



# NTNU

Norwegian University of  
Science and Technology

**NTNU i Gjøvik - Avdeling for Teknologi, økonomi og ledelse**

**Ingeniørfag – Maskin**

**Bacheloroppgave 2016**

## **Utfordringer ved bruk av tre – resirkulert plast kompositt på norsk jernbane**

Utvikle jernbanesvillen til å bli et bærekraftig produkt ved bruk av  
komposittmaterialer og produksjonsmetoden varmpressing

Forfatter:

Amjed Naji

Dato:

18.05.2016

# Sammendrag

Tittel:	Utfordring ved bruk av kompositt sviller på norsk jernbane
Dato:	18.5.2014
Forfattere:	Amjed Naji
Veiledere:	Henning Johansen
Oppdragsgiver:	Nasjonalt Senter for Komposittkompetanse
Kontaktpersoner:	Harald B. Jøsendal og Iver E. Jensen
Nøkkelord:	Jernbanesviller, bærekraftighet, tre – resirkulert plast kompositt. varmpressing, Elementmetoden
Antall vedlegg:	12

## **Kort beskrivelse av bacheloroppgaven:**

Målet med prosjektet er å utvikle jernbanesvillen til å bli et bærekraftig produkt ved bruk av komposittmaterialer og produksjonsmetoden varmpressing. Prosjektet vil fokusere på utfordringer ved bruk av tre – resirkulert plast komposittsviller på norsk jernbane. Det Nasjonale senteret for komposittkompetanse har foreslått denne kompositten med produksjonsmetode «varmpressing» for å produsere bærekraftig jernbanesviller. Komposittsviller skal testes og den statiske kapasiteten vil bli målt i forhold til dagens betongsviller. Beregningene er utført med Elementmetoden. Både komposittsviller og betongsviller testes ved de samme kravene og spesifikasjonene for å finne forandringer i nedbøying og spenning. Resultatene vil analyseres og diskuteres for å vurdere bruken og bærekraftigheten til de komposittsvillene. Resultatene er beregnet etter standarder og kraver for JBV. De komposittsvillene vil ikke tåle lastekraven til dagens betongsviller. Derfor skal den statiske kapasiteten til jernbanesvillen reduseres kraftig dersom de svillene settes i bruk og dette vil påvirke svillens bærekraftighet.

# Abstract

Title: Challenges using composite sleepers on Norwegian railway

Date: 18.5.2016

Participant: Amjed Naji

Supervisors: Henning Johansen

Employer: Norwegian Composite Center

Contact person: Harald B. Jøsendal and Iver E. Jensen

Keywords: Railway sleepers, sustainability, wood - recycled plastic composite.  
hot pressing, Finite Element Method

Number of appendix: 12

## Short description of the bachelor thesis

The objective of this project is to develop the railway sleepers into a sustainable product using composite materials and the production method hot-pressing. The project will specialize in the challenges of using the wood - recycled plastic composite sleepers in the Norwegian railway. The Norwegian Composite Center has suggested this composite and production method «hot pressing» to produce sustainable railway sleepers. Composite sleepers will be tested to calculate the static capacity compared to the current concrete sleepers. The calculations are performed with Finite Element Method. Both composite sleepers and concrete sleepers are tested by the same requirement and specification to find any changes in the deflection and tension. The results will be analyzed and discussed in order to evaluate the composite sleeper's feasibility and sustainability. The results are calculated by the requirements of Jernbaneverket and the standard. The composite sleepers will not fulfill the load requirement of today's concrete sleepers. Therefore, will the static capacity of these sleepers be decreased and that will affect the sleepers' sustainability.

# Forord

Dette prosjektet er utført ved avdelingen for teknologi, økonomi og ledelse på NTNU i Gjøvik ved studieprogrammet ingeniørfag – Maskin. Oppdragsgiver for oppgaven er Nasjonalt Senter for Komposittkompetanse (NSK). Jeg vil takke min veileder Henning Johansen ved NTNU i Gjøvik for gode råd og effektive veiledning.

Jeg vil også rette en stor takk til oppdragsgiver Harald B. Jøsendal, Prosjektleder ved NSK og Iver E. Jensen, daglig leder ved NSK for en spennende og lærerik oppgave. Jensen har også bidratt med god informasjon og oppmuntrende møte.

I tillegg takker jeg Alf Helge Løhren Fra Jernbaneverket for god informasjon om jernbanesvillers standard og krav i Norge.

Prosjektet har gitt meg et godt unikt innblikk i industriell designens prosess og den har også gitt meg en kunnskap som jeg vil ta med videre i arbeidslivet.

# 1 Innholdsfortegnelse

2	Innledning.....	7
2.1	Organisering av rapporten .....	7
2.2	Presentasjon av oppdragsgiver .....	7
3	Oppgaven.....	8
3.1	Bakgrunn .....	8
3.2	Prosjektmål .....	8
3.3	Problemstilling .....	8
3.4	Avgrensning .....	9
3.5	Fremgangsmåte .....	9
3.6	Definisjoner .....	10
4	Teori .....	11
4.1	Jernbanesviller.....	11
4.2	Kompositt .....	12
4.3	WPC (Wood Plastic Composite).....	13
4.3.1	Polyetylen (PE).....	14
4.3.2	TRE .....	15
4.4	Varmpressing.....	16
4.5	Teknologiutvikling av Kompositt jernbanesviller i verden.....	18
4.6	Standard for jernbanesviller i Norge NS – EN 13230 .....	20
5	Metode.....	22
5.1	Elementmetoden .....	22
5.2	Beskrivelse og forutsetninger .....	23
5.3	Forutsetninger på Solidworks .....	26
6	Resultat.....	28
7	Diskusjon.....	32
7.1	Resultat.....	32
7.2	Prosjektmål .....	32
7.3	Last .....	32
7.4	Datavariabel.....	32
7.5	Teoretisk resultat .....	33
7.6	Sammenligningsanalyse .....	33
7.7	E – modul og densitet .....	34
7.8	Kvaliteten av Resultatene .....	34

7.9	Mekaniske egenskaper.....	35
7.10	Utmatting.....	35
7.11	Effekten på norsk jernbane.....	35
7.12	Miljø.....	35
7.13	Økonomi.....	35
7.14	Bærekraftighet.....	36
7.15	Videre arbeid.....	36
8	Konklusjon.....	37
9	Kilder.....	38
9.1	Litteraturliste.....	38
9.2	Støttelitteratur.....	40
10	Vedlegg.....	41
10.1	Vedlegg 1 – oppdragsavtale.....	41
10.2	Vedlegg 2 E-mail JBV 16.02.2016.....	43
10.3	Vedlegg 3 E-mail NSK.....	44
10.4	Vedlegg 4 E-mail NSK.....	45
10.5	Vedlegg 5 E-mail.....	46
10.6	Vedlegg 6 møtereferat Iver Jensen.....	47
10.7	Vedlegg 7 Varmpressing.....	48
10.8	Vedlegg 8 kompositt jernbanesviller typer.....	49
10.9	Vedlegg 9 JBV betongsviller Meste brukte typer.....	50
10.10	Vedlegg 10 betong.....	53
10.11	Vedlegg 11 Gantt – diagram.....	54
10.12	Vedlegg 12 medforfatterdeklarasjon.....	55

## 2 Innledning

### 2.1 Organisering av rapporten

Bacheloroppgaven inneholder hovedkapitlene; innledning, teoretisk grunnlag, metode, resultater og diskusjon med konklusjon. Innledningen forklarer bakgrunnen for oppgaven og hva som er målet med dette prosjektet. Teoretisk grunnlag ser på teorien som ligger til grunn og metoden forklarer hvordan vi har kommet frem til resultatet. Teorien omhandler jernbanesviller, varmpressing, standarder, kompositter og kompositt jernbanesviller. Resultatet består av en analyse av komposittsviller og beregninger gjort ved hjelp av Elementmetoden og blir presentert gjennom bilder og tabeller. Diskusjonen til slutt oppsummerer oppgaven og vi begrunner de valgene vi har gjort underveis. På vedleggene 3,4.5 er det e-mailet fra NSK. Møtereferat med Iver Jensen fra NSK er vedlegg 6. Vedlegg 2 er e-mail fra JBV. Vedlegg 7 er tegning av varmkammer maskin. Vedlegg 9 er standard jernbanesvillene fra JBV. Vedlegg 8 er tabellen for egenskaper til ulike typer av komposittsviller fra en tidligere studie. Vedlegg 10 er betong egenskapene fra en tidligere studie. På vedlegger 1, 11 og 12 er oppdragsavtale, Gantt skjema og medforfatter deklarasjonen for dette prosjektet.

### 2.2 Presentasjon av oppdragsgiver

Nasjonalt Senter for Komposittkompetanse (NSK) er en næringsdrivende stiftelse som har et mål som er å fremme næringsutviklingen i Norge basert på avanserte komposittmaterialer. NSK leverer tjenester til industri, myndigheter og kompetansemiljøer. Stiftelsen er etablert av Innovasjon Norge etter initiativ fra Nærings- og Handelsdepartementet i 2007. NSK tilbyr kompetanse på avanserte komposittmaterialer innenfor materialer, prosess, design og beregninger. Stiftelsen har sitt hovedkontor i Mustad Næringspark i Gjøvik.

## 3 Oppgaven

### 3.1 Bakgrunn

Norge har et mål å bli et bærekraftig samfunn og derfor har regjering utgitt «Norges strategi for bærekraftig utvikling» i 2007. Regjeringen skal utføre små og store endringer for at Norge skal bli et bærekraftig samfunn. Jernbanen er et viktig verktøy for moderne samfunn. En bærekraftig jernbane vil være en fordel for senere generasjoner. Svillene er en viktig støtte del av jernbanen og det er flere tidligere forsøk på å produsere bærekraftige sviller rundt i verden. NSK ønsket at vi skal undersøke om det er mulig å utvikle jernbanesviller til å bli et bærekraftig kompositt produkt for å erstatte dagens betongsviller.

### 3.2 Prosjektmål

Målet med prosjektet er å undersøke om vi kan utvikle bærekraftige jernbanesviller som kan erstatte dagens betongsviller ved bruk av tre – resirkulert plast kompositt og produksjonsmetode «varmpressing». Oppgavens objekt vil være jernbanesvillen. Den blir utsatt for to aksellaster fra jernbaneskinnene og overfører lasten nede til undergrunn. Designen av svillen og lastekraven vil følge JBV standard for betongsviller EN – 13230. Den statiske kapasiteten til jernbanesviller forandres ved benyttelse av tre – resirkulert plast i forhold til dagens betongsviller. Derfor vil den statiske kapasiteten være den teoretiske variabelen for oppgaven for å undersøke utfordringer ved komposittsviller på norsk jernbane. Jernbanesvillen simuleres i ANSYS for å finne de kritiske områdene og beregne den statiske kapasiteten ved hjelp av Elementmetoden. Resultater analyseres og diskuteres for å betrakte utfordringer ved komposittsviller.

### 3.3 Problemstilling

Bacheloroppgavens problemstilling er «*Hvordan kan jernbanesvillen utvikles til et bærekraftig produkt ved bruk av komposittmaterialer og varmpressing?*»

Oppgaven tar for seg analyseringen av tre – resirkulert plast komposittsvillers egenskaper, bærekraftighet, fordeler og ulemper og beskrive produksjonsmetoden varmpressing. Videre skal det utføres en sammenligningsanalyse av både komposittsvillen og betongsvillen ved bruk av Elementmetoden for å beregne forandringer i nedbøying. Denne forandringen vil analyseres og diskuteres for å finne om jernbanesviller kan utvikles til et bærekraftig produkt ved bruk av komposittmaterialer og varmpressing.



### 3.4 Avgrensning

NSK ønsker en teoretisk studie av hvordan kan jernbanesville utvikles til et bærekraftig produkt ved bruk av komposittmaterialer. Komposittmaterialer består av et Matrix som er resirkulert plast - polyetylen (PE) og tre - flis som legges som fragmenter/ chips uorganisert inn i Matrix. NSK ønsker også at produktet skal produseres gjennom varmpressing.

Dette prosjektet skal gjennomføre en teoretisk studie av foreslått tre – resirkulert plast kompositt materialer og produksjonsmetode (varmpressing) og vurdere om de kan brukes til produktet. Dette utføres ved å undersøke om komposittsviller tåler kravene og spesifikasjonene til dagens betongsviller. Jeg kommer ikke til å kjøre en økonomisk eller teknisk studie fordi jeg ikke har tilgang til nødvendige ressurser. Jeg kommer til å studere materialenes egenskaper, styrke og produksjonsmetode og deretter vurdere om de passer til produktets kraver og spesifikasjoner.

Videre skal miljøpåvirkninger og økonomisk lønnsomhet av den tre – resirkulert plast komposittsvillen diskuteres for å evaluere svillens bærekraftighet.

### 3.5 Fremgangsmåte

For å løse denne oppgaven og komme frem til mulige løsninger på problemstilling, vil jeg gjennomføre litteraturstudie for å finne teoretisk kunnskap om jernbanesviller, tre – resirkulerte plast kompositten og produksjonsmetode (varmpressing). Deretter skal den alternative komposittsvillen analyseres. Videre utføres FEM analyse av betongsvillen og den alternative komposittsvillen på ANSYS dataprogram. Deretter utfører jeg sammenligningsanalyse av de to. Resultat sammenlignes og diskuteres i forhold til dagens kraver og spesifikasjoner til produktet og trekke konklusjoner.

## 3.6 Definisjoner

### **JBV**

Jernbaneverket er det offentlige forvaltningsorganet som har ansvaret for norsk jernbanens infrastruktur og drift av jernbaneanleggene.

### **Jernbanesviller**

De er bjelker som jernbaneskiner er festet i og de brukes for å støtte jernbane og balansere lasten.

### **Bærekraftighet**

Det er en levemåte som går ut på å dekke dagens behov uten å redusere muligheten for at nest kommende generasjoner klarer å dekke sine egne behov. Vi bruker bærekraftighet i produktutvikling til å velge miljøvennlige materialer og produksjon, bestemme levetid, resirkulering og produksjonsregion.

### **NS – 13230: 2009**

Norsk standard Jernbane - Spor - Sviller og underliggere av betong

# 4 Teori

## 4.1 Jernbanesviller

Jernbanesville er en bjelke som festes under jernbaneskinner. Den hoved funksjonen til jernbanesviller er å fordele krefter fra skinner (tog last) på bakken. Jernbanesviller er viktig for å holde jernskinnene på plass for å bidra til mer sikkerhet til tog transport.

Jernbanesviller produseres ifra forskjellige materialer, og den første brukt materiale er tre. Tre- jernbanesviller er en økonomisk løsning som er også en praktisk løsning for jernbaner i de fleste land. Det ble utviklet jernbanesviller i andre materialer enn tre slik som betong, stål og jern på grunn av ønske om bedre mekaniske egenskaper.

Hvilken type jernbanesviller som blir brukt er basert på kostnader per sville, vedlikeholdskostnader og levetid av jernbanespor. Den er også basert på mekaniske egenskapene, Elastisitet og sporing / re – sporing av jernbanesviller.



### **Betongsviller**

Fordeler:

- Sterk og stabilt på jernbane spor [www.colourbox.com](http://www.colourbox.com)
- Lang levetid – 50 år
- Knekkmotstander
- Lett å vedlikeholde
- Er ikke utsatt for korrosjon p.g.a brann eller insekter
- Bedre mekaniske egenskaper

Ulemper:

- Håndtering og demontering er vanskelig
- Tungt – vanskelig å transportere
- Ikke skrap verdi
- Ikke miljøvennlig produkt på grunn av høy CO<sub>2</sub> utslipp under produksjon (NSK)
- Høy pris

(Chandra og Agarwal 2007)

## 4.2 Kompositt

Kompositt er et sammensatt material som består av to eller flere heterogene materialer. En av de materialene er matriks som danner grunnmaterialet i komposittet. Sammen med matriksen er det blandet en eller flere materialer som er med på å gi de ønskelige egenskapene til komposittet.

Komposittet ble utviklet før flere tusen år. Det ble blandet armerings elementer med jern i sverdene i Damaskus og egypterne har også brukt armerings elementer på Pyramidens mursteiner.

I de siste 100 årene ble det en stor utvikling i kompositt teknologi. Bruken av kompositt i industri har bare vært svært viktig i de siste 10 – 15 årene. Dette kommer av behovet for bedre mekaniske egenskaper og den store forskningen og utviklingen av kompositt teknologi og produksjonsmetoder.

Det er flere fordeler med å bruke kompositt materialer i industrien. Mange kompositter har lavere vekt og bedre styrke i forhold til andre materialer. Sammensetting av de ulike materialene i et kompositt med passende struktur vil gi et godt industrielt material.

Strukturen av kompositt kan utformes på ulike måter for å tilpasse flere ulike konstruksjoner. Fibrene kan legges i hvilken som helst retning. Dette gjør at materialet kan utformes etter de ønskelige egenskapene i forhold til blant annet strekk, trykk og vridning.

Kompositt materialer deles inn i tre grupper etter hva som er dets matriks, metall matriks (MMC), keram matriks (CMC) og plast matriks (PMC).

Den meste brukte gruppen i dag er komposittene med plast som matriks (PMC). Selv om bruken av keram- og metallbaserte kompositter øker innenfor enkelte områder, er det fortsatt plastbasert kompositt som utgjør den viktigste gruppen i dagens produksjon av kompositter på grunn av de gode mekaniske egenskaper til plast polymere. Egenskapene til plastbasert kompositt varierer etter hvilket forsterkningsmateriale som blandes i komposittet. De meste brukte forsterkningsmaterialene er glass, karbon og karbamid, men det brukes også andre polymere som polyetylen og polyester. Disse forsterkningsmaterialene blandes sammen med matriksen i form av fibre. Lengden på fibrene kan være korte eller lange, noe som gir ulike egenskaper til komposittmaterialet. (Johansen 2008)

### 4.3 WPC (Wood Plastic Composite)

Tre – plast kompositt består av tre som fibre eller partikler som blir settet inn i termoplast som er en kontinuerlig matriks. Termoplaster er slik som polyetylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS) og polyvinylklorid (PVC).

Fordeler:

- Motstandsdyktig mot bio-nedbryting
- Mindre vann absorpsjon enn tre
- Økende styrke og stivhet etter økning av tre-innhold
- Kan bli bærekraftig materiale fordi den kan produseres av resirkulert plast og tre avfall fra treindustrien
- Kan lett formes til hvilken som helst form

Ulemper:

- Brannbart material
- Lavere styrke og stivhet enn tre alene

(Wolcott og Englund 2001)

I dette prosjektet skal det brukes en kompositt av polyetylen (PE) som matriks og den skal blandes med tre fibre (flis) som forsterkningsmateriale. Fibre skal være uorganisert og spredt på matriksen. Materialene skal blandes sammen med varme og danne et mikset material som kan presses eller støypes til formen av jernbanesville. På grunn av denne blanding vil kompositten ha en felles E modul for alle retninger og tåle alle typer belastninger. Vanlig blandingsforhold i plast kompositt miks material er 40 % plast og 60 % forsterkningsmaterial. Det skal brukes 40 % resirkulert plast (PE) og 60 % tre – flis. NSK forslår at tre – plast kompositt skal ha nesten samme mekaniske egenskaper til Polyetylen (PE). Resirkulert plast skal skaffes fra brukte flaske korker på avfall, mens tre – flis kommer fra skog/tømmer. Dette er tømmer som normalt ikke ville blitt tatt ut av skogen. Flisen som skal brukes skal være som chips/fragmenter. Flisen er veldig tørr, og har derfor høy vann- absorpsjon, men når den er støpt inn i PE plast har den ikke mulighet til å trekke til seg vann. (NSK – vedlegger 3,4,5,6 og samtaler)

### 4.3.1 Polyetylen (PE)

Polyetylen er det mest brukte plastmateriale i dag. Den har den enklest molekylstrukturen i plastmateriale. Figuren viser den enkle strukturen som består av to karbon atomer og 4 hydrogen atomer.

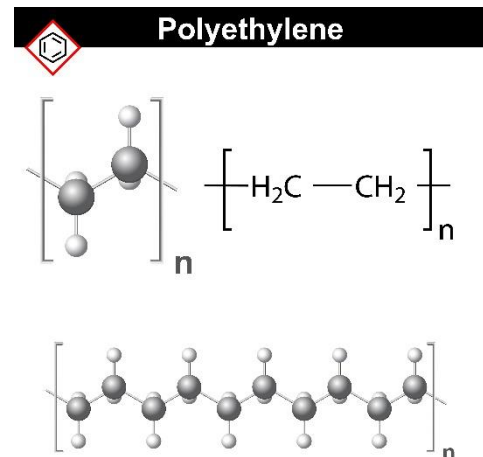
Polyetylen deles i to typer basert på produksjonsmetode. Den første er LDPE (Low density polyetylen) eller lav densitet polyetylen, mens den andre er HDPE (High density polyetylen) eller høy densitet polyetylen.

På produksjon av LDPE skjer polymerisasjonen ved svært høy trykk 1000 – 2000 bar og temperatur på 100-250°C og en initiator som er peroksid. HDPE produseres ved lav trykk (mindre enn 50 bar) med ekstremt reaktiv katalysator. LDPE og HDPE har forskjeller når det gjelder densitet og mekaniske egenskaper.

Tabellen viser forskjellen i egenskapene:

Egenskap	HDPE	LDPE
Tettleik kg/dm <sup>3</sup>	0.935 – 0.965	0.915 – 0.940
Krystallinitetsgrad %	60 - 80	40 – 55
Glasstemperatur (T <sub>g</sub> ) °C	-120	-120
Smeltetemperatur (T <sub>m</sub> ) °C	130 - 140	105 – 125
Molekylvekt	100 000	20 – 50 000
Smelteindeks	8 – 0.1	20 – 0.1
Egenfarge	Kvit	Fargelaus
Strekfasthet N/mm <sup>2</sup>	22 - 38	5 – 20
E – modul N/mm <sup>2</sup>	450 – 1200	100 – 500
Forlenging %	100 – 600	90 – 800
Slagfasthet	Ikke brå	Ikke brå
Formfasthet i varme	70	40

PE har mange fordeler som for eksempel den har god styrke. Den har også gode elektriske egenskaper, lav absorpsjon av vann, finnes i ulike varianter med ulike smelteindeks og



www.colourbox.com

molekylvekt og ikke løselig i organisk løsemiddel under 60°C. Den har også noen begrensninger slik som lav lengdeutviklingskoeffesient, lav seigmotstand, brennbare stoff, høy formkrymping, mindre motstand til dårlig vær.

PE er termoplast og denne gruppen har egenskaper som for eksempel den kan smeltes, sveises, svelle og den mykner ved oppvarming. På grunn av disse gode egenskapene kan PE formes i støyning, termoforming og sprøyting til å produsere ulike produkter, men den er vanskelig å lime. Den brukes mest i hushold artikler, bergindustri og emballasje.

Den plastiske temperatur bearbeideringsområde er 150 – 280 °C for HDPE og 140-240°C for LDPE. (Vannes 1988)

### 4.3.2 TRE

Tre regnes som et av de eldste konstruksjonsmaterialene. I mange tidligere sivilisasjoner ble trevirke mye bruk, men etter hvert som trevirke ble vanskeligere å få tak i, ble den erstattet av andre materialer.

Treets densitet varierer etter forhold og type, men celleveggen hos alle treslag har tilnærmet samme densitet, 1560 kg/m<sup>3</sup> i absolutt tørr tilstand. Forholdet mellom cellevegg og cellehulrom i trevirket er den avgjørende faktor for densiteten.

Tre er et stivt og sterkt material. Styrken og de mekaniske egenskapene til treet varierer etter fuktighet (%). Økende fuktighet synker fasthetsegenskapene til treet. Tre har høyere E-modul og densitet enn plast. Den varierer ca.10.000-12.000 N/mm<sup>2</sup> for fuktighet 12 %. (Skogstad 2009)

## 4.4 Varmpressing

Jernbanesviller skal produseres av komposittmaterialet som består av plast (matriks) og flis som forsterkningsmaterial. De skal blandes sammen til en miks material som kan støypes eller varmpresses til en bestemt form.

Plast materialet er termoplast og derfor kan den varm formes og støypes. Flis skal ligge uorganisert i strukturen. De vil være som et material og har samme styrke i alle retninger. Vanlig blandingsforhold i kompositt miks material 40 % plast og 60 % den andre. (NSK - vedlegger)

Ut ifra informasjon fra NSK har jeg lagt en prosessbeskrivelse for varmpressing. Jeg også har tegnet en produksjonsmaskin (vedlegg 7) for denne prosessen ut ifra produksjonsmetode beskrivelse i tilvirkningsbok (Corneliussen 2002).

### Brukt plast korker



[www.colourbox.com](http://www.colourbox.com)

### Tre – flis



[www.colourbox.com](http://www.colourbox.com)

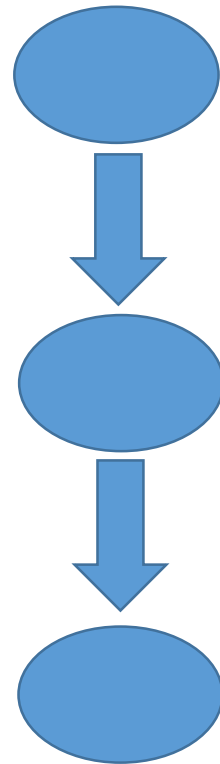


**Prosessbeskrivelse:** (NSK – vedlegger 3,4,5 og 6)

Resirkulerte plastkorker settes i Poten og varmes opp til (PE) smelte temperatur

Tre – flis settes i smelten og blandes godt i smelten

Smelten presses ved høy hydraulikk trykk til svillensform (vedlegg 7)



## 4.5 Teknologeutvikling av Kompositt jernbanesviller i verden

Det er flere studier og forskninger innen utvikling av jernbanesviller. Jernbaneindustrien har et mål å få jernbanesviller med bedre egenskaper. Bedre mekaniske egenskaper og bærekraftighet er de viktigste faktorene på den tekniske utvikling av jernbanesviller. Hovedretning for den teknologisk utvikling er komposittsviller, siden kompositt materialer kan få bedre mekaniske egenskaper ved sammensetning av flere materialer og ulike strukturer.

Det er flere årsaker til at jernbane ser etter nye materialer. De materialene som brukes i dag slik som betong, stål og tre oppfyller ikke alle de ønskede kravene til jernbanesviller. Disse materialene er ikke motstandsdyktige til mekanisk, biologisk eller kjemisk degradering.

Hver av de materialene har noen ulemper som for eksempel stål er utsatt for korrosjon, har høy elektrisk ledningsevne og utmatting. Betongsviller er tunge, vanskelig å håndtere og spore og har høye transportkostnader.

Men i dag er bærekraftighet en viktig egenskap i valg av type jernbanesviller. De fleste materialer er ikke miljøvennlige og krever store naturressurser, og derfor prøver forskere i jernbaneindustrien å finne bærekraftige materialer til svillene.

Stål- og betongindustri slipper mye karbondioksid i atmosfære og treproduksjon krever kutting av mange trær. Disse to ulempene skader miljø og ødelegger fremtida til de neste generasjoner derfor ønsker forsker rundt i verden å utvikle teknologier for bærekraftige jernbanesviller.

Verdensmarked i dag for kompositter øker kraftig på grunn av mange fordeler av de kompositt materialene. Disse fordelene er høy styrke-til-vekt-forhold, utmerket motstand mot korrosjon, utmerket motstand mot fuktighet og bio-nedbryting, termisk og elektrisk ikke-ledningsevne. Disse komposittene oppfyller krav og spesifikasjoner fra jernbanesviller derfor kan de brukes som alternative materialer for stål, betong og tre i de jernbanesvillene i fremtidige konstruksjoner.

Kompositt jernbanesviller er mer bærekraftige enn tradisjonelle materialer, har ingen vedlikehold og bedre egenskaper. Kompositt jernbanesviller klassifiseres basert på lengde og retning av fibre. (tabell – vedlegg 8)

Kompositt jernbanesviller i verden klassifiseres i tre typer (vedlegg 8):

### **Jernbanesviller med kort eller ingen fiberarmeringer (Type-1)**

Den består av resirkulert plast og fibre (sand, grus, resirkulert glass eller kort glassfiber).

Type-1 sviller har en rekke fordeler slik som enkel drill og kutt, god holdbarhet, resirkulering og fornuftig pris. Noen av sine ulemper er lav styrke og stivhet, begrenset utforming, fleksibilitet, temperatur og kryp følsomhet og lav motstand mot brann. Den tre – resirkulert plast kompositten vi undersøker i denne oppgaven ligner på denne typen.

### **Jernbanesviller med lang fiberarmering i lengderetningen (type-2)**

Type-2 sviller består av lange kontinuerlig glassfibre armert i lengderetningen og ingen eller meget korte tilfeldige fibre i tverretningen. Den har noen ulemper som for eksempel lav skjærstyrke og skjærmodul, begrenset fleksibilitet design, marginal brannmotstand og høy pris. Fordelene er liten vekt, god motstand mot vann absorpsjon, god motstand mot varme og korrosjon og 50 års levetid.

### **Jernbanesviller fiberarmering i lengde- og tverretning (Type-3)**

Type-3 sviller har lange armerte fibre både på kryss og tvers. Den har ganske gode fordeler slik som utmerket design fleksibilitet, god bøye og skjærstyrke, lett boring og gode brannegenskaper. Den hoved ulempen er produksjonen fordi det kreves høye kompositt teknologier for å produsere denne type sviller.

(Ferdous, Manalo, Van Erp, Aravinthan, Kaewunruen og Remennikov 2015)

## **Kompositt jernbanesviller fra resirkulert plast i USA**

Nosker og Renfree skrev en artikkel om utvikling av kompositt jernbanesviller ved bruk av resirkulert plast HDPE (høy densitet polyetylen) i 1999. Den er en av de tidligste studiene i bruk av resirkulert plast kompositt i produksjon av jernbanesviller. De viser til ulemper av tre jernbanesviller på grunn av fuktighet og insektangrep. De har foreslått et kompositt material av resirkulert plast HDPE som alternative material med bedre mekaniske egenskaper og utviklet spesifikasjoner til å erstatte tresviller.

De viser praktisk testing av de alternative kompositt svillene i jernbane. De viser også til de mekaniske egenskapene til den resirkulert plast kompositten og produksjonsmetoden. Den har høyere pris enn tre, men den har også en god kombinasjon av gode fysiske egenskaper og bedre styrke. Den kan tåle statisk last på 17 tonn. (Nosker og Renfree 1999)

## 4.6 Standard for jernbanesviller i Norge NS – EN 13230

Jernbanesviller i Norge vil følge norske standarder for jernbanesviller. Kravene til jernbanesviller finnes vanligvis i standarden for jernbaneapplikasjoner **NS – EN 13230: 2009**. De viktigste delene i standarden som gjelder jernbanesviller er del 1 som er generelle krav og del 2 som er enkle sviller. (vedlegg 8)

I følge denne standarden jernbanesviller i Norge er vanligvis produsert av betong og den har bøyestyrke:

Maksimum bøyestyrke er  $= 0.4 \text{ N / mm}^2$

Minimum bøyestyrke er  $\geq 0.05 \text{ N / mm}^2$

Jernbanesviller må også testes før den settes i bruk, den skal prøves i følgende tester: statisk nedbøyning test, dynamisk nedbøyning test, utmattingstest, Mechanical egenskaper og geometrisk test.

Tillat statisk aksellast på jernbanesville på hovedlinjene i Norge er 22,5 tonn (tilsvarende 225 KN) (vedlegg 2 email JBV) og ut ifra dette kan vi beregne lasten og sjekke at den er innen den tillatte lasten.

Etter NS – EN 13230: 2009 kan vi teste svillen ved formene:

Statisk test:  $F_{rB} \geq K_{2S} \times F_{r0}$

Dynamisk test:  $F_{rB} \geq K_{2D} \times F_{r0}$

Utmattingstest:  $F_{rB} \geq K_3 \times F_{r0}$

Symbol	Mening
$F_{rB}$	Tillat styrke
$F_{r0}$	Test styrke
$K_{2S}$	Statisk koeffisient
$K_{2D}$	Dynamisk Koeffisient
$K_3$	Utmatting Koeffisient

(NS – EN 13230: 2009)

Jernbanesviller spesifikasjoner etter En 13230 (2009):

**60E1 sviller**

- a) maksimal total lengde (L): 2600 mm
- b) maksimal bredde (w): 320 mm
- c) minimal bunn bredde på svillens ende (b1): 300 mm
- d) minimal topp bredde på skinnesetet (b2): 170 mm
- e) maksimal høyde på skinnesetet (h): 225 mm
- f) minimal bunn område (A) 650 000 mm<sup>2</sup>
- g) minimal masse av svillen (w<sub>min</sub>): 265 kg
- h) maksimal masse av svillen (w<sub>max</sub>): 350 kg

**54E3 sviller**

- a) maksimal total lengde (L): 2400 mm
- b) maksimal bredde (w): 320 mm
- c) minimal bunn bredde på svillens ende (b1): 280 mm
- d) minimal topp bredde på skinnesetet (b2): 158 mm
- e) maksimal høyde på skinnesetet (h): 200 mm
- f) minimal bunn område (A) 600 000 mm<sup>2</sup>
- g) minimal masse av svillen (w<sub>min</sub>): 230 kg
- h) maksimal masse av svillen (w<sub>max</sub>): 300 kg

# 5 Metode

## 5.1 Elementmetoden

Metoden for dette prosjektet er element metoden eller på engelsk FEM (Finite Element Method). Den er en avansert numerisk løsningsmetode for å løse fysiske problemstillinger som kan beskrives matematisk av partielle differensialligninger eller integralligninger. Elementmetoden er en av de viktigste metodene for å gjøre styrkeberegninger på ingeniørfaglige og komplekse konstruksjoner. Den ble utviklet i 1950-tallet knyttet til utvikling av digitale datamaskiner. Den første fagområde som brukte metoden var flyindustrien på grunn av komplekse konstruksjoner og materialer, men deretter ble den brukt i mange andre områder av industrien slik som bygningsindustri. I dag ble metoden utviklet til å løse komplekse problemstillinger flere ingeniørfaglige områder. Blant annet kan metoden benyttes innenfor emner som statiske analyser, elektromagnetisme, varmeledning og fluidmekanikk. Hoved ideen på FEM er å dele konstruksjonen i mange små elementer som kobles sammen i noder. Disse nodene har tre frihetsgrader og ved å se på hvordan hver node beveger seg i disse tre dimensjonene kan det regnes ut den totale deformasjonen i konstruksjonen. Det finnes mange ulike elementtyper med ulike egenskaper og bruksområder, som skal gjenspeile konstruksjonens egenskaper. (Bell 2009)

For å gjøre beregningene med elementmetoden må jeg skaffe et dataprogram som kan brukes for denne metoden. ANSYS var det beste programmet for FEM og den brukes på mange universiteter. Jeg skaffet Ansys Mechanical APDL versjon 16 med studentlisens via NTNU. Studentlisensen innebærer blant annet en begrensning på 256 000 noder og dette begrenser muligheten for kompleksitet og størrelse på konstruksjonene som skal analyseres. Programmet har både grafisk og kommandobasert brukergrensesnitt.

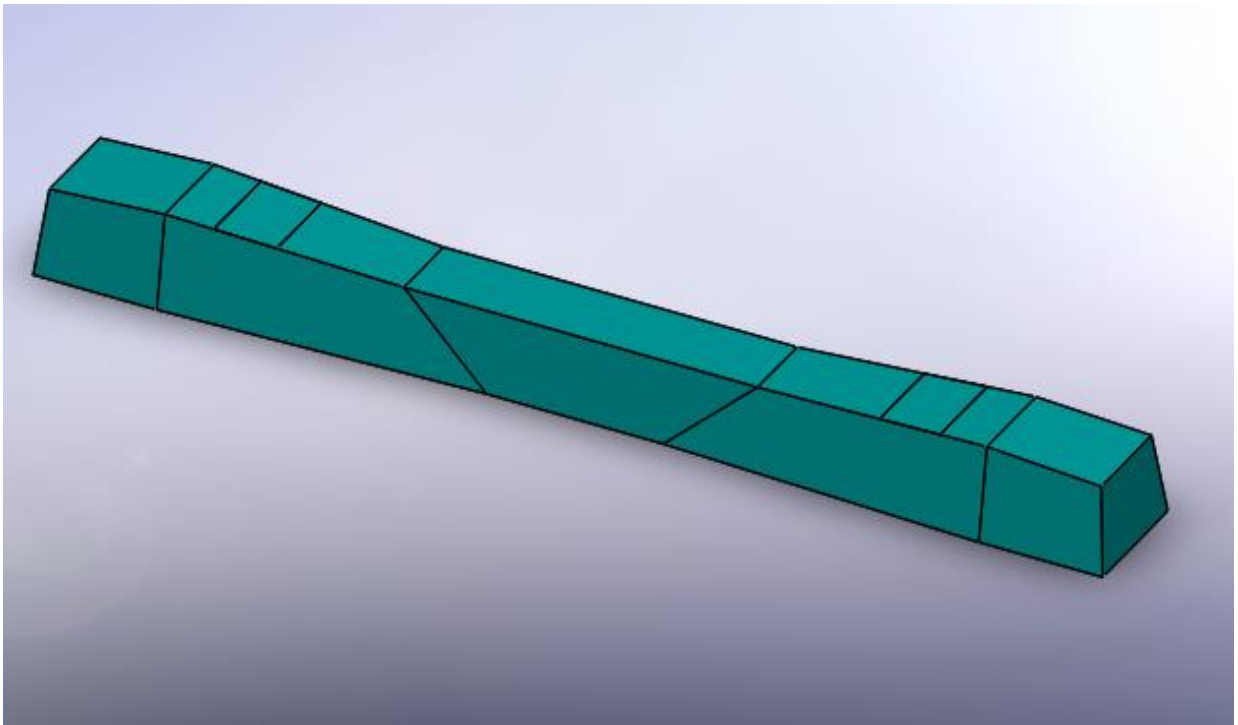
## 5.2 Beskrivelse og forutsetninger

### Beskrivelse

Betongsviller er de standard svillene i norsk jernbane. De vanligste standardsvillene som jernbaneverksted (JBV) bruker i dag er Spennbetongsville JBV54, JBV60 og JBV90. (vedlegg 2 – E-mail JBV)

De tre svillene har lignende konstruksjoner, men de er litt forskjellige i dimensjoner. På vedlegger (vedlegg 9) finnes det konstruksjoner med tekniske tegninger som inneholder dimensjoner og vekt.

I denne analysen testet jeg JBV 54 sville. Sville konstruksjonen modellert i Solidworks og testet i ANSYS. Svillen har lengde 2400 mm, bredde 280 mm, høyde 196 mm og lengden 140 mm under hver av de skinnene (vedlegg 9 - konstruksjon JBV 54)



Jernbane sville JBV 54. Solidworks

## Kompositten

NSK foreslår at denne kompositten har samme egenskapene til polyetylen (PE). PE plast deles til to typer polyetylen med høy densitet (HDPE) og polyetylen med lav densitet (LDPE). NSK foreslår at resirkulert plast for dette prosjektet kommer fra brusflasker korker. Ut ifra tidligere studier i (Nosker og Renfree 1999) og (Sommerhuber, Welling og Krause 2015) produseres plast i brusflasker fra HDPE derfor kommer vi til å bruke HDPE egenskaper på denne analysen.

## E – modul og densitet

FEM analysen er utført etter standard for betongsviller av JBV. Grensebetingelse og last er beregnet etter standarden fra JBV. Densiteten av betong er definert ut ifra standard NS 3473. Densiteten av betong ved statisk belastninger kan regnes som  $2500 \text{ kg/m}^3$ . (Finnesand 1989)

E-modul til betong er ikke fastslått. Den varierer mellom 10 – 40 GPA etter innholdet av betong (vann, sand ...), men vi har regnet den 15 GPA og dette tilsvarer e – modul etter formelen til betong som er på NS 3473. (Finnesand 1989)

I kompositt materialet ble det brukt samme mekaniske egenskaper til polyetylen (PE) etter ønske fra NSK. Jeg har brukt e – modul og densiteten til PE fra typen HDPE som er polyetylen med høy densitet. (NSK)

### **Materiale egenskaper i Ansys:**

#### **Betong** (Finnesand 1989)

2500 kg/ m<sup>3</sup> densitet

E modul  $15 \times 10^8 \text{ N/mm}^2$

#### **HDPE** (Vannes 1988)

Densitet 965 kg/m<sup>3</sup>

E-modul  $1.2 \times 10^8 \text{ N/mm}^2$



## Forutsetninger

Svillen er opplageret fra undersiden og får aksellast ifra skinnene og støttekraft fra bakken. Aksellast kommer ifra skinnene og fordeles på svillen og overføres til bakken under.

Svillen får en støttekraft ifra bakken som er refleksjonen på lasten og er lik total lastekraft, mens dette holder konstruksjon i ro ble det satt store spenninger på svillen. Spenning blir konsentrert i noen kritiske områder som vil føre til nedbøying.

Analysen har en begrensning på antall ukjente etter studentversjon av ANSYS. Analysen vil utføres ved hjelp av solidanalyse. Solidanalyse gir detaljert node struktur på modellen. Analysen skal benyttes for å fastslå hvor stor nedbøying i svillen blir og vise karakteriserte områder hvor de største spenningene og nedbøyingene skjer. Solidanalyse er utført ved å genere en node struktur som elementene festes til senere. Analysen skal utføres på betongsvillen og komposittsvillen.

Designet er laget i Solidworks og importert til Ansys som IEG fil. Deretter modellen vises i ANSYS og settes det forutsetninger, meshing og last for å starte analysen. Solidelementet som er benyttet er tetraedrisk 3D element solid 187 - 10 noder og material egenskaper for betong. Meshing er laget via smart mesh nivå 3 for å håndtere vanskeligheter i geometri. Videre er node strukturen opplageret i underside av svillen som er i kontakt med undergrunn.

Lasten er påkjent i de to utvalgte områdene på overflaten av svillen ifra jernbaneskinnene. Den maksimale aksellast 22.5 tonn etter krav fra JBV (vedlegg 2 JBV – E-mail). Totalt er det 45 tonn last på hele svillen fra de to skinnene. Deretter settes støttekraften ifra undergrunn på overflaten av undersiden av svillen som er lik den totale lastekraft og motsatt retning oppover.

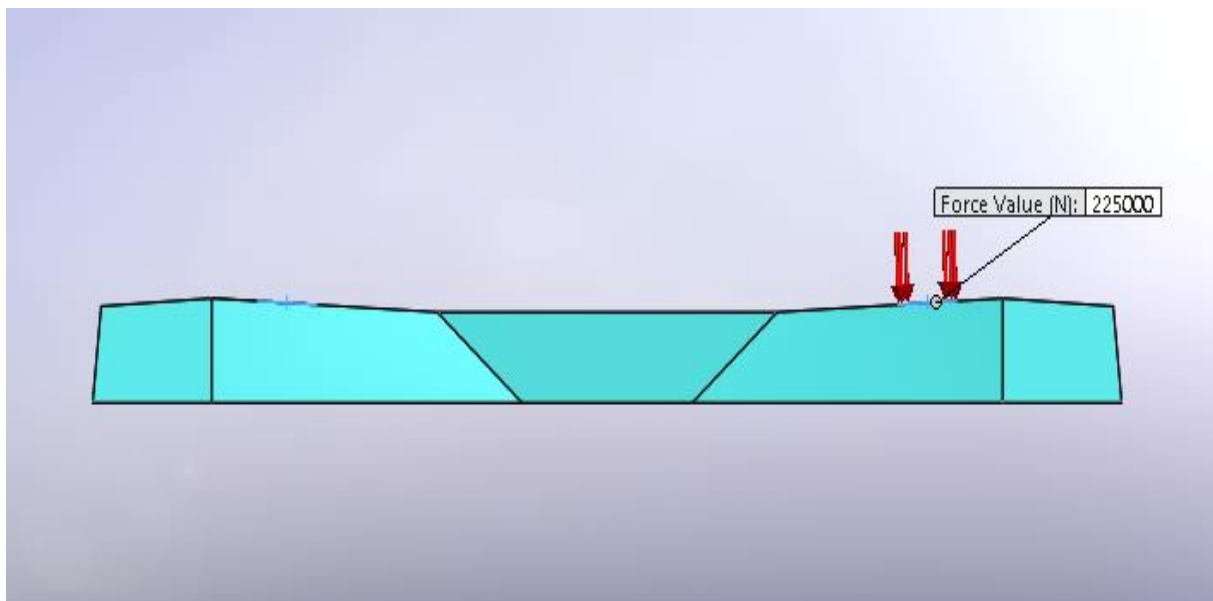
Etter tilsettingen av material, last, mesh og støttekraft kan solidanalysen utføres ved «SOLV». Resultat vises på skjermen og lagres.

Solidanalysen utføres på nytt på komposittsvillen. Den har samme struktur og analysen skal utføres med samme betingelser og lastekrav som var for betongsville analyse. Kompositt materialet består av tre (fiber) og polyetylen (matriks). NSK foreslår at e-modul og densiteten til kompositten skal være den samme til polyetylen (PE) og jeg kommer til å bruke den i solidanalysen.

Resultatet er dokumentert gjennom skjermbilder fra Ansys. De største nedbøyingene og spenningene er samlet i tabell for enkel sammenligning.

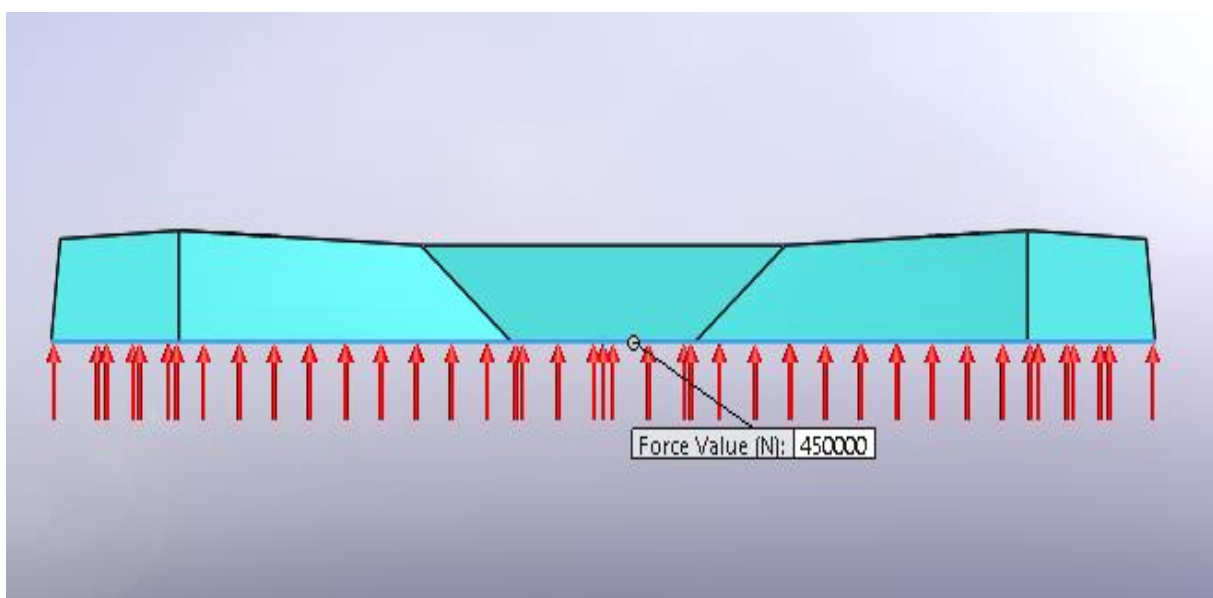
## 5.3 Forutsetninger på Solidworks

**Aksellast 22.5 tonn**



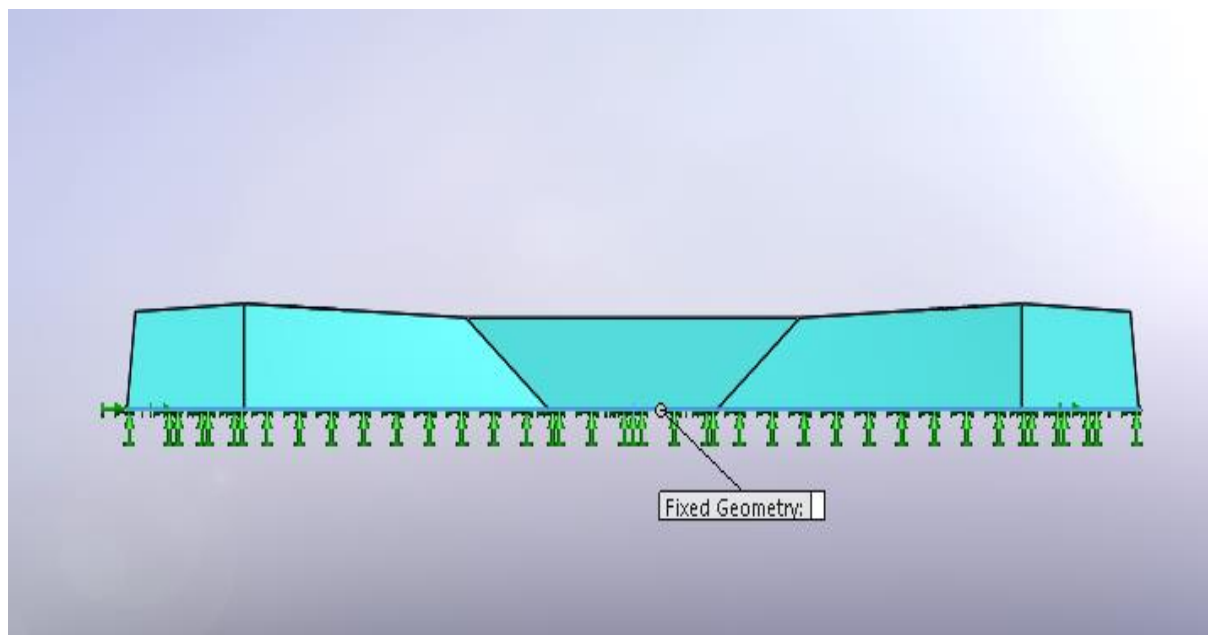
Aksellast. Solidworks

**Støttekraft fra undergrunn**



Støttekraft. Solidworks

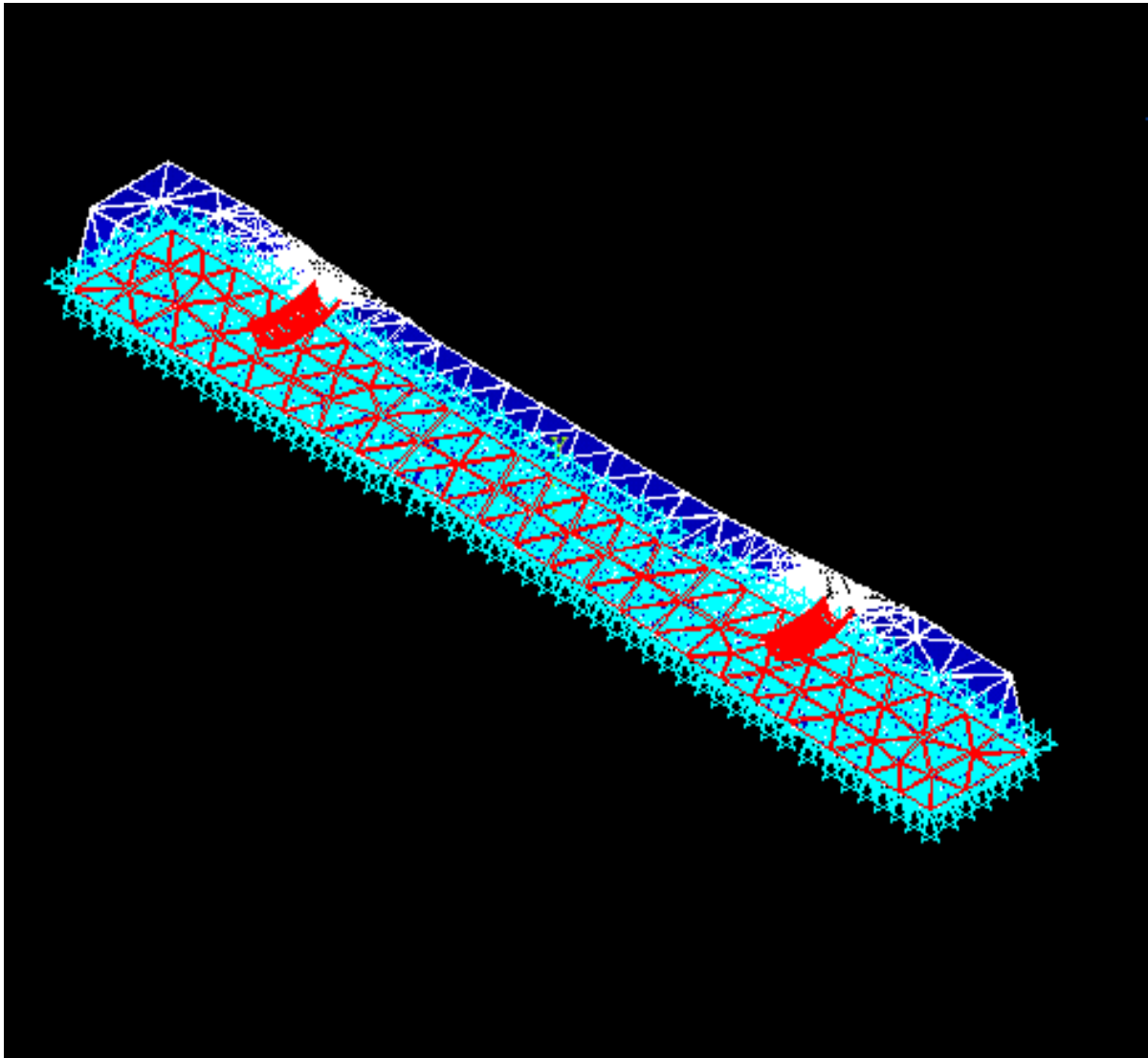
## Opplager fra undersiden



Opplager. Solidworks

## 6 Resultat

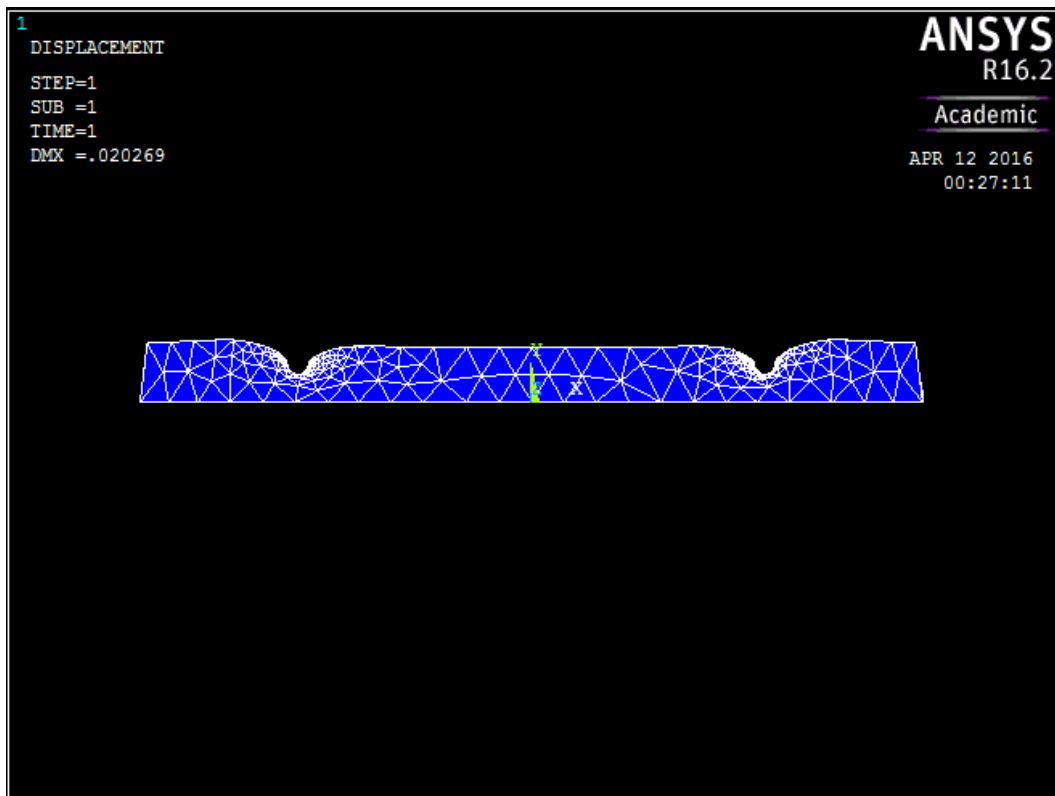
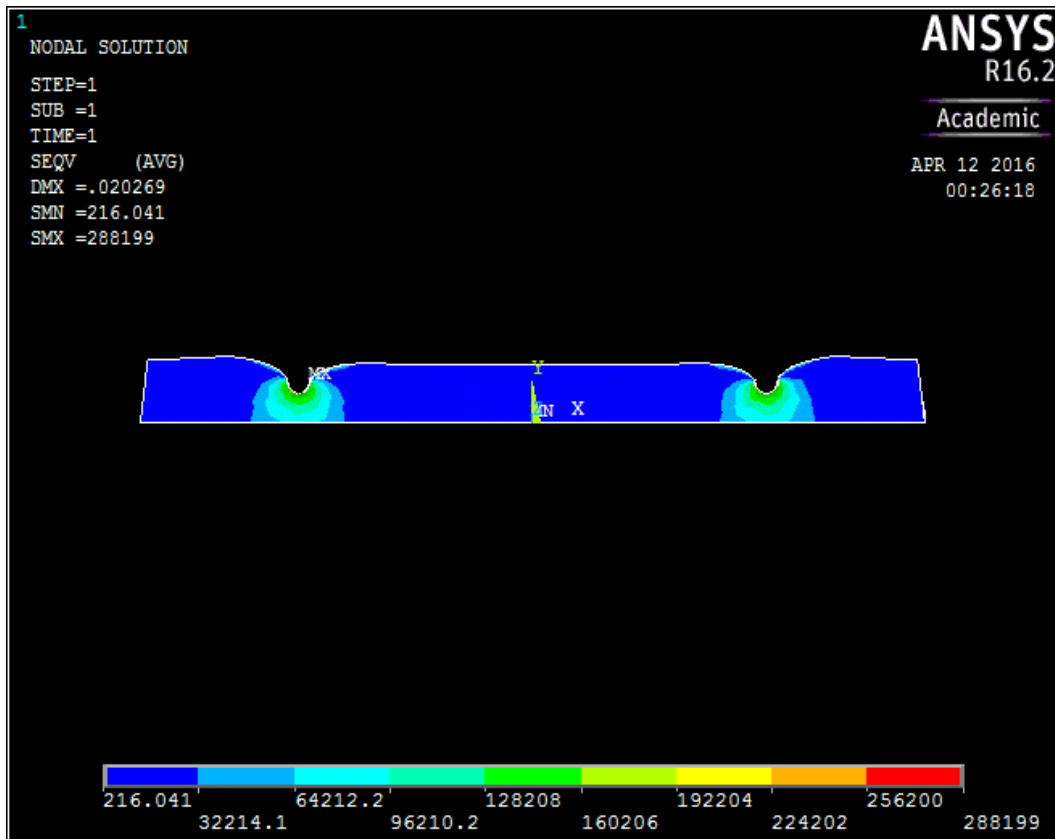
Resultatet er presentert gjennom skjermbilder av ANSYS og tabeller for sammenligning av resultater. Den solidanalysen av standard jernbane betongsville er presentert først for å lokalisere området med størst global nedbøyning. Deretter utføres solidanalysen på tre - resirkulert plast komposittsville.



Jernbanesviller JBV 54 med forutsetninger. ANSYS

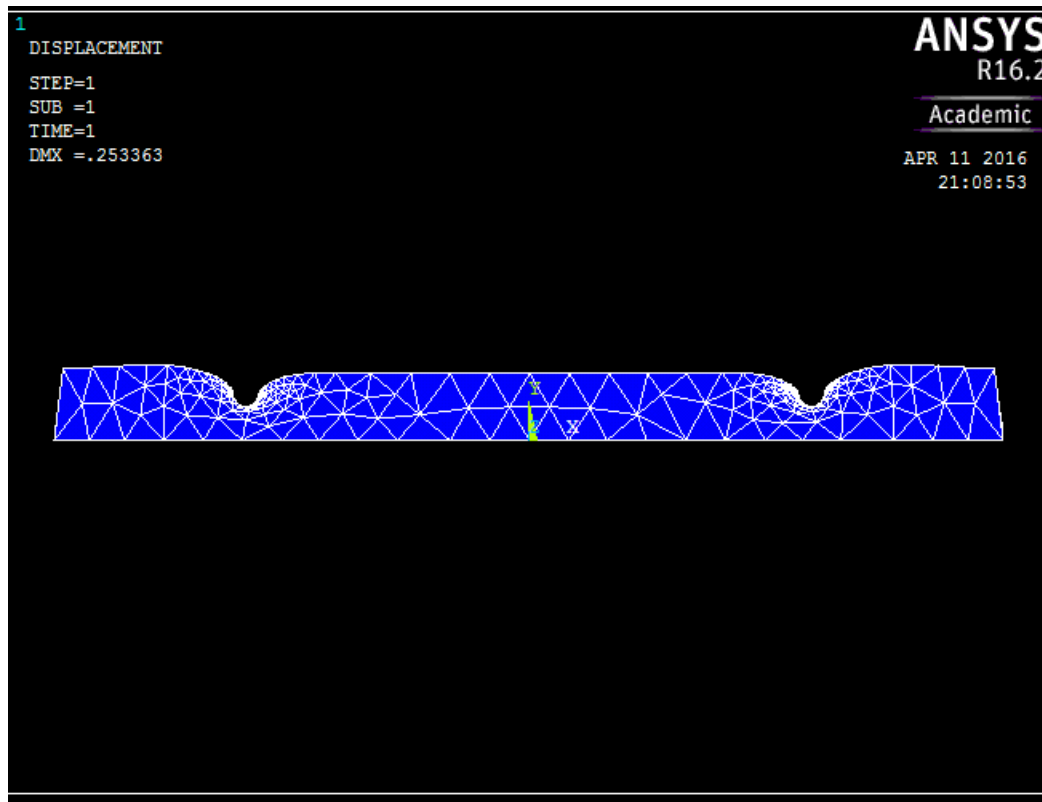
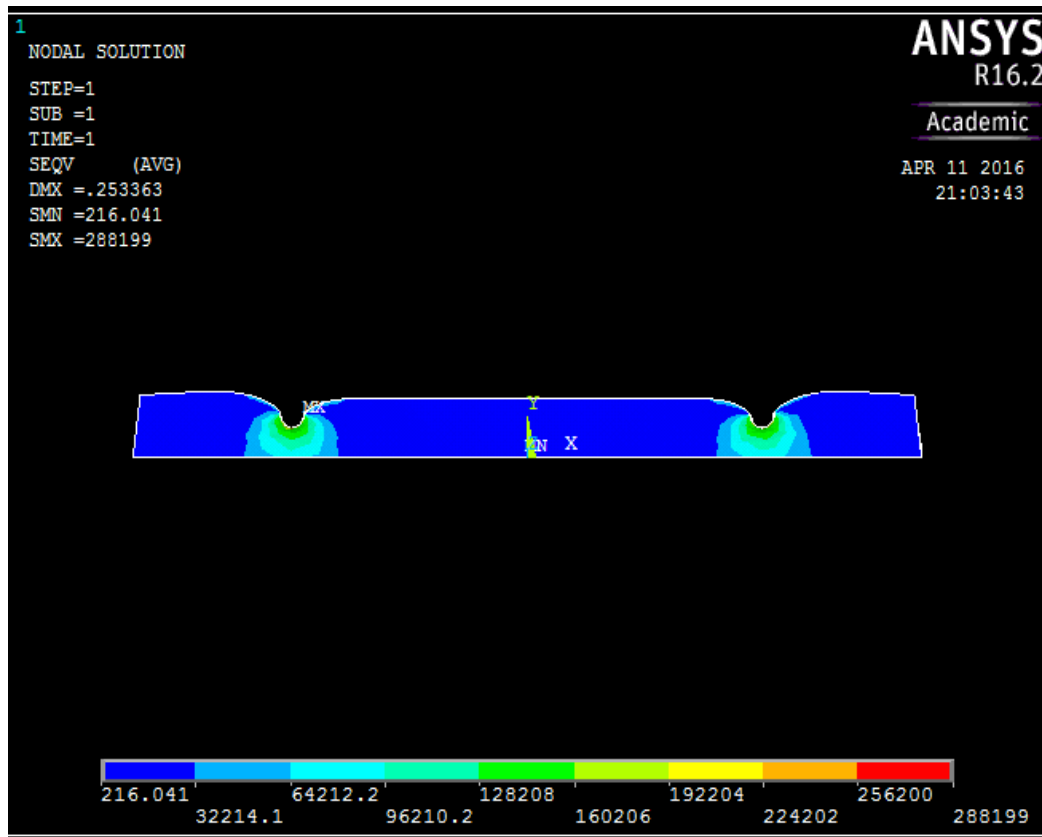
## Betongsville

Størst nedbøying er 20.269 mm



## Tre – resirkulert plast Kompositt (PE – Treflis)

Den største nedbøying er 253.363 mm



## Betong

Last	Nedbøying	Spenning	Endring
22.5 tonn × 2	20.269 mm	0.288 N / mm <sup>2</sup>	0

## Tre – resirkulert plast kompositt (PE – Treflis)

Last	Nedbøying	spenning	Endring
22.5 tonn × 2	253.36 mm	0.288 N / mm <sup>2</sup>	- 1200 %

Resultatet viser at den største nedbøyingen for jernbane betongsviller er 20.269 mm ved maksimal tillat aksellast 22.5 tonn og dette tilsvarer 45 tonn totalt last på svillen JBV 54. Men med komposittsvillen fra NSK blir største nedbøying 12 ganger høyere til 253.36 mm ved maksimal tillat aksellast og samme betingelser som for betongsviller. Dette fører til kritisk redusering av den statiske kapasiteten til svillen.

## 7 Diskusjon

### 7.1 Resultat

Denne oppgaven har sett på utfordringer ved å bruke kompositt tre – resirkulert plast sviller isteden for betongsviller på norsk jernbane. Resultater gjelder for norsk standard betongsviller. Jeg valgte å bruke betongsville type JBV 54 for å konkretisere beregninger, men alle typer av standard JBV betongsviller har lignende design med små forskjeller i dimensjoner. Derfor mener jeg at resultatene av solidanalysen med noe individuell tilpasning kan være relevant for andre typer av betongsviller.

### 7.2 Prosjektmål

Målet er å undersøke utfordringer med å bruke kompositt tre – resirkulert plast jernbanesviller i stedet for tradisjonelle betongsviller. Jeg har valgt å måle spenninger og nedbøying ved den statiske kapasitet som vi har beskrevet i Standard (4.6) siden den er den største statiske påkjenning som jernbanesviller utsettes for.

### 7.3 Last

Svillen skal dimensjoneres for å tåle den maksimale aksellasten ifra hver jernbane skinne. Det er beskrevet i standard (NS13230) og (vedlegg 2 – email fra JBV) at det er 22,5 tonn som er den største tillate aksellasten på betongsvillen i hovedlinjene i norsk jernbane. Her må det tas forhold til at min tekniske kunnskap om jernbane konstruksjon er begrenset og at jeg kan ha tolket standarden på en feil måte.

### 7.4 Datavariabel

Videre har jeg målt den maksimale aksellastens virkning på nedbøyingen som har benevnningen millimeter. De største nedbøyingene som oppstår på kritiske områdene på svillen vil være datavariabel som vi har kontrollert i oppgaven som gjelder e-modul og densitet til betong og den tre – resirkulert plast kompositten.

Resultatene er beregnet ved hjelp av elementmetoden. Jeg har utført en solidanalyse av jernbanesvillen. Jeg har brukt de samme grensebetingelsene og lasten for begge materialene for å sikre at resultatene til den sammenligningsanalysen har god reliabilitet.

Denne solidanalysen er sammenligningsanalyse som er utført på jernbane betongsville type JBV 54. Den er utført ved påkjenning av den maksimale lasten svillen kan utsettes for etter



JBV standarden (NS 13230: 2009). Den er utført ved å bruke de mekaniske egenskapene til betongen og den tre – resirkulert plast kompositten og ved samme grensebetingelsene og design etter standard (NS13230: 2009).

Den maksimale aksellasten er 22.5 tonn og siden vi har to skinner blir den total lasten på svillen 45 tonn. Underside av svillen blir den eneste opplagerside. Den fastholdes i alle frihetsgrader. Svillen vil da holdes fast og den vil ikke få bevege seg sideveis. Dette gjør at vi kan simulere den virkelige nedbøyningen av svillen.

Den Sammenligningsanalysen brukes for å sammenligne nedbøyningen på betongsviller og tre – resirkulert plast komposittsviller med samme last og grensebetingelser. Analysen vil ha god reliabilitet siden parameterne holdes like i begge analysene og de materiale egenskapene er det eneste som endres.

## 7.5 Teoretisk resultat

Resultatet er en teoretisk studie av jernbanesville ved å bruke de foreslåtte materiale og produksjonsmetode av NSK. Den er ikke helt praktisk utviklet løsning til oppgaven p.g.a ikke dokumenterte mekaniske egenskaper til komposittsvillen. Denne tre – resirkulert plast komposittsvillen har ikke empiriske bekreftet mekaniske egenskaper. Jeg har ikke ressurser til å utføre praktisk forsøk av den komposittsvillen, men ANSYS program brukes i mange bedrifter rundt verden som et godt design verktøy.

## 7.6 Sammenligningsanalyse

Ved å sammenligne resultatene for betong og tre – resirkulert plast viser det at den største nedbøyning for jernbane betongsviller er 20.269 mm ved maksimal tillat aksellast 22.5 tonn. Dette tilsvarer 45 tonn totalt last på svillen JBV54. Men med komposittsvillen fra NSK blir den største nedbøyningen blir 253.36 mm ved maksimal tillat aksellast og samme betingelsene som for betongsviller. Den største nedbøyning blir ca. 12 ganger høyere enn betong. Dette fører til kritisk redusering av statisk kapasitet til svillen. Resultatene er beregnet ved bruk av  $E$  – modul og densitet til de materialene og etter kravene fra JBV.

Av denne sammenligningsanalyse kan jeg betrakte at den tre – resirkulert plast kompositten tåler ikke lastekraven til betongsviller og dermed vil den ikke være det perfekte alternativet til betongsviller.

## 7.7 E – modul og densitet

FEM analysen er utført etter standarden for betongsviller av JBV. Grensebetingelsene og lasten i er beregnet etter standarden fra JBV. Densitet av betong er  $2500 \text{ kg/dm}^3$  og den er definert ut ifra standard NS 3473. Densiteten for betong ved statiske belastninger kan regnes som  $2500 \text{ kg /dm}^3$  (Finnesand 1989).

E – modulen til betong er ikke fastslått. Den varierer mellom 10 – 40 GPA etter innholdet av betong (vann, sand ...), men vi har regnet at den er 15 GPA og dette tilsvarer e – modulen til betong som er på NS 3473. (Finnesand 1989)

Denne usikkerheten i e–modulen til betong vil ikke påvirke resultatenes reliabilitet siden den e-modulen vi brukte i oppgaven stemmer med tidligere studier slik som (M. Shokrieh og Rahmat 2006). (vedlegg 10)

Komposittmaterialet har de samme mekaniske egenskapene som polyetylen (PE) etter ønske fra NSK. NSK foreslår at den resirkulerte plasten som brukes i dette prosjektet kommer ifra korker på brusflasker. Ut ifra tidligere studier i (Nosker og Renfree 1999) og ( Sommerhuber, Welling og Krause 2015) plasten i brusflasker er polyetylen ifra type HDPE.

## 7.8 Kvaliteten av Resultatene

Usikkerheten i de mekaniske egenskapene til materialene er en av de største utfordringene i denne oppgaven. De mekaniske egenskapene for den alternative komposittsvillen som er brukt i beregninger er ikke empirisk bekreftet. Disse mekaniske egenskapene som var foreslått av NSK stemmer med lignende komposittsville teknologier i verden. Disse teknologiene er vist i teknologiutvikling av kompositt jernbanesviller i verden (4.5) og (vedlegg 8).

Vi kan se at e – modulen til betong er 10 – 12 ganger høyere enn den til alternative kompositten og densiteten til betong er noen ganger høyere enn den alternative kompositten. Dette gjør at vi kan bekrefte kritisk redusering av den statiske kapasiteten til svillen ved den alternative kompositten. Men vi har ikke empiriske data om de andre mekaniske egenskapene slik som strekkfasthet, skjærmodulus, trykkfasthet .... Osv. Derfor kan det forventes at redusering i den statiske kapasiteten er litt mindre enn den som er i resultatene til solidanalysen.

## 7.9 Mekaniske egenskaper

E-modulen til komposittsvillene er lav i forhold til betong, men den kan forsterkes ved forbedring av strukturen slik som andre kompositter som er beskrevet i - teknologiutvikling av kompositt jernbanesviller i verden (4.5).

## 7.10 Utmatting

Aksellastene på svillen vil opptre dynamisk når toget kjører over jernbanen. Derfor må den nye komposittsvillen testes for å beregne den dynamiske koeffisienten til den og bestemme tillat dynamisk last etter fart. Dette kan føres på senere praktiske studier.

## 7.11 Effekten på norsk jernbane

Ut ifra resultatene vil komposittsviller ha lavere statisk kapasitet enn dagens betongsviller. Dersom svillene brukes i norsk jernbane, vil jernbanen få redusert last kapasitet. Da må togene ha mindre last for å kjøre på jernbane. Resultatet vil være at togene må kjøre flere turer enn i dag for å dekke dagens kapasitet.

## 7.12 Miljø

Tre – resirkulert plast komposittsvillen er produsert av resirkulert plast og ikke – brukt tre tømmer. Dette gjør at denne komposittsvillen er mer miljøvennlig enn dagens betongsviller. Resultatene viser kritisk redusering av statisk kapasitet og dette vil øke togtransport for å dekke dagens kapasitet. Dette vil føre til mer CO<sub>2</sub> utslipp i forhold til dagens sviller. Dette betyr at komposittsvillen kan være mer miljøskadelig enn dagens betongsviller.

## 7.13 Økonomi

Tre – resirkulert plast komposittsviller er produsert ifra avfall. Den har ikke kjent skrap verdi, men kan resirkuleres til nye komposittsviller. Komposittsvillen har også høyere pris enn betongsviller, men den har mindre kostnader når det gjelder vedlikehold, transport og håndtering. (Sommerhuber, Welling og Krause 2015)

Reduseringen av den statiske kapasiteten vil føre til øking i kostnader p.g.a økning av togtransport for å dekke dagens kapasitet. Dette må JBV ta hensyn til i senere studier eller planlegginger av jernbaneprosjekter.

## 7.14 Bærekraftighet

Tre – resirkulert plast Kompositt er produsert ifra resirkulert plast fra korkene på brusflasker og tre-flisen som kommer ifra ikke brukt - tømmene fra skogen. Plastflasker gjenbrukes i dag på «pant – systemet». Det må utføres en ekstra studie om hva som er mer bærekraftig når det gjelder å bruke korkene fra brusflasker i produksjon av komposittviller. En slik studie skal avgjøre om vi bruker korkene i produksjonen eller om vi fortsetter å gjenbruke dem i brusflasker.

Redusering av statisk kapasitet er en viktig utfordring til bærekraftighet av komposittvillen. Denne reduseringen av den statiske kapasiteten vil føre til økt togtransport. Dette vil lage ekstra økonomisk kostnader og miljøpåvirkninger i forhold til dagens situasjon.

## 7.15 Videre arbeid

Den teoretiske studie kan bekrefte at den statiske kapasiteten av jernbanesviller vil bli kritisk redusert dersom det brukes den komposittvillene. Videre skal resultatene være relevante for å se på hvordan de mekaniske egenskapene til komposittvillen skal utvikles for å få den mest mulige kapasiteten.

## 8 Konklusjon

Problemstilling var å se på hvordan jernbanesviller kan utvikles til et bærekraftig produkt ved å bruke det alternative materialet for betong som er kompositt tre – resirkulert plast og produksjonsmetode som er varmpressing. Dette materialet og produksjonsmetoden er foreslått av NSK og jeg valgte å utføre en teoretisk studie av den komposittsvillen.

Resultatene i prosjektet viser at det blir kritisk reduisering av den statiske kapasiteten til jernbanesvillen ved bruk av alternativet fra NSK. Resultatene er beregnet etter standarden ifra JBV og er gyldig for jernbanesviller i Norge.

Jeg mener ut ifra resultatene at bruken av denne tre – resirkulert plast komposittsvillen vil føre til utfordringer for den norske jernbanen p.g.a kritisk reduisering av den statiske kapasiteten til svillen. Dette vil føre til økt økonomisk og miljø kostnader. Den tre – resirkulert plast komposittsviller ble brukt som bærekraftige jernbanesviller i flere land, men denne redueringen av den statiske kapasiteten til denne svillen kan føre til økt togtransport for å dekke dagens kapasitet til norsk jernbanesville. De økonomiske og miljø konsekvensene av dette vil påvirke bærekraftigheten til denne svillen.

# 9 Kilder

## 9.1 Litteraturliste

Bell, K. (2009). Elementmetoden. Store norske leksikon. [online]. URL:

<http://snl.no/elementmetoden> (20.4.2016)

Corneliussen, R.G. (2002) Tilvirkningsteknikk. Bergen: Fagbokforlaget. [online]. URL:

<http://www.nb.no/nbsok/nb/449062300a98e4f4197fac7a74740453.nbdigital?lang=no#35>

(20.04.2016)

Chandra, s, M.M. AGARWAL (2007) RAILWAY ENGINEERING. England: Oxford

University Press

Finnesand, B (1989) Betongkonstruksjoner: dimensjonering av slakkarmerte

betongkonstruksjoner etter NS 3473. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt

Finansdepartementet (2007) Norges strategi for bærekraftig utvikling. [online]. URL:

[https://www.regjeringen.no/contentassets/16ff8fe9d838475ea987669856fae9b9/strategi-for-](https://www.regjeringen.no/contentassets/16ff8fe9d838475ea987669856fae9b9/strategi-for-barekraftig-utvikling.pdf)

[barekraftig-utvikling.pdf](https://www.regjeringen.no/contentassets/16ff8fe9d838475ea987669856fae9b9/strategi-for-barekraftig-utvikling.pdf) (20.04.2016)

Ferdous, w, A. Manalo, G. Van Erp, T. Aravinthan, S. Kaewunruen og A. Remennikov (2015)

*Composite railway sleepers – Recent developments, challenges and future prospects*. Centre

of Excellence in Engineered Fibre Composites (CEEFC), University of Southern Queensland,

Toowoomba, QLD 4350, Australia, Birmingham Centre for Railway Engineering and

Education, School of Civil Engineering, University of Birmingham, Birmingham, UK, School

of Civil, Mining and Environmental Engineering, University of Wollongong, NSW 2522,

Australia [online]. URL:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822315007412>

(20.04.2016)

Jernbaneverket betongsviller standard En – 13230: 2009 Concrete sleepers types [online].

URL:

<https://trv.jbv.no/ts/Overbygning/Betongsviller> (20.04.2016)

Jernbaneverket betongsviller standard En – 13230: 2009 Concrete sleepers [online]. URL:

<https://trv.jbv.no/ts/Overbygning/Betongsviller> (20.04.2016)

- Johansen, H. (2008) PLAST[online]. Gjøvik: NTNU (Høgskolen i Gjøvik). URL:  
<http://www.ansatt.hig.no/henningj/materialteknologi/Materiallare/arbeidsplan/plastmaterialer/Materiallaere-plast-forelesningnotater.pdf> (20.4.2016)
- Johansen, H. (2008) KERAMER[online]. Gjøvik: NTNU (Høgskolen i Gjøvik). URL:  
<http://www.ansatt.hig.no/henningj/materialteknologi/Materiallare/arbeidsplan/keramer/Materiallaere-keramer-forelesningnotater.pdf> (20.4.2016)
- Johansen, H. (2008) Kompositter [online]. Gjøvik: NTNU (Høgskolen i Gjøvik). URL:  
<http://materialteknologi.hig.no/Materiallare/arbeidsplan/kompositter/Materiallaerekompositter-kompendium.pdf> (20.4.2016)
- Langhelle, O og W. M. Lafferty. Bærekraftig utvikling: om utviklingens mål og bærekraftens betingelser (1995). Oslo : Ad Notam Gyldenda [online]. URL:  
<http://www.nb.no/nbsok/nb/6f51005394fb8bd1b8872c94a320ca7b?lang=no#19> (20.04.2016)
- M. Shokrieh , Rahmat (2006) *On the reinforcement of concrete sleepers by composite materials*. Composites Research Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Narmak, Tehran 16844, Iran. [online]. URL:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822305001339> (20.04.2016)
- Nosker, T og R. Renfree (1999) *Developing a recycled plastic/composite railroad tie*. Society of Plastics Engineers [online]. URL:  
<http://www.freepatentsonline.com/article/Plastics-Engineering/54546343.html> (20.04.2016)
- Sommerhuber, F, J. Welling, A. Krause (2015) *Substitution potentials of recycled HDPE and wood particles from post-consumer packaging waste in Wood-Plastic Composites*. Thünen Institute of Wood Research, Leuschnerstraße 91c, 21031 Hamburg, Germany  
Institute of Mechanical Wood Technology, Department of Wood Sciences, University of Hamburg, Leuschnerstraße 91c, 21031 Hamburg, Germany [online]. URL:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15301203> (18.04.2016)
- Skogstad, P (2009) Treteknisk håndbok (Teknisk håndbok 4), Norsk Treteknisk Institutt
- Vannes, J (1988) Plast Oslo: Yrkesopplæring [online]. URL:  
<http://www.nb.no/nbsok/nb/844e7db3293271ac95ad02f3acb86088.nbdigital?lang=no#129>  
(20.04.2016)

Wolcott, M, K. Englund (2001) *A Technology Review of Wood - plastic Composites*. Washington state university, Pullman, Washington [online]. URL: [http://wpcinfo.org/techinfo/documents/wpc\\_overview.pdf](http://wpcinfo.org/techinfo/documents/wpc_overview.pdf) (20.4.2016)

## 9.2 Støttelitteratur

Corneliussen, R.G. (2002) *Tilvirkningsteknikk*. Bergen: Fagbokforlaget.

F.L. Matthews, R. D. Rawlings (1999) *Composite materials Engineering and science*. England Cambridge

Halvorsen, K. (2008) *Å forske på samfunnet - en innføring i samfunnsvitenskapelig metode*. Oslo: Cappelen akademisk forlag.

Norsk jernbaneskole (2015) *lærebok Banemontør (4. utgave)*. Norsk jernbaneskolen

Robinson M, A. Kapoor (2009) *Fatigue in railway infrastructure*. UK Cambridge

Wikipedia (2012) IMRAD [online]. URL: <http://no.wikipedia.org/wiki/IMRAD> (20.4.2016)



# 10 Vedlegg

## 10.1 Vedlegg 1 – oppdragsavtale



### PROSJEKTAVTALE

mellem NTNU i Gjøvik (undervisningsinstitusjon) avdeling TØL

Nasjonalt Senter for Komposittkompetanse  
(oppdragsgiver), og

AMJED MAJI

(student(er))

Føreløpig arbeidsittel på prosjektet:

PRODUKTUTVIKLING AV JØRNBANKSVILLOP

Avtalen angir avtalepartenes plikter vedrørende gjennomføring av prosjektet og rettigheter til anvendelse av de resultater som prosjektet frembringer:

1. Studennte(n)e skal gjennomføre prosjektet i perioden fra Nov 2015 til Juni 2016.

Studentene skal i denne perioden følge en oppsett fremdriftsplan der NTNU i Gjøvik yter veiledning. Oppdragsgiver yter avtalt prosjektbistand til fastsatte tider. Oppdragsgiver stiller til rådighet kunnskap og materiale som er nødvendig for å få gjennomført prosjektet. Det forutsettes at de gitte problemstillingene det arbeides med er aktuelle og på et nivå tilpasset studentenes faglige kunnskaper. Oppdragsgiver plikter på forespørsel fra NTNU i Gjøvik å gi en tilbakemelding på prosjektet.

2. Kostnader ved gjennomføringen av prosjektet dekkes på følgende måte:

- Oppdragsgiver dekker selv gjennomføring av prosjektet når det gjelder f.eks. materiell, telefon/fax, reiser og nødvendig overnatting på steder langt fra NTNU i Gjøvik. Studentene dekker utgifter for ferdigstillelse av den skriftlige besvarelsen vedrørende prosjektet.
- Eierskissen til eventuell prototyp tilfaller den som har betalt komponenter og materiell osv. som er brukt til prototypen. Dersom det er nødvendig med større og/eller spesielle investeringer for å få gjennomført prosjektet, må det gjøres en egen avtale mellom partene om eventuell kostnadsfordeling og eierskissen.

3. NTNU i Gjøvik står ikke som garantist for at det oppdragsgiver har betalt fangøve etter basiskurs, ei heller at prosjektet blir fullført. Prosjektet må anses som en eksamenrelatert oppgave som blir bedømt av faglærer/veileder og sensor. Likevel er det en forpliktelse for utøverne av prosjektet å fullføre dette til avtalt spesifiseringer, funksjonsnivå og tider.

4. Den totale digitale besvarelsen med tegninger, modeller og beskrivelse av apparatur så vel som programlister, kildekode, målinger, beregninger og andre data, mv. som inngår som del av eller vedlegg til besvarelsen, gir det en kopi av til NTNU i Gjøvik, som vederlagsfritt kan benyttes til undervisnings- og forskningsformål. Besvarelsen, eller vedlegg til den, må ikke nyttes av NTNU i Gjøvik til andre formål, og ikke overføres til utenforstående uten etter avtale med de øvrige parter i denne avtalen. Dette gjelder også finanser hvor ansatte ved NTNU i Gjøvik og/eller studenter har interesse. Se punkt 9.

Besvarelsen med karakter C eller bedre og hvor studentene har skrevet under på en egen avtale hvor de gir NTNU i Gjøvik tillatelse til at deres bacheloroppgave blir gjort tilgjengelig i netoppgave (jf. Lov om opphavsrett). Oppdragsgiver og veileder godtar slik offentliggjøring når de signerer denne prosjektavtalen, og ikke annet avkrysses i punkt 9. For de oppgaver hvor disse tre punkter er godkjent vil oppgavene uten vedlegg bli benyttet til fra Fremmer innleveringen og publisert i NTNU i Gjøviks institusjonelle arkiv som er fritt tilgjengelig via internett.

5. Brevarens spesifikasjoner og resultat kan anvendes i oppdragsgivers egen virksomhet. Gjør student(er) i sin beretning, eller under arbeidet med den, en patentbar oppfinnelse, gjelder i forholdet mellom oppdragsgiver og student(er) bestemmelsene i Lov om retten til oppfinnelser av 17. april 1978, §§ 4-10.
6. Ut over den offentliggjøring som er nevnt i punkt 4 har student(er) ikke rett til å publisere sin beretning, det være seg helt eller delvis eller som del i annet arbeid, uten samtykke fra oppdragsgiver. Tilsvarende samtykke må foreligge i forholdet mellom student(er) og faglærer/veileder for det materialet som faglærer/veileder stiller til disposisjon.
7. Student(er) leverer oppgaveberetningen i frites, og kopiøkonomien skrives ut og kopierer dekker tre eksemplarer som fagmålsettle (en til eksamen senser og to til intern-sensur/fagmålsettle). Studentene har ansvaret for at oppdragsgiver får et fullstendig eksemplar (enten i trykket form eller elektronisk).
8. Studentene sørger for at oppdragsgiver og de selv undertegner kontraktene. Avtalen leveres til TØL sin avdelingsadministrasjon. På vegne av NTNU i Gjøvik er det dekan/prodekan som godkjenner avtalen. Etter at alle parter har signert avtalen, legger avdelingsadministrasjonen den ut i frites. Det er studentenes ansvar at oppdragsgiver får en kopi.
9. I det enkelte tilfelle kan det inngås egen avtale mellom oppdragsgiver, student(er) og NTNU i Gjøvik som nærmere regulerer forhold vedrørende bl.a. eiendomsrett, videre bruk, konfidensialitet, kostnadsdekning og økonomisk utnyttelse av resultatene. NTNU i Gjøvik anbefaler bedrifter å selv sørge for slike nødvendige kontrakter.

Dersom oppdragsgiver og student(er) ønsker en videre eller ny avtale, skjer dette uten NTNU i Gjøvik som partier, men NTNU i Gjøvik ønsker avklaring på følgende punkter (Kryss av for punktene som passer):

Konfidensialitet(rapport)     Ikke konfidensialitet(rapport)     Tilleggskontrakt

10. Når NTNU i Gjøvik også opptrer som oppdragsgiver trer NTNU i Gjøvik inn i kontraktene både som utdanningsinstitusjon og som oppdragsgiver.
11. Eventuell uenighet vedrørende forståelse av denne avtale løses ved forhandlinger avtalepartene i mellom. Dersom det ikke oppnås enighet, er partene enige om at tvisten løses av voldgift, etter bestemmelsene i tvistemåloven av 13.8.1915 nr. 6, kapittel 32.
12. Deltakende personer ved prosjektgjennomføringen:

NTNU i Gjøviks veileder (navn): Hennig Johansen

Oppdragsgivers kontaktperson (navn): HAROLD B. JOSEFSON

Student(er) (signatur): Amjed Naji      dato 22.01.2018

\_\_\_\_\_ dato \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ dato \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ dato \_\_\_\_\_

Oppdragsgiver (signatur): Randall Bernt Josefsson      dato 21.01.2018

TØL dekan/prodekan (signatur): \_\_\_\_\_      dato \_\_\_\_\_

## 10.2 Vedlegg 2 E-mail JBV 16.02.2016

Hei!

De vanligste standardsvillene som Jernbaneverket (JBV) bruker i dag er:

1. Spennbetongsville JBV54, jfr.  
[https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner/Vedlegg/Sviller#SPENNBE TONGSVILLE\\_JBV\\_54](https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner/Vedlegg/Sviller#SPENNBE TONGSVILLE_JBV_54)
2. Spennbetongsville JBV97, jfr.  
[https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner/Vedlegg/Sviller#SPENNBE TONGSVILLE\\_JBV\\_97](https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner/Vedlegg/Sviller#SPENNBE TONGSVILLE_JBV_97)
3. Spennbetongsville JBV60, jfr.  
[https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner/Vedlegg/Sviller#SPENNBE TONGSVILLE\\_JBV\\_60](https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner/Vedlegg/Sviller#SPENNBE TONGSVILLE_JBV_60)

Her finner du de fleste målene. Sporvidden er 1 435 mm målt mellom skinnene 14 mm under skinnetopp.

JBV hare en teknisk spesifikasjon for betongsviller (TSI) som du finner her:  
<https://trv.jbv.no/ts/Overbygning/Betongsviller>

Største aksellast på hovedlinjene er 22,5 tonn (225 kN). Imidlertid har Ofotbanen (Narvik – riksgrensen) en tillatt aksellast på 30 tonn.

Jeg håper dette er svar på spørsmålene dine! Skulle du ha flere spørsmål, får du heller sende meg en ny e-post.

Med hilsen

Alf Helge Løhren Sjefingeniør - Dr.ing.

Jernbaneverket Teknologi Jernbaneteknikk Overbygning

Besøksadresse: Osloveien 105, N-7018 Trondheim

Offisiell postadresse: Postboks 4350, 2308 Hamar Postadresse i Trondheim: Postboks 6166 Sluppen, N-7435 Trondheim Mobil: +47 916 72 545 Epost: [alf.helge.lohren@jbv.no](mailto:alf.helge.lohren@jbv.no)

## 10.3 Vedlegg 3 E-mail NSK

NSK Harald Jøsendal 02.02.2016

Hei,

Svar på spørsmål:

Den resirkulerte plasten som skal brukes heter PE. Det er den samme plasten som i korken på en brusflaske.

Denne resirkulerte plasten kommer fra Romerrike Avfallshåndtering.

Flis:

Flis kommer fra skog/tømmer. Dette er tømmer som normalt ikke ville blitt tatt ut av skogen. Flis som skal brukes skal være i som chips/fragmenter.

Produksjonsmetode: Ønsket produksjonsmetode er varmpressing.

Krav: Studenten sjekker med krav. Sjekk med jernbaneverket. Sjekk om det fins standarder i EU.

Belastning/ last: Studenten kan sjekke med byggavdeling på NTNU Gjøvik. Hvor mye tåler en betong jernbanesville i kompresjon.

Best regards

Harald Bertin Jøsendal

Prosjektleder

Nasjonalt Senter for Komposittkompetanse

T: +47 93213076

E: [hbj@kompositt.com](mailto:hbj@kompositt.com)

Web: [www.komposittsenteret.no](http://www.komposittsenteret.no)

## 10.4 Vedlegg 4 E-mail NSK

### NSK Harald Jøsendal 4.3.2016

Hei;

- Chips: Chips/ flis ligger helt ustrukturert. De ligger uorganisert.
- Egenskaper: Bruk egenskaper/ E-modul/ materialdata for PE-plast.
- Chips/ flis ble valgt fordi et er et billig materiale og vi ønsker å se på hva chips/flis kan brukes til.

Hilsen

Harald

Harald Bertin Jøsendal

Prosjektleder

Nasjonalt Senter for Komposittkompetanse

*T: +47 93213076*

*E: [hbj@kompositt.com](mailto:hbj@kompositt.com)*

*Web: [www.komposittsenteret.no](http://www.komposittsenteret.no)*

## 10.5 Vedlegg 5 E-mail

NSK Harald Jøsendal 29.03.2016

Hei;

Er den resirkulert plast (PE) fra typen (HDPE): SVAR: Nei. Det er ikke HDPE. Det er bare PE.

- har den tre - flis som skal brukes i kompositten høy vann - absorpsjon.: SVAR: Ja, flisen som støpes inn er veldig tørr; derfor har den høy vann- absorpsjon. MEN: Når den er støpt inn i PE plast har den ikke mulighet til å trekke til seg vann.

- Hvordan bestemmes E - modul for denne kompositten: SVAR: Goggle: Søk etter e-modul for PE plast.

Hilsen

Harald

## 10.6 Vedlegg 6 møtereferat Iver Jensen

# Møtereferat Jensen 07.03.2016

**Emnet:**

Prosjekt produktutvikling av jernbanesviller

**Deltakere:**

NSK: Iver Jensen

Student: Amjed Naji

**MØTESTED:**

NTNU Gjøvik, B bygget, laben i underetasje

**Tid:**

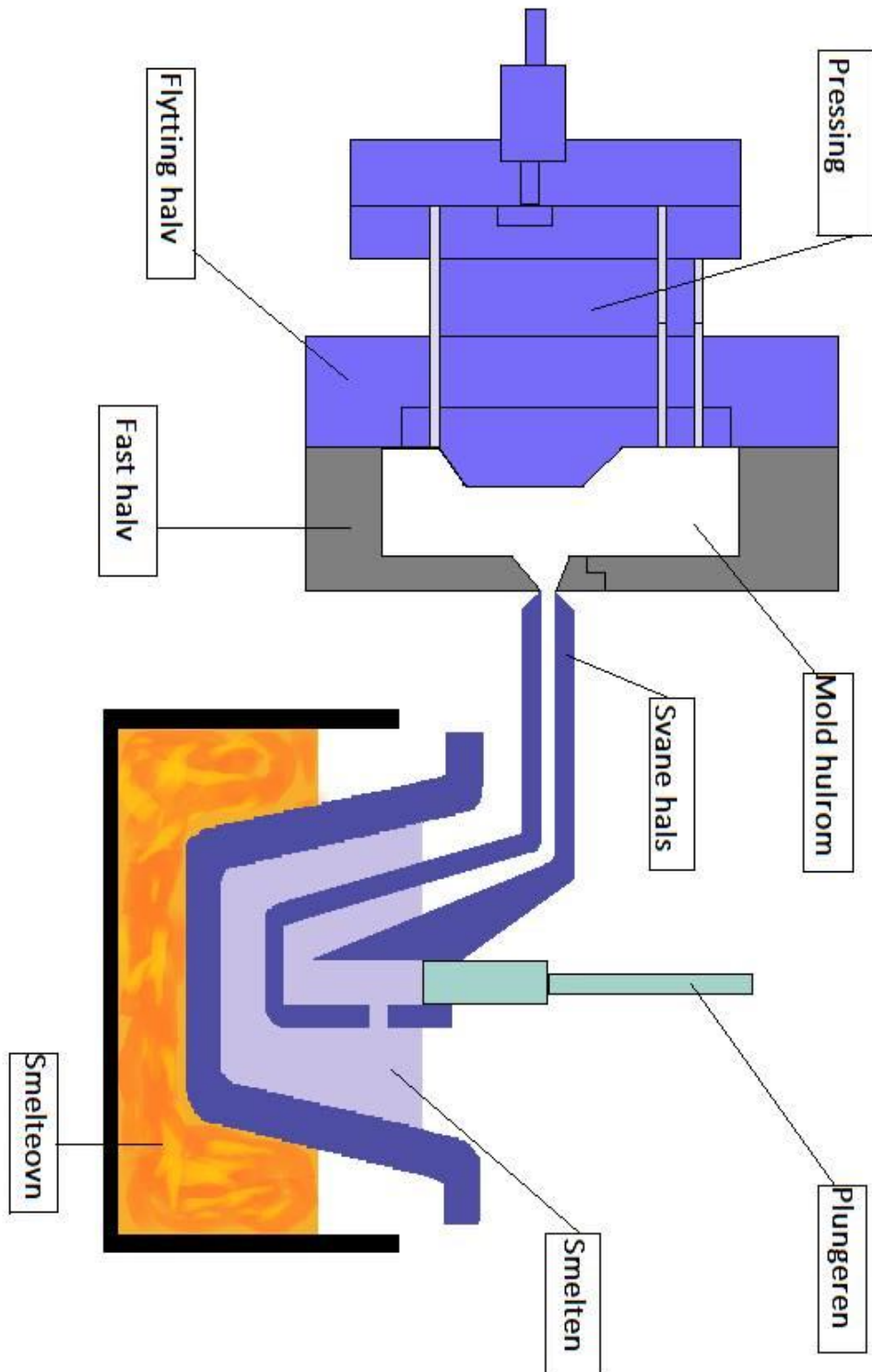
Mandag 07.03.2016 kl 14

**Konklusjon:**

Jernbanesviller skal produseres av komposittmaterialet som består av plast (matriks) og flis som forsterkningsmaterial. De skal blandes sammen til en miks material som kan støypes eller varmpresses til en bestemt form. Det er noen bedrifter på Raufoss som bruker lignende material og produksjonsmetode men med lavere styrke og mekaniske egenskaper.

Plast materialet er termoplast derfor kan den varm formes, støypes. Og flis skal ligge uorganisert i strukturen. De vil være som et material og har samme styrke i alle retninger. Vanlig blandingsforhold i kompositt miks material 40 % plast og 60 % den andre.

## 10.7 Vedlegg 7 Varmpressing



Tegning: «Varmkammer maskin». Etter beskrivelse fra Tilvirkningsteknikk bok (Corneliussen 2002). Windows PAINT



## 10.8 Vedlegg 8 kompositt jernbanesviller typer

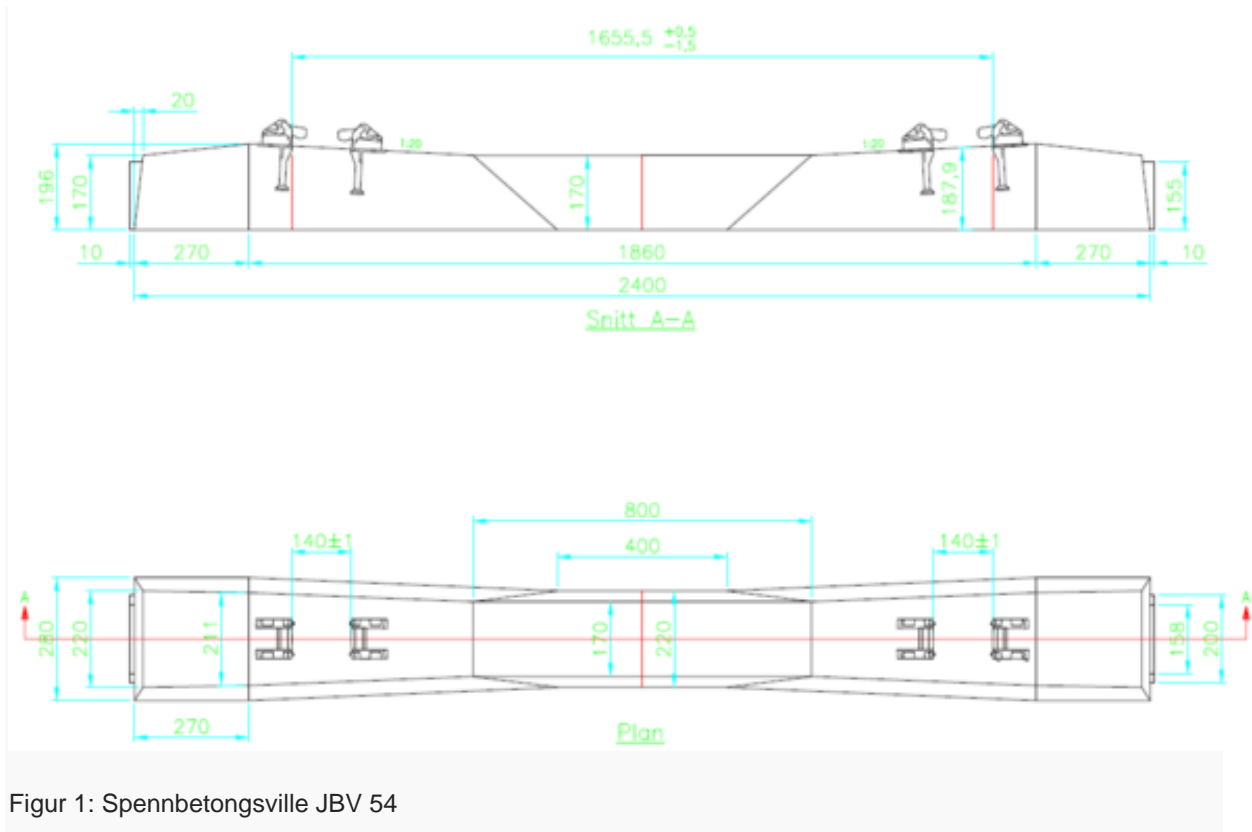
Performance comparison of different types of composite sleeper.

Performance measurement	AREMA specification			Type-1	Type-2	Type-3
	Oak	Softwood	Glue Lam			
Density (kg/m <sup>3</sup> )	1096	855	960	850-1150	740	1040-2000
Modulus of elasticity (GPa)	8.4	7.4	12.0	1.5-1.8	8.1	5.0-8.0
Modulus of rupture (MPa)	57.9	49.3	66.9	17.2-20.6	142	70-120
Shear strength (MPa)	5	4	4	4	10	15-20
Rail seat compression (MPa)	4.6	3	3.9	15.2-20.6	28	40
Screw withdrawal (kN)	22.2	13.3	N/A	31.6-35.6	65	>60

Tabell: egenskaper til typer komposittsviller. ( Ferdous, Manalo, Erp, Aravinthan, Kaewunruen og Remennikov 2015)

## 10.9 Vedlegg 9 JBV betongsviller Meste brukte typer

# SPENNBETONGSVILLE JBV 54



Figur 1: Spennbetongsville JBV 54

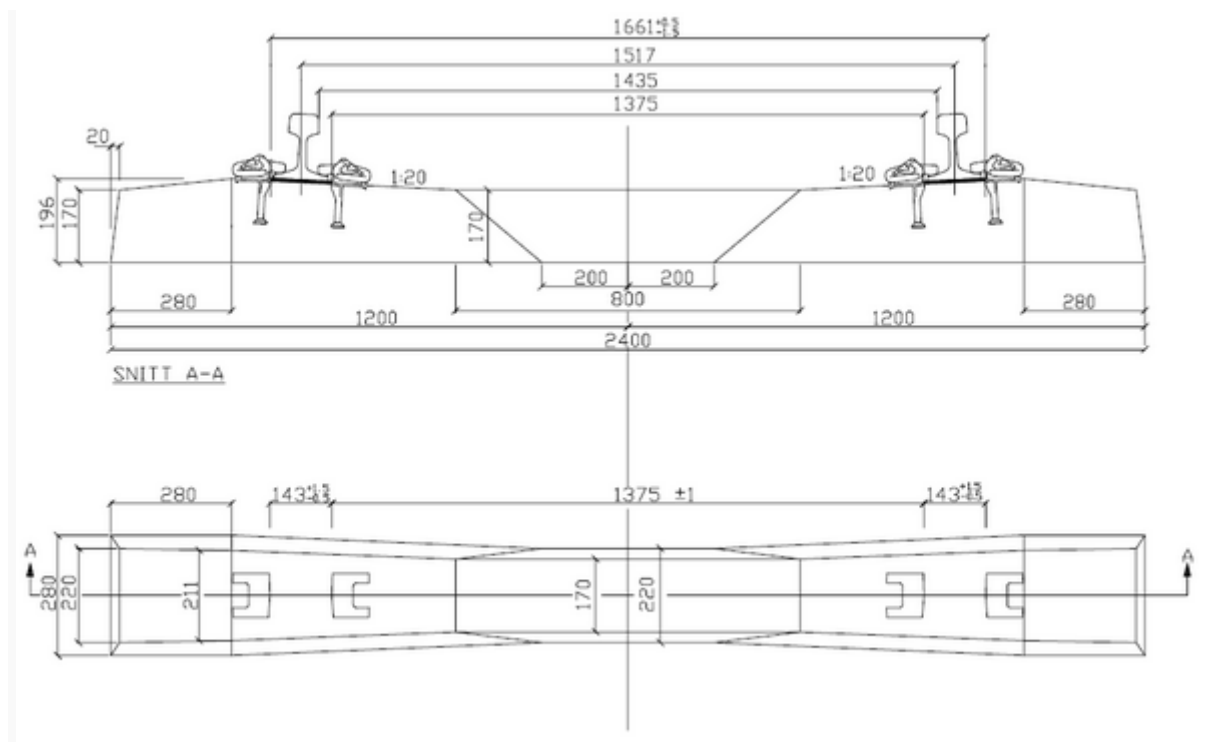
Svillens vekt: 238 kg

Befestigelse: Pandrol Fastclip FE

Tegning: OB 800135

Ankeret OB 800122 er innstøpt i svillen

# SPENNBETONGSVILLE JBV 97



Figur 2: Spennbetongsville JBV 97

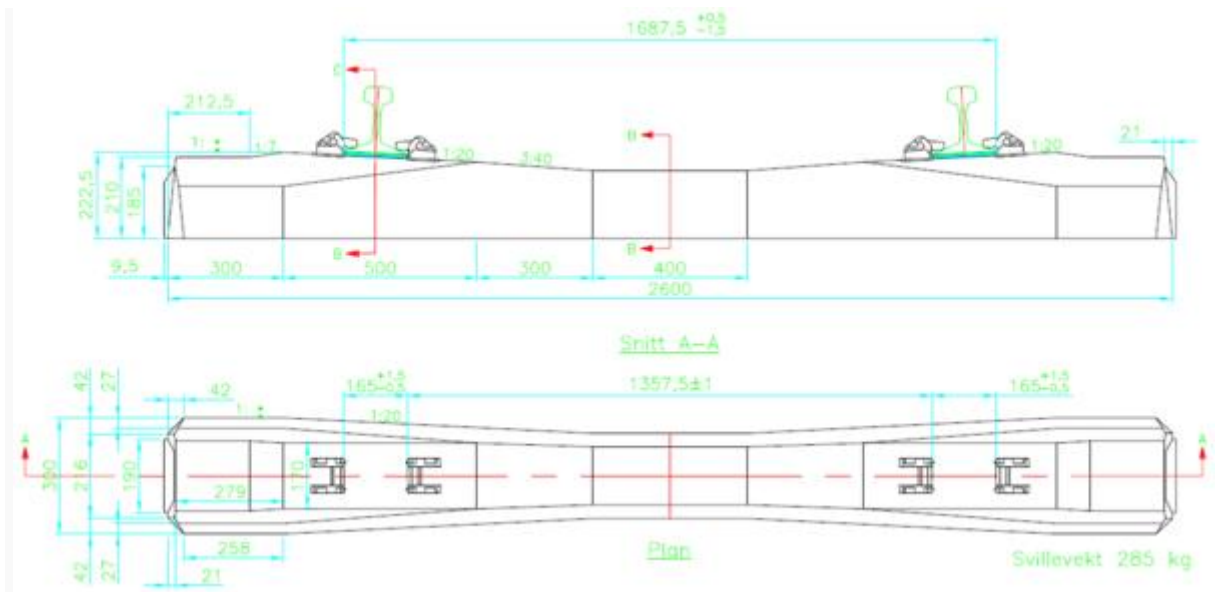
Svillens vekt: 230 kg

Befestigelse: Pandrol Fastclip FC

Tegning: Sk 3181

Ankeret Sk 3165A er innstøpt i svillen.

# SPENNBETONGSVILLE JBV 60



Figur 3: Spennbetongsville JBV 60

Svillens vekt: 285 kg

Befestigelsessystem: Pandrol Fastclip FE

Tegning: OB 800136

Ankeret OB 800122 er innstøpt i svillen.

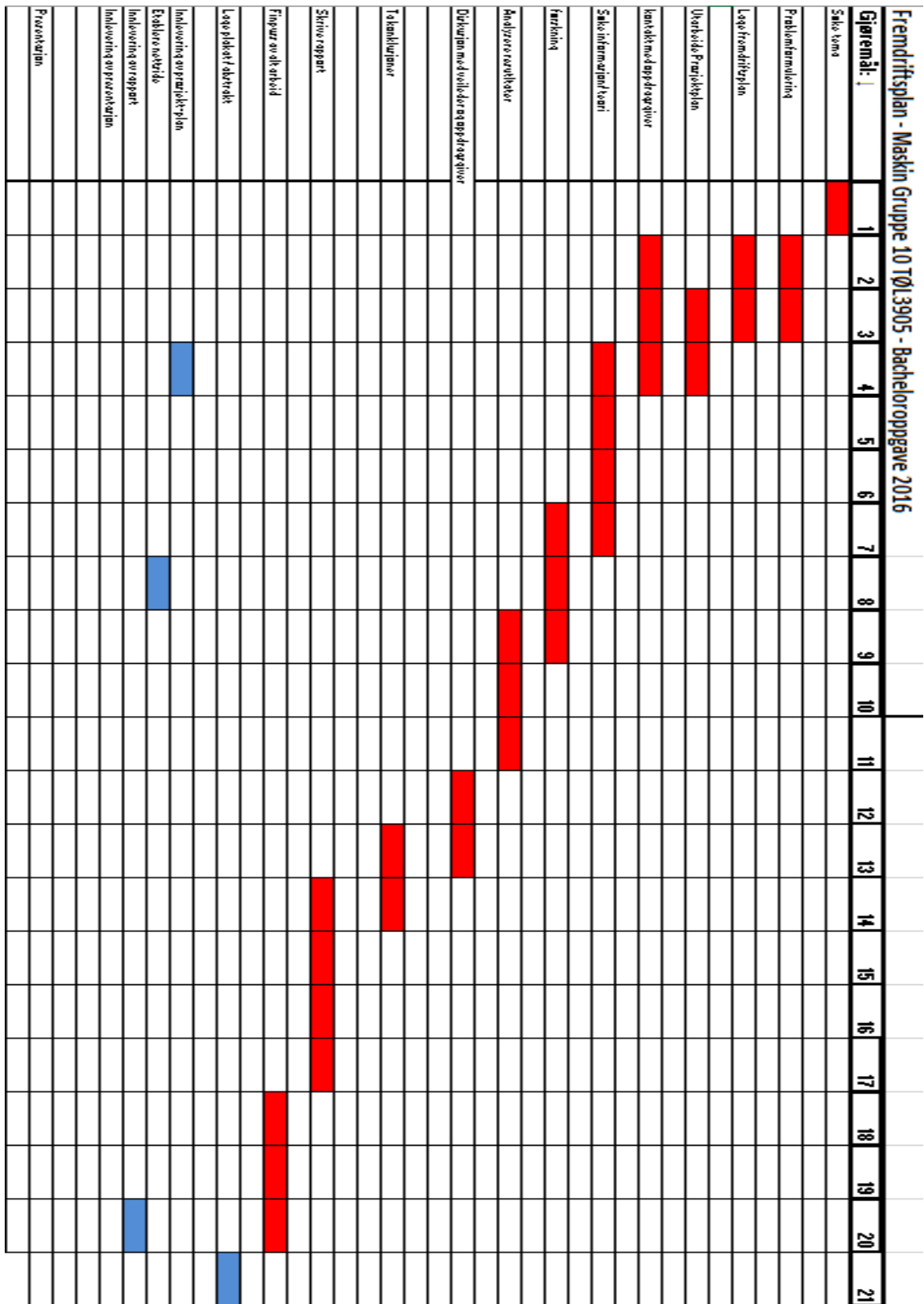
## 10.10 Vedlegg 10 betong

Material properties of concrete

Module of elasticity, $E_c$	Compression yield strain, $\epsilon'_c$	Compression ultimate strain, $\epsilon_u$	Compression strength, $f'_c$	Rupture strength, $f_r$	Poisson's ratio, $\nu$
15 GPa	0.002	0.003	58.8 MPa	14.7 MPa	0.25

Tabell: Betong egenskaper (Shokrieh og Rahmat 2006)

## 10.11 Vedlegg 11 Gantt – diagram



## 10.12 Vedlegg 12 medforfatterdeklarasjon



### Medforfatterdeklarasjon for Bacheloroppgave ved TØL

**Forfattere:**

Student 1: Amjed Najj

**Tittel:** Utfordringer ved bruk av tre - resirkulert plast kompositt på Norsk jernbane

**Bidrag:**

Delaktiviteter/deloppgave	Student 1	Student 2	Student 3	Student 4
Plan	4			
Teori studie	4			
Elementmetode	4			
Analysering av resultater	4			
Diskusjon av resultater	4			
Kommunikasjon med oppdragsgiver	4			
Skriving av Rapport	4			

Tabellen fylles ut med delaktiviteter og størrelsen på bidraget fra den enkelte student angis med et tall mellom 0 og 4 etter følgende betydning:

- 0: Ingenting
- 1: Lite
- 2: En del
- 3: Mye
- 4: Alt

De undertegnede studenter bekrefter herved at de har gjort følgende delaktiviteter på gjeldende Bacheloroppgave.

Signatur studenter:

Amjed Najj