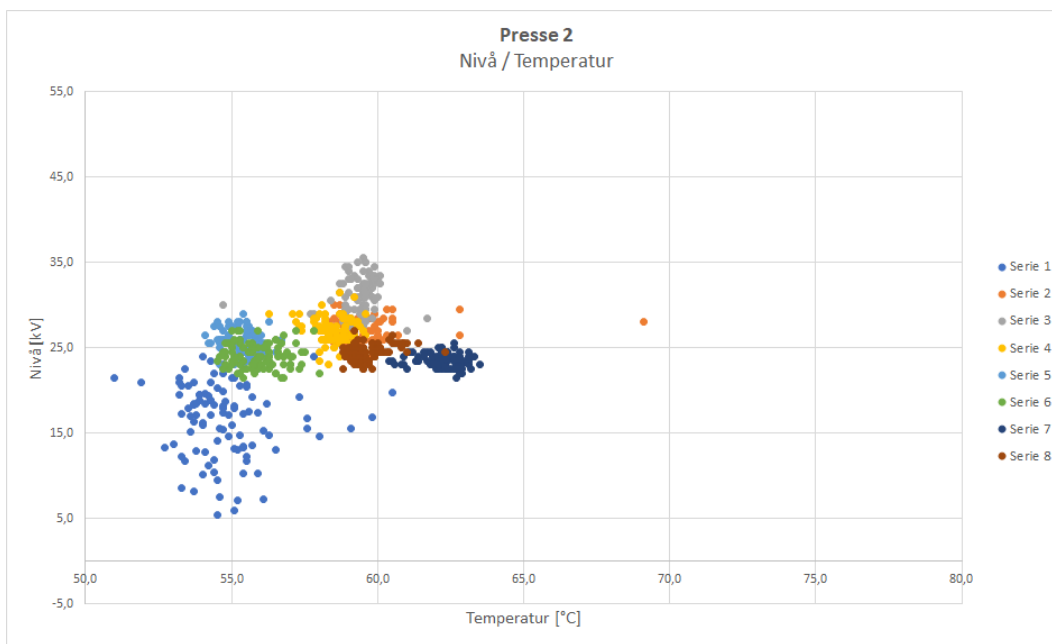
Figur K.4: Alle måleresultater på topphatt etter støping ved presse 2



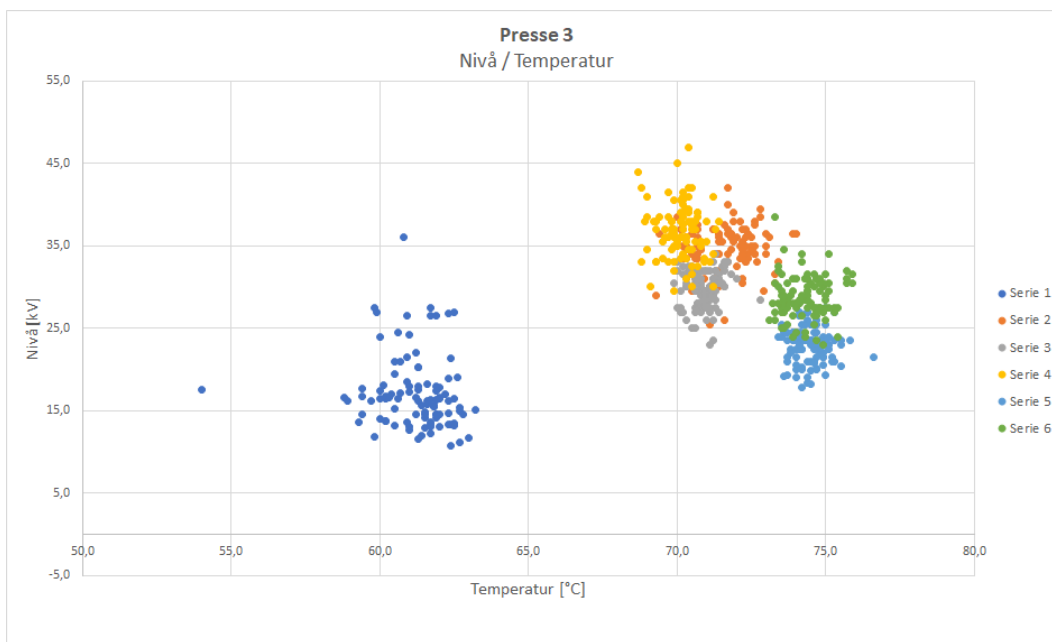
Figur K.5: Alle måleresultater på topphatt etter støping ved presse 3



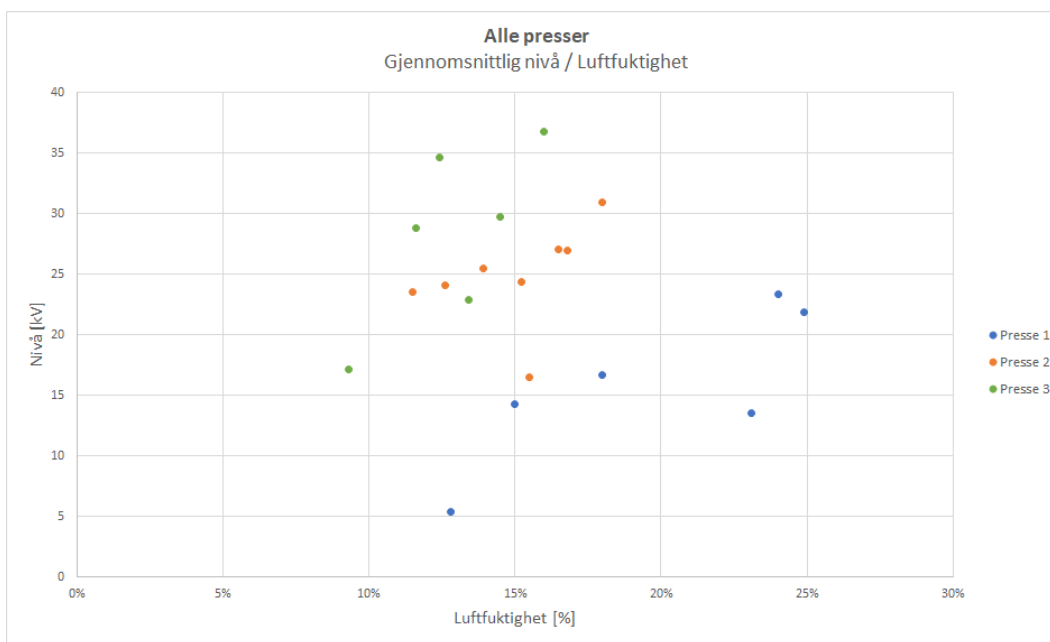
Figur K.6: Nivå i forhold til temperatur på topphatt etter støping ved presse 1



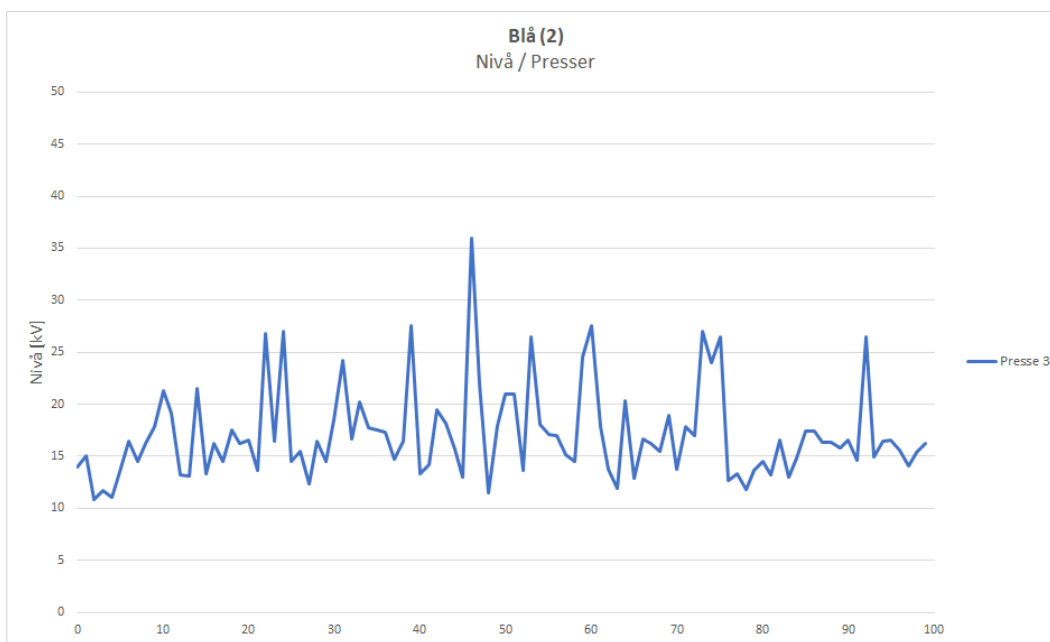
Figur K.7: Nivå i forhold til temperatur på topphatt etter støping ved presse 2



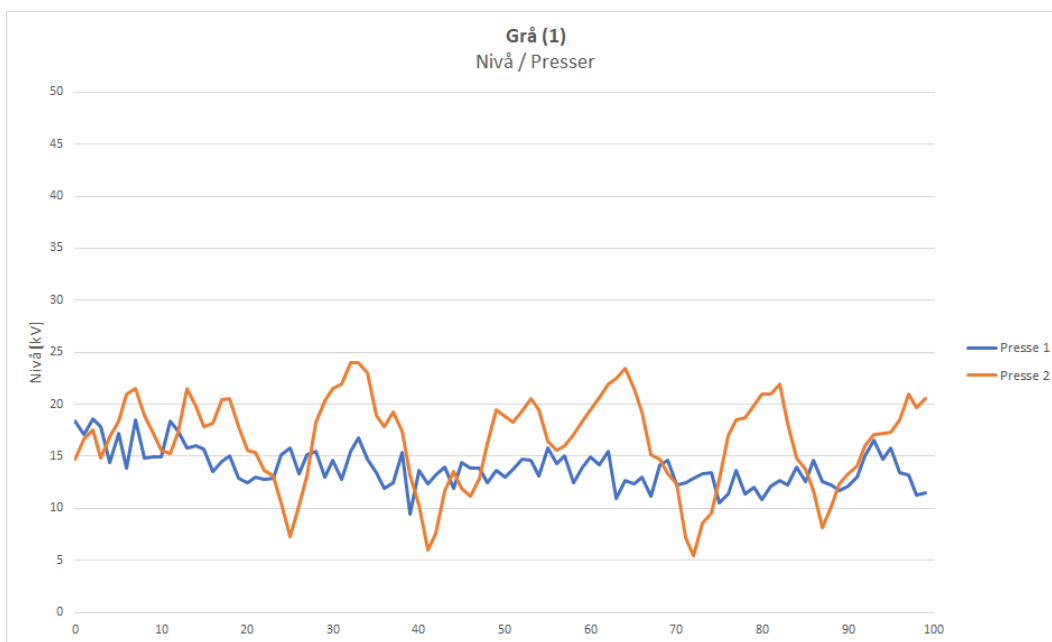
Figur K.8: Nivå i forhold til temperatur på topphatt etter støping ved presse 3



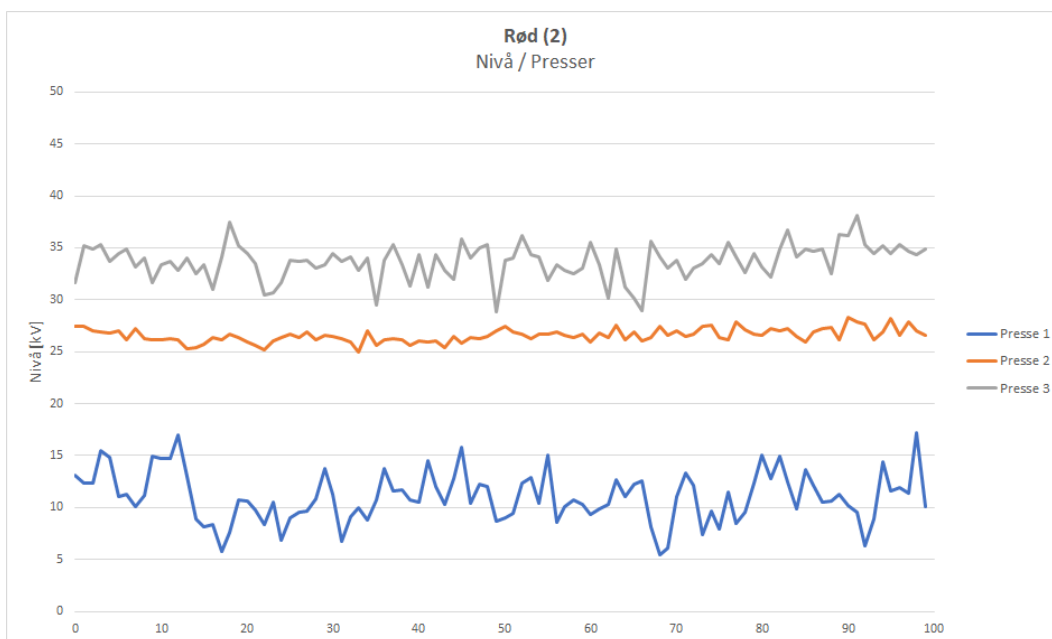
Figur K.9: Gjennomsnittlig nivå i forhold til luftfuktighet på topphatt etter støping



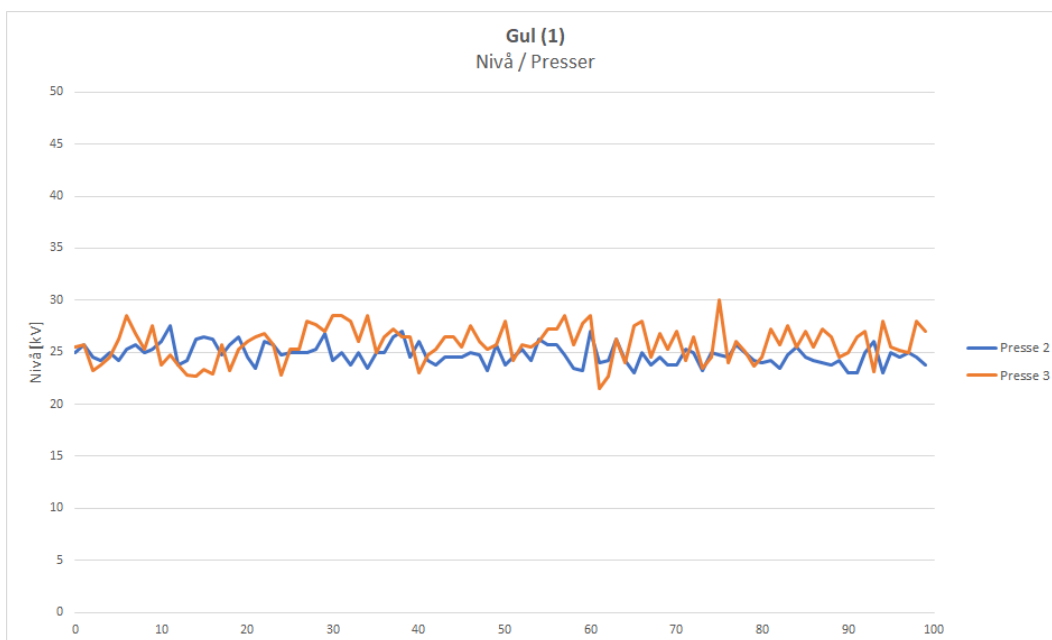
Figur K.10: Blå - Gjennomsnittlig nivå i forhold til presse på topphatt etter støping



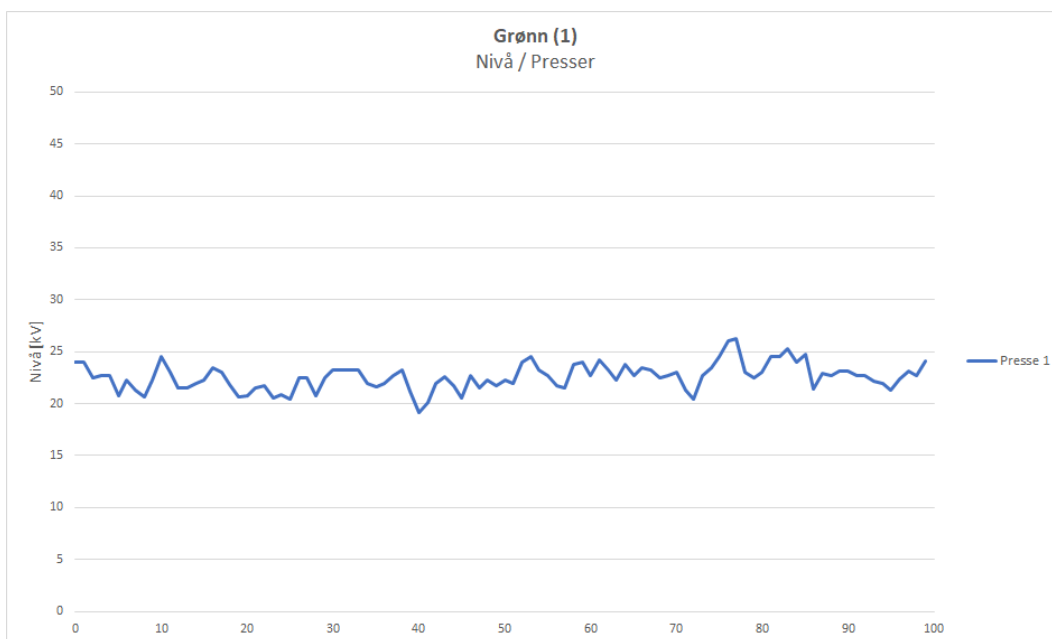
Figur K.11: Grå - Gjennomsnittlig nivå i forhold til presse på topphatt etter støping



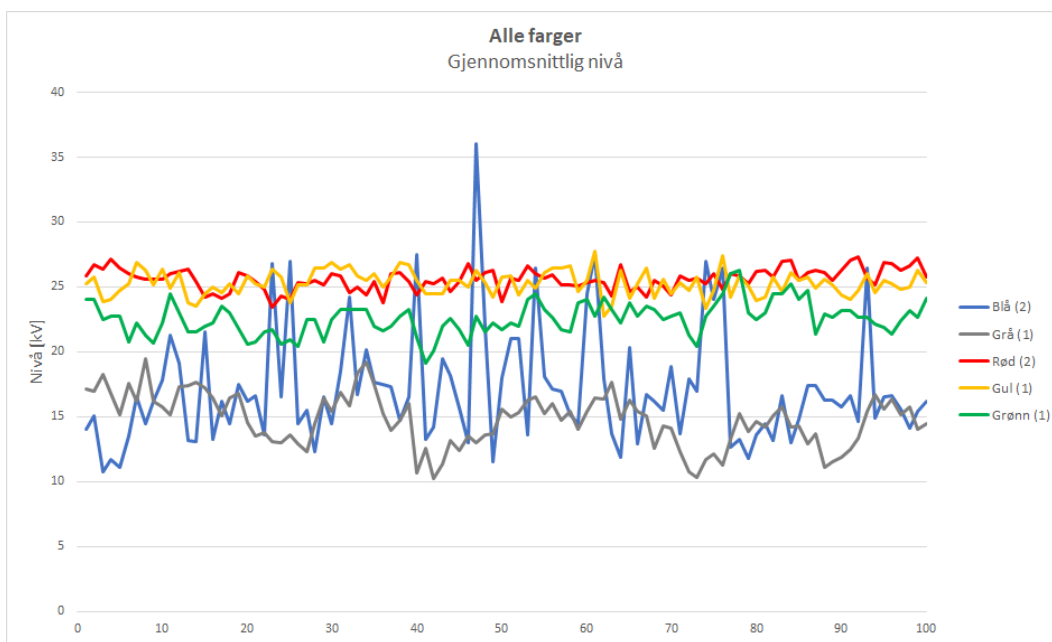
Figur K.12: Rød - Gjennomsnittlig nivå i forhold til presse på topphatt etter støping



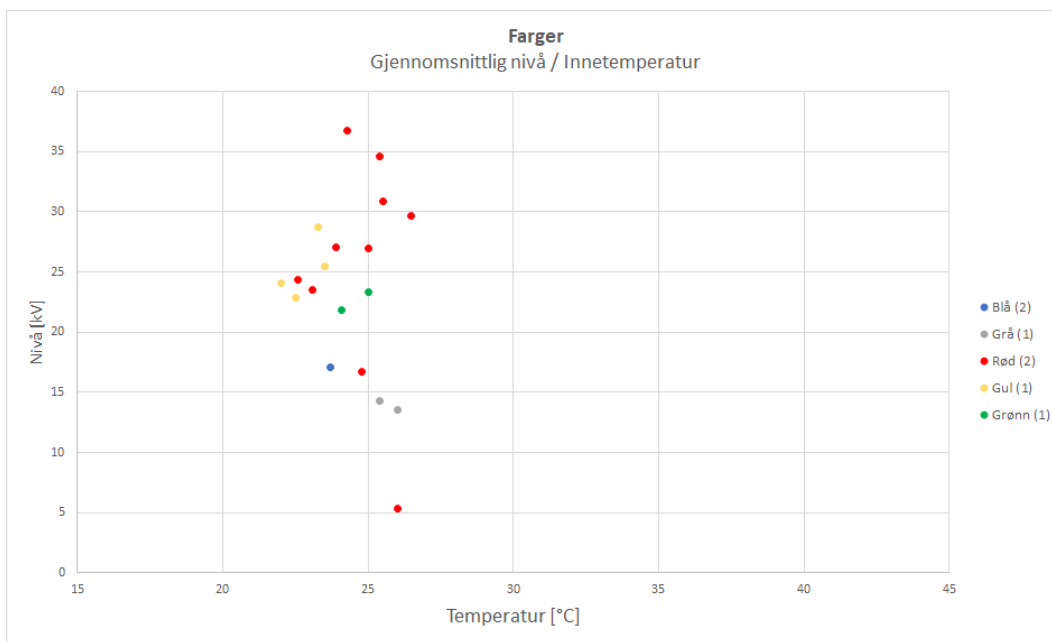
Figur K.13: Gul - Gjennomsnittlig nivå i forhold til presse på topphatt etter støping



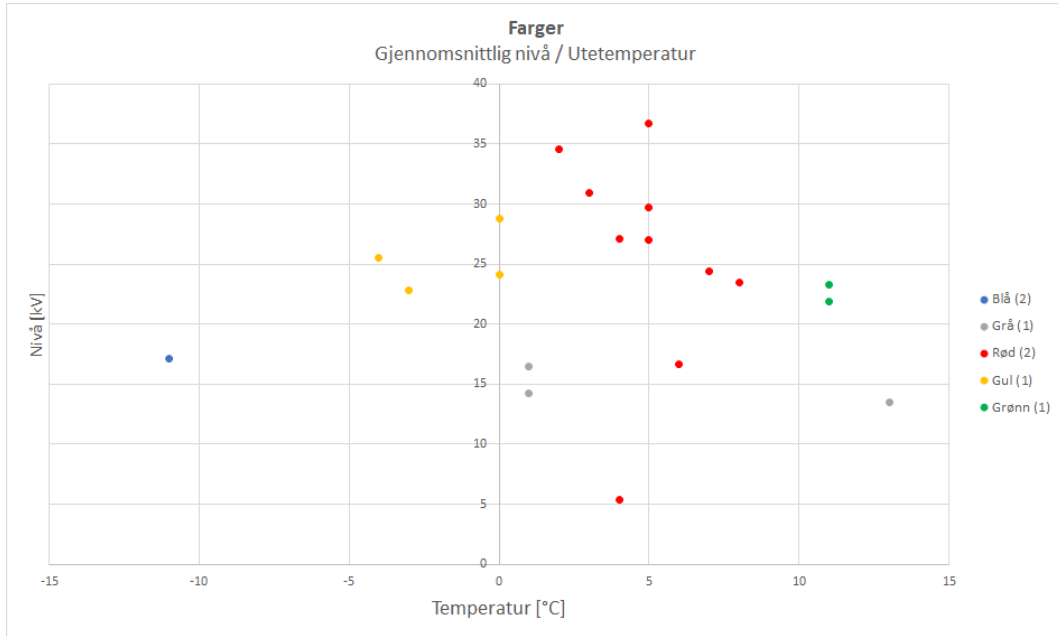
Figur K.14: Grønn - Gjennomsnittlig nivå i forhold til presse på topphatt etter støping



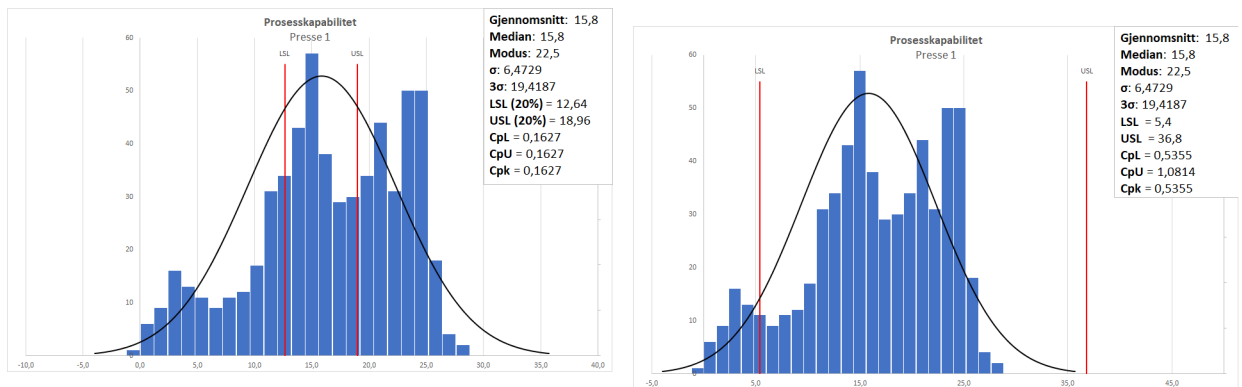
Figur K.15: Gjennomsnittlig nivå i forhold til farge



Figur K.16: Gjennomsnittlig nivå i forhold til innetemperatur sortert etter farge



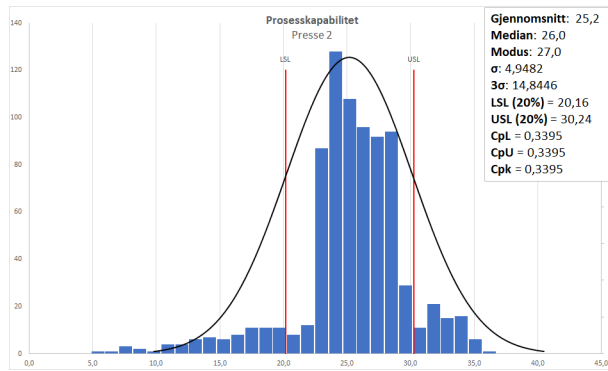
Figur K.17: Gjennomsnittlig nivå i forhold til utetemperatur sortert etter farge



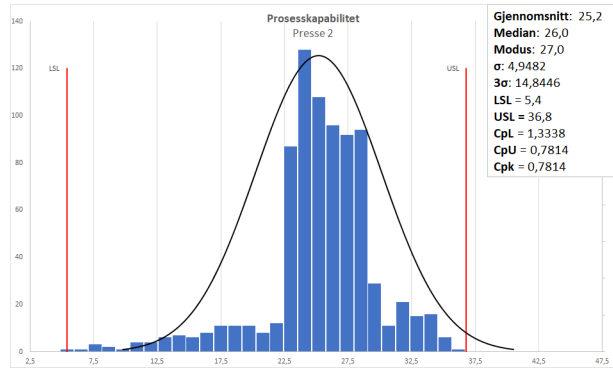
(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt

(b) LSL og USL er faste verdier

Figur K.18: Prosesskapabilitet for presse 1

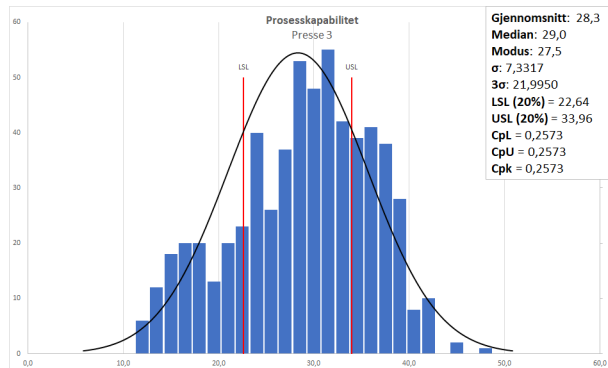


(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt

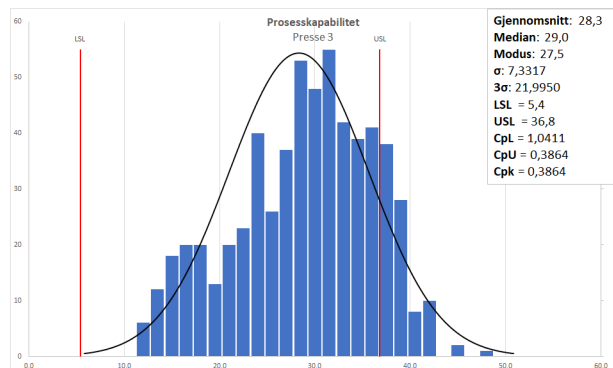


(b) LSL og USL er faste verdier

Figur K.19: Prosesskapabilitet for presse 2

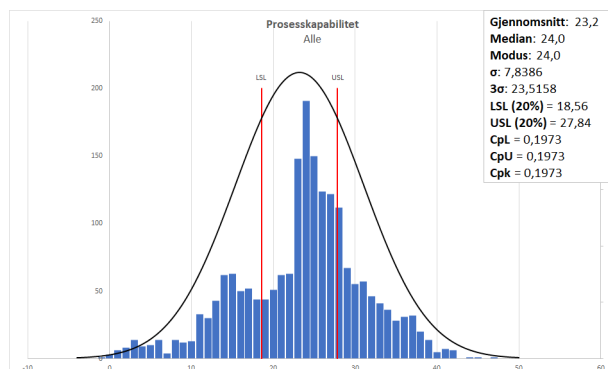


(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt

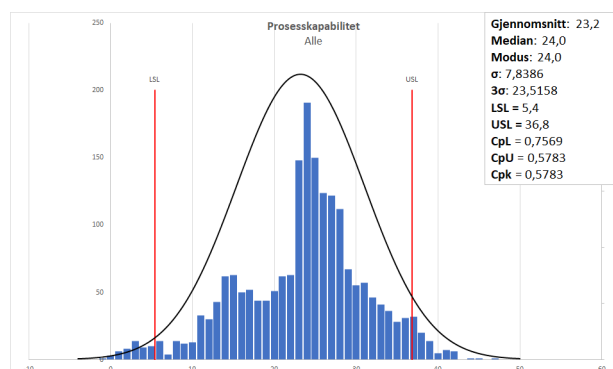


(b) LSL og USL er faste verdier

Figur K.20: Prosesskapabilitet for presse 3

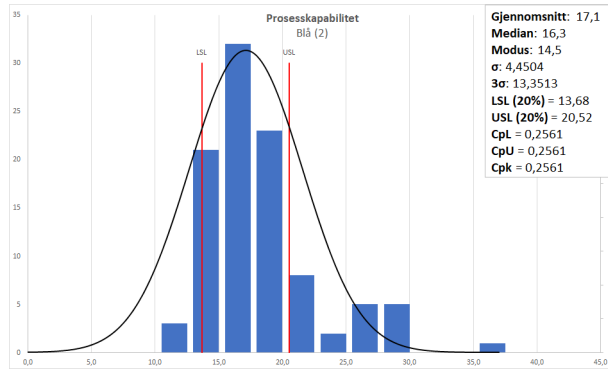


(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt

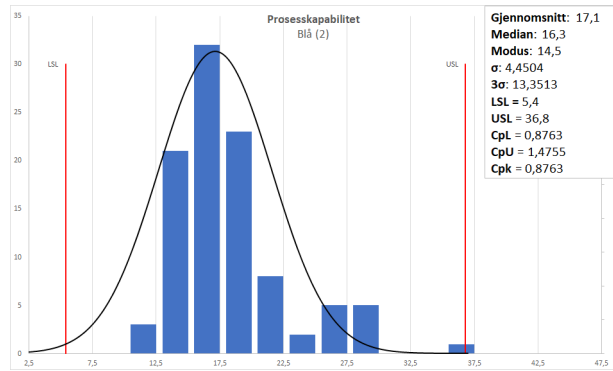


(b) LSL og USL er faste verdier

Figur K.21: Prosesskapabilitet for alle presser

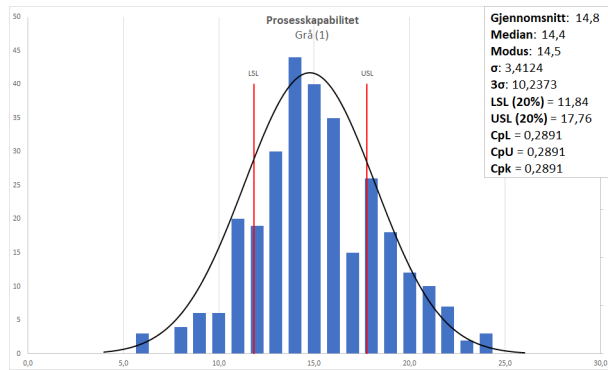


(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt

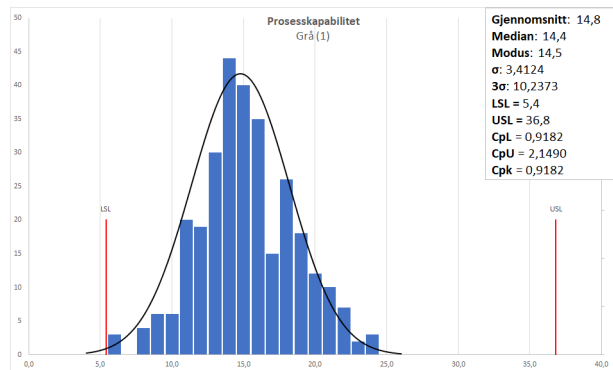


(b) LSL og USL er faste verdier

Figur K.22: Prosesskapabilitet for farge Blå

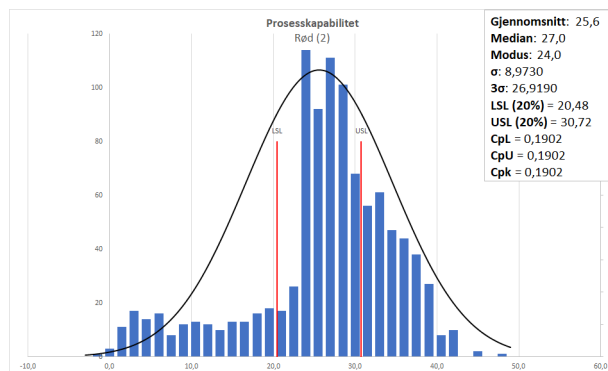


(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt

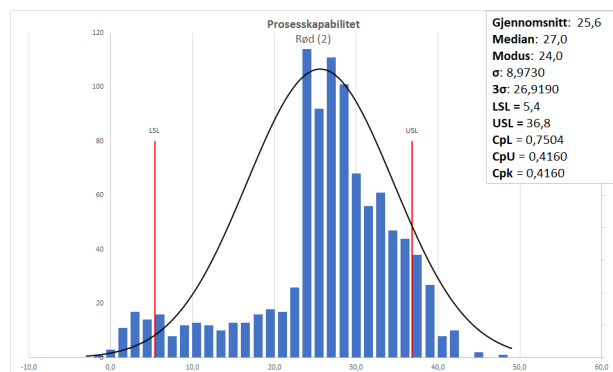


(b) LSL og USL er faste verdier

Figur K.23: Prosesskapabilitet for farge Grå

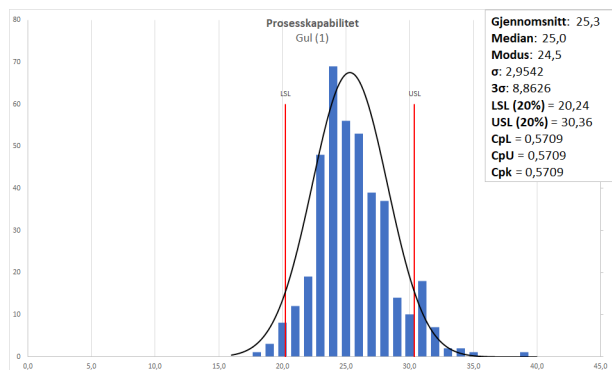


(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt

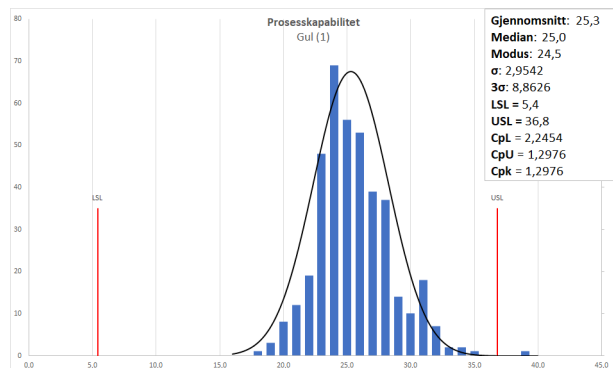


(b) LSL og USL er faste verdier

Figur K.24: Prosesskapabilitet for farge Rød

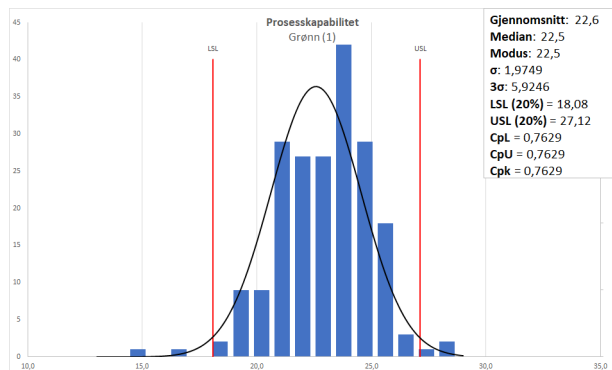


(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt

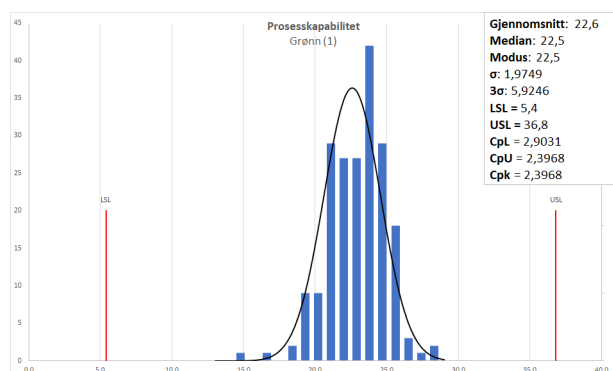


(b) LSL og USL er faste verdier

Figur K.25: Prosesskapabilitet for farge Gul



(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt

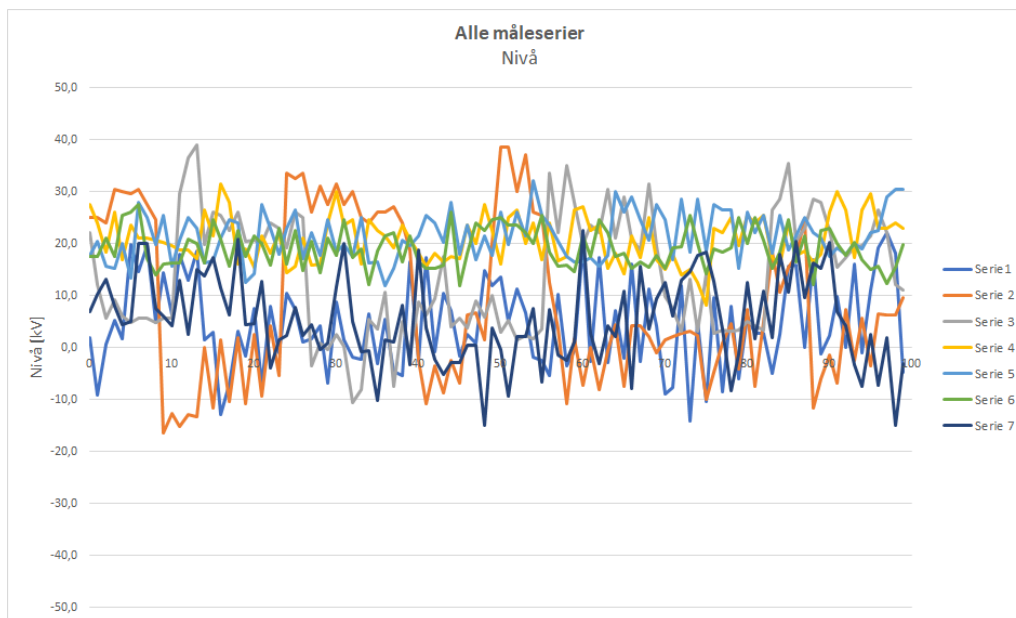


(b) LSL og USL er faste verdier

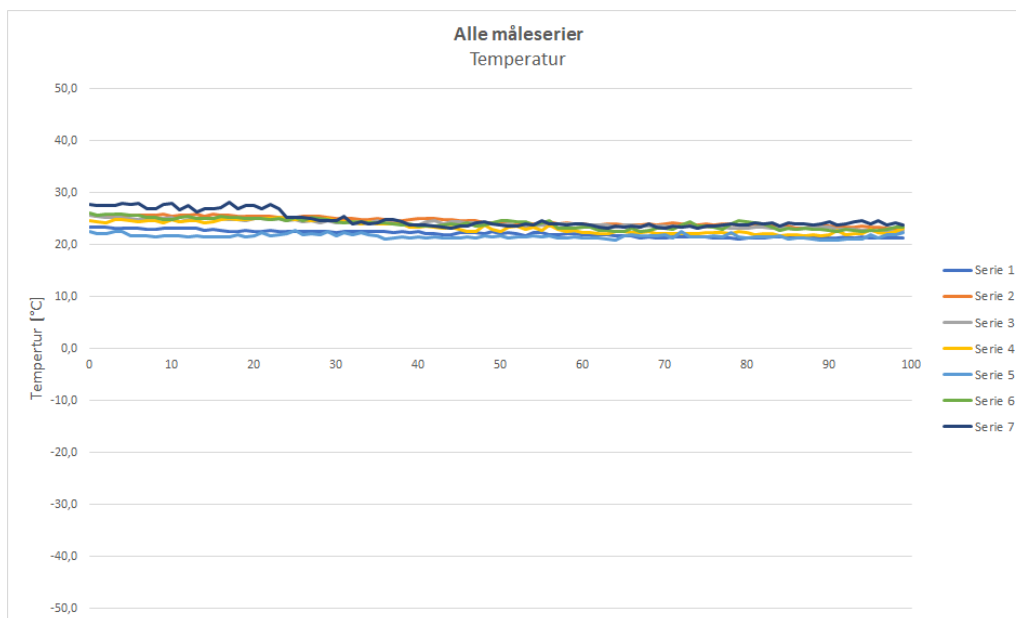
Figur K.26: Prosesskapabilitet for farge Grønn

L Før snapcelle: Figurer

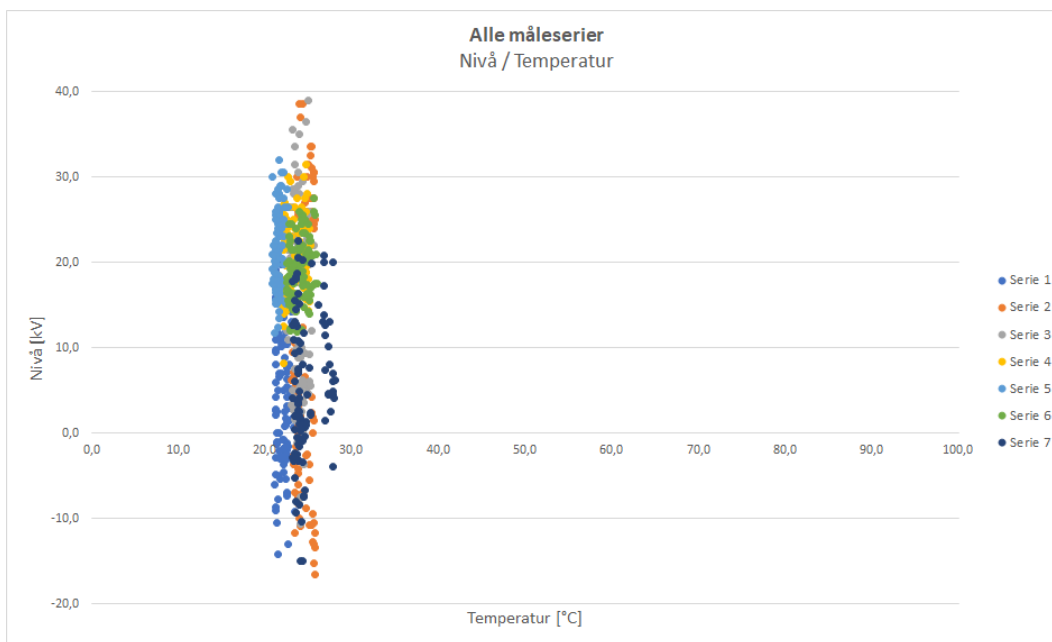
Vedlegget inneholder figurer som viser måleresultater for målinger før snapcelle. Disse er omtalt i delkapittel 5.5.



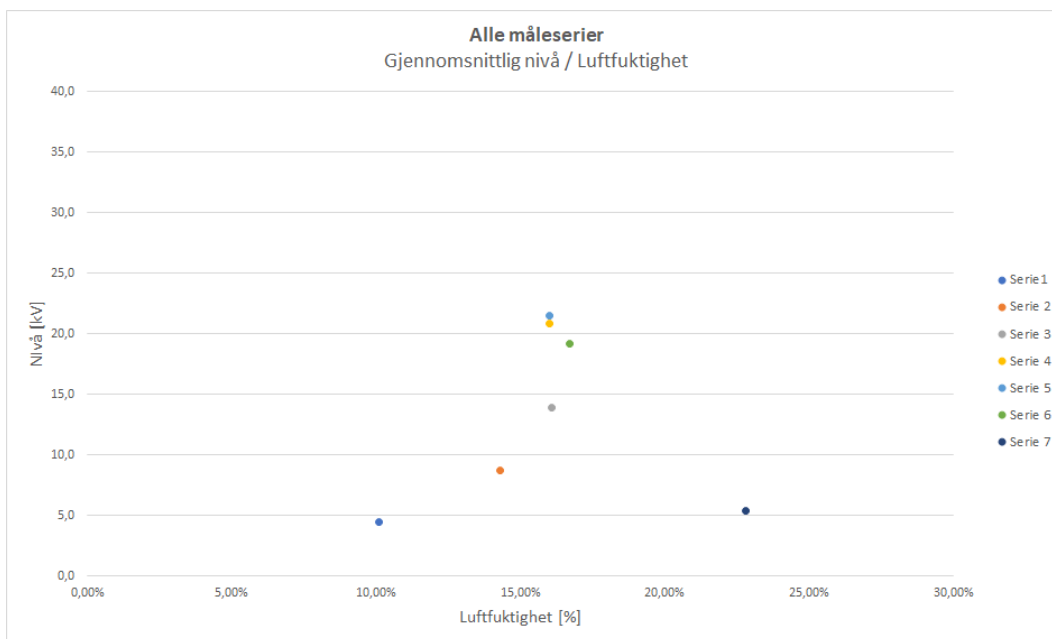
Figur L.1: Alle måleresultater (nivå) ved måling på topphatt før snapcelle



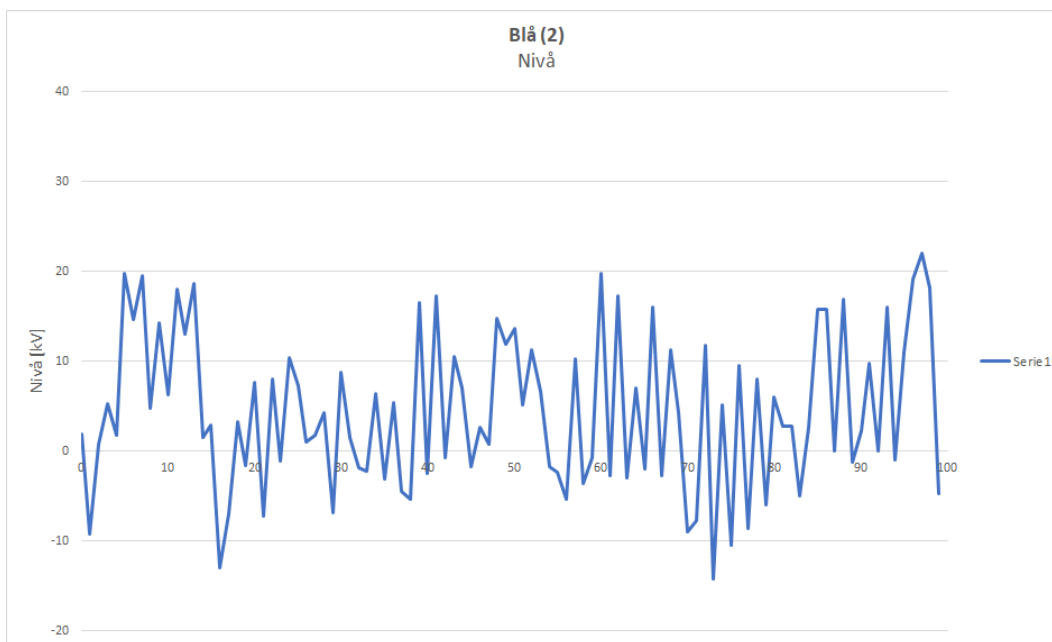
Figur L.2: Alle måleresultater (temp) ved måling på topphatt før snapcelle



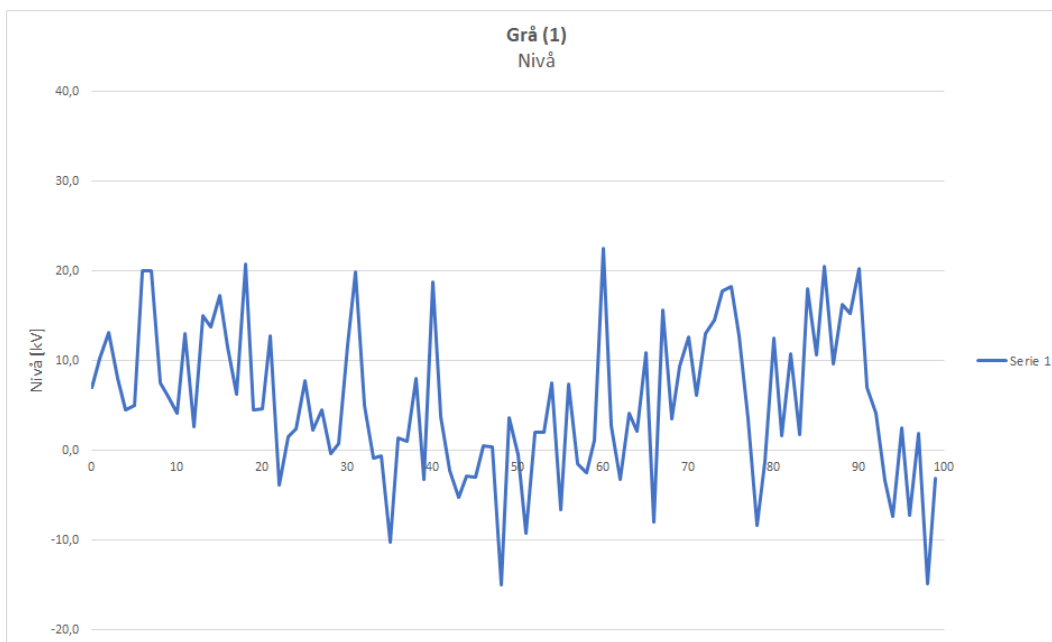
Figur L.3: Nivå i forhold til temperatur på topphatt før snapcelle



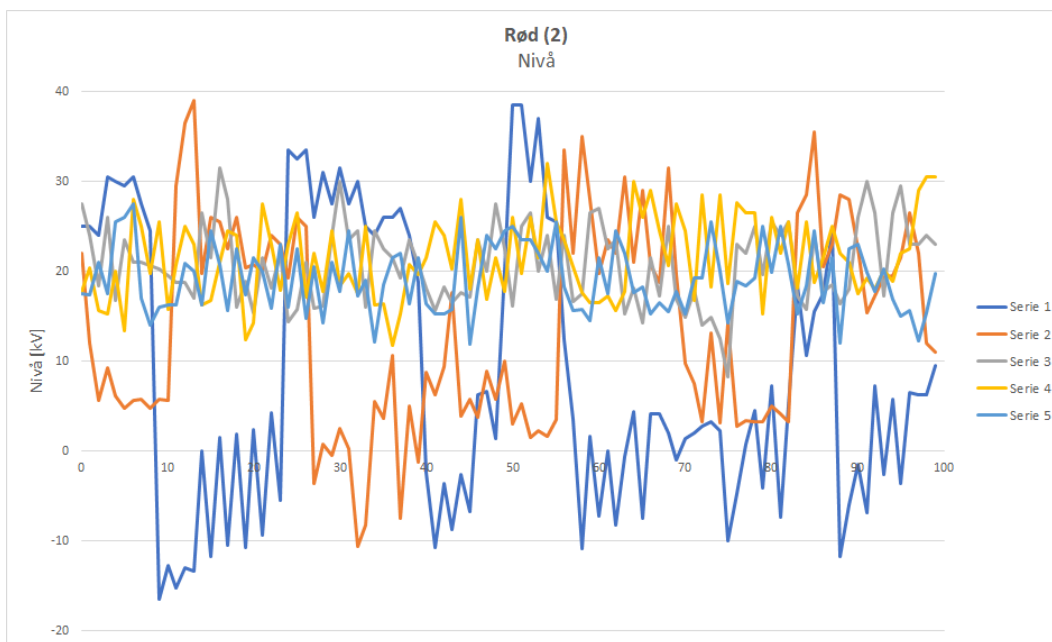
Figur L.4: Gjennomsnittlig nivå i forhold til luftfuktighet på delprodukt før snapcelle



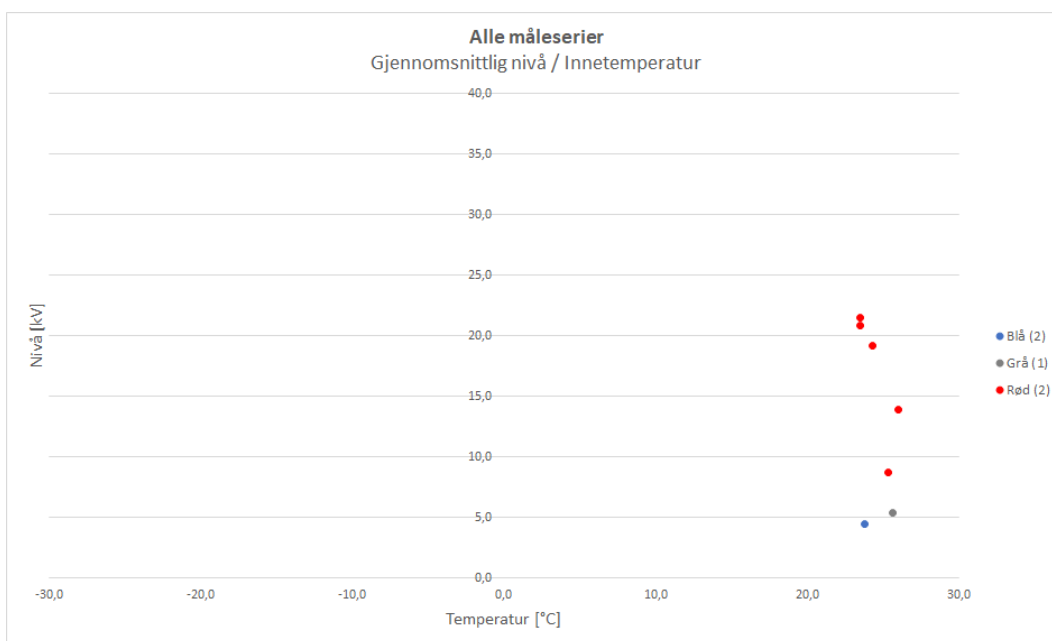
Figur L.5: Blå - Nivå på topphatt før snapcelle



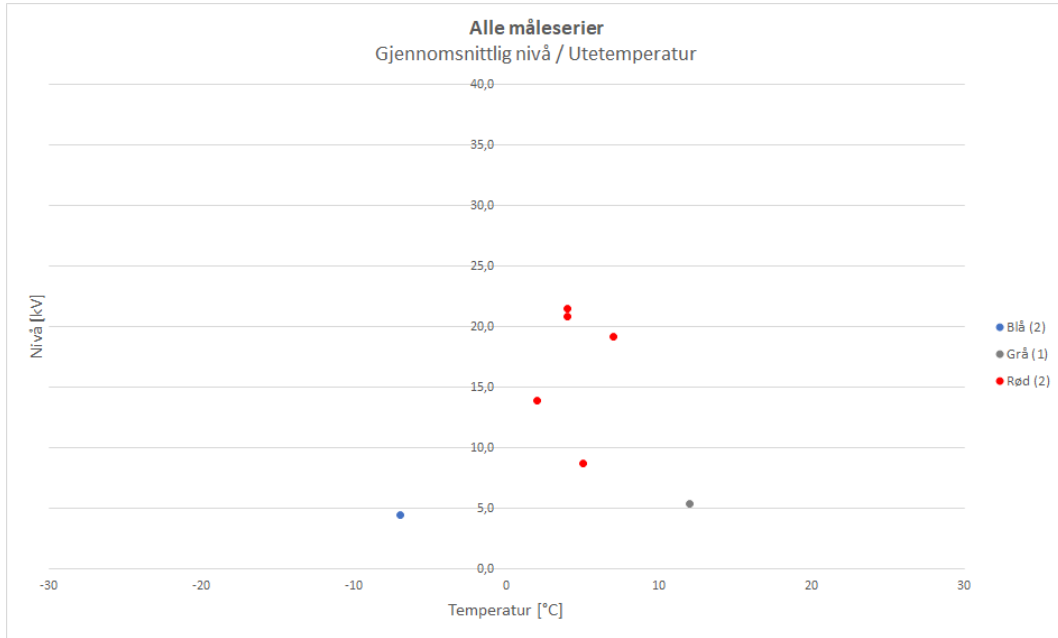
Figur L.6: Grå - Nivå på topphatt før snapcelle



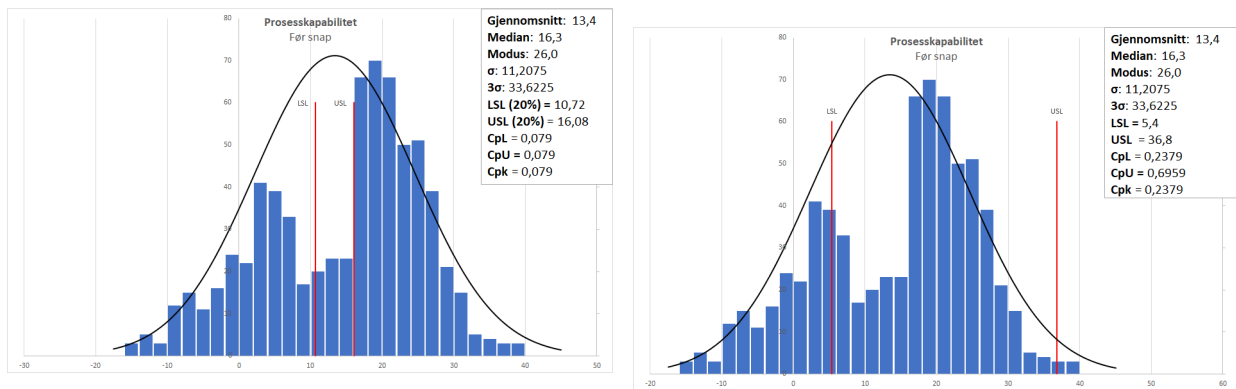
Figur L.7: Rød - Nivå på topphatt før snapcelle



Figur L.8: Gjennomsnittlig nivå i forhold til innetemperatur på topphatt før snapcelle



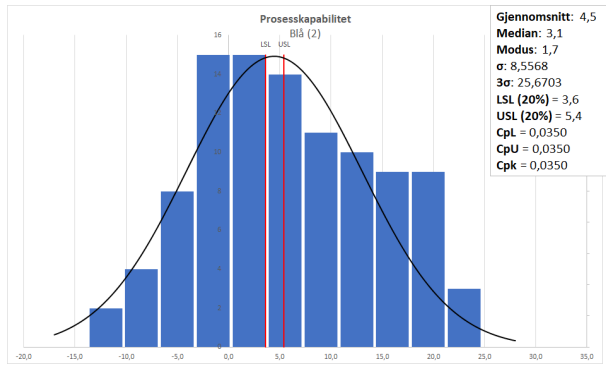
Figur L.9: Gjennomsnittlig nivå i forhold til utetemperatur på topphatt før snapcelle



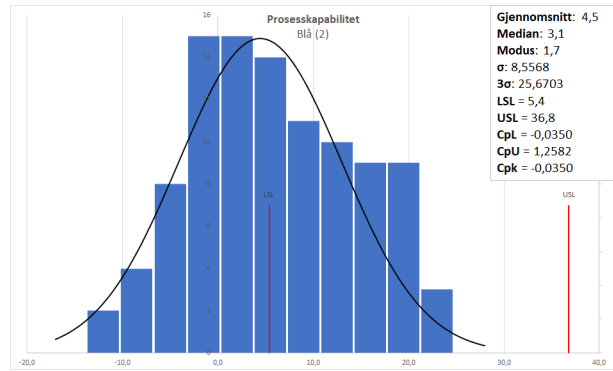
(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt

(b) LSL og USL er faste verdier

Figur L.10: Prosesskapabilitet alle målinger på delprodukt før montasje

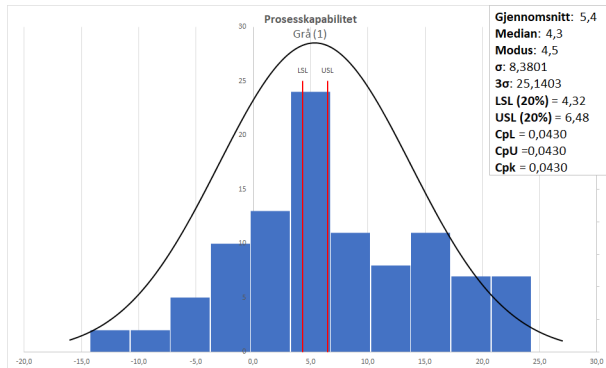


(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt

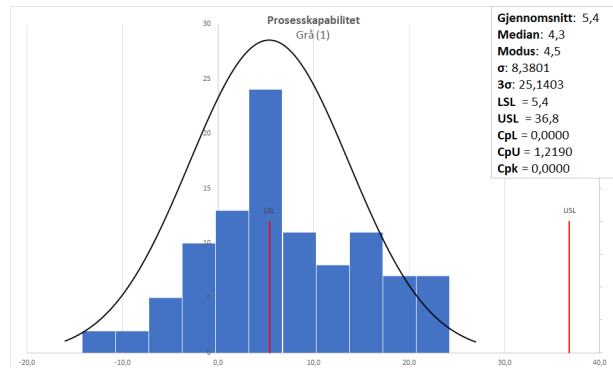


(b) LSL og USL er faste verdier

Figur L.11: Prosesskapabilitet for farge Blå

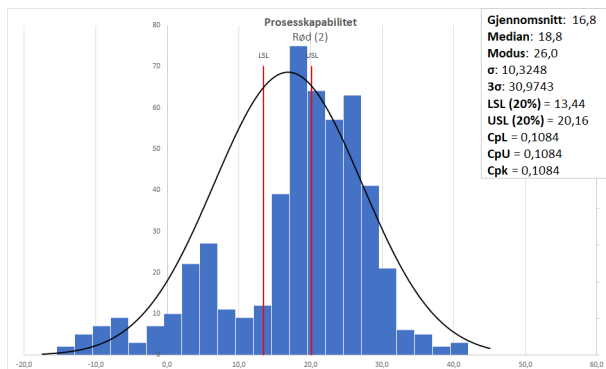


(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt

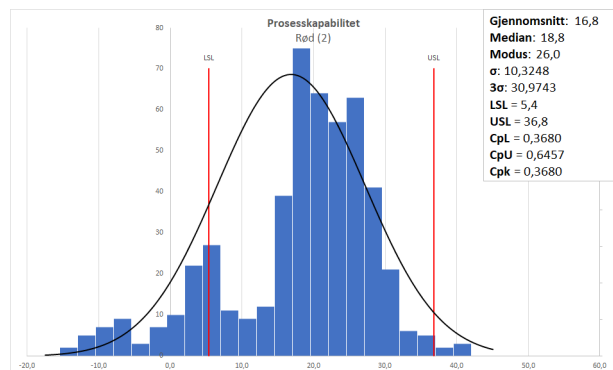


(b) LSL og USL er faste verdier

Figur L.12: Prosesskapabilitet for farge Grå



(a) LSL og USL er satt til å være 20% under og 20% over gjennomsnitt



(b) LSL og USL er faste verdier

Figur L.13: Prosesskapabilitet for farge Rød

M Pakking: Måleresultater

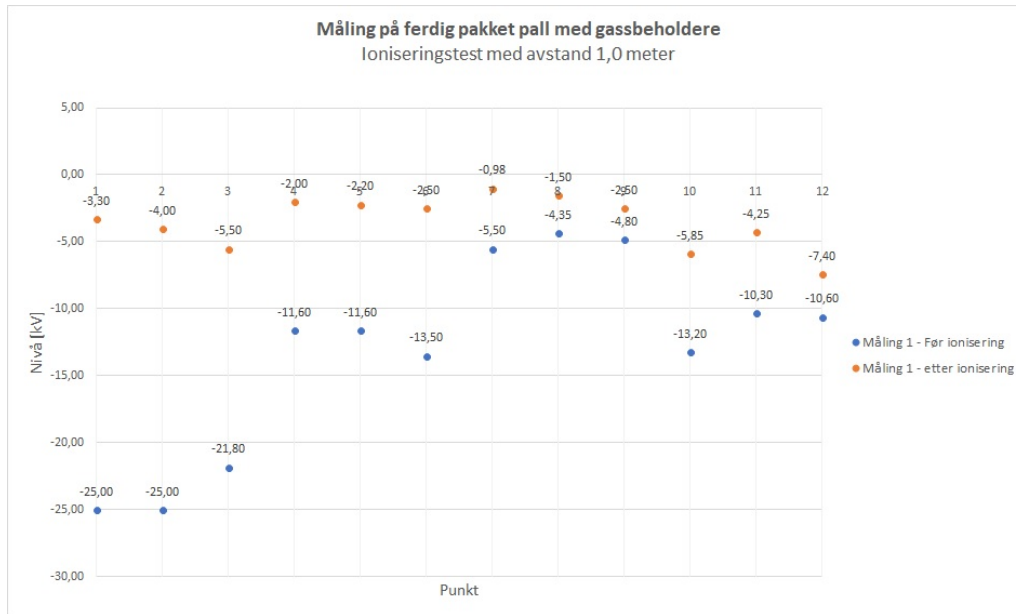
Vedlegget inneholder alle måleresultater for måling og test med ionisering på ferdigpakket pall. Dette er omtalt i delkapittel 6.3.

Måleresultater for ionisering av ferdigpakket pall med gassbeholdere											
Starttid 19.04.2018 10:50			19.04.2018 11:35			19.04.2018 11:50			19.04.2018 11:58		
Sluttid 19.04.2018 11:00			19.04.2018 11:45			19.04.2018 11:58			19.04.2018 11:58		
Tid brukt [min] 10			10			8			8		
Antall beholdere 48			48			48			48		
Ioniseringsstid [s] 22,5			12			10			10		
Avstand [m] 1			0,5			0,25			0,25		
Luftfuktighet 27,1 %			27,9 %			27,7 %			27,7 %		
Inne temperatur 21,3 °C			20,7 °C			21,2 °C			21,2 °C		
Ute temperatur 8 °C			8 °C			10 °C			10 °C		
Målepunkt	Før ionisering	Etter ionisering	Reduksjon [%]	Etter ionisering	Etter ionisering	Reduksjon [%]	Før ionisering	Etter ionisering	Etter ionisering	Reduksjon [%]	Reduksjon [%]
1	-25,00	-3,30	86,8%	-24,60	-8,20	66,7%	-24,00	-6,40	-6,40	73,3%	73,3%
2	-25,00	-4,00	84,0%	-22,80	-7,25	68,2%	-25,00	-8,10	-8,10	67,6%	67,6%
3	-21,80	-5,50	74,8%	-23,60	-7,65	67,6%	-23,20	-7,30	-7,30	68,5%	68,5%
4	-11,60	-2,00	82,8%	-6,80	-1,69	75,1%	-5,95	-0,55	-0,55	90,8%	90,8%
5	-11,60	-2,20	81,0%	-6,90	-1,79	67,7%	-6,80	-1,02	-1,02	85,0%	85,0%
6	-13,50	-2,50	81,5%	-6,50	-1,79	72,5%	-6,70	-0,72	-0,72	89,3%	89,3%
7	-5,50	-0,98	82,2%	-6,30	-2,00	68,3%	-3,20	-0,63	-0,63	80,3%	80,3%
8	-4,35	-1,50	65,5%	-5,85	-2,45	58,1%	-2,00	-0,48	-0,48	76,0%	76,0%
9	-4,80	-2,50	47,9%	-5,60	-2,70	51,8%	-2,90	-1,26	-1,26	56,6%	56,6%
10	-13,20	-5,85	55,7%	-9,15	-5,28	42,3%	-12,00	-7,60	-7,60	36,7%	36,7%
11	-10,30	-4,25	58,7%	-10,20	-6,10	40,2%	-11,90	-7,15	-7,15	39,9%	39,9%
12	-10,60	-7,40	30,2%	-11,60	-9,30	19,8%	-12,40	-10,30	-10,30	16,9%	16,9%
Gjennomsnitt [kV]	-13,10	-3,50	-9,61	-11,66	-4,72	-6,94	-11,34	-4,29	-4,29	-7,05	-7,05
Reduksjon [kV]			69,3 %			58,2 %				65,1 %	65,1 %
Gjennomsnitt [%]											

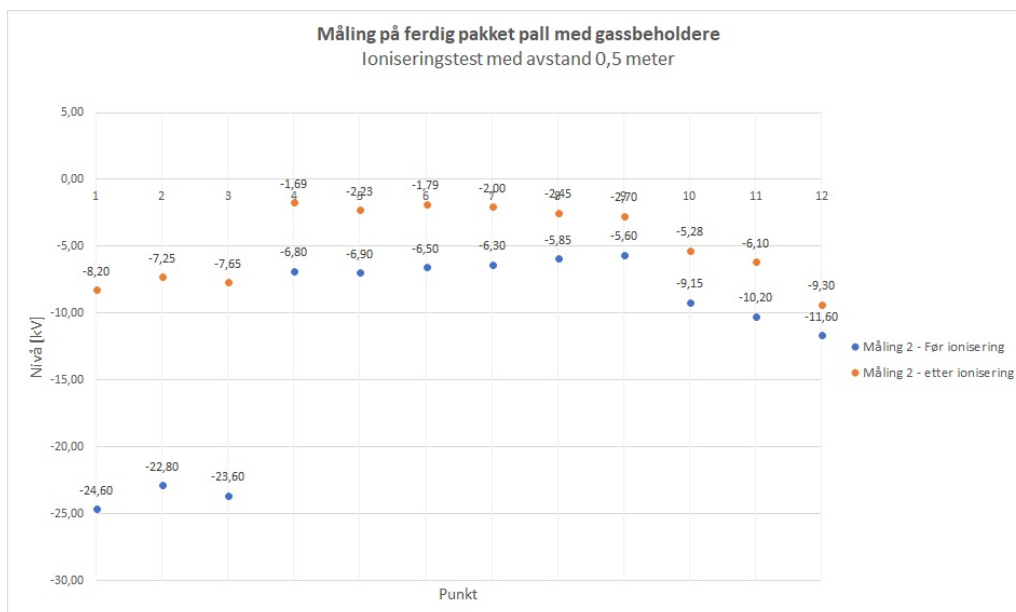
Måling 1		Måling 2		Måling 3	
Nivået stagnerte ved -1,33 kV etter 22,5 sekund. Verdier skrevet som -25 kV viser til en verdi under -25 kV.	Nivået stagnerte ved -560 V etter 12 sekunder.	Nivået stagnerte ved -100 V etter 10 sekunder. Verdier skrevet som -25 kV viser til en verdi under -25 kV.			

N Pakking: Figurer

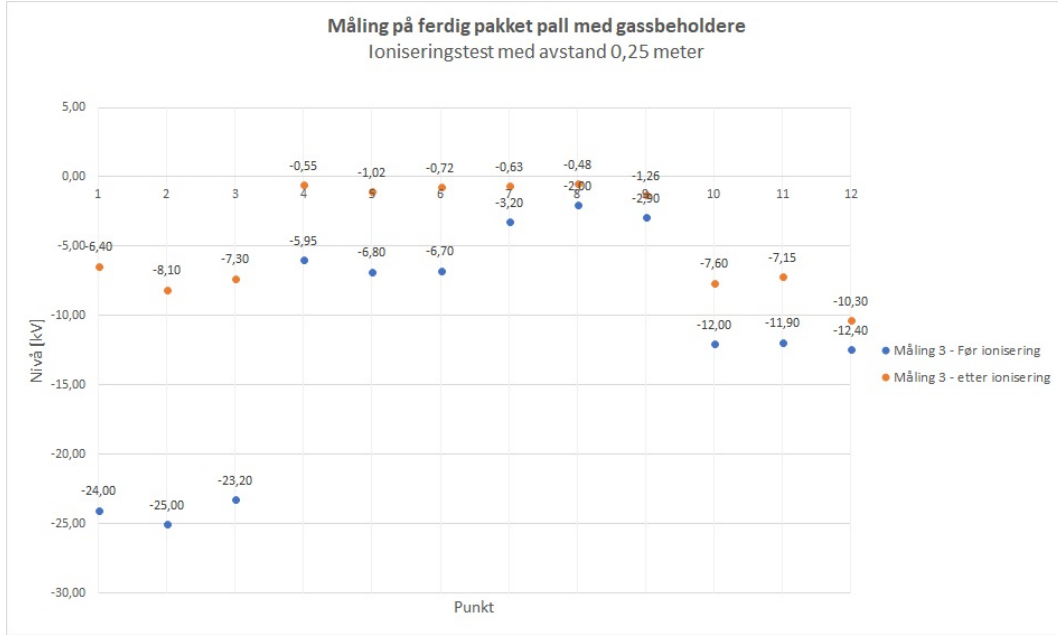
Vedlegget inneholder figurer som viser måleresultater for måling og test med ionisering på ferdigpakket pall. Disse er omtalt i delkapittel 6.3.



Figur N.1: Måleresultater for ferdigpakket pall før og etter ionisering med en avstand på 1,0m



Figur N.2: Måleresultater for ferdigpakket pall før og etter ionisering med en avstand på 0,5m



Figur N.3: Måleresultater for ferdigpakket pall før og etter ionisering med en avstand på 0,25m

O Datablad: Elektrostatisk feltmeter EFM51

Replacing the Battery

Replace the 9V battery when "Low Battery" appears on the display. Please switch off the unit before opening the battery compartment. Remove the battery and carefully disconnect the contact-clip. Plug the contact-clip onto the new battery and put it back into the compartment; then close the compartment.

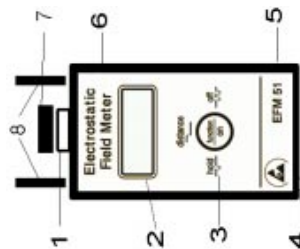
Warning

The unit is not approved for usage in explosive areas!
 The usage in power plants is not allowed!
 This unit cannot measure alternating fields > 1 Hz!
 The instrument must be grounded when high electrostatic charges are present.
 Sparking on the modular system can cause damage to the unit and need to be avoided.

The EFM51 includes:

- Electro Field Meter EFM 51 including the 9V battery and 2 cm distance guides
- Storage Bag including grounding cable and clip
- User's manual in German and English
- Calibration Certificate

Legend



1. Rotating chopper
2. LCD - Display (2 x 12) alphanumeric
3. Function/on key
4. Grounding Socket (4mm)
5. Battery compartment (back-side)
6. Zero adjustment trimmer
7. Protection cap
8. Distance guides (removable for E-Field mode)

Electrostatic Field Meter - EFM 51

V0805



Small hand-held Electrostatic Field Meter with digital display designed to measure electrostatic charges and fields according to the field mill induction principle.

- The instrument measures the electrostatic voltage potential. A microcontroller calculates the field strength (V/m) with the pre-selected distance (1cm, 5cm, 10cm and 20cm).
- In "E-Field meter" mode, the instrument displays the field strength in "kV/m"

Measurement Principle

The induced charge caused by the electrical field, generates a current proportional to the electrical field strength. The selective, parametric operating-amplifier measures the current without affecting the averaged time. There are no radioactive components inside the unit.

Technical Data

Dimensions:	70 x 122 x 26 mm (B x L x H)
Weight:	130 g (without battery)
Power Supply:	9V – Alkaline battery IEC 6F22 or rechargeable NiMH battery
Measurement Range:	distance 1 cm → 0... 8 kV max. resolution 1 V
	Distance 2 cm → 0... 16 kV max. resolution 2 V
	Distance 5 cm → 0... 40 kV max. resolution 10 V
	Distance 10 cm → 0... 80 kV max. resolution 10 V
	Distance 20 cm → 0... 160 kV max. resolution 20 V
E-Field meter	→ 0... 800 kV/m max. resolution 0,1 kV/m
Display:	2 lines, 12 digits alphanumeric LCD display
Operating Time:	app. 10 hours at continuous operation with an Alkaline battery
Adjustment:	Within a plate capacitor's homogeneous field, plate size 200 mm x 200 mm, distance between both plates is 20 mm, the rotating chopper system is centered in the grounded plate.

Warranty

We provide 12 months limited warranty.

The warranty does not include the battery, mechanical damage or unauthorized opening of the instrument.

Operating instructions

Operation

- Press the „function/on“ key „shortly“ to switch on the instrument
- Press the key twice while in measuring mode to switch off the instrument
- Remove the protection cap before a measurement
- The unit will switch off automatically when the „function/on“ key was not pressed for app. 4 minutes (in CPS-Mode app. 18 min.)

Hold Function

The hold-function freezes the display with the actual measured value.

- Press the „function/on“ key „shortly“ while in measuring mode for „hold“.
- Press the key while in „hold“ to return to measuring mode.

Measuring Ranges

1. Measurement of electrostatic voltages:
The instrument is preset to 2cm distance after switching on. To measure, it must be positioned at 2 cm distance in front of the object. For high voltages or uneven surfaces the measuring distance should be increased.
2. E-Field meter mode
The instrument indicates the field strength in V/m for the current position.

Measuring Distance / Measuring mode

Press and hold the „function/on“-key (approximately 2 seconds) until „change cm“ will appear. The pre-selected distance in cm is displayed in the first line. Pressing the „function/on“-key changes the measuring distance.

2cm => 5cm => 10cm => 20cm => E-Field meter => CPS-Mode => 1cm

After selecting the desired distance or mode, the instrument switches back to measuring mode if no key is pressed for a certain time.

Important!

The measuring range is preset to 2cm distance each time the instrument is switched on!

The instrument measures the field strength in V/m and calculates the voltage using the selected range:

Display value (V) = Field strength (V/m) x Distance (m)

i.e.: Display value= 1000V Distance= 10cm → 1000V = 10000 V/m x 0,1m
In „E-Field meter“ mode the instrument displays the field strength in „kV/m“.

Distance guides

The instrument is supplied with two 2cm distance guides which are fitted on the front plate.

The alphanumeric Liquid Crystal Display (LCD) consists of 2 lines of 12 digits each. The measured distance in cm or the measuring mode is displayed in the first line, while the test result is displayed in the second line. An „overflow!“ indication requires to increase the distance.

Battery control

The EFM 51 has a permanent battery-voltage-control. If the battery voltage falls below 7,5 V a „Low Battery“ warning appears and the 9V Battery must be replaced!

In case the battery falls below 7,0 V the instrument switches off with „auto off“ message to avoid total discharge and acid leakage.

Note: Please use Alkaline or Lithium 9V Batteries only!

If rechargeable batteries are preferred, please use a suitable battery charger for charging the battery separately and follow the manufacturer's instructions.

Grounding

The unit must be connected to ground to allow accurate voltage levels and polarity measurements. Use the grounding socket (4) for ground connection. The unit housing is conductive, and the instrument may be grounded through the operator if he is at ground potential.

Zero Adjust

In general, zero adjustment is not necessary. However the trimmer (6) can be used for zero adjust if the instrument does not indicate U=000 or U=00X when the rotating chopper is shielded by the protection cap. The last digit can be ignored, as it is much lower than the specified tolerance.

Maintenance

It is very important not to touch any parts of the rotating chopper. The sensor head must be free of dust and humidity.

If needed, the rotating chopper be cleaned with alcohol and a lint-free tissue, when switched off.

Deforming the rotating chopper will damage the instrument!