



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

BACHELOROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Bygg - Teknisk Planlegging	Vårsemesteret, 2021 Åpen / Konfidensiell
Forfatter: Agaash Sivakumar	<i>S. Agaash</i> (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Ari Krisna Mawira Tarigan Veileder(e): John Charles Grønli	
Tittel på bacheloroppgaven: Effektivisering av produksjon av bitumenperler med resirkulert plastikk Engelsk tittel: Efficiency of production of bitumen beads with recycled plastic	
Studiepoeng: 20	
Emneord: Bitumen Bitumenperler Plastikkpellet Steinmateriale	Sidetall: 45 + vedlegg/annet: 16 Stavanger, 29.05.2021

1.Sammendrag

Denne forsøksbaserte oppgaven består av to deler. Den første delen handler om å effektivisere produksjonen for bitumenperler. For å effektivisere produksjonen vil det bli laget en fabrikk som består av flere maskiner og elementer. Gjennom denne fabrikk vil det være mulig å produsere bitumenperler i større mengder og forenkle arbeidet.

Den andre delen omhandler å optimalisere bitumenperler ved å erstatte steinmateriale med resirkulert plastikk. Dette blir gjort ved å utføre ulike tester som å måle størrelsen, densitetstest og heftprøve. Deretter vil det sammenlignes opp mot steinmateriale som er det vanligste materialet når det kommer til bitumenperler. Til slutt vil det bli laget bitumenperler med steinmateriale og plastikkpellets gjennom fabrikk og sammenlignes med hverandre.

Hittil er det ikke blitt skrevet en oppgave med å optimalisere bitumenperler med resirkulert plastikk. Dermed var det ingen andre oppgaver dette kunne sammenlignes med. Venting på bestillinger, verksted og restriksjoner knyttet til bruk av lab grunnet Covid-19, førte til knapphet med tid. Dette påvirket planleggingen og utførelsen av produksjonen som ble utsatt gjentatte ganger av uforventede hindringer.

Sluttproduktet har et enormt stort potensial for å dominere markedet innen fuging og vei i fremtiden. For dette må det gjøres enda mer forskning og testing. Med bedre utstyr, og utstyr mer egnet for produksjon av bitumen ville sluttproduktet vært mer positivt enn det faktiske utfallet.

2.Forord

Denne bacheloroppgaven ble skrevet av Agaash Sivakumar ved Universitetet i Stavanger, våren 2021. Oppgaven avslutter byggingeniørlig-bachelorstudium i ingeniørfag for studentretningen teknisk planlegging. Jeg har valgt å fordype meg innenfor vegplanlegging med et ekstra fokus på bitumen som fugemasse mellom brostein. I samarbeid med IVAR gjenvinningsstasjon og laboratoriet for byggstudenter, Ivar Langens hus, ved Universitetet i Stavanger har jeg utført forskjellige type forsøk og observasjoner i henhold til min problemstilling.

Oppgaven ble valgt grunnet et ønske om å bruke de akademiske ferdighetene mine i et praktisk miljø. Dette var et ønske som sto høyt, og det var derfor aldri planen å skrive en teoribasert oppgave. Med god hjelp av min veileder både praktisk og teoretisk, sitter jeg igjen med god kunnskap om hvordan det er å jobbe med vei, spesielt brosteinsgater. Disse kunnskapene og erfaringene vil komme til god hjelp i fremtiden.

Jeg vil starte med å takke min veileder John Charles Grønli på Universitet i Stavanger for hjelpen fra første til siste dag av oppgaven. Hans faglige og praktiske kompetanse innenfor bitumen, var til god nytte for å gjennomføre oppgaven. Jeg vil også takke fagansvarlig Ari Krisna Mawari Tarigan som foreslo denne oppgaven for meg, og for hans hjelp underveis i oppgaven. Uten et samarbeid med IVAR gjenvinningsstasjon ville det ikke vært mulig å gjennomføre oppgaven med resirkulert plastikk, og vil derfor takke dem for et godt samarbeid. I tillegg til dette var det til stor hjelp å bli invitert på en omvisning av gjenvinningsstasjonen der disse plastikkpelletsene ble produsert. Til slutt vil jeg takke Yaaseen Ahmad Amith, Johannes Steinnes Jensen og Caroline Einvik for printing av 3D-figuren som ble prosjektert, og hjelpen med det praktiske og tunge arbeidet i laboratoriet underveis i oppgaven.

Stavanger, Norge 29.05.2021

Agaash Sivakumar

Figur- og tabelliste	sidetall
Figur 1: Illustrasjon av bitumenperler	14
Figur 2: Asfalt laget med resirkulert plastikk i Storbritannia	15
Figur 3: Plastikkpellets av typen LDPE	15
Figur 4: Nedslitt brosteinsgate i Roma, Italia	19
Figur 5: Nedslitt brosteinsgate i Stavanger sentrum	19
Figur 6: Brosteinskryss laget med bitumenperler i Stavanger kommune	20
Figur 7: Plastikkpellets klare til oppmåling	22
Figur 8: Pyknometer med plastikkpellets og glassplate som veies for å finne densitet	23
Figur 9: Varmeovn, kokeplate og bøtte med bitumen	24
Figur 10: Mogensen siktemaskin	27
Figur 11: Helland silo	28
Figur 12: Støtte laget av stålstenger for å holde transportskruen på plass	29
Figur 13: Isolering av fat	29
Figur 14: Fleksibel varmeslange surret rundt med varmekabel	30
Figur 15: Pumpestake for å pumpe opp bitumen	31
Figur 16: Innsnevring ved hjelp av fugeskum med varmekabler isolert med aluminium	32
Figur 17: Utskåret tunnel med varmekabler isolert med aluminium	32
Figur 18: Bitumenrenner isolert med isolasjon som vil føre restbitumen fra siktemaskin tilbake til fatet	32
Figur 19: Betongklosser kjølt i kjølecontainer i vannkar med iskaldt vann	33
Figur 20: Brosteinsti av betongklosser	33
Figur 21: Ferdig montert og satt opp fabrikk	34
Figur 22: Bitumenspreder sett ovenfra	35
Figur 23: Bitumenspreder sett nedenifra	35

Figur 24: Bitumenspreder sett bakfra	35
Figur 25: Bitumenspreder sett fra siden	35
Figur 26: Bitumenspreder sett forfra	35
Figur 27: Ferdig utprintet bitumenspreder i materialtypen Solid	37
Figur 28: Store plastsekker som dekker siktemaskinens åpninger	38
Figur 29: Ferdig siktet og vasket steinmateriale	39
Figur 30: Kjølecontainer som kjøler ned betongklosser til is	40
Figur 31: Tilsetning av sement i fat med oppvarmet bitumen	40
Figur 32: Heftprøve av plastikkpellets	44
Figur 33: Heftprøve av steinmateriale	44
Figur 34: Lengden og vinkel på stålrør fra silo til siktemaskin	45
Figur 35: Resultat av bitumenperler laget med steinmateriale	47
Figur 36: Resultat av bitumenperler laget med plastikkpellets	48
Tabell 1: Resultat fra måling av størrelsen på plastikkpellets	42
Tabell 2: Oversikt over massen i densitetstest	42

Symbolliste

°C	Grader Celsius	Målenhet for temperatur
mm	Millimeter	Måleenhet for avstand
cm	Centimeter	Måleenhet for avstand
m	Meter	Målenhet for avstand
g	Gram	Enhet for måling av masse
kg	Kilogram	Enhet for måling av masse
%	Prosent	Hundredel
kg/dm ³	Kilogram over kubikkdesimeter	Enhet for densitet
m ³	Kubikkmeter	Målenhet for volum
cm ³	Kubikkcentimeter	Målenhet for volum
°	Grader	Målenhet for vinkel
sin	Sinus	Trigometrisk funksjon
cos	Cosinus	Trigometrisk funksjon
sin ⁻¹	Sinus invers	Inverse trigometrisk funksjon
A	Amper	Målenhet for strøm
l	Liter	Målenhet for volum
kr	Kroner	Norges valuta
“	Tommer	Lengdemål for gjenger
Π	Pi	Den matematiske konstanten

Innholdsfortegnelse

1.Sammendrag	2
2.Forord	3
Figur- og tabbeliste	4
Symbolliste	6
3. Innledning	10
3.1 Introduksjon.....	10
3.2 Problembeskrivelse.....	10
3.3 Problemstilling.....	11
3.4 Fremgangsmåte for oppgaven	11
4. Litteratur	13
4.1 Bitumen	13
4.2 Bitumenperler	14
4.3 Resirkulert plastikk til asfalt.....	14
4.4 Plastikkpellets	15
4.5 Sentrale begreper	16
4.6 Utstyrliste	17
4.7 HMS – Helse, miljø og sikkerhet	18
4.8 Ide for optimalisering av produksjon.....	19
5. Prøveplan	21
6. Metode	22
6.1 Måling av størrelsen på plastikkpellets	22
6.1.1 Hensikt	22
6.1.2 Utstyr.....	22
6.1.3 Fremgangsmåte	22
6.2 Densitetstest av plastikkpellets	23
6.2.1 Hensikt	23

6.2.2 Utstyr.....	23
6.2.3 Fremgangsmåte	23
6.3 Heftprøve av plastikkpellets og steinmateriale.....	24
6.3.1 Hensikt	24
6.3.2 Utstyr.....	24
6.3.3 Fremgangsmåte	25
7.Produksjon og distribusjon av bitumenperler.....	26
7.1 Plan	26
7.2 Preparering.....	26
7.3 Programmering og 3D-printing av bitumenspreder.....	35
7.4 Testkjøring av produksjon	37
7.5 Utførelse	38
8.Resultat	42
8.1 Måling av størrelsene på plastikkpellets.....	42
8.2 Resultat av densitetstest.....	42
8.2.1 Volum av pyknometer.....	42
8.2.2 Bulkdensitet	42
8.2.3 Densitet til halvparten pellets.....	43
8.2.4 Partikkeldensitet.....	43
8.3 Resultat av heftprøve	44
8.4 Lengde og vinkel på stålrør fra Helland silo til Mogensen siktemaskin	45
8.5 Prosentandel av plastikkpartikler som falt gjennom bitumenåpning på siktemaskin.....	45
8.6 Beregning av sement som må tilsettes i bitumenfatet	46
8.7 Resultat av bitumenperler laget med steinmaterialet.....	47
8.8 Resultat av bitumenperler laget med plastikkpellets	48
9.Diskusjon	49
9.1 Observasjon av målinger av plastikkpellets	49

9.2 Observasjon av densitetstest	49
9.3 Observasjon av heftprøve	49
9.4 Observasjon ved produksjon av bitumenperler	50
10.Konklusjon	52
11. Vedlegg	53
Vedlegg 1.....	53
Vedlegg 2.....	54
Vedlegg 3.....	55
Vedlegg 4.....	56
Vedlegg 5.....	57
Vedlegg 6.....	58
Vedlegg 7.....	59
Referanser	60
Bildereferanse.....	61

3. Innledning

3.1 Introduksjon

Ved Universitet i Stavanger, har det tidligere blitt skrevet flere oppgaver om bitumen som fugemasse til brostein. Gjennom disse oppgavene har det ikke vært betydelig gjennombrudd omkring dette. Det har vært studenter som har jobbet med produksjon og distribusjon av bitumenperler; som fugemasse til brostein tidligere. Det har blitt skrevet oppgaver som optimaliserer dette ytterligere, ved å tilsette voks som forbedrer egenskapene til bitumen og gjør det på denne måten, enklere å arbeide med. Med denne oppgaven vil jeg bruke de ulike oppgavene som utgangspunkt, og forsøke å ta dette enda et skritt videre. Måten det vil bli gjort på er ved å effektivisere produksjon og optimalisere bitumenperler ved å erstatte den «tradisjonelle» måten å lage bitumenperler på, hvilket vil være å benytte steinmaterialer med resirkulert plastikk.

Jeg studerer byggingeniør med fordyping i teknisk planlegging. Denne oppgaven vil derfor være svært relevant for meg. Ideen med å erstatte steinmaterialet med resirkulert plastikk har lenge vært en diskusjon, og i samarbeid med IVAR gjenvinningsstasjon, ble dette mulig å gjennomføre. På denne måten vil plastikk være en direkte erstatter for steinmaterialet for produksjon av bitumenperler. Min oppgave vil gå ut på å se om dette lar seg realisere i praksis. Måten vi skulle effektivisere produksjonen på, er ved å lage en liten fabrikk slik at det er mulig å produsere store mengder av dette på engang. For å gjennomføre dette kreves riktig utstyr samt maskiner, hvilket Universitet i Stavanger allerede besitter. Dermed vil min oppgave begi seg ut på å sette sammen de ulike maskinene på en nokså god og hensiktsmessig måte, slik at det ville være mulig å produsere bitumenperler.

Da jeg begynte med oppgaven, visste jeg ikke hvor krevende det ville være å jobbe enkeltvis på laboratoriet. Med god hjelp fra min veileder John Charles Grønli, ble dette gjennomførbart.

3.2 Problembeskrivelse

Bitumen bullets er noe laboratoriet leder ved Universitetet i Stavanger, John Charles Grønli har patent på. Det går ut på at norske steiner blir dekket med varmt bitumen, som deretter kjøles ned og fuges mellom brosteiner for å knytte brosteinene sterkere sammen. Dette er en oppfinnelse som allerede finnes og blitt grundig forsket på. [1]

I dag er forurensning av plast et tema som påvirker verden i stor grad. Plast er et syntetisk materiale, som bruker lang tid på å brytes ned i naturen. Å bruke denne plasten til noe fornuftig, samtidig gjøre produktet enda mer miljøvennlig, er tanken bak prosjektet.

Hovedsakelig brukes det fortsatt løs sand som fuger til brostein. Dette kan bli sett på som en uhensiktsmessig løsning, med tanke på at sandet blir feid vekk av feiebilen, som rydder gatene. Trafikken vil følgende også rive opp og slite ut brosteinene. Dette medfører at brosteinene vil bli svake og derfor ikke opprettholde holdbarheten. Andre metoder som har blitt brukt er betongbaserte fugemasser. Denne metoden kan følgende på sin side skape utfordringer, ved at fugene ikke er særlig elastiske og vil derfor sprekke opp. Disse er også sårbare for temperatursvingningene som oppstår i landet, noe som gjør at brosteinene vil løsne og bli ujevne over tid. Den siste metoden, og som har vist seg å være den mest hensiktsmessige og optimale er bitumenbaserte fugemasser.

Vanligvis brukes det steinmaterialer til å lage bitumenbaserte fugemasser. Dette har blitt skrevet om i tidligere bacheloroppgaver. Målet med denne oppgaven er å videreutvikle bitumenbullets ved å erstatte steinmaterialet med plastikkpellets, og deretter fuge dette ned mellom brosteiner. Plastikkpellets, er noe som ikke har blitt brukt som fuge tidligere, og det vil derfor være nødvendig å ta tester for dette. Ved å gjøre dette kan man vite om dette holder seg like bra eller bedre, noe som igjen i sin tur vil fortelle om dette er en god løsning. Plastikk er et materiale som er mye lettere enn stein og er betraktelig billigere å jobbe med. Dermed vil denne løsningen også være økonomisk lønnsomt. Løsningen med å bruke resirkulert plastikk kan følgende antas å være en mer bærekraftig løsning.

3.3 Problemstilling

- Effektivisere produksjon av bitumenperler til fugging mellom brosteiner
- Optimalisere bitumenperlene av plastikkpellets og deretter sammenlikne brostein fugene med bitumenperler opp mot hverandre.

3.4 Fremgangsmåte for oppgaven

Produsere bitumenperler i to varianter, samt sette opp alle enhetene for å kunne gjennomføre oppgaven, hvilket kan ses på som en nokså krevende prosess. Etersom prosessen kan ses på som nokså krevende blir det derfor fundamentalt å utforme en god og gjennomførbar plan, sette opp en oversiktlig fremgangsmåte, for å kunne svare på problemstillingen som er satt på punk 3.3, og deretter utføre dette.

- Få en oversikt over hva oppgaven innebærer ved å se på allerede belagte brostein med bitumen, samt lese seg opp på tidligere oppgaver og annen informasjon som er relevante for oppgaven.
- Planlegge de ulike delene og forsøkene av oppgaven, ved å skrive SJA (Sikker jobbanalyse) og lage en plan for tidspunktet for utførelsen av disse.
- Alle nødvendige materialer og produkter som skal brukes i oppgaven blir bestilt av veileder John Charles Grønli.
- Ferdigstilling og testing av de ulike maskinene og enhetene som blir brukt til å produsere bitumenperler.
- Distribuere tid til undersøkning og skiving av selve oppgaven.

4. Litteratur

4.1 Bitumen

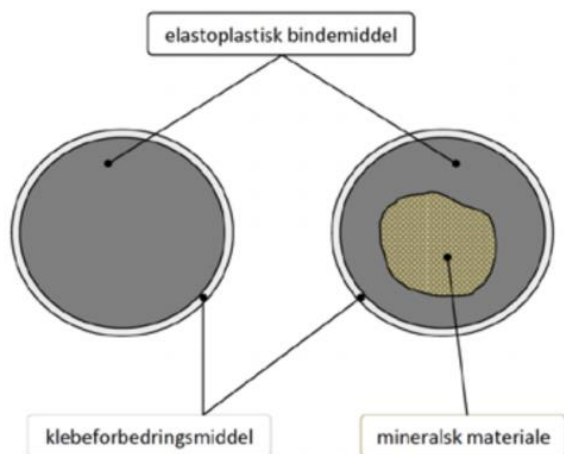
Bitumen består av fast eller flytende hydrokarboner, som kan både være naturlig forekommende eller fremstilt av råolje. Den er mørk til svart i fargen. Råoljen kommer fra restene av marine organismer og vegetabiliske materier som er dekket med gjørme og steiner på havbunnen. Ifølge petroleumsselskapet Shell, består bitumen av karbon (82-88%), hydrogen (8-11%), svovel (0-6%), oksygen (0-1,5%) og nitrogen (0-1%). Bitumen har mange bruksområder, men den er mest kjent som det viktigste bindemiddelet til asfalt. [2]

I industriell bruk blir de største andelene av bitumen fremstilt ved raffinering av råolje. Dette foregår som en destillasjon med 300-350°C. Gjennom destilleringen vil de letteste produktene som bensin, white spirit, fyringsolje og tungolje destilleres bort, slik at vi ender opp med den tyngste fraksjonen som danner utgangspunktet for fremstillingen av bitumen.

Dette bindemiddelet har mange egenskaper. Bitumen blir i høy grad påvirket av temperatur. Ved lav temperatur vil det være fast, viskoelastisk og stiv i konsistensen, mens ved høy temperatur (opp mot 100°C) vil det være mykt, flytende og viskøst. Når bitumen er flytende, vil det være svært klebrig og sitter godt fast på steinmaterialer. Dette gjør det egnet til bruk som bindemiddel i asfaltdekker. Det passer også perfekt til å brukes som fugemasse til brostein, da det er selvreparerende og vanntett, samt at det holder seg veldig sterkt.

Bitumen brukes til varmblandende asfaltmasser, overflatebehandling, penetrering av plukkbærelag og til fremstilling av bitumenemulsjon og skumbitumen. Utenom til bruk for asfalt, benyttes også bitumen i Norge som coating på rørledninger i havet og som tetningsmiddel i industrien og i takplater. Bitumen kan følgende brukes i demninger som tetning av damkjernen. [3] [4]

Bitumenperler kan forklares som små partikler (som oftest stein), på omkring 5mm, som er dekket med flytende bitumen, og senere nedkjølt slik at de ser ut som svarte perler. Disse perlene er svært enkle å jobbe med, og er lett å kastes ned mellom brosteiner. Bitumenperlene blir deretter oppvarmet til den får en flytende konsistens. Når den stivner, vil den holde brosteinene på plass.



Figur 1: Illustrasjon av bitumenperler

4.2 Bitumenperler

4.3 Resirkulert plastikk til asfalt

Et engelsk firma ved navn MacRebur kom med en ide om å forvandle plastikk til vei. Grunnen til dette var for å redusere den negative innvirkningen forurensing av plast har her på jorda. Ifølge firmaet vil dette være miljøvennlig, samt vil veiene bli sterke og ha lengre levetid sammenlignet med vanlige asfaltveier. [5]

Å resirkulere plastikk og gjøre det om til asfalt, er allerede forsket på i mange år. CEO Toby McCartney jobbet med et prosjekt i India, hvilket gikk ut på at de plukket opp plastikk avfall på veiene. Plastikken som ble funnet ble senere smeltet i høy varme og gradert til små korn. Med denne teknologien kunne de erstatte materiale som vanligvis blir brukt til å lage asfalt, med resirkulert plastikk. Som oftest kan alle typer plastikk brukes, men det finnes unntak. Et eksempel på dette er svart plast, som er vanskeligere å resirkulere. Ved å gjøre det på denne måten vil bruken av fossile drivstoffer i prosessen reduseres, noe som kan ses på som fordelaktig for miljøet.

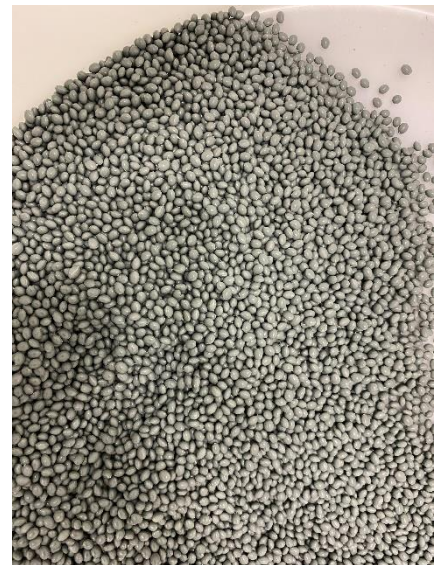
Veier som blir laget på denne måten er mye billigere med tanke på at platen ikke har noe verdi og fraktkostandene er lave. Utseende på veiene som blir laget på denne måten vil se nøyaktig ut som vanlig asfaltveier, men er mye mer fleksible. Plastikk asfalten er 60% sterkere enn vanlig asfalt og levetiden er tre ganger høyere. Dette fører til at det blir mindre skader på veien som hull og sprekker, som igjen vil gjøre det billigere å vedlikeholde veiene. Denne type blanding benyttes ikke kun på vanlige bilveier, men også på parkeringsplasser, motorveier, rullebaner og motorsportveier. [6]



Figur 2: Asfalt laget med resirkulert plastikk i Storbritannia

4.4 Plastikkpellets

Plastikkpellets er små plastikkperler som er 4-5 mm store. Disse er altså like store som steinmaterialer som blir brukt til å lage bitumenperler, og dermed er størrelsen godt egnet for dette. Pelletsene kommer fra plastikkavfall som blir sendt til en gjenvinningsstasjon. Her foregår det mekanisk gjenvinning av plast. I denne prosessen blir platen kvernet, vasket, varmet opp, filtrert og deretter formet til pellets. Følgende blir disse sortert i fem forskjellige typer gjennom en NIR (Nær Infrarødt lysspektrum) maskin. NIR maskin sorterer plastikkavfallene i fem forskjellige typer ut ifra størrelsen, holdbarhet, tetthet og kvalitet. Disse fem typene er LDPE (lavdensitet), HDPE (høydensitet), PP, PET og PS. I denne oppgaven vil det bli brukt typen LDPE. Se vedlegg 1. [7]



Figur 3: Plastikkpellets av typen LDPE

4.5 Sentrale begreper

Romtemperatur:

Normal temperatur i et rom som ligger mellom 18°C og 25°C.

Vedheftingsvikt:

Tilslag (steinmaterialer, plastikkpellets, betong, sement) ikke kleber/hefter seg sammen med bitumen og faller fra hverandre.

Bitumen 70/100:

70/100 er et synketall som utføres gjennom en penetrasjonstest. Dette foregår ved å senke en nål med en vekt på 100 g ned i en bitumenprøve og etter fem sekunder skal det leses av hvor langt ned den har sunket. Bitumen 70/100 er den hardeste typen bitumen som blir benyttet ved Universitetet i Stavanger.

Pumpestake:

Teknologisk sammensetting som består av en strømdrevet motor koblet til en pumpe gjennom en stålaksling. Det er denne maskinen som pumper bitumen fra fatet opp til siktemaskinen.

Bulkdensitet:

Massen til et bulkmateriale (plastikkpellets) dividert med volumet, hvilket er rommet av dette materialet. Bulkdensiteten forteller om tettheten til materialet, uten at det blir påvirket av vann, luft, eller andre omgivelser [8]

Coating:

Et lag med bitumen som dekker plastikkpellets/steinmateriale, hvilket utgjør bitumenperler, altså en tynn hinne med bitumen over partiklene.

Flytende bitumen:

Bitumen som er oppvarmet og har flytende konsistens.

4.6 Utstysrliste

Oversikt over utstyr som blir brukt for produksjon av bitumenperler:

- Mogensen siktemaskin
- Helland silo
- Stålrør
- Karbonstålplate
- Bitumen
- Fat
- Steinhull
- Plastikpellets
- Steinmateriler (Grus)
- Pumpe
- Bitumenrenner
- Stålstang
- Betongklosser
- Isolasjon plater
- Varmeledninger
- Traverskran
- Bitumenspreder
- Fugeskum
- Varmestav
- Tilslag/Sement
- HMS
 - Kjeledress
 - Vernesko

- Støvler
- Vernebriller
- Varmehansker
- Akutt øyevaskemaskin og dusj
- Gjerder
- Hørselsvern
- Hjelm

4.7 HMS – Helse, miljø og sikkerhet

Når en jobber i et laboratorium er det stor sannsynlighet for at det kan oppstå noe uforventet. For å forebygge skader eller ulykker, er det nødvendig å følge HMS-reglene som er satt på arbeidsplassen. Det er viktig å bevisstgjøre seg for farene og hindrene som kan oppstå, og i sin tur vite hvordan man skal håndtere disse farene. Dette er svært viktig når en jobber med bitumen. Etersom bitumen håndteres med høy temperatur, er det derfor viktig å ha på seg varmhansker, slik at det ikke oppstår brannskader på hendene. Bitumen er svært klebrig, noe som gjør at det er svært krevende å få det vasket av huden. Det må derfor brukes løsemiddel som white sprit for å få det rensset. Om det skulle feste seg på klær, håndteres det på likt vis. Det er derfor også viktig å bruke kjeledress, når en jobber med dette bindemiddelet. Oppgaven innebærer å jobbe med og rundt utstyr med stor tyngde, samt flytende stoff som kan skade foten hvis en enten mister eller sler de ulike gjenstandene. Derfor er det påbudt å ha på vernesko for å jobbe rundt slike omgivelser. Vernebriller er også nødvendig å bruke. Dette beskytter øynene for eventuelle sprut. Om en likevel på en eller annen måte fortsatt får sprut på øynene med vernebriller på, så er det viktig å på forhånd orientere seg for hvor akutt-øyevaskemaskin og dusj er plassert. Det er utrolig viktig å ha god HMS på arbeidsplassen, selv om jobben innebærer å jobbe i varme eller kalde omgivelser, samt også i romtemperatur. Med andre ord, er HMS reglene viktige å følge, uansett type forsøk. For å følge HMS-reglene så ble det gjort sikkerjobbanalyse for de ulike forsøkene som ble gjort i laboratoriet (Se vedlegg 2-6).

I forberedelsesfasen var det nødvendig å flytte rundt på tunge gjenstander som tank, siktemaskin, transportskrue, varmpumpe og silo for å komme i gang med prosjektet. Dette kunne ikke flyttes på egenhånd, i og med at det trengs sertifikat til å flytte rundt på

gjenstander med kran eller truck. Med hjelp av lærling Johannes Steinnes Jensen som har G4 (Kran) og T4 (Truck) sertifikat ble dette utført på en trygg og sikker måte.

Ifølge arbeidsmiljøloven er det lovpålagt å følge HMS-reglene på arbeidsplassen. Brudd på disse reglene kan medføre at både arbeidsgiveren, arbeidsplassen samt personen som utfører blir straffet med bot, og i verste fall må det stenges ned på ubestemt tid. [9]

4.8 Idé for optimalisering av produksjon

I startfasen av oppgaven er det viktig å bli kjent med konseptet og finne ut hvordan oppgaven kan optimaliseres, på en ulik måte enn det har blitt gjort tidligere. Derfor ble det bestemt å dra på en befaring for å se på allerede lagte brosteinsgater rundt omkring i Stavanger. Under befaringen kunne det ses brostein som var fylt med både sand/sementfuger og bitumen, og forskjellen på disse var tydelige. Brosteinsgatene i Stavanger sentrum som er fylt med sand/sementfuger har blitt nedslitt av trafikken og begynner å falle fra hverandre. I motsetning er bitumenfugete brosteiner som ble satt i samarbeid med Stavanger kommune, fortsatt hel, estetisk fint og holder seg sterkt sammen.



Figur 4: Nedslitt brosteinsgate i Roma, Italia



Figur 5: Nedslitt brosteinsgate i Stavanger sentrum

I tidligere bacheloroppgaver har det allerede blitt bevist at bitumenfuger fungerer bedre enn sand og sement. Det har også blitt tatt ekstra tester for å gjøre bitumen enda sterkere ved å tilsette voks, i mål om å gjøre dette til det ultimate bindemiddelet. I denne oppgaven er målet å ta dette enda et steg videre ved å erstatte steinmaterialet med resirkulert plastikk, for å gjøre dette enda mer miljøvennlig og bærekraftig. Ved å erstatte steinmaterialet med plastikk, vil det føre til mindre forurensning, billigere produksjon, samt lettere å transportere og jobbe rundt, med tanke på plastikkens relativ lave vekt. Andre fordeler ved å bruke resirkulert plastikk:

- Væreforholdene vil ikke være et problem, som vil føre til at bygge sesongen blir utvidet.
- På grunn av dens lave vekt blir det lettere å produsere i større mengder.
- Nedsmelting i fuger blir enklere og raskere
- Produktet er rent og miljøvennlig. [10]



Figur 6: Brosteinskryss laget med bitumenperler i Stavanger

5. Prøveplan

Før produksjon av bitumenperler er det noen prøver så må bli tatt på forhånd, for å få innblikk i om det i det hele tatt kan benyttes plastikkpellets i blandingen. Som nevnt i punkt 3.2 så har ikke plastikkpellets blitt brukt som fugemasse tidligere, og derfor blir det viktig å ta tester for å se om det egner seg å jobbe med, i mål om å bruke dette i lag med bitumen. Først og fremst så måtte det ses om størrelsen på pelletene er egnet, eller om det måtte bli gjort en sikteprøve for å få pelletene i riktig størrelse. Deretter ble det gjort en densitetstest og en heftprøve for å se om plastikk pelletene er gunstig for fuging mellom brostein.

Prøvestykker:

1. Måling av størrelsen på plastikkpellets
2. Densitetstest av plastikkpellets
3. Heftprøve av plastikkpellets og steinmateriale

6. Metode

6.1 Måling av størrelsen på plastikkpellets

6.1.1 Hensikt

Når plastikkpelletene fra IVAR gjenvinningsstasjon ble utlevert, så var det nødvendig å iaktta om størrelsen på korna var varierende. Om dette var tilfellet, ble det tatt en sikteprøve for å få pelletene siktet til egnet størrelse. De utleverte pelletene var veldig rene, kuttet og gradert veldig likt. Dermed var det ikke nødvendig med en sikteprøve. Det var likevel nødvendig å vite hvor store plastikkpelletene er, hvilket er hensikten med denne testen.

6.1.2 Utstyr

- Plastikkpellet
- Glidemåler eller Skyvelære

6.1.3 Fremgangsmåte

- Ta ut 10 tilfeldige plastikkpellet prøver fra plastikksekken.
- Bruk en glidemåler for å måle plastikk pelleten liggende og stående.
- Skriv ned resultatet



Figur 7: Plastikkpellets klare til oppmåling

6.2 Densitetstest av plastikkpellets

6.2.1 Hensikt

Hensikten med en densitetstest av plastikkpelletene er for å finne egenvekten og tettheten til produktet. Dette gjør en for å kontrollere kvaliteten til pelletene. En annen grunn for å finne densiteten til plastikk pelletene er for å vite om de synker i vann når dette senere blir brukt til å lage bitumenperler. Om densiteten er nær vannets densitet, vil det kunne lagres i større høyder uten at de klebes sammen. For å finne dette må det tas fire ulike densitetstester. Disse er bulkdensitet (kun tørre plastikkperler), halvparten perler, partikkeldensitet (halvparten perler og halvparten vann) og til slutt kun vann. [11]

6.2.2 Utstyr

- Pyknometer
- Glassplate
- Vekt
- Destillertvann
- Plastikkpellets

6.2.3 Fremgangsmåte

- Finn fram vekten, pyknometer og glassplate. Tørk vekk støv og vandrdåper fra vekten, slik at det ikke påvirker resultatet.
- Nullstill vekten.
- Vei først vekten på pyknometret og glassplaten.
- Fyll pyknometret fullt med plastikkpellets. Det er viktig å huske på at pellete må være helt tørre når bulkdensiteten skal bli funnet. Deretter legg på glassplaten forsiktig over. Legg på glassplaten for å stenga av luft, i og med at luft kan påvirke resultatet.
- Deretter, vei alt og skriver ned den totale vekten og trekker fra vekten på pyknometer og glassplate for å finne massen av plastikkpelletesene.
- Etterfølgende, tøm halvparten av pyknometeret med plastikk pellet, legg på glassplaten igjen og vei det som er oppi.



Figur 8: Pyknometer med plastikkpellets og glassplate som veies for å finne densitet

- Fyll deretter halvparten av pyknometret med destillert vann, legg på glassplaten og vei dette. Det er viktig å røre litt rundt slik at alle plastikk pelletene blir dekket av vannet. Grunnen til at det blir brukt destillert vann fremfor vann, er fordi destillert vann er mye renere.
- Til slutt, tøm alt og fyll på pyknometeret med kun destillert vann, sett på glassplaten og vei det på vekten. Veier med kun destillert vann for å finne volumet av pyknometeret og det gjøres ved å sette densiteten lik 1.
- Gjør utregning og skriver ned resultat

6.3 Heftprøve av plastikkpellets og steinmateriale

6.3.1 Hensikt

Hensikten med heftprøven er å finne ut hvordan flytende bitumen sitter på plastikkpellets og steinmateriale. Dette er et avgjørende øyeblikk i prosjektet med tanke på om plastikkpelletene i det hele tatt kleber seg med bitumen, og i så fall hvor bra/dårlig de sitter på hverandre sammenlignet med steinmateriale. Når bitumenperler blir utsatt for kokende vann, kan bindingen svekkes slik at bindemiddelet helt eller delvis «løsn» fra steinmateriler, eller i dette tilfellet, plastikkpelletsene. Hvorvidt dette vil inntre, avhenger av en rekke forhold knyttet til materialets kjemiske og fysiske egenskaper. Heftprøven går ut på å finne ut om hvordan produktet hefter seg sammen med bitumen. Dette er en rask og enkel test som kan fortelle om produktet gir vedheftningssvikt eller ikke. Andre fordeler ved en slik test er at det kan anvendes som en produksjonskontroll og utstyrsmessig er den veldig enkel, altså det er ingen store investeringer. Om det oppstår vedheftningssvikt vil det føre til at brosteinene vil falle fra hverandre når det blir fuget sammen. For å forhindre dette er det utrolig viktig å se om bitumen kleber seg sammen med pelletene og steinmaterialet. [12]

6.3.2 Utstyr

- Plastikkpellets



Figur 9: Varmeovn, kokeplate og bøtte med bitumen

- Steinmateriale (Grus)
- Varmeovn
- 70/100 Bitumen
- Kokeplate
- To bøtter
- Vann

6.3.3 Fremgangsmåte

- Varm opp varmeovnen til 120°C
- Når varmeovnen er klar, sett inn en bøtte med fast bitumen inn i varmeovnen, mer spesifikt 70/100 bitumen som Universitetet i Stavanger bruker.
- Når det blir observert at bitumen går fra å være fast til å bli å flytende, tilsettes det både plastikkpellets og steinmateriale, og rør det sammen med slik at de blir dekket med bitumen og blir til bitumenperler.
- Bland raskt før bitumen stivner i romtemperatur
- Kok opp en bøtte med vann på en kokeplate.
- Når vannet begynner å koke, tilsett bitumenperlene oppi vannbadet og observer hva som skjer.
- Deretter sett kokeplaten på maks og la det fosskoke, for å se effekten av dette på bitumenperlene.
- Slå av kokeplaten og ta ut noen tilfeldige prøver og se hvordan bitumen har heftet seg sammen med plastikkpelletsene og steinmaterialet.

7. Produksjon og distribusjon av bitumenperler

7.1 Plan

I startfasen av oppgaven er det viktig å bli kjent med hva selve prosjektet går ut på, og samle sammen utstyr som trengs for å igangsette prosessen. John Charles Grønli var i samtale med IVAR gjenvinningsstasjon for å inngå et samarbeid slik at det ble utlevert plastikkpellets i formen LDPE (Se vedlegg 7).

Planen for produksjon er å sette opp en liten fabrikk i laboratoriet. Måten dette blir gjort på er ved å sette sammen en silo og en siktemaskin, samt koble disse to sammen med en transportskrue, som vil frakte plastikkpelletene og steinmaterialene fra A til B. Tanken er å produsere i to omganger, altså en gang med plastikkpellet og en gang med steinmaterialer. Siktemaskinen som blir brukt i oppgaven er en Mogensen siktemaskin. Dens funksjon er å sammenføre tilslag og bitumen. Plastikkpelletene og steinmaterialene vil bli tilføyet på toppen av maskinen, og den vil fraktes nedover på en vibrerende sikt. Under siktemaskinen vil det ligge et fat som rommer 205 liter med flytende bitumen. Bitumen som ligger i fatet, vil bli pumpet opp ved hjelp av en pumpestake i siktemaskinen og blander seg med tilslaget. Planen er å finne en god løsning på å pumpe dette inn i siktemaskinen uten at det blir for mye varmetap og søl, og i tillegg finne en løsning for at overflødige bitumen blir resirkulert gjennom et rør eller slange, og pumpes tilbake inn i maskinen. Deretter vil de ferdige bitumenperlene falle ned i et vannkar.

Etter at tilslaget har vært igjennom den lille fabrikk og blitt til bitumenperler, skal det bli laget en liten brosteinsti av betongklosser. Tanken er å dele dette i to, hvor den ene siden er fuget med bitumenperler som er laget med plastikkpellets, og den andre siden med steinmaterialer, for å så sammenlikne resultatet.

7.2 Preparering

Det som tar opp mesteparten av tiden, er selve prepareringen. Hvert enkelt steg i oppgaven er nøye gjennomtenkt, og er planlagt dag for dag. Det er mange komponenter i dette prosjektet som skal være på plass før selve forsøket utføres.

I starten var det viktig å få på plass Mogensen siktemaskin og Helland silo på riktig plass. Mogensen siktemaskin er en G0514 modell. Denne er 0,9 m i bredden, 1,43m i lengden og 3,2 meter høy. Siloen levert av Helland rommer 550 liter og størrelsen på denne er 1,25x1,55 m.

[13]

Før disse ble flyttet på plass korrekt, var det viktig å måle området for arbeidsplassen, og passe på at alt stemte slik at det var plass til å sette ned maskinene. Tanken bak dette er at det er mye aktivitet i laboratoriet samtidig, og det var knapt med plass. For løfting og flytting av silo og siktemaskinen ble det brukt traverskran og kjettinger fra tak. Det er viktig å bruke transportlås for å løfte siktemaskinen. Dette, ettersom at siktemaskinen har fjær på siden som strekker seg når den blir løftet. På grunn av sikkerhetsmessige hensyn, er det viktig å låse dette med transportlås slik at fjærene ikke ryker når den blir flyttet på.



Figur 10: Mogensen siktemaskin

Det er mange krefter som ville påvirke både siktemaskinen og siloen når de er i prosess, og for at de ikke skal falle fra hverandre eller velte ble det plassert karbonstålplate under maskinene. Når karbonstålplaten ble plassert ble de sveiset sammen for å forhindre bevegelser når maskinene var i gang.

For at det skal være mulig å frakte tilslagene fra silo til siktemaskin, krevde det at vi måtte montere en transportskrue, som var koblet på bunnen av siloen og til toppen av siktemaskinen. Det ble montert en motor på enden av stålrøret som ville frembringe nok krefter til å rotere på transportskruen, og transportere tilslaget fra den ene enden til den andre. Stålrøret skal bli plassert med en vinkel ikke mindre enn 45° helning fra silo til siktemaskin, for at det kunne monteres under siloen. Stålrørets vekt (inkludert motor og transportskrue) er

på 60 kg. For å kunne finne en korrekt avstand og vinkel måtte det gjøres en utregning. Etter utregningen i punkt 8.4, ble det funnet at vinkelen til transportskruen måtte være $51,06^\circ$, og avstanden mellom siloen og siktemaskinen måtte være på 2,83 m.



Figur 11: Helland silo

Etter at stålørret med transportskruen ble montert på siloen, og det ble funnet riktig avstand og vinkel, må det bli laget en løsning for at øret kunne stå fri uten hjelp av traverskran for å holde den oppe. Tanken var å finne vippepunktet til øret og deretter lage en støtte med planker som vil holde dette oppe. På grunn av mangel på plass under øret, var det ikke mulig å plassere beina på støtten slik at vi får optimal høyde, og det måtte bli laget en annen løsning. Den andre løsningen var å lage en støtte på beina til siktemaskinen. Derfor ble det brukt en 40x40 stålstang på 6 m og 2 mm tykk. Dette ble kuttet til to like lange stenger med en maskinsag. Stengene måtte knekkes på to steder for at den skal bli plassert presist over siktemaskinen, slik at øret kan hvile på krysspunktet. Etter at stålstangen ble delt i to ble det brukt en skjærebrenner til å varme opp stengene, etterfulgt av en vinkelsliper til kapping og sliping og deretter bøye stengene til riktig vinkel. Når stengene var bøyd i riktig vinkel, ble det brukt snekkertvinger til å holde stengene strammet fast på beina til siktemaskinen. Snekkertvingen vil holde stengene fast mens det blir sveiset sammen med en Mig sveisemaskin og Argon secure 18. Argon secure 18 blir brukt for å fjerne oksygen når det blir sveiset. Til slutt stropes rørstangene fast med stengene slik at den holder posisjonen sin. [14]



Figur 12: Støtte laget av stålstenger for å holde transportskruen på plass

Bitumenet som skal bli brukt i denne oppgaven er oppbevart i et fat. Fatet vil bli plassert på et steinhull under siktemaskinen. For at det ikke skal oppstå varmetap når bitumen oppvarmes, må fatet isoleres rundt med isolasjon. Bitumenet i dette forsøket er allerede blandet inn med Sasobit Redux. Sasobit Redux er en form for voks som gjør at viskositeten til bitumen synker, og gjør bitumen lettere å jobbe med. Densiteten til bitumen er lik 1 kg/dm^3 , og partikkeldensiteten til plastikkpellets er $0,9 \text{ kg/dm}^3$. Dette medfører at samlet densitet for disse to elementene vil være under 1 kg/dm^3 . Dette vil skape problemer ved at bitumenperlene ikke synker når den faller ned i vannkaret og vil ligge som kake over vannet. Derfor må det tilsettes ekstra tilslag eller sement i bitumen for å øke densiteten til mer enn 1 kg/dm^3 slik at perlene synker i vannet. Foretrekkende materiale er sement, siden det vil slite mindre på



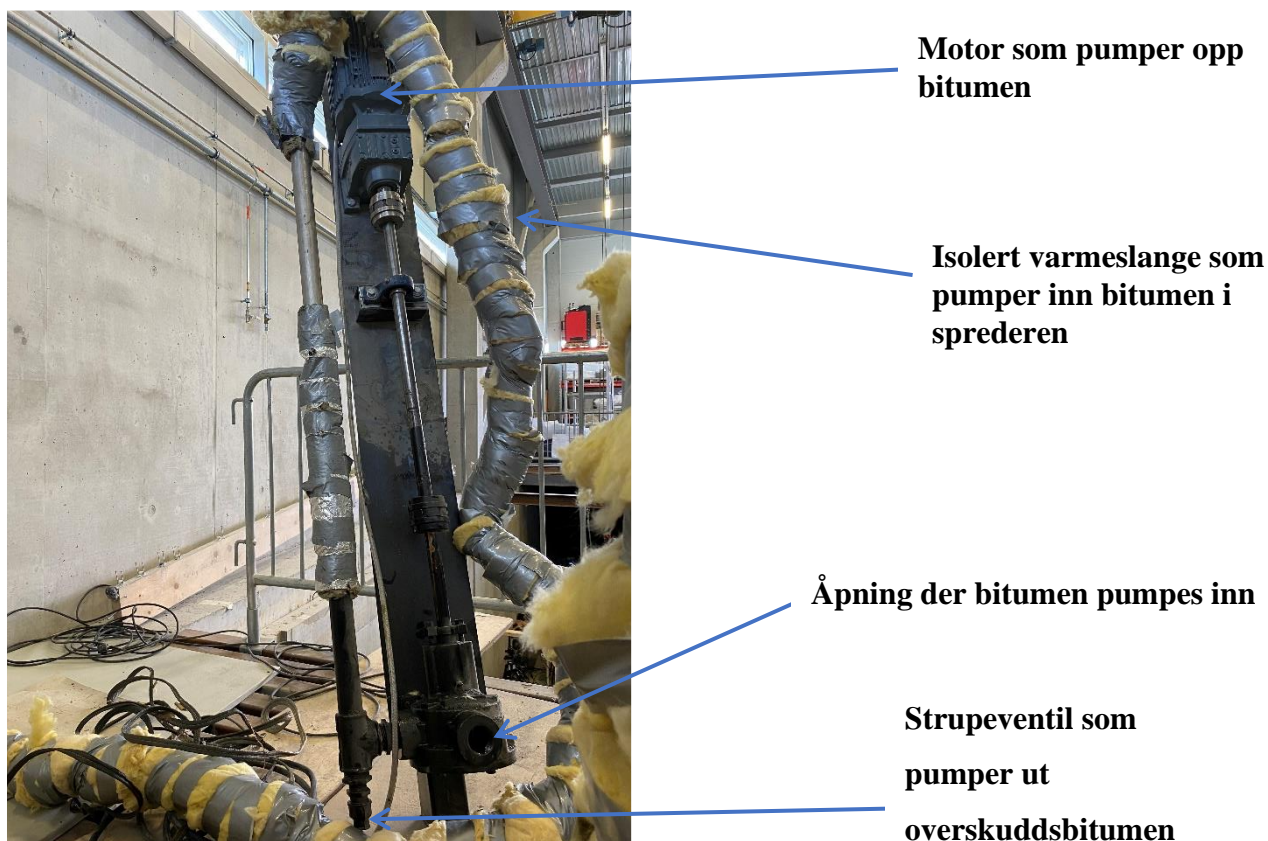
Figur 13: Isolering av fat

pumpestaken og fordeler seg bedre på pelletene, da den er mer finmalt. Sement typen som vil bli brukt i forsøket er anleggssement FA. [15]

Når fatet med bitumen er oppvarmet vil det bli brukt en pumpestake som vil pumpe opp flytende bitumen fra fatet og inn i siktemaskinen. Pumpen vil henge oppi fatet, støttet av traverskran. Pumpestaken vil føre flytende bitumen gjennom et stålrør og en fleksibel varmeslange som er isolert med isolasjon. En T-kobler vil være koblet på varmepumpen, hvor den ene siden vil være tilkoblet en bitumenspreder (Punkt 7.3) som vil bli plassert inn i siktemaskinen, og vil pumpe inn bitumenet i siktemaskinen. På den andre siden av T-koblingen, vil det bli koblet en fleksibel slange som vil pumpe ut restbitumen tilbake i bitumenfatet. Denne fleksible slangen må ha varmekabler som er kvelt rundt og deretter isolert rundt slik at det ikke oppstår mye varmetap (se figur 14). Bitumen er et materiale som stivner fort og derfor er det kritisk å holde på varmen. På denne måten vil det være en fin sirkulasjon med fordeling av bitumen, og det vil redusere unødvendig søl og svinn av bindemiddelet.



Figur 14: Fleksibel varmeslange surret rundt med varmekabel



Figur 15: Pumpestake for å pumpe opp bitumen

I og med at bitumensprederen ikke dekker hele bredden til siktemaskinen, ble det brukt fugeskum til å dekke dette tomrommet det medfører. Tomrommet vil føre til at mange av plastikkpelletene/steinmateriale faller utenfor, og vil derfor ikke bli dekket med bitumen. For at produksjonen skal være effektivt, er det viktig at alle partiklene inntreffer sonen hvor bitumen renner ned, slik at alle blir dekket med bitumen og blir til bitumenperler. Fugeskum vil eksponere, og det er derfor viktig å begrense denne ekspansjonen slik at fugeskummen ikke blir for porøst og ikke suger til seg væske. Fugeskum blir brukt i hele enden av siktemaskinen, og deretter skåret opp til en tunnel. Dette er for at alle bitumenperlene faller opp i vannkaret uten at noen faller utenfor. Det er viktig å passe på at det ikke oppstår mye varmetap i tunnelen. Derfor er det satt varmekabler som går fra siktemaskinen og helt frem til enden av tunnelen (dette kan ses på figur 16 og 17). For at varmekablene ikke skal blir griset av bitumenet som renner, er dette isolert med aluminium.



Figur 16: Innsnevring ved hjelp av fugeskum med varmekabler isolert med aluminium



Figur 17: Utskåret tunnel med varmekabler isoolert med aluminium

Det er plassert en bitumenrenner som er isolert med isolasjon fra siktemaskinen og montert på fatet. Bitumenrenneren skal føre restbitumen som renner gjennom siktemaskinen tilbake til fatet. Dette fører til at det restbitumen ikke blir til svinn og sirkulerer rundt.



Figur 18: Bitumenrenner isolert med isolasjon som vil føre restbitumen fra siktemaskin tilbake til fatet

På enden av siktemaskinen vil det bli plassert et vannkar. Det er viktig å rense vannkaret fullstendig før bruk, slik at støv og møkk ikke blandes med de fremtidige bitumenperlene som skal produseres. Vannkaret blir fylt opp med vann, hvor de ferdige bitumenperlene vil falle oppi og kjøles ned. Det vil brukt et vannkar som rommer 240 liter. Dette er siste steg i produksjon av bitumenperler, derfor er det viktig at vannet i vannkaret er kaldt slik at bitumenperlene kjøles ned. For å holde vannkaret kaldt vil det bli lagret tre bølter med vann og betongklosser i en kjølecontainer. Inn i kjølecontaineren vil det være -120°C . Disse betongklossene vil deretter settes inn i vannkaret, og dens funksjon er å fungere som isbiter for å gjøre vannbadet betraktelig kaldere.



Figur 19: Betongklosser kjølt i kjølecontainer i vannkar med iskaldt vann

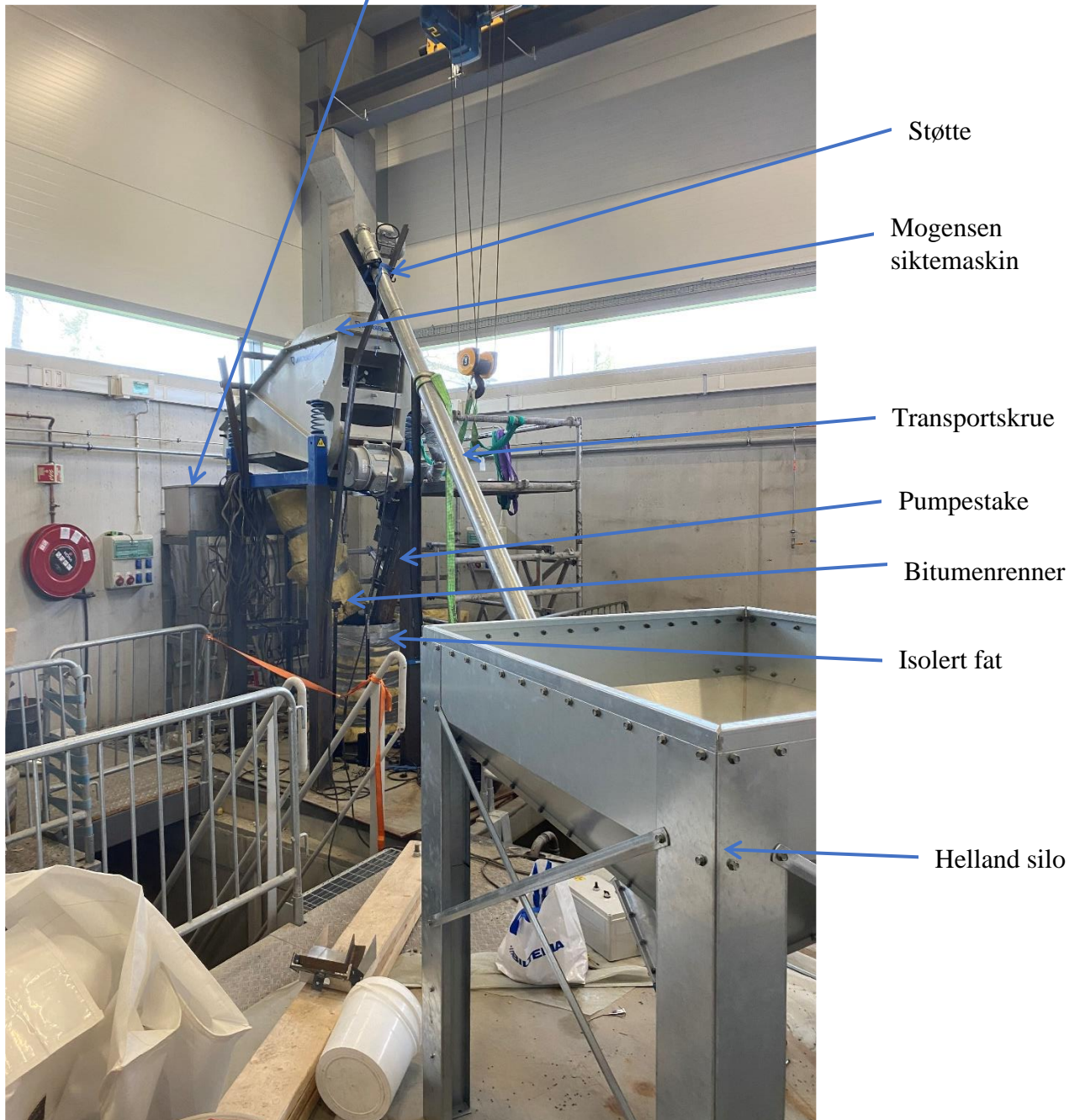
Til slutt vil bitumenperler laget med plastikk og steinmaterialet tatt med til «hjemmelaget» brosteinsti. Brosteinstien er laget ved at det blir plassert betongklosser over et lag med sand. Grunnen til at det er brukt sand som underlag er for at det ikke blir sølt bitumen på det opprinnelige underlaget, og er derfor lettere å rydde opp etter bruk.



Figur 20: Brosteinsti av betongklosser

Betongklossene vil bli plassert med litt mellomrom slik at det er mulig å fuge bitumenperler gjennom åpningen.

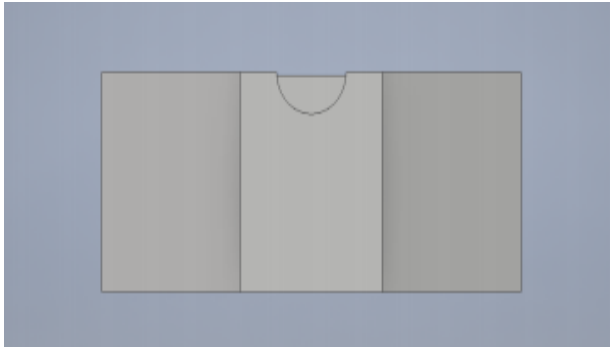
Vannkar plassert på ramme



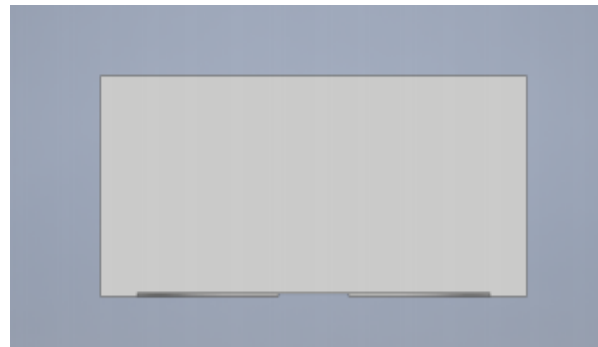
Figur 21: Ferdig montert og satt opp fabrikk

7.3 Programmering og 3D-printing av bitumenspreder

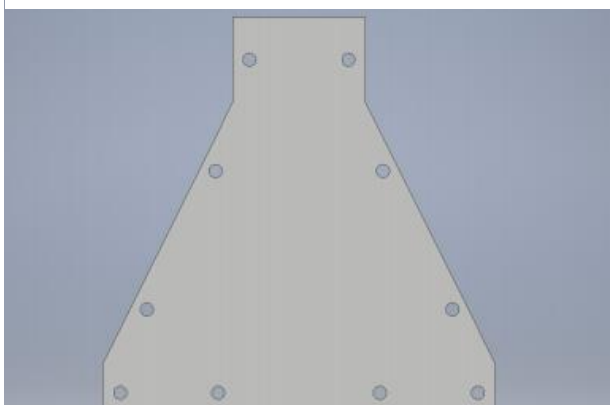
For at pumpestaken skal pumpe opp bitumen og renne fint over tilslagene i siktemaskinen, var det nødvendig med en bitumenspreder som sprer bitumen over plastikk/stein partiklene. Dette var noe som ikke kunne bestilles, og måtte derfor programmeres på Autodesk Inventor og deretter 3D-printes.



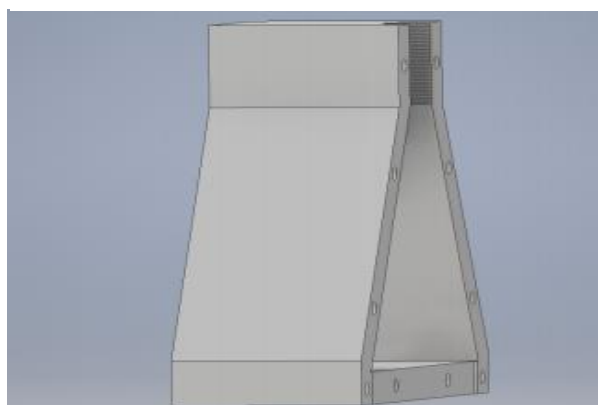
Figur 22:Bitumenspreder sett ovenfra



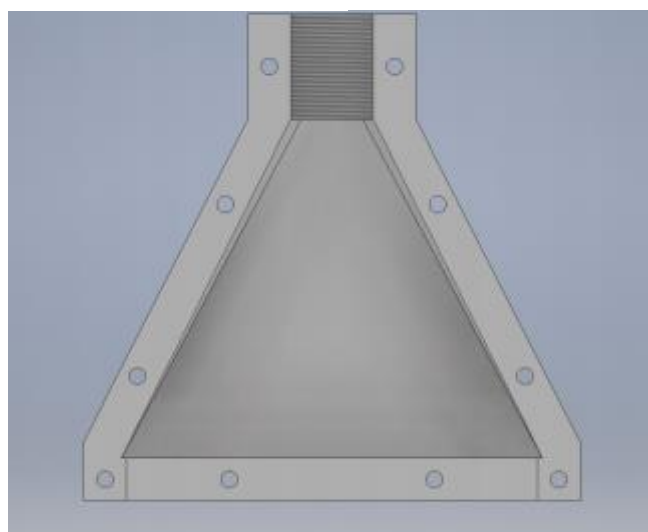
Figur 23:Bitumenspreder sett nedenifra



Figur 25:Bitumenspreder sett bakfra



Figur 24:Bitumenspreder sett fra siden

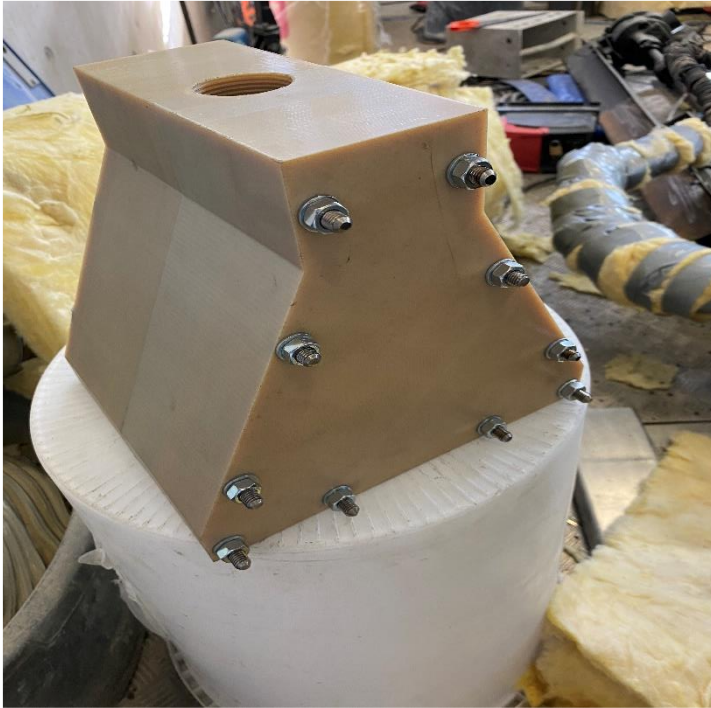


Figur 26:Bitumenspreder sett forfra

Før programmeringen ble dimensjoner som bredde, lengde og høyde innvendig av siktemaskinen mål. Målsetningen med dette er å programmere en figur med riktig størrelse. Deretter ble det tegnet ulike skisser for å finne ut av den beste størrelsen og formen på figuren som egner arbeidet som skal utføres. Valget falt på at den lengden skulle være på 20 cm, høyden på 25 cm og bruke hele bredden av siktemaskinen som er 60 cm. Formen på figuren måtte være kjegleformet for at det skulle passe inn i siktemaskinen. Før programmeringen måtte det også tas hensyn til hva slags type materiale dette skal printes ut i, og tykkelsen på veggene. Grunnen til dette er at bitumen vil bli oppvarmet til 120°C, og derfor må dette bli laget med et materiale som tåler høy varme slik at dette ikke smelter under produksjon. Valget på materialet falt på Solid som skulle tåle opp mot 200°C. Tykkelsen til veggene og bunnen ble bestemt til å være 20 mm tykk, slik at det tåler mye motstand. Det vil være en 3mm bred åpning på bunnen av bitumensprederen som bitumen renner gjennom. Y-kobleren som bitumensprederen skal være koblet til er 1,5 tommer åpning. Derfor må bitumensprederen ha en sylindereformet hals på 5 cm med diameter på 38,1 mm med 1''BSP gjenger for at det skal være mulig å skru dette på. Det vil være innvendige gjenger slik at bitumen ikke skader gjengene når det blir pumpet gjennom. Det ble også bestemt at tegningen skal deles i to. Derfor ble det programmert kun en halvdel som printes ut til to halvdeler og skrues sammen med 8M bolter. Tanken bak dette er at det ville gjøre bitumensprederen betraktelig sterkere, og det vil bli enklere å vedlikeholde og rense sprederen etter bruk.

Programmeringsfasen var det som sluket opp tiden. Selv med god planlegging oppstod det uforventede ting. Etter første tegning ble det funnet ut at 3D-printingsmaskinen ikke kunne printe figurer som er større enn 406 mm (bredde), 355 mm (dybde) og 406 mm (høyde). Dette førte til at bredden måtte reduseres fra 60 cm til 38 cm, og det måtte tegnes på nytt. Etter den andre tegningen ble det funnet at under 3D-printing ville det bli laget mye støttemateriale rundt figuren som senere må kuttes vekk. Dette vil føre til mye svinn, og ble derfor laget en ny tegning med en kubeformet form som er kuttet slik at åpningen er kjegleformet som først tenkt. Men med slik form ble det møtt på et nytt problem, nemlig prisen. Det ble ikke tatt økonomiske hensyn til 3D-printing av bitumensprederen under planleggingen. Prisen for den opprinnelige figuren var 32 000 kr. Dette var altfor dyrt, og det måtte gjøres endringer på tegningen slik at prisen ble rimeligere og mer økonomisk lønnsomt. Endringer som ble gjort var å beholde kjegleformede formen, og redusere høyden fra 25 cm til 23 cm, samt redusere bredden ytterligere fra 38 cm til 23 cm. Med disse endringene ble prisen redusert til 22 000 kr, og fikk endelig klarsignal til å 3D-printe bitumensprederen.

Med tanke på størrelsen og materialet som blir brukt i 3D-printingen av figuren, var det tenkt at det ville bli brukt 1,5 dager for å få ene halvdel printet ut. I og med at Universitet ikke hadde nok Ultem-materiale igjen, måtte dette bestilles og dette førte til lengere ventetid enn forventet før hele bitumensprederen ble printet ut.



Figur 27: Ferdig utprintet bitumenspreder i materialtypen Solid

7.4 Testkjøring av produksjon

Det ble gjort en testkjøring for å se om alt gikk som det skulle, og at det ikke var noe feil med den lille bitumenfabrikken. Dermed unngår en større problemer under det faktiske forsøket, og det sløses ikke bitumen unødvendig. Ved en slik testkjøring kan det observeres hvordan flyten er, om det oppstår noen hindringer, eller om det må endres/forbedres. Hovedtanken bak testkjøringen var for å se om silo, transportskruen og siktemaskinen ble plassert og fungerte som det skulle, ved å kjøre dette med plastikkpellets.

Før testkjøringen ble de to åpningene i siktemaskinen dekket med store plastsekker. Den ene åpningen er hvor bitumen skal pumpes inn, og den andre åpningen er der de ferdige bitumenperlene skal falle gjennom til et vannkar. Disse åpningene ble dekket av plastsekker for å fange plastikkpelletene som faller igjennom, slik at de ikke faller rett ned på bakken. Hovedsakelig skal ikke plast-/steinpartikler falle ned i åpningen som bitumen pumpes inn i, og det ble derfor dekket for å se hvor mye av tilslaget som faktisk faller igjennom. Om plast-/steinpartiklene faller gjennom bitumen åpningen, vil den falle rett ned i fatet med bitumen og

vil derfor ikke være mulig å teste de ulike partiklene. Det ble funnet i punkt 8.5 at kun 0,62% av plastikkpeltene falt igjennom den andre åpningen. I og med at det ikke var store mengder ville dette ikke skape problemer når det faktiske forsøkte blir utført.



Figur 28: Store plastsekker som dekker siktemaskinens åpninger

Under testkjøringen oppsto det et problem med strømmen til transportskruen. Når ledningen til strømboksen som tilhørte motoren til transportskruen ble koblet til, ble sikringen slått ut. Grunnen til dette var fordi strømboksen trengte 16,7 A, mens stikkontaktene under sikringsboksen tålte kun 16 A. I tillegg til dette var to skruer i strømboksen feilkoblet, som forårsaket problemer med sikringen. Når dette ble rettet opp, kunne testkjøringen begynne uten noe strømbrydd.

I siktemaskinen var det allerede montert på en spade. Denne spaden forårsaket utrolig mye lyd når siktemaskinen var i gang. I denne oppgaven er det ikke behov for en slik løsning, og dermed ble dette avmontert for å forhindre unødvendig støy.

I og med at testkjøringen ble utført som forventet uten noen store hindringer, ble det klart til å utføre det faktiske forsøket.

7.5 Utførelse

På produksjonsdagen er det viktig å varme opp bitumen til 120°C før selve produksjonen ble satt i gang. Bitumenet må være varmt og flytende for at det skal være mulig å pumpe dette opp med pumpestaken. Det er også viktig å varme opp slangen til pumpestaken slik at det ikke oppstår stopp når bitumenet strømmer igjennom. Når bitumenet ble helt flytende og fikk flytende konsistens, og slangen varmet opp til 120°C, kunne det bli satt i gang en testrunde. Pumpestaken måtte stå og virke litt, for at det ble varmt i røret som videre fører til at gjennomstrømningen flyter fint. Laboratoriet var tom for steinmaterialet, og på grunn av knapphet på tid ble det siktet ut 4 mm steinmaterialet ut av sand. Dette måtte siktes, vaskes og deretter legges inn i et varmeskap for tørk. Grunnen til dette er for at bitumen ikke kleber seg til fuktige gjenstander, i og med at sanden var plassert utendørs. Ut ifra heftprøven som ble gjort ble det erfart at steinmaterialet som skal brukes må være helt tørt (Punkt 8.3).



Figur 29: Ferdig siktet og vasket steinmateriale

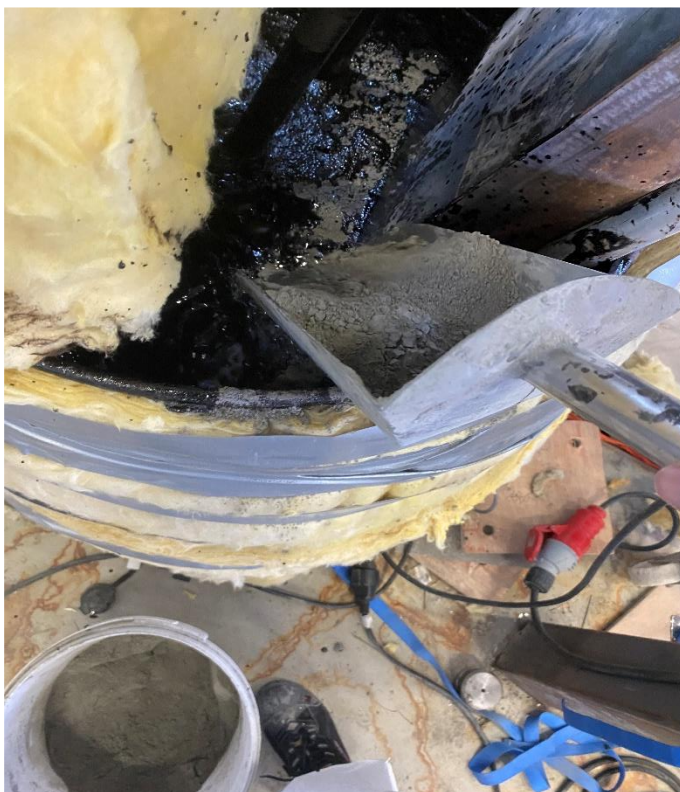
Når systemet ble varmet opp, steinmaterialene klare til bruk oppstod det et problem. Slangen som skulle pumpe opp bitumen fra pumpestaken og inn i siktemaskinen begynte å ryke. Dette forårsaket at varmekablene som var surret inni slangen sluttet å virke. Det skapte problemer i og med at slangen må holdes varm for at det skal være mulig å pumpe inn bitumen i siktemaskinen. Bitumen i romtemperatur stivner raskt, og etter gjentatte forsøk for å tvinge bitumen gjennom slangen ved å ta pumpesystemet i revers slik at det skaper luft i slangen, og deretter pumpe inn igjen, ble til slutt slangen tett. Dermed falt valget på å dekke steinmaterialene manuelt med bitumen. Dette ble gjort ved at det ble tilsatt steinmaterialer opp i en bøtte med flytende bitumen og tømte dette over i siktemaskinen. Videre ble

bitumenperlene ført gjennom tunnelen og i et vannbad fylt med iskaldt vann med fryste betongklosser. Når bitumenperlene fikk kjølt seg i vannbadet, ble de tatt fra hverandre og plassert i en bøtte med kaldt vann og produksjon av bitumenperler med plastikkpellets kunne begynne.



Figur 30: Kjølecontainer som kjøler ned betongklosser til is

Plastikkpellets, i motsetning til steinmaterialet blandet med flytende bitumen, har densitet under 1 kg/dm^3 . Grunnet dens lave densitet, måtte det tilsettes sement for å gjøre bitumen tyngre og øke dens vekt slik at bitumenperlene ville synke i vannbadet. Etter utregning som ble gjort i punkt 8.6, ble det funnet ut at det måtte tilsettes 51,75 kg med sement, slik at den samlede densiteten ville være over 1 kg/m^3 . Når dette var blandet inn kunne produksjon av plastikkpellets begynne.



Figur 31: Tilsetning av sement i fat med oppvarmet bitumen

Plastikkpellets ble helt over i Helland silo, som videre førte dette til siktemaskinen gjennom transportskruen. Når plastikkpelletene ankom siktemaskinen, ble den ferdig utblandede bitumen tømt forsiktig over partiklene manuelt. Siden bitumenblandingen med sement ikke blandet seg godt nok sammen, førte dette til at pelletene klumpet seg oppå hverandre og tettet igjen tunnelen. Plasten var også for lett til å separere bitumen slik steinen gjorde. Dette gjorde at det ikke ble laget noen bitumenperler med plastikkpellets som kom ut av tunnelen, og fikk dermed ikke kjølt seg i vannkaret.

8.Resultat

8.1 Måling av størrelsene på plastikkpellets

	Pellet 1	Pellet 2	Pellet 3	Pellet 4	Pellet 5	Pellet 6	Pellet 7	Pellet 8	Pellet 9	Pellet 10
Liggende (mm)	2,8	2,5	3	2,7	3	3	2,8	2,9	2,6	2,7
Stående (mm)	4,5	4,1	4,6	4,5	4,6	4,4	4,5	4,7	4,6	4,3

Tabell 1: Resultat fra måling av størrelsen på plastikkpellets

8.2 Resultat av densitetstest

Vekten av pyknometer + glassplate = 3938,1 g

	Totale masse - med utstyr (g)	Massen av innhold - uten utstyr (g)
Bulkdensitet	4252,9	314,8
Halvparten pellets	4106,9	168,8
Partikkeldensitet	4649,4	711,3
Kun vann	4728,0	789,9

Tabell 2: Oversikt over massen i densitetstest

8.2.1 Volum av pyknometer

$$\text{Formel: } p = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{p} = \frac{0,7899}{1} = 0,7899 \text{ dm}^3$$

Der:

p = densitet (kg/dm^3) (setter den lik densitet til vann som er 1)

m = masse til kun vann (kg) (Se tabell 2)

V = Volum av pyknometer (dm^3)

8.2.2 Bulkdensitet

$$\text{Formel: } p = \frac{m}{V} = \frac{0,3148}{0,7899} = 0,40 \text{ kg}/\text{dm}^3$$

Der:

m = masse til bulkdensitet (kg) (Se tabell 2)

V = Volum av pyknometer (dm³)

p = bulkdensitet (kg/dm³)

8.2.3 Densitet til halvparten pellets

$$\text{Formel: } p = \frac{m}{V} = \frac{0,1688}{0,7899} = 0,21 \text{ kg/dm}^3$$

Der:

m = masse til halvparten pellets (kg) (Se tabell 2)

V = volum av pyknometer (dm³)

p = densitet til halvparten pellets (kg/dm³)

8.2.4 Partikkeldensitet

$$\text{Formel: } p = \frac{m}{V} = \frac{0,7113}{0,7899} = 0,90 \text{ kg/dm}^3$$

Der:

m = masse til partikkeldensitet (halvparten pellets og halvparten vann) (kg) (Se tabell 2)

V = volum av pyknometer (dm³)

p = partikkeldensitet (halvparten pellets og halvparten vann) (kg/dm³)

8.3 Resultat av heftprøve



Figur 32: Heftprøve av plastikkpellets



Figur 33: Heftprøve av steinmateriale

8.4 Lengde og vinkel på stålrør fra Helland silo til Mogensen siktemaskin

Ls (Lengden på stålrør) = 4,5 m

Ho (Starthøyde) = 0,5 m

Hf (Høyde på siktemaskin) = 3,5 m

$$\sin x = \frac{Hf}{Ls} = \frac{3,5}{4,5}$$

$$x = \sin^{-1}\left(\frac{3,5}{4,5}\right) = 51,06$$

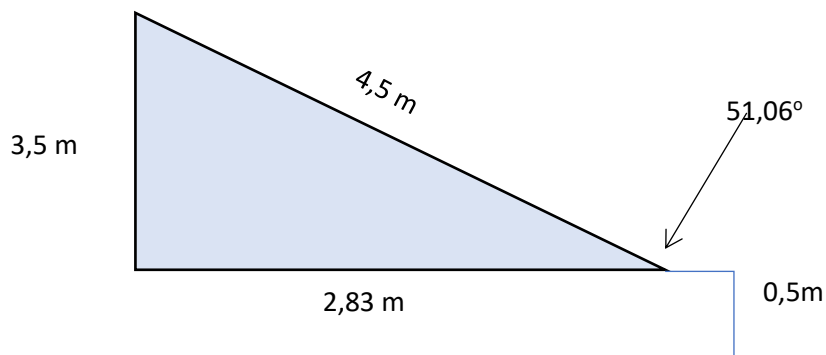
Vinkelen stålrøret må ha fra silo til siktemaskin = 51,06°

Avstanden mellom Helland silo til Mogensen siktemaskin:

$$\cos 51,06 = \frac{x}{4,5}$$

$$x = 4,5 * \cos(51,06) = 2,83$$

Avstanden mellom silo og siktemaskin = 2,83 m



Figur 34: Lengden og vinkel på stålrør fra silo til siktemaskin

8.5 Prosentandel av plastikkpartikler som falt gjennom bitumenåpning på siktemaskin

Masse bøtte: 371,77 g

Masse full bøtte med plastikkpellets (inkludert bøttens masse): 4005,2 g

Massen som falt igjennom (inkludert bøttens masse): 394,36 g

Total masse av pellets: $4005,2 - 371,77 = 3633,43$ g

Masse som kom gjennom: $394,46 - 371,77 = 22,69$ g

$$\text{Prosentandel som kom gjennom: } \frac{22,69}{3633,43} * 10 \% = \underline{0,62\%}$$

8.6 Beregning av sement som må tilsettes i bitumenfatet

Densitet på de ulike materialene:

$$\text{Bitumen} = 1 \text{ kg/dm}^3$$

$$\text{Partikkeldensitet til plast} = 0,9 \text{ kg/dm}^3$$

$$\text{Sement} = 3,1 \text{ kg/dm}^3$$

Trenger 50% av bitumen og plastikkpellets = $(1+0,9)/2 = 0,95 \text{ kg/dm}^3$ → Dette er for lett, og densiteten må være mer enn 1 kg/dm^3 for at plastikkpelleten skal synke i kaldt vann.

Tilsetter 10% sement:

$$10\% \text{ sement} = ((0,1*3,1)+(0,9*1,0)) = 1,21 \text{ kg/dm}^3 \rightarrow \text{Tungdensitet}$$

$$50\% \text{ av tungdensitet + plastikkpellets} = (1,21+0,9)/2 = \underline{1,06 \text{ kg/dm}^3}$$

$$\text{Høyde på fat} = 86 \text{ cm}$$

$$\text{Høyden på toppen av fat til toppen av bitumen} = 25 \text{ cm}$$

$$\text{Høyden på bitumeninnhold} = 86 - 25 = 61 \text{ cm}$$

$$\text{Radius} = \text{diameter}/2 = 56/2 = 28 \text{ cm}$$

$$V_{\text{Bitumen}} = \pi * r^2 * h_{\text{bitumen}} = \pi * 28^2 * 61 = 150243,53 \text{ cm}^3 = 150,24 \text{ l}$$

$$10\% \text{ sement i } 150,24 \text{ l} = \frac{150,24}{0,9} * 0,1 * 3,1 = \underline{51,75 \text{ kg sement}}$$

8.7 Resultat av bitumenperler laget med steinmaterialet



Figur 35: Resultat av bitumenperler laget med steinmateriale

8.8 Resultat av bitumenperler laget med plastikkpellets



Figur 36: Resultat av bitumenperler laget med plastikkpellets

9.Diskusjon

9.1 Observasjon av målinger av plastikkpellets

Det ble tatt ut 10 tilfeldige plastikkpellets for å måle størrelsen. Plastikkpelletsene var kuttet og gradert fint. Som nevnt i tabell 1, så var plastikkpelletene levert av IVAR gjenvinningsstasjon rene, og skjært opp i fine størrelser til bruk i produksjon av bitumenperler. Gjennomsnittsstørrelsen til plastikkpelletene var 2,8 mm liggende og 4,5 mm stående. Som nevnt i punkt 4.2, er den optimale størrelsen for partikler som blir brukt til å lage bitumenperler 5 mm. Dette er for at det skal være enkelt å fuge partiklene i denne størrelsen mellom brosteiner. Ut ifra målingene som ble gjort, er det tydelig at disse plastikkpelletene er i riktig størrelse. Derfor trengs det ikke å gjøre en sikteprøve og kan brukes direkte til å produsere bitumenperler.

9.2 Observasjon av densitetstest

Gjennom denne testen ble det observert densiteten til plastikkpellets. Det ble gjort tre ulike tester for å finne densiteten. De tre ulike testene er bulkdensitet, partikkeldensitet og densiteten til halvparten pellets.

Etter prøvene, er det tydelig at bulkdensiteten er lavere enn antatt. Dette kan ha noe med den lave massen til plastikk pelletene. En annen faktor som kan spille inn, er at det er viktig å stenge av pyknometeret fullstendig for luft, ettersom dette kan påvirke resultatet. Det har også noe å si om hvordan pelletene ligger oppå hverandre, og derfor er det viktig å røre litt rundt før det veies.

Etter testen ble det funnet at partikkeldensiteten var $0,90 \text{ kg/dm}^3$. Dette stemte overens med det som ble forutsett, men etter et besøk hos IVAR gjenvinningsstasjon ble det fortalt at plastikkpelletene som ble utlevert var feilprodusert. I grunn skulle disse pelletene ha en densitet over 1 kg/dm^3 , noe som hadde gjort arbeidet videre litt enklere. I og med at pelletene som ble utlevert har en lavere densitet enn 1 kg/dm^3 , må dette tas i betraktning når det skal produseres bitumenperler.

9.3 Observasjon av heftprøve

Når steinmaterialet og plastikk pelletene blir blandet med bitumen og lager dette som bitumenperler, var det vanskelig å se forskjellen på dem. Umiddelbart når disse ble lagt inn i vannbadet var det lett å gjenkjenne hva som var bitumenperler laget med plastikkpellets og steinmaterial. Måten dette syntes på var at plastikk pelletene fløt på toppen, mens

steinmaterialet sank til bunnen. Dette er fordi massen til steinmaterialet er høyere enn massen til pelletene.

Plastikkpelletene holdt seg ganske bra og løsnet veldig lite fra bitumen, selv etter foss koking. Dette er et positivt resultat for forskningen og det viser at produktet kan brukes i sammenheng med bitumen. Resultatet betyr også at plastikkpelletene tåler varmen som bitumen krever for å lage bitumenperler.

Steinmaterialene holdt seg ikke like bra og løsnet tydelig fra bitumen. Årsaken til dette kan være at grusen som ble brukt til dette var oppbevart ute, og etter mye regn noen dager før forsøket, kan dette ha resultert i at grusen var noe fuktig til å begynne med. Dette kan være grunnen i og med at vann er frastøtende fra bitumen.

9.4 Observasjon ved produksjon av bitumenperler

På produksjonsdagen ble det møtt på mange hindringer som påvirket forsøket betraktelig. Selv om det ble laget en god plan og alt var planlagt fra punkt til prikke, var det likevel en del elementer som forårsaket barrierer.

På produksjonsdagen ble det møtt på utfordringer knyttet til varmen på varmeslangen. Denne utfordringen kom ved at det begynte å ryke fra slangen når den ble oppvarmet. Grunnen til at det begynte å ryke er at varmekablene som var surret rundt slangen, var plassert for tett på hverandre som førte til varmekablene kortsluttet. Dette førte til det ikke var noe varme i slangen som kunne pumpe inn flytende bitumen gjennom bitumensprederen og inn i siktemaskinen. Temperaturen er en faktor som påvirker bitumen. Når temperaturen synker vil bitumen gå fra flytende til fast i konsistensen. Det er utrolig viktig å holde på varmen når det jobbes med bitumen for coating, og uten denne varmen ble slangen tettet og kunne dermed ikke bruke bitumensprederen for å dekke partiklene med bitumen som planlagt. Mangel på tid førte også til at det ikke var noe tid til å demontere slangens varmekabler og sette på nye. En annen løsning er å erstatte den fleksible slangen, med et stålrør som tåler høy varme og ikke trenger like mye mengde med varmekabler. Dette er en tidskrevende løsning som ikke kunne bli utført. For steinmaterialet måtte dette gjøres manuelt ved å helle steinmaterialet i en bønne med bitumen og deretter tømme dette over i siktemaskinen. Dette fungerte i og med at steinen hadde høy nok masse og var tung nok til renne nedover siktemaskinen og ut i vannkaret.

Siden det var tomt for steinmaterialet i laboratoriet, måtte dette siktes ut gjennom sand til 4 mm. Mangel på steinmaterialet gjorde at det ble mer aktuelt og å helle dette over

siktemaskinen, fremfor å bruke siloen og transportskruen til å frakte dette over. Produksjon av steinmaterialet ble forhåpentligvis vellykket selv om det ble gjort manuelt.

For plastikkpelletene var det større problemer. For å få opp densiteten til bitumen ble det tilsatt sement i bitumenfatet. Bitumen begynte å frese når den kom i kontakt med sement, og årsaken til dette er at sementen var litt fuktig. Problemet her var at det ikke var noe som kunne bli brukt til å blande bitumen med sement på en riktig måte slik at de blir fordelt likt og øker densiteten. Pumpestakens rotasjon var det eneste som ble brukt til å blande sementen med bitumen. Det var ikke nok rotasjon i hele fatet fra pumpestaken, noe som førte til at bitumen skilte seg fra sementen og tilslaget la seg på bunnen. Uten hjelp fra slangen som skulle pumpe den ferdigblandete bitumen inn i siktemaskinen, og det ble brukt en bøtte som kun fikk med seg overflatebitumen som lå i fatet, ble ikke densiteten endret. Noen som vil bety at densiteten til bitumen var lik den som ble brukt til steinmaterialet.

Plastikkpelletene ble tømt inn i siloen og ble transportert fint gjennom transportskruen og til siktemaskinen. I og med at pelletene ikke hadde tung nok masse slik som steinmaterialet, og heller ikke nok hastighet og energi gjennom siktemaskinen, klumpet disse seg når det ble blandet med bitumen og tettet igjen siktemaskinenes tunnel.

Fabrikken som ble laget fungerte fint, utenom slangen som skulle pumpe inn bitumen gjennom sprederen. Hele fabrikken er et stort system og når et element svikter, vil det påvirke resten av systemet. Dette førte til at den 3D-printede bitumensprederen ikke ble testet ut, noe som var avgjørende for prosjektets fine flyt.

Planen var å fuge de ferdiglagede bitumenperlene av plastikkpellets og steinmaterialet mellom en brosteinsti laget med betongklosser. I og med at det ikke ble noe bitumenperler av plastikkpellets, og det allerede har blitt gjort tester i tidligere oppgaver om bitumenperler av steinmaterialet som fugemasse, ble det tatt en avgjørelse sammen med veileder om å ikke fuge de ferdig lagede bitumenperlene av stein. Grunnen til det er at planen om å sammenligne de ulike bitumenperlene som fugemasse ikke var mulig å gjennomføre ut ifra resultatet på forsøket.

10.Konklusjon

Plastikk har en stor fremtid innenfor vei, og det er noe som allerede har tatt verden med storm. Med all forurensingsproblemer i verden, kan dette ses på som et godt alternativ å bruke plastikken, hvilket ellers er lite til bruk. I og med at plastikken ikke har noe verdi, vil dette være økonomisk lønnsomt og miljøvennlig.

Bitumen har også en stor fremtid i likhet med plastikk. Det er et veldig godt alternativ til fuging mellom brostein, men det er alltid rom for forbedringer. Varmetap er en nøkkelfaktor når det kommer til produksjon av bitumenperler, noe som ble erfart tydelig gjennom dette prosjektet. I tillegg til dette kan forbedring av fargen gjøre dette enda mer attraktivt på markedet. Utenom dette, er løsningen med bitumen i sammenheng med plastikk et godt alternativ fremfor stein, i og med at dette er ekstremt lønnsomt og i prinsippet fungerer på samme måte som stein.

Ifølge punktene 9.1, 9.2, 9.3 har plastikkpellets de samtlige kvalitetene og egenskapene som trengs for å kunne produsere bitumenperler, og for å bruke dette som fugemasse mellom brostein lik steinmaterialer. Fabrikken som ble laget og satt opp for produksjon er laget på en god måte. Etter de ulike prøvekjøringene og selve produksjonen så er dette et godt utgangspunkt for videre produksjon av bitumenperler. Fabrikken klarte å produsere bitumenperler av steinmaterialet, men ikke av plastikkpellets. Produksjonen gikk ikke helt som planlagt, med tanke på hindringer som oppstod underveis i produksjonen, noe som påvirket resultatet, og fikk derfor ikke utnyttet fabrikken fullt ut. Med noen få endringer, justeringer, riktig utstyr og med god tid, kunne dette tenkes å ha vært et vellykket prosjekt.

Gjennom denne oppgaven har det blitt laget en fabrikk som effektiviserer produksjonen av bitumenperler, og funnet en måte å optimalisere bitumenperler ved å bruke plastikkpellets.

11. Vedlegg

Vedlegg 1

Enkel Identifikasjon av plast



Type	Identifikasjon Brennbart	Flamme	Røyk	Materialet under etter forbrøining
PS	Normalt brennbar	Lysende gul	Osende med sotfakk og lukter søtlig (styren)	Materialet svulmer og drypper ved brenning
PMMA Støpt	Normalt brennbar	Gul med blå kant	Lukter søt, litt fruktig	Blir bløtete og knirker under brenning
PMMA Eksrudert	Normalt brennbar	Gul med blå kant	Lukter søt, litt fruktig	Blir bløtete og drypper.
PVC	Selvslukkende	Gul med grønn kjærne	Rykker mye, silkende luktsom (sallsyre)	Svulmer opp, drypper
A PET	Tungt antennelig/normalt brennbar	Gul flamme	Grå røyk, litt søtlig lukte	Koker, drypper og etter slukking vil en melkevit kant, gradvis komme rundt brannsonen (krystallisering)
PETG	Normalt brennbar	Gul flamme	Grå røyk, litt søtlig lukte	Koker og drypper svarte dråper. Brennkant klar med luftblærer etter brenning.
PC	Tungt antennelig	Skarp gull/lysende flamme	Svart ujevn røyk, soler litt søtlig lukte	Svart forkullet kant, noe blærer.
ABS	Tungt antennelig/normalt brennbar	Gul flamme bli kjærne	Osende med sotfakk, søtlig lukte av styren	Svulmer opp og forkuller
PA	Tungt antennelig/delvis selvslukkende	Blå flamme med gul kant, språkende	Lukter som brennt bomull/litt eller horn	Smelter, skummer og drypper sterkt
PEHD	Normalt brennbar	Lys gul med blå kjærne	Lukte av stearin/parafin	Smeltet materiale blir glasskært
PET	Normalt brennbar	Orange urolig flamme	Rykker mye med søtlig lukte	Soler rundt og på brannstedet.
POM	Normalt brennbar	Svak blå, nesten usynlig	Ikke røyk men silkende lukte (formaldehyd)	Svulmer opp og kan dryppe
PP	Normalt brennbar	Lys gul med blå kjærne	Lukter brennende olje	Svulmer og drypper lett.
PPO	Selvslukkende	Gul og rykende, levendevulrig flamme		Sort aske ved forbrøining.
PUR	Normalt brennbar/selvslukkende	Gul, klar flamme	Silkende/lukke lukte (isocyanat)	Kan dryppe dråper med tråder.
PTFE	NEI! Meget farlig å pusle inn røyken	Spikk at egenvekten er under 1,6 før identifisering med flamme		
PVDF				

ASTRUP AS - Mai 2010



Sikker jobbanalyse (SJA)

Jobb Løfting og flytting av Mogensen siktemaskin, Helland silo og transportskrue, Bacheloroppave	
Sted (romnr, område) L-101	
Kort beskrivelse av arbeidet Løfting og flytting av siktemaskin, silo og transportskrue for produksjon av bitumenperler	<input checked="" type="checkbox"/> Ny/ukjent aktivitet <input type="checkbox"/> Avvik fra eksisterende prosedyrer <input type="checkbox"/> Utføres av personell som ikke kjenner hverandre <input type="checkbox"/> Tilsvarende aktivitet har tidligere ført til ulykke/uønsket hendelse
Risiki forbundet med arbeidet (se liste under)	Tiltak
1. Beveglige og roterende gjenstander/klemfare	De ulike gjenstandene blir løftet med kran. Holder god avstand og er varsom for eventuelle fall.
18. Konstruksjonssvikt	Maskinene blir løftet høyt opp. Undersøker og bruker stropper og kjettinger som tåler ulike vekt slik at det hindres at stropper ryker under løfting.
4. Fall (arbeid over 1,5 meter)	Er plassert gjerder. Stigen for å komme seg ned til første nivå skal stropes fast med gjerdene slik at man unngår at stigen velter ved bruk.
5. Tunge løft/tunge materialer	Sikre og utføre en stabil løfting med stropper og kjettinger for løfting med kran og dobbeltsjekk. Bruke (vernesko)
Avfallshåndtering	
Konklusjon Ble utført på en god og sikker måte uten noen form for ulykker.	
SJA utført av	Ansvarlig for enheten/veileder
Navn (Jeg har gjennomført HMS kurs på nett <input checked="" type="checkbox"/>) Agaash Sivakumar	Navn
Dato/sign 23.02.2021, S.Agaash	Dato/sign
Lærepunkter, hva kan gjøres bedre neste gang, viktige positive erfaringer (fyller ut etter utført jobb)	

- | | |
|--|---|
| 1. Beveglige og roterende gjenstander/klemfare | 11. LASER |
| 2. Skarp gjenstand (kutt, stikk) | 12. Støv, røyk |
| 3. Fallende gjenstand | 13. Brann, eksplosjon, lettantennelige stoffer |
| 4. Fall (arbeid over 1,5m) | 14. Giftige stoffer eller gasser |
| 5. Tunge løft/tunge materialer | 15. Biologiske farer (GMO) |
| 6. Overflater med høy eller lav temperatur | 16. Mangelfull belysning |
| 7. Fare for elektriske støt (arbeid på > 48V) | 17. Værforhold (vind, kulde, redusert sikt, nedbør) |
| 8. Høyt trykk, sprutefare | 18. Konstruksjonssvikt |
| 9. Støy, vibrasjon | 19. Sammenstøt/påkjørsel |
| 10. Ioniserende stråling/radioaktive kilder | 20. Naturhendelser (flom, ras, lynnedslag) |

Sikker jobbanalyse (SJA)

Jobb Sveising av støtte på Mogensen siktemaskin, Bacheloroppgave	
Sted (romnr, område) L-101	
Kort beskrivelse av arbeidet Det skal bli laget støtte til transportskuren. Støtten skal bli kuttet, slepet og sveiset sammen på beina til siktemaskin og holde transportskruen oppe uten hjelp av kran under produksjon.	<input checked="" type="checkbox"/> Ny/ukjent aktivitet <input type="checkbox"/> Avvik fra eksisterende prosedyrer <input type="checkbox"/> Utføres av personell som ikke kjenner hverandre <input type="checkbox"/> Tilsvarende aktivitet har tidligere ført til ulykke/ugnsket hendelse
Risiko forbundet med arbeidet (se liste under) 2. Skarp gjenstand	Tiltak Bruke vernehansker og vernebriller når det blir brukt vinkelsliper. Lett å kutte seg. Må være varsom og oppmerksom. Oppstår gnister og må derfor bruke vernebriller for å sikre øynene for skader. Holde god avstand og planlegge før kutting med vinkelsliper
4. Fall (arbeid over 1 meter)	Transportskuren skal holdes oppe med kran før den blir satt på støtten. Holde avstand og sikre at kranen er låst og står rolig før man begynner å lage støtten og vandre rundt objektet.
6. Overflater med høy temperatur	Blir brukt gassbrenner og sveising for å varme opp stålstengene og sveise dette sammen med beina. Ha på riktig verneutstyr. Ha på maske som sikrer synet under sveising. Sikre gassbrennerens gassflaske før den brukes for å unngå eksplosjon. holde god avstand.
12. Røyk	Åpne opp garasjeport slik at dette ikke blir gjort i et lukket rom. Røyken kommer seg ut slik at den ikke blir stengt inne. Sikre labben og passe på at det ikke er andre aktiviteter samtidig som dette utføres.
9. Støy	Bruke hørselsvern
Avfallshåndtering	
Konklusjon	
SJA utført av	Ansvarlig for enheten/veileder
Navn (Jeg har gjennomført HMS kurs på nett <input checked="" type="checkbox"/> Agaash Sivakumar	Navn
Dato/sign 12.03.2021, S.Agaash	Dato/sign
Lærepunkter, hva kan gjøres bedre neste gang, viktige positive erfaringer (fylles ut etter utført jobb)	

1. Bevegelige og roterende gjenstander/klemfare

2. Skarp gjenstand (kutt, stikk)



Sikker jobbanalyse (SJA)

Jobb Vedheftningstest, Bacheloroppgave	
Sted (romnr, område) L-101	
Kort beskrivelse av arbeidet Tok en heftprøve av plastikkpellets og steinmateriale (grus) for å sjekke hvordan partiklene kleber seg sammen med flytende bitumen.	<input checked="" type="checkbox"/> Ny/ukjent aktivitet <input type="checkbox"/> Avvik fra eksisterende prosedyrer <input type="checkbox"/> Utføres av personell som ikke kjenner hverandre <input type="checkbox"/> Tilsvarende aktivitet har tidligere ført til ulykke/uønsket hendelse
Risiko forbundet med arbeidet (se liste under) 6. Varme, høy temperatur	Tiltak Varmehansker
8. Sprutfare (kokende vann og varmt bitumen)	Vernebriller og kjeledress. Være oppmerksom/varsom. Holde god avstand.
5. Tunge løft (løfting av varmeovn)	Bruke vernesko i tilfelle objekter faller på foten. Være minst to for å løfte, slik at det blir mindre blastning.
Avfallshåndtering Bitumen som blir brukt til dette forsøket vil bli kastet i det avfallet som passer. Resten av materialet skal bli rensed med whitesprit og ryddet vekk etter bruk.	
Konklusjon Er en rask og enkel test for å sjekke hvordan de ulike tilslagene hefter seg sammen med varm bitumen for å lage bitumenperler. Må være rask når man blander tilslaget med varmt bitumen i og med at bitumen stivner raskt i romtemperatur. Testen ble utført på riktig måte og det ble gode resultater som kan brukes videre i oppgaven.	
SJA utført av	Ansvarlig for enheten/veileder
Navn (Jeg har gjennomført HMS kurs på nett <input checked="" type="checkbox"/> Agaash Sivakumar	Navn
Dato/sign 08.03.2021, S.Agaash	Dato/sign

Lærepunkter, hva kan gjøres bedre neste gang, viktige positive erfaringer (fyller ut etter utført jobb)
Steinmaterialene var oppbevart ute, og etter mye regn dagene før var de litt fuktige før testing. Vann kleber seg ikke med bitumen. Kunne derfor ha planlagt litt bedre og oppbevart grusen inne slik at den ikke ble fuktig.

- | | |
|---|---|
| 1. Bevegelige og roterende gjenstander/klemfare | 12. Støv, røyk |
| 2. Skarp gjenstand (kutt, stikk) | 13. Brann, eksplosjon, lettantennelige stoffer |
| 3. Fallende gjenstand | 14. Giftige stoffer eller gasser |
| 4. Fall (arbeid over 1,5m) | 15. Biologiske farer (GMO) |
| 5. Tunge løft/tunge materialer | 16. Mangelfull belysning |
| 6. Overflater med høy eller lav temperatur | 17. Værforhold (vind, kulde, redusert sikt, nedbør) |
| 7. Fare for elektriske støt (arbeid på > 48V) | 18. Konstruksjonssvikt |
| 8. Høyt trykk, sprutfare | 19. Sammenstøt/påkjørsel |
| 9. Støy, vibrasjon | 20. Naturhendelser (flom, ras, lynnedslag) |
| 10. Ioniserende stråling/radioaktive kilder | 21. Arbeid i tanker/oksygenmangel |
| 11. LASER | 22. Drukningfare |

Sikker jobbanalyse (SJA)

Jobb Flytting/løfting av pumpestake og ramme til vannkar, Bacheloroppgave	
Sted (romnr, område) L-101	
Kort beskrivelse av arbeidet Flytting og løfting av pumpestake, og ramme til vannkar. Pumpestake må settes inn i fat med oppvarmet bitumen.	<input checked="" type="checkbox"/> Ny/ukjent aktivitet <input type="checkbox"/> Avvik fra eksisterende prosedyrer <input type="checkbox"/> Utføres av personell som ikke kjenner hverandre <input type="checkbox"/> Tilsvarende aktivitet har tidligere ført til ulykke/uønsket hendelse
Risiki forbundet med arbeidet (se liste under) 5.Tunge løft/tunge materialer	Tiltak Alt av tunge løft blir gjort med kran og holder god avstand
1.Bevegelige og roterende gjenstander	Holde god avstand og være varsom
6.Overflate med høy temperatur	Bruker riktig verneutstyr som varmhansker og kjeledress
8.Høyt trykk, sprutfare	Bruker støvler
Avfallshåndtering	
Konklusjon	
SJA utført av	Ansvarlig for enheten/veileder
Navn (Jeg har gjennomført HMS kurs på nett <input checked="" type="checkbox"/>) Agaash Sivakumar	Navn
Dato/sign 29.04.2021, S.Agaash	Dato/sign
Lærepunkter, hva kan gjøres bedre neste gang, viktige positive erfaringer (fyller ut etter utført jobb)	

- | | |
|---|---|
| 1. Bevegelige og roterende gjenstander/klemfare | 12. Støv, røyk |
| 2. Skarp gjenstand (kutt, stikk) | 13. Brann, eksplosjon, lettantennelige stoffer |
| 3. Fallende gjenstand | 14. Giftige stoffer eller gasser |
| 4. Fall (arbeid over 1,5m) | 15. Biologiske farer (GMO) |
| 5. Tunge løft/tunge materialer | 16. Mangelfull belysning |
| 6. Overflater med høy eller lav temperatur | 17. Værforhold (vind, kulde, redusert sikt, nedbør) |
| 7. Fare for elektriske støt (arbeid på > 48V) | 18. Konstruksjonssvikt |
| 8. Høyt trykk, sprutfare | 19. Sammenstøt/påkjørsel |
| 9. Støy, vibrasjon | 20. Naturhendelser (flom, ras, lynnedslag) |
| 10. Ioniserende stråling/radioaktive kilder | 21. Arbeid i tanker/oksygenmangel |
| 11. LASER | 22. Drukningfare |



Sikker jobbanalyse (SJA)

Jobb Produksjon av bitumenperler, Bacheloroppgave	
Sted (romnr, område) L-101	
Kort beskrivelse av arbeidet Pumping av flytende bitumen fra fat til siktemaksin	<input checked="" type="checkbox"/> Ny/ukjent aktivitet <input type="checkbox"/> Avvik fra eksisterende prosedyrer <input type="checkbox"/> Utføres av personell som ikke kjenner hverandre <input type="checkbox"/> Tilsvarende aktivitet har tidligere ført til ulykke/uønsket hendelse
Risiki forbundet med arbeidet (se liste under) 4. Fall (arbeid over 1,5 m)	Tiltak Montering av gjerder.
6. Overflate med høy temperatur	Bruker riktig verneutstyr (varmehansker).
8. Høyt trykk, sprutfare	Holde god avstand og bruke vernebriller. Det er også fare for søl som gjør at man må ha på kjeledress og støvler.
13. Brannfare, lettantennelige stoffer	Ha brannslukker og vannslange lett tilgjengelig
5. Tunge løft	Alt av tunge løft vil bli gjort med hjelp av kran
Avfallshåndtering Bitumen som blir brukt til dette forsøket vil bli kastet i avfall som passer. Andre utstyr vil bli vasket og rensset etter bruk.	
Konklusjon	
SJA utført av	Ansvarlig for enheten/veileder
Navn (Jeg har gjennomført HMS kurs på nett <input checked="" type="checkbox"/> Agaash Sivakumar	Navn
Dato/sign 28.04.2021, S.Agaash	Dato/sign
Lørepunkter, hva kan gjøres bedre neste gang, viktige positive erfaringer (fylles ut etter utført jobb)	

- | | |
|---|---|
| 1. Bevegelige og roterende gjenstander/klemfare | 12. Støv, røyk |
| 2. Skarp gjenstand (kutt, stikk) | 13. Brann, eksplosjon, lettantennelige stoffer |
| 3. Fallende gjenstand | 14. Giftige stoffer eller gasser |
| 4. Fall (arbeid over 1,5m) | 15. Biologiske farer (GMO) |
| 5. Tunge løft/tunge materialer | 16. Mangelfull belysning |
| 6. Overflater med høy eller lav temperatur | 17. Værforhold (vind, kulde, redusert sikt, nedbør) |
| 7. Fare for elektriske støt (arbeid på > 48V) | 18. Konstruksjonssvikt |
| 8. Høyt trykk, sprutfare | 19. Sammenstøt/påkjørsel |
| 9. Støy, vibrasjon | 20. Naturhendelser (flom, ras, lynnedslag) |
| 10. Ioniserende stråling/radioaktive kilder | 21. Arbeid i tanker/oksygenmangel |
| 11. LASER | 22. Drukningfare |

Vedlegg 7

Date updated: 29.03.2021



Receiver: UIS - Institutt for maskin, bygg og materialteknologi
Receiver Address: Kjell Arholms gate, 4021 Stavanger

Supplier: IVAR Etersorteringsanlegg Forus
Supplier Address: Forusbeem 198, 4313 Sandnes

Basic information				
Material ID/reference	Material type	Production date	Collection date	Comment
0019_21	LDPE 120µm	2021-02-(09-17)	2021-02-10	See commentary field

<p>Description/Comment: LDPE 120µm granulate plastics from recycled waste material, specific material results</p> <p>Moisture and Bulk density results were acquired through testing of raw granulate material in its storage condition.</p> <p>Note: All test-pieces from the materials that are molded are set to cure/harden for 48-72 hours before mechanical tests are performed where curing time will have an influence on the material properties. Mechanical tests on materials are performed on test-pieces at an approximate of 23 °C / 73,4 °F</p> <p>All material results provided by: IVAR Etersorteringsanlegg Forus - Forusbeem 198, 4313 Sandnes</p>
--

Typical values					
Properties		Unit (SI)	Values	Deviation	Test methods
Moisture and Density					
Density of test specimen		g/cm ³	0,966	± 0,001	Mass/Volume by Archimedes principle
105 °C Moisture analysis	(end of reading at less < 0,02% / 240s)	g	0,21 %	±	Drying
160 °C Moisture analysis	(end of reading at less < 0,02% / 180s)	g	0,40 %	±	
Bulk Density		g/dm ³ or Kg/m ³	351	±	Mass/Volume
Polymer properties					
Melt flow rate (MFR)					ISO 1133,09/2005
at 190 °C and 2.16 kg	Average value of the melt mass-flow rate	g / 10 min	1,33	±	
Melt Volume Flow Rate (MVR)					
at 190 °C and 2.16 kg	Average Value of the melt volume flow-rate	cm ³ / 10min	1,70	±	
Mechanical properties					
Tensile test					
Tensile Modulus	(1)	E_c Mpa	211	± 12,6	DIN EN ISO 527 - 1, 06/2012
Yield strength	(2)	σ_y MPa	14,3	± 0,072	
Yield strain	(3)	ϵ_y %	350	± 6,1	
Tensile strength	(4)	σ_m MPa	14,3	± 0,072	
Strain at tensile strength	(5)	ϵ_{ms} %	350	± 6,1	
Elongation	(6)	ϵ_{tb} %	360	± 6,6	
Charpy test					
Charpy Impact Notched	at 23 °C	ak kJ / m ²	58,57 NB	± 1,71	ISO 179-1, 2010
Charpy Impact Unnotched	at 23 °C	ak kJ / m ²	52,23 NB	± 2,29	
Type of failure (Majority)	Complete/Partial/Hinge/None	Complete/Partial/Hinge/None	None Break		

Melting point			
General		Injection molding (used)	
Celsius °C	Fahrenheit °F	Celsius °C	Fahrenheit °F
105 - 115	221 - 239	180 - 280	355 - 535

Referanser

- [1]. G Industri AS. (2021, 01 28). *Bitumen bullets – Et bærekraftig valg*. Siri Galland Grønli, John Charles Grønli.
- [2] Store norske leksikon. (2018, November 24). Store norske leksikon. Hentet fra Bitumen: <https://snl.no/bitumen>
- [3] Read, J., & Whiteoak, D. (2003). *The Shell Bitumen Handbook Fifth Edition*. London: Thomas Telford Publishing.
- [4] BA Forlaget. (1996). *Asfalt Boka*. BA Forlaget.
- [5] White, D. G. (2019). *Objective evaluation of the practical benefits Asphalt Binders Modified With Recycled Plastic*. Storbritannia: MacRebur.
- [6] Brightside. (2021, 03 10). Brightside. Hentet fra *A New Kind of Asphalt Road Has Appeared. It's Made From Plastic Bottles and Can Last 10 Times Longer: A New Kind of Asphalt Road Has Appeared. It's Made From Plastic Bottles and Can Last 10 Times Longer*
- [7] Gjenvinningsstasjon, I. (2021, 02 03). Informasjon om produksjon av plastikkpellets. (A. Sivakumar, Intervjuer)
- [8] Sawakinome. (2021, 05 20). Hentet fra Forskjellen mellom tetthet og bulkdensitet: <https://no.sawakinome.com/articles/physics-science-nature/difference-between-density-and-bulk-density.html>
- [9] Lovdata. (2020, 12 30). Lovdata. Hentet fra Lov om arbeidsmiljø, arbeidstid og stillingsvern: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2005-06-17-62>
- [10] Andersen, I. (2015, 07 16). TU. Hentet fra *Her vil de lage vei av resirkulerte plastveier*: <https://www.tu.no/artikler/her-vil-de-lage-vei-av-resirkulerte-plastflasker/197000>
- [11] Skatvedt, R. (2014, 02). Hentet fra *RS Densitet Artikkel*: <https://nfogm.no/wp-content/uploads/2014/02/RS-Densitet-artikkel-NFOGM.pdf>
- [12] Statens Vegvesen. (2015). *Alkalireaksjoner - Feltforsøk med overflatebehandling*. 2015.
- [13] Helland Silosystem. (2021). *Helland Silo*. Hentet fra *Sekketrakt - Fylling fra småsekk*.

[14] Fronius. (2021, 04 30). Hentet fra Hva er MIG/MAG-sveising:

<https://www.fronius.com/nb-no/norway/sveiseteknikk/verden-av-sveising/migmag-sveising>

[15] Sasol. *Sasobit Redux Product Information – Sasol*. Sasol. Hentet fra: [Sasobit-REDUX-Product-information-Oslo-100120.pdf](#)

Bildereferanse

[Figur 1] Bildet er hentet fra: K, Hysten og A, Sundli. 2017. *Produksjon og oppvarming av bitumenperler i brosteinsfuger*, (Bacheloroppgave, Universitet i Stavanger). K, Hysten og A, Sundli, Stavanger.

[Figur 2] Bildet er hentet fra: [A New Kind of Asphalt Road Has Appeared. It's Made From Plastic Bottles and Can Last 10 Times Longer \(brightside.me\)](#)

[Figur 6] Bildet er hentet fra: A, Krishnasothy. 2020. *Optimalisering av produksjon og distribusjon av bitumenperler til brostein*, (Bacheloroppgave, Universitet i Stavanger). A. Krishnasothy, Stavanger.

