

Christian August Digernes  
Leander Spyridon Pantelatos

# Konseptutvikling av transportmiddel for post og pakker

Bacheloroppgave i Konstruksjonsteknikk  
Veileder: Frank Almli  
Mai 2019



Christian August Digernes  
Leander Spyridon Pantelatos

## Konseptutvikling av transportmiddel for post og pakker



Bacheloroppgave i Konstruksjonsteknikk  
Veileder: Frank Almlı  
Mai 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for maskinteknikk og produksjon





**FAKULTET FOR  
INGENIØRVITENSKAP**  
**Institutt for maskinteknikk og  
produksjon**  
**7491 Trondheim**

Besøksadresse:

R.Birkelands vei, 2B, Trondheim

## **RAPPORT BACHELOROPPGAVEN**

Tittel (Både på norsk og engelsk kreves)  
Konseptutvikling av transportmiddel for post og  
pakker.

Concept Development of a Cargo Transport  
Vehicle

Prosjektnr

**MTP-K-2019-11**

Forfatter(e)

Leander Spyridon Pantelatos  
Christian August Digernes

Oppdragsgiver(e) eksternt

Ragnar Hellan

Dato levert  
20.05.19

Antall  
vedlegg  
15

Totalt antall  
sider  
129

Veileder(e) internt

Frank Almli

Rapporten er **ÅPEN**

Kort sammendrag

Denne bacheloroppgaven presenterer en produktutviklingsprosess for et transportmiddel som skal erstatte elbilen for levering av post og pakker på Campus Gløshaugen.

Stikkord fra prosjektet

Produktutvikling, CAD, Sykkel, Rendering, FEA, Konseptutvikling, Design, Miljø

## Forord

I denne rapporten presenteres prosessen og resultatene fra Bachelor oppgaven «Konseptutvikling av transportmiddel for post og pakker.» Rapporten er skrevet over vårsemesteret 2019. Forfatterne går retningene konstruksjonsteknikk og industriell design. Vi ønsket begge å skrive en oppgave som inneholdt produktutvikling som avsluttende prosjekt for bachelorgraden.

Oppgaven er gitt av NTNU Campusservice og har bydd på mange spennende utfordringer underveis i prosjektet. Vi var svært begeistret for å få jobbe med en produktutviklingsprosess fra begynnelsen av, og satte pris på den kreative friheten vi har fått fra oppdragsgiver. Det har vært svært givende å arbeide med prosjektet og vi har lært mye gjennom prosjektet.

Gruppedynamikken har vært svært god og arbeidet med bacheloroppgaven har vært et høydepunkt i utdanningsløpet.

Vi ønsker å takke vår veileder Frank Almlie som har gitt oss gode råd gjennom oppgave og oppdragsgiver Ragnar Hellan for en god oppgave og hans store engasjement om prosjektet. Vi vil også takke de ansatte ved NTNU Campusservice som har stilt opp for å svare på spørsmål og delt sine erfaringer, noe som har hjulpet prosjektet mye.

Trondheim 20. Mai 2019

---

Christian August Digernes

---

Leander Spyridon Pantelatos

# Sammendrag

Denne bacheloroppgaven presenterer en produktutviklingsprosess for et transportmiddel som skal erstatte elbilen for levering av post og pakker på Campus Gløshaugen.

Oppgaven er i samarbeid med NTNU Campusservice som drifter den interne posttjenesten. De siste årene har det kommet flere el-sykkel løsninger på markedet, som har blitt en del av flåten hos flere store logistikkforetak. Campusservice utfører, per dags dato, tjenestene sine ved hjelp av elbiler. Det var stor interesse av å undersøke mulighetene for å frakte post via fortauet, i et fartøy som er mer miljøvennlig enn elbil, og som kan integreres bedre i NTNUs fremtidige sentraliseringsprosjekt.

Siden oppgaven er bred og omfattende, har gruppens hovedmål vært å presentere et overordnet konsept som tilfredsstillende ønsker og krav til den typen distribusjon Campusservice opererer.

Produktutviklingsmetoder er brukt i konseptutviklingen i søken etter de beste løsningene. Oppgaven begynner med en kartleggingsfase av behov og ønsker, før ulike transportmetoder utforskes overordnet. Evalueringmetoder legges til grunn for å kunne presentere et endelig konsept. Gruppen presenterer en elsykkel med avtagbar tralle som den mest reelle løsningen innenfor de rammene som er gitt.

Konseptet er detaljert i en CAD-modell, som også er blitt brukt i visualiseringer. Det har blitt lagt vekt på enkle funksjonelle løsninger setter brukeren i fokus. Modularitet og riktig arbeidshøyde har vært viktige stikkord i utviklingsforløpet. Gruppen har også undersøkt sykkelmarkedet, og utforsket muligheten i tilgjengelige standardkomponenter. Rammen er i hovedfokus, og har blitt analysert ved hjelp av FEA i Solidworks. I tillegg er det gjort beregninger på fremdrift og bremses, for å danne et bilde av hvordan sykkelen oppfører seg i bruk.

Det konkluderes med at konseptet svarer godt på de behovene Campusservice har, i tillegg til at det introduserer en bedre ergonomi for transport av tunge pakker i flertall. Beregninger på rammen viser at denne er realiserbar, men det gjenstår en del optimaliseringsarbeid, før denne kan realiseres. Utmatting og dynamiske analyser må gjennomføres, og større deler av sykkelen krever en del detaljeringsarbeid.

Konseptet er å anse som en skisse for videre arbeid. Men gruppen er sikre på at konseptet har løsninger av interesse, også for et marked utenom NTNU.

# Summary

This Bachelor's thesis presents the development of a vehicle that could substitute an EV for mail services at Campus Gløshaugen.

The project is in collaboration with NTNU Campusservice who runs the internal mail service. In the past years several bicycle concepts has been taken into the fleet of major logistic companies, for last-mile operation. As Campusservice runs its operation with the use of EVs, there is a huge interest in trying to find a more environmentally friendly solution, which also can be integrated in the future centralization concept of NTNU.

As the project is quite comprehensive, emphasis has been laid on presenting an overall concept, which meets the demands and wishes of Campusservice's mail service. Product development methods has been used to in the concept development to find the best solution for the context. At first contextual analysis has been done to define the requirements for further concept proposals. Different alternatives for mail transport has been explored, and evaluation methods have been used to choose the final concept for further detailing. The group present an electric bicycle with a detachable trolley as the final concept.

A CAD model has been created for further detailing and visualization of the concept. Simple and functional solutions has been which puts the user is in the very focus, has been important. Furthermore modularity and working height has been keywords throughout this project. The bicycle market has been explored for the possibilities that lays in standard components that are available. The bikeframe has been the most important part, which also is analyze by FEA in Solidworks. Calculations on brakes and drivetrain performance has also been made.

The group concludes that the proposed concept makes a good match with the requirements at Campusservice, furthermore it introduces a solution to some of the ergonomic issues of today. Analysis on the frame, shows that it can be realized. But dynamic and fatigue analyzes should be made, as part of an optimization process for the frame. Some parts of the bike also needs a lot more detailing before realization. But the group is confident in presenting a product that inspires, and surely finds interest outside of NTNU as well.



<b>SAMMENDRAG .....</b>	<b>3</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>4</b>
<b>TABELLISTE .....</b>	<b>9</b>
<b>FIGURLISTE .....</b>	<b>10</b>
<b>INNLEDNING .....</b>	<b>11</b>
<b>Om oppgaven.....</b>	<b>11</b>
Bakgrunn for valg av tema.....	12
Målsetting .....	12
Omfang og begrensinger .....	14
<b>Om campusservice .....</b>	<b>14</b>
<b>Forskning og utvikling.....</b>	<b>15</b>
<b>Metode.....</b>	<b>15</b>
<b>TEORI .....</b>	<b>16</b>
<b>Produktutvikling og innovasjon .....</b>	<b>16</b>
Prosessen.....	16
Observasjon.....	17
Spørreundersøkelse .....	17
Intervju .....	18
Storyboard .....	18
Brukerkravspesifikasjon .....	19
Produktspesifikasjon.....	19
Konseptutvikling.....	20
Konseptevaluering.....	20
Konseptvalg .....	20
Kvalitetshus.....	21
<b>Konstruksjonsteori .....</b>	<b>22</b>

<b>KONSEPTUTVIKLING .....</b>	<b>26</b>
<b>Kartlegging .....</b>	<b>26</b>
<b>Konseptforslag.....</b>	<b>27</b>
Konsept 1: Elektrisk lastesykkel.....	28
Konsept 2: Autonomt postskap .....	30
Konsept 3: Drone .....	32
Konsept 4: Sparkesykkel.....	34
Konsept 5: Tralle uten ny sorteringsterminal .....	36
Konsept 6: Tralle med ny sorteringsterminal .....	38
<b>Konseptevaluering .....</b>	<b>40</b>
<b>Valg av konsept .....</b>	<b>41</b>
<b>Videreutvikling av konseptforslag .....</b>	<b>42</b>
Morfologisk tabell .....	43
Vurdering av konseptene.....	43
Skisser av de to konseptene .....	44
Konklusjon fra analysen .....	49
<b>Valg av endelig konsept.....</b>	<b>50</b>
Diskusjon av konsepter med brukeren .....	50
Konklusjon.....	50
<b>VALG OG UTVIKLING AV KOMPONENTER.....</b>	<b>51</b>
<b>Ramme .....</b>	<b>51</b>
<b>Lastesystem.....</b>	<b>55</b>
Kasse foran: .....	55
Tralle bak.....	59
<b>Framdrift og bremseser .....</b>	<b>61</b>
<b>Hjuloppheng og styring .....</b>	<b>64</b>
Hjuloppheng .....	64
Hjul .....	65
Styring.....	66

<b>BEREGNINGER OG MATERIALVALG.....</b>	<b>67</b>
<b>Bremselengde.....</b>	<b>67</b>
Maksimal bremskraft.....	69
<b>FEA.....</b>	<b>77</b>
<b>Materialvalg.....</b>	<b>82</b>
Ramme: .....	82
Kasse: .....	82
<b>RESULTAT.....</b>	<b>83</b>
<b>Ramme .....</b>	<b>84</b>
<b>Lastesystem.....</b>	<b>85</b>
<b>Fremdrift og bremseser .....</b>	<b>90</b>
<b>Hjuloppheng og styring .....</b>	<b>91</b>
Hjuloppheng .....	91
Hjul .....	92
Styresystem.....	92
<b>DISKUSJON OG KONKLUSJON.....</b>	<b>93</b>
<b>Diskusjon .....</b>	<b>93</b>
<b>Gjennomføring .....</b>	<b>96</b>
<b>Konklusjon .....</b>	<b>97</b>
<b>Videre arbeid.....</b>	<b>97</b>
<b>REFERANSER .....</b>	<b>98</b>

<b>VEDLEGG .....</b>	<b>100</b>
<b>Vedlegg 1: Produktspesifikasjon .....</b>	<b>100</b>
<b>Vedlegg 2: Dybdeintervju Campusservice.....</b>	<b>102</b>
<b>Vedlegg 3: Konstruksjonsgjennomgang .....</b>	<b>105</b>
<b>Vedlegg 4: Beregning massesenter .....</b>	<b>106</b>
<b>Vedlegg 5: Bill of materials .....</b>	<b>109</b>
<b>Vedlegg 6: Statens vegvesen.....</b>	<b>112</b>
<b>Vedlegg 7: Storyboard.....</b>	<b>115</b>
<b>Vedlegg 8: Datablad Bosch motor og batteri .....</b>	<b>118</b>
<b>Vedlegg 9: Datablad Rohloff 500/14.....</b>	<b>119</b>
<b>Vedlegg 10: Datablad Velove .....</b>	<b>120</b>
<b>Vedlegg 11: Målsatte tegninger .....</b>	<b>121</b>
<b>Vedlegg 12: Henvisninger CAD.....</b>	<b>123</b>
<b>Vedlegg 13: Kart over leveringspunkt .....</b>	<b>124</b>
<b>Vedlegg 14: Populærvitenskapelig artikkel.....</b>	<b>125</b>
<b>Vedlegg 15: Evalueringsmatrise .....</b>	<b>128</b>

# Tabelliste

Tabell 1. Morfologisk tabell.....	42
Tabell 2. Resultater morfologisk tabell.....	42
Tabell 3. Kvalitetshus .....	47
Tabell 4. Resultat Kvalitetshus .....	49
Tabell 5. Konstanter i beregning av bremselengde.....	67
Tabell 6 Konstanter i beregning av maksimal bremskraft .....	70
Tabell 7. Giroversetning .....	73
Tabell 8. Gir og krefter .....	74
Tabell 9. Konstanter ved kraftberegning.....	74
Tabell 10. Hastigheter ved en kadens på 60 rpm .....	75
Tabell 11. FEA - Material .....	77
Tabell 12. FEA - Krefter .....	77
Tabell 13. FEA - Fastholdninger.....	78
Tabell 14. FEA - Mesh.....	78
Tabell 15. FEA - Mesh control .....	79

# Figurliste

Figur 1. Prosessbeskrivelse .....	16
Figur 2. Elektrisk lastesykkel.....	28
Figur 3. Autonomt postskap.....	30
Figur 4. Drone .....	32
Figur 5. Sparkesykkel .....	34
Figur 6. Tralle uten ny sorteringsterminal .....	36
Figur 7. Tralle med ny sorteringsterminal .....	38
Figur 8. Resultat evalueringsmatrise.....	40
Figur 9. Skisse The Ant.....	44
Figur 10. Skisse The Peacock .....	45
Figur 11. Skisse av The Peacock - Lastesystem .....	46
Figur 12. Konkurrent 1: Velove	
Figur 13. Konkurrent 2: Butcher & Bicycles .....	48
Figur 14. Skisse Ramme 1 .....	52
Figur 15. Skisse Ramme 2 .....	53
Figur 16. Ramme 3.....	54
Figur 17. Kasse 1 med falkondører.....	56
Figur 18. Kasse 1 med topplokk .....	57
Figur 19. Kasse 2 .....	58
Figur 20. Løsning 1: heving og senking av tralle med gassfjær .....	59
Figur 21. Løsning 2: Vippebjelke og hjul på trallen .....	60
Figur 22. Framhjulsdrift.....	61
Figur 23. Bakhjulsdrift.....	62
Figur 24. Rohloff 500/14 Navgir	
Figur 25. Bosch E-bike Performance CX Motor .....	63
Figur 26. Steintrike .....	66
Figur 27. Styresystem .....	66
Figur 28. FLD – Maksimal bremskraft .....	69
Figur 29 Oversikt over girsystem.....	72
Figur 30. Svingradius .....	76
Figur 31. Resultater von Mises .....	80
Figur 32. Resultater sikkerhetsfaktor .....	80
Figur 33. The Ant Render 1 .....	83
Figur 34. The Ant Render 2 .....	84
Figur 35. The Ant Render 3 .....	85
Figur 36. The Ant Render 4 .....	86
Figur 37. The Ant Render 5 .....	87
Figur 38. The Ant Render 6 .....	88
Figur 39. The Ant Render 7 .....	89
Figur 40. The Ant Render 8 .....	90
Figur 41. The Ant Render 9 .....	91

# Innledning

## Om oppgaven

Gruppen ble introdusert for oppgaven på informasjonsmøte om bacheloroppgaveskriving høsten 2018. Oppgaven er å utvikle et nytt transportmiddel til bruk for internt transport av post og pakker mellom Campusservice (Valgrinda) og Campus Gløshaugen. I dag benyttes el-biler for denne operasjonen, men Campusservice ønsker en løsning som har et mindre fotavtrykk både klimamessig og fysisk. Siden campus Gløshaugen har mange bygg, og det er lite ønskelig med biltrafikk, ønsker gruppen å finne et løsningsrom som også kan effektivisere arbeidshverdagen til de ansatte.

*Problemstilling:*

*Utvikle et transportmiddel som er mer miljøvennlig, og minst like effektiv som en elbil, til å transportere pakker og post på campus Gløshaugen.*

Siden oppgaven omfatter veldig mye, ble det tidlig satt opp en prioriteringsliste, å jobbe ut i fra:

1. Finne et konsept for transport av post og pakker.
2. Visualisere konseptet.
3. Gjøre beregninger, og ingeniørmessige vurderinger i forhold til realisering av produktet.
4. Detaljert CAD-modell
5. Produksjonsklare tegninger

## Bakgrunn for valg av tema

Det var tidlig et ønske om å gjennomføre en hel produktutviklingsprosess. Forfatternes bakgrunn er både teknisk og design relatert, og en oppgave som samler begge fagfelt var dermed av stor interesse. Flere oppgaver ble vurdert, men campusservice sin problemstilling syntes å være den som passet best med gruppens forestillinger. Oppgavens frihet, i tillegg til det underliggende miljøfokuset vakte stor interesse hos forfatterne.

## Målsetting

### **Resultatmål**

- Konseptet skal være mer miljøvennlig enn dagens transportløsning.
- Konseptet skal være godt tilpasset arbeidsoppgavene hos Campusservice.
- Dokumentasjonen skal tydelig vise konseptets virkemåte, inneholde beregninger, og ingeniørmessige vurderinger i henhold til potensiell realisering.



## Effektmål

### *Relatert til oppgaven*

- Gruppen ønsker å utvikle en løsning som forbedrer arbeidshverdagen til de ansatte ved NTNU.
- I et større perspektiv ønsker gruppen å innfri NTNUs ambisiøse miljøambisjoner, og gjøre NTNU til et forbilde innen miljø for studenter og andre institusjoner.
- Redusere antall arbeidsoperasjoner i transportprosessen.

### *Internt*

- Ved å jobbe med en oppgave knyttet til miljøutfordringer får forfatterne relevant erfaring fra et dagsaktuelt område med voksende relevans.
- En god bacheloroppgave vil gjøre gruppens medlemmer mer attraktive på arbeidsmarkedet.

## Omfang og begrensinger

Det regnes med å bruke rundt 500-600 timer per student på dette prosjektet. For gruppen gir dette 1000-1200 timer for dette prosjektet. Siden oppgaven er omfattende, og lignende prosjekt i næringslivet har vesentlig høyere tidsressurser, har gruppen satt opp og vil følge prioriteringslisten ovenfor hvor hovedvekt ligger på å finne et godt overordnet konsept for campusservice sin virksomhet.

Konseptet må holde seg innenfor gjeldende regelverk og være et utelukkende positivt bidrag til campusmiljøet.

## Om campusservice

NTNU Campusservice er ansvarlig for drift og vedlikehold av NTNUs bygningsmasse og utearealer. Organisasjonen har flere seksjoner. Logistikk, park og ressurs, som ligger under seksjon for bygnings drift, er oppgavens oppdragsgiver. Ragnar Hellan er veileder hos avdelingen. Avdelingen leverer blant annet post, pakker og bøker til alle campus ved NTNU Trondheim. Det er i hovedsak fire biler i sving. En som transporterer bøker mellom alle tilknyttede bibliotek, og sentralen. En bil som transporterer elektriske artikler, og to el-biler som kjører post, der Gløshaugen betjenes på formiddagen. Campusservice har registrert at postmengden har avtatt betydelig. Men pakker er derimot noe som øker, og kommer til å fortsette å øke. Nytt av året er en pakkeautomat i realfagbygget som skal gjøre pakkeleveransen enklere og mer fleksibel for mottaker. Miljøengasjementet er stort, og det har vært et stort ønske å gå over til et annet transportmiddel med et lavere fotavtrykk. En del budselskap har gått over til diverse sykkelløsninger de siste årene, og campusservice ser på dette som en mulig løsning.

# Forskning og utvikling

Ved siden av å være en problemløsning er oppgaven fremtidsrettet og bærer preg av nyskapning. Da NTNU har besluttet å samle campus på Gløshaugen vil avstandene til leveringstasjonene avta. Etersom Gløshaugen kommer til å måtte fortettes, vil biler bli stadig mindre velkomne. Et smidigere transportmiddel som kan brukes på fortauet, og som potensielt kan manøvreres innendørs vil være et godt svar på fremtidens utfordringer. I tillegg vil økende pakketransport også kunne medføre flere tunge løft fra uergonomiske arbeidsposisjoner, som også er et emne det skal ses på.

## Metode

Prosjektet ble løst over flere faser.

### *Forprosjekt*

Gruppen definerte problemstilling og utforsket materien for videre arbeid. Konkrete fremdriftsplaner i form av et Gantt-skjema ble laget, og prioriteringsliste ble satt opp. I tillegg ble samarbeidsavtaler underskrevet, og en risikomatrix for prosjektet satt opp. Det ble også skissert hvilken prosess gruppen skulle følge i utviklingen av et nytt transportmiddel. I tillegg brukte forfatterne mye tid på å danne en felles forståelse for estetikk og funksjonalitet.

### *Produktutviklingsfasen*

Av tidligere pensum ble den iterative Ulrich-Eppinger modellen benyttet som inspirasjon for å definere gruppens prosess for produktutvikling. I samspill med Gantt-skjemaet utgjorde dette selve strukturen av gruppens arbeidsmetodikk.

### *Beregninger og ferdigstilling*

Parallelt med produktutviklingen ble utkast til den skriftlige innlevering utarbeidet, og ferdigstilt helt mot slutten. I modelleringsfasen ble også en del beregninger og analyser i Solidworks gjort.

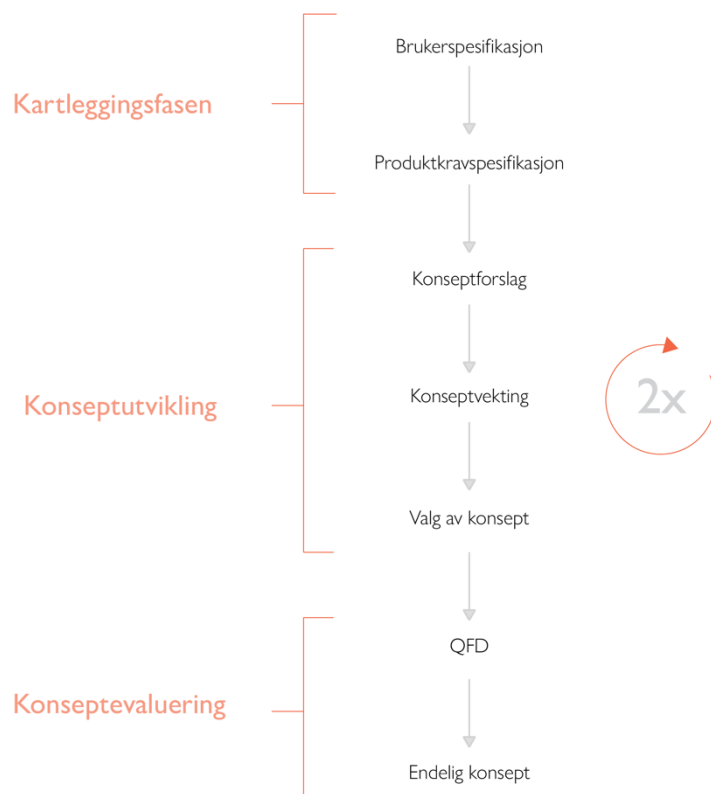
Hjelpemidler brukt til skriving av denne oppgaven: Microsoft Word, Adobe Illustrator, Adobe Indesign, Adobe Photoshop, GisLink, Solidworks, Solidworks Visualize, Keyshot, Google Drive og Microsoft Onedrive.

# Teori

## Produktutvikling og innovasjon

### Prosessen

Som et veikart for produktutviklingsprosessen tok gruppen inspirasjon fra Ulrich-Eppinger prosessen (Ulrich & Eppinger, 2003). Denne prosessen viser stegene i en typisk produktutviklingsprosess trinnvis, i tillegg til at den er iterativ, dvs. At den åpner for å hoppe kunne hente inn “ny” input fra tidligere faser etterhvert som prosessen fortsetter. Prosessen er delt inn i fem faser: Visjon, behovs- og teknologianalyse, konseptutvikling, struktur og utforming og konstruksjonsgjennomgang til slutt. Med dette som utgangspunkt ble det dannet en detaljert prosess for hvordan for dette prosjektet.



Siden dette prosjektet handler om å finne et nytt transportmiddel, er første del av oppgaven å finne det overordnede konseptet, før det detaljeres til spesifikke tegninger, av det faktiske produktet. Etter flere diskusjoner kom gruppen frem til at prosessfremstillingen til venstre, er mer beskrivende for dette prosjektet. Gruppen begynner med en kartleggingsfase som ender med en produktkravspesifikasjon. Så utarbeides et overordnet konsept, før en spesifikk konseptgren utarbeides. På den måten sies det at en går to ganger gjennom de samme trinnene i en konseptutvikling, før en ved hjelp av kvalitetshuset (jmf. Kvalitetshus) finner det endelige konseptet å detaljere.

Figur 1. Prosessbeskrivelse

## Observasjon

Innenfor design kategoriseres observasjonsmetoder i tre, etter hvor frie de er i strukturen. Semi-strukturerte observasjoner beskriver etnografiske metoder i kartleggingsfasen i en designprosess. Formålet er å hente inn grunnleggende informasjon ved å dykke inn i materien, spesielt innenfor tema som er nye for den undersøkende. Ofte er det forberedt en del spørsmål som guider observatøren gjennom sekvensen, men i ustrukturert observasjon er en åpen for digresjoner og opptak av uforutsette hendelser. Observasjoner dokumenteres i form av notater, bilder, video etc. som gir et overblikk over situasjonen for videre analyser.

Det finnes også strukturerte observasjoner som er mer formelle i gjennomføringen.

Observasjon benyttes gjerne som en initiell aktivitet, og etterfølges gjerne av dybdeintervju, for å komme tettere inn i materien.

For å få en forståelse for den praktiske operasjonen brukeren utfører, initieres behovsanalysen gjerne med en observasjon. Observatørene sitter som fluer på veggen og observerer når brukeren utfører aktiviteten av interesse. Formålet er at observatørene skal få et klart bilde av hva og hvorfor brukeren gjør de tingene som vedkommende gjør. (Martin & Harrington, 2012)

## Spørreundersøkelse

Spørreundersøkelser er et instrument for å samle inn subjektiv data fra brukere om deres karakteristikk, tanker, følelser, oppfatninger, oppførsel og holdninger. Dette gjøres gjerne skriftlig på digitale plattformer. Måten en spørreundersøkelse er oppbygd på, er avgjørende i forhold til svar og videre analyser. Åpne spørsmål åpner for mer dybde i svarene som gis, mens lukkede spørsmål er lettere å kommunisere, og håndtere numerisk. For å opprettholde nøytralitet i en spørreundersøkelse gis spørsmål gjerne vektning, hvor intervjuobjektet selv fyller inn hvor viktig betydningen er for vedkommende. Ofte benyttes en skala fra en til fem på dette. (Martin & Harrington, 2012)

## Intervju

Intervju er en grunnleggende metode for å samle inn førstehånds erfaringer, meninger, holdninger og oppfatninger fra deltakere. Intervju gjennomføres helst i fysisk tilstedeværelse med deltakerne, da nyanser av personlige oppfatninger samt kroppsspråket lettere kan analyseres.

Intervju kan føres både strukturert og ustrukturert. Ustrukturerte intervju tillater digresjoner, og tar gjerne en samtalebasert form. Siden denne intervjutypen er løsere, åpner den for nye innfallsvinkler, og en dypere forståelse. Spesifikke spørsmål er gjerne notert på forhånd, og benyttes som et veikart gjennom samtalen. Strukturerte intervju er derimot rigide, med spesifikke spørsmål som skal besvares. Denne typen intervju gir en høyere kontinuitet for svarene. Det finnes også semistrukturerte intervju som ligger en plass i mellom disse to typene. (Martin & Harrington, 2012)

## Storyboard

Storyboard er en visuell fremstilling som kommuniserer konteksten et produkt eller en tjeneste skal brukes i. Det er et godt hjelpemiddel for å fange sosiale, miljømessige og tekniske faktorer som skaper konteksten av hvordan, hvor, og hvorfor folk interagerer med produkter. Ved å illustrere problemstillingene skaper en empati for sluttbrukeren som er verdifullt i en videre produktutviklingsprosess. Når en tegner et storyboard er det viktig å fokusere på problemstillingene en ønsker å få frem. Tydelige tegninger der det vesentlige er abstrahert er en generell fremgangsmåte. (Martin & Harrington, 2012)

## Brukerkravspesifikasjon

Brukerkravspesifikasjonen er resultatet av en behovs- og interessentanalyse. Den skal beskrive krav fra brukerens ståsted som må oppfylles for at produktet skal være vellykket.

Brukerkravspesifikasjonen settes opp tidlig i et produktutviklingsprosjekt og revideres sjelden.

Behovs og interessentanalysen baserer seg på 3B metoden som kartlegger: Bruker, brukssituasjon og bruksmåte.

For å kartlegge bruker benyttes det verktøy som spørreundersøkelser og intervju, disse danner også grunnlag for en brukerprofil som beskriver viktige sider av brukeren. Brukssituasjonen beskrives ved hjelp av å utarbeide et storyboard som viser viktige ledd i bruksmønsteret. Bruksmåten er et viktig tillegg til storyboard som beskriver hvordan produktet vil bli behandlet og kan si noe om påkjenninger produktet må tåle. (Tyflopoulos, 2018)

## Produktspesifikasjon

Produktspesifikasjonen settes opp etter brukerkravspesifikasjonen og beskriver tekniske krav og ønsker til produktet på bakgrunn av brukerkravspesifikasjonen. Produktspesifikasjonen gir informasjon om hvilke egenskaper produktet må inneha for oppfylle kundens ønsker. Produktspesifikasjonen revideres ofte basert på tekniske muligheter og konseptets egenskaper eller på bakgrunn av feiltolkninger av brukerspesifikasjonen. (Tyflopoulos, 2018)

For å utvikle en produktspesifikasjon for dette prosjektet har vi benyttet Mette Mo Jacobsens skjema for produktspesifikasjoner, dette skjemaet tar for seg mange dimensjoner av et produkt og gir en oversiktlig fremstilling.

## Konseptutvikling

For å finne det beste overordnede konseptet, utvikles det i første omgang ulike mindre detaljerte konseptforslag. Dette gjøres for å kunne få kreativ frihet til å se på alle mulige løsninger til problemstillingen. Det settes opp fordeler og ulemper med de enkelte konseptene og enkle skisser for å visuelt forklare ideen.

I den andre runden av konseptutvikling vil man danne nye mer detaljerte konsepter basert på de eventuelle konseptene som har kommet seg gjennom konseptevalueringen. Her vil det bli brukt brainstorming og en morfologisk tabell for å komme frem til nye konsepter.

En morfologisk tabell er et systematisert metode for å generere delkonsept ved å dele opp et konsept i ulike komponenter og sette sammen nye ulike komponenter til ny konsept. (Tyflopoulos, 2018)

Videre vil konseptene som er utredet få en høyere detaljering av ønskede funksjoner og utseende

## Konseptevaluering

Konseptevaluering er en metode som benytter et poengdiagram for å filtrere ut konsepter som ikke oppfyller kundens krav og å finne de beste gjenværende konseptene gitt ved den poengverdi. For å gi denne poengverdi settes det opp ulike vurderingsfaktorer basert på bruker og produktspesifikasjonen, disse vurderingsfaktorene vektet etter viktighet for at poengverdien skal kunne reflektere virkeligheten. Poengene fordelt til de ulike konseptene er basert informasjon om lignende konsepter og antagelser som er diskutert innad i gruppen.

## Konseptvalg

Valg av konsept for videreutvikling baseres på konseptevalueringen, i første runde vil de beste overordnede konseptene tas videre til en ny runde med utvikling. Det vil her være mulig å se på eventuelle likheter og sammenslåinger av de beste konseptene.

I neste runde av konseptvalg vil de to beste konseptene gå videre til konseptutvikling hvor de vil få ytterligere forbedringer.



## Kvalitetshus

Kvalitetshusanalyse er også kjent som en QFD og er et produktutviklingsverktøy sammensatt av ulike diagrammer. Dette verktøyet brukes til å finne ulike sammenhenger mellom produktegenskaper og kundens ønsker. Videre gir analysen informasjon om hvilke korrelasjoner det er mellom ulike produktegenskaper. Verktøyet brukes også til å sammenligne konsepter med konkurrerende aktørers konsepter. Resultatet fra en slik analyse er at man kan si noe om hvilke produktegenskaper som påvirker kundens ønsker mest og hvor godt konseptene man har utviklet stiller seg i forhold til konkurrerende konsepter. Kvalitetshuset ser også på korrelasjoner mellom produktegenskaper. (Tyflopoulos, 2018)

# Konstruksjonsteori

For å utføre beregninger av kraft og styrke på konstruksjonen har det blitt hentet teori fra Maskindeler 1 (Dørum, 2001), Maskindeler 2 (Dørum, 2006), University Physics with Modern Physics (Young & Freeman, 2015), Gyldendals tabeller og formler i fysikk (Haugan & Aamot, 2011) og Tekniske tabeller (Johannessen, 2016)

For beregninger er følgende teori benyttet:

## **Fritt legeme diagram (FLD)**

Et fritt legeme diagram viser alle kjente krefter som er påført et legeme med korrekte avstander. Diagrammet kan benyttes for å finne verdiene på uspesifiserte krefter ved hjelp av likevektsligningene.

## **Likevektligninger for statiske systemer**

Likevekt av krefter i x-retning

$$\sum F_x = 0$$

Likevekt av krefter i y-retning

$$\sum F_y = 0$$

Likevekt av moment om et punkt

$$\sum M_0 = 0$$

## **Kraft**

$$F = m * a$$

$$m = \text{masse [kg]}$$

$$a = \text{akselerasjon [m/s}^2\text{]}$$

## Glidefriksjon

$$R = \mu * N$$

$\mu = \text{friksjonskoeffisient}$

$N = \text{normalkraft [N]}$

## Torsjonsmoment skivebremser

$$T = 2 * \mu * N * r_{skive}$$

$\mu = \text{friksjonskoeffisient}$

$N = \text{normalkraft [N]}$

$r_{skive} = \text{radius}_{skive} [m]$

## Torsjonsmoment

$$T = F * r$$

$F = \text{kraft [N]}$

$r = \text{radius [m]}$

## Arbeid

$$W_{\Sigma F} = \Delta E_k = \frac{1}{2} m * v^2 - \frac{1}{2} m * v_0^2$$

$m = \text{masse [kg]}$

$v = \text{hastighet [m/s}^2]$

$$W = F * s$$

$F = \text{kraft [N]}$

$s = \text{strekning [m]}$

## Bevegelsesligning

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

### Luftmotstand

$$F_D = \frac{1}{2} * \rho * v^2 * C_D * A$$

$$\rho = \text{massetetthet}[10^3 \text{ kg/m}^3]$$

$$v = \text{hastighet}[m/s]$$

$$C_D = \text{dragkoeffisient}$$

$$A = \text{areal}[m^2]$$

### Rullemotstand

$$F_R = C_{rr} * N$$

$$C_{rr} = \text{rullemotstand koeffisient}$$

$$N = \text{normalkraft [N]}$$

### Gravitasjonsmotstand

$$F_G = m * g * \sin \theta$$

$$m = \text{masse}[kg]$$

$$g = \text{gravitasjon [m/s}^2]$$

### Tregghetsmoment

Sylinder

$$I_o = \frac{1}{2} * m * r^2$$

$$m = \text{masse}[kg]$$

$$r = \text{radius}[m]$$

## Massesenter

$$R = \frac{\sum m_i \cdot r_i}{\sum m_i}$$

$R$  = massesenter [m]

$m_i$  = massepartikkel [kg]

$r_i$  = avstand til massepartikkel [m]

## Tannhjul

Oversetning

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

$i$  = oversetningsforhold

$n_1$  = drivende hjul

$n_2$  = drevet hjul

$$i_{tot} = i_1 * i_2$$

$$T_n = T_0 * i_{tot} * \eta_{tot}$$

## Von Mises

$$\sigma_{von.mises} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}}$$

# Konseptutvikling

## Kartlegging

I begynnelsen av denne fasen, arbeidet gruppen med å kartlegge hvilke ønsker oppdragsgiver og brukere hadde til konseptet. Målet var å skape et veldefinert basisgrunnlag for utviklingen av konsepter.

For å få et innblikk i dagens drift ble det gjort observasjoner av dagens drift ved å følge to av de ansatte gjennom en postrunde. Videre ble det utarbeidet et storyboard som viste hvordan arbeidsflyten fungerer i dag, og innledende problemområder, ble definert.

For å få mer kunnskap om ansattes ønsker ble det gjort en spørreundersøkelse som undersøkte både de ansattes holdninger og hvilke områder de mente var viktige i eventuelle konsepter.

Videre ble det gjort dybdeintervju av to ansatte i bedriften for å utdype svarene fra spørreundersøkelsen. Her gikk spørsmålene også mer i detalj på hvilke utfordringer de hadde i arbeidshverdagen og hvordan de mente at disse burde løses. Fra disse intervjuene ble det utviklet en brukerprofil av den gjennomsnittlige ansatte hos Campusservice. Det ble også holdt samtaler med oppdragsgiver for å kartlegge tekniske minstekrav til løsningen.

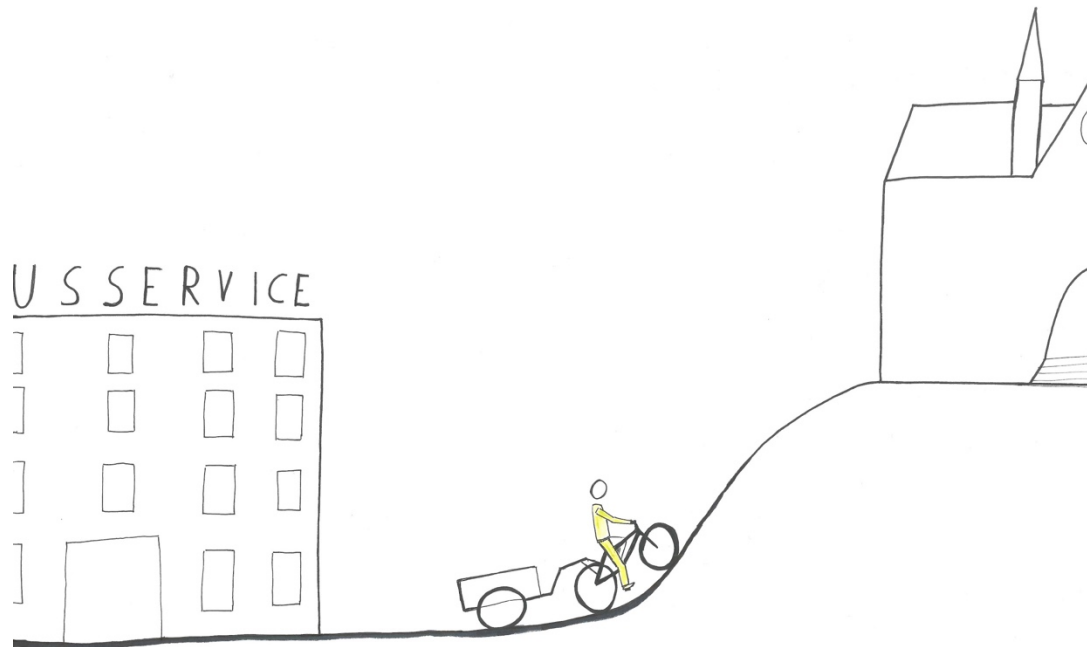
Fra disse samtalene og intervjuene ble det kartlagt at spesielt miljøvennlighet, lastekapasitet og sikkerhet var viktige områder for prosjektet. Det ble også lagt vekt på fra oppdragsgiver at dagens drift kunne endres for å tilpasse seg nye løsninger.

Informasjonen som ble samlet fra kartleggingen resulterte i en produktspesifikasjon. Her ble ønsker og krav fra de ansatte omgjort til tekniske krav for konseptet. Denne informasjonen ville bestemme hvilke konsepter som egnet seg for oppgaven.

## Konseptforslag

I oppdragsbeskrivelsen kom det tydelig frem at elektrisk lastesykkel var en løsning som oppdragsgiver hadde vurdert. For å kunne vurdere hvilken løsning som ville gi best resultat var det nødvendig å se på flere konsepter og det ble tidlig gjort klart at man skulle ha kreativ frihet til å se på ulike konsepter. Gjennom diskusjoner innad i gruppen kom vi frem til seks overordnede konsept som burde bli nøyere vurdert. Disse seks konseptene dannet grunnlaget for arbeidet videre og det ble laget skisser som visualiserte de ulike løsningene

## Konsept 1: Elektrisk lastesykkel



Figur 2. Elektrisk lastesykkel

### Positive sider:

- God lastekapasitet
- Kan brukes til ulike oppgaver
- Miljøvennlig
- Mosjon til de ansatte
- Teknologien er utbredt
- Relativt lave innkjøps- og driftskostnader
- God fremkommelighet utendørs

### Negative sider:

- Utsatt for vær og vind
- Fysisk belastende
- Rekkevidde begrenset til batteri kapasitet
- Personavhengighet



Elsykkel med tilhenger kan tilrettelegges til typen gods som skal fraktes. Her tenker vi å benytte en henger som kan transportere brev og pakker. El-motoren på sykkelen gjør at bakkene blir overkommelige. Bruk av fortauet sparer tid, og gir den ansatte mosjon uten at det er fysisk utmattende. Dette konseptet kan muligens utvides til at andre typer gods kan transporteres med andre typer hengere, for eksempel søppel eller tekstil.

Elsykkel er et energibesparende og materialbesparende alternativt til elbil. En elsykkel benytter oppladbare batteri og elmotor sammen kraften fra syklisten som fremdriftsmiddel. Bosch sine elsykkel system oppgir en rekkevidde på 120km per kwh mens dagens Nissan EV200 elbiler brukt hos campusservice har en oppgitt rekkevidde på 7,5km per kwh. Det lave energiforbruket sammen en betydelig lavere egenvekt medfører at en elsykkel er mer miljøvennlig enn en elbil. Elsykkelen vil også være et symbol i campusområdet, og synliggjøre at NTNU tenker på miljøet og er villig til å gå nye veier. Det er satt begrensninger i regelverk knyttet til maksimal hastighet med hjelp av motor til 25 km/t, men det er ikke knyttet noen begrensning til batterikapasitet noe som kan gi god rekkevidde til en slik sykkel.(Vedlegg 6)

Konseptet gir stor fleksibilitet til utforming og man kan oppnå god lastekapasitet. Man kan benytte seg av tilhenger for å ytterligere øke lastekapasiteten. Minstekravet på 75kg samt 1.5m<sup>2</sup> er godt gjennomførbart og innenfor gjeldende regelverk.

Bruken av henger åpner for ulike hengere tilpasset ulike arbeidsoppgaver uten en stor omstillingsprosess. Det vil også være mulig å benytte et modulært lastesystem hvor man kan sette igjen ferdig sortert post på de ulike leveringspunkt.

Elsykkelteknologi er godt utbredt og det er flere leverandører som leverer systemer man kan integrere i et mulig produkt. Dette medfører også god tilgang til reservedeler da mange sykkeldele er standardisert.

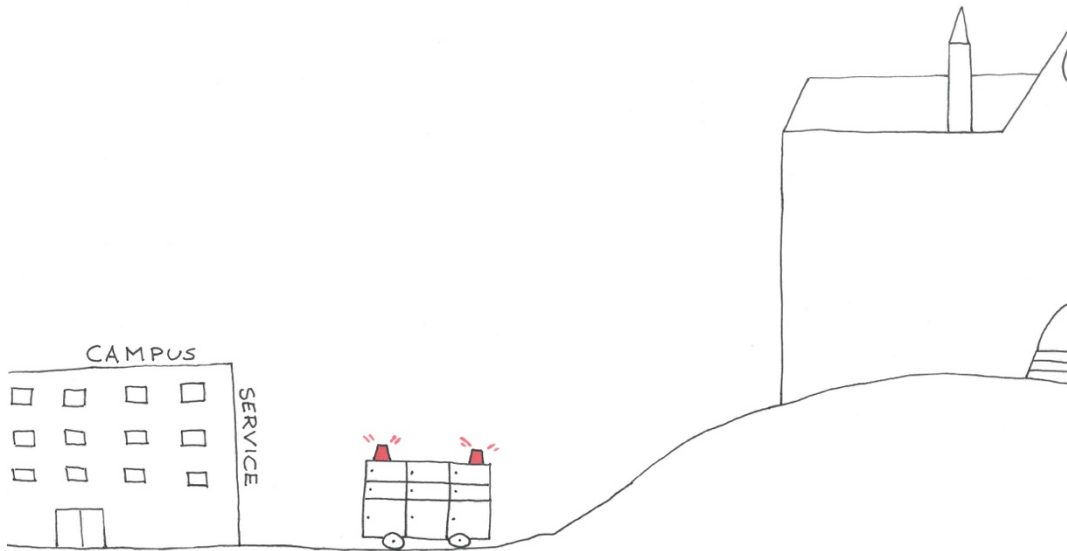
En elsykkel har god fremkommelighet og kan benyttes både på fortau og bilvei. En ulempe er at man ikke kan sykle innendørs og er avhengig av en ny løsning for å komme helt frem til avleveringsstedet. Ved at elsykkelen ikke kan medbringes innendørs er man avhengig av et godt sikringssystem både for sykkel og last.

Kostnadene vil være betydelig lavere enn hos en elbil. En elsykkel består gjerne av færre kostbare komponenter enn en elbil og har derfor lavere innkjøpspris og driftskostnader.

En av de større utfordringene knyttet til bruk av elsykkel er arbeidskomfort for de ansatte som må jobbe ubeskyttet utendørs i alle værforhold. Her kan det gjøres enkelte grep for bedre komforten men det vil være utfordrende å skjerme brukeren fullstendig fra elementene.

Arbeidsmetoden vil i stor grad fungere på tilsvarende måte som ved bruk av elbil bare at man nå sykler. Man vil kunne benytte kortere ruter, som muligens vil gi noe besparelser på tid.

## Konsept 2: Autonomt postskap



Figur 3. Autonomt postskap

### Positive sider:

- Mindre arbeid for mennesker
- Effektiviserer sorteringsprosessen
- Fleksible kjøreruter og leveringsmønstre.
- Krever ubetydelige inngrep på postterminal og Gløshaugen.

### Negative sider:

- Lavere sikkerhet for post
- Totalt avhengig av batteridrift
- Høye investeringskostnader
- Juridiske problemstillinger

Dette konseptet baserer seg på et autonomt kjøretøy med påmontert postskap. Gruppen ser for seg at posten sorteres hos Campusservice sin postterminal, og at trallen så kjører til faste stasjoner på campus. Når skapet ankommer en "holdeplass" blir det sendt ut en melding til mottakeren at post kan hentes. Når trallen er tom kjører den ned igjen til campusservice. Det kan tenkes at dette konseptet krever færre ansatte.

En løsning på dette konseptet er for eksempel *eTrolley III* som baserer seg på teknologi av det sveitsiske selskapet *Kyburz*. På deres nettside oppgis rekkevidden å være 40 km, med en maksimal hastighet på 6 km/h. Forgjengeren *eTrolley II* med 120 kg lastekapasitet har en rekkevidde på 21 km/kwh, som plasserer den nærmere elbil i sammenligning. Rekkevidde er antageligvis ikke et problem da det er mulig å opprette ladestasjoner på "holdeplassene". Dermed er det maksimalt 5-6 km (Gløshaugen tur-retur) som er påkrevd i dette scenarioet. (Kyburz, 2018)

*eTrolley III* har en oppgitt lastekapasitet på ca. 1.5 m<sup>3</sup>, noe passer godt med brukssituasjonen i denne oppgaven. Ettersom lasteoperasjonen foregår på terminalen kan det tenkes at denne tilpasses til kjøretøyet for best ergonomisk arbeidsstilling. En løsning kunne vært at tunge pakker legges nederst i de store hyllerommene, mens lette brev kommer øverst i små skuffer. På denne måten er også denne løsningen fleksibel med tanke på å frakte post av ulike dimensjoner, men egner seg ikke like godt til transport av annet gods.

I utgangspunktet er kjøretøyet elektrisk drevet og kjører autonomt på fortauet. Dette introduserer en del juridiske problemstillinger rundt ansvar og forsikring. Selv om teknologien eksisterer er dette en løsning som bare er på forsøksstadiet, hvor det kjøres et pilotprosjekt i Kongsberg!

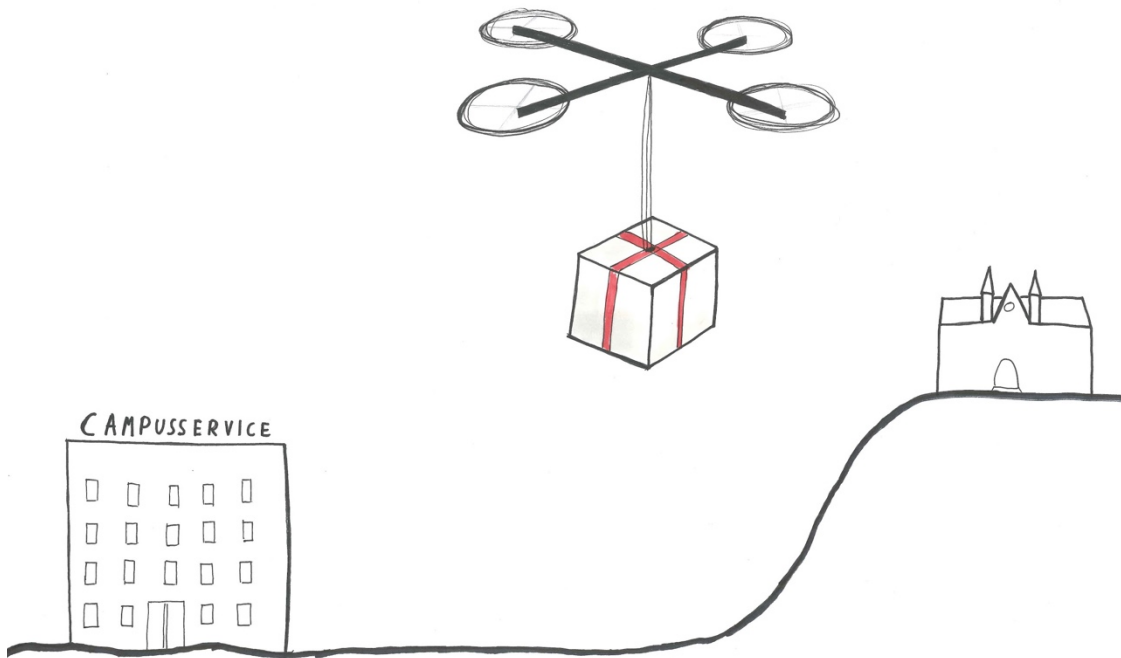
I forhold til fremkommelighet vil en slik løsning muligens ha problemer på veier som ikke er ryddet for snø om vinteren. Skapet må antageligvis ha parkert utenfor byggene, noe som gir mottakeren av post en dårligere service enn dagens løsning.

Siden dette fortsatt er et prøveprosjekt nevnes ikke eksakt kostnad relatert til innkjøp. Men prisen kan anslagsvis estimeres til en sum av prisen på eksisterende el-bil. Vedlikeholdskostnadene ansees å være relativt små, da det kun er batteriene som må skiftes ut etterhvert. Større kostnader relatert til denne løsningen vil være å måtte bygge om postmottaket på valgrinda slik at postskapet kan lastes direkte inne i sorteringslokalet. Videre må "holdeplassene" på Gløshaugen med ladestasjoner opprettes.

Da dette konseptet i mindre grad er avhengig av ansatte vurderes arbeidskomforten svært god. Belastningsskader som følge av tunge løft vil trolig bli et minkende problem, spesielt om man utformer sorteringsterminalen slik at alle nivåer i skapet kan lastes i stående posisjon. Ansatte er egentlig bare essensielle for å sortere posten på terminalen samt teknisk beredskap.

Posten er sikret gjennom å være innlåst i sikret skap. Ettersom posten transporteres uten oppsyn, kan hele trallen i teorien kidnappes. I tillegg vil en slik løsning naturlig ha et digitalt låssystem, slik at nye utfordringer i forhold til hacking introduseres.

### Konsept 3: Drone



Figur 4. Drone

#### Positive sider:

- Fleksibel transport, også til andre campus
- Kan benyttes til å transportere andre ting enn bare post
- Hurtig levering
- Miljøvennlig
- Krever relativ små inngrep på terminal

#### Negative sider:

- Svært begrenset kapasitet
- Krever stabile værforhold
- Juridiske problemstillinger
- Krever større omorganisering på Gløshaugen
- Sikkerhet av post og mennesker
- Støy

I dette konseptet tenkes det å benytte eksisterende terminal, og benytte flygende droner som leverer post og pakker til Gløshaugen automatisk. På Gløshaugen slippes posten på angitte plasser, hvor den da kan hentes av mottaker. Dette systemet krever noen inngrep på Gløshaugen i form av sikre mottakerstasjoner.

Siden droner drives elektrisk kan en si at de til en viss grad er miljøvennlige. Men ser en nærmere på forbrukstallene er det ikke den mest energieffektive løsningen. (Griff Aviation, 2018) I tillegg vil en slik drone generere en del støy noe som kan være forstyrrende for campuslivet, og ikke er i tråd med NTNU sine visjoner om et grønnere campus.

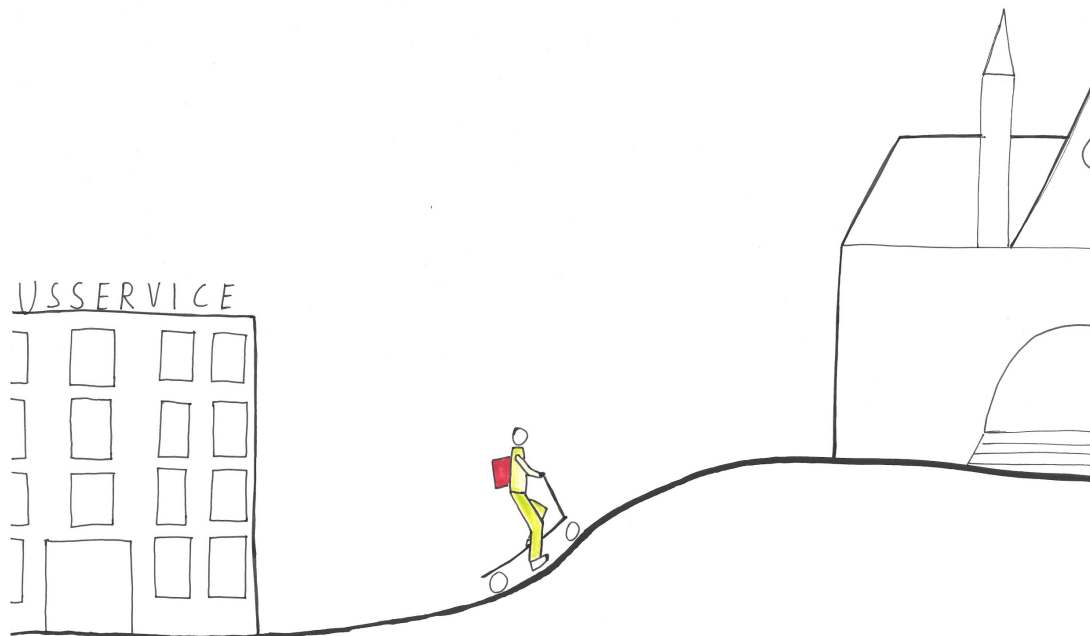
Nyere droneprosjekter har også økt lastekapasiteten betraktelig, slik som for eksempel Griff 350 med en løftekapasitet på 200 kg. Med 8 motorer på med en effekt på 16 kW holder den svevende på rundt 20 min. Oppgitte tall passer fint med produktets brukssituasjon. (Griff Aviation, 2018)

Den en største fordel til droner er at den utnytter luftrommet og er dermed meget fleksible og raske. Dette gir meget fleksible transportmuligheter for også andre ting enn bare post. Det kan dessuten tenkes at en flåte av flere droner kan transportere ulike typer gods til spesifikke destinasjoner. For droner kan elementer med stor overflate bli et problem i forhold til vind.

Kostnader for en slik drone går mot det ekstreme. En kilde hevder at prisen for ovennevnte enhet ligger på 250 000 dollar, noe som begrunnes med at et enda dyrere helikopter er det eneste alternativet. Dette er å anse som svært lite kostnadseffektivt sammenlignet med andre løsninger. (Griff Aviation, 2017) I tillegg må en regne med å opprette landeplasser der dronene kan lande sikkert. Gruppen vurderer å opprette stasjoner på byggenes tak som den mest kurante løsningen, slik at droner kan lande trygt og effektivt. Dette vil være en omstillingskostnad som ikke er ubetydelig. Også i dette konseptet vil det legges merarbeid på mottakeren av post da denne må hente posten selv.

I forhold til sikkerhet er det positivt at man holder de ansatte ute av trafikken, og at transporten i utgangspunktet foregår unna mennesker. I forhold til vær og vind er det ikke alltid "flyvær" i Trondheim. Dessuten vil en slik drone antageligvis være en stor risiko for skade på verdier og liv, om den skulle svipte og styrte. Arbeidskomfort for de ansatte vurderes som god ettersom tunge løft enkelt kan unngås. Systemet er i likhet med det autonome postskapet selvkjørende, og en trenger dermed kun personale i forbindelse med sortering og rigging av post. Også i dette tilfellet vil mottakeren av post oppleve dårligere service da vedkommende evt. må til en "landeplass" for å hente leveransen.

## Konsept 4: Sparkesykkel



Figur 5. Sparkesykkel

### Positive sider:

- Miljøvennlig
- Sikkerhet for post
- Lave investeringskostnader
- Krever ingen endringer på både postterminal og på Gløshaugen

### Negative sider:

- Arbeidskrevende
- Tidkrevende
- Begrenset lastekapasitet
- Personavhengighet
- Utsatt for vær og vind

Postsekk og bruk av elektrisk sparkesykkel er et enkelt konsept. Metoden er fleksibel men har utfordringer knyttet til lastevolum og fysisk belastning for arbeideren. Den største fordelen er nok at den er miljøvennlig og at den ikke krever store investeringer. Denne metoden egner seg best til frakt av brev.

Elsparkesykler er lite energikrevende og svært materialbesparende. Dette gjør at løsningen scorer godt i forhold til miljøaspektet. En aktuell modell er *E-twow S2 Booster Plus*. Med en 500W sterk motor, og en anslått rekkevidde på opptil 35 km, matcher det behovene i forhold til rekkevidde. (Jansen, 2018)

Av tabell fremgår det at sparkesykkelen tåler en belastning på 125 kg maksimalt. Realistisk maksimal lastevekt er trolig rundt 15-25 kg noe som begrenser muligheten for å frakte pakker, og det vil trolig kreve flere runder på dager med mye post. (Jansen, 2018) Anvendbarhet i forhold til å frakte annet gods som for eksempel søppel, vurderes å være meget begrenset. Konseptet egner seg trolig best til intertransport av brev og tidsskrift lokalt på Gløshaugen.

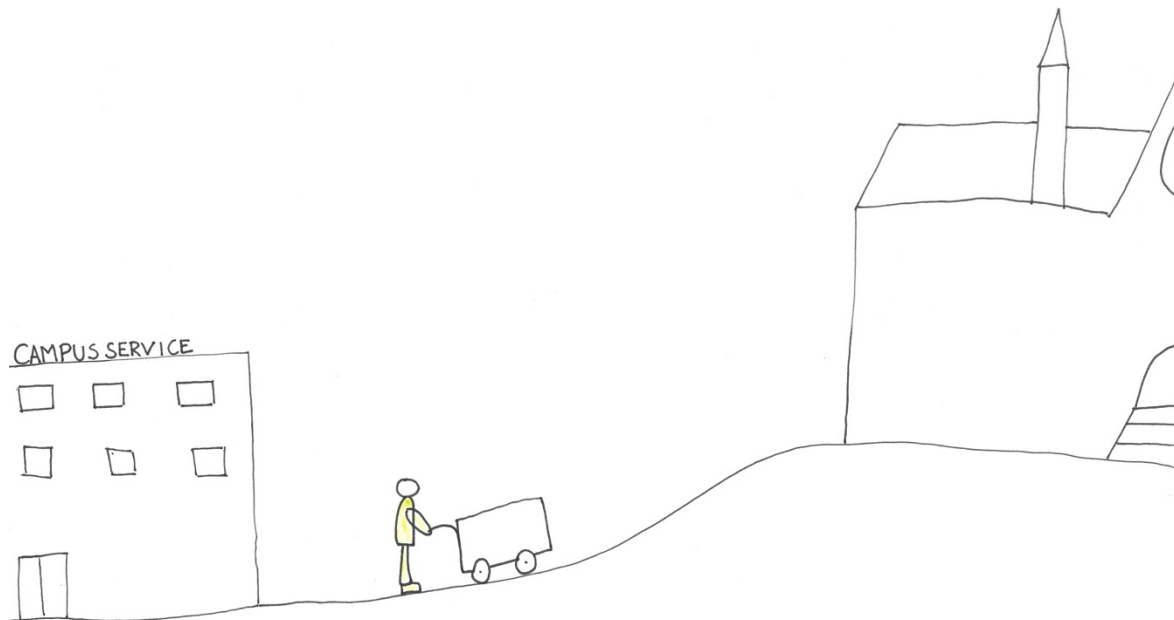
Teknologien som kreves er relativ enkel, og produseres i store opplag. Kostnader relatert til innkjøp vil dermed være relativt lave per enhet. Prisen på ovennevnte sparkesykkel er oppgitt til å være rundt 10000 kr. Men siden det antageligvis vil være nødvendig med flere enheter, og dermed flere ansatte vil dette bli en absurd kostnad sammenlignet med dagens løsning og kapasitet.

Sparkesykkelen har begrenset fremkommelighet når det kommer til vinterføre men vil kunne ta seg frem med enkelhet på asfalterte sommerveier. I tillegg kan det tenkes at kjøretøyet kan tas med inn siden det er såpass kompakt. Dermed er postbudet også alltid i umiddelbar nærhet til posten, og sikkerheten til denne vurderes som relativ trygg.

Arbeidskomfort for bruker vurderes greit, da sparkesykkelen også har helelektrisk fremdrift. Beskyttelse i forhold til vinterføre tenkes å være mindre behagelig, da en gjerne blir kald av å stå "stille" i kaldt vær. I tillegg bærer budet med seg all post, noe som er fysisk belastende.

Dette er en svært kostnadseffektiv løsning for å frakte mindre gjenstander med lav vekt direkte til kunden. Rekkevidden for en slik løsning vil være innenfor det som kreves for å levere post til Campus Gløshaugen. Det vil kreve lite investeringer å implementere dette systemet og driftskostnadene vil være svært lave.

## Konsept 5: Tralle uten ny sorteringsterminal



Figur 6. Tralle uten ny sorteringsterminal

### Positive sider:

- Miljøvennlig
- Sikkerhet for post
- God fremkommelighet innendørs
- Grei lastekapasitet
- Lave innkjøps- og driftskostnader
- Mindre tunge løft for arbeideren
- Kan brukes til ulike oppgaver

### Negative sider:

- Lang leveringstid pga avstand til leveringspunkt
- Fysisk belastende ved lengre transport
- Utsatt for vær og vind
- Personavhenighet



I dette konseptet benytter vi en lastetralle som kan benyttes både innendørs og utendørs. En slik tralle vil kutte antall løft for arbeideren. Avstanden fra Campus Service til Gløshaugen vil med dette konseptet være en utfordring, men transport internt ved Gløshaugen vil bli enklere enn dagens løsning. Man unngår bilkjøring i Gløshaugens interne områder.

Lastetrallen kan utstyres med elmotor for å hjelpe til i motbakker men vil fortsatt være svært miljøvennlig da den vil kreve lite energi til å forflytte seg og krever lite materialer for å produseres sammenlignet med dagens elbiler. Et eksempel på eksisterende tralle er posten sin tralle fra trallefabrikken. Siden trallen drives elektrisk, men er avhengig av en person som går bak og styrer, vil den ha en høy teoretisk rekkevidde, men siden arbeidshastigheten er relativ lav, vil dette være fysisk utmattende over lange avstander. Dermed vurderes rekkevidden til å være 20 km.

Ved å utforme lastetrallen etter målene for universal utforming vil man kunne bevege seg fritt innendørs og i heiser. Dette setter en liten begrensing i forhold til lastekapasitet, men vurderes å være innenfor prosjektets minstekrav. Trallen kan utformes universalt, slik at også flere typer gods kan transporteres.

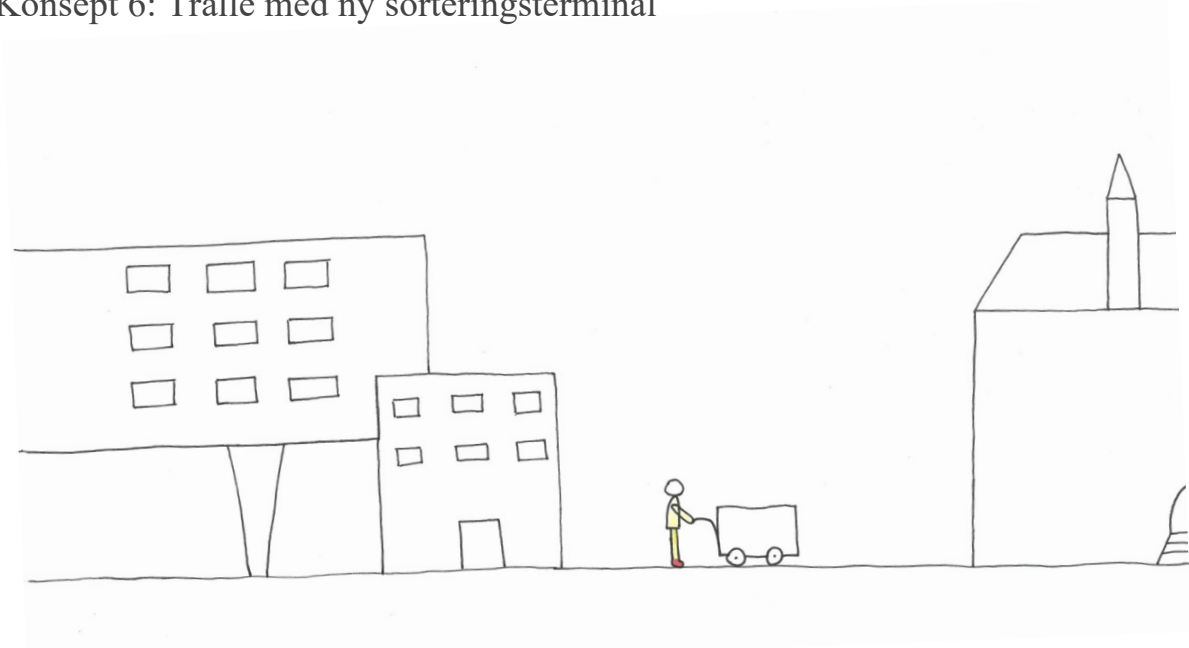
Teknologien som behøves er tilgjengelig, og benyttes allerede for denne typen levering.

Fremkommeligheten er svært god, da trallen muliggjør levering helt frem til skranken, uten å måtte forlate kjøretøyet. Dette er også positivt i forhold til sikring av posten, da det ikke behøves å forlate trallen. Med litt større hjul, regnes også fremkommeligheten på is og snø som akseptabel.

Med såpass tilgjengelig og velprøvd teknologi, vil prisen per enhet være betydelig lavere enn en elbil-investering. Driftskostnadene vil også være betydelig lavere per enhet. Men om løsningen skal matche dagens kapasiteter, vil en trenge flere enheter og ansatte.

Lastetrallens store fortrinn er man kan medbringe hele trallen inn i bygg og dette medfører færre tunge løft for brukeren. En utfordring knyttet til lastetrallen er at avstanden fra Campusservice til Campus Gløshaugen er lang og det vil være tidkrevende å gå med trallen. Bruk av lastetralle vil på linje med andre konsept utsette brukeren for vær og man vil i liten grad kunne utbedre dette.

## Konsept 6: Tralle med ny sorteringsterminal



Figur 7. Tralle med ny sorteringsterminal

### Positive sider:

- Miljøvennlig
- Sikkerhet for post
- God fremkommelighet innendørs
- Grei lastekapasitet
- Lave innkjøps- og driftskostnader
- Mindre tunge løft for arbeideren
- Kan brukes til ulike oppgaver

### Negative sider:

- Lav hastighet utendørs
- Store innkjøps- og driftskostnader knyttet til terminal
- Utsatt for vær og vind
- Personavhengighet

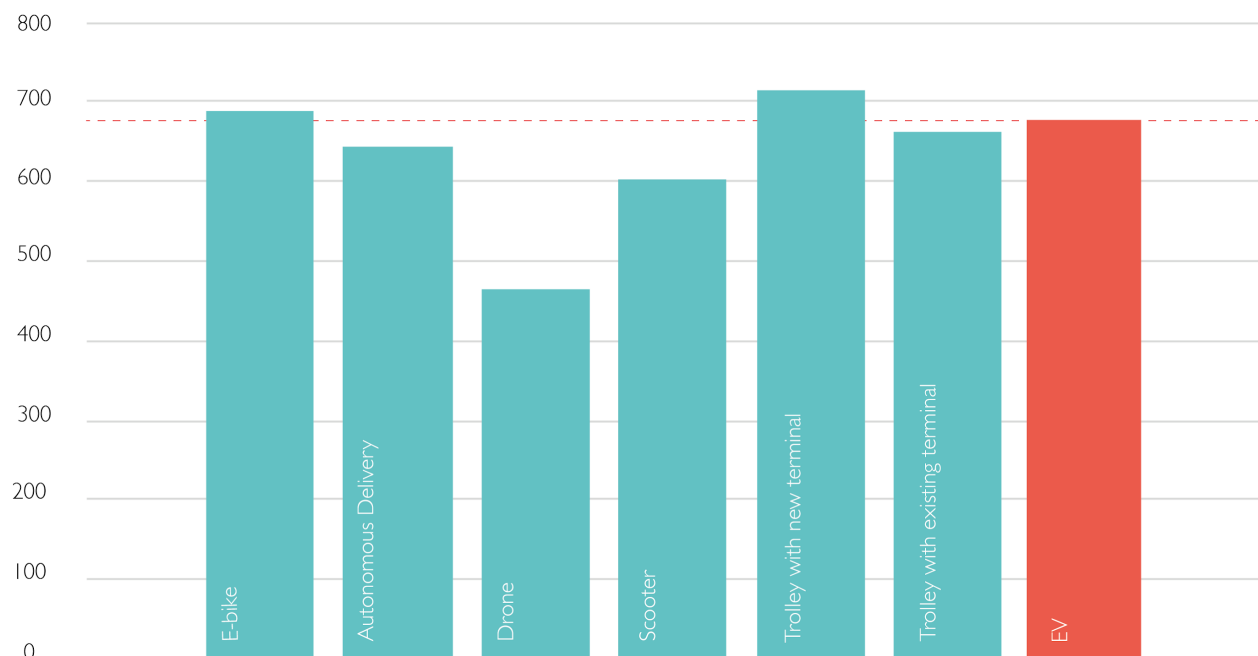
Konseptet bygger på det ovennevnte, men her med ny sorteringssentral ved Gløshaugen. Ved at pakkene sorteres lokalt og hentes/leveres med en lastetralle vil man enkelt kunne dekke Gløshaugens område og unngå den lange transportetappen fra Campus Service. Ettersom trallen også kan tas med helt frem til skranken, vil en kunne gå gjennom bygg, og benytte nye snarveier. Gruppen ser for seg at både bøker, brev og pakker hentes og leveres med en lastetralle for så å bli sortert for videresending i den nye sentralen hvor den transporteres videre med bil. Dette vil redusere biltrafikk inne på Gløshaugens interne områder og begrense den til kommunal vei gjennom perleporten.

## Konseptevaluering

Basert på produktspesifikasjonen ble det utarbeidet en evalueringsmatrise som brukes til å se på hvilke konsepter som løser problemstillingen best. Det ble her gitt en poengverdi fra 1-10 på ulike faktorer hvor 10 er ønskelig resultat. Verdiene i diagrammet er basert på informasjon fra konkurrerende konsept og hvor dette ikke er mulig er det gjort antagelser innad i gruppen. Konseptene ble vurdert opp mot den eksisterende løsningen i bedriften som er elbil for å se hvilke konsepter som kunne levere bedre resultater.

Det var to konsepter som klarte å oppnå høyere poengverdi enn elbil, dette var elektrisk sykkel og tralle med ny terminal.

Konseptene ble også vurdert opp mot spesifikke minstekrav gitt av oppdragsgiver. De konseptene som ikke oppfylte disse kravene ble diskvalifisert som løsning. Drone, sparkesykkel og tralle med ny terminal ble diskvalifisert på denne måten og kunne dermed ikke vurderes videre.



Figur 8. Resultat evalueringsmatrise

## Valg av konsept

For å kunne velge konseptene som blir videreutviklet ble det lagt stor vekt på resultatene fra konseptevalueringen. Konseptene med best resultater fra evalueringsmatrisen var elektrisk lastesykkel og tralle med ny terminal, men siden tralle med ny terminal ikke oppfylte de grunnleggende kravene ble konseptet satt til side. Gruppen kom frem til at elektrisk lastesykkel og tralle utfylte hverandre svært godt om man kombinerte de to konseptene ved å skape et nytt konsept som var en elektrisk lastesykkel med integrert tralle.

Elektrisk lastesykkel og Elektrisk lastesykkel med integrert tralle er konseptene som vil bli videreutviklet.

# Videreutvikling av konseptforslag

<b>Wheel drive</b>	Front wheel drive 	Back wheel drive 	All wheel drive 	
<b>Wheel layout</b>	Two wheel 	Four wheel 	One + Two wheel 	Two + one wheel 
<b>Cargo layout</b>	Front loaded 	Double loaded 	Back loaded 	
<b>Trailer</b>	Single trailer 	Double trailer 	No trailer 	
<b>Trolley</b>	Integrated trolley 	Independent trolley 	No trolley 	
<b>Cabinet</b>	Closed 	Open 	Combination 	

Tabell 1. Morfologisk tabell

## Morfologisk tabell

<b>Bicycle 1</b>	Back wheel drive 	Two + one wheel 	Front loaded 	Single trailer 	Independent trolley 	Closed 	
<b>Bicycle 2</b>	Front wheel drive 	Four wheel 	Double loaded 	No trailer 	Integrated trolley 	Closed 	
<b>Bicycle 3</b>	Back wheel drive 	One + Two wheel 	Back loaded 	Single trailer 	Independent trolley 	Closed 	

Tabell 2. Resultater morfologisk tabell

## Morfologisk tabell

For å videreutvikle de to valgte konseptforslagene ble det sammen med idemyldring brukt en morfologisk tabell. Den morfologiske tabellen ble delt opp i seks ulike kategorier som ble ansett som grunnleggende for den videre utviklingen.

Tabellen resulterte i tre grunnleggende konsepter.

### Sykkel 1:

Dette er en lastesykkel med to hjul framme og ett bak, den har et fast skap foran for last og en tilhenger for ekstra last. Sykkelen har drift på det ene hjulet bak. En av fordelene med denne løsningen var at man på dager med lav last kunne få en mye lettere sykkel ved å koble fra tilhengeren.

### Sykkel 2:

Denne lastesykkelen har fire hjul og har et fast skap framme. Det er ikke brukt tilhenger her men heller en avtakbar tralle som er integrert i sykkel under transport. For å gjøre plass til trallen ble fremdriften flyttet til forhjulene. Trallen kan benyttes til å frakte last inn og ut fra bygningen.

### Sykkel 3:

Her har lastesykkelen et hjul framme og to bak og drift på bakre aksel. Sykkelen bruker et fast skap for last bak i tillegg til en tilhenger.

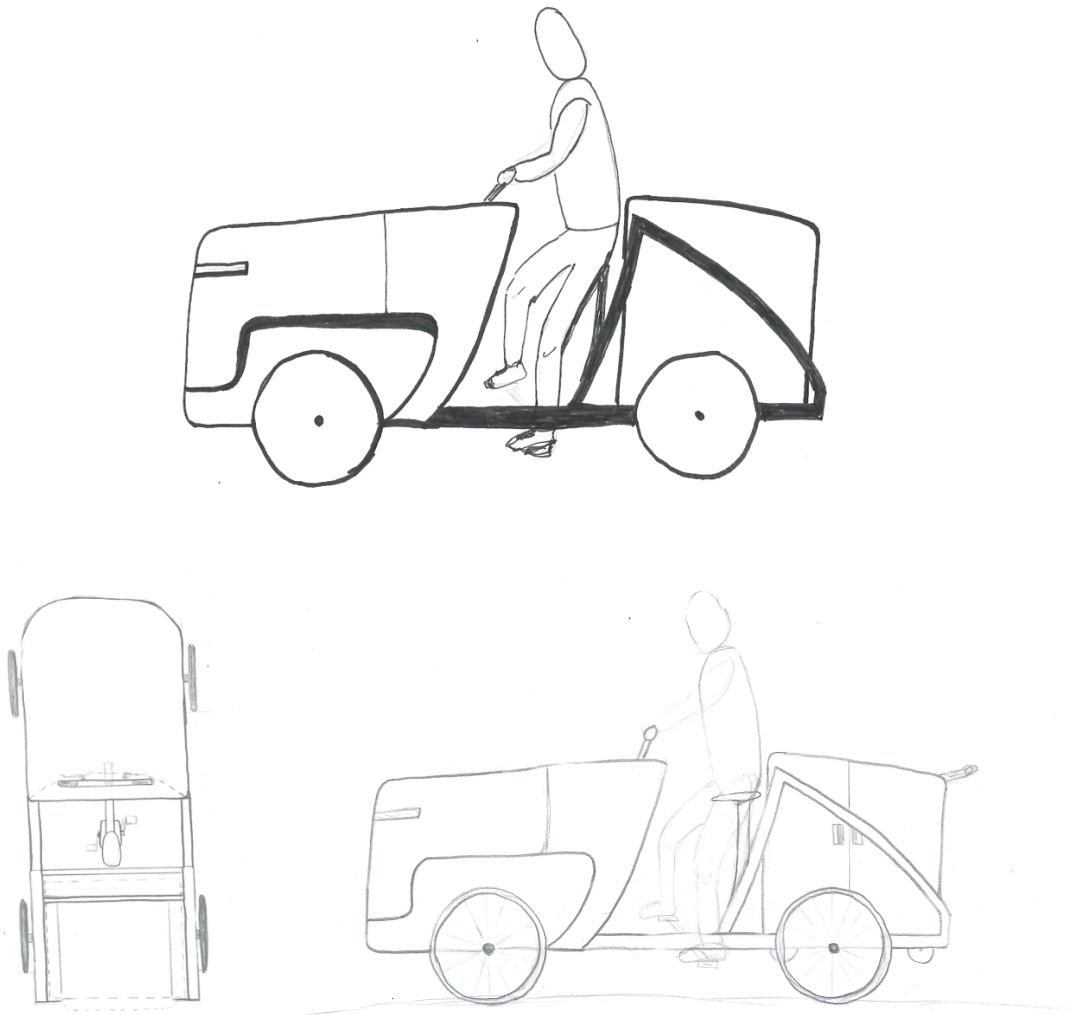
## Vurdering av konseptene

Sykkel 1 og 2 har begge fordeler ovenfor hverandre som vekt og lastekapasitet og begge kan trolig videreutvikles til en komplett løsning. Sykkel 3 har en klar svakhet ved at tilgang til det faste skapet bak er utilgjengelig når tilhengeren er tilkoblet, dette ble ansett som et så stort funksjonelt problem at konseptet ikke ble tatt med i videre arbeid.

## Skisser av de to konseptene

Det ble tegnet flere skisser for å detaljere og visualisere de to konseptene fra morfologi tabellen. Skissene viser hvordan de ulike konseptene kan se ut og hvordan de kan brukes.

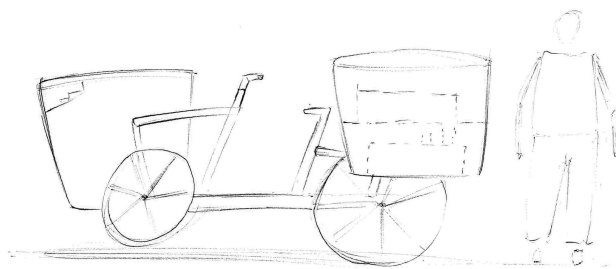
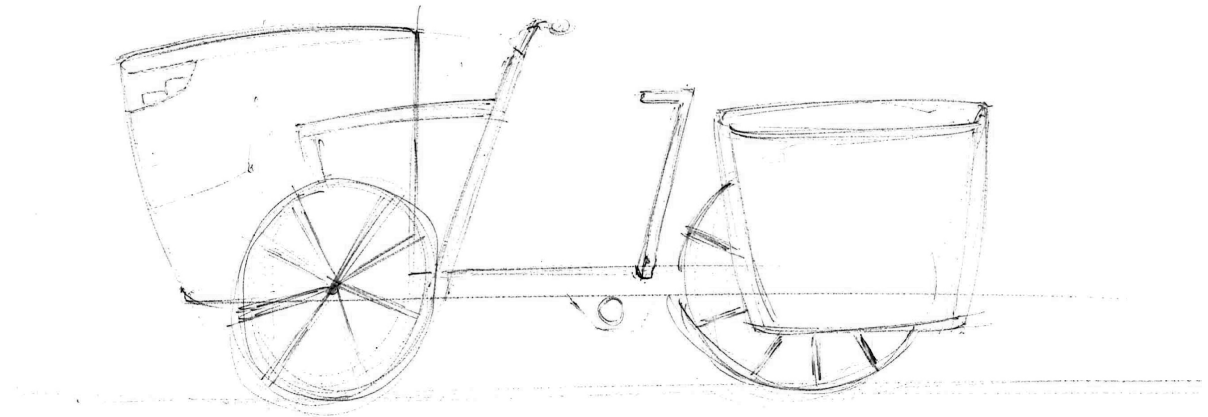
### THE ANT



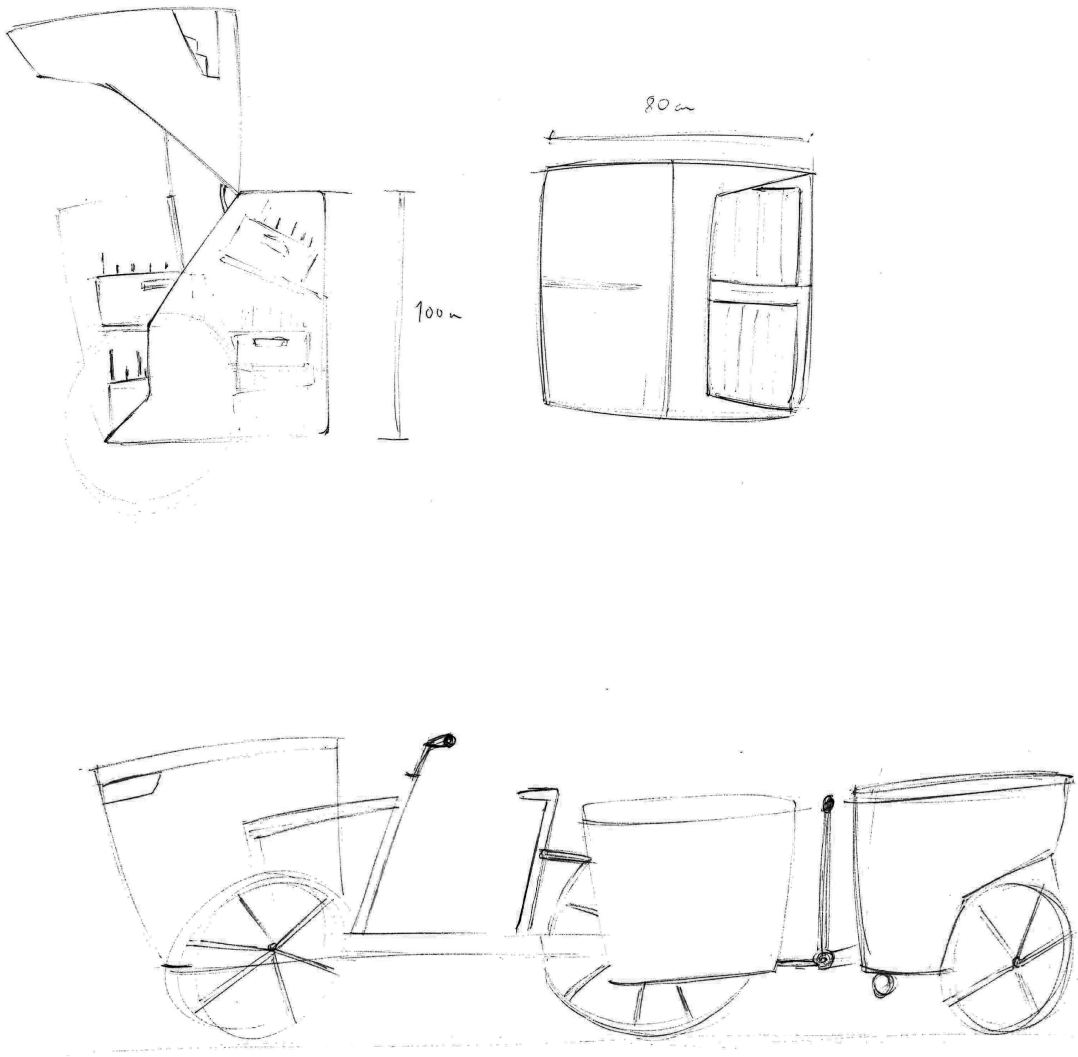
*Figur 9. Skisse The Ant*



## The Peacock

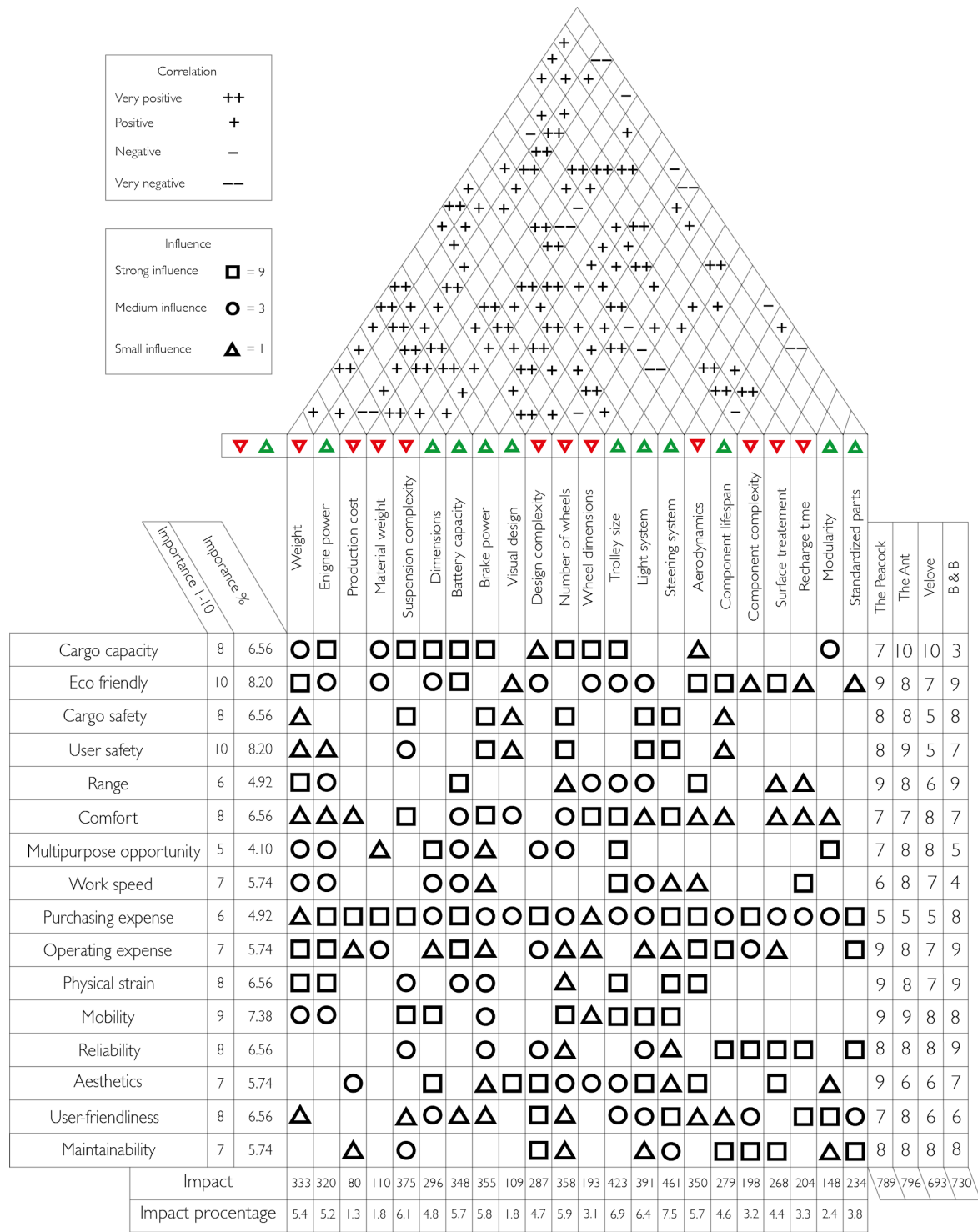


*Figur 10. Skisse The Peacock*



Figur 11. Skisse av The Peacock - Lastesystem

# Kvalitetshusanalyse



Tabell 3. Kvalitetshus

For å se nærmere på de to konseptene fra morfologi tabellen ble det gjort en kvalitetshusanalyse. Ut fra denne analysen kunne man lese av hvilke egenskaper som i høyest grad påvirket kundens ønsker og krav både i positiv og negativ retning. For å sammenligne konseptene med konkurrerende produkter, ble det tatt inn to sykler som er mest lik våre konsept til sammenligning. Verdiene som er satt i analysen er basert på antagelser om egne konsept som er diskutert innad i gruppen og med utenforstående. De konkurrerende produktene har fått sine verdier basert på informasjon fra datablad og antagelser rundt produktenes bruk i dette prosjektets oppgave.



Figur 12. Konkurrent 1: Velove



Figur 13. Konkurrent 2: Butcher & Bicycles

## Konklusjon fra analysen

Analysen viser at det som kan påvirke konseptet i høyest grad er styresystemet. Dette er et resultat av at denne egenskapen kan påvirke produktet både positivt og negativt på mange områder som kunden anser som viktig. Styresystemet har en korrelasjon med andre produktegenskaper og da spesielt antall hjul, øvrige dimensjoner og hjuloppheng, det er derfor viktig å tenke på styringssystemet i valgene som tas om disse egenskapene.

Når konseptene ble sammenlignet med konkurrerende produkter var det konseptet "The Ant" som scoret høyest.

Innvirkning (rangert 1-5)	Produktegenskaper
1	Styresystem
2	Trallestørrelse
3	Lyssystem
4	Hjuloppheng
5	Bremskraft

*Tabell 4. Resultat Kvalitetshus*

## Valg av endelig konsept

For å komme til et endelig valg av konsept ble det valgt å gjøre en tredelt evaluering. Først ble konseptenes score fra kvalitetshus analysen vurdert. Videre ble det holdt samtaler med veileder og oppdragsgiver ved konstruksjonsgjennomgang. Til slutt ble det tatt en evaluering sammen med to av de ansatte hos Campus service som er brukeren av det endelige konseptet.

## Diskusjon av konsepter med brukeren

De ansatte som deltok i diskusjonen var Lars Johan Gudmundseth og Aina Beate Pettersen. De ansatte var positive til løsningen med en tralle de kunne bruke innendørs hos “The Ant” men var bekymret for at vekten på sykkelen kunne bli noe høy og at dette kunne være noe bedre hos “The Peacock”. Enkel tilgang til brev fra lasteskapet i front ble ansett som en positiv løsning. Rekkevidden ble diskutert noe som de ansatte mente var tilstrekkelig for antatt bruk. Som ved tidligere samtaler hos brukerne ble det utdypet bekymring knyttet til å måtte arbeide utendørs på dager med ugunstige værforhold.

## Konklusjon

På bakgrunn av kvalitetshusanalysen og diskusjonene, kom det frem at “The Ant” ville være det mest egnede konseptet for arbeidsoppgavene. Den avtagbare lastetrallen og det høyere lastvolumet gjorde at den ble bedre mottatt enn “The Peacock”. Gaffelrammen hos “The Ant” muliggjør gode flerbruksegenskaper ved at den tillater en høy grad av modularitet.

# Valg og utvikling av komponenter

Videre arbeidet gruppen med detaljering av det endelige konseptet. På grunn av oppgavens omfang ble enkelte deler utviklet fortløpende i modelleringsprosessen. Enkelte delkomponenter har helt eller delvis blitt hentet fra Grabcad. Gruppen har latt seg inspirere av eksisterende produkter og løsninger.

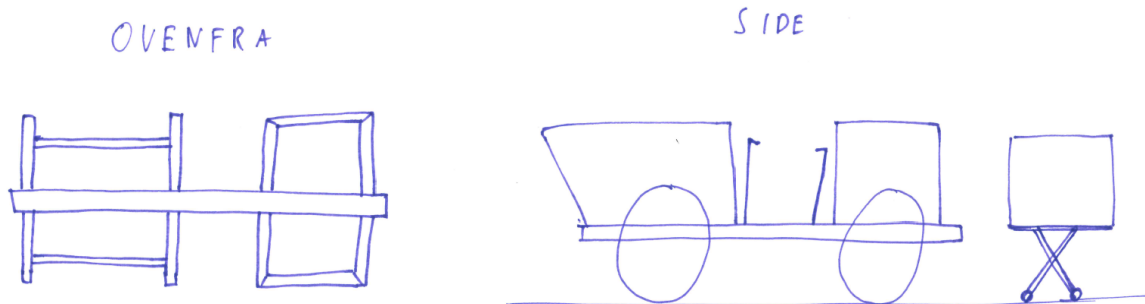
## Ramme

Valgt konsept skulle bære en lukket kasse foran, samt en avtagbar tralle bak. Ut i fra behovsanalysen ble det funnet frem til en del momenter som rammen måtte formgis etter. Modularitet, sittehøyde, lastekapasitet, vekt/styrke og komfort, var de viktigste faktorene som måtte ivaretas. Gruppen skisserte tre alternativer som kunne ivareta dette.

Ut i fra studier av eksisterende produkt på markedet, samt de lokale forhold tatt i betraktning ble det utarbeidet egne dimensjonskrav til løsningen. Dette innebar en maks-lengde på 3m og en anslått maks bredde på 1m. Dette var yttermålene å jobbe utifra. Tidlig ble det bestemt at syklisten skulle sitte høyt, for en mest mulig komfortabel av- og påstigning, men også for et oversyn. For å lette på- og avstigningen skulle det være så lite hinder som mulig mellom styret og setet. Derfor tar alle løsninger utgangspunkt i en kompakt midtdrager som en sentral del rammen ble bygget rundt.

Ramme 1:

Denne løsningen tar utgangspunkt i en gjennomgående midtdrager, hvor fremre kasse og bakre tralle plasseres oppå.

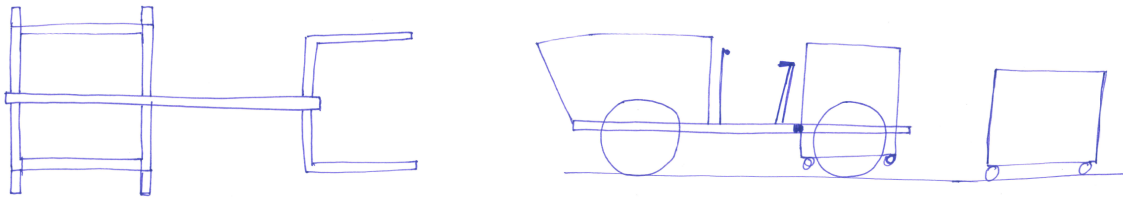


Figur 14. Skisse Ramme 1

- + Enkel og solid konstruksjon
- + Muliggjør firepunkts hjuloppheng både framme og bake.
- + Behagelig arbeidshøyde høyde for på- og avlasting.
- + Fleksibel plassering av fremdriftskomponenter
  
- Mister en del volum til fordel for hjuloppheng.
- Avtagbar tralle må løftes høyt
- Kompliserer utforming av tralle.



Ramme 2:

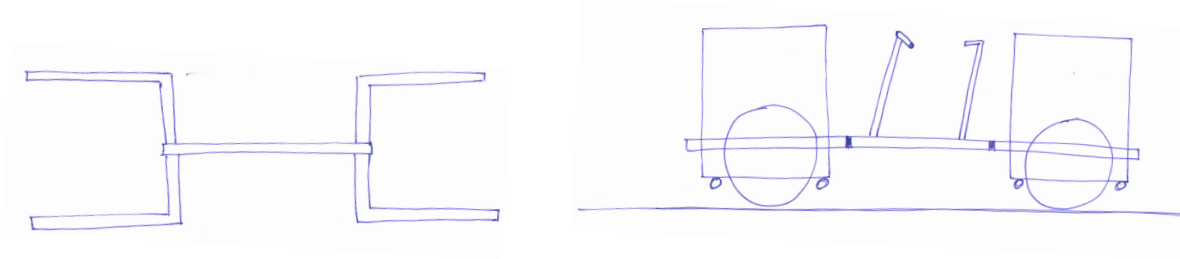


Figur 15. Skisse Ramme 2

I denne løsningen introduseres en “gaffel” bak for å kunne senke nødvendig løftehøyde for tralle, samt senke tyngdepunktet.

- + Lavere tyngdepunkt
- + Enkel utforming av løftemekanisme for tralle
- + Større volum av avtagbar tralle
- + Stort mulighetsrom med tanke på modularitet
- + Behagelig lastehøyde i front.
  
- Fare for spenning i knutepunkt for gaffel
- Større reimlengde på fremdriftsystem

Ramme 3:



Figur 16. Ramme 3

I denne løsningen er tegnet en gaffel i hver ende. Dette åpner for å ha en avtagbar tralle i begge ender av sykkelen.

- + To avtagbare traller for mer fleksibilitet.
- + Lavere tyngdepunkt
- + Enkel utforming av løftemekanisme for tralle
  
- Upraktisk i forhold til firepunkts hjuloppheng
- Kompliserer plassering av styresystem i forhold til lastekapasitet
- Fare for mye spenning i gaffelskjøtene
- Uestetisk løsning

Etter en del diskusjon og vurdering av skisser opp mot krav og ønsker, valgte gruppen å gå for ramme 2. Denne løsningen gir en fin kombinasjon av fleksibel lastekapasitet ved tralle bak, og en kasse foran. Muligheten for firepunkts oppheng fremme, og de fleksible lasteflatene ivaretar komfort og ergonomi. Utfordringene med stress i “gaffelende” ble tatt hensyn til ved å velge et dypt aluminiumsprofil, med mye veggtykkelse for å imøtekomme påkjent belastning. Dette er nærmere analysert i beregningskapittelet.

## Lastesystem

Kasse foran:

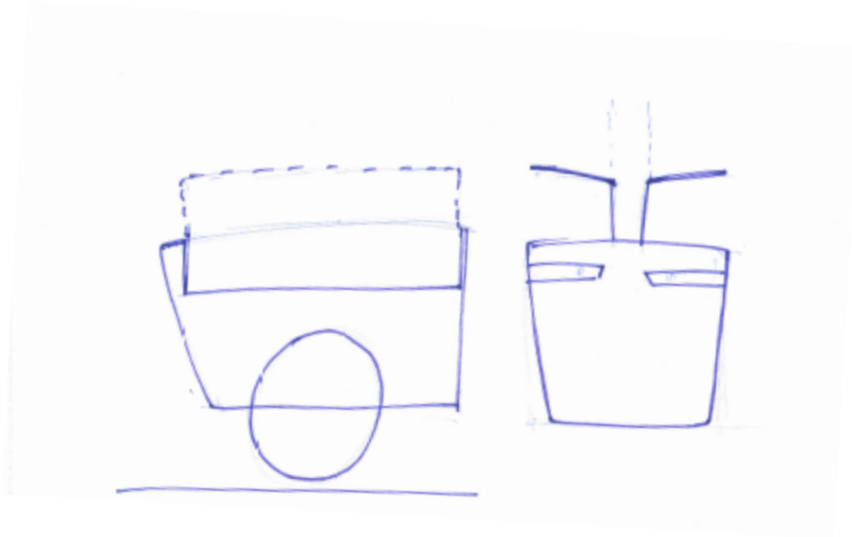
En viktig produktkravspesifikasjon var relatert til lastekapasiteten på  $1.5 \text{ m}^3$ . For å tilfredstille dette kravet ble det utformet en kasseløsning framme, og en tralleløsning bak, som til sammen har denne kapasiteten.

For fremre kasse utarbeidet gruppen flere løsninger i forhold til åpning og lukking av kassen. Det var hele tiden et ideal at brukeren kunne stå mest mulig oppreist under lasteoperasjoner, og at brev og pakker er lett tilgjengelige. De mest realistiske forslagene, presenteres her.

Som et utgangspunkt ble det tatt høyde for å kunne transportere standard kassene for post og bøker som benyttes av Campusservice i dag.

Kasse 1.

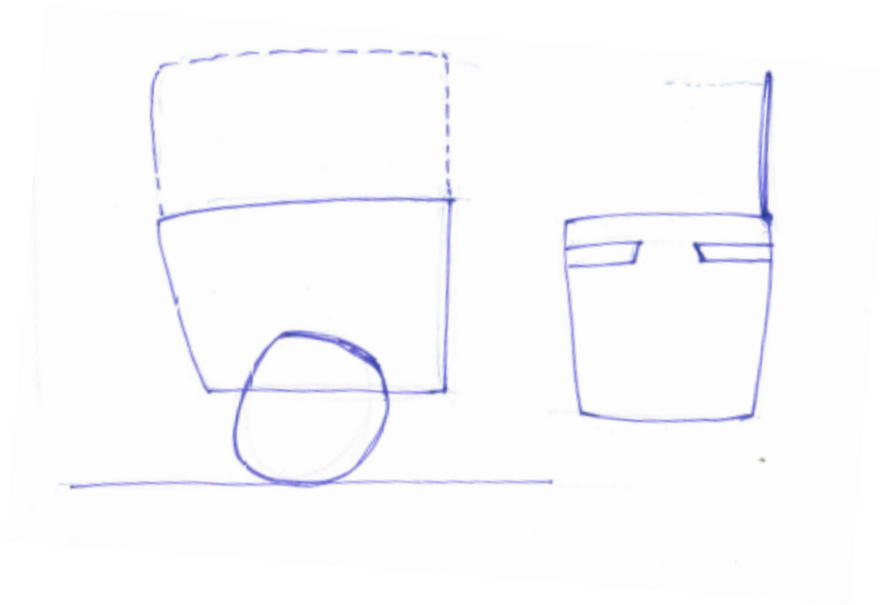
Denne løsningen åpnes fra toppen i to versjoner. Enten som “falkondører”, eller som ett lokk fra en side.



Figur 17. Kasse 1 med falkondører

Falkondører:

- + Behagelig høyde for pakking av post (øverst oppe)
- + Tilgang fra begge sider.
- + Post beskyttet i regnvær.
- Vanskelig å få inn store pakker på grunn av midtbejelke
- Fremhjul kommer vegen
- Brukeren må bøye seg langt ned for å nå tak i post på bunnen

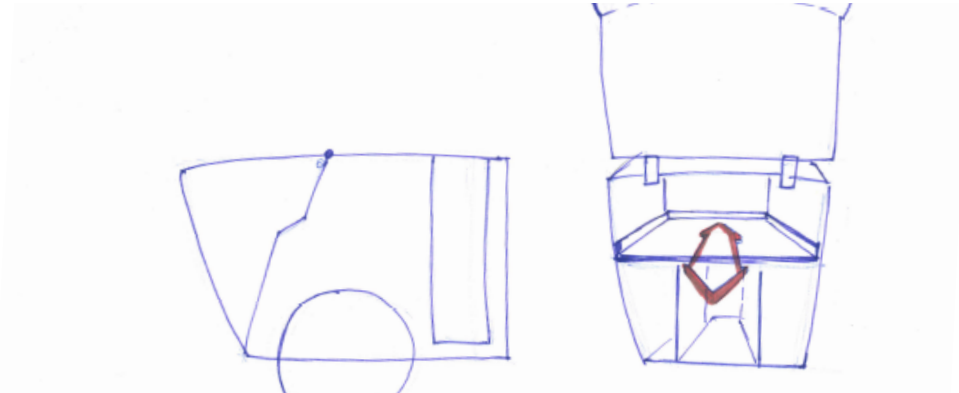


*Figur 18. Kasse 1 med topplokk*

### Ett topplokk

- + Full tilgang til hele lasteplanet
- + Enkelt å laste store pakker
- + Enkel mekanisme
- Fremhjul kommer i vegen
- Brukeren må bøye seg langt ned for å nå tak i posten på bunnen
- Posten er meget værutsatt ved åpen kasse

Kasse 2:



Figur 19. Kasse 2

Kasse 2 åpnet med et lokk foran, og åpninger på sidene bak.

- + Fri tilgang til alle postlukene
- + Fungerer godt med standardkasser
- + Lettere å holde orden i kassen
- Mange plasser å hente post
- Mange flere komponenter for åpningsmekanismer kreves

På grunnlag av lastekapasitet, og hensyn til standardkasser, valgte gruppen å gå videre med kasse 2. For øke komforten ved på- og avlasting, og for å gjøre det lettere å holde orden i kassa, ble det lagt til en skuff over hjulbuene. På denne måten blir kassen naturlig inndelt i tre segmenter. Fremme har en da to etasjer hvor en bibliotekskasse passer inn mellom hjulbuene, og øvre plan er lett tilgjengelig for pakker og annen post.

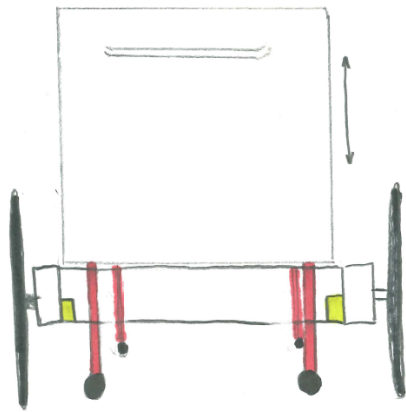
Modulariteten av sykkelkonstruksjonen åpner for å ha en åpen kasse fremme som et tilvalg.

## Tralle bak

Trallen bak skal hovedsakelig inneholde pakker av ulik størrelse. Det ble derfor tidlig besluttet av den skulle være mest mulig åpen innvendig. For å utnytte volumet innvendig ble det bestemt at det skulle være mulig å legge inn hylleplater etter behov. En utfordring med trallen er hvordan den skal kunne løftes opp på rammen for transport. Det ble her vurdert to ulike løsninger. Utfordringen kan løses ved hjelp av elektriske komponenter men det er ønskelig at løsningene ikke krever komplekse komponenter og at all energi går til fremdriften.

### Løsning 1: Heving og senking av tralle med gassfjær

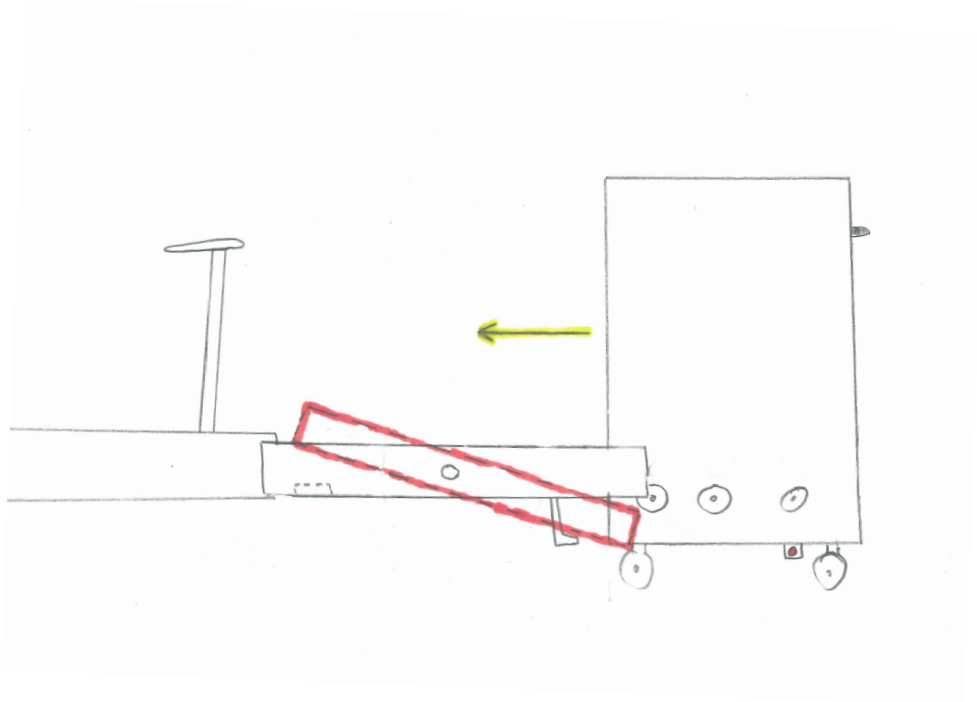
Her kan kassen heves når den skal av rammen og senkes når den skal på rammen. Hver av de fire hjulene er koblet til en gassfjær.



Figur 20. Løsning 1: heving og senking av tralle med gassfjær

## Løsning 2: Vippebjelke og hjul på trallen

Her trilles trallen opp en bjelke og blir dermed løftet fra bakken. Trallen låses så fast i rammen med låsepinner som styres fra en hendel på trallen.



Figur 21. Løsning 2: Vippebjelke og hjul på trallen

Valg av løsning:

Etter nærmere vurdering av de to løsningene kom det frem at heving og senking ikke vil være en fungerende løsning. Hvis gassfjærene plasseres slik at hjulene får hjelp opp i kassen, så vil da ikke få hevet trallen senere og hvis gassfjærene skifter retning vil ikke hjulene forlate bakken når trallen har fått kontakt med rammen. Vippebjelkesystemet vil være en fungerende løsning som løfter trallen tilstrekkelig opp fra bakken.



# Framdrift og bremses

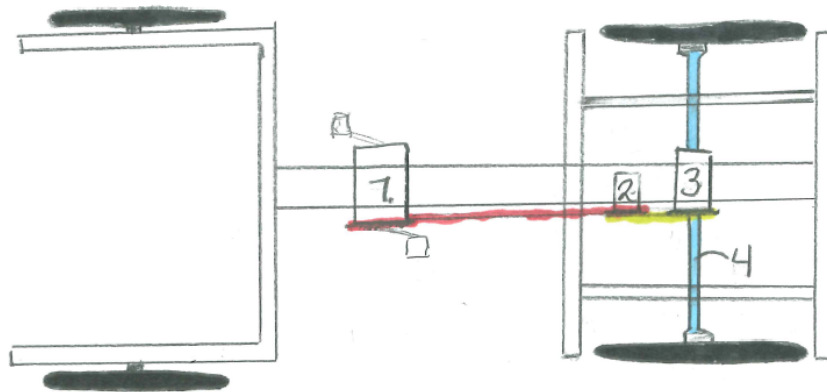
## Framdrift

For å velge et framdriftssystem måtte det først bestemmes om det skulle benyttes bakhjulsdrift eller framhjulsdrift. Det var opprinnelig tenkt man måtte benytte framhjulsdrift for å frigjøre plass til trallen bak. Etter en nøyere gjennomgang kom man fram til at det var mulig å konstruere et system for bakhjulstrekk som ikke tok opp plass bak.

Følgende løsninger ble vurdert:

## Framhjulsdrift

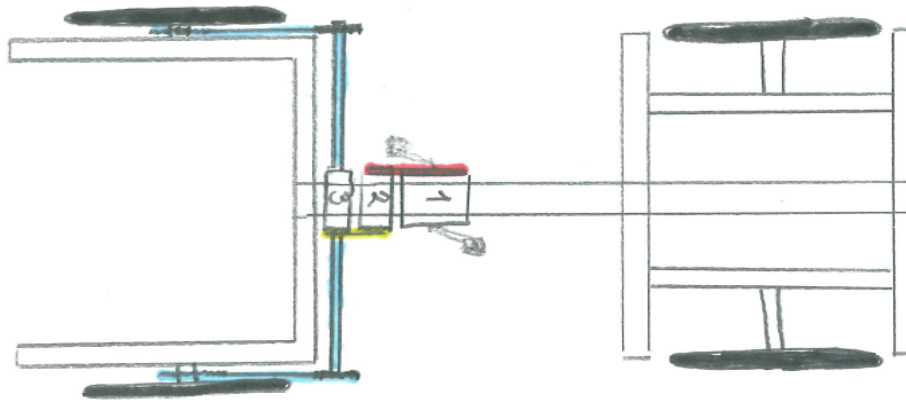
Hver av hjulene koblet til en fleksibel drivaksel som videre er koblet til en differensial under den fremste halvdel av rammen. Videre er differensialen koblet med reimdrift over til et gir og videre til crankmotoren.



Figur 22. Framhjulsdrift

## Bakhjulsdrift

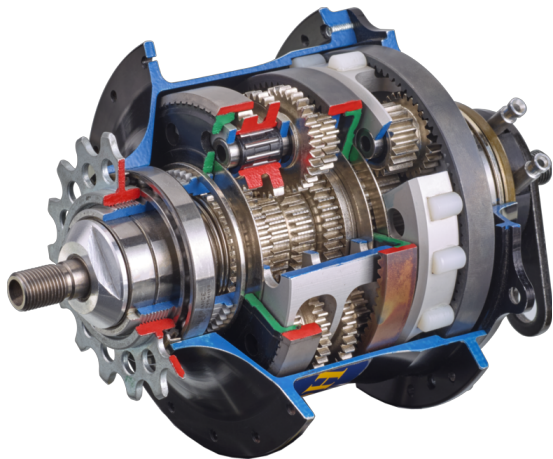
Hjulene drives med reim fra hver sin aksel som er plassert foran gaffelen som muliggjør å ha reimene på utsiden av gaffelen. Akselen er koblet til en differensial, videre til et navgiret og crankmotoren.



*Figur 23. Bakhjulsdrift*

Løsningen med framhjulsdrift setter trolig begrensinger på svingradiusen til sykkelen da hjulene må bli koblet til drivakslar og rotasjonen fra motoren må også endre retning da hjulene står foran motoren. Siden drivhjulene også er styrehjulene må akslene være utstyrt med drivknuter. Løsningen med bakhjulsdrift er enklere og krever ikke bruk av drivknuter på drivaksel. Bakhjulsdrift påvirker heller ikke svingradiusen til sykkel og rotasjonsretningen fra motor trenger ikke endre retning. På bakgrunn av dette ble det valgt å gå for bakhjulsdrift på sykkelen.

Framdriftssystemet på sykkelen er begrenset av gjeldende regelverk for elektriske sykler som tilsier at en elektrisk sykkel bare kan ha 250W motor som kan hjelpe syklisten opp til en maksimal fart på 25 km/t før den kobler ut. Etter samtaler med personer i sykkelbransjen ble det avgjort at det skulle benyttes en *Bosch E-bike Performance CX* crank motor og et 500/14 navgir fra *Rohloff*. Siden sykkelen har to bakhjul ble navgiret plassert som et selvstendig gir med reimoverføring til en Samaga DG72N differensial for å gi fremdrift til begge hjul. Etter datablad fra Rohloff ble det valgt en giroversetting mellom crank og gir på 0.4.



*Figur 24. Rohloff 500/14 Navgir*



*Figur 25. Bosch E-bike Performance CX Motor*

## Bremser

Siden sykkelen skal bære store laster vil det kreve kraftige bremser for å stanse sykkelen raskt. Det ble tatt kontakt med en forhandler av sykkelkomponenter, det ble her antatt standard sykkelkomponenter i største dimensjon, ville være mer enn tilstrekkelige for å stanse en sykkel på 500 kg. Det ble valgt ulike komponenter fra Shimanos MTB segment og består av hydraликkbremser med caliper og bremsekiver på hvert hjul. Systemet styres av to ratthendler, en styrer bremsene på de to hjulene bak og en for de to forhjulene. Bremsekivene er 203 mm i diameter og er det største innenfor standard sykkeldeleer.

Det er gjort beregninger av bremsekraft og bremselengde i beregningskapittelet.

## Hjuloppheng og styring

### Hjuloppheng

Sykkelen skulle ha fire hjul og sving på forhjulene. Bakhjulene skulle ha fremdrift og plasseres på utsiden av gaffelen bak. Sykkelen har en tenkt maks vekt på 500 kg og en maksimal hastighet på 30 km/t.

Løsning foran:

For å både gi sykkelen en god demping og tilstrekkelig svingradius ble det bestemt å konstruere et firepunkts hjuloppheng foran, inspirert av bilbransjen. Med +/-10 cm frihet for hjulene i høyden vil opphenget kunne håndtere ulike kjøreforhold. Hvert hjuloppheng består av to bærebøyer, et "hjullagerhus" og en demper. For å kunne benytte seg av ordinære sykkel felger om kunden ønsker det, har det blitt konstruert et "hjullagerhus" som ikke inneholder kulelager og at disse heller befinner seg i hjulnavet.

Løsning bak:

For å holde gaffelen bak tom måtte opphenget bli ordnet annerledes en foran. Hjulene bak skal også være tilkoblet drivlinjen. Det ble valgt å konstruere et udempet oppheng bak. Dette ble gjort i hovedsak for det ville være tidkrevende å utvikle en tilfredsstillende dempet løsning. Ved en eventuell dempet løsning bør reimen utstyres med selvstramming.

## Hjul

Hjulstørrelsen ble først satt til 28 tommer for å få en ergonomisk arbeidshøyde på lastepanet og for å få en tilstrekkelig bakkeklaring. Etter en nøyere vurdering under 3D-modelleringen ble det bestemt at 28 tommers hjul ble for stort og det ble konstruert nye 24 tommers felger. Denne størrelsen passet best til sykkelen både praktisk og visuelt. Felgene er designet rundt et eksisterende hjulnav. Designet på felgene er i hovedsak basert på visuelle ønsker og at vanlige sykkelfelger ikke tåler belastningene. Felgene er ikke styrkeberegnet og er trolig noe overdimensjonert.

## Styring

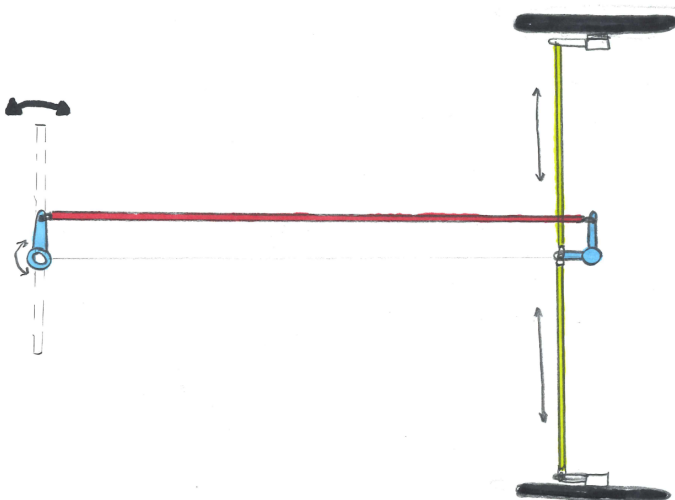
Styringssystemet ble gjennom kvalitetshusanalysen utpekt som et viktig område for sykkelen.

Styringen ble utviklet med fokus på svingradius og er inspirert av Steintrikes trehjulssykler. Det var ønskelig at man hadde en høy sittehøyde og det ble naturlig å benytte et tradisjonelt sykkelstyre for betjening av styringssystemet.



Figur 26. Steintriike

Styringssystemet består av sykkelstyre, rattstamme, to koblingspunkt og tre stag. Stagene går fra rattstammen frem til rotasjonspunktet under rammen og to mindre stag ut til hjulene. Svingradiusen til sykkelen er på 4m.



Figur 27. Styresystem

# Beregninger og materialvalg

For å danne et bilde av hvordan sykkelen oppfører seg i hverdagsbruk, har gruppen valgt å gjøre beregninger på bremses, fremdrift og svingradius. I tillegg er det gjort en Solidworks simulering på rammen, for å sjekke om den tåler påkjent statisk belastning.

I beregninger for fremdriftssystemet er det valgt å ta utgangspunkt i at en person klarer å yte 100 watt i en time som et relativt behagelig estimat. FTP som er definert som functional threshold power, oppgis til å være på 200W for 46% av kvinner. For menn er dette 260W, Dermed estimerer vi 100W som en verdi som gir god mosjon. (Johnstone, 2018)

## Bremselengde

Beregning av bremselengde fra en hastighet på 25km/t. Anslått håndkraft på bremsehendel er 100N. Massen til sykkelen inkludert last er satt til 500kg.

m	500	kg
$v_0$	6.9	m/s
v	0	m/s
$r_{hjul}$	0.3	m
$r_{skive}$	0.1	m
$\mu_{bremsebelegg}$	0.8	
Forsterkningsfaktor	15.4*	

Tabell 5. Konstanter i beregning av bremselengde

\*Forsterkningsfaktoren er en basert på at «leverage ratio» er på 7 (sRAM) og antagelsen om at hydraulic ratio ligger på 2,2. (Sram, 2018)

$$N_{caliper} = F_{h\ddot{a}nd} * Forsterkningsfaktor_{hendel.hydralikk}$$

$$T = 2 * \mu * N * r_{skive} \text{ Torsjonsmoment p\aa skive fra bremsekloss}$$

$$T_{aksel} = 2 * \mu * N_{caliper} * r_{skive}$$

$T = F * r$  Kraften og torsjonsmoment

$$F_{brems} = \frac{T_{aksel}}{r_{hjul}}$$

$$W_{\Sigma F} = \Delta E_k = \frac{1}{2} m * v^2 - \frac{1}{2} m * v_0^2 \quad \text{Kinetisk energi}$$

$W = F * s$  Arbeid utført av bremseskive

$$W_{brems} = (F_{brems.foran} + F_{brems.bak}) * s$$

$$W_{brems} = \Delta E_k$$

$$s = \frac{\Delta E_k}{(F_{brems.foran} + F_{brems.bak})}$$

Regnestykket gir en bremselengde på 7.2 m, som ved en hastighet på 25km/t ikke er spesielt bra. Dette skaper en deakselerasjon på 3.3 m/s<sup>2</sup> noe som ligger under nivået en er vant fra vanlig sykkel. Resultatet gir uttrykk for at en bør se etter andre komponenter fra for eksempel motorsykkel / scooter segmentet. Det er grunnlag for bekymring i nedoverbakker.



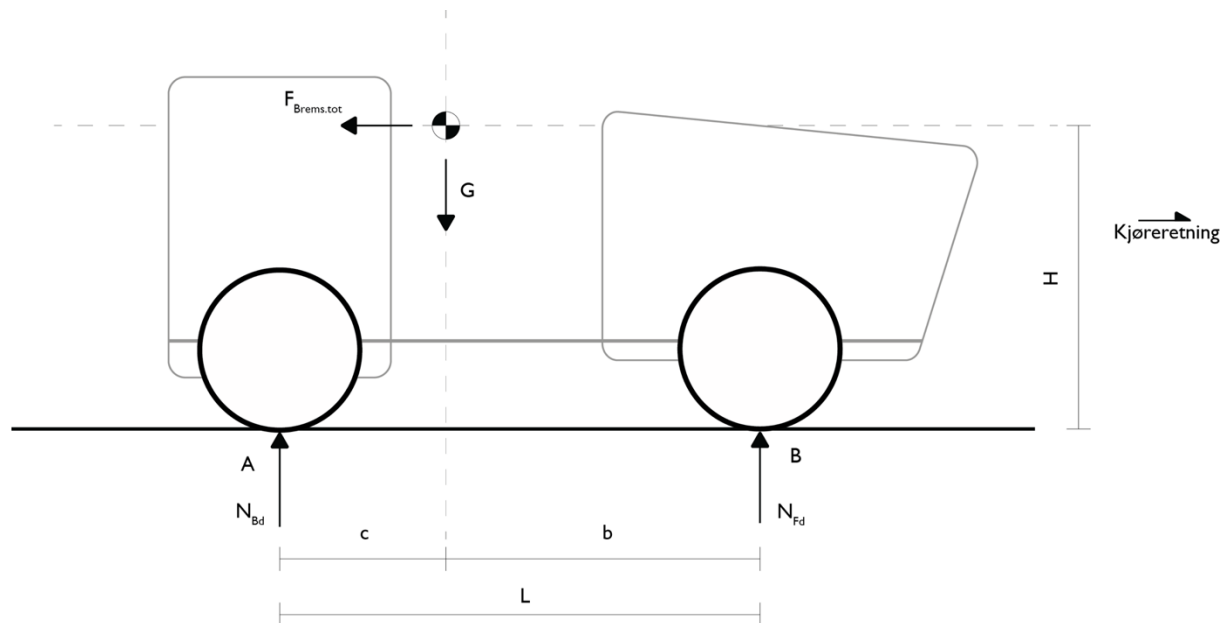
## Maksimal bremskraft

Her beregnes nødvendig håndkraft på bremshendel for å låse hjul ved en hastighet på 25km/t og å oppnå full stopp på ett sekund. Massen til sykkelen inkludert last er satt til 500kg.

Ved å regne på låste hjul finner man den maksimale bremskraften systemet kan levere før sykkelen går over til å gli. Denne informasjonen brukes for å se hvilken kraft syklisten må tilføre bremshendelen for å oppnå maksimal bremskraft. Sykkelen har to bremselinjer, én til fremre hjul og én til bakre hjul og en hendel til hver linje. Kraften fra hendelen vil være delt mellom de to hjulene på hver bremselinje. Siden systemet er symmetrisk tas det kun hensyn til ett hjul på hver linje som mottar kraften fra bremshendelen.

På grunn av negativ akselerasjon fra nedbremsingen vil normalkraftene endres i forhold til massesenteret og det utføres derfor en dynamisk lastberegning av opplagringene.

Massesenteret er regnet ut i vedlegg...



Figur 28. FLD – Maksimal bremskraft

Total masse	500	Kg
G	4905	N
c (avstand fra massesenter til bakaksel)	0.96535	m
b (avstand fra massesenter til foraksel)	1.03465	m
L (akselavstand)	2	m
H (høyde fra bakken til massesenter)	0.758105	m
V (fart) valgt	25	km/h
t (Nedbremsingstid) valgt	1	s
a (akselerasjon) valgt	6.944444444	$m/s^2$
$\mu_{hjul}$	0.8	
g	9.81	$m/s^2$
r hjul	0.3	m
$\mu_{bremsbelegg}$	0.5	
$r_{skive}$	0.1	

Tabell 6 Konstanter i beregning av maksimal bremskraft

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

$$F = m * a$$

$$G = m * g$$

$$F_{brems.tot} = m * a$$

$\sum M_B = 0$  Momentlikevekt om punktet B

$$\sum M_B = N_{Bd} * L - G * c + F_{brems.tot} * H = 0$$

$$N_{Bd} = \frac{G * c - F_{brems.tot} * H}{L}$$

$\sum F_y = 0$  krefter i y-retning

$$\sum F_y = N_{Fd} + N_{Bd} - G = 0$$

$$N_{Fd} = G - N_{Bd}$$

$$N_{Fd} = 3683.7 \text{ N}$$

$$N_{Bd} = 1221.3 \text{ N}$$

Forskjellen i normalkraft betyr at det vil kreves større håndkraft for å låse framhjulene enn bakhjulene. Ettersom  $N_{Fd}$  er større enn  $N_{Bd}$  vil det videre i beregningene kun bli tatt hensyn til  $N_{Fd}$ .

For å låse framhjulene vil det kreve et torsjonsmoment som er definert av friksjonskoeffisienten til dekket, radiusen til hjulet og normalkraften på fremre aksel.

$$R = \mu * N \text{ Friksjonskraft}$$

$$T = F * r \text{ Torsjonskraft}$$

$$T_{l\ddot{a}ste.hjul} = \mu_{dekk} * N_{Fd} * r_{hjul}$$

$$T_{l\ddot{a}ste.hjul} = 885. \text{ N}$$

$$T_{aksel} = T_{l\ddot{a}ste.hjul}$$

$$T_{aksel} = 2 * \mu * N_{caliper} * r_{skive} \text{ Torsjonsmoment ved to friksjonsflater}$$

$$N_{caliper} = F_{h\ddot{a}nd} * Forsterkningsfaktor_{hendel.hydralikk} \text{ kraft ved caliper}$$

$$T_{aksel} = 2 * \mu * F_{h\ddot{a}nd} * Forsterkningsfaktor_{hendel.hydralikk} * r_{skive}$$

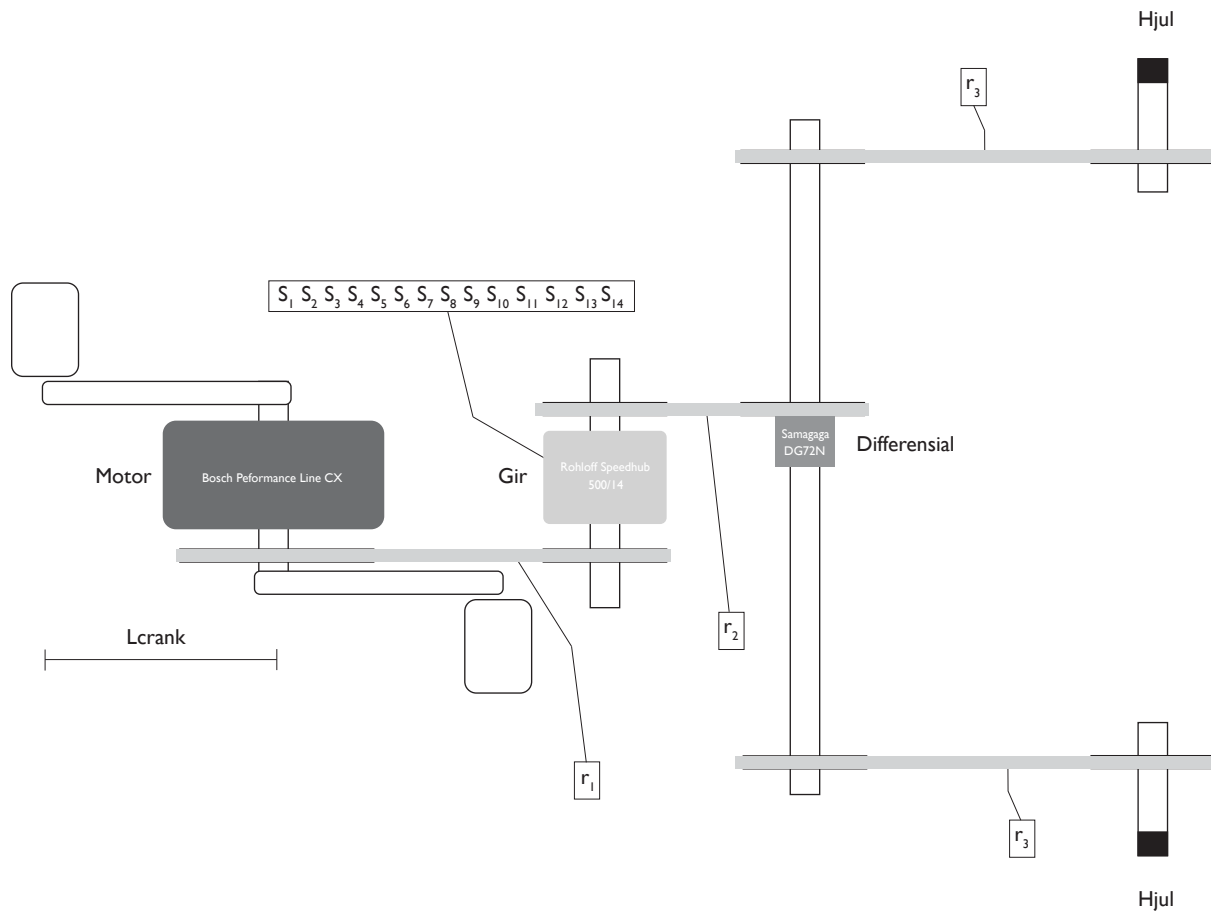
$$F_{h\ddot{a}nd} = \frac{T_{aksel}}{2 * \mu * Forsterkningsfaktor_{hendel.hydralikk} * r_{skive}}$$

$$F_{h\ddot{a}nd} = 574.0792814$$

H\ddot{a}ndkraften som kreves f\ddot{a}r \ddot{a} l\ddot{a}se hjulene med en last p\ddot{a} 500 kg og en deakselerasjon p\ddot{a} 6.9m/s<sup>2</sup> er trolig for h\ddot{o}y for en alminnelig syklist. For \ddot{a} bedre dette b\dd{o}r man vurdere \ddot{a} finne utstyr som kan levere en h\dd{o}yere forsterkningsfaktor fra hendelen.

### Drivlinje

Beregning av akselerasjon, hastighet og girutveksling. Her neglisjeres friksjonstap i gir – og belteoverf\dd{o}ring.



Figur 29 Oversikt over girsystem

## Giroversetting

Giroversettingen er sammensatt av både et 14-stegs nav-gir og tannhjulene ved crank og gir. Tannhjulet ved crank har 40 tenner og tannhjulet inn på navgiret har 16 tenner.

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

$$i = \frac{z_2}{z_1}$$

$$i_1 = 0.4$$

$$i_{tot} = i_1 * i_2$$

Gir	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$i_{gir}$	3.58	3.16	2.78	2.44	2.16	1.89	1.67	1.47	1.29	1.14	1.00	0.88	0.77	0.68
$i_{tot}$	1.43	1.27	1.11	0.98	0.86	0.76	0.67	0.59	0.52	0.45	0.40	0.35	0.31	0.27

Tabell 7. Giroversetting

## Kraftberegning for konstant kadens

Det antas at en person kan yte 60rpm 100w relativt behagelig over en time.  
Dette gir totalt 90nm torsjon fra menneske og motor.

$$T_n = T_0 * i_{tot} * \eta_{tot} \quad \text{Torsjonsmoment på hjulaksel}$$

$$T = F * r \quad \text{Torsjon og kraft}$$

$$T_{aksel} = T_{crank} * i_{tot} * \eta_{tot}$$

$$F_{hjul} = \frac{T_{aksel}}{r_{hjul}}$$

Gir	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
F <sub>hjul</sub> [N]	430	379	333	293	258	227	200	175	155	136	120	105	92	81

Tabell 8. Gir og krefter

Total masse	500	kg
Masse regnestykke	4905	N
Stigning	4	%
Crr	0.003	
Cd	1	
A	1	m <sup>2</sup>
ro	1.224	kg/m <sup>3</sup>
Vekt hjul	2.5	kg

Tabell 9. Konstanter ved kraftberegning

Videre beregnes motstandskrefter som må overkommes.

$$\sum F = F_{hjul} - F_D - F_R - F_G \quad \text{Summen av krefter i kjøreretning}$$

$$F_D = \frac{1}{2} * \rho * v^2 * C_D * A \text{ Drag}$$

$$F_D = 30.0 \text{ N}$$

$$F_R = C_{rr} * N \text{ Rullemotstand}$$

$$F_R = 14.7 \text{ N}$$

$$F_G = m * g * \sin \theta \text{ gravitasjonsmotstand}$$

$$F_G = 342.2 \text{ N}$$

$$F_{motstand.tot} = F_D + F_R + F_G \text{ Summen av motstandskrefter}$$

$$F_{motstand.tot} = 386.9 \text{ N}$$

Ettersom sykkelen har en kraft på bakhjulene på 430 N, i 1 gir kan også en stigning på 4% lett overvinnes ved gitte verdier.

### Beregning av hastigheter ved konstant kadens

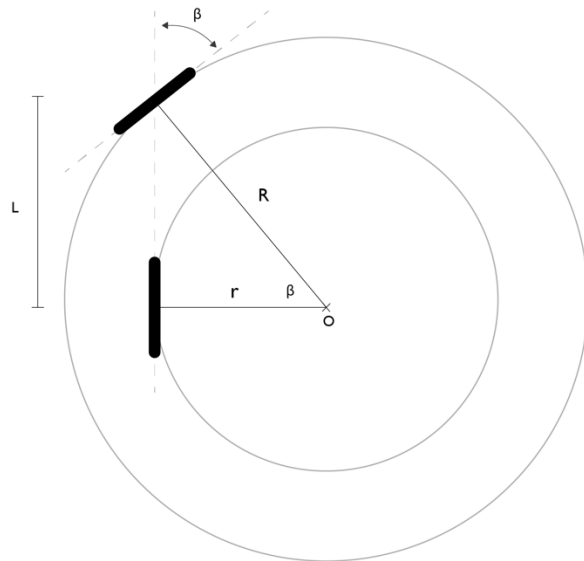
$$v = \frac{RPS}{i_{tot}} \cdot 2\pi r$$

Gir	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
v[m/s]	1.31	1.49	1.70	1.93	2.19	2.49	2.82	3.21	3.64	4.14	4.71	5.34	6.09	6.9
V[km/h]	4.73	5.36	6.10	6.94	7.87	8.95	10.17	11.56	13.12	14.93	16.956	19.25	21.91	24.88

Tabell 10. Hastigheter ved en kadens på 60 rpm

Som beregningene viser er en fart på nærmere 25 km/h mulig ved en behagelig kadens på 60 rpm. I forhold til tidligere beregninger vil hastigheten opp en bakke med stigning på 4% ligge på ca. 4.7 km/h. Dette anses som akseptabelt i forhold til lastekapasitet og begrensinger til drivlinjen.

# Svingradius



$L =$  akselavstand

$\beta =$  hjulutslag

$R =$  avstand fra  $O$  til  
forhjul (svingradius)

$r =$  avstand fra  $O$  til bakhjul

Figur 30. Svingradius

Svingradius  $R$  er beregnet ut i fra forutsetningen om at fremre og bakre hjul følger hver sine sirkler. Det tas ikke hensyn til overheng på sykkelens.

Av figuren fremgår den geometriske sammenhengen:

$$\sin \alpha = \frac{L}{R}$$

Som kan omformuleres til:

$$R = \frac{L}{\sin \alpha}$$

Verdier fra CAD-modellen:

$$\alpha = 30^\circ$$

$$L = 2 \text{ m}$$

Verdiene gir en svingradius på 4 m, noe som ansees for å være meget bra, tatt sykkelens størrelse i betraktning.



## FEA

For å undersøke om rammen tåler antatte belastninger ble det gjennomført en statisk studie i Solidworks. Det er gjort en forenkling av kreftene og fastholdningene. Rammen er påført krefter i y-retning på tre hovedområder, og det er satt fastholdninger i kontaktpunktene for hjuloppheng foran og aksselfeste bak. Det vil bli sett på maksimale von Mises spenninger i konstruksjonen og sikkerhetsfaktor. Totalt kraft som påføres rammen under simuleringen er 4500N og skal reflektere summen av krefter fra nyttelast, syklist og egenvekt til tralle og kasse. For å forbedre mesh har det blitt brukt mesh control på fire områder, dette fjernet spenningstopper og resulterte i en mesh med aspect ratio lik 37 som er tilfredsstillende.

### Material

Material	Aluminium 6061-T6
Flytegrense	275 N
Bruddgrense	310 N
Massetetthet	0.0027g/mm <sup>3</sup>

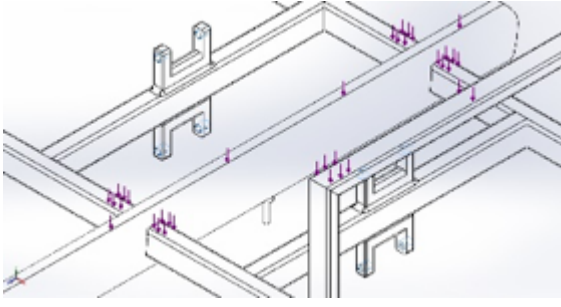
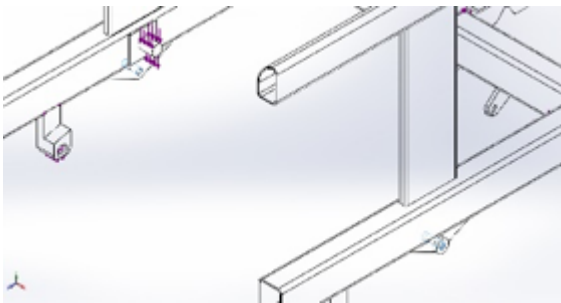
*Tabell 11. FEA - Material*

### Krefter

Tralle bak	1750 N
Sykkel sete	1000 N
Kasse foran	1750 N

*Tabell 12. FEA - Krefter*

## Fastholdninger

Area	Type
	Fixed geometry
	Fixed geometry

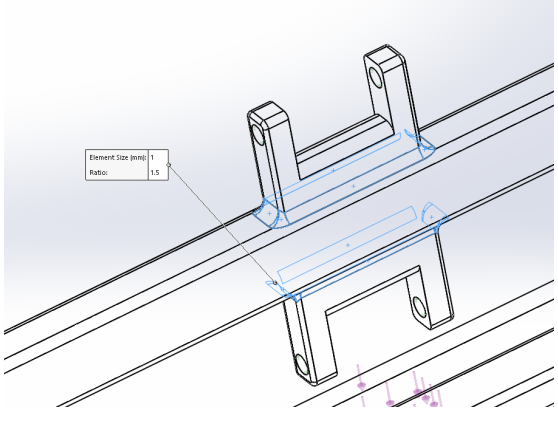
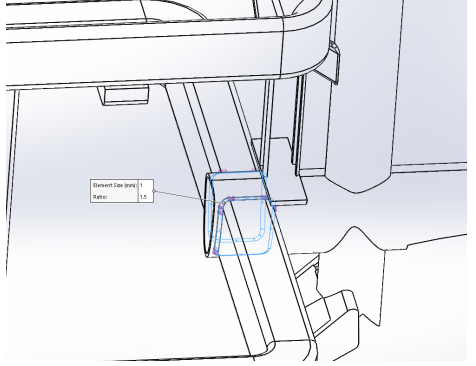
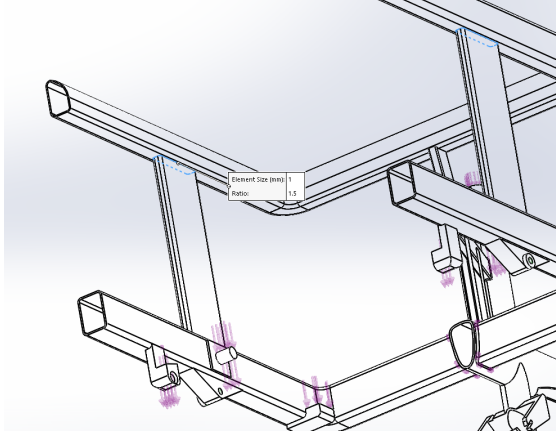
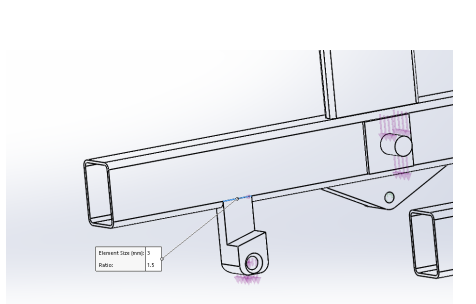
Tabell 13. FEA - Fastholdninger

## Mesh

Mesh type	Solid mesh
Mesher used	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 points
Maximum element size	20 mm
Minimum element size	5 mm
Mesh quality plot	High
Maximum aspect ratio	36
% of elements with aspect ratio < 3	70.3
% of elements with aspect ratio > 10	0.23

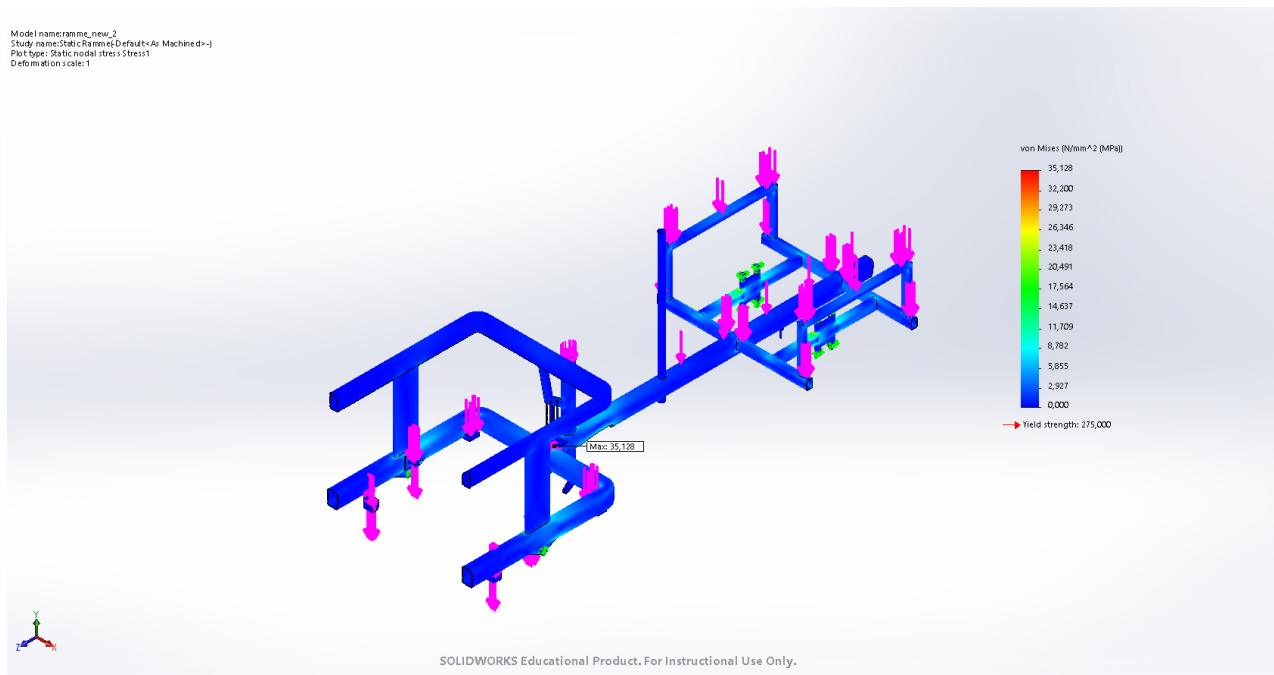
Tabell 14. FEA - Mesh

# Mesh control

Area	Element size	Area	Element Size
	1 mm		1 mm
	1 mm		3mm

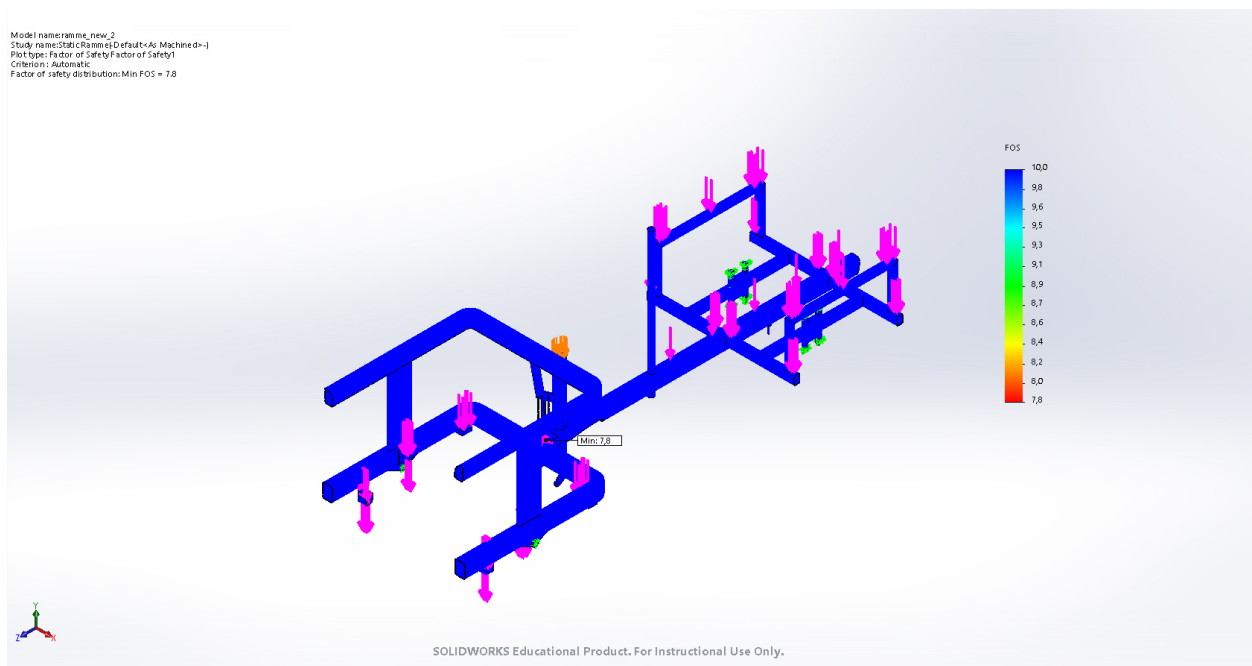
Tabell 15. FEA - Mesh control

## Resultater



Figur 31. Resultater von Mises

Maksimal von Mises spenning er 35 N i sveisesøm mellom nedre gaffel bak og midtdrageren.



Figur 32. Resultater sikkerhetsfaktor

Laveste sikkerhetsfaktor er 7.8 i sveisesøm mellom nedre gaffel bak og midtdragere.

Konklusjon av FEA:

Det ble opprinnelig gjort analyser med en annen legering og det ble tatt beslutning sent i prosjektet om å gå bort fra denne legeringen til fordel for 6061-T6. I den opprinnelige analysen var sykkelens laveste sikkerhetsfaktor 1.6 i samme punkt.

Ut fra analysen med 6061-T6 synes det at sykkelen er kraftig overdimensjonert. En sikkerhetsfaktor på 2 ansees å være solid nok for formålet. På den positive siden er gruppen tilfredsstilt over det faktum at det er mulig å bære en total last på 500 kg med kun ett stag i midten, noe som letter på- og avstigning for brukeren.

## Materialvalg

Miljøaspektet er en sentral del i oppgaven. Innledningsvis ble det derfor besluttet å gå for aluminium, da dette er et lett materiale med en akseptabel styrke, som også er lett resirkulerbart.

### Ramme:

Gruppen valgte aluminium 6061 - T6 som ønsket legering. Denne har høy styrke og hardhet samtidig som den har relativt god sveisbarhet. Legeringen egner seg godt for ekstrusjon og anodisering, og er generelt mye brukt i sykkelbransjen. (Hydro, 2019)

### Kasse:

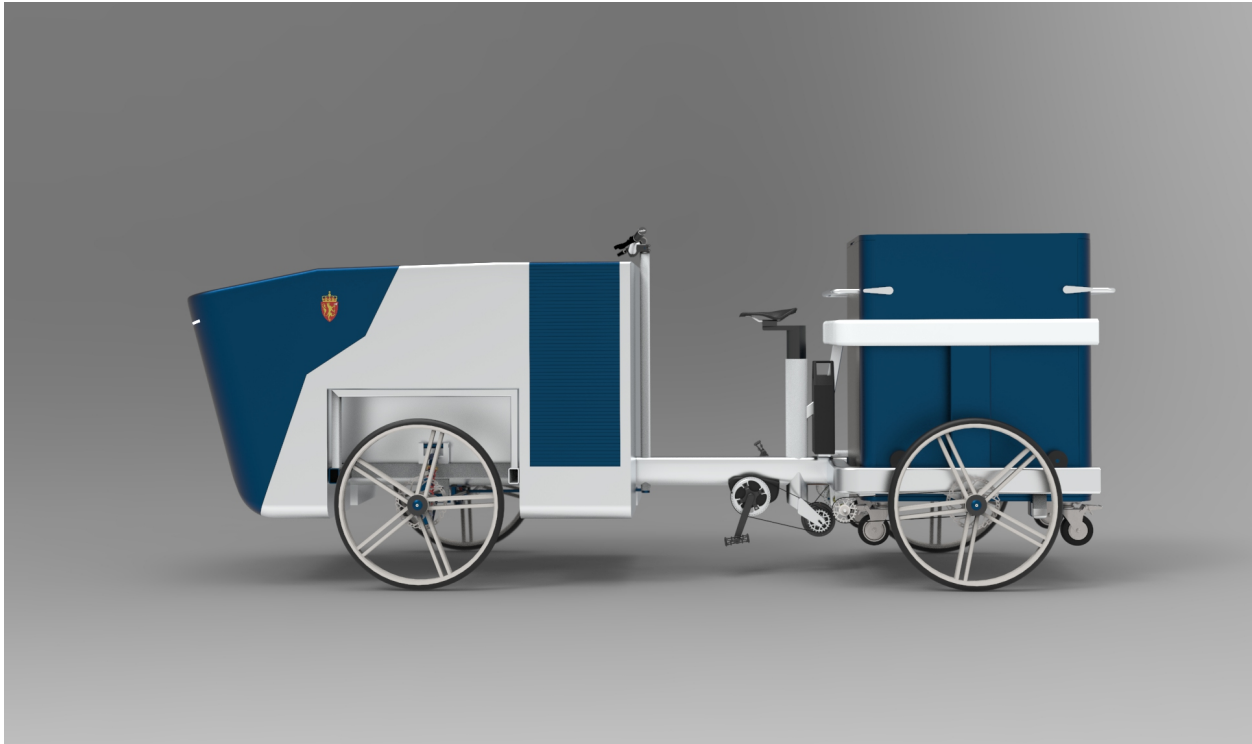
Kassen er utført i plater, og trenger ikke den samme styrken som for rammen. Her valgte gruppen å gå for en 3003 legering som er mye brukt for tanker og kasser som krever medium styrke. (Hydro, 2019)

Et alternativ til aluminium kunne enten vært stål eller karbonfiber. Stål er generelt tyngre enn aluminium, og derfor ikke like aktuelt. Karbonfiber er lett og meget sterkt, men er arbeidsintensivt å produsere, og er derfor generelt dyrere enn aluminium.

Det kreves generelt store ressurser for å produsere både karbonfiber og aluminium. Men resirkulerings metodene er generelt gode aluminium. og 6061 legeringen kan nærmest resirkuleres og benyttes direkte. (Total materia, 2009) (Stacey, 2017)

# Resultat

## The Ant



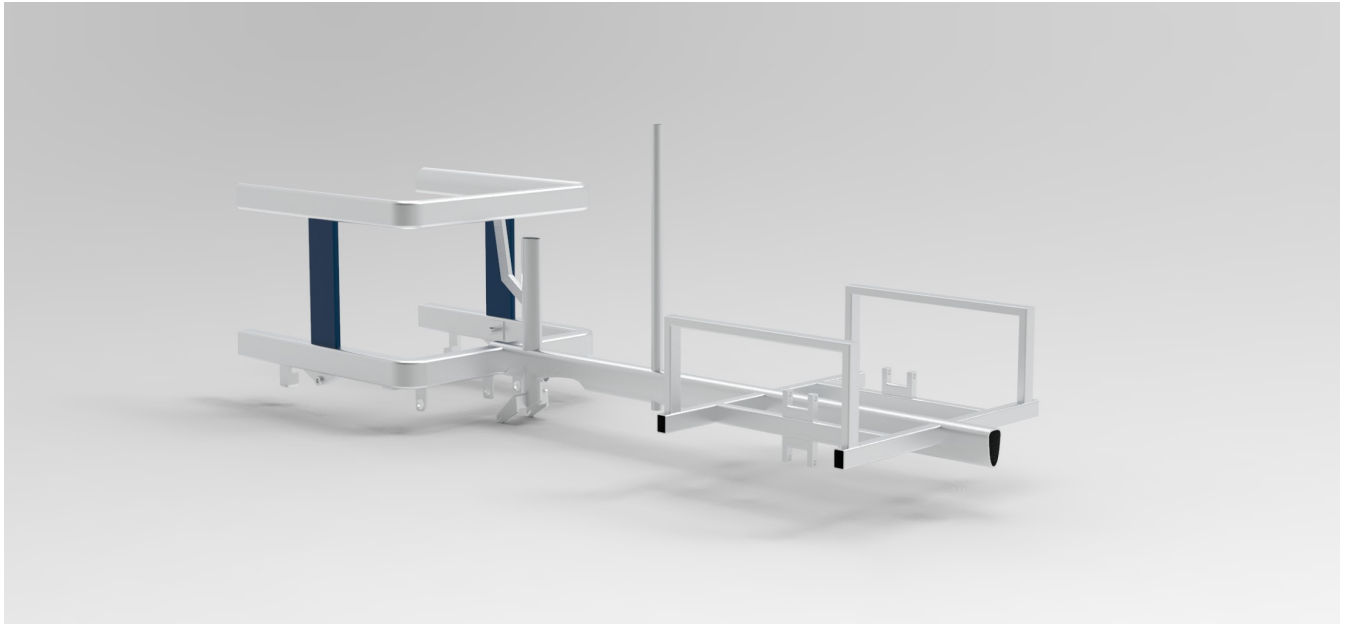
*Figur 33. The Ant Render 1*

“The Ant” er et modulært konsept som tillater å transportere store mengder frakt via fortauet. Muligheten for å ha en avtagbar tralle som kan benyttes i bygninger og mellom bygg, gir en fleksibel løsning, som også har ergonomiske fordeler. Antallet tunge løft reduseres, i tillegg til at en har en arbeidsflate i behagelig ståhøyde. Rammen rundt den avtagbare trallen, er utformet slik at denne delen også kan benyttes til andre løsninger. Kassen fremme er utformet med tanke på å kunne stå oppreist så mye som mulig under på- og avlastning. Snuten åpnes fremme og har plass til en mengde brev, samt en bibliotekskasse. På siden er det rom for brev i de røde standard postkassene fra Posten Norge. Også denne kassen er formgitt med tanke på fleksibelt kunne tilpasse volumet til driftssituasjon.

## Ramme

Rammen er konstruert for modularitet, og potensialet for å frakte store volum. Gaffelen bak muliggjør å ha en avtakbar tralle som kan tas med inn i bygg på større leveringssteder. Fremme er det et plan for montering av cargokasse. Rammen er designet for firepunktshjul oppheng fremme, mens oppheng til drivverk er plassert slik at det ikke forstyrrer brukeren.

Aluminium legering 6061 er valgt på grunn av oppgavens fokus på miljø, i tillegg til vekt og styrke karakteristikkene.



*Figur 34. The Ant Render 2*



## Lastesystem



*Figur 35. The Ant Render 3*

En viktig produktkravspesifikasjon var relatert til lastekapasiteten på  $1.5 \text{ m}^3$ . For å tilfredstille dette kravet ble det utformet en kasseløsning framme, og en tralleløsning bak, som til sammen har denne kapasiteten.

For fremre kasse utarbeidet gruppen flere løsninger i forhold til åpning og lukking av kassen. Det var hele tiden et ideal at brukeren kunne stå mest mulig oppreist under lasteoperasjoner. Og at brev og pakker er lett tilgjengelige.



*Figur 36. The Ant Render 4*

Den valgte løsningen baserer seg på en åpning foran for store pakker, og en åpning fra siden bak for brev i postens standardiserte kasser. Tanken var å kunne legge pakker av stort volum og diverse småplukk i fremre kasse. Rommet mellom hjulkassene er dimensjonert for å kunne bære en bibliotekskasse. Over dette er det en uttrekkbar skuff som gjør at lastingen av diverse pakker kan utføres i behagelig ståhøyde.



*Figur 37. The Ant Render 5*

I bakre del av fremre kasse er det plass til tilsammen 4 røde postkasser på to sider. Disse er tilgjengelig ved å trekke opp en vanntett “gardinløsning”. Kassene er vinklet fra brukeren. Tanken er at post i øvre kasse lett kan sees over når den skal tas ut til sitt leveringspunkt, mens returpost “slippes” ned i nedre kasse.



*Figur 38. The Ant Render 6*

Den avtakbare trallen bak er tiltenkt sentrale lokasjoner hvor mye post av diverse art skal leveres på et sted. Slik som for eksempel Realfagbygget på Gløshaugen. Ideen er at trallen lastes ferdig på terminalen, og så kan kjøres rett inn i sorteringsrommet på Campus. Trallens høyde er tilpasset slik at brukeren enkelt kan sette ting på toppen, slik som for eksempel en rød "postkasse". Slik kan brukeren enkelt ta med seg et stort volum av post helt inn til leveringspunktet. Det er også laget en liten kant rundt topplaten, slik at ting ikke sklir av så lett. Rommet i trallen er i utgangspunktet åpent, men har skinner for bruk av hylleplater. Slik kan volumet tilpasses lasten.

Ved sammenslåing av campuser vil en slik løsning være ideel da flere av leveringspunktene komme nærmere sentralen til Campusservice. Trallen vil derfor være et godt hjelpemiddel også i fremtiden.



*Figur 39. The Ant Render 7*

Begge kassene er avtagbare, som gjør sykkelen modulær, og egnet for andre oppgaver. Slik kan det for eksempel settes et lasteplan foran, som muliggjør kjøring av løsgods.

## Fremdrift og bremses



*Figur 40. The Ant Render 8*

Fremdriftssystemet drives av en 250W Bosch E-bike Performance CX crank motor, samt tråkraften fra syklisten. Girsystemet består av et Rohloff 500/14 navgir samt Samaga DG72N differensial og reimdrift mellom komponentene. Det er en oversetning på 0.4 mellom crank og navgir. Systemet kan levere 130 Nm til drivakselen ved normal drift og har en tenkt topphastighet på 25-30 km/t.

## Hjuloppheng og styring



*Figur 41. The Ant Render 9*

## Hjuloppheng

Sykkelen har to ulike hjuloppheng. Foran har det blitt konstruert et firepunkts hjuloppheng som består av to bærearmer, et hjulnav og en demper. Hjuloppheget foran kan levere +/- 10cm utslag og dette skal gi en myk demping. Bak har det blitt konstruert et udempet oppheng som består av et festepunkt for akselen fra hjulnavet.

## Hjul

Det er designet 24 tommers felger med integrert hjulnav. Størrelsen på hjulene gir nødvendig bakkeklaring og tar ikke for mye volum fra kassen foran. Systemet er kompatibel med andre hjul basert på Bitex hjulnav.

## Styresystem

Styresystemet på sykkelen leverer en svingradius på fire meter. Dette gjøres ved hjelp av et stag fra rattstammen opp til et koblingspunkt, som videre har stag ut til hjulopphenget.



# Diskusjon og konklusjon

## Diskusjon

Det har hovedsakelig blitt arbeidet med konseptutvikling av et nytt miljøvennlig transportmiddel som erstatter elbilen, mellom campusservice terminalen og Gløshaugen. Gruppen har mest kompetanse og interesse for dette området, og har dermed vært en prioritert utfra tidsbegrensingen. Enkelte områder av oppgaven er derfor bedre løst enn andre.

Her vil det diskuteres hvordan det endelige konseptet svarer på de ulike ønskene fra oppdragsgiver og brukerne. Det vil også bli diskutert hvor godt konseptet løser de tenkte arbeidsoppgavene.

I kartleggingsfasen ble det blitt satt opp en produktkravspesifikasjon med følgende dimensjoner:

Funksjonsdimensjonen:

Sykkelen er begrenset til gjeldende regelverk og det har vært krevende å oppfylle kravet om et volum på  $1.5 \text{ m}^3$ . Effektgrensen til motoren på 250W, medfører begrensninger til hastighet og akselerasjon for å oppnå ønsket lastevolum, siden dette fører til økt vekt. Kombinasjonen av god bakkeklaring og fire hjul gjør at sykkelen vil ha god framdrift på vinterføre. Kravet om minimum 75 kg laste kapasitet er oppfylt og det vil være mulig å laste betydelig mer ved at man optimaliserer konstruksjonen med hensyn til vekt.

Markedsdimensjonen:

Sykkelens størrelse gjør at den kan erstatte bilen på mange områder. Sykkelen er konstruert for å kunne tilpasses nye arbeidsoppgaver ved man kan skifte ut kassen og trallen med andre løsninger på enkel måte. Sykkelen kan derfor spesialtilpasses andre virksomheter eller privatmarkedet. Dette gjør at sykkelen kan finne nye markeder utenfor NTNU. Det har ikke vært nok tid til å utvikle mange varianter av sykkelen, men plattformen skal være et godt utgangspunkt for videre utvikling.

## Produksjonsdimensjonen

Et krav har vært å konstruere sykkelen med standard komponenter slik at produksjonen gjøres lett, tilgang til reservedeler gjøres lett, og kostnadene senkes. Dette kravet er delvis innfridd ved at standard komponenter er blitt hentet og brukt i CAD-modellen, dette gjelder spesielt for drivlinjen og hjuloppheng. Men en del profiler på rammen ble først tegnet etter visuelle ønsker, og dimensjonert etter kvalifisert gjetning, for senere bli styrkeberegnet. Arbeidet med å gjøre profilene om til standard har ikke blitt sluttført, som kompliserer en realisering av tegnet ramme, da det kreves tilpassede ekstrusjoner. Gruppen tenker at en oversetting til standardprofiler lett kan kombineres med optimaliseringsarbeidet som nevnt i beregninger for rammen. Festemidler på modellen følger metriske standarder. I CAD-modellen er rammen godt detaljert, mens det ennå gjenstår en del detalj- og optimaliseringsarbeid på cargokasser.

## Designdimensjonen:

Designkravene handlet hovedsakelig om å ikke skape noe som er visuelt skjemmende for brukeren, men heller noe som er funksjonelt og reflekterer kvaliteten i produktet. Dette menes å være løst på en god måte. Sykkelens utforming er funksjonell, samtidig som utstråler en funksjonsglede og har mange sider som brukeren vil like. Materialvalget understreker produktets kvalitet, samtidig som den gjenspeiler bærekraft.

## Bruksdimensjonen:

For å gjøre sykkelen mest mulig brukervennlig har det blitt fokusert på løsninger som krever få operasjoner per oppgave, dette er reflektert i trallen bak som har et system som gjør at man kan låse trallen til sykkelen med en enkelt spak.

### Sikkerhetsdimensjonen:

Hovedkravet for denne dimensjonen var at produktet skulle være konstruert på en måte som forhindrer personskaade. Sykkelens utforming gir brukeren en høy posisjon med godt oversyn, samtidig som tyngdepunktet er relativt lavt. Ved å ha “cargokasser” foran og bak, fungerer disse som et slags “buffer” ved et eventuelt sammenstøt. Lasten kan sikres med stropper, trygt og forsvarlig, i låsbare skap. For å hindre påkjørsler skal konseptet være utstyrt med gode bremses. Valgte bremses i denne rapporten er for svake ved full last. I slutten av prosessen ble det vurdert å se på komponenter i motorsykkel / scooter segmentet. Men med lite tid på slutten, og andre prioriteringsområder, ble det dessverre ikke mulig å fullføre dette arbeidet.

### Miljødimensjonen:

Campusservice satte som et krav av at en ny løsning skulle være mer miljøvennlig enn elbil. Utifra tidsbegrensningene og den langartede søken etter den beste løsningen, ble det ikke tid til å sette opp en detaljert livsyklusanalyse, som kunne være av interesse. Men om en sammenligner forbrukstall av strøm, og det faktum at løsningen er binder opp vesentlig mindre material og komponenter, er det lett å anta at “The Ant” har et vesentlig mindre fottavtrykk enn dagens elbil til Campusservice.

### Produkt dimensjonen:

Sykkelen er hovedsakelig produsert i aluminium har derfor en god korrosjonsmotstand. Store deler av sykkelen vil dermed være resirkulerbar og mer miljøvennlig enn andre alternativ. Sykkelen består av færre komplekse deler enn en elbil noen som trolig vil gi den et lavere behov for vedlikeholdskostnader enn en elbil.

## Gjennomføring

Det har blitt jobbet jevnt med oppgaven og gruppen har samarbeidet tett for å nå målet. Det er viet mye tid for å diskutere de ulike detaljene gjennom oppgaven, noe som har bidratt til en mer komplett forståelse av produktet.

Det ble tidlig satt opp et gantt-diagram som ble benyttet for å planlegge tidsbruk på ulike oppgaver. For å finne det beste konseptet ble det brukt mye tid innledningsvis for å kartlegge behovene hos Campusservice. Den opprinnelige planen undervurderte hvor tidkrevende til ville være å gjennomføre en god konseptutviklings prosess. Oppgaven favner bredt og det kunne trolig blitt gjort større begrensninger av omfanget tidligere i prosessen. På bakgrunn av tidsmangelen ble det prioritert å utvikle en funksjonell løsning, som på en troverdig måte kunne løse arbeidsoppgavene hos Campusservice.

Det ble vurdert mange løsninger på problemstillingen, dette var tidkrevende men gruppen mener fortsatt at det var riktig bruk av tiden. Det var viktig for gruppen at det endelige konseptet var godt nok for videre arbeid, og en eventuell realisering. Dermed måtte det endelige konseptet inneholde gjennomtenkte løsninger som gjorde produktet attraktivt for oppdragsgiver.

Det var første gang gruppemedlemmene modellerte noe så komplekst, og CAD-modellering av sluttkonseptet tok en del mer tid enn hva som var satt av. Ettersom tiden begynte å bli knapp måtte også detaljeringsnivået senkes en del, og med det er det hovedsakelig rammen som ansees å være nærmest en realisering. Løsningene som er valgt anses som gode men trenger mer etterarbeid for å gjøres produksjonsklare. Arbeidet med å modellere en hel lastesykkel har gitt gruppen mer kunnskap om programvaren som videre har økt effektiviteten gjennom prosjektet. Etter modelleringen ble det også lite tid til å gjøre optimaliseringer ut fra FEA analyser i Solidworks. Det ble i slutfasen gjort en beslutning om å endre material til en annen aluminiumslegering med høyere flytegrense. Dette medførte at rammens dimensjoner er overdimensjonert og det ble valgt å ikke bruke tid på å endre dimensjonene, til fordel for arbeidet med rapporten.

Gruppen har tilegnet seg mye kunnskap i arbeidet med prosjektet og ville følt seg trygge på en lignende oppgave senere. Å tolke brukerens ønsker og kartlegge mulighetene i søken etter den beste løsningen, har skapt mye engasjement og lærdom underveis i prosjektet. God gruppedynamikk og en åpen dialog har gjort at hele gruppen har profitert av de individuelle gruppemedlemmenes kompetanse. Intern og ekstern veileder har vært tilgjengelige og hjelpsomme under hele prosjektperioden. Dette har vært til stor hjelp i gjennomføringen av bacheloroppgaven.

## Konklusjon

På bakgrunn av begrensede tidsressurser ble det valgt å prioritere funksjon foran detaljering og optimalisering. Dette har resultert i at sykkelen er noe overdimensjonert og at vekten på sykkelen er høy. Gruppen mener det endelige konseptet kan erstatte en elbil for transport av pakker, og at den viktigste delen av oppgaven dermed har blitt løst på en god gjennomtenkt måte. Det presenterte konseptet tilfredsstillende kundens ønsker samtidig som den introduserer en rekke innovative løsninger i henhold til ergonomi. Det modulære konseptet gir produktet et stort bruksområde og vil trolig fange interesse også i andre markeder enn NTNU. Gruppen mener derfor at konseptet egner seg godt for videre arbeid.

## Videre arbeid

Slik som produktet er presentert, gjenstår det noe arbeid før eventuell realisering. Ut fra simuleringen i Solidworks kan man se at sykkelen er overdimensjonert med tanke på styrke. Vekten på sykkelen derfor høyere enn nødvendig og det bør utføres en optimalisering med hensyn til vekt. Sykkelen trenger også videre detaljering når det kommer til valg av sammenføyninger og noe forsterkning av fremre kasse. Det vil også kreves mer detaljerte tegninger av sykkelen før realisering.

# Referanser

Dørum, A., 2001. *Maskindeler 1*. s.l.:Akademika.

Dørum, A., 2006. *Maskindeler 1*. s.l.:Akademika.

Griff Aviation, 2017. *Prnewswire.com*. [Internett]

Available at: <https://www.prnewswire.com/news-releases/super-heavy-lift-drone-mfr-to-open-florida-plant-300447120.html>

[Funnet 03 2019].

Griff Aviation, 2018. *Griffaviation.com*. [Internett]

Available at: <http://griffaviation.com/the-griff-fleet/>

[Funnet 03 2019].

Haugan, J. & Aamot, E., 2011. *Gyldendals tabeller og formler i fysikk*. 2. utgave red. s.l.:Gyldendal.

Hydro, 2019. *Hydro.com*. [Internett]

Available at: <https://www.hydro.com/en-us/profiles/6061-t6-aluminum-properties/>

[Funnet 05 2019].

Hydro, 2019. *Hydro.com*. [Internett]

Available at: <https://www.hydro.com/en-US/products-and-services/extruded-profiles/north-america-resources/extruded-aluminum-products/aluminum-extrusion-alloys/3003-aluminum/>

[Funnet 05 2019].

Jansen, V., 2018. *Tek.no*. [Internett]

Available at: <https://www.tek.no/artikler/samletest-elsparkesykler/434810>

[Funnet 03 2019].

Johannessen, J., 2016. *Tekniske Tabeller*. 2. utgave red. s.l.:Cappelen.

Johnstone, D., 2018. *Cyclinganalytics.com*. [Internett]

Available at: <https://www.cyclinganalytics.com/blog/2018/06/how-does-your-cycling-power-output-compare>

[Funnet 05 2019].

Kyburz, 2018. *Kyburz-Switzerland.ch*. [Internett]

Available at: [https://kyburz-switzerland.ch/de/auto\\_et\\_III](https://kyburz-switzerland.ch/de/auto_et_III)

[Funnet 03 2019].

- Martin, B. & Harrington, B., 2012. *Universal Methods of Design*. s.l.:Rockport.
- Sram, 2018. *Sram.com*. [Internett]  
Available at: [https://www.sram.com/sites/default/files/techdocs/sm\\_hydraulic\\_disc\\_brake\\_v06.pdf](https://www.sram.com/sites/default/files/techdocs/sm_hydraulic_disc_brake_v06.pdf)  
[Funnet 05 2019].
- Stacey, M., 2017. *Recycling Today*. [Internett]  
Available at: <https://www.recyclingtodayglobal.com/article/aluminium-construction-life-cycle-recycling/>  
[Funnet 05 2019].
- Total materia, 2009. *Totalmateria.com*. [Internett]  
Available at: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=ktn&NM=222>  
[Funnet 05 2019].
- Tyflopoulos, E., 2018. *Produktutvikling fase 2*, s.l.: NTNU.
- Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D., 2003. *Product design and development*. 3. utgave red. s.l.:Mcgraw-Hill/Irwin.
- Young, H. D. & Freeman, R. A., 2015. *University Physics with Modern Physics*. 14. utgave red. s.l.:Sears & Zemanskys.

# Vedlegg

## Vedlegg 1: Produktspesifikasjon

<b>Produkt- spesifikasjon</b>	<b>Produkt: The Ant</b>		<b>Dato: 10.05.18</b>
Områder	Krav	Ønsker	Salgsargumenter
<b>Funksjonsdimensjonen</b>  -Tekniske krav til produktet, feks. funksjonskrav, ytelseskrav og pålitelighetskrav	Rekkevidde min. 30 km  Minimum lastevolum 1.5 m <sup>3</sup>  Min. lastevekt 75 kg  Må ha god fremkommelighet i vinterforhold	Effektive sikringsmuligheter for last.  Valgte komponenter bør gi god tilgang til reservedeler.  Kortere leveringstid enn dagens løsning  Verktøyfri justering av funksjonsflater  Driftstemperatur mellom -20 til 40 grader	Kan erstatte dagens elbil løsning  Effektivt transportmiddel
<b>Markedsdimensjonen</b>  - markedsrelaterte krav til produktet	Erstatte bilen som vareleverandør på korte avstander	Bør kunne tilpasses nye arbeidsoppgaver	En erstatning for bilen  Flerbrukssykkkel
<b>Produksjonsdimensjonen</b>  - Produksjons- og montasjeopprosess, og egenskaper ved produktet som er nødvendig for en best mulig og effektiv produksjon.	Bruke standarddimensjoner på festemidler osv.	Valg av komponenter etter markedsstandard.	Reduserte produksjonskostnader, og produksjonstid.  Realiserbart



<p><b>Designdimensjonen</b> - Estetiske krav, og krav til produktet for å signalisere, beskrive og uttrykke egenskaper.</p>	<p>Skal ikke være visuelt skjemmende.</p> <p>Designet skal være funksjonelt utformet, og reflektere kvaliteten i produktet.</p> <p>Designet skal være tidløst og nøytralt.</p>	<p>Fremheve stolthet hos brukeren</p> <p>Tjene som et forbilledlig transportmiddel</p>	<p>En løsning for alle</p> <p>Skape fryd på campus.</p>
<p><b>Bruksdimensjonen</b> - Krav for å oppnå brukervennlighet i alle aktuelle brukssituasjoner.</p>	<p>Ordinært vedlikehold bør kunne utføres uten spesialverktøy.</p> <p>Individuelle tilpasninger må kunne utføres uten bruk av verktøy.</p>	<p>Selvforklarende betjening</p>	<p>Intuitiv bruk, uten behov for opplæring.</p>
<p><b>Sikkerhetsdimensjonen</b> -Krav til produktets sikkerhet, Alle faser av produktets liv skal vurderes</p>	<p>Må være konstruert på en måte som forhindrer personskader</p> <p>Produktet må oppleves som trygt</p> <p>Må kunne oppbevare lasten på en trygg måte</p>	<p>Tyverisikring av transportmiddel</p> <p>Begrense behovet for verneutstyr</p>	<p>En trygg og bekymringsfri arbeidshverdag.</p>
<p><b>Miljødimensjonen</b> - Krav til produktets miljømessige egenskaper</p>	<p>Lavere miljøfotavtrykk enn en elbil</p>	<p>Valg materialer som er resirkulerbare</p>	<p>Inspirerer studenter og ansatte til å tenke miljø</p>
<p><b>Produktdimensjonen</b> -Krav til situasjoner produktet møter gjennom hele levetiden.</p>	<p>Lavere behov for vedlikehold enn en elbil</p> <p>Skal være korrosjonsmotstandig</p>		<p>Krever lite vedlikehold.</p> <p>Lavt miljøavtrykk gjennom hele livsløpet.</p> <p>Lett å håndtere gjennom hele livsløpet</p>

## Vedlegg 2: Dybdeintervju Campusservice

Dybdeintervju **Person 1:**

### **Brukerprofil:**

Navn: Ola

Alder: 31

Kjønn: Mann

Høyde: 172

Transportmiddel til jobb? buss/bil

- **Hva tenker du rundt rekkevidde?**

Det bør holde en full arbeidsdag

- **Hvilken arbeidsstilling foretrekker; Er det noe du misliker med dagens løsning?**

Å måtte stadig gå ut og inn av bilen

- **Hva tenker du rundt fysiske belastninger?**

Formen på gjenstandene er viktig og ikke tyngre enn 35 kg

- **Hvilke belastninger påvirker deg mest?**

Ryggen, arbeidshøyde

- **Hvordan opplever du å jobbe i kulde / hete?**

For mye klær er et problem

- **Hva innebærer sikkerhet for deg?**

Komfortabelt, lett håndterlig, oversiktlig, kontrollerbart, synlighet

- **Hva er ditt forhold til verneutstyr?**

Bruker det når det er nødvendig men ønsker ikke mer enn nødvendig. Ikke vernesko til sykkel

- **Hva er det mest positive ved dagens løsning?**

Det går raskt og er effektivt

- **Hva er det mest negative ved dagens løsning?**

For stillestående og blir ikke oppdaget av fotgjengere

- **Hva tenker du om autonom fremtid?**

Vil beholde jobben.

- **I hvilke deler av bedriften mener du at det fortsatt er bruk for mennesker?**

Service, kundekontakt, sortering av pakker

- **Hvor stor lastekapasitet mener du en fremtidig transportløsning burde ha?**

Tilsvarende plass som dagens løsning er ønskelig

- **Hvor lang tid har man maksimalt for en postrunde?**

2,5 time på en runde til gløshaugen. Enkelte pakker leveres på bestilling

#### Dybdeintervju **Person 2:**

##### **Brukerprofil:**

Navn: Kari

Alder: 55 år

Kjønn: Kvinne

Høyde: 167 cm

Transportmiddel til jobb? Går/ bil Nardo

- **Hva tenker du rundt rekkevidde?**

Rekkevidden burde holde en hel dag og man bør ha en plass å få ladet opp.

- **Hvilken arbeidsstilling foretrekker du; Er det noe du misliker med dagens løsning?**

Tunge bøker til biblioteket, og å måtte bøye seg ned til bakkenivå for å få inn i bilene

- **Hvordan opplever du å jobbe i kulde / hete?**

Kulde går bra men må ha klær til det og det litt ekkelt å skifte mellom kaldt og varmt. Bruk av varmesete hjelper ikke på resten av kroppen. Rekkeviddeangst om vinteren.

- **Hva innebærer sikkerhet for deg?**

Føle at du ikke skader deg og har vernesko i tilfelle man skulle miste en pakke.

- **Hva er ditt forhold til verneutstyr?**

Det er en vane å bruke verneutstyr, det oppleves tryggere

- **Hva er det mest positive ved dagens løsning?**

Kan kjøre i kollektivfeltet

- **Hva er det mest negative ved dagens løsning?**

Studentene som vaser i sin egen verde og rekkevidden om vinteren!

- **Hva tenker du om autonom fremtid?**

Tunge pakker kunne ha blitt bært og det er enklere for kunden med autonome postskak.

- **I hvilke deler mener du at det fortsatt er bruk for mennesker i bedriften?**

Service

- **Hvor stor lastekapasitet mener du en fremtidig transportløsning burde ha?**

5m<sup>3</sup>

- **Hvor lang tid har man maksimalt for en postrunde?**

08:30-11:30-Lunsj-15:00

## Vedlegg 3: Konstruksjonsgjennomgang

### **Konstruksjonsgjennomgang**

Både “The Ant” og “The Peacock” ble presentert under konstruksjonsgjennomgangen som ble holdt sammen med veileder Frank Almli og oppdragsgiver Ragnar Hellan.

Fra diskusjon etter gjennomgangen kom det fram at “The Ant” sin løsning med en avtagbar tralle var en ønsket produktgenskap hos oppdragsgiver. Videre kom fram at lastevolum var viktigere enn hastighet. Veileder ga uttrykk for at det kunne være interessant om det ble sett på muligheten for bruk av det endelige konseptet i andre markeder enn hos NTNU. Gaffelrammen hos “The Ant” ble diskutert som en god platform for økt modularitet, slik at produktet kunne tilpasses andre arbeidsoppgaver. Videre kom det fram at høyt lastevolum var viktig, fordi antallet pakker sendt til NTNU er i en økende trend. Oppdragsgiver gav også innsikt i praktiske detaljer knyttet til postvirksomheten, som plassering av kasser i skap for best ergonomi. Både oppdragsgiver og veileder var enig i at sikkerheten for brukeren hos både “The Ant” og “The Peacock” var høyere enn hos konkurrentene grunnet den store volumet i forkant av syklisten.

Kombinasjonen av høyere lastevolum og avtakbar tralle gjorde at oppdragsgiver var mest positiv til “The Ant”.

## Vedlegg 4: Beregning massesenter

For å kunne utføre bremseberegninger var det nødvendig å vite sykkelens massesenter. Det ble gjort på sykkelens vekt fordelt på fire punkter:

### **Punkt 1: Avtagbar tralle**

Egenvekt: 60 kg

last: 93.5 kg

x- koordinat: 450 mm

y-koordinat: 655 mm

### **Punkt 2: Syklist**

Vekt: 100 kg

x-koordinat: 1000mm

y-koordinat: 1120mm

### **Punkt 3: Ramme**

Egenvekt: 43 kg

Drivlinje, hjuloppheng ++: 50kg

x-koordinat: 1500mm

y-koordinat: 450mm

#### Punkt 4: Cargokasse

Egenvekt: 60 kg

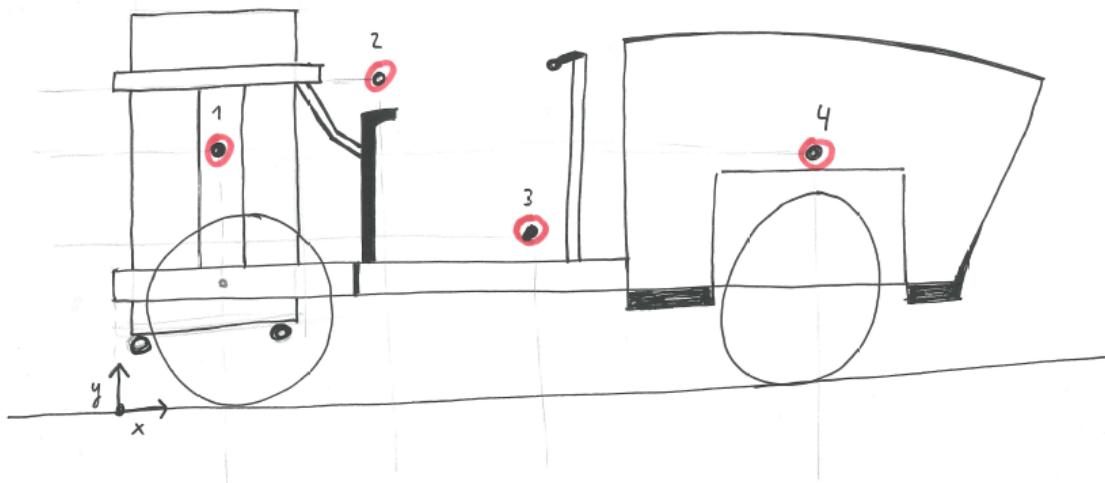
Last: 93.5 kg

x-koordinat: 2600mm

y-koordinat: 760mm

Tallene på egenvekt og koordinater er basert på CAD-modellen. Siden Cargokassen og den avtagbare trallen ikke er ferdig detaljert er vekten for disse estimert utfra Solidworks. Resterende laster er fordelt utfra en maksvekt på 500 kg.

Her benyttes formel... for utregning av massesenter.



$CM_x = m_x r_x m_x = 1415.35 \text{ mm}$  - massesenter i x-retning.

$CM_y = m_y r_y m_y = 758.105 \text{ mm}$  - massesenter i y-retning.

Verdier brukt til utregning av bremses jmf. Bremskapitlet:

Avstand fra origo til bakre hjulnav: 450mm

$$c = 1415.35 \text{ mm} - 450 \text{ mm} = 965.35 \text{ mm}$$

Akselavstand: 2000mm

$$b = 2000 \text{ mm} - 965.53 \text{ mm} = 1034.65 \text{ mm}$$

$$H = 758.105 \text{ mm}$$

I bremseberegningene er det blitt brukt meter.



## Vedlegg 5: Bill of materials

### Bill of materials

#### Hjul x 4

Dekk	1
Felg 26 tommer	1
Kulelager SKF 6805	1
Kulelager SKF 6904	1
Aksel	1
Bolt M13	1

#### Hjuloppheng x 2

Hjulnavhus	1
Bæream	2
Demper	1
Bolt M13	2
Bolt M8	2
Kuleledd m/mutter M13	2

#### Styresystem x 1

Ratt	1
Rattstamme D:40mm L:980mm m/kulelager	1
Kobling rattstamme	1
Kobling hjul	1
Styrestag rattstamme-front	1

Styrestag front - hjulnavhus	2
Kuleledd m/mutter M10	6

### **Bremsesystem x 1**

Bremseskive 203mm	4
Bremsecaliper	4
Bremsehendel m/slanger	2

### **Fremdriftsystem x 1**

Bosch E-bike Performance CX 250W Motor	1
Tannhjul 40 tenner	1
Tannhjul 16 tenner	6
Samaga DG72N Differential	1
Rohloff 500/14 Navgir	1
Aksel D:12mm L:525	2
Kulelager SKF 7301	4

**Ramme x 1**

Spesial profil Tilsvarende rektangel profil: (120x70x5)	1
Spesial profil 2960mm Tilsvarende rektangel profil:(90x50x3)	1
Rektangel profil 2750 (90x60x4)	1
Rektangel profil 660mm (60x40x3.2)	2
Rektangel profil 730mm (50x30x2.4)	2
Rektangel profil 305mm (50x30x2.4)	4
Rektangel profil 470mm (60x40x3.2)	4
Spesial profil 645mm Tilsvarende rektangel profil: (90x60x5)	1
Rektangel profil 360mm (40x20x3)	
Festepunkt hjuloppheng foran	4
Festepunkt hjulaksel bak	2
Låsearm tralle bak	2
Støtte tralle bak	2
Festearm navgir	1
Aksselfeste	4
Festepunkt styreledd	1

## Vedlegg 6: Statens vegvesen

Fra: Ottesen Kurt <kurt.ottesen@vegvesen.no>

Emne: 19/34616-1 - Spørsmål om regelverk for elektriske lastesykler - ifm bacheloroppgave

Dato: 26. februar 2019 kl. 12:15:39 CET

Til: Christian August Digernes <christian.digernes@me.com>

Hei.

Vi viser til din henvendelse av 15. februar 2019 om elektriske lastesykler.

Vedlagt har jeg satt inn spørsmålene dine og gitt svar under hvert av dem.

Det vi kan si generelt, er at disse syklene ikke har noe særbehandling i regelverket. Dersom det er et behov for kraftigere motorer på slike sykler, er dette noe som må vurderes nøye. Det er ikke noen størrelsesbegrensninger for en elsykkel, men dagens regler om motoreffekt gjør at dette begrenser seg selv (det er grenser for hvor mye man klarer å forflytte med muskelkraft i kombinasjon med en liten elmotor). Dersom effekten økes slik at store og tunge innretninger faller inn i gruppen «sykkel», vil det kunne føre med seg problematiske sider når disse brukes på samme arealer som vanlige sykler, elsykler, små elektriske kjøretøy og gående. En eventuell økning av motoreffekt må vurderes sammen med eventuelle innskrenkinger i bruksarealene. Et spørsmål som også oppstår er om det skal være tvungen ansvarsforsikring for slike kjøretøy.

Vegdirektoratet ser at det er behov for en gjennomgang av reglene for elsykkel. Men foreløpig har ikke dette tilstrekkelig prioritet sammenlignet med andre oppgaver.

Vi håper dette var til hjelp. Ta gjerne kontakt om du har flere spørsmål!

Med hilsen Kurt Ottesen Statens vegvesen, Trafikant- og kjøretøyavdelingen, Seksjon for kjøretøy, Kontor for kjøretøyteknikk

**Besøksadresse:** Brynsengfaret

6A, OSLO <sup>[1]</sup><sub>SEP</sub> **Telefon:** +47 22073334 **epost:** kurt.ottesen@vegvesen.no <sup>[1]</sup><sub>SEP</sub> www.vegvesen.no **epost:** firma post@vegvesen.no

**Fra:** Firmapost-øst **Sendt:** fredag 15. februar 2019 15:38 **Til:** Firmapost - VD <Firmapost-VD@vegvesen.no> **Emne:** VS: Lastesykkel - Bacheloroppgave

**Fra:** Firmapost **Sendt:** fredag 15. februar 2019 14:13 **Til:** Firmapost-øst **Emne:** VS: Lastesykkel - Bacheloroppgave

**Fra:** Christian Digernes [<mailto:christian.digernes@me.com>] **Sendt:** 15. februar 2019 13:56 **Til:** Firmapost <[Firmapost@vegvesen.no](mailto:Firmapost@vegvesen.no)> **Emne:** Lastesykkel - Bacheloroppgave

Hei!

Jeg jobber med en bacheloroppgave for NTNU og har noen spørsmål angående elektriske lastesykler. Vi skal se på muligheten til å erstatte biler med el.sykler for transport av intern post ved NTNU.

Hvilke regler for motoreffekt gjelder for lastesykler med tre/fire hjul?

Er det satt noen vektgrenser og krav til dimensjoner som lengde, bredde og høyde for sykkelen?

Hvilke regler gjelder for en eventuell henger?

I linken under er et eksempel på en lastesykkel, denne sykkel skal kunne laste 300kg. Har den fått noen dispensasjon fra nåværende regelverk?

<https://www.nrk.no/hordaland/vil-bytte-ut-lastebilene-med-disse-syklene-1.13946100>

Hvilke muligheter er det for en lastesykkel hvor man ikke trør og som har en makshastighet på under 25 km/t?

Vennlig hilsen  
Christian August Digernes

Hvilke regler for motoreffekt gjelder for lastesykler med tre/fire hjul?

Svar:

0,25 kW. Sjekk våre nettsider for nærmere informasjon: [www.vegvesen.no/elsykkel](http://www.vegvesen.no/elsykkel)

Er det satt noen vektgrenser og krav til dimensjoner som lengde, bredde og høyde for sykkelen?

Svar: Vegtrafikklovgivningen inneholder ingen konkrete regler om dette. Men når det gjelder tillatte vektorer for sykkel eller lastesykkel, gir forskrift om krav til sykkel § 3 nr. 1 en generell regel om at «Sykkel skal være bygd, innrettet, utstyrt og vedlikeholdt slik at den tåler de påkjenninger som den vanligvis utsettes for og kan nyttes uten å volde unødig fare eller ulempe».

En generell føring finner du også i forskrift om bruk av kjøretøy § 5-1 Begrensninger gitt ved registrering m.m.:

«Kjøretøy må ikke brukes eller tillates brukt med større aksellast, last fra akselkombinasjon, totalvekt eller last på tilhengerfeste enn det er registrert for.»

For kjøretøy som ikke er registreringspliktig, gjelder fabrikantens vektgaranti tilsvarende.

Dette betyr at den tillatte vekten for lastesykkelen, og eventuelt tilhengeren, er den som produsenten av sykkelen og eventuelt tilhengeren har oppgitt som vekten sykkel og tilhenger er bygget for. Dersom slike vektorer ikke er oppgitt, vil det generelle aktsomhetskravet i vegtrafikkloven § 3 gjelde, altså slik at sykkel og tilhenger ikke kan lastes så tungt, eller for den saks skyld så høyt eller med så utstikkende last at det kan oppstå fare eller skader. Vær også obs på at det er gitt regler om sikring av last i forskrift om bruk av kjøretøy § 3-2 som også gjelder ved transport på sykkel og tilhenger til sykkel.

Hvilke regler gjelder for en eventuell henger?

Svar: Se svar under forrige spørsmål.

I linken under er et eksempel på en lastesykkel, denne sykkel skal kunne laste 300kg. Har den fått noen dispensasjon fra nåværende regelverk?

<https://www.nrk.no/hordaland/vil-bytte-ut-lastebilene-med-disse-syklene-1.13946100>

Svar: Nei.

Hvilke muligheter er det for en lastesykkel hvor man ikke trør og som har en makshastighet på under 25 km/t?

Svar: Dette vil være en moped og må følge de tekniske kravene for denne klassen. Det er jo da også egne krav til fører, samt at moped kun kan brukes i kjørebane

## Vedlegg 7: Storyboard

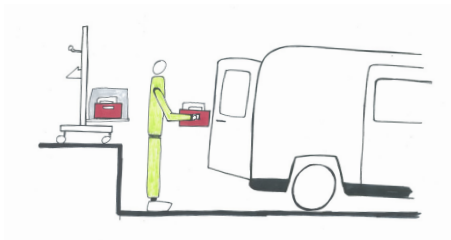
### Postdistribusjon på Campus.



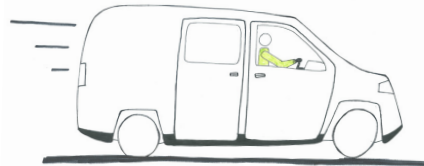
I terminal hos Campusservice blir brev og pakker fra posten sortert for videre distribusjon på Campus.



Den sorterte posten sorteres i kasser samsvarende til stopp langs postruta.



Kasser og pakker sorteres etter stopp langs ruta, i el-bilen.



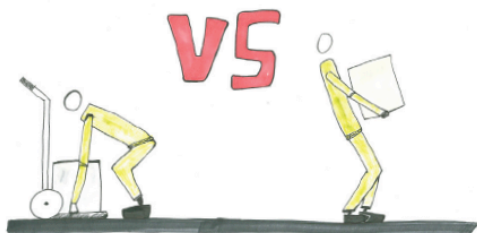
Kjøring...



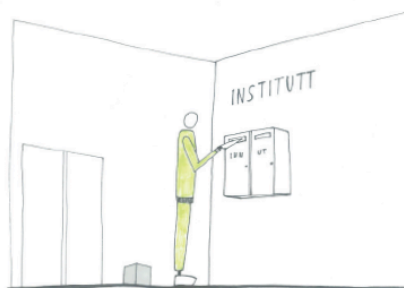
Rett brev og pakker hentes ut...



Pakker løftes ofte fra ubehagelige posisjoner.



Dagens alternativer for store og tunge pakker.  
I tillegg kan det ofte være mye post som må bæres.



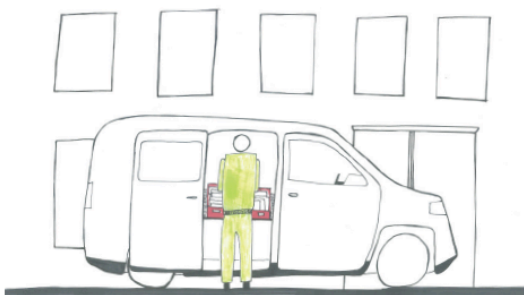
Brev legges i postkasse ved instituttet.



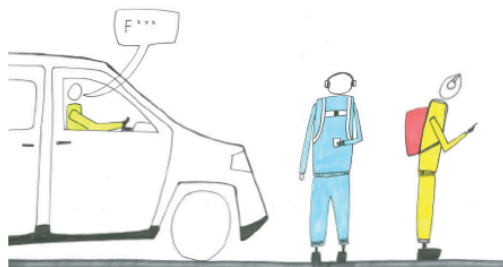
Rekkomandert post leveres mot signatur.



Utgående post hentes i ut-postkasse.



Utgående post legges i el-bil.



Uoppmerksomme fotgjengere skaper hodebry.





Kjøring...



Tilbake i terminal blir "innhentet post" sortert til riktig innstittutt / utgående post.

## Vedlegg 8: Datablad Bosch motor og batteri



### Specifications Drive Unit Performance Cruise, CX and Speed

	Cruise 25 km/h	Cruise 25 km/h	CX 25 km/h	Speed 45 km/h
Gear system type	Hub gear system	Dérailleur system	Dérailleur system	Dérailleur system
Power	250 watts	250 watts	250 watts	350 watts
Support level (%)	TURBO: 260 SPORT: 170 TOUR: 110 ECO: 50	TURBO: 275 SPORT: 190 TOUR: 120 ECO: 50	TURBO: 300 SPORT: 210 TOUR: 120 ECO: 50	TURBO: 275 SPORT: 190 TOUR: 120 ECO: 55
Maximum possible drive torque (Nm) (converted to a gear ratio of 1:1 crankset to chainring)	TURBO: 50 SPORT: 50 TOUR: 45 ECO: 40	TURBO: 60 SPORT: 55 TOUR: 50 ECO: 40	TURBO: 75 SPORT: 60 TOUR: 50 ECO: 40	TURBO: 60 SPORT: 55 TOUR: 50 ECO: 40
Maximum cadence (rpm) with drive support	TURBO: 120 SPORT: 120 TOUR: 120 ECO: 120	TURBO: 120 SPORT: 120 TOUR: 120 ECO: 120	TURBO: 120 SPORT: 120 TOUR: 120 ECO: 120	TURBO: 120 SPORT: 120 TOUR: 120 ECO: 120
Start-up behavior	dynamic	sporty	very sporty	sporty
Max. support up to	25 km/h	25 km/h	25 km/h	45 km/h
Backpedal function	no	no	no	no
Gear shift detection	no	yes	yes (dynamic)	yes
Weight	< 4 kg	< 4 kg	< 4 kg	< 4 kg

Performance Line 07



	PowerPack 500	
Mount type	Frame battery	Rack battery
Voltage	36 V	36 V
Capacity	13.4 Ah	13.4 Ah
Energy content	500 Wh	500 Wh
Weight	2.6 kg	2.7 kg
Size	325 × 92 × 90 mm	372 × 122 × 80 mm

	PowerPack 400	
Mount type	Frame battery	Rack battery
Voltage	36 V	36 V
Capacity	11.0 Ah	11.0 Ah
Energy content	400 Wh	400 Wh
Weight	2.5 kg	2.6 kg
Size	325 × 92 × 90 mm	372 × 122 × 80 mm

	PowerPack 300	
Mount type	Frame battery	
Voltage	36 V	
Capacity	8.2 Ah	
Energy content	300 Wh	
Weight	2.0 kg	
Size	325 × 92 × 82 mm	

Performance Line 19

## Vedlegg 9: Datablad Rohloff 500/14



### Technical Data

#### Sprocket ratios

The *Rohloff SPEEDHUB 500/14* has a 526% range of gears, that means gear #14 is 5.26 times greater than gear #1. The 14 gears are evenly spaced out over this range in 13.6% increases. Through the choice of chainring and sprocket in use, the *Rohloff SPEEDHUB 500/14* can be tuned for the specific riding purpose. The *Rohloff SPEEDHUB 500/14* comes standard with a 16 tooth sprocket. 13, 15 and 17 tooth sprockets are available as alternatives.

In the following tables the distance travelled per crank revolution is listed for gears #1 and #14. The listed distance travelled per crank revolution is shown in the tables for a variety of sprocket ratios and wheel sizes (20", 26" and 28" wheels).

When the particular wheel/sprocket/chainring size and gear is not listed in the tables, then the following formula can be used to calculate the exact distance travelled per crank revolution of the *Rohloff SPEEDHUB 500/14*:

$$\text{Distance travelled per crank revolution} = W \times C \times S \times \text{IGR}$$

Formula key:

W = Wheel circumference  
 C = Chainring size  
 S = Sprocket size  
 IGR = Inner gear ratio listed in the following table

Inner gear ratio IGR = hub revolutions per sprocket revolutions of the *Rohloff SPEEDHUB 500/14*

gear #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
IGR	0.279	0.316	0.360	0.409	0.464	0.528	0.600	0.682	0.774	0.881	1.000	1.135	1.292	1.467

The tables or the following formula can be used to compare the *Rohloff SPEEDHUB 500/14* to a derailleur gear system:

$$\text{Ratio of the derailleur gear system} = C \times S$$

$$\text{Ratio of the Rohloff SPEEDHUB 500/14} = \text{IGR} \times C \times S$$

#### Smallest permissible sprocket ratios (solo 100kg)

The sprocket ratio on the *Rohloff SPEEDHUB 500/14* (e.g. 42:16) converts the slow rotational speed at the crank into a fast rotational speed at the sprocket and reduces the input torque for the *Rohloff SPEEDHUB 500/14* in the same proportion. To prevent overstraining the hub, a minimum sprocket ratio of 1.90 must be used. With the available sprockets these minimum ratios are achieved by: 32:17, 30:16, 28:15, 26:13. This resembles a derailleur transmission of 22:40. Larger chainrings can be used without exceptions.



If mounted on a tandem or if the rider weighs over 100kg, the following sprocket ratios must not be undercut: 34:13, 38:15, 40:16, 42:17. This equates to a transmission factor of 2.50.



# Vedlegg 10: Datablad Velove

Electric Cargo Bike - Last Mile Delivery Solution | Velove

20.05.2019, 07.47

## Max total weight

350 kg. 500 kg with semi-trailer.

## Suspension

Individual double wishbone on all wheels, steel spring shocks

## Brakes

Hydraulic disc brakes front and rear

## Frame

Aluminium, 6060 (50S) and 6082 (51S) grade

## Tyres

Schwalbe Marathon Plus, 20 inch

## Wheels

Glass fibre wheels with one bolt wheel release

## Gear ratio range

526 %

## Distance per crank revolution, highest gear

5,63 m (25-30 km/h at normal cadence)

## Electric assist

Bafang Max

## Electric assist torque

+80 Nm

## Battery capacity

0,6 kWh (extra battery mount can be fitted)

## Cargo volume

1 m<sup>3</sup>. 2 m<sup>3</sup> with semitrailer

## Turning circle

5,8 m

## Parking brake

Mechanical disc brake

## Standard colour

RAL 9010 Pure White

## Seat

Ventilated, quickly adjustable seat

## Gear

Rohloff SpeedHub, 14 gear

## Distance per crank revolution, lowest gear

1,07 m (4-5 km/h at normal cadence)

## Power distribution to drive wheels

Double freewheel

## Electric assist rated power

250 watt, assisting when pedalling up to 25 km/h (pedelec definition)

## Electric assist speed limit

Assisting up to 25 km/h

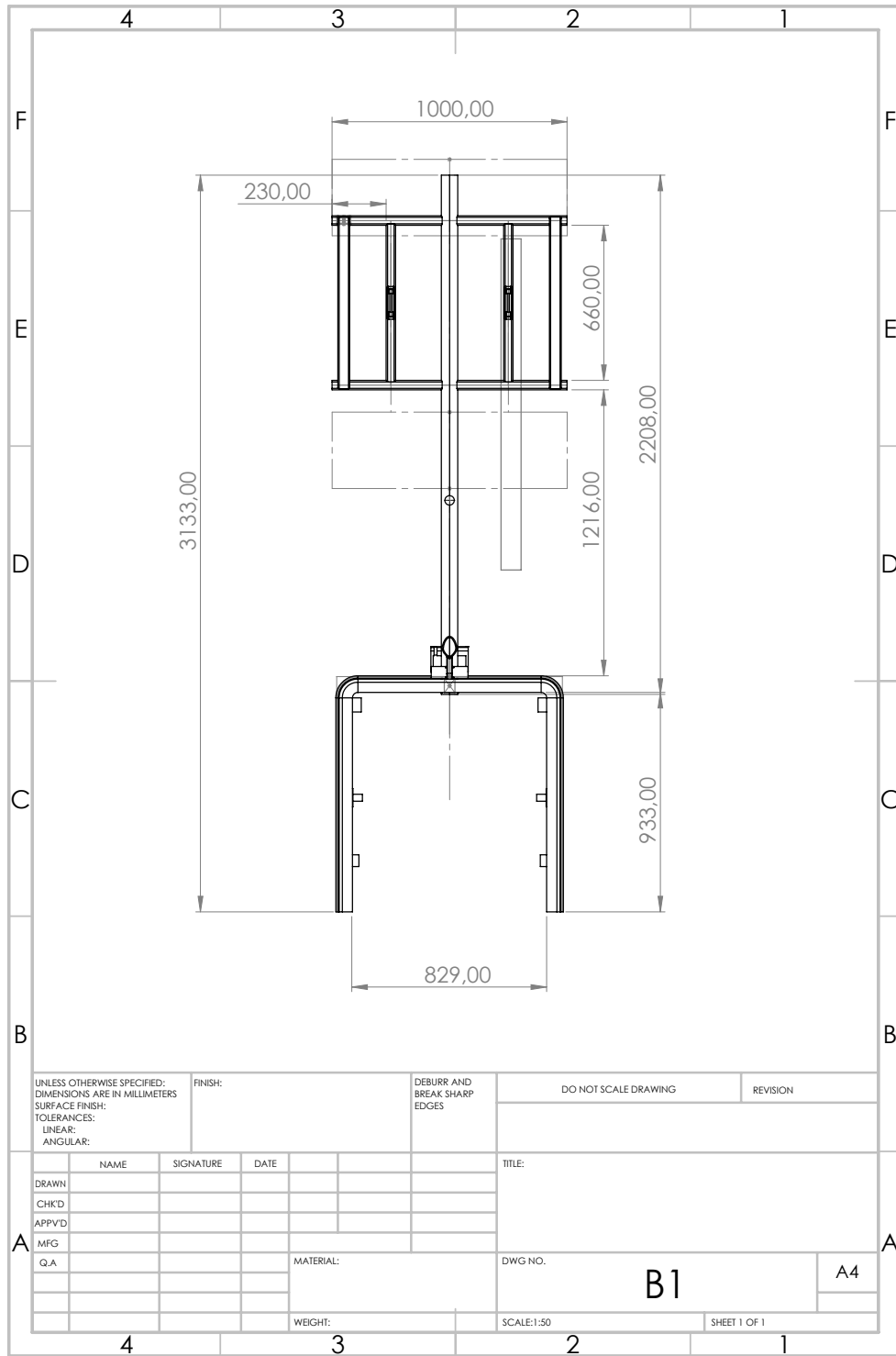
## Energy consumption on max assist

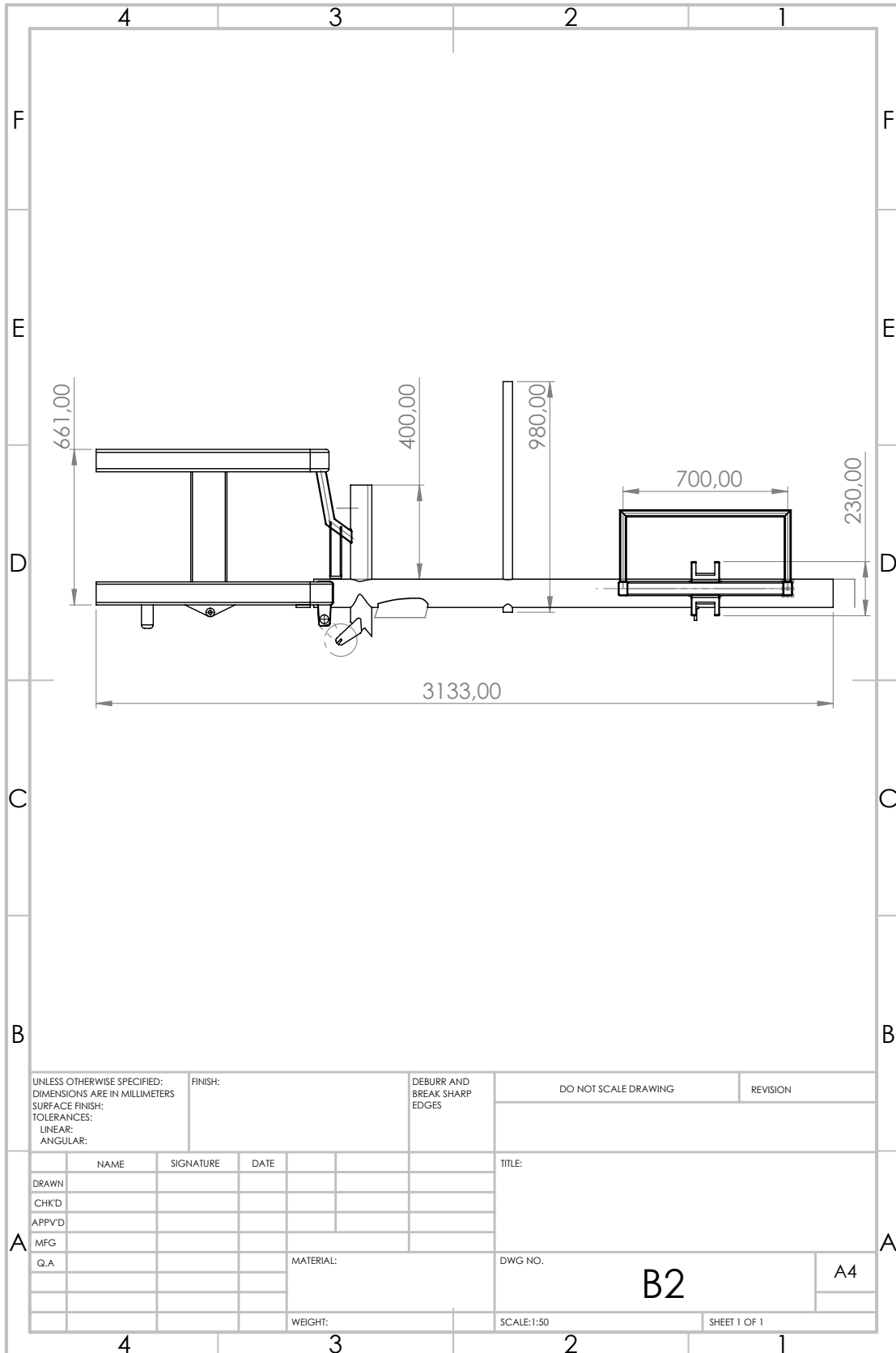
0,15-0,2 kWh/10 km

<https://www.velove.se/electric-cargo-bike>

Side 5 av 10

# Vedlegg 11: Målsatte tegninger





## Vedlegg 12: Henvisninger CAD

<b>Ting:</b>	<b>Creator</b>	<b>Link</b>
Differensial	Jaanus Ismael	<a href="https://grabcad.com/library/bicycle-differential-dg72n-samagaga-1">https://grabcad.com/library/bicycle-differential-dg72n-samagaga-1</a>
Navgir	Jasper Lin	<a href="https://grabcad.com/library/nuvinci-n360-1">https://grabcad.com/library/nuvinci-n360-1</a>
Tannhjul lite	Tomasz Gawroński	<a href="https://grabcad.com/library/shimano-aflin-sg-s7000-8-belt-drive-cog-centerlock-xtr-rotor-1/details?folder_id=3707172">https://grabcad.com/library/shimano-aflin-sg-s7000-8-belt-drive-cog-centerlock-xtr-rotor-1/details?folder_id=3707172</a>
Tannhjul stort	Matt Hende	<a href="https://grabcad.com/library/gate-carbon-drive-46-tooth-1">https://grabcad.com/library/gate-carbon-drive-46-tooth-1</a>
Kulelager	SKF	<a href="http://www.skf.com">www.skf.com</a>
Saddel	Max Morozov	<a href="https://grabcad.com/library/specialized-power-saddle-1">https://grabcad.com/library/specialized-power-saddle-1</a>
Hjulnav	Vladimir Izmailov	<a href="https://grabcad.com/library/20-inch-wheel-for-trike">https://grabcad.com/library/20-inch-wheel-for-trike</a>
Skivebrems	Will Johnson	<a href="https://grabcad.com/library/shimano-rt66-203mm-1">https://grabcad.com/library/shimano-rt66-203mm-1</a>
Styre	Will Johnson	<a href="https://grabcad.com/library/chromag-fubar-osx-mountain-bike-handlebar-1">https://grabcad.com/library/chromag-fubar-osx-mountain-bike-handlebar-1</a>
Hånd Grips	Will Johnson	<a href="https://grabcad.com/library/odi-ruffian-grip-1">https://grabcad.com/library/odi-ruffian-grip-1</a>
Pedaler	Jonathan Bratzeau	<a href="https://grabcad.com/library/lunacycle-pedals-1">https://grabcad.com/library/lunacycle-pedals-1</a>
Crank	Ryan Paetzold	<a href="https://grabcad.com/library/bicycle-crank-arm-spider">https://grabcad.com/library/bicycle-crank-arm-spider</a>
Demper	Meet Dalwadi	<a href="https://grabcad.com/library/shock-absorber-219/details?folder_id=5847738">https://grabcad.com/library/shock-absorber-219/details?folder_id=5847738</a>
Snurrehjul	Onepointtwelve	<a href="https://grabcad.com/library/175mm-locking-caster-wheel-1">https://grabcad.com/library/175mm-locking-caster-wheel-1</a>
Balljoint	Matheus Rubik	<a href="https://grabcad.com/library/ball-and-socket-joint-m10-terminal-rotular-m10-1">https://grabcad.com/library/ball-and-socket-joint-m10-terminal-rotular-m10-1</a>

# Vedlegg 13: Kart over leveringspunkt



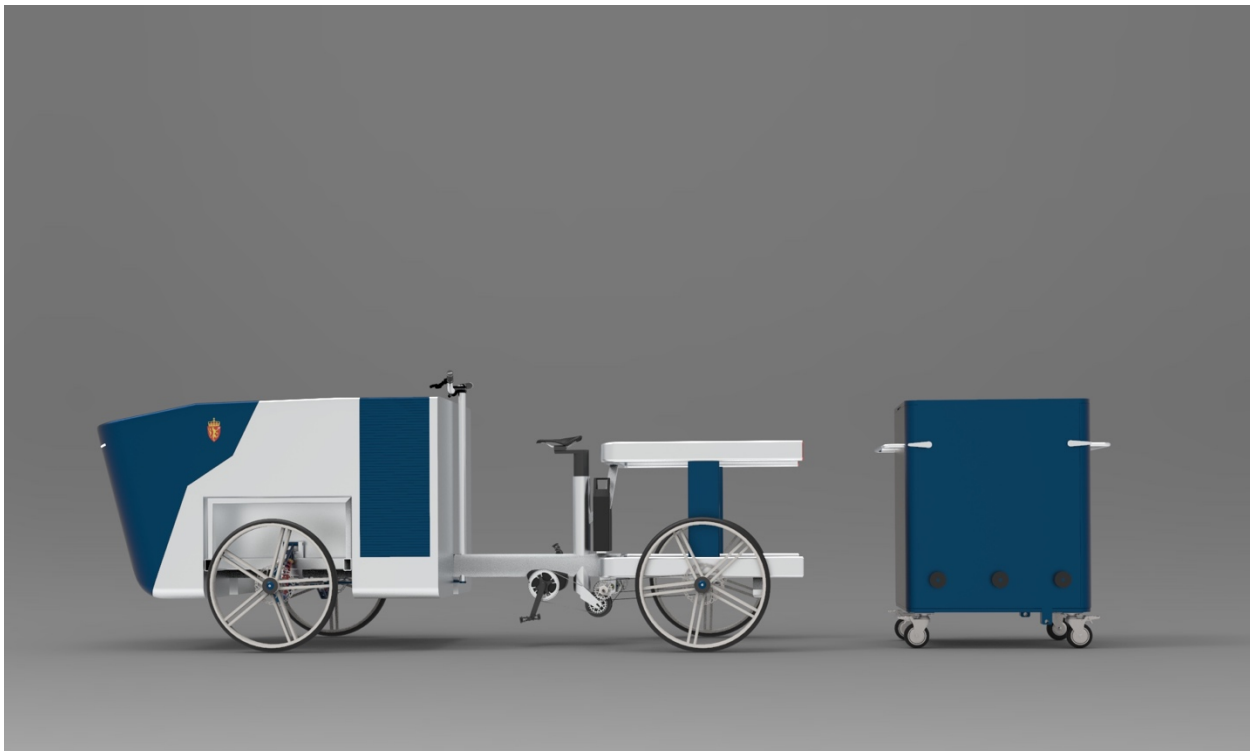
- Leveringspunkt
- Terminal



# Lastesykkelkonsept med fokus på bærekraft og ergonomi

## Maskinstudenter ved NTNU har laget en modulær el-sykkel

Ragnar Hellan hos Campusservice har i lengre tid sett på sykkel som et reelt alternativ for den interne posttjenesten hos NTNU som i dag betjenes ved hjelp av elbiler. Dette ble til bacheloroppagven til de to studentene Christian August Digernes, og Leander Pantelatos. Sammen skulle de finne en løsning som var mer miljøvennlig enn dagens elbil løsning. En produktutviklingsprosess fulgte og gruppen startet helt fra begynnelsen. Målet var å finne den beste løsningen. Alt fra droner til håndlevering ble vurdert. Men etter en grundig produktutviklingsprosess ble sluttkonseptet til en sykkel med avtakbar tralle for innendørs levering.



NTNU Campusservice er ansvarlig for drift og vedlikehold av NTNUs bygningsmasse og utearealer. På Valgrinda har de et postmottak hvor «ekstern» post blir mottatt og sortert, før det videre blir levert til

NTNUs fakulteter og institutter. Dette utgjør den interne posttjenesten, men også for å minske trafikk på campusområdene. Det er i hovedsak fire biler i sving. En som transporterer bøker mellom alle tilknyttede bibliotek, og sentralen. En bil som transporterer elektriske artikler, og to el-biler som kjører post, der Gløshaugen betjenes på formiddagen. Ettersom Gløshaugen ligger rimelig nært Valgrinda gir dette spillerom for nye bærekraftige løsninger – rekkevidde er ikke et stort tema (Vedlegg 14) NTNUs Campussentralisering gjør at fremtidige postleveranser hovedsakelig vil konsentrere seg om Gløshaugen.

Studentene har stor interesse for produktutvikling, og følte oppgaven passet godt til deres tverrfagelige bakgrunn. Brukeren ble raskt satt i fokus, og et gjennomgående tema var at løsningene skulle være enkle og funksjonelle. Slik ble arbeidshøyde et viktig tema, noe som er tydelig ved slutt konseptet. En avtagbar tralle for større leveranser på sentrale leveringsstasjoner, minsker antall løft fra ugunstige arbeidsposisjoner. Fremre Cargokasse har en skuff som kan dras ut for å gjøre av- og på lasting ergonomisk og oversiktlig.



Med en lastekapasitet på rundt 200 kg, og et lastevolum på 1.5 km<sup>2</sup> håndterer sykkelen postmengdene på en god måte. Fremre cargokasse og bakre tralle er avtakbare, noe som gjør det modulære konseptet egnet for andre bruksområder. På denne måten vil det sikkert være mange applikasjoner også utenfor Gløshaugens grenser.

Bærekraft og miljøaspekter har vært et viktig tema, og aluminium er valgt som et material, da det har gode styrkeegenskaper i forhold til vekt. I tillegg er det maskineringsvennlig, og resirkulerbart. Materialvalget understreker også designdimensjonen ved utstrålt robusthet og gir funksjonsglede i syklistens arbeidsdag.

Før konseptet evt. Bli å se å Campus gjenstår det ennå en del optimaliseringsarbeid, spesielt i forhold til vekt. En del detaljering av cargokassene er også noe det må sees på. Studentene er i allefall fornøyde med å ha skapt noe som kan inspirere til videre produktutvikling av bærekraftige, og funksjonelle løsninger.

## Vedlegg 15: Evalueringsmatrise

FAKTORER/KONSEPTER	Lastesykkel	Autonomt postskap	Droner	Håndlevring	El.Gåtralle m/ ny sorteringsseentral	El.Gåtralle u/ ny sorteringsseentral	El.Bil	Vektning
Lastekapasitet	7	5	1	2	6	6	10	8
Miljøvennlighet	8	8	6	10	8	8	4	10
Sikkerhet for last	8	4	4	10	10	10	9	8
Rekkevidde	6	5	2	2	4	4	10	6
Arbeidskomfort	6	10	10	2	6	2	7	8
Dynamisk bruksområde	8	1	1	4	8	8	9	5
Arbeidshastighet	7	5	1	2	6	3	6	7
Tilgjengelig teknologi	10	4	6	10	10	10	10	6
Kostnad innkjøp	7	6	7	10	4	8	3	6
Kostnad drift	6	10	10	7	6	6	1	6
Fysisk belastning	7	10	10	3	9	6	8	8
Fremkommelighet	6	6	3	10	10	10	5	7
Sikkerhet for bruker	8	10	2	9	9	9	10	10
Færre sorteringer av post	7	10	5	5	7	7	5	7
<b>Total score</b>	<b>101</b>	<b>94</b>	<b>68</b>	<b>86</b>	<b>103</b>	<b>97</b>	<b>97</b>	
<b>Total vektet score</b>	<b>738</b>	<b>714</b>	<b>498</b>	<b>639</b>	<b>763</b>	<b>710</b>	<b>713</b>	

Krav som må oppfylles	Lastesykkel	Autonomt postskap	Droner	Håndlevering	El.Gåtralle m/ ny sorteringsse ntral	El.Gåtralle u/ ny sorteringsse ntral	El.Bil
Lastevolum	JA	JA	NEI	NEI	JA	JA	JA
Lastevekt	JA	JA	NEI	NEI	JA	JA	JA
Miljøvennlighet	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA
Innkjøpspris	JA	JA	JA	JA	NEI	JA	NEI
Driftskostnad	JA	JA	JA	JA	NEI	JA	NEI
Sikkerhet for bruker	JA	JA	NEI	JA	JA	JA	JA
Ikke bil	JA	JA	JA	JA	JA	JA	NEI

