



Utvikling av hundeslede for konkurranseskjøring

Harald Brekke

Jarle Theodor Holen

Erlend Nærland Vastveit

Master i produktutvikling og produksjon

Innlevert: juni 2015

Hovedveileder: Knut Einar Aasland, IPM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for produktutvikling og materialer

“Seier venter den, som på forhånd har alle sakene i orden, folk kaller det flaks. Nederlag er sikret den, som ikke i tide har truffet de nødvendige forholdsregler, folk kaller det uflaks.” - Roald Amundsen



**MASTEROPPGAVE VÅR 2015
FOR
STUD.TECHN. JARLE THEODOR HOLEN
STUD.TECHN. ERLEND NÆRLAND VASTVEIT
STUD.TECHN. HARALD BREKKE**

UTVIKLING AV HUNDESLEDE FOR KONKURRANSEKJØRING
Development of sledge for mushing

Grunnutformingen av konkurranse-hundesleder kan sies å være uforandret gjennom tidene. Utviklingen har i hovedsak fokusert på nye materialer og inkrementelle forbedringer.

I kandidatenes prosjektoppgave, utarbeidet høsten 2014, konkluderes det med at det er et stort forbedringspotensial for konkurranse-hundeslede.

Hensikten med hovedoppgaven er å bidra til nytenkning i et konservativt miljø og på den måten ta sporten et steg videre. Kandidatene bør, om mulig, foreslå et radikalt nytt slededesign.

Oppgaven gjelder utvikling av en langdistanse konkurranse-hundeslede. Sleden skal være tilpasset pilotbrukerne Sigrid Ekran og Amund Kokkvold.

Oppgaven omfatter følgende punkter:

1. Delkonseptgenerering

Delkonsepter vil bli utarbeidet basert på behovsanalyse og eksisterende teknologi kartlagt i prosjektoppgaven.

- Gli
- Styring
- Bremsekraft
- Komfort
- Minimere snøsamling

2. Konseptevaluering og valg av konsept

- Sammenligning av delkonsepter
- Testing av enkle funksjonsmodeller
- Valg av konsept

3. Raffinere valgt konsept

- Materialvalg
- Dimensjonering
- Simulering
- Konstruksjon og testing av enkle fysiske modeller
- Utarbeiding av fullstendig 3d modell

Oppgaven skal aktiv ta i bruk PU - journal.

Formelle krav:

Senest 3 uker etter oppgavestart skal et A3 ark som illustrerer arbeidet leveres inn. En mal for dette arket finnes på instituttets hjemmeside under menyen masteroppgave (<http://www.ntnu.no/ipm/masteroppgave>). Arket skal også oppdateres en uke før innlevering av masteroppgaven.

Risikovurdering av forsøksvirksomhet skal alltid gjennomføres. Eksperimentelt arbeid definert i problemstilling skal planlegges og risikovurderes innen 3 uker etter utlevering av oppgavetekst. Konkrete forsøksvirksomhet som ikke omfattes av generell risikovurdering skal spesielt vurderes før eksperimentelt arbeid utføres. Risikovurderinger skal signeres av veileder og kopier skal inngå som vedlegg til oppgaven.

Besvarelsen skal ha med signert oppgavetekst, og redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse, etc. Ved utarbeidelse av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelse legges det stor vekt på at resultater er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte og diskuteres utførlig.

Besvarelsen skal leveres i elektronisk format via DAIM, NTNUs system for Digital arkivering og innlevering av masteroppgaver.

Kontaktpersoner:

Bjørn Åge Berntsen	Senter for idrettsanlegg og teknologi / NTNU
Roar Wolden	Troll Mushing
Sigrid Ekran	Team Sigrid Ekran

Torgeir Welo
Instituttleder

Knut Aasland
Faglærer



Sammendrag

Denne masteroppgaven omhandler utvikling av en ny hundeslede til bruk i langdistanse konkurranser. Fra tidligere arbeid med prosjektoppgaven er det i samarbeid med profesjonelle hundekjørere blitt funnet brukerbehov for økt styrbarhet, økt bremskraft, tilfredsstillende seteløsning, samt bedre glid. Gruppen har derfor innlemmet i sin utvikling forbedringer som vil ta hensyn til disse parameterne.

Oppgaven er delt inn i tre hoveddeler:

1. Styring
2. Brems og sete
3. Ski

Oppgavens problemstilling er: Hvilke behov finnes for styrbarhet, brems, sete og ski til en hundesledeslede til bruk i langdistanse konkurranser, og hvordan kan nye løsninger tilfredsstille disse behovene på en god måte?

Behovene er avdekket gjennom grundige undersøkelser bestående av samtaler med profesjonelle hundekjørere, testing av eksisterende sleder og bruk av tilgjengelig litteratur på emne. Basert på behov og begrensninger er det blitt stilt en rekke krav til funksjonalitet og utforming av produktene. Disse kravene har ligget til grunn for en omfattende konseptgenerering og evaluering. Prototyper av de mest lovende konseptene har blitt konstruert og testet.

Styring

De mest sentrale behovene til styrbarhet omfatter økt svingutslag, mulighet for å bestemme sledens kjørebane gjennom sving, lett-styrt og energieffektiv. Behovene eksisterer i utfordrende terreng med svinger, trær, røtter, steiner eller lignende. På åpne partier som isbelagte vann finnes derimot ikke de nevnte behovene. På slike partier er det ønskelig med god retningsstabilitet, da en ønsker at hundene er i full kontroll over sledens retning.

Løsningen vi har kommet frem til er et justerbart dra-punkt kombinert med et godt utformet tradisjonelt styresystem. Ved innerste konfigurasjon av dra-punktet vil fører ha stor kontroll over styring av sleden relativt til hundenes dra-retning. Ved ytterste konfigurasjon vil sledefronten i større grad bli dratt etter hundene. Førerne er som regel godt kjent med strekningene de skal kjøre og tanken er at fører selv gjør en vurdering av terreng og behov og velger dra-punkt-konfigurasjonen for kommende etappe.

Ved funksjons-testing oppleves prototypen som meget styrbar sammenlignet med

eksisterende løsninger. Skiene krenger godt og dra-punktets innerste konfigurasjon tillater et godt og responsivt svingutslag.

Videre testing og utvikling vil allikevel være nødvendig før en slede til bruk i konkurranse kan stå klar.

Brems og sete

Det mest sentrale behovet til bremsen er økt bremskraft. For utforming av en seteløsning er det avdekket et behov for å frigjøre plassen bak beinene til fører da fører ønsker å bidra med fremdrift i spesielt utfordrende terreng. I samspill med utvikling av ski til sleden er det ønskelig å ikke endre vektfordelingen langs skien når setet er i bruk.

De valgte konseptene for brems og sete er bygd opp rundt prinsippet mekanismer. Valgt seteløsning er et nedfellbart sete der vekten av fører overføres til skiene der føttene til fører er plassert under stående kjøring. Setemekanismen er festet foran fører slik at setet felles inn under bukken når setet ikke er i bruk. Løsningen for bremsen har en lengre momentarm for økt bremskraft og pigger som beveger seg relativt til bremsebøylen for å opprettholde god vandring ved en ergonomisk utforming.

Med dagens konfigurasjon har bremsen tilnærmet 40% økt bremskraft sammenlignet med de vanligste løsningene for brems. Setet tilfredsstillt kravet om fri bane bak fører og muliggjør dytting bak sleden.

Neste steg i utviklingen vil være å optimalisere mekanismene med hensyn på vekt og styrke gjennom simulering.

Ski

Med utgangspunkt i behovet for bedre glid i hundekjøringen har vi utviklet en komposittski. Dette er for å se om andre aspekter enn tribologi har innvirkning på glid. Komposittskien kan konstrueres med et spenn som gir bedre vektfordeling, og dermed gjøre sledene enda raskere i løypen.

Løsningen for skien har et kjernemateriale i tre med torsjonsboks av glassfiber. Skien har blitt dimensjonert gjennom styrketester og simuleringer for å tilfredsstillt produktkravene som er satt.

Komposittskien gir en betydelig vektreduksjon på sleden, der prototypen som er laget veier 40 % mindre enn aluminiums-skien.

Gjennom arbeidet med komposittskien er det kommet frem til at egenskapene henger tett sammen med innfestingene på sleden; skal en få optimal glid må en la skien bevege seg friere enn mange av dagens sleder tillater.

Flere utbedringer kan gjøres på skien i neste iterasjon; endring av kjernemateriale, forenkling av støpe-prosess, øke spennet i skien og arbeide videre med simulering og beregning av hele skien.

Abstract

This thesis documents the development of a new dog-sled for use in long distance competitions. From previous work, in consultation with professional mushers, it has been found user-needs concerning improvement of maneuverability, increased braking performances, a more satisfying seat solution, and a better glide. The group has therefore incorporated enhancements of these parameters in their development of a new sled.

The thesis is divided into three main sections:

1. Steering
2. Brake and Seat
3. Skis

Research questions: What are the needs for maneuverability, braking, seat, and skis for a long-distance competition dog-sled? How can new solutions satisfy these needs in a good way?

Needs are identified through thorough research consisting of interviews with professional mushers, testing of existing sleds and by studies of available literature on the subject. Based on the needs, a number of requirements for functionality and design of the products has been set. These requirements have been the basis for a comprehensive concept generation and evaluation. Prototypes of the most promising concepts have been constructed and tested

Steering

The most important needs concerning maneuverability of a dog sled includes sharper turning, the opportunity to decide the sleds path through turns, easily-controlled and energy efficient. These needs are relevant in challenging terrain with sharp turns, trees, roots, and so on. On more open ground however, the needs mentioned are commonly not relevant. At such ground, it is desirable with a good directional stability of the sled for the dogs to be in full control of the sleds direction.

Our solution is an adjustable drag-point combined with a well-designed traditional steering system. By use of the innermost configuration of the drag-point, the musher will be in great control of the sleds maneuverability relative to the dogs drag direction. By use of the outermost configuration, the front of the sled will get pulled in the direction of the dogs. The mushers are usually very familiar with the terrain on the different stages of a competition, and the idea is that the musher himself makes an assessment of the terrain, and chooses an appropriate drag-point configuration for upcoming stage.

By functional testing it has been found that the prototype has great maneuverability compared to existing solutions. The skis tilt well and the drag- point's innermost configuration allows sharp and responsive turning. However, further testing, development and optimization is needed for the sled to be competition-ready.

Brake and seat

The most vital need for the brake is increased braking force. Concerning the seat solution, it has been revealed a need to free up space behind the legs of the musher due to the musher desire to contribute to impulsion in particularly challenging terrain. In conjunction with the development of sledge skis, it is desirable not to change the weight distribution along the ski when the seat is in use.

The selected concepts for the brake and seat are built around the concept of mechanisms. The selected seat solution is a folding seat where the weight of the musher is transferred to the area on the skis where the musher's feet are placed when standing. The seat mechanism is attached in front of the musher so that it folds in under the bow when the seat is not in use. The solution for the brake has a longer lever arm for increased braking force, and spikes that move relative to the brake arch for maintaining good leverage in an ergonomic design.

With the current configuration, the brake has approximately 40% greater braking force compared to the most common solutions for of brakes. The seat meets the requirement of free path behind the musher and allows the musher to easily push the sled.

Further development will be optimizing of the mechanisms, with respect to weight and strength, through simulation.

Ski

Based on the need for better glide in the mushing sport we have developed a ski made of composite material. This is to look into if other aspects than tribology affects the glide. The composite ski can be constructed with a camber that provides better weight distribution, thus making sleds even faster.

The chosen solution for the ski has a wooden core with a surrounding torsion box of fiberglass. It has been dimensioned through strength tests and simulations to satisfy the requirements set for the product.

The composite ski provides a significant weight reduction of the sled, considering that the prototype weighs 40 % less than the aluminum ski.

During the process it is concluded that the ski properties are closely related to the attachments on the sled; to get the optimal glide you must allow the ski to move more freely than most existing sled-designs allow.

Several improvements can be done on the ski in the next iteration; change of core material, simplifying the casting process, and optimization of the camber of the ski by further simulations and calculations.

Forord

Denne masteroppgaven ble skrevet våren 2015 ved Institutt for Produktutvikling og Materialer på NTNU. Oppgaven ble skrevet i samarbeid med Team Sigrid Ekran og Troll Mushing AS.

Vi vil gjerne takke veileder Knut Einar Aasland for god støtte gjennom året som har vært. Bjørn Åge Berntsen i SIAT har vært en god ressurs for drivkraft og økonomisk støtte. En stor takk går til samarbeidspartnerene i Team Sigrid Ekran; Sigrid Ekran og Amund Kokkvoll for godt samarbeid, samt for å ta oss med på hundekjøring. Takk til Roar Wolden i Troll Mushing for et herlig engasjement og som god ressurs for kunnskap om sporten.

Takk til Institutt for produktutvikling og Produksjon; Børge Bakaas, Carl-Magnus Midtbø og Bjarne Stolpnessæter for hjelp og støtte på verkstedet og komposittlab. Takk til Nils Petter Vedvik for god veiledning i komposittmaterialer.

I tillegg vil vi takke Thorleif Nordengen og Einar Wergeland for å dele erfaringer og ideer om skibygging. Samt Torggrim Volden for hjelp til testkjøring.

Erlend Nærland Vastveit, Harald Brekke og Jarle Theodor Holen

Trondheim, juni 2015

Innholdsfortegnelse

Oppgavetekst	iii
Sammendrag	v
Abstract	vii
Forord	ix
Innledning	1
1 Innledende fase	3
1.1 Prosjektoppgaven	3
1.2 Vurdering av potensialet	3
1.3 Metode	4
1.4 Observasjoner	5
1.5 Testing	5
Styring	7
2 Introduksjon	9
2.1 Funn	9
2.2 Målsetting og Leveranse	9
3 Spesifisert behovsanalyse	11
3.1 Bruksituasjoner for styresystem	11
3.2 Styringsteknikk	13
3.3 Behov	13
4 Eksisterende løsninger	15
4.1 Styring av en hundeslede	15
4.2 Styrbarheten til eksisterende sleder	18
4.3 Trender og nyere løsninger for økt styrbarhet	21
5 Produktkravspesifikasjon	23
6 Konseptfase	25
6.1 Funksjonsløsningstre	25
6.2 Konsepter for styring	26
6.3 Konseptevaluering	34
7 Detaljering	37
7.1 Høyden på dra-punkt	37
7.2 Tau må ha klaring	37

7.3	<i>Unngå hekking av tau</i>	40
7.4	<i>Justerbarhet</i>	41
7.5	<i>Bukk</i>	41
7.6	<i>Innfesting av ski</i>	41
7.7	<i>Skisser av sledeutformingen</i>	43
7.8	<i>CAD for prototyping</i>	44
7.9	<i>CAD</i>	45
8	Prototype	47
9	Resultat	51
9.1	<i>Testresultater</i>	51
10	Veien videre	53
10.1	<i>Utbedring av funksjonalitet</i>	53
10.2	<i>Utbedring av brukervennlighet</i>	53
10.3	<i>Annen utbedring</i>	53

Brems og sete **57**

11	Introduksjon	59
11.1	<i>Utløsende faktorer</i>	59
11.2	<i>Målsetting</i>	59
11.3	<i>Leveranse</i>	60
12	Spesifisert behovsanalyse	61
12.1	<i>Observasjoner</i>	61
12.2	<i>Brems</i>	61
12.3	<i>Sete</i>	65
13	Eksisterende løsninger	67
13.1	<i>Sete</i>	67
13.2	<i>Brems</i>	69
14	Kravspesifikasjon	71
14.1	<i>Brems</i>	71
14.2	<i>Sete</i>	72
15	Konseptfase	73
15.1	<i>Konsepter på brems</i>	73
15.2	<i>Konsepter på sete</i>	79
15.3	<i>Valg av konsepter</i>	86
16	Detaljering	87
16.1	<i>Brems</i>	87
16.2	<i>Sete</i>	91
16.3	<i>Sammenstilling med resten av sleden</i>	95
17	Prototype	97
18	Resultat	99
18.1	<i>Testresultater - brems</i>	99
18.2	<i>Testresultater - sete</i>	100

19	Veien videre	101
19.1	Utbedring av brems	101
19.2	Utbedring av sete	102
Ski		105
20	Introduksjon	107
20.1	Målsetting	107
20.2	Hvorfor lage en komposittski?	107
21	Spesifisert behovsanalyse	109
21.1	Kjørere og glid	109
21.2	Skijtelse	110
21.3	Thorleif Nordengen	110
21.4	Krefter på ski	111
22	Eksisterende løsninger	117
22.1	Treski	117
22.2	Aluminiumsski	118
23	Kravspesifikasjon	121
24	Konseptutvikling	123
24.1	Kjernemateriale	124
24.2	Skiprofil	126
24.3	Komposittlaget	126
24.4	Layup	127
24.5	Spenn	128
24.6	Støping	128
24.7	Innfesting	129
25	Detaljering og testing	133
25.1	Fremgangsmåte	133
25.2	Teststykker	133
25.3	Beregninger av layup i excel	138
25.4	Simulering i Abaqus	143
25.5	Design av prototype-ski	146
25.6	Produksjon av prototypeski	148
25.7	Testing av prototype	151
26	Veien videre	153
26.1	Slededesign	153
26.2	Spenn	153
26.3	Vekt	153
26.4	Tverrsnittdesign	154
26.5	Kjernemateriale	154
26.6	Belegg	154
26.7	Fiber	155
26.8	Utskiftbare ski	155
Oppsummering		157

Referanser	161
27	Tekst 163
28	Figurer 165
Vedlegg	167
1	Risikovurdering 169
2	Vektfordeling 171
3	Teststykker 173
4	Beregninger fra Abaqus 183
5	Prototype - ski 187
6	Testing av ski 191
7	Skisser av sledeutforming. 193
8	Prototype - slede. 197
9	Renderinger av CAD-modell. 199
10	I media 201

INNLEDNING

1 Innledende fase

Hundekjøring som sport har fra gammelt av vært en livsstil blandt enstøinger og folk langt ute i distriktene. I nyere tid har sporten fått mer tilslutning og oppmerksomhet fra media, noe som har gjort at det satses mer på å komme på pallen. Masteroppgaven er et samarbeid med NTNU og Team Sigrid Ekran om å se hundekjøringen fra et teknisk perspektiv for å ta sporten ett skritt videre.

Innledningsvis vil overordnede punkter for masteroppgaven presenteres.

1.1 Prosjektoppgaven

Gjennom arbeidet med prosjektoppgaven ble vi kjent med hundekjøringsmiljøet og fikk en innsikt i hvordan ting henger sammen. Prosjektoppgaven konkluderer med at det er store muligheter for å videreutvikle hundesleden, grunnet det konservative hundekjørmiljøet.

Videre legges det frem tre utviklingsområder som vi har tatt for oss i masteroppgaven:

1. **Styring** - Jarle Theodor
2. **Brems og sete** - Harald
3. **Ski** - Erlend

Resultatene fra prosjektoppgaven som er relevante for oppgaven vil bli introdusert under hvert utviklingsområde.

1.2 Vurdering av potensialet

Etter å ha studert de ulike løsningene som en finner i markedet for hundekjøring, ser vi både fordeler og ulemper med å komme med en ny løsning.

Styrker

- Det finnes få løsninger på hvert utviklingsområde dette gir store muligheter for å komme opp med noe nytt som kan gi store forbedringer i sporten.
- Teknologien og ekspertisen som finnes i dag er ikke utnyttet. Dermed er det stort potensiale i å gi en teknisk tilnærming til problemet.

Svakheter

- De fleste hundekjørere har fast jobb på siden og lever ofte fra hånd til munn. Dette gir svært begrensede ressurser og stor skepsis til nye løsninger.

Utfordringer

- Hundekjørrermiljøet er svært konservativt og lukket. Dermed vil det bli vanskelig å få innpass i markedet.
- Det er begrenset med tid til testing og utvikling grunnet den relativt korte prosjektperioden for masteren.
- Vi har ingen erfaring innen fagfeltet og vil derfor trenge tilbakemeldinger på de løsninger vi kommer opp med.

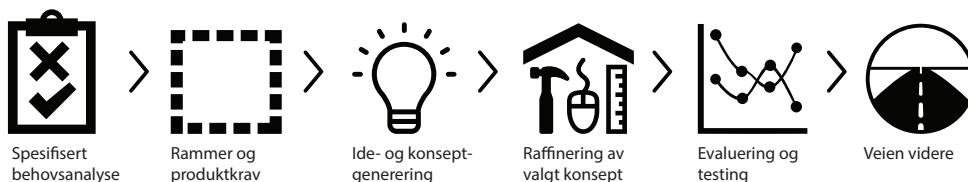
Muligheter

- Som studenter kommer vi upåvirket inn i miljøet og kan derfor komme med en ny vinkling til problemene. Nødvendig informasjon kan hentes fra eksperter.
- Fasilitetene og ekspertisen på NTNU gir muligheter for å gå for løsninger andre sledeprodusenter ikke kan komme i nærheten av.
- Samarbeidet med Team Sigrid Ekran og Team Amund Kokkvoll gir en unik kombinasjon av erfaring og engasjement for nye ideer. Andre kjørere ser opp til Sigrid og Amund og vil derfor være mer mottakelige for løsningene de har testet.

Totalt sett vil det være en stor utfordring i å komme opp med et fullverdig produkt alene, men dette er en mulighet for å presentere nye innovative løsninger som andre kan utvikle videre.

1.3 Metode

Arbeidet i masteroppgaven har blitt lagt opp som følgende (Figur 1.1):



Figur 1.1: Metodeforløp

1.3.1 Brain writing

Et nyttig verktøy som ble brukt i idégenereringsprosessen var såkalt “brain writing”. Dette er en teknikk i likhet med brain storming og andre metoder for idégenerering som stimulerer en gruppe mennesker til å komme opp med mange idéer på kort tid.

Tanken bak metoden er at alle involverte vil måtte bidra til idégenereringen, samt at de beste idéene gjerne bygger på andre idéer som blir presentert på arket etterhvert som en bytter ark.

1.4 Observasjoner

I begynnelsen av februar dro vi til Røros for å observere Femundløpet. Gjennom dagene konkurransen pågikk fikk vi verdifulle erfarigner med hvordan konkurransekjørerne bruker hundesleden. I tillegg fikk vi kjenne på hvilke forhold og avstander det er snakk om i en konkurranse.

1.5 Testing

Den 27. mars ble det gjort en omfattende kjøretest på Venabygdsfjellet sammen med Amund og 24 av hundene til Sigrid. Totalt fem sleder ble brukt i testen; Prototypen til Harald og Theodor, to BEWE-sleder - tre- og aluminiumsski, en Prairie Bilt-slede - Amund sin, og en uoriginal slede med prototypeskiene til Erlend.

Målet med testingen var:

- Teste de ulike prototypene i felt
- Få et inntrykk av styrbarheten til ulike eksisterende sleder
- Kjenne på bremseeffekten hos ulike sleder
- Kjenne på hvordan ulike slededesign og skityper endrer kjøreegenskapene på en slede

Erfaringene fra testingen er gitt under hvert utviklingsområde.

STYRING

2 Introduksjon

Fra arbeider med prosjektoppgaven er det blitt avdekket et behov for økt styrbarhet, samt et stort forbedringspotensial på dette område. Denne delen av masteroppgaven vil ta for seg utvikling, prototyping og testing av en mer styrbar slede.

2.1 Funn

2.1.1 Styring

Styrbarheten av en slede kan defineres som muligheten til å endre sledens retning relativt til hundespennets retning. Styringen på moderne sleder skjer ved å legge over bukken mot en side. Skiene vil da krenkes og sleden vil svinge til siden. Styring er ikke et separat system på eksisterende hundesleder. Type innfestinger, tverrstag, fleksibilitet i materialer, utforming på bukk, og utforming på ski, er alle faktorer som spiller inn på styrbarheten til en slede.

2.1.2 Behov

Behovet for økt styrbarhet er hovedsakelig grunnet brukerønsker om å raskere, lettere, og mer kontrollert komme seg gjennom utfordrende skogspartier og krappe svinger.

Behovet blir forsterket av en teori om at den moderne hundesledeskjører er av en lettere vektclasser enn tidligere. Samarbeidspartner, Sigrid Ekran, er to ganger verdensmester i langdistanse, 162cm høy, og av en lett vektclasser. Eldre eller mindre styrbare sleder kan tenkes å passe best til store menn da "rå kraft" virker nødvendig for en brukbar håndtering av sledene.

2.2 Målsetting og Leveranse

2.2.1 Primærmål

Primærmålet er å utvikle en hundeslede med økt maksimalt svingutslag, god respons, tilfredsstillende brukervennlighet, og energieffektivitet. Fører skal kunne unngå hindringer i terrenget, samt velge kjørebane gjennom svinger, på en enkel måte. Konseptet skal være lett-vektig og robust.

2.2.2 Leveranse

Arbeidet i denne delen vil resultere i en beskrivelse og detaljering av et mer styrbart sledekonsept. En prototype vil bli konstruert og testet. Da flere iterasjoner og mer

testing av sleden er nødvendig før en løpsklar slede kan stå klar, er leveransen ment som videreføring av kunnskap, tanker, ideer og resultater fra mitt arbeid på området. Ved overlevering til initiativtaker for oppgaven, Troll Mushing AS, sees en prototype på som en visuell inspirasjonskilde til videreutvikling.

3 Spesifisert behovsanalyse

I dette kapittelet presenteres de mest sentrale faktorene som ligger til grunn for det eksisterende brukerbehovet for økt styrbarhet.

3.1 Brukssituasjoner for styresystem

De lengste strekkene av konkurranseløp går ofte igjennom åpent terreng og uten krappe svinger. På slike strekk finnes sjeldent noe behov for styrbarhet av sleden. Tvert i mot ønsker en at hundene er i full kontroll over retning og at sleden følger hundene på en god måte. Andre partier kan derimot være svingete og småkuperte stier i åsene, tett og lun granskog, eller trange myrdrag. Behovet for god styrbarhet kan her være stort. Under presenteres de mest aktuelle brukssituasjonene til styresystemet.

3.1.1 Svinger

Rundt svinger vil hundene ta den korteste veien, innersvingen. Sleden dras omkring 280 cm bak hundespannet og vil bli dratt enda lenger inn i svingen. Ofte gjør hindringer som snøfonner og trær det nødvendig å kontra-styre for å unngå kollisjoner eller velt i en krap sving.

Eksempelvis har en "Røros-svingen". Under starten av det årlige Femundløpet må alle deltagerne gjennom en 90 graders sving på snølagt bilvei i sentrum. Svingen er rundt 10m i radius. Dette kan høres lett ut, men ofte er det god fart på hundene og spesielt "stive" sleder kan fort få utfordringer her. Observasjoner fra "Røros-svingen" under Femundløpet 2015 tilsier at mange av dagens sleder er meget utfordrende å håndtere rundt krappe svinger. To fall og sledevelt ble observert under starten av F600 klassen. Mange førere traff brøytekanter i innersvingen og fikk et kraftig løft på innerskien. De fleste reddet seg inn ved å plante en fot i bakken. Utfordrende situasjoner fra "Røros-svingen" observert under Femundløpet kan ses fra figur Figur 2.1 og Figur 2.2.

3.1.2 Unngåelse av røtter og stein

En annen utfordring er å unngå å kjøre over hindringer som røtter og steiner i løypa. Ved overkjøring av slike objekter kan komponenter lett rives av sleden, samt slite på deler og belegg. Det er derfor ofte ønskelig å unngå slike hindringer om mulig. Hundene bryr seg lite om hindringene og løper gjerne rett over dersom det er raskeste vei. I samtale med Amund Kokkvoll ved første sjekkpunkt under femundløpet 2015 påpeker Kokkvoll utfordringene med unngåelse av røtter og steiner på den tilbakelagte etappen.

3.1.3 Unngå bruk av brems for styring

Ved første testkjøring ble det funnet ut at bremsing brukes i stor grad for å rettlede sleden etter hundene. Tilfelle er svinger der enten dra-tauet ikke er stramt eller andre faktorer som skråning, fører til at sleden fortsetter rett frem selv om hundene løper inn i en sving. Svingutslaget fra krenkning av skiene er oftest ikke tilstrekkelig for å rettlede sleden, og en må da bruke brems eller matte for å få god strekk i dra-tauet og på den måten dra sledefronten i riktig retning. Situasjonen kan sees på som at styrbarheten til sleden ikke er god nok til å klare svingen og hjelp fra hundene blir nødvendig. Dette senker farten og virker ugunstig da en ønskelig vil ha stor fart ut av en sving.



Figur 2.1: F600 utøver Andreas Trongaard opplever sledevelt i "Røros-svingen"



Figur 2.2: F1r utøver Hanna Lyrek får et løft av innerskien ved kontra-styring

3.1.4 Andre brukssituasjoner

I oppoverbakker, eller dyp og løs snø, er det ofte ønskelig for fører å forsøke å bidra til fremdrift ved å løpe ved siden av sleden og dytte den. Bukken blir da brukt som dyttepunkt. En bukk egner seg godt til denne bruken fremfor eksempelvis ratt eller sykkelstyre. Det er av den grunn trolig ønskelig å beholde bukken som utslagsmekanisme for styring av sleden.

3.2 Styringsteknikk

Under Femundløpet 2015 ble det observert ulike styringsteknikker brukt gjennom Røros-svingen. De fleste utøverene kontra-styrte gjennom første del av svingen for å unngå kollisjon i brøytekannten i innersvingen. Deretter la utøverene styringen til motsatt side for å komme seg ut av svingen. Overaskende mange utøvere brukte dog skrening i siste del av svingen.

Det er grunn til å tro at styringsteknikken er en følge av styrbarheten til sleden. Noen sleder er avhengig av skrening for et godt svingutslag. Enkelte tilfeller av observert skrening kan dog tenkes gjort for fremvisning for tilskuere, da dette kan se mer spektakulært ut.

3.3 Behov

Det er ønskelig med en slede der styring ikke baserer seg på skrening eller bremsing, da dette er lite energieffektivt. En ønsker lett og kontrollert å unngå hindringer i løypen og samtidig opprettholde flyt og fart. Behovet varierer, som tidligere nevnt, med terrenget. På rette eller åpne strekker eksisterer dette ikke behovet, og det er her ønskelig med en god retningsstabilitet. I Tabell 2.1 under presenteres brukerbehov som er tett koblet til styrbarheten til sleden.

Tabell 2.1: Brukerbehov koblet til styrbarhet

Nivå 1	Nivå 2
Funksjonalitet	Svinge unna hindringer
	Kunne velge kjørebane gjennom sving
	Retningsstabil på rette eller åpne strekker
Brukervennlighet	Lett å manøvrere
	Ergonomisk
Energieffektivitet	Ikke bruk av skrening for sving
	Ikke bruk av bremsing for sving
Sikkerhet	Robusthet

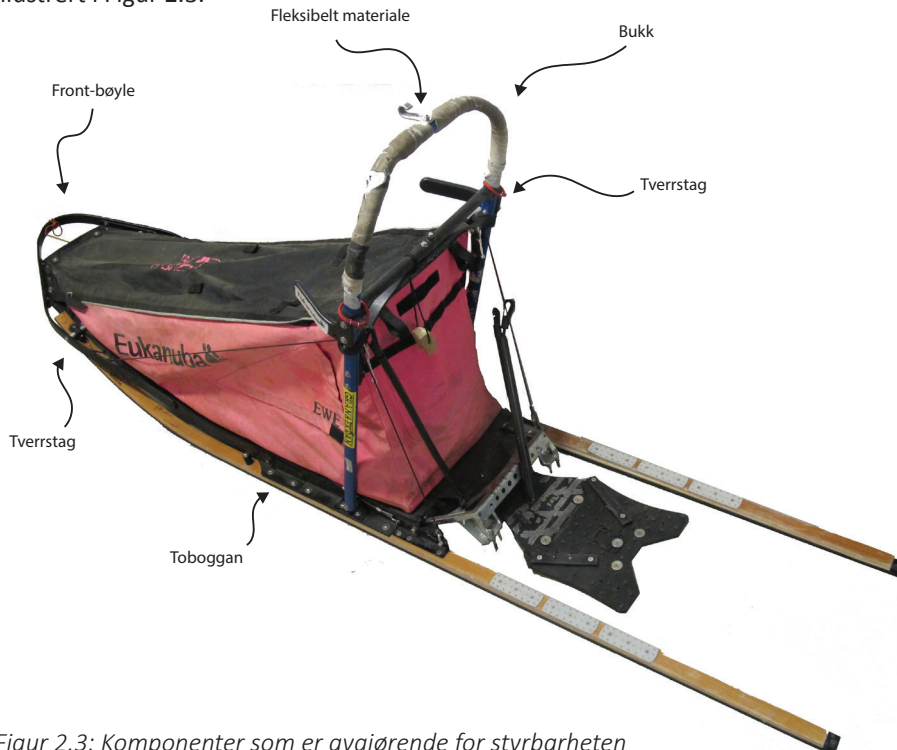
4 Eksisterende løsninger

I arbeidet med prosjektoppgaven ble mange ulike sleder inspisert for å få et overblikk over eksisterende design av sleder. Teorier ble dannet rundt styrbarheten til sledene, og testing gjensto for å bekrefte eller avkrefte teoriene. Dette kapitlet vil gi en introduksjon i hvordan en slede styres, og hvordan styrbarheten til tesdede sleder oppleves, samt nyutvikling som finnes innen styrbarhet av slede.

4.1 Styring av en hundeslede

4.1.1 Tradisjonelt styresystem

Ved styring må fører tvinge bukken mot ønsket side. Skiene vil da krenge. Dette krever en bøying av tobogganplaten og materialet som forbinder bukken i topp. Tobogganplaten er gjerne forbundet til skiene gjennom et tverrstag i fronten samt gjennom bukken. En oversikt over komponenter og innfestinger som er avgjørende for graden av styrbarhet er illustrert i Figur 2.3.



Figur 2.3: Komponenter som er avgjørende for styrbarheten

4.1.2 Faktorer som har stor innvirkning på styrbarheten

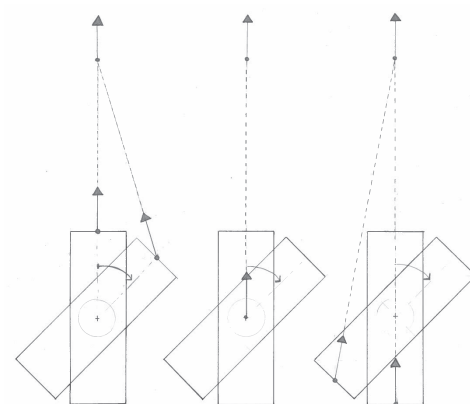
Dra-punkt

Linen er gjerne festet i bukken og tredd igjennom en ring eller karabiner lenger fremme på sleden. Plasseringen kan ses av Figur 2.4. Dra-kreftene vil stort sett tas opp i bukken, imens sideveis krefter ved sving vil tas opp ved ringen lenger fremme. Ringen kan sees på som et sideveis dra-punkt. Videre i oppgaven vil denne ringen bli omtalt som "dra-punkt".

Dra-punktets posisjon blir nevnt som en faktor som har stor innvirkning på styrbarheten av en slede. Ved posisjonering av dra-punktet nærmere sledens rotasjonspunkt vil føre lettere kunne svinge sleden. Dette grunnet at dra-kraften i mindre grad vil motvirke en rotasjon av sleden. Ulike plasseringer av dra-punkt og tilhørende dra-kraft er illustrert i Figur 2.5.



Figur 2.4: Dra-punkt



Figur 2.5: Drapunkt versus rotasjonssenter

Innfesting av tverrstag

I sledefronten har tradisjonelle slededesign et tverrstag som forbinder fremre del av tobogganplaten med skiene. Det finnes mange varianter av innfestinger brukt til å forbinde disse delene. Alle observerte innfestinger vil i varierende grad motvirke en krenkning av skiene. En typisk innfesting av tverrstaget er illustrert i Figur 2.6.



Figur 2.6: Tverrstag

Innfestinger av toboggan-plate

Tradisjonelle slededesign har en styrbarhet som er basert på fleksibilitet i toboggan-platen. Platen skal bøyes ved styring. Dette gir en enkel konstruksjon samtidig som det bidrar til god selvoppretting. Majoriteten av inspiserte sleder har en toboggan-plate forbundet til skiene gjennom bukken. Noen sleder har dog en innfesting av toboggan-platen direkte i skiene, som illustrert i Figur 2.7. Både innfestingen og fleksibiliteten av platen har stor innvirkning på styrbarheten.



Figur 2.7: Innfesting av toboggan

4.2 Styrbarheten til eksisterende sleder

Som nevnt i oppgavens introduksjon, er det i løpet av våren blitt testet flere eksisterende sledemodeller blant annet for å få et inntrykk av styrbarheten. Sledene som har blitt testet er “Bewe Alpi 2”, “Bewe Ultra”, “Prairie Bilt Nitro 2”, “Prairie Bilt Nitro 60 Pro”, egenutviklet prototype for styring, brems og sete, samt en uoriginal Prairie Bilt Nitro med påmontert egenutviklede prototype-ski. Figur 2.8 viser BEWE-sledene som gjøres klar for testing.



Figur 2.8: BEWE-sledene gjøres klar for testkjøring,

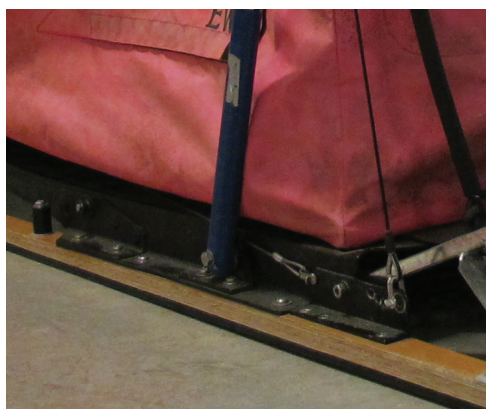
4.2.1 BEWE

BEWE-modellene har sine største fordeler ved å være veldig lette sleder. De oppleves dog som “stive” og lite styrbare. Svingutslaget ved krenkning av bukken er knapt merkbart. Forsøk på å unngå røtter og steiner i løypen feilet gang på gang under testing. På skareføre var skrensing eneste måten å svinge sledene på.

Modellen “Alpi 2”, vist i Figur 2.9, har en lav tobogganplate som er montert direkte på skiene (Figur 2.10). Det kreves mye kraft for å bøye tobogganplaten ved en slik innfesting, noe som gjør sleden meget tung å styre. Innfestingen av tverrstaget i front (Figur 2.11) begrenser i tillegg krengingen av skiene i front.



Figur 2.9: BEWE Alpi 2



Figur 2.10: Innfesting av toboggan-plate på BEWE Alpi 2



Figur 2.11: Tverrstag i front på BEWE Alpi 2

4.2.2 Prairie Bilt

Prairie Bilt- sledene som ble testet er større og tyngre sleder enn BEWE-sledene. Modellen "Prairie Bilt Nitro 2" er illustrert i Figur 2.12. Denne typen slede oppleves som mer styrbar. Sleden beveger seg rolig et stykke ut til siden ved kraftig krenkning av bukken. Unngåelse av røtter og steiner i løypen krever god planlegging og et løst underlag.

Også disse modellene ville trolig ha hatt bedre styrbarhet ved en ulik innfesting i front. Innfestningen av tverrstaget i front (Figur 2.13) motvirker krenkning av skituppene og "stiver" opp sleden. Bakre del av tobogganplaten er på disse modellene festet til bukken. Stivheten fra denne typen innfestningen virker gunstig, da en lett kan krenge bukken samtidig som fleksibiliteten fra platen medfører en god selvoppretning.



Figur 2.12: Prairie Bilt Nitro 2



Figur 2.13: Tverrsatg i front på Prairie Bilt Nitro 2

4.3 Trender og nyere løsninger for økt styrbarhet

4.3.1 Henger

Å kjøre med henger kan virke som en ny trend i hundekjøremiljøet. Amerikaneren Jeff King, ”innovatøren i hundekjøremiljøet”, var tidlig ute til å ta i bruk henger i løp. Fra samtale med Jeff King på et hundekjørerseminar i Hakadal sammenligner Jeff King konseptet med en trailer, leddet og med lasten plassert bak. Lastplassering i henger tillater selve sleden å være kortere, og dette fører til en mer styrbar slede ifølge King. En av King sine sleder kan sees fra Figur 2.14.

Observasjoner fra Femundløpet, bilder og videoer, er at mange førere har tatt i bruk henger, men at selve sleden er uforandret. I følge Roar Wolden stammer dette konseptet fra hundekjøring i Amerika over flatt og åpent terreng. Hengeren ble ikke tatt i bruk for økt styrbarhet, men for bedre plass til å hvile hundene under løp.



Figur 2.14: Bilde viser en av Jeff King's egenproduserte sleder. Foto: Emily Schwing

4.3.2 Kontrastyring

Et utvalg sprint-sleder (kortdistanse-sleder) har et trinsesystem som virker slik at sleden kontra-styrer når hundene løper i sving. Dette for å unngå hindringer i innersving som beskrevet tidligere. Ingen langdistanse sleder er blitt observert med dette systemet, trolig grunnet et ønske om et enkelt og solid slededesign for lange etapper, da sleden over lengre tid må tåle store påkjenninger.

4.3.3 Trinsesystem

Blant annet ”Skunk Sleds” har sleder med et trinsesystem for økt styrbarhet (Figur 2.15). Systemet strekker i tau eller vaier ved krenkning av bukken. Tauet eller vaieren drar da tuppen av skiene til samme siden som bukk utslaget. Systemet minner mye om styringen på en gammel rattkjelke med meier. Om systemet gir stort positivt utslag er usikkert. Ettersom skiene av ekstrudert aluminium er relativt stive er det grunn til å tro at systemet fører til lite bøying av skiene, men heller en ekstra grad av krenkning i font.

Samtaler med hundekjørere som Robert Sørli, Amund Kokkvoll og Sigrid Ekran viser

at førerne er skeptisk til trinsesystemer, da ingen av de nevnte engang hadde testet en slede med et slikt styringssystem. Dette trolig grunnet en skepsis til flere komponenter og bevegelige deler som kan gå i stykker. Det er grunn for å tro at systemet vil bidra til økt styrbarhet.



Figur 2.15: Trinsesystem for økt styrbarhet

4.3.4 Utradisjonelle dra-punkt

Dra-tauet på eksisterende sleder er, som tidligere nevnt, tredd igjennom en ring som er festet til sledefronten. Det er her sideveis krefter tas opp ved svingning. På noen modeller er denne ringen festet i strikker, vist i Figur 2.16, slik at ringen har kan beveges noe sideveis. Dette er trolig for å få effekten av et dra-punkt plassert noe nærmere rotasjonspunktet. En BEWE- slede med et slikt system har blitt testet i arbeidet med oppgaven. Sleden oppleves, som tidligere nevnt, "stiv", og ingen merkbar forskjell i styrbarhet grunnet dra-punktet ble funnet.



Figur 2.16: Dra-punkt festet i strikker

5 Produktkravspesifikasjon

Produktkravspesifikasjonen (Tabell 2.2) er en oversikt over tekniske kriterier som sleden må eller bør holde seg innenfor for å tilfredsstille brukerbehovene. Spesifikasjonen gir en indikasjon på hva som vektlegges ved et godt design av en styrbar slede og vil bli brukt videre til arbeid med idegenerering samt vurdering av konsepter.

Tabell 2.2: Produktkravspesifikasjon

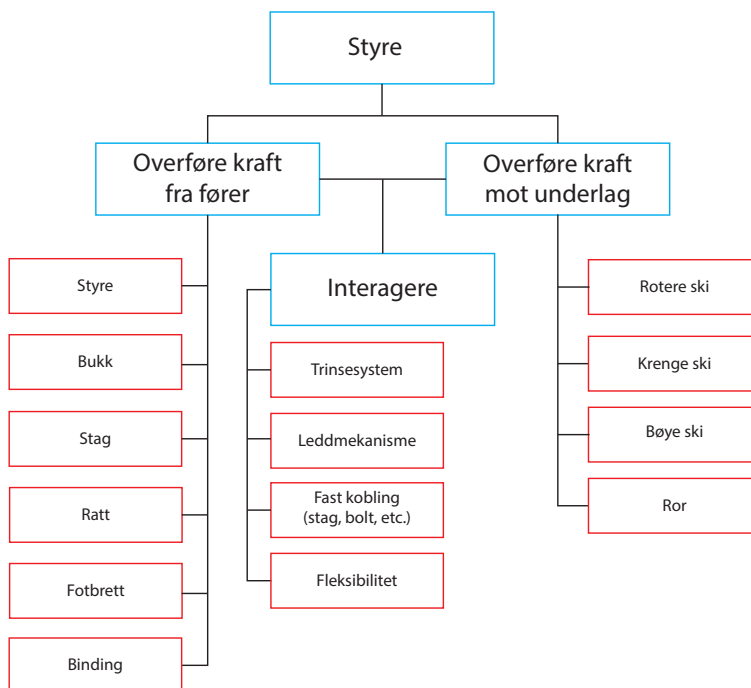
Beskrivelse	Verdi	Bør	Må
Funksjonskrav			
Svingradius (maksutslag)	<10m <20m	x	x
Selvoppretting			x
Mulighet til låsing av styresystem		x	
Lastekapasitet	>60kg >100kg	x	x
Operasjonelle krav			
Høyde på bukk	800-1100mm		x
Justerbar høyde på bukk		x	
Justerbart styresystem		x	
Fri bane mellom bakre del av ski		x	
Andre krav			
Bredde mellom ski	508mm		x
Kompatibel med komposittski			x
Høyde på trekkpunkt	250-350mm		x
Dokumentasjonskrav			
I henhold til NHF regelverk, samt Femund, Finnmark og Iditarod regelverk			x

6 Konseptfase

Idegenereringen har tatt utgangspunkt i å tilfredsstille produktkravene på en god måte. Et utvalg av konsepter, evaluering, og valg av konsept vil bli presentert i dette kapitlet.

6.1 Funksjonsløsningstre

En av hovedfunksjonene til en hundeslede er styring. Ved å bryte ned denne funksjonen til mer grunnleggende funksjoner danner en et godt utgangspunkt for idegenerering. Figur 2.17 illustrerer grunnleggende funksjoner og løsninger for styring av en slede.



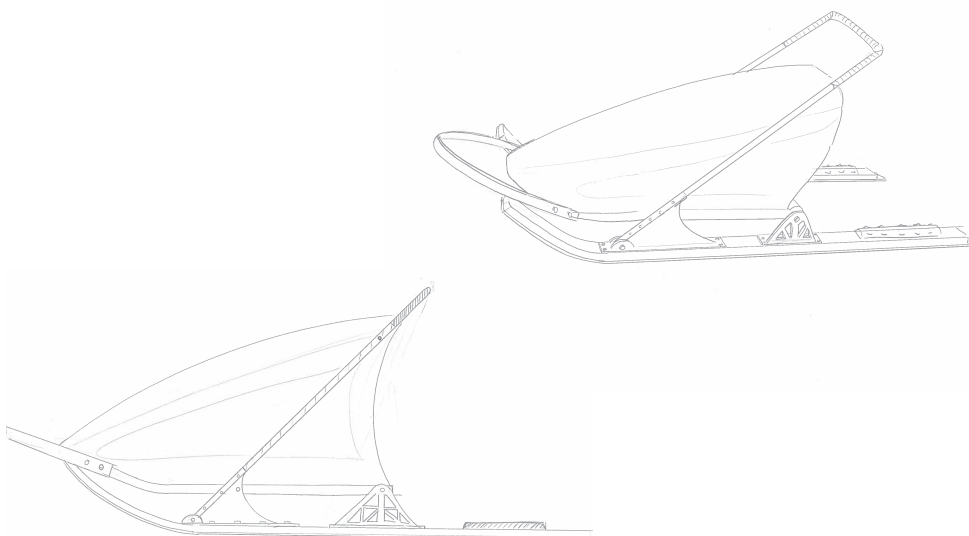
Figur 2.17: Funksjonsløsningstre for styring

6.2 Konsepter for styring

Konseptene er presentert kronologisk fra konservativ til radikal.

6.2.1 Skråstilt bukk

Ved å feste bukken ved punktet på skien der kurvaturen starter, vil en tenkt lettere kunne krenge dette stykke av skien. Krenningen av nettopp dette partiet er mest kritisk for å få svingutslag med det tradisjonelle styringsprinsippet. Konsepter er illustrert i Figur 2.18.



Figur 2.18: Skråstilt bukk

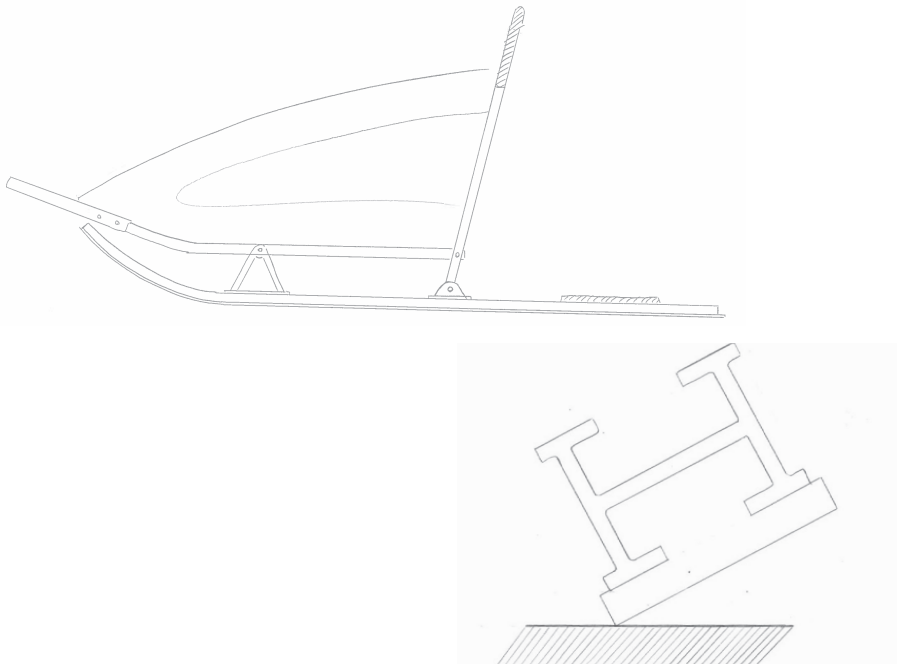
Diskusjon

Konseptet er en inkrementell forbedring. Ved bruk av ski som er lite torsjonsstive vil en skråstilling av bukken være en god løsning for å få krenkning på ønsket område av skien. En slik konfigurasjon kan dog være tyngre å styre da mye krefter ender som momentkrefter om vertikalaksen ved innfestningspunktet.

Fordeler	Ulemper
+ Enkelt	÷ Uønsket moment i bukk og brakett
+ Lav vekt	÷ Tung å styre
+ Mye standard-deler	
+ Selvoppretting	

6.2.2 Frigjorte skitupper

Ved å feste frontbøylen til ramme/toboggan-plate i tillegg til å fjerne eksisterende tverrstaget festet til skituppene, vil en frigjøre fremre del av skiene. Dette vil gjøre krenkning av skiene lettere da eksisterende løsninger for festepunkt i front ofte ser ut til å motvirke krenkning av ski. Konseptet er illustrert i Figur 2.19.



Figur 2.19: Frigjorte skitupper

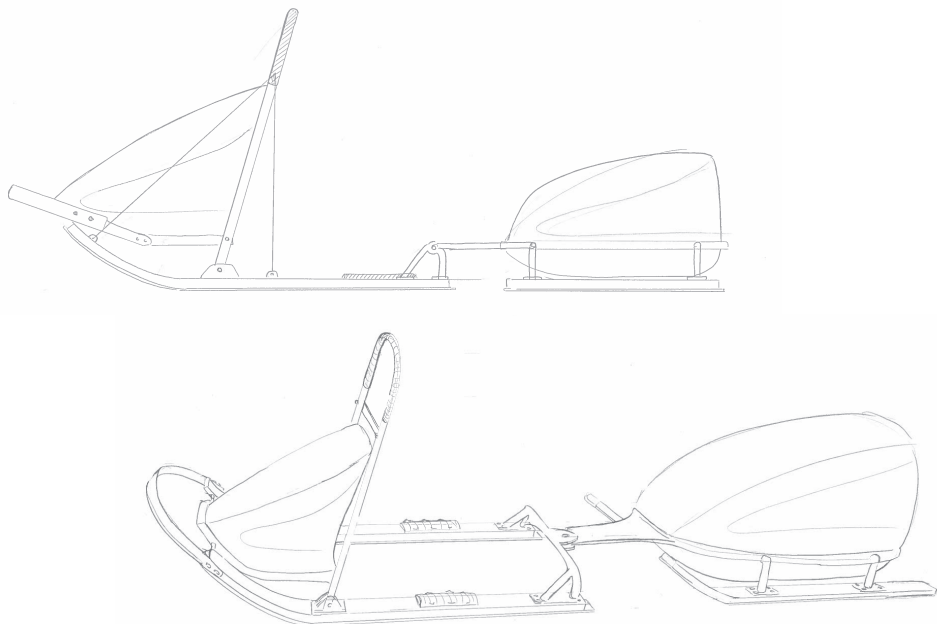
Diskusjon

Som nevnt i kapittel 3, har koblingen mellom fremre del av toboggan og fremre del av ski, stor innvirkning på styrbarheten da koblingene oftest ser ut til å motvirke en krenkning av skien. Det er ønskelig med en kobling som tillater denne krenkningen, samtidig som nok vekt blir påført fremre del av ski. Vekten på fremre del av ski er viktig da dette området av skien er utslagsgivende for sving og krever et godt feste mot underlaget.

Fordeler	Ulemper
+ Enkelt	÷ Ingen radikal endring av styrbarhet
+ Lav vekt	
+ Robust	

6.2.3 Henger

Ved bruk av en henger kan last flyttes bak. Ved lasten plassert i henger vil en også ha mulighet til å korte ned lengden på selve sleden. Konseptet tillater da bukk-innfesting i området på skien som er utslagsgivende for styring uten å måtte skråstille bukk-stagene. Dette vil føre til at en lettere kan krenge skien på aktuelt område. Konseptet er illustrert i Figur 2.20.



Figur 2.20: Henger

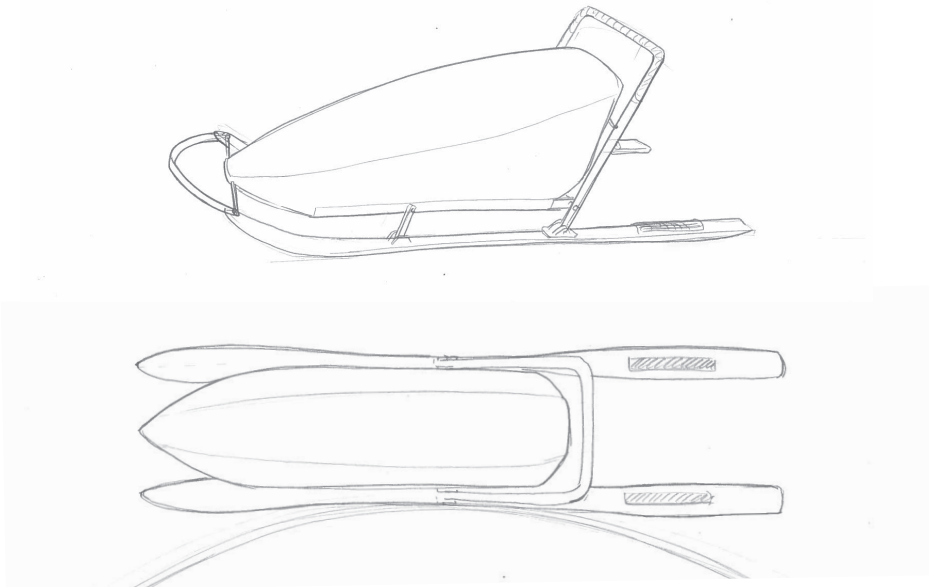
Diskusjon

Konseptet er inkrementelt. Sleden vil være lettstyrt og svingutslag vil trolig være noe større enn eksisterende sleder. En stor ulempe med konseptet er at det ikke er fri bane mellom bakre del av skiene. Fra kravspesifikasjonen ser vi at dette området bør være åpent da fører lettere vil kunne bidra til fremdrift.

Fordeler	Ulemper
+ Enkelt	÷ Relativt tungt
+ Populært	÷ Forstyrret område mellom bakre del av ski
+ Selvoppretting	
+ Robust	
+ Tillater låsing av styresystemet	

6.2.4 Carving-ski

Konseptet består av et tradisjonelt styresystem i kombinasjon med carving-ski tilpasset hundeslede. Carving-ski tar i bruk en geometri med et innsving på sidene. Geometrien fører til et bedre svingutslag ved krenkning av skien. Konseptet er illustrert i Figur 2.21.



Figur 2.21: Carving-ski

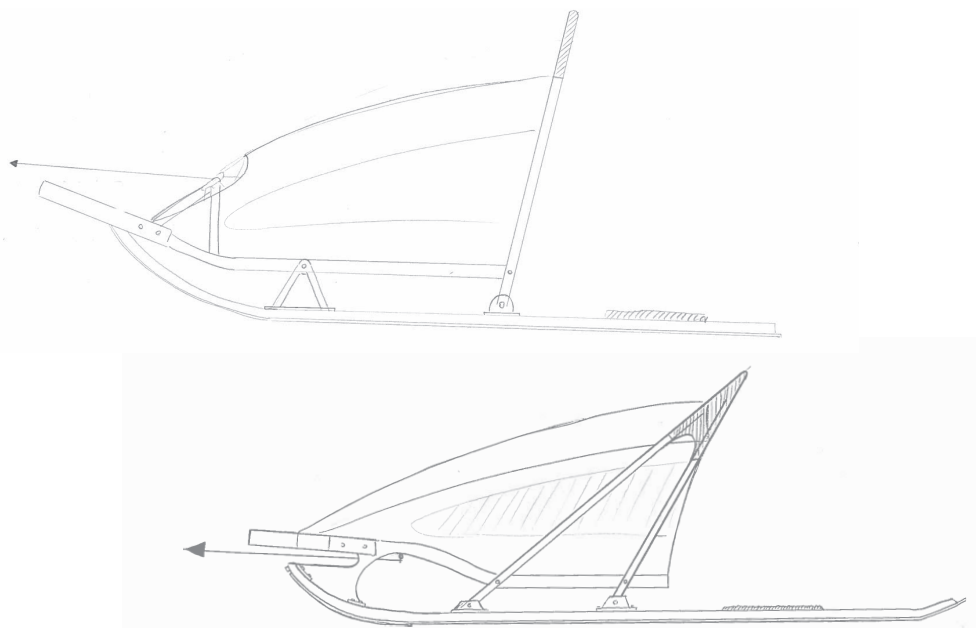
Diskusjon

Effekten av “carving” er velkjent og godt utprøvd i alpinsport, og vil føre til bedre svingutslag. Ulempen med konseptet er at skiene ikke er kompatible med standard belegg. Beleggene er slitedeler som skiftes hyppig under løp.

Fordeler	Ulemper
+ Godt svingutslag	÷ Ikke kompatible med standard belegg
+ Lav vekt	
+ Tillater låsing av styresystem	
+ Enkelt	
+ Selvoppretting	

6.2.5 Justerbart dra-punkt

Et justerbart dra-punkt plasseres på oversiden eller undersiden av tobogganplaten og kombineres med et tradisjonelt styringskonsept med krenkning av ski. Plassering av dra-punktet nærmere rotasjonspunkt vil minske motvirkende krefter fra dra-kraften ved forsøk på svingning. Konseptet forutsetter at det tradisjonelle styresystem gir godt svingutslag uten noen påført dra-kraft. Fører vil selv kunne bestemme hvilken grad av styring han selv vil ha ved å justere posisjonen til punktet. Konseptet er illustrert i Figur 2.22.



Figur 2.22: Justerbart dra-punkt

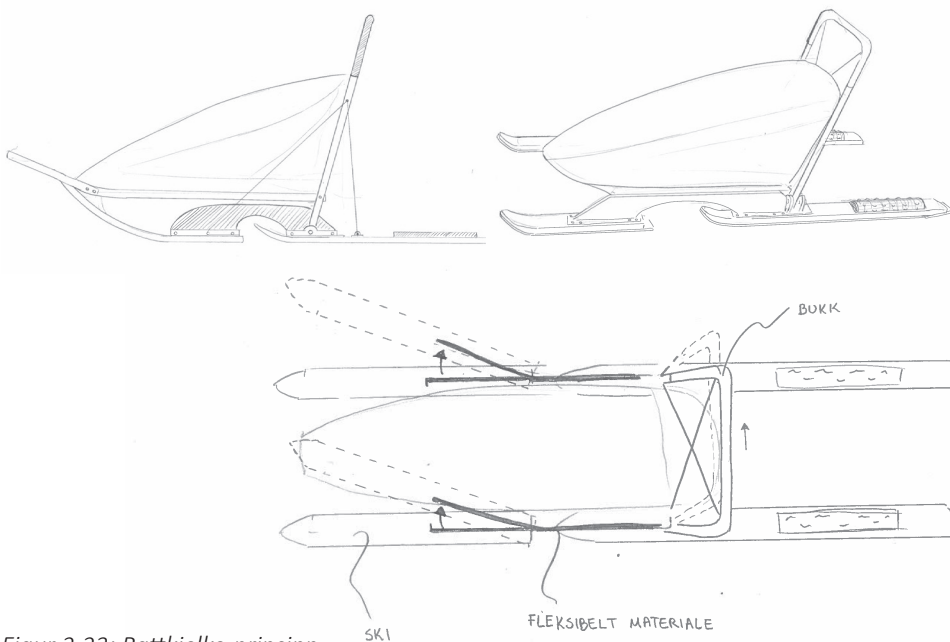
Diskusjon

Som nevnt i kapittel 3 har dra-punktets posisjon stor innvirkning på styrbarheten til en slede. En lettere styring og et økt svingutslag vil kunne oppnås ved dette konseptet. En mer aktiv kjøreteknikk må brukes ved et dra-punkt plassert nærmere rotasjonssenter av sleden, da sledefronten ikke blir dratt i hundenes dra-retning selv om linen strammes. Den aktive styringen er tenkelig uønsket på lengre åpne eller rette strekker der behovet for økt styrbarhet ikke er til stede. Justeringen av dra-punktet muliggjør både god styrbarhet og god retningsstabilitet ved ulike konfigurasjoner.

Fordeler	Ulemper
+ Godt svingutslag	÷ utfordring å unngå snøsamling
+ Lav vekt	÷ Fare for hekting av line
+ Tillater låsing av styresystem	
+ Lett-styrt	
+ Selvoppretting	

6.2.6 Rattkjelke-prinsipp

Dette konseptet består av fire ski, hvorav bakre og fremre ski er forbundet med fleksibelt materiale. Bøying av det fleksible materiale medfører svingning av sleden. Konseptet kan sammenliknes med styringsprinsippet på en rattkjelke der fremre del av meiene bøyes. Skiene er forbundet med et fleksibelt materiale som tillater en rotasjon av front-skien relativt til bakskien sett ovenfra. Ettersom en bukk er ønsket utslagsmekanisme for styring tenkes kraftoverføringen gjort ved et trinsesystem. Konseptet er illustrert i Figur 2.23.



Figur 2.23: Rattkjelke-prinsipp

Diskusjon

Skiene vil kunne roteres, men ikke kreges. Et godt svingutslag er trolig avhengig av en krenkning på skiene, da dette bidrar til godt feste mot underlaget. Konseptet tar i bruk et trinsesystem, noe som medfører bruk av mange deler.

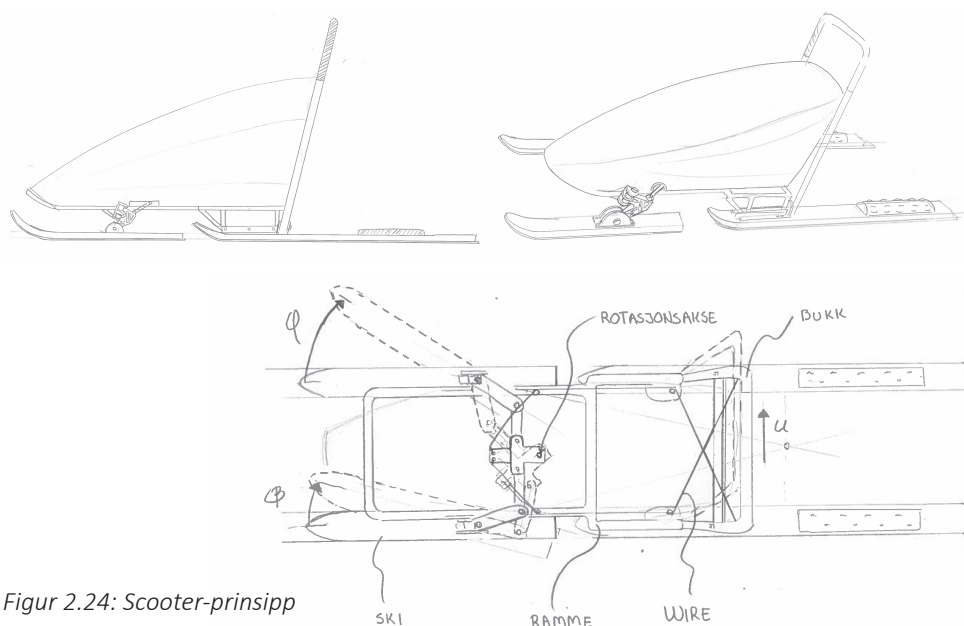
Liknende konsept er i bruk på noen sleder med aluminiumski. Sledene har da kun to ski og bøyer fremre del av skiene i elastisk område i tillegg til krenkning av skiene for å svinge.

Fordeler	Ulemper
+ Godt svingutslag	÷ Ingen krenkning av ski
+ Lav vekt	÷ Mange deler
+ Tillater låsing av styresystemet	÷ Sårbart
+ Tillater selvoppretting	

6.2.7 Scooter-prinsipp

Konseptet (Figur 2.24) kan minne om et snøscooter styreprinsipp der to fremre ski roteres ved hjelp av et mekanisk styresystem. Konseptet vil ha fire ski forbundet med en stiv ramme. Føreren vil stå på de bakre skiene og ved hjelp av en bukk overføre krefter til styresystemet som roterer de fremre skiene. Da lav vekt er ønskelig, kan vaier utnyttes fremfor stag for kraftoverføring fra bukk til styringssystemet. En vaier-løsning som festes øverst i bukken, krysser, før de ved hjelp av trinser kobles på styringssystemet i sledefronten.

Ved bruk av «true» Ackerman styringsprinsipp vil innerskien og ytterskien følge hver sin rotasjonsbane som ideelt samsvarer med de reelle sving-radiusene. Ved i tillegg å vinkle spindles/up-rights noe bakovervendt vil styreskiene få en kantring i tillegg til rotasjon. Dette utnyttes på de fleste snø-scootere og bidrar til økt styrbarhet.



Figur 2.24: Scooter-prinsipp

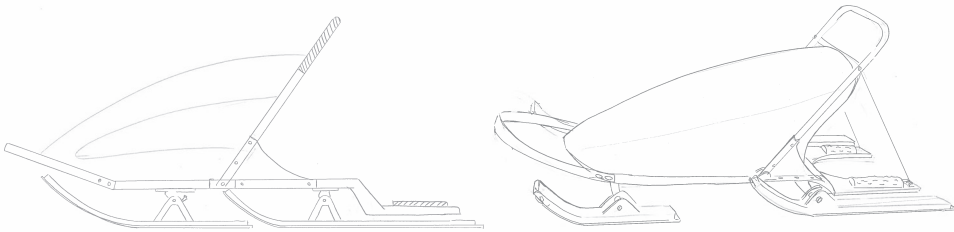
Diskusjon

Konseptet kan potensielt gi meget godt svingutslag. En tillatt rotasjon av fremre ski vil bidra til økt fremkommelighet over kupert partier og liknende, og tillater bruk av lavere skitupper. Systemet består dog av mange deler, er relativt tungt, og sårbart. Ved en ødelagt komponent i styresystemet vil det være stor fare for at sleden mister sin funksjonalitet.

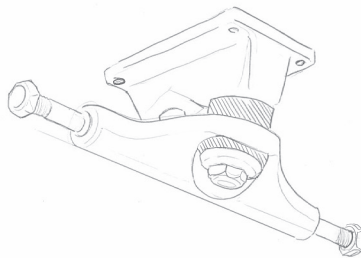
Fordeler	Ulemper
+ Godt svingutslag	÷ Mange deler
+ Tillater låsing av systemet	÷ Sårbart
+ Tillater selvoppretting	÷ Relativt tungt
+ Tillater bruk av lavere skitupper	÷ Kostbart

6.2.8 Skateboard-prinsipp

Et skateboard styres ved hjelp av et par "trucks", illustrert i Figur 2.26. Ved sidelast vil et sett foringer komprimeres og endrer da vinkelen til de stive akslingene der normalt hjulene vil være festet. Hardheten på foringene samt for-strammingen av mutter vil være avgjørende for hvor stort svingutslag en kan oppnå. Konseptet (Figur 2.25) benytter et sett "trucks" med hjul erstattet med ski. "Truckene" må da være skalert opp i dimensjon for å være sterke nok for bruk på en hundeslede. To akslinger og fire ski. Styring skjer ved forflytting av last mot en side i kombinasjon med en kregning av bukken. Rotasjon av begge akslingene fører til svingutslag.



Figur 2.25: Skateboard-prinsipp



Figur 2.26: Skateboard Truck

Diskusjon

Konseptet vil kunne gi en lettstyrt slede med et meget godt svingutslag. En stor ulempe med konseptet er bruken av akslinger på undersiden av toboggan-platen. Da denne platen skal kunne fungere som glidflate i dyp løssnø, vil akslingene være uønsket. Det er i tillegg stor fare for hekting av akslingene i røtter eller liknende. Sårbarheten er stor da en sleden er avhengig av et intakt styresystem for å kunne brukes. Bolten som forbinder akslingen med basen i en "truck" vil være spesielt utsatt.

Fordeler	Ulemper
+ Godt svingutslag	÷ Sårbart
+ Selvoppretting	÷ Utstikkende komponenter
+ Lett å styre	÷ Ingen ideell glidflate
	÷ Komplisert
	÷ Relativt tungt
	÷ Liten retningsstabilitet

6.3 Konseptevaluering

6.3.1 Evalueringstabell

Konseptene ble satt opp mot hverandre i en evalueringstabell (Tabell 2.3). I tabellen er konseptene blitt tildelt poeng i ulike kategorier. Ettersom kategoriene ikke vil veie likt i en avgjørelse av konsept, har de blitt vektsatt.

Tabell 2.3: Konseptevaluering

	Vekting	Konsept							
		Skråstilt bukk	Frigjorte skitupper	Henger	Carving	Justerbart drapunkt	Rattkjelke	Scooter	Skateboard
Økt styrbarhet	45%	2	2	3	4	4	3	5	5
Lav vekt	20%	5	5	2	5	4	4	3	1
Robusthet	20%	4	4	5	5	5	2	3	1
Kostnad	5%	5	5	4	1	4	2	4	1
Utviklingstid	5%	5	5	4	1	4	2	4	1
Standarddeler	5%	5	5	4	1	3	3	2	1
Sum	100%	3,45	3,45	3,35	3,95	4,15	2,9	3,95	2,8

Forklaring til tabellen:

- Poeng fra 1 til 5 der 5 er best
- Økt styrbarhet: Maksimalt svingutslag,
- Lav vekt: Totalvekt av hele systemet
- Robusthet: Hvor utsatt systemet er for å bli skadet/ødelagt under bruk og hvor lenge det vil fungere før en er nødt til å bytte deler
- Kostnad: Rene produksjonskostnader
- Utviklingstid: Hvor lang tid som kreves før en kan ha et fungerende produkt. Dette er også noe knyttet til kostnad da lang utviklingstid betyr høyere kostnad.
- Standarddeler: I hvilken grad standarddeler kan brukes. Hovedsaklig rettet mot tilgjengelighet av deler. Dette er i tillegg knyttet til kostnad da standardiserte deler ofte er masseprodusert og billig.

6.2.9 Diskusjon

Alle konseptene har en tenkt økt styrbarhet, men graden av styrbarhet varierer. De mer konservative konseptene kommer dårligst ut av kriterium "økt styrbarhet", men scorer relativt godt i de resterende kategoriene. Generelt scorer de mer radikale konseptene best på graden av styrbarhet og varierende i de andre kategoriene.

Konseptene rundt drapunkt, scooter, og carving kommer best ut av tabellen.

Carving

Carving-ski vil som en kan se av tabellen trolig føre til stor grad av økt styrbarhet. Designet på sleden kan gjøres lettvektig og enkelt. Glideflaten som blir brukt på hundesleder er utskiftbare plastbelegg. De kommer på større ruller fra leverandør og kuttes til i riktig lengde. Beleggene skiftes gjerne på hvert sjekkpunkt under konkurranse. Med carving-ski vil en ikke kunne bruke disse eksisterende beleggene. Beleggene er slitedeler og det bør være enkelt og rimelig å få tak i nye belegg. En produksjon av carving-belegg er definitivt dyrere

enn eksisterende produksjon av belegg. Carving-belegg vil dessuten måtte produseres for en spesifikk innsving og lengde på skien. Grunnet ulempene på dette området velges det ikke å gå videre med carving-ski-konseptet.

Justerbart dra-punkt

Dra-punkt scorer generelt godt. Et dra-punkt plassert nærmere rotasjonspunkt vil gi føreren økt kontroll over sleden forutsatt at sleden har et fungerende styresystem som gir godt svingutslag uten noen dra-kraft. Dette styringssystemet er tenkt som et mer tradisjonelt system der sleden svinges ved krenkning av bukk og ski. Det tradisjonelle styresystemet kan hente inspirasjon fra de inkrementelle konseptene skråstilt bukk og frigjorte skitupper for å optimisere krenkning av skiene.

Scooter

Scooter-konseptet vil trolig gi best svingutslag, men består av mange deler. Designet kan bli komplisert og tungt sammenlignet med andre alternativer.

6.2.10 Valg av konsept

Det var, i arbeidet med denne oppgaven, lenge usikkert hvilket av disse konseptene en skulle gå videre med. Arbeidet ble i tidlig fase prioritert konseptet rundt et scooter-prinsipp, da konseptet virket mest lovende og ville bringe mye nytt til sporten. Etterhvert som designet ble mer detaljert, ble ulempene klarere, og valg av konsept ble revurdert.

Scooterprinsippet vil nemlig trenge noe mer bærende struktur, da en må danne en stivhet mellom fremre og bakre ski. Dette kan gjøre sleden relativt tung. Løpene er lange og sleden må tåle store påkjenninger. Ved en ødelagt slede gjelder det å komme seg til sjekkpunkt for sledebytte eller reparasjon. En stor svakhet med konseptet er nettopp dersom en kritisk del i styremekanismen skulle gå i stykker under et løp. Sleden er helt avhengig av et fungerende styresystem for å kunne brukes.

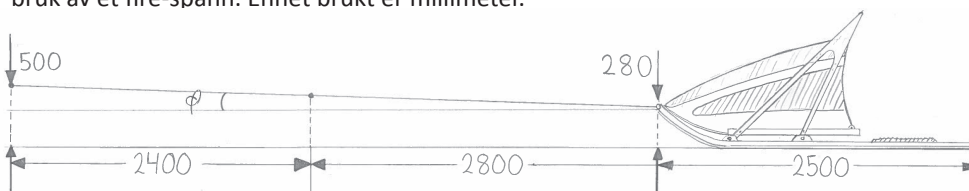
Drapunkt-konseptet kan derimot gjøres enkelt, robust og lett-vektig. Trolig vil et godt designet tradisjonelt styringssystem i kombinasjon med et forflyttet dra-punkt kunne gi kontrollert og krapp styring, og dette konseptet velges av disse grunner til og jobbes videre med.

7 Detaljering

I dette kapittelet vil delkonsepter presenteres og evalueres. Valg av løsninger er tatt med utgangspunkt i å tilfredsstille produktkravspesifikasjonen på en best mulig måte. Valgene vil presenteres og begrunnes. I slutten av kapittelet vil det endelige designet presenteres.

7.1 Høyden på dra-punkt

På eksisterende sleder observeres at høyden på dra-punkt ligger på rundt 280mm. Dette fører til at dra-tauet blir slakt vinklet oppover og når først hundenes faktiske dra-høyde (omkring 500mm) på de fremste hundene, lederduoen. Det måler 2800mm fra dra-punkt til den bakerste hundeduoen. Fremover i spannet er duoene atskilt med 2400mm. Vinklingen av tauet vil minske med antall hunder i spannet. Antall hunder brukt som starter i langdistanse konkurranser er gjerne 12-16. Figur 2.27 illustrerer vinklingen av tauet ved bruk av et fire-spann. Enhet brukt er millimeter.



Figur 2.27: Høyde av dra-punkt og vinkling av tau.

Fra samtaler med Roar Wolden og andre personer i miljøet forstår vi at høyden på dra-punkt er et mye diskutert tema. Noen mener et lavt dra-punkt er å foretrekke da dette kan gi sledefronten et løft. Samtidig er det mye snakk om uheldig belastning av de bakerste hundene ved et lavt dra-punkt. Da vårt bidrag til produktutvikling av en ny slede er fra et teknisk ståsted, velges det å ikke gå inn på hundevelferd. Ved et lavt dra-punkt vil som nevnt sledefront kunne få et løft, noe som tenkelig er positivt for å unngå at sleden graver seg ned i dyp snø eller liknende. Sleden vil i tillegg ha noe høyere stabilitet. Det sees derimot ingen grunn til å ha punktet lavere enn dagens sleder, og høyden beholdes av den grunn omkring likt som eksisterende modeller.

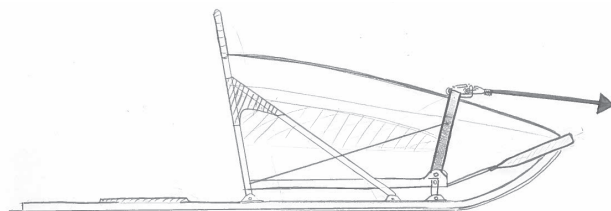
7.2 Tau må ha klaring

Tauet må ha god klaring i horisontal retning. Dersom tauet hindres bevegelighet i dette planet dannes i teorien et nytt dra-punkt som overfører sideveis krefter ved svingning. Ulike konsepter for klaring av tau blir presentert og evaluert på de kommende sidene.

7.2.1 Konsepter for klaring av tau

Bøyle over sledetrekk

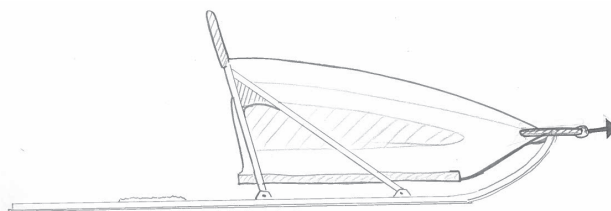
Tauet er her festet i toppen av en bøyle på oversiden av sledetrekket. Illustrert i Figur 2.28. Konseptet er enkelt, men medfører et høyt dra-punkt som ikke enkelt kan justeres. Med en standardinnfesting av dra-tau nederst i bukk-stagene vil fronten presses noe ned med en slik konfigurasjon. Dette er ikke ønskelig. I tillegg er det ønskelig med en uforstyrret overflate av sledetrekket da også denne plassen ofte brukes til oppbevaring



Figur 2.28: Bøyle over sledetrekk

Tau på bøyle

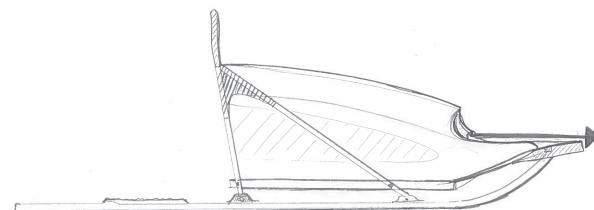
Dra-tau går igjennom en ring som er festet rundt frontbøylen. Ringen er fri til bevegelse langs bøylen. Ved svingning vil ringen dras ut mot siden av bøylen og en vil oppnå effekten av å ha dra-punktet plassert et lite stykke lenger bak. Konseptet vil trolig ikke ha veldig stor effekt og vil ligne mye på eksisterende strikk-løsninger. Konseptet er illustrert i Figur 2.29.



Figur 2.29: Tau på bøyle

Hull i sledetrekk/ dobbel toboggan i front

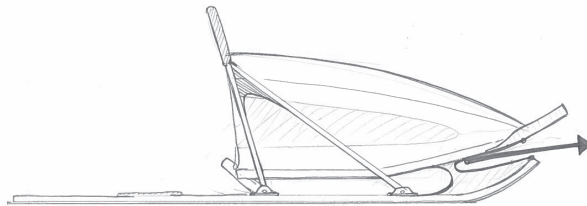
Dersom dra-punktet er plassert i en glippe i sledetrekket, illustrert i Figur 2.30, eller i mellom en dobbel toboggan vil en lett kunne justere punktet samt oppnå ønskelig høyde av punktet og klaring av tauet. En slik løsning vil dog fungere som en snø-, -og vind-fanger.



Figur 2.30: Hull i sledetrekk

Undersiden av toboggan

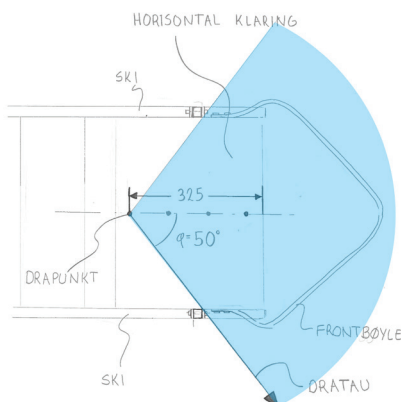
Ved innfesting av tau på undersiden av toboggan, som illustrert i Figur 2.31, kreves et forhøyet fremparti av toboggan for å opprettholde eksisterende høyde av dra-punkt. For å oppnå ønsket klaring og unngåelse av hekting av tauet kreves i tillegg en glippe mellom ski og toboggan.



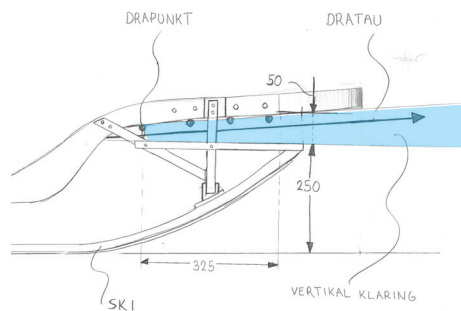
Figur 2.31: Dra-punkt plassert på undersiden av toboggan

7.2.2 Evaluering

Da det var ønskelig å beholde eksisterende høyde og vinkel på dra-tau, unngå snøsamling, samt kunne justere dra-punktet ble det bestemt at dra-punktet skulle plasseres på undersiden av en toboggan som er forhøyet i front. Maksutslag i horisontal retning blir satt til rundt 50 grader, illustrert i Figur 2.32. Den vertikale klaringen er kun en mindre glippe på rundt 50mm, som illustrert av Figur 2.33. Ved bakketopper eller i bunnen av dumper kan dra-tauet ta borti og påvirke styre-egenskapene noe. Glippen er satt liten da dette blir et kompromiss mellom høyde på front-ski da høyden på dra-punktet tidligere er satt. Ved en lavere ski vil sleden kunne hekte i underlaget i bunnen av bratte dumper. Dette kan medføre bråstopp.



Figur 2.32: Horisontal klaring av tau



Figur 2.33: Vertikal klaring av tau

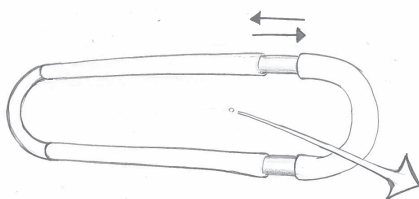
7.3 Unngå hekting av tau

Utfordringen med klaringingen av tauet er å unngå hekting av tau i ski eller andre sledekomponenter. Etter en skarp sving må tauet rettledes inn i "glippen" mellom toboggan og ski for å unngå å havne på undersiden av skiene.

7.3.1 Konsepter for unngåelse av hekting av tau

Teleskop

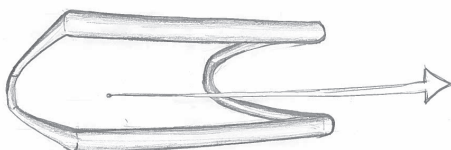
En teleskopløsning, illustrert i Figur 2.34, vil ved svinging kunne følge med tauet ut til siden. I det sleden rettes opp igjen følger endestykket med tilbake til utgangsposisjon ved hjelp av en strikkløsning. Løsningen utelukker muligheten for hekting av tauet i skiene.



Figur 2.34: Teleskop-løsning

Bøyle

En bøyle av typen illustrert i Figur 2.35, montert i front, vil kunne utelukke hekt av tauet mellom ski og vanskeliggjøre hekt på yttersiden.



Figur 2.35: Bøyle

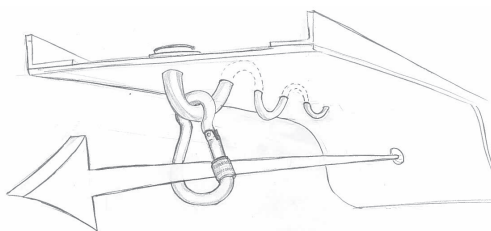
7.3.2 Evaluering

Med bøyle-løsningen er det en liten mulighet for hekting av tauet til stede. Allikevel velges denne løsningen å gå videre med da den i motsetning til teleskopløsningen er enkel, robust, og har ingen utstikkende komponenter som kan bli revet av ved kollisjon.

7.4 Justerbarhet

Drapunktet vil i første omgang kun være justerbart når sleden står i ro. Etappene har ulikt terreng og ulikt behov for styring. Førerne er som regel godt kjent med strekningene de skal kjøre og tanken er at fører selv gjør en vurdering og velger dra-punkt-konfigurasjonen han/hun vil kjøre med kommende etappe. Fordelen med en slik justerbarhet fremfor en justerbarhet som kan skje i bevegelse, er at den lettere kan utformes lett-vektig og robust

Justeringen skjer ved manuell flytting av karabinkrok. Et sett med festepunkter finnes på undersiden av tobogganplaten. Festepunktene er tau-løkker tredd som en bølge igjennom hull i tobogganplaten. Det innerste festepunktet måler 350mm fra fronten av tobogganplaten. Løsningen er illustrert i Figur 2.36.



Figur 2.36: Justerbarhet av dra-punkt

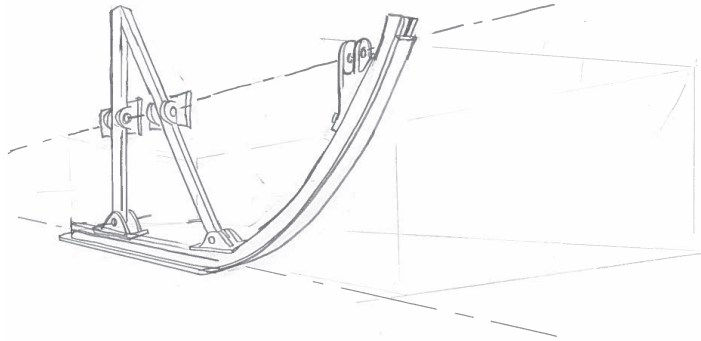
7.5 Bukk

Ved sterkt skråstilt bukk vil man forsøke å rotere skien om en annen rotasjonsakse enn kun krenkning av skien. Noe av kreftene vil allikevel krenge skien om ønskelig akse. Ved bruk av en mindre torsjonsstiv ski kan en sterk skråstilt bukk være løsningen på å få krenkning på skien i området på skien med størst betydning for svingutslag. Ved en meget torsjonsstiv ski vil ikke skråstilte stag eller doble stag være nødvendig for å få god krenkning av skien på det aktuelle område. Ettersom skiene testet ser ut til å krenge bedre på aktuelt område ved en skråstilling av stag, ble doble stag valgt. Doble stag er i tillegg en styrkemessig sikkerhet. Høyre og venstre side av bukken ble forbundet med elastisk gummimateriale. Dette gir en ønsket stivhet og bidrar til selvoppretting.

7.6 Innfesting av ski

Et større fokus på valg av frihetsgrader ved innfesting av ski vil kunne tillate skien å krenge mer. Fremfor et tradisjonelt slededesign med et tverrstag festet til skituppene, velger jeg å se på sleden som et parallelogram. Dette er illustrert i Figur 2.37. På tradisjonelt vis utnyttes et fleksibelt materiale mellom bukk og selve toboggan-platen for å få en stivhet og god selvoppretting. Innfesting av fremre del av ski og toboggan-plate skiller seg fra andre design. Fremfor et tverrstag med kuleledd i endene velges braketter med kun én frihetsgrad. Frihetsgraden er skiens rotasjonsakse om toboggan-platen og står derfor i

samme høyde som de bakre festepunktene mellom disse komponentene. Tobogganplaten kan i dette designet være helt stiv og en vil likevel oppnå en god kregning av skiene da innfestingen i front ikke drar med seg tobogganplaten sideveis ved kregning av skiene. Ingen av innfestningene vil motvirke kregning av skiene annet enn den ønskede fleksibiliteten i toboggan-platen.



Figur 2.37: Innfesting av ski til toboggan

7.7 Skisser av sledeutforming

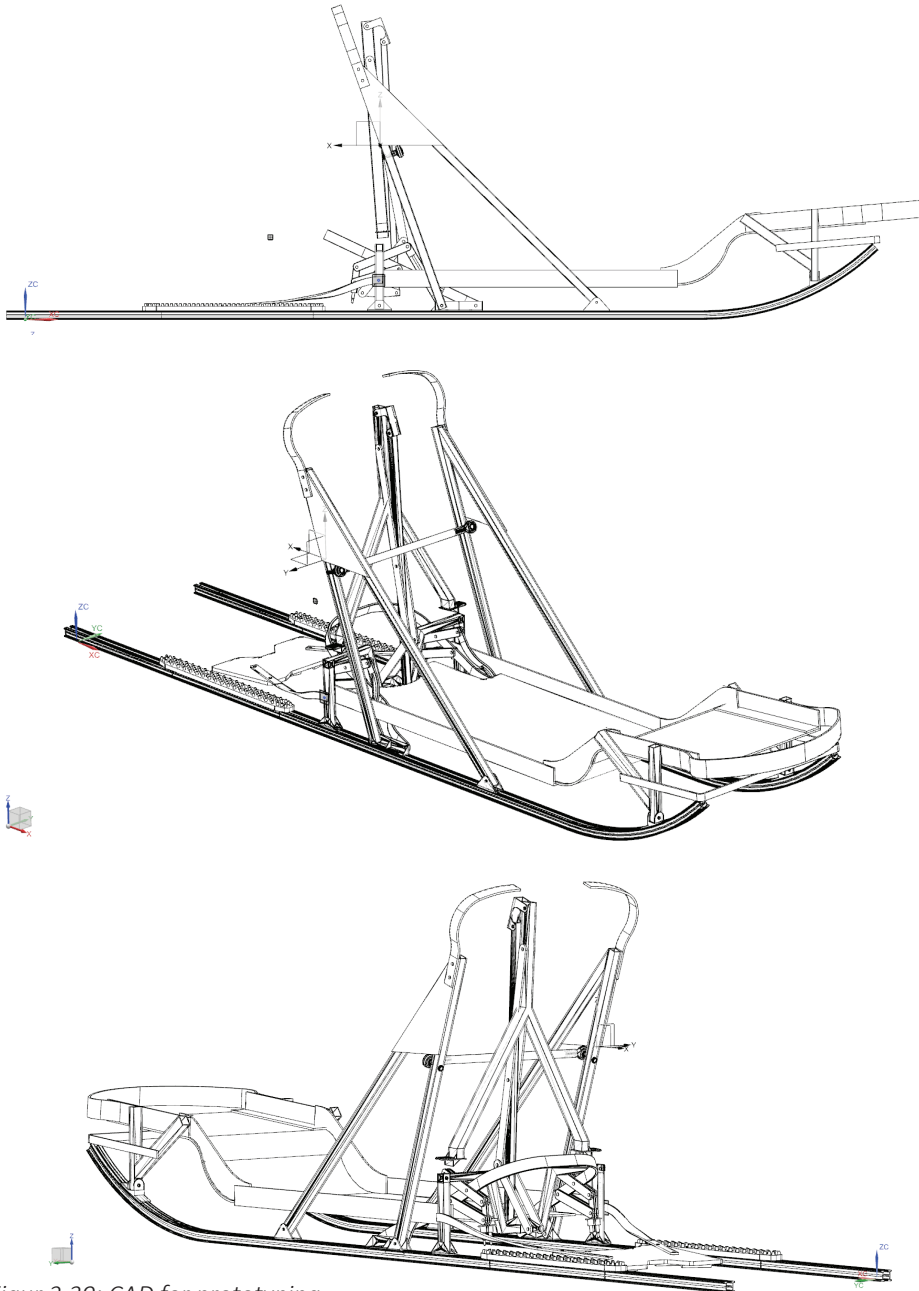
Skisser av tenkt sledeutforming er illustrert av Figur 2.38.



Figur 2.38: Skisser av sledeutforming

7.8 CAD for prototyping

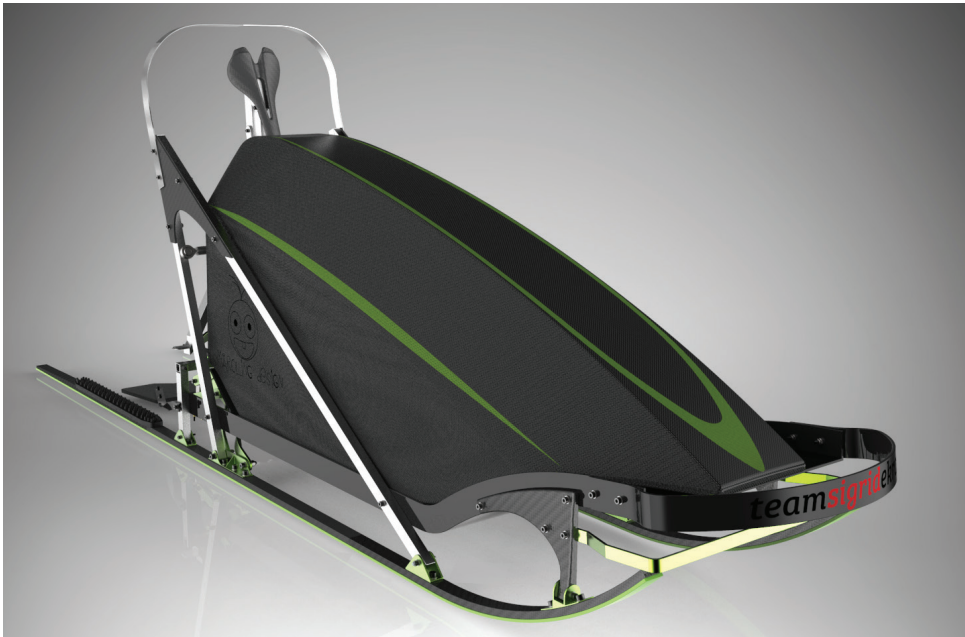
Som et hjelpemiddel for detaljering og sammeføying ble dataprogrammet Siemens NX tatt i bruk. En enkel CAD-modell (Figur 2.39) ble generert med tanke på prototyping. Denne CAD-modellen vil bli brukt videre som et hjelpemiddel for konstruksjon.



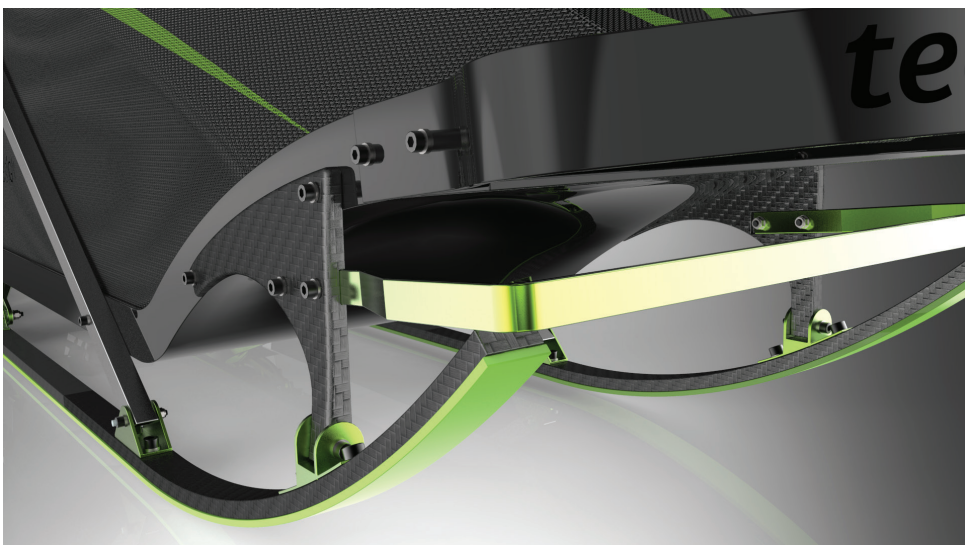
Figur 2.39: CAD for prototyping

7.9 CAD

Videre ble en mer detaljert CAD-modell (Figur 2.40, Figur 2.41, Figur 2.42) generert for en visuell fremstilling av av konseptet. Modellen viser et mer realistisk bilde av hvordan en produksjonsklar slede kan se ut.



Figur 2.40: Fullstendig CAD-modell



Figur 2.41: Frontparti av CAD-modell



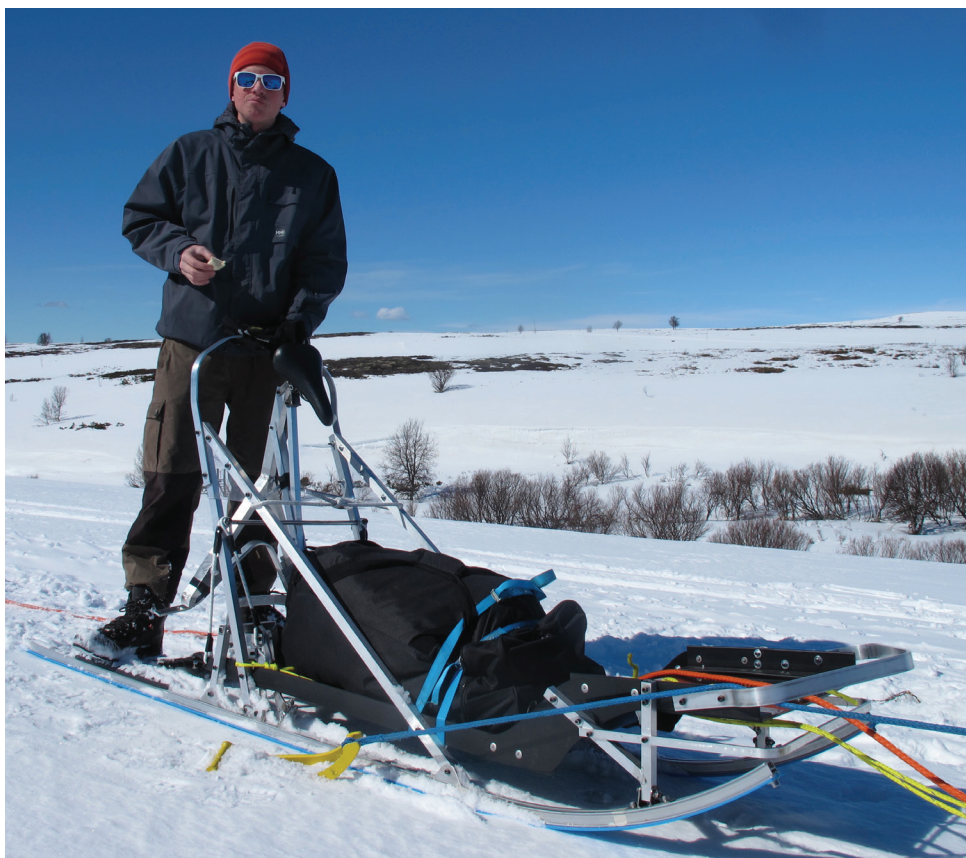
Figur 2.42: CAD-modell sett forfra

8 Prototype

Fra tegninger og CAD-modell ble det konstruert en prototype av sledekonseptet. Prototypen ble kombinert med prototype for brems og sete.

Etersom prototypen ble konstruert for funksjonstesting av konseptet, samt visuell inspirasjon til videre utvikling, ble det lagt lite fokus på vekt, termiske egenskaper og korrosjonsbestandighet for å forenkle konstruksjonen. Eksempelvis ble braketter valgt sveist i stål fremfor frest i aluminium da produksjonstiden er betydelig kortere.

På de kommende sidene vil bilder av prototypen bli illustrert av Figur 2.43 - Figur 2.47.



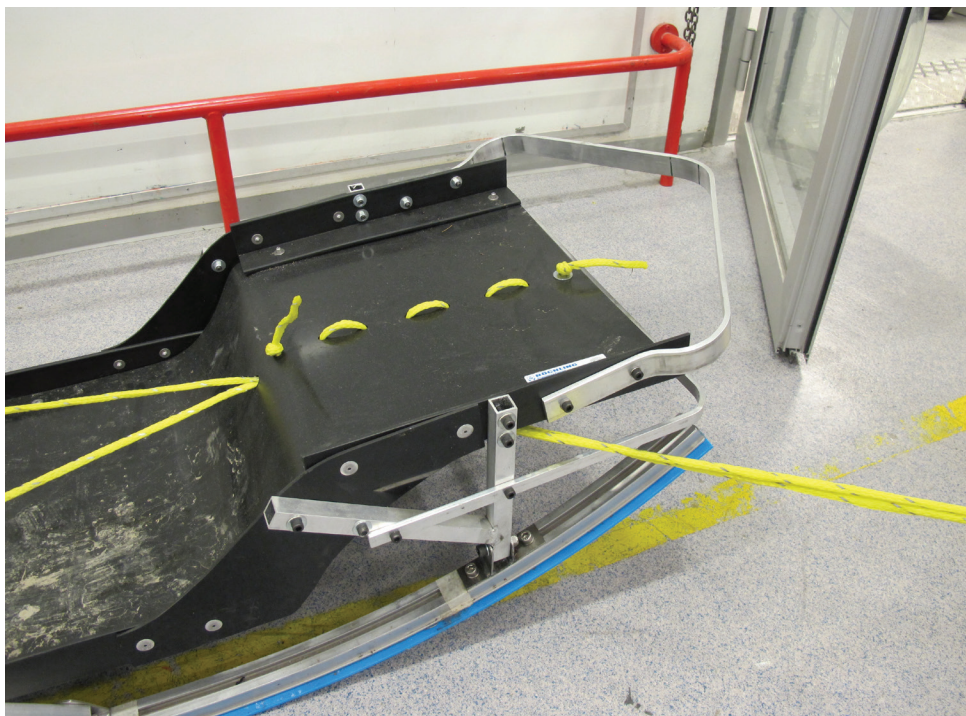
Figur 2.43: Komplette prototype



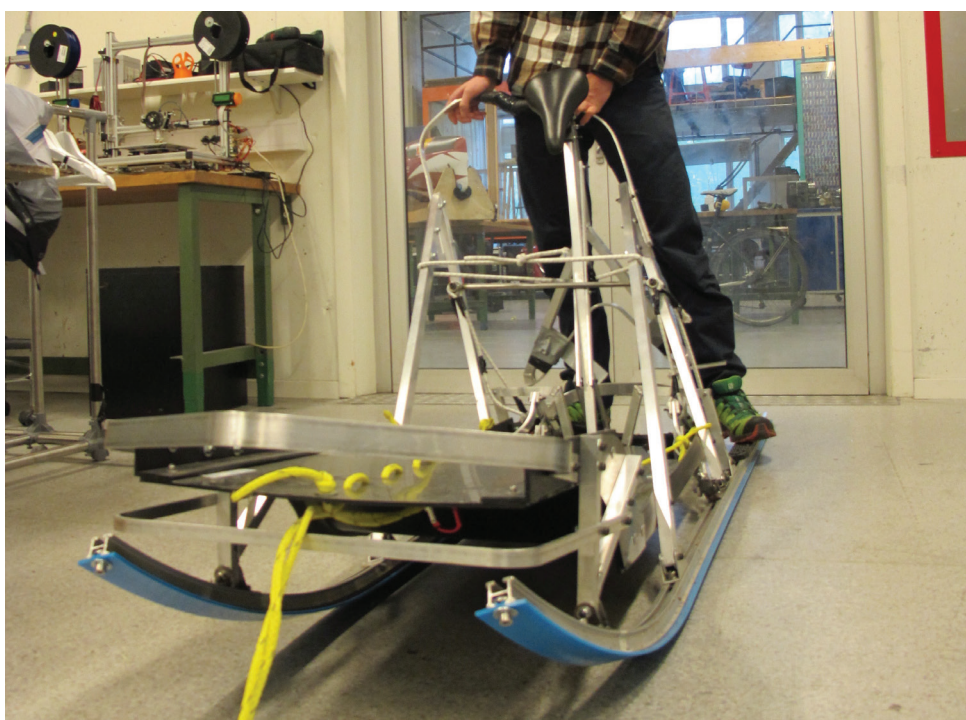
Figur 2.44: Frontparti med justerbart drapunkt



Figur 2.45: Profil



Figur 2.46: Horizontal klaring av tau



Figur 2.47: Krenning av ski

9 Resultat

9.1 Testresultater

9.1.1 Meget godt svingutslag

Omkring halvparten av prototype-testingen ble kjørt på noe løsere snø og her merket en stor forskjell fra de andre sledene som ble testet. Styringen var leken og en kunne lett unngå steiner og røtter i løypa. Skiene krenget godt og det nye dra-punktet tillot sleden lett å svinge langt ut til siden. Styringen ble testet hardt ved bråe svinger i, -og utenfor den oppkjørte løypa. Utenfor løypa var det løsere snø, og en merket at styringen ble enda bedre her. Fra Figur 2.48 kan en få et inntrykk av styrbarheten til prototypen.

”Skiene krenger godt, og konseptet har et stort potensial” - Amund Kokkvold



Figur 2.48: Testing av prototype

9.1.2 utfordringer på skareføre

Den første kilometeren ble kjørt på skareføre. Prototypen ble kjørt med 50 mm blått glidebelegg på skiene, noe bredere enn de andre testsledene. Disse beleggene er beregnet for dyp løssnø, og førte til at en på is og skare lett ufrivillig skled sidelengs med prototypen. Styrbarheten ved krenkning av ski på skareføre var liten. Skiene fikk ikke skikkelig tak og det eneste som gav brukbart svingutslag var skrensing. Smalere belegg og mer vekt i sleden ville trolig ha gitt en god styrbarhet også på skareføre. Til sammenligning kunne heller ingen av de andre testsledene svinge godt på skare.

9.1.3 Mangler stivhet mellom bakre del av ski

En manglende stivhet mellom skienes bakre del ble fort oppdaget ved testing. Når sleden blir tatt i bruk vil skiene grunnet denne mangelen ploge noe da bakre del av skiene vil gli noen centimeter fra hverandre ved normal stående førerposisjon. Normalt er det tobogannplaten med tilhørende plastvinkler som danner denne stivheten slik at avstanden mellom skiene forblir konstant. Prototypen har en svakhet i at tobogannplaten og plastvinklene har spor i bakre del for å frigjøre plass til bremsen. Dette medfører at sleden vil føles noe vinglete.

”Føles litt som første gang du står på ski” - Amund Kokkvold

9.1.4 Holdt til mål

Det var en viss skepsis rundt å legge ut på tur med en prototype som “aldri hadde sett snø før” og ble ferdigstilt bare timer før test. Amund så ingen problemer med en skikkelig testrunde og foreslo at prototypen skulle testes på en tre miles tur på lik linje med de andre tre medbrakte sledene. Sleden besto testen med glans, foruten noen bøyde braketter til brems og sete. Bøyen av brakettene var ikke kritisk og testingen kunne fortsette som normalt.

10 Veien videre

10.1 Utbedring av funksjonalitet

10.1.1 Stivhet mellom ski

Ved test av prototypen ble det avdekket en manglende stivhet mellom bakre del av skiene. Dette kunne lett føre til uønsket ploging. Normalt er stivheten fra tobogganplaten, som forbinder nedre del av bukken, tilstrekkelig for å unngå dette problemet. I arbeidet med å kombinere prototype for brems og sete med prototype for styring ble det bestemt kuttet i bakre del av tobogganplaten for å oppnå ønsket posisjon av komponentene. Da prototypen ikke har en inntakt tobogganplate på dette området, er ikke stivheten tilstrekkelig og bør utbedres. Justeringer av designet for å beholde stivheten fra toboggan eller et påmontert tverrstag på nedre del av bukken, i høyde med toboggan, tenkes å være tilstrekkelig.

10.2 Utbedring av brukervennlighet

10.2.1 Økt stivhet

For å oppnå en mer komfortabel styring og bedre retningsstabilitet trengs mer stivhet generelt. På dette området tenkes strikker brukt til avstivning av bukken. Festemateriale av høyre og venstre bukk-stag har i tillegg stor innvirkning og kan vurderes mindre elastisk.

10.2.2 Høyde på bukk

Høyden på bukken må tilpasses brukeren. Dette kan gjøres ved en justerbarhet av den øverste delen på bukken, eller ved spesialtilpasning for den aktuelle brukeren.

10.3 Annen utbedring

10.3.1 Høyde på dra-punkt

Høyde på drapunkt er som tidligere nevnt et mye diskutert tema i miljøet. Ved testkjøring nevnte Amund Kokkvoll at dra-punktet så noe lavt ut. Høyden er hentet fra eksisterende løsninger, men vil i innerste posisjon trolig være noen centimeter lavere enn normalt dersom spennet er langt. Desto lengre spennet er, desto mindre vinkel vil dra-tauet ha relativt til horisonten.

10.3.2 Vektreduksjon

Materialvalg og dimensjonering for å minimere vekt av sleden har ikke blitt prioritert i arbeidet med denne oppgaven, og er et naturlig steg videre i utviklingsprosessen. Tobogganplaten tenkes ned-dimensjonert i tykkelse. Videre tenkes en komposittløsning

fremfor aluminiums-stagene og bøylene i sledefronten. Dersom en ski blir utviklet tilstrekkelig torsjonsstiv kan en vurdere en bukk med enkle stag fremfor doble.



BREMS OG SETE



11 Introduksjon

Arbeidet i prosjektoppgaven gikk ut på å avdekke kjørernes behov til en ny slede og å bli kjent med hundekjøringssporten samt eksisterende teknologi. Punktene under belyser de utløsende faktorene for valget om å skulle starte utvikling av ny brems og sete samt mål og resultat av oppgaven.

11.1 Utløsende faktorer

11.1.1 Brems

I samtaler med andre hundekjørere og da spesielt Sigrid og Amund har vi kunnet slå fast at økt bremskraft på hovedbremsen er ønskelig. Sigrid påpekte at hun ofte er nødt til å bruke begge bein på bremsen i utforkjøringer for å kunne kontrollere spannet da hun rett og slett ikke veier nok til å kunne overføre nok kraft mot underlaget til at spannet kan tøyles. Det sier seg selv at å balansere på bremsen i ulendt terreng ikke er en sikker måte å håndtere sleden på.

Som i mange andre risikoidretter og generelt i samfunnet så står gjerne sikkerhet øverst på prioriteringslisten. Det konkluderes derfor i prosjektoppgaven med at problemet med for liten bremskraft på hovedbremsen må løses da denne er tett knyttet til førerens sikkerhet [1].

11.1.2 Sete

Langdistanse hundekjøring bærer preg av ekstremt store distanser og dertil ekstreme konkurransetider. Komfort og minst mulig fysisk belastning er av stor betydning for gode prestasjoner under løp. Flere av dagens sleder kan leveres med løsninger for sete, der de aller fleste leveres med samme enkle konstruksjon.

Amund uttrykte et sterkt ønske om at et sete skulle integreres i en eventuell ny slede i tidlig fase av utviklingen. Sigrid påpekte også klemfaren ved dagens løsning der setet er plassert bak beina til fører. For å kunne hjelpe hundene det lille ekstra når det går tungt ønsker Sigrid at plassen bak beina skal være fri slik at hun lett kan hjelpe til ved å dytte bak bukken på sleden.

11.2 Målsetting

Målsettingen er å utvikle og teste en ny type løsning for brems og sete som bidrar til en bedre og sikrere brukeropplevelse for føreren, samt supplere med andre konseptuelle tanker og ideer som kan bidra til nytenkning i et konservativt miljø.

11.3 Leveranse

Oppgaven vil resultere i en dyptgående konseptfase med presentasjon av alternative konsepter og evaluering av disse. Videre vil det bli konstruert en prototype for testing der et valgt konsept vil bli testet og vurdert. En komplett 3D modell av sleden vil bli utarbeidet. Oppgaven skal også danne et solid grunnlag som det kan bygges videre på i seinere masteroppgaver eller annet arbeid.

12 Spesifisert behovsanalyse

For å seinere kunne sette opp kvantitative og målbare data som kan brukes til utviklingen, samt mer spesifikke behov, vil jeg her gå i detalj på rammebetingelsene for de delene og systemene som skal utvikles.

12.1 Observasjoner

Sigrid, har som nevnt tidligere, uttrykt et ønske om en mer effektiv brems da hun ofte kan ha problemer med å stoppe fort nok.

Under årets Femundløp valgte Sigrid å kjøre løpet uten sete mens Amund valgte å kjøre med. Sigrid har en noe annerledes måte enn Amund å kjøre slede på noe som kan være årsaken til hennes valg å kjøre uten sete. Hun har som vane å stå og sparke ifra jevnt og trutt gjennom en konkurranse for å hjelpe spannet.

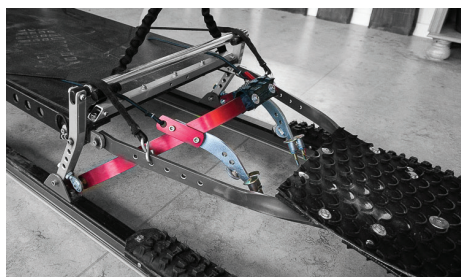
Vi besøkte også første sjekkpunkt etter start for å observere hvordan en sjekkpunktrutine foregår for førere og hjelpeapparat rundt. Flere førere hadde store problemer med å holde igjen spannet før start. Noen stod med full vekt på bremsen og allikevel hadde de problemer med å tøyte spannet.

12.2 Brems

Sledene har i alt tre bremseser, en brems for regulering av fart under kjøring, en for å stoppe sleden samt holde den i ro før kjøring, og et anker som settes i bakken for å hindre at spannet drar av gårde om en må forlate sleden. Førstnevnte [Figur 3.1] brukes i lange perioder underveis i løpet for å begrense farten på hundene, slik at belastningsskader unngås og at en er sikker på at spannet holder hele veien til mål. Den andre bremsen [Figur 3.2], hovedbremsen (seinere i oppgaven, enkelte ganger kun omtalt som "bremsen"), er den som i stor grad ivaretar sikkerheten til førerne under løp. Den skal være kraftig nok til at en kan foreta effektive stopp og hindre at spannet fortsetter uten førerens tillatelse.



Figur 3.1: Skutermatte



Figur 3.2: Hovedbrems

12.2.1 Løyper og underlag

Løypene det kjøres konkurranser i er kjørt opp av skuter. Dette gjør at det som oftest er en såle å kjøre på, men under løp som varer over flere døgn og som går på værutsatte steder, vil løypa endres mens kjørerne er ute. Løssnø, is, hardpakket snø, sørpe, barmark, er alle underlag som en vil kunne møte underveis i et langdistanseløp. En brems som fungerer på alle typer underlag vil være helt essensielt.

12.2.2 Bruksmønster

Etter mer inngående analyser og erfaring fra bruk underveis i arbeidet med masteroppgaven har bildet av hvordan hovedbremsen brukes blitt noe mer komplekst. Spesielt i ulendt terreng der rask manøvrering og små marginer er mer vanlig, brukes bremsen også til å styre sleden. I en nedoverbakke med sving i bakken vil sleden kunne gli fortere enn det hundene løper. Om en ikke bremses blir linen til sleden slakk og sleden kjører rett frem i svingen helt til linen strammes og sleden blir brått dratt til siden for å følge etter hundene. Bremsen brukes i disse tilfellene til å holde linen stram slik at retningen hundene løper er gjeldende for hvor sleden kjører.

Ingen konkurranser går utelukkende i flatt terreng. Bakker opp og ned vil for alle konkurranser være en viktig del av løypen. Med et 16-spenn foran sleden vil ikke skutermatten, den bremsen en bruker til å regulere farten til spennet, være kraftig nok i nedoverbakker. En blir som regel nødt til å bruke hovedbremsen i disse situasjonene kun for å regulere fart og hindre at farten blir så høy at en ikke lenger har kontroll over sleden samt kontroll over hvordan hundene løper. Hundene skal ideelt sett holdes i trav og ikke gå opp i galopp, dette for å unngå belastningsskader [Amund under testing].

12.2.3 Kraftbildet

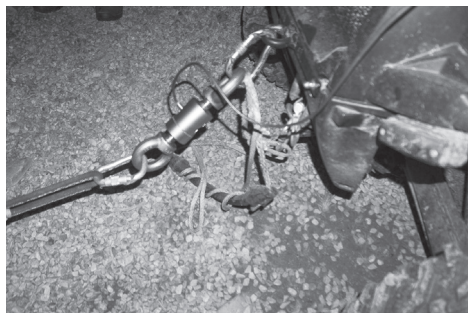
Nødvendig bremsekraft er direkte relatert til dra-kraften til spennet. Hovedbremsen skal alene kunne stoppe spennet og holde det i ro og må derfor tåle kraft i motsatt retning av kjøreretning større enn dra-kraften til hundespennet. For å kunne sette designkriteriene før en skal simulere og deretter dimensjonere, vil dra-kraft data være viktige.

Under testkjøring høsten 2014 fikk vi gjennomført en analyse av dra-kraften til et 16-spenn. Testen ble gjennomført på barmark med ATV [Figur 3.3] der vi før avgang på en morgenøkt fikk koblet opp en lastcelle mellom spenn og ATV [Figur 3.4]. Testen ble gjennomført rett

før avgang fordi hundene gjerne er ekstra ivrige rett før de vet at de skal ut å løpe, som igjen betyr størst mulig dra-kraft.

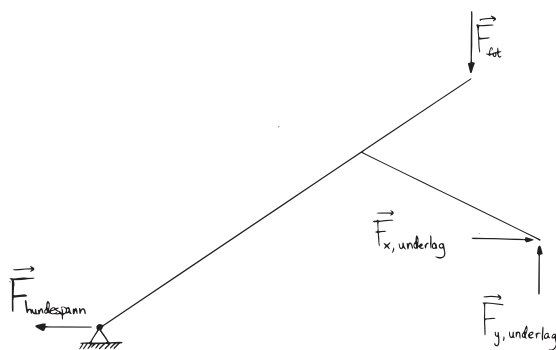


Figur 3.3: ATV med utstyr

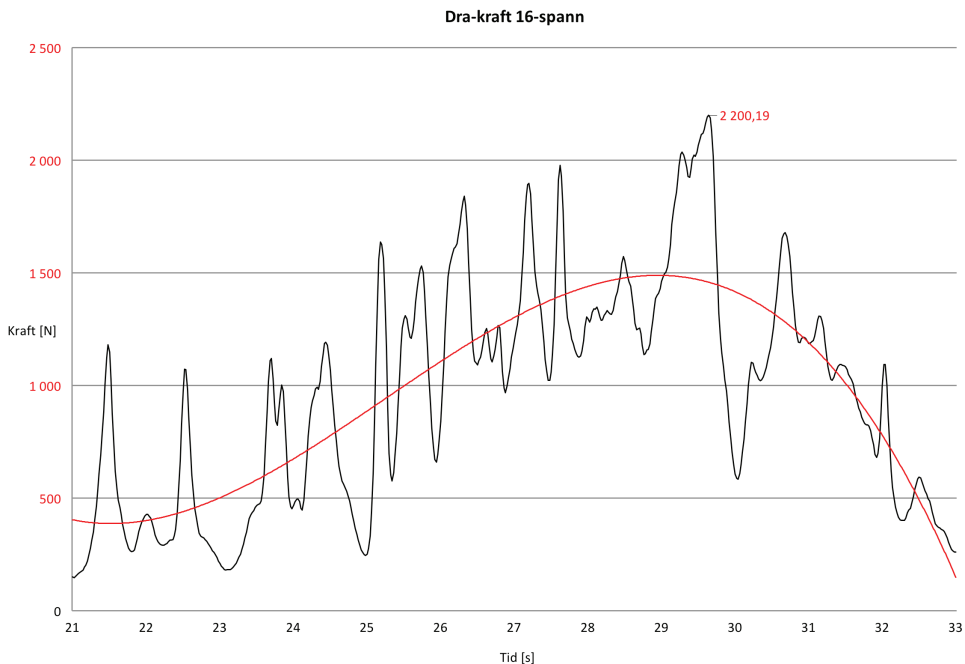


Figur 3.4: Lastcelle koblet til spann og ATV

Den tradisjonelle formen på bremsen danner et kraft-diagram likt det en ser i Figur 3.5. Figuren representerer et idealisert tilfelle der gravitasjonen og krefter inn i planet er neglisjert. $F_{x, \text{underlag}}$ og $F_{y, \text{underlag}}$ er kreftene fra underlaget på piggen(e). Dra-kraften til hundespennet, $F_{\text{hundespenn}}$ ble målt under dra-kraft eksperimentet gjennomført i prosjektoppgaven, Figur 3.6 gir et bilde av situasjonen rett før hundene skal ut å løpe. Av grafen kan en lese den maksimale trekraften (≈ 2200 N) til spannet. Resultatet gir en god pekepinn på størrelsesordenen det må dimensjoneres etter.



Figur 3.5: Prinsippskisse brems

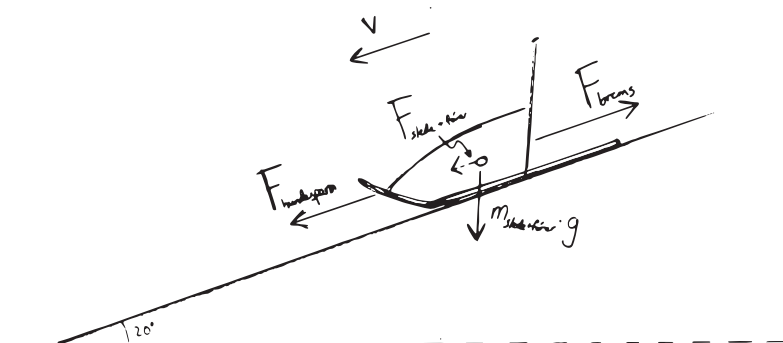


Figur 3.6: Resultat av dra-kraft forsøk

Under normal bruk vil diagrammet i Figur 3.5 være en god beskrivelse av de faktiske forhold. Men røtter, stein og andre uforutsette hindringer i løypa vil kunne påføre bremsen krefter en ikke uten videre kan forutse. For eksempel vil bremsen kunne hekte seg i en rot som gir bråstans av hele spannet. En velger derfor å konstruere med hensyn på en sikkerhetsmargin samt at en kan dimensjonere der en bruker en modell med verst tenkelig scenario som utgangspunkt. Som en av de aller viktigste komponentene på sleden er det viktig at en også tar høyde for slike uforutsette hendelser som nevnt, da en ikke har råd til å miste hovedbremsen underveis i et løp. Resultatet av en ødelagt hovedbrems uten mulighet for reparasjon vil i de fleste tilfeller bety brutt løp.

For en prototype er en avhengig av ha en grov oversikt over kreftene som spiller inn under bruk slik at gode og raske valg kan tas i utviklingsprosessen. Dra-kraften på 2200 N vil være det absolutt minste bremsen må kunne yte av bremskraft. Ser en for seg et tilfelle der en kjører ned en bratt bakke (20°); startfarten er 20 km/t, hundene trekker konstant med 2200 N, negativ akselerasjon er 3 m/s^2 , hvor stor er da kraften i bremsen [Figur 3.7]? En antar at hundespenn-kraften, $F_{\text{hundespenn}}$, er konstant 2200 N under nebremsningen. Bremsen må dermed tåle $F_{\text{hundespenn}} + F_{\text{slede+fører}}^* = 3026\text{ N}$ under kraftig oppbremsing.

*Utregningen av $F_{\text{slede+fører}} = 130\text{ kg} * 9,81\text{ m/s}^2 * \cos(70^\circ) + 130\text{ kg} * 3\text{ m/s}^2$



Figur 3.7: prinsippskisse av bremsing i bratt bakke

12.3 Sete

12.3.1 Ergonomi og tilpasning

Amund og Sigrid har hver opptil 6000 kilometer trening pluss konkurranser som Femundløpet på 600 kilometer og Finnmarksløpet på 1000 kilometer i løpet av en sesong. Snittfarten gjennom alle disse kilometerne ligger rundt 10-20km/t [1]. Bare de 6000 kilometerne med trening gir mellom 300-600 timer stående bak på sleden. I tillegg kommer alt arbeidet før og etter trening med hundestell og lignende som også er fysisk krevende. Førerne får med andre ord sjeldent tid til å hvile.

En utøvers evne til å prestere best mulig, da spesielt i utholdenhetsidretter, er sterkt relatert til det å bruke minst mulig energi underveis. Ergonomisk tilpasning er ofte brukt for forebygging av skader men er også viktig for å fokusere bruken av energi på de riktige oppgavene.

12.3.2 Konkurransene

Langdistanse hundekjøring er preget av ekstreme distanser som gjør det til en stor utfordring å skulle tilrettelegge en løype hvor en ikke kjører i ring.

Villmarken er i utgangspunktet ikke tilrettelagt for hundekjøringskonkurranser og løypene legges gjerne der de passer best i terrenget. Tilisede vann og elveløp er praktiske steder å legge en løype om terrenget rundt ikke tillater det. Ta for eksempel første etappe av Femundløpet, blant flere strekninger på vann er en av strekningene 35kilometer lang og går på Femunden, Norges nest største innsjø [2]. Dette er typisk terreng der en seteløsning vil kunne fungere godt.

12.3.3 Bruksmønster

Bruken av setet er sterkt knyttet til løypeprofilen til en konkurranse. Løypeprofilen er noe førerne må vurdere når de planlegger før et løp. Er etappene preget av mye flatt terreng vil mange førere vurdere å kjøre med sete.

Som antydnet så har førerne mulighet til å planlegge et løp utfra hvordan løypen er lagt opp, i og med at de får vite dette før konkurransene begynner. Ideelt sett kan en også planlegge når en trenger sete på sleden i forhold til hvordan terrenget ser ut på de ulike etappene. Med den løsningen de fleste bruker på sete i dag er det ikke aktuelt å ta av og på setet underveis. Dette blir som så mye annet et kompromiss, i dette tilfellet mellom lavere vekt ved å kjøre uten sete, og mulighet for mer hvile underveis ved å kjøre med.

Sledene er laget slik at når en står rett opp og ned på skiene bak bukken vil alle funksjoner som brems, styring (les: krenkning av bukk) og tilgang på ting i sledetrekket være mulig å benytte seg av. Sitter en derimot på et sete vil de fleste operasjonene du gjør på sleden (i hvert fall på dagens seter) bli utilgjengelige på grunn av at en sitter forholdsvis lavt bak bukken uten mulighet til å bruke sin egen tyngde til å kontrollere sleden. Om et sete kunne vært mer tilpasset bruken av de ulike delene på sleden vil en også være bedre skikket til å bruke sleden i mer variert terreng enn det som for de fleste er tilfellet i dag.

12.3.4 Kraftbildet

Kraftbildet til setet er dominert av vekten til føreren. Men slag som følge av dumper og ujevnheter i terrenget vil kunne påføre setet store belastninger. Som dimensjoneringskriterier setter en gjerne to ganger gravitasjonen.

13 Eksisterende løsninger

For bedre å kunne forstå potensialet og eventuelle muligheter for at en ny løsning skal kunne hevde seg, er det helt essensielt å ha satt seg inn i de løsningene som finnes på markedet allerede.

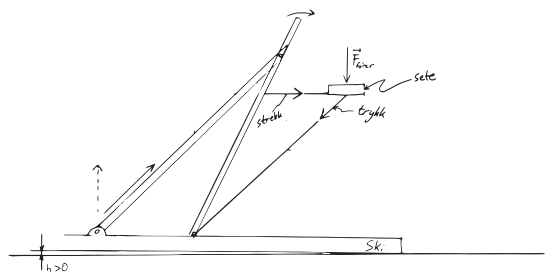
I de påfølgende avsnittene vil to løsninger på sete og to løsninger på brems bli presentert. Positive og negative sider ved løsningene vil bli belyst.

13.1 Sete

Sett i historisk sammenheng er det å ha sete på sleden relativt nytt. Løsningene varierer lite på sledene du kan få kjøpt i dag. De aller fleste som bruker sete bruker løsningen der en sitter på en kjøleboks som er plassert på en liten plattform bak føreren. En annen spennende løsning jeg gjerne ønsker å trekke frem er Prairie Bilt sin løsning, det såkalte "Competition Seat" dette er en mye nettere løsning som er festet direkte til bukken.

13.1.1 Prairie Bilt Competition Seat

Prairie Bilt leverer både sitt eget "Competition Seat" [Figur 3.8] og den mer konvensjonelle løsningen med fryseboks. Løsningen består av et stag som er festet foran bremsen og to vaiere ut til hver sin side av bukken. Skissen i Figur 3.8 beskriver løsningen og hvordan kreftene fordeles til bukken og skaper et moment i skien. Momentet fører til et løft av skien og dårligere styring.



Figur 3.8: Prairie Bilt Competition Seat med skisse som illustrerer løft av ski

Fordeler	Ulemper
+ Relativt ukomplisert	÷ Usolid kontra "kjøleboks"
+ Lett	÷ Moment i bukken løfter skiene
+ Muliggjør dytting bak sleden	÷ Dårligere styring grunnet løft av ski
+ Komfortabel høyde på setet	
+ Ingen klemfare for beina	

13.1.2 Kjøleboks

Figur 3.9 viser den vanligste løsningen på sete, en løsning mange produsenter har en variant av. Som nevnt tidligere er dette en løsning der en bruker lengre ski slik at partiet bak føreren har plass til en forhøyet plattform for plassering av en isolert plastboks til blanding av hundefôr som en kan sitte på.

Det smarte ved denne løsningen er at en ofte bruker kjøleboksen, som uansett må være med, til å sitte på. Denne boksen ville ellers tatt opp dyrebar plass i sledetrekket, plass som heller kunne vært brukt til å lage en mer kompakt slede. Konstruksjonen er også ukomplisert og pålitelig, noe som verdsettes stort.



Figur 3.9: Den vanligste seteløsningen, her med integrert hengerfeste

Fordeler	Ulemper
+ Enkelt	÷ Forlenger skiene, dårligere å styre
+ Solid	÷ Lavt, ukomfortabelt, lite oversikt
+ Lavt, lite vindfang når en sitter	÷ Klemfare for beina
	÷ Ikke mulig å løpe mellom skiene

13.2 Brems

Som reglene dikterer skal alle sleder ha en brems som er plassert mellom skiene [referanse]. Denne bremsen er på dagens sleder basert på samme prinsipp på de ulike sledene, ingen store variasjoner i utforming.

I de to påfølgende punktene presenteres to varianter av bremsen, begge fra sleder som Sigrid og Amund har brukt og fremdeles bruker.

Potensialet for forbedring ligger i hovedbremsen som er den viktigste for føreren og spannets sikkerhet.

13.2.1 BEWE

Sigrid og Amund har de foregående sesongene kjørt på BEWE-sleder og bruker fremdeles flere typer BEWE-sleder til trening. Verdt å nevne er at Sigrid kjørte i mål i årets Finnmarksløp som vinner på en god gammel BEWE-slede, samme slede som hun har kjørt Finnmarksløpet på tidligere. Bremsen på den sleden Sigrid brukte er en forholdsvis enkel konstruksjon som består av tre stålvinkler satt sammen til en U med fire pigger som overfører kraft til bakken [Figur 3.10]. Forholdet mellom kraft fra fot til bakke er omtrent 1 : 0,8.



Figur 3.10: Brems på BEWE-sleden

Fordeler	Ulemper
+ Enkelt	÷ Dårlig bremskraft
+ Komfortabel høyde på brems	÷ Dårlige pigger
+ Skaper stivhet mellom skiene	÷ Innfesting tillater ikke kantring av ski
	÷ Tung

13.2.2 Prairie Bilt

Bremsen består av en bue bøyd fra flatt aluminium, som har fire pigger montert under føttene til føreren [Figur 3.11]. Slik som med bremsen montert på BEWE-sledene, har denne omtrentlig et forhold på 1 : 0,8. Bremsen er også lett med kun 1,03 kg totalvekt.



Figur 3.11: Brems på Prairie Bilt-sledene

Fordeler	Ulemper
+ Enkelt	÷ Dårlig bremskraft
+ Lett	÷ Skaper ikke stivhet mellom skiene
+ Sfæriske endeled, ski kan kantres	÷ Noe høy bremsbøyle

14 Kravspesifikasjon

Observasjoner, undersøkelser og rammer beskrevet i de fire foregående kapitlene danner et grunnlag som idéene og løsningene skal bygges på. Tabellene under 14.1 og 14.2 beskriver de viktigste designkriteriene.

14.1 Brems

Tabell 3.1: Kravspesifikasjon brems

Beskrivelse	Verdi	Bør	Må
Funksjonskrav			
Bremsekraft i kjøreretning	> 2200 N > 3000 N	x	x
Ikke låse rotasjonsfrihet av skiene		x	
Vekt av system	< 2 kg < 1 kg	x	x
Forhold mellom kraft brukt og kraft til bakken	> 1 : 0,8 > 1 : 1,2	x	x
Fri bane bak fører		x	
Sikkerhetskrav			
Sikkerhetsfaktor (materialstyrke/beregnet last)	> 2 > 3	x	x
Dokumentasjonskrav			
Tilfredsstillende NHF regelverk, samt Femund, Finnmark og Iditarod regelverk			x

14.2 Sete

Tabell 3.2: Kravspesifikasjon sete

Beskrivelse	Verdi	Bør	Må
Funksjonskrav			
Avlaste førerens bein under kjøring			x
Ikke låse rotasjonsfrihet av skiene		x	
Vekt av system	< 4 kg < 2 kg	x	x
Tåle vekt av fører	< 70 kg < 90 kg	x	x
Kunne styre og bremse mens føreren bruker setet		x	
Avtakbart underveis i løp		x	
Høyde på sitteflate fra ski	500 - 700mm		x
Sikkerhetskrav			
Ingen klemfare under bruk			x
Dimensjoneringskriterie	2g-hump		x
Dokumentasjonskrav			
Tilfredsstillende NHF regelverk, samt Femund, Finnmark og Iditarod regelverk			x

15 Konseptfase

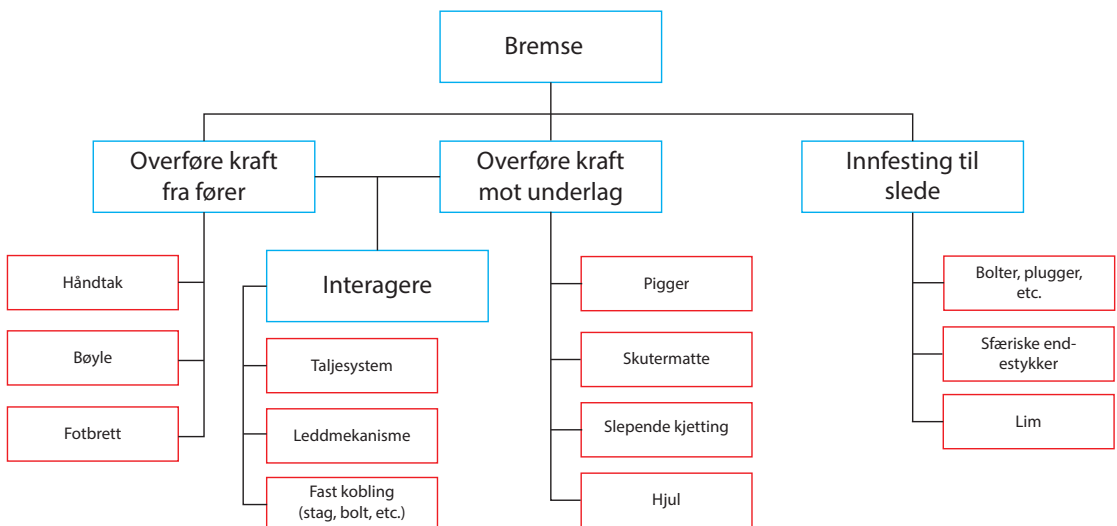
Idéer har blitt generert med grunnlaget fra kravspesifikasjonene. Konseptene vil i større eller mindre grad tilfredsstillere kravene, jobben i denne fasen blir dermed å finne de konseptene som tilfredsstillere kravene best.

15.1 Konsepter på brems

Konseptene i de påfølgende avsnittene viser et utvalg av de mest lovende idéene som kom opp under arbeidet. I prosjektoppgaven presiseres det at en gjerne bør tenke radikalt og utenfor boksen. Konseptene går fra noe konservativt til nytenkende og radikalt, og er blitt listet opp i henhold til den kronologien.

I Norges hundekjørerforbunds (NHF) regelverk Punkt 40.2.2 står det: "Sleden skal være utstyrt med brems, frontbøyle, snø-anker og sledetrekke." [Referanse] En står med andre ord relativt fritt når det gjelder konseptfasen knyttet til brems.

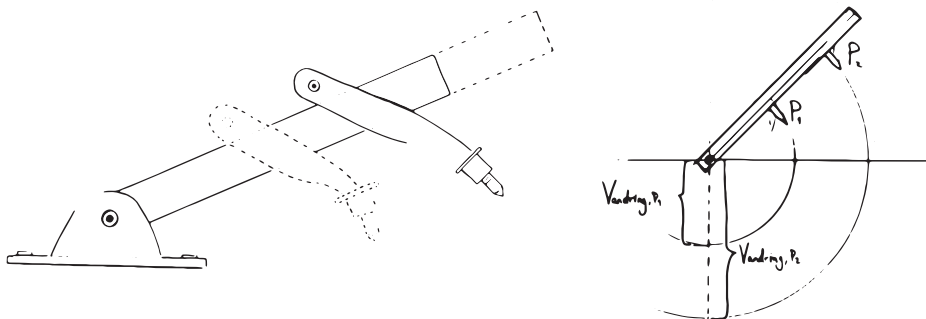
I innledningen til arbeidet i konseptfasen har det vært viktig å stimulere idégenereringen. Dette er blitt gjort ved blant annet å dele opp systemer i underordnede funksjoner og løsninger. Bremsen kan gjerne deles inn slik det er vist i [Figur 3.12] Her angir blå boks en funksjon mens rød boks angir løsning.



Figur 3.12: Funksjonsløsningstre brems

15.1.1 Konsept 1 - Endret piggoppsett og bøyle

Dette konseptet baserer seg på en aluminiumsbøyle mye likt den en finner på Prairie Bilt sledene, men for økt bremskraft flytter en piggene nærmere rotasjonspunktet til bremsen [Figur 3.13]. Eventuelt kan en forlenge "armen" på bremsen for å opprettholde vandringsen på piggene. Samtidig som en utforsker lengden på bøyle vil det være enkelt å eksperimentere med ulike oppsett av piggene. For eksempel øke antallet i bredden, eller ha færre pigger.



Figur 3.13: Endret piggoppsett og bøyle samt forklaring av vandring på pigg

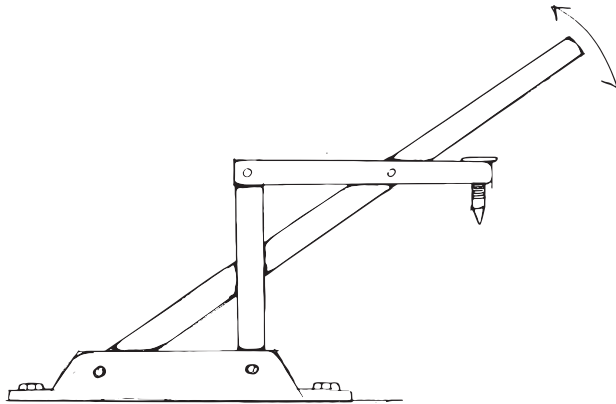
Diskusjon

Dette konseptet vil med enkle grep kunne øke bremskraften til et ønsket nivå, men da dette baserer seg rundt et system der piggene ikke beveger seg i forhold til bøyle, vil dette gå på kompromiss med ergonomien. Enten ender en opp med en høy bøyle der føreren er nødt til å bevege beinet overdrevent mye fra ytterpunkt til ytterpunkt på bremsen. Det andre tilfellet vil være lite vandring på piggene men komfortabel vandring på bøyle. For sikkerheten til førerne er det viktig at vandringsen på piggene ikke blir for liten, da dette kan føre til at en ikke klarer å bremse om det for eksempel er veldig dyp snø eller lignende.

Fordeler	Ulemper
+ Ukomplisert	÷ Kompromiss mellom ergonomi og bremskraft
+ Lett	
+ God bremskraft med godt oppsett	

15.1.2 Konsept 2 - Mekanisme for vandring og moment

Konseptet er basert rundt en mekanisme som utnytter en lengre momentarm likt det beskrevet i konsept 1, men uten at en går på kompromiss med vandringen på piggene og ergonomien under bruk [Figur 3.14].



Figur 3.14: Mekanisme for vandring og moment

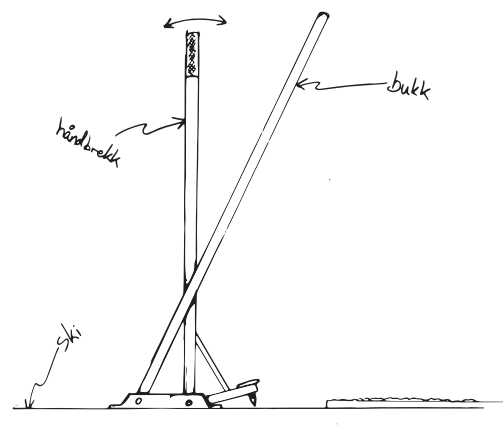
Diskusjon

Sett i sammenheng med det første konseptet vil denne løsningen kunne unngå et kompromiss mellom bremsekraft og god ergonomi, som er den klart største ulemper med konsept 1. Allikevel vil dette konseptet ha noen ulemper når det kommer til vekt og kompleksitet. Flere bevegelige deler betyr større sannsynlighet for at noe kan gå galt under bruk.

Fordeler	Ulemper
+ God bremsekraft	÷ Mer komplisert enn dagens løsning
+ Komfortabel høyde på bøyle	÷ Flere ting som kan gå galt
+ God vandring på pigg	÷ Relativt sett tyngre

15.1.3 Konsept 3 - Håndbrekk

Konseptet baserer seg rundt en momentarm som brukes med armene som et slags håndbrekk. Selve bremsen er plassert omtrent der den står på dagens sleder, bare at kraften overføres fra en momentarm som står opp langs med bukken [Figur 3.15].



Figur 3.15: Håndbrekk

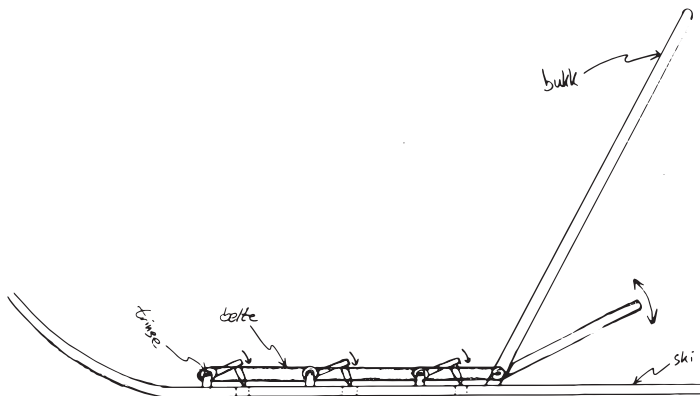
Diskusjon

Løsningen vil frigjøre plass rundt beinene til føreren og muliggjør bremsing med både skutermatten og hovedbremsen samtidig. En vil også alltid ha to bein på skiene som gjør det lettere å holde balansen mens en bremses for økt sikkerhet. Dette konseptet er ganske ulikt det som finnes av løsninger i dag.

Fordeler	Ulemper
+ God bremskraft	÷ Noe komplisert
+ Ikke i veien for beina til fører	÷ Tungt
+ Kompakt nede ved bakken	÷ Vanskelig å styre mens en bremses

15.1.4 Konsept 4 - Nedfellbare pigger

Konseptet er basert på en slags bremsebøyle ikke ulik den som finnes i dag, men i stedet for pigger rett ned i bakken kan en overføre kraften i bøylene til en rekke pigger montert langs skiene. Kraften overføres med tannreimer og trinser plassert i rotasjonspunktene til piggarmene og bremsebøylene [Figur 3.16].



Figur 3.16: Nedfellbare pigger

Diskusjon

Skiene er sledens kontaktpunkter med bakken, det vil derfor være naturlig å montere bremsesystemet så lavt som mulig for å få et kompakt system. Et system der pigger felles ut av skiene, eventuelt ned på siden av skiene, vil være kompakt i tillegg til at kraften i kjøreretning vil få en så kort vei som mulig. Det gjør materialbehovet mindre når en skal dimensjonere bremsen. Med den foreslåtte løsningen har en også muligheten til å endre utveksling på piggene for å tilpasse vandring og kraft som overføres til underlaget.

Fordeler	Ulemper
+ Meget justerbart for god bremsekraft	÷ Komplisert
+ Kan gjøres kompakt	÷ Krever lang utviklingstid
+ Nytenkende	÷ Vanskelig å styre mens en bremses

15.1.5 Evalueringstabell

For å få en oversikt over hvordan konseptene vil prestere kombinert i ulike kategorier er det blitt satt opp en tabell [Tabell 3.3] med vektning av ulike egenskaper og hvordan de ulike konseptene presterer i hver av de.

For at tabellen skal kunne gi nyttig informasjon til videre arbeid er det viktig at kategoriene vektet slik at det som betyr mye får større utslag på et konsepts totalsum sammenlignet med noe som ikke betyr like mye. Et eksisterende produkt er tatt med (Prairie Bilt) for sammenligning.

Tabell 3.3: Sammenligningstabell brems

		Konsept				
		Tradisjonell bøyle (Prairie Bilt)	Konsept 1	Konsept 2	Konsept 3	Konsept 4
	Vektning (%)	Poeng	Poeng	Poeng	Poeng	Poeng
Kostnad	5	4	4	3	2	1
Vekt	10	4	3	2	2	2
Robusthet	25	3	3	2	1	1
Ergonomi	20	2	1	4	2	4
Utvikningstid	15	5	4	3	2	1
Bremsekraft	25	1	3	4	3	4
Sum	100	2,75	2,8	3,1	2	2,45

Forklaring til tabellen:

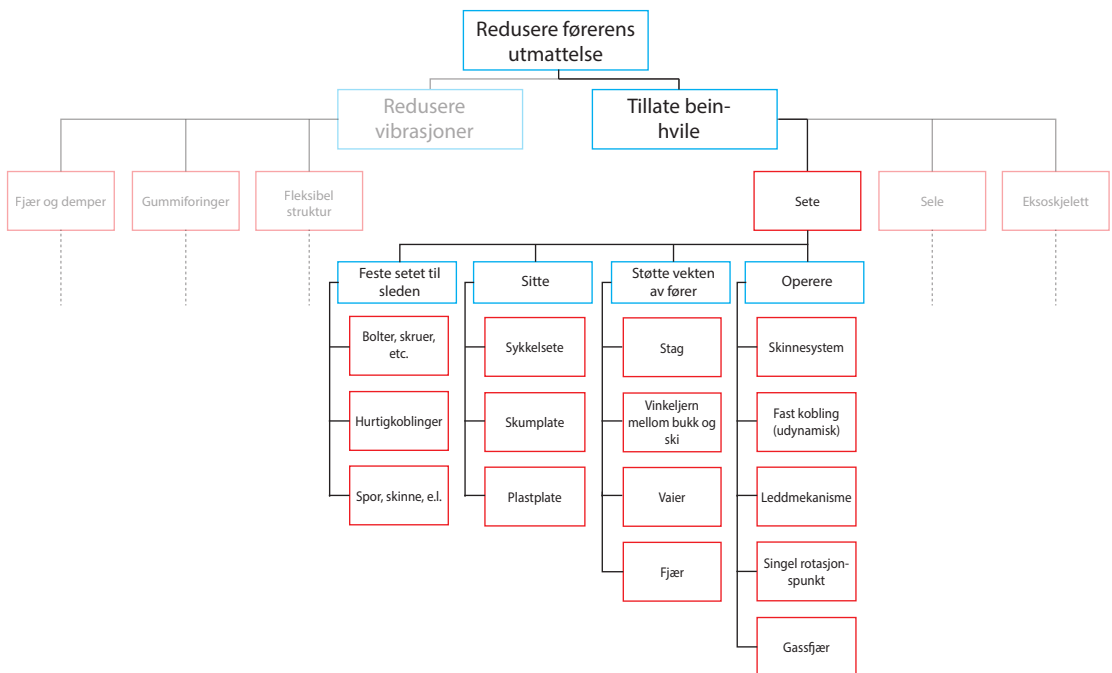
- Poeng fra 1 til 5 der 5 er best
- Kostnad: Rene produksjonskostnader
- Vekt: Totalvekt av hele systemet
- Robusthet: Hvor utsatt systemet er for å bli skadet/ødelagt under bruk og hvor lenge det vil fungere før en er nødt til å bytte deler
- Ergonomi: Hvordan systemet oppleves under bruk. Hvor lett det er for føreren å bruke systemet.
- Utviklingstid: Hvor lang tid som kreves før en kan ha et fungerende produkt
- Bremsekraft: Hvor godt bremsen brems

Konsept 2, "mekanisme for vandring og moment" er det konseptet som kommer best ut. Dette konseptet får mye poeng på viktige områder som ergonomi, robusthet og bremsekraft.

15.2 Konsepter på sete

Reglementet sier ingenting spesifikt rundt det å ha sete på sledene, noe som gir muligheter for utenfor-boksen tenkning.

Figur 3.17 viser funksjonstreet for setet, i delvis utvasket vises alternativer til seteløsningen. Allerede i prosjektoppgaven ble det bestemt at det skulle utvikles et nytt sete til sleden, men når en bryter ned oppgavene som et sete skal løse, kan en enkelt dele funksjoner opp i underfunksjoner som igjen gir utspring til helt andre idéer. Det ble ikke brukt mye tid utover konstruksjonen av funksjonstreet på å utforske løsningene vist delvis utvasket i Figur 3.17 men de er allikevel inkludert da det kan være til inspirasjon for videre arbeid.



Figur 3.17: Funksjonsløsningstre sete

Konsept 1 - "Dumphuske"

Dette konseptet baserer seg på en vippemekanisme med et enkelt rotasjonspunkt et stykke ned på bukken. Setet stoppes av tau/vaiere festet fra enden på vippemekanismen til braketter på skiene [Figur 3.18].



Figur 3.18: "Dumphuske"

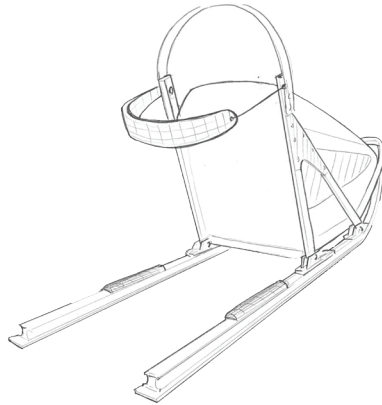
Diskusjon

Dette vil være en enkel løsning som er lett å implementere i dagens sleder. Men selve vippestaget som skal ta opp kreftene blir utsatt for et relativt stort moment som gjør at dimensjoneringen av selve vippestaget og også tvers-over staget ved rotasjonspunktet vil gå på bekostning av vekt. En annen måte å unngå å i det hele tatt ha noe tvers-over stag samt unngå å ta plass fra sledetrekket er å ha to vippearmer formet som en V ut til hver side av bukken. Det blir flere deler men en unngår andre store problemer.

Fordeler	Ulemper
+ Ukomplisert	÷ Ikke ideell vektfordeling langs skiene
+ Lite som kan gå i stykker	÷ Løsningen med ett rotasjonspunkt vil ta mye plass fra sledebaggen
+ Fri bane bak fører	÷ Stor belastning på bukken

15.2.1 Konsept 2 - Sete festet til bukken

Konseptet går ut på at en folder en “flapp” rundt livet slik at en kan lene seg mot denne og sitte i en stående posisjon. Ikke like avslappende som et fullverdig sete, men noe midt i mellom. “Flappen” er festet direkte i bukken på den ene siden slik at en folder den rundt seg og fester den på den andre siden [Figur 3.19].



Figur 3.19: Sete festet til bukken

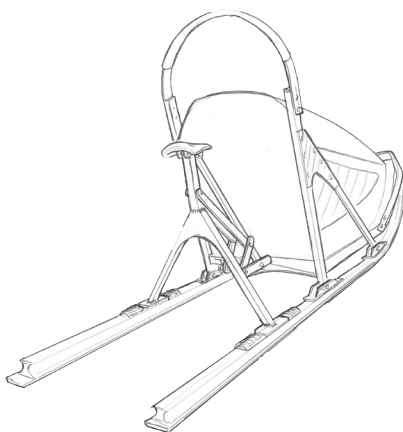
Diskusjon

En veldig enkel løsning som krever veldig lite utvikling og som er enkel å teste. Løsningen utsetter bukken for en del moment som ikke er ideelt. Den kan by på utfordring når en skal “sette seg” da en må folde ut flappen for så å spenne den inn på andre siden av bukken. For at bruk av setet ikke skal by på farlige situasjoner der føreren sitter fast i sleden må løsningen være lagd slik at den løser ut om en uønsket situasjon skulle oppstå.

Fordeler	Ulemper
+ Enkelt	÷ Avlaster ikke like mye som et sete
+ Veldig lett	÷ Kan være utfordrende å skulle “sette seg”
+ Ingen klemfare for bein	÷ Sikkerheten om sleden velter
+ Fri bane bak fører	÷ Moment i bukken

Konsept 3 - Klapp-sete

Konseptet dreier seg om å konstruere en mekanisme som folder ut støttebein som plasserer seg der føttene til føreren normalt er slik at vekten av føreren blir fordelt utover lengden på skien [Figur 3.20].



Figur 3.20: Klapp-sete

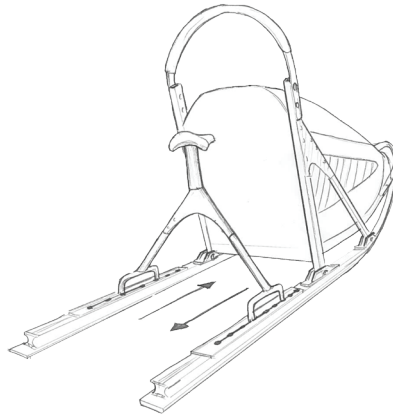
Diskusjon

En av de største, om ikke den største, utfordringen knyttet til det å ha sete på en hundeslede, er det å ta opp kreftene når en fører setter seg. Sleden er laget slik at den beregnet på at føreren står på skiene bak bukken. Det vanligste stedet å brette en ski på en slede er punktet rett bak bukken, så utsetter en bukken for mye moment kan dette punktet fort bli overbelastet. Under utvikling av sleden vil det også bli utviklet kompositt ski og disse er spesielt designet i forhold til hvor vekt er plassert langs lengden av skien. For å ikke utsette sleden for krefter den ikke er beregnet på er det ønskelig å finne en måte å overføre kreftene til de samme punktene på skiene som ellers brukes til å stå på. Dette konseptet skal kunne løse dette med en mekanisme som gjør det mulig å felle en støttestruktur ned og opp i én bevegelse.

Fordeler	Ulemper
+ Komfortabelt	÷ Mange deler, mer som kan gå galt
+ God vektfordeling langs skiene	÷ Noe tyngre enn andre løsninger
+ Ingen klemfare for bein	÷ Fører må flytte føttene når setet felles ned
+ Fri bane bak fører	

15.2.2 Konsept 4 - Uttrekkbart sete på skinner

Konseptet er basert på innfesting av setet på et skinneresystem langs med skiene. Setet kan kun beveges i retningen langs skinnerne. Det skal kunne skyves inn foran fører når det ikke brukes og enkelt kunne dras ut til et endepunkt på skinnerne der det låses slik at føreren kan sitte komfortabelt uten å skli frem og tilbake på skinnerne under bruk [Figur 3.21].



Figur 3.21: Uttrekkbart sete på skinneresystem

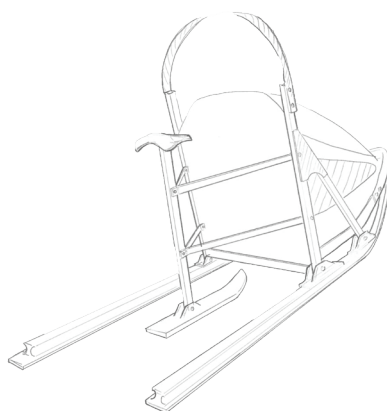
Diskusjon

Alle de andre konseptene utenom konsept 2 er basert rundt en form for bevegelig mekanisme. Dette konseptet er også bevegelig, men kun langs én akse. Å begrense frihetsgradene er viktig for at systemet skal bli så enkelt som mulig. Ser en på et skinneresystem spesifikt er nok utfordringene flere med å lage en løsning som vil fungere under alle forhold. Et skinneresystem er sårbart for tilising noe som vil kunne hindre bruk. Samt at skinnerne vil stive av skiene mye, noe som ikke er ønskelig i kombinasjon med komposittski på den sleden vi ser for oss.

Fordeler	Ulemper
+ Forholdsvis enkelt	÷ Tilising i skinner
+ Solid	÷ Utfordrende å integrere med alt annet montert langs skiene.
+ Fri bane bak fører	÷ Stiver av skiene
+ Ingen klemfare for bein	

15.2.3 Konsept 5 - Klapp-sete med egen ski

Litt det samme som klapp-sete konseptet bare at dette baserer seg på at setet støttes opp av en ski i stedet for å plasseres der føreren står [Figur 3.22].



Figur 3.22: Klapp-sete med egen ski

Diskusjon

En forholdsvis enkel mekanisme som avlaster skiene til sleden da den har en egen ski. Da skien setet står på er såpass kort og tregheten til selve konstruksjonen relativt liten, sett i sammenheng med resten av sleden, noe som gir mindre demping, vil flere av de små dumpene merkes ekstra godt. Dette vil i stor grad la seg løse med en setepinne-dempemekanisme likt det en bruker på enkelte sykler. Konseptet integrerer ikke godt med en skutermedtebrems, men dette har en mulighet til å tilpasse da ingen regler krever at skutermedten må være utformet og plassert akkurat der den er i dag.

Fordeler	Ulemper
+ Mindre belastning på skiene	÷ Krever tilpassing for å bli komfortabelt
+ Enkel bevegelse av konstruksjon	÷ Krever solid struktur, tungt
+ Komfortabel høyde på setet	÷ I veien for fotbremsen(e)
+ Fri bane bak fører	÷ Ekstra gli-friksjon når setet brukes
+ Ingen klemfare for bein	÷ Vil stive av bukken

15.2.4 Evalueringstabell

Tabell 3.4: Sammenlikningstabell setekonsepser

		Konsept					
		Boks på plattform bak beinene	Konsept 1	Konsept 2	Konsept 3	Konsept 4	Konsept 5
	Vekting (%)	Poeng	Poeng	Poeng	Poeng	Poeng	Poeng
Kostnad	5	3	3	4	3	2	3
Vekt	20	1	2	4	3	2	2
Robusthet	30	4	2	3	2	1	2
Ergonomi	30	1	4	1	4	3	2
Utviklingstid	15	5	3	4	3	2	2
Sum	100	2,6	2,8	2,8	3	2	2,05

Forklaring til tabellen:

- Poeng fra 1 til 5 der 5 er best
- Kostnad: Rene produksjonskostnader
- Vekt: Totalvekt av hele systemet
- Robusthet: Hvor utsatt systemet er for å bli skadet/ødelagt under bruk og hvor lenge det vil fungere før en er nødt til å bytte deler
- Ergonomi: Hvordan systemet oppleves under bruk. Om det hindrer føreren i å bruke andre funksjoner på sleden når setet brukes.
- Utviklingstid: Hvor lang tid som kreves før en kan ha et fungerende produkt. Dette er også noe knyttet til kostnad da lang utviklingstid betyr høyere kostnad.

15.3 Valg av konsepter

Med hensyn på totalsummen for de ulike konseptene fra forrige avsnitt er det klart hvilke konsepter som kommer best ut, nemlig “mekanisme for å ivareta vandring på pigg med lengre momentarm” og “klapp-sete mekanisme”. Ser en i tillegg på hvordan de to konseptene er bygd opp og basert rundt samme prinsipp med en leddmekanisme, vil det unektelig være praktisk å jobbe med disse parallelt.

15.3.1 Brems

Med rammene som ble satt for utviklingen virket det som en logisk slutning å gå videre med et konsept der hovedproblemene ble løst, mens ulemper av mindre betydning kom til. Spesielt har det vært viktig å kunne stå klar med en brukbar prototype til slutt som faktisk kunne testes av pilotbrukerne og oss selv.

Av de største ulempene kan en nevne vekt, men selv om det kan virke logisk å tenke at lettere er raskere har det gjennom hele perioden med arbeidet, ikke vært mulig å trekke noen konklusjon med et ja/nei svar på dette “problemet”. Mange forskjellige sleder i ulike vektclasser viser å hevde seg. Hovedfokuset har derfor ikke vært vekt, men heller funksjon. Konsept 2, “mekanisme for vandring og moment” er derfor det konseptet det velges å gå videre med.

15.3.2 Sete

Dominerende for alle konseptene som er presentert i de foregående avsnittene er at setet er plassert foran føreren, ikke bak, slik den mest konvensjonelle løsningen fungerer. Det ble forholdsvis tidlig bestemt at en ikke skulle lage en slede med henger. Nødvendigheten av å ha noe bak føreren, som i de fleste situasjoner bare er i veien og en fare for føreren, ble da mye mindre.

I kombinasjon med utvikling av komposittski der en konstruerer skien med spenn utfra last langs skien vil det være hensiktsmessig å ikke endre vektfordelingen når setet brukes. Det ble derfor bestemt at setet skulle støtte vekten av føreren på skiene i området der føreren vanligvis står.

Konsept 3 treffer bra på de kategoriene som blir vektlagt mest; robusthet og ergonomi. Det er kun konsept 1 som treffer like godt, men dette konseptet baserer seg på å fordele kreftene gjennom bukken noe vi prøver å unngå. Konsept 4 og 5 får tilsynelatende lavere totalsum enn de andre konseptene, men dette er også konsepter vi tror har potensiale da de blant annet vil være gode ergonomiske løsninger. Men det kreves flere spesialtilpasninger, blant annet et godt skinnesystem til konsept 4 og en dempemekanisme til konsept 5 noe som forlenger utviklingstiden. Konsept 3, “klapp-sete mekanisme”, er derfor det konseptet det velges å gå videre med.

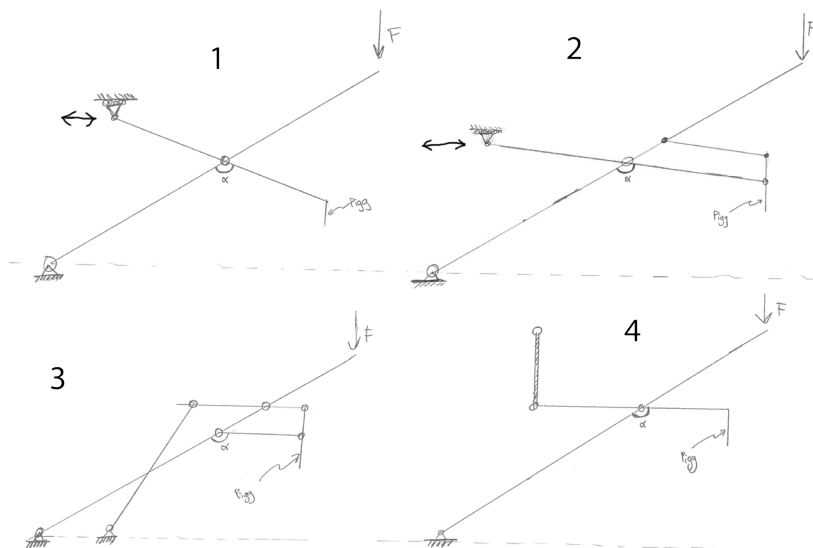
16 Detaljering

I dette kapittelet vil de valgte konseptene bli detaljert og evaluert i henhold til kravspesifikasjon og integrering med resten av prototype-sleden. Endelig CAD-modell vil bli presentert.

16.1 Brems

16.1.1 Mekanisme

Figur 3.23 viser fire utkast på mulige løsninger av mekanismer for bremsen. Skissene er enkle og antallet deler har vært holdt til et minimum. Dette gjenspeiles i viktigheten av punktet robusthet i tabellen i foregående kapittel. Grunnprinsippet alle konseptene bygger på er den relative bevegelsen vertikalt av piggen i forhold til selve bøylen. Konsept 1, 2 og 4 er alle basert på festepunkter i ulike plan vertikalt, med tanke på kantring av skiene vil det høyeste festepunktet flytte seg mye til siden under svingning. På den annen side vil konsept 1 og 4 være lettere løsninger enn konsept 3. Med tanke på muligheten for kompakt innfesting der ingen av festepunktene til sleden beveger seg i langsgående retning på skien velges løsning 3.



Figur 3.23: Konsepter på mekanisme for brems

Beregninger

For å danne et bilde av hvordan kreftene fordeles i mekanismen er det blitt gjort noen enkle håndberegninger. Tabell 3.5 viser en oversikt over de mest sentrale tallene. Enkelte tall er hentet direkte fra Geogebra, de resterende er fra håndberegninger og CAD-modell. Her sammenlignes den nye bremsen med en eksisterende brems (Prairie Bilt).

Tabell 3.5: Enkle beregninger av mekanisme

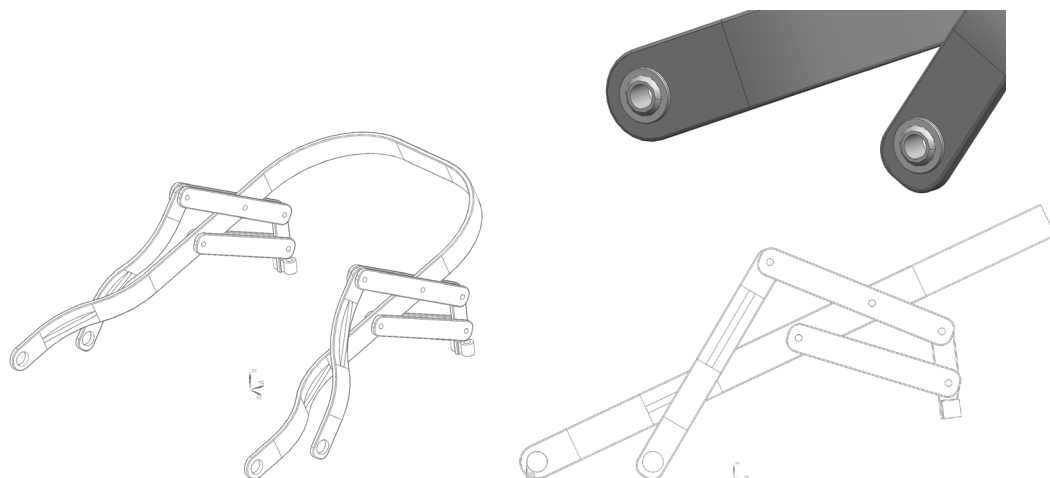
	Eksisterende løsning	Ny Brems	Enhet	Endring
Krefter				
Påført kraft fra fører	750	750	N	
Kraft overført vertikalt til bakken	≈ 620	≈ 850	N	≈ 37% økning
Forhold	1 : 0,80	1 : 1,13	-	
Vandring (vertikalt)				
Bevegelse av bøyle	150	150	mm	
Bevegelse på tupp av pigg	149	126	mm	≈ 15% mindre
Vekt				
Komplett system	1,03	1,8	kg	≈ 80% økning

Beregningene som er blitt gjort på mekanismen gjenspeiler at sammensetningen av leddene er på god vei mot ønsket resultat. Kravspesifikasjonen sier blant annet at bremsen bør ha et forhold større enn 1 : 1,2. Resultatet på 1 : 1,13 er bra og vil bety at en person på 60kg vil ha en bremskraft tilsvarende en person på godt over 80kg om en sammenligner med dagens løsning.

Vandringen på piggene viser at mekanismen ikke er finjustert helt så godt at den har tilsvarende vandring som dagens statiske løsning. Forskjellen på 15% er allikevel ikke dramatisk og vi vurderer det dithen at det vil fungere godt nok på en prototype.

16.1.2 CAD

I samspill med Geogebra ble CAD-programmet Siemens NX brukt for å modellere opp bremsen. For å få en god oversikt over hvordan systemene passer sammen i et komplett produkt har det hele tiden vært viktig å bruke 3D-modelleringsverktøy. Dette sparer mye tid og kostnader da det muliggjør mange iterasjoner uten ekstra kostnad, samt at det gir en konkret fremstilling av de faktiske forhold. Som et utgangspunkt ble hovedbøylene dimensjonert etter samme bøyle som brukes i Prairie Bilt bremsen. De samme type skuterpiggene brukt i Prairie Bilt bremsen ble også brukt som utgangspunkt for den nye bremsen. Dette ble gjort delvis av praktiske hensyn da Troll Mushing kunne bistå med deler til en eventuell prototype samt at det ble en variabel mindre å holde styr på ved sammenligning mellom den nye bremsen og Prairie Bilt-bremsen. Figur 3.26 viser den ferdige modellen i NX.

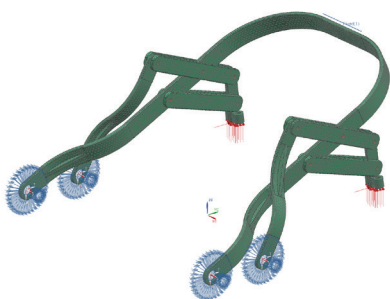


Figur 3.26: CAD-modell; isometrisk visning, fra siden og sfæriske endeledd

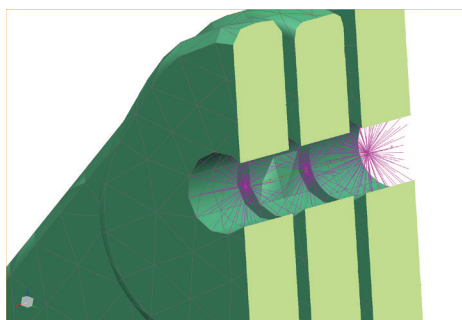
16.1.3 FEA

For å verifisere håndberegninger og ta mer kvalifiserte valg knyttet til dimensjoneringen ble det satt opp et grunnoppsett til en FEA analyse av mekanismen i NX. Av tidsmessige hensyn ble ikke resultatene brukt for å optimalisere bremsen under denne første iterasjonen, men oppsettet av simuleringsmodellen vil være nyttig for videre arbeid.

Figur 3.27 viser en grov oversikt over simuleringsmodellen i NX med “pinned constraint” i svingpunktene og punktlaster ved piggfestene. Figur 3.28 viser et snitt av et ledd-hengsel. Her har jeg brukt REB2 elementer som knytter overflaten i hvert hull til hver sin node i senter av rotasjonsaksen. Nodene er deretter koblet sammen med to nye REB2 elementer. For hvert av REB2 elementene velger en at rotasjonen om x-aksen skal være fri. Oppsettet vil i prinsippet være likt for seteløsningen omtalt i neste avsnitt.



Figur 3.27: FEA-oppsettet av bremsen i NX

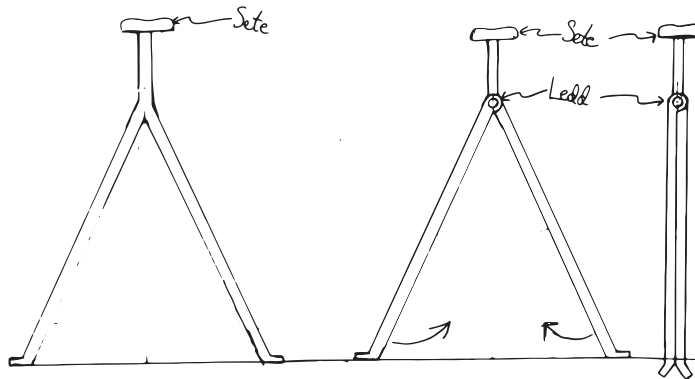


Figur 3.28: REB2 elementer i hengselmekanisme i simuleringsmodellen

16.2 Sete

16.2.1 Mekanisme

Mekanismen for setet er mer kompleks enn den for bremsen og har derfor tatt adskillig lengre tid å finne ut av. Det har i hovedsak vært to konsepter for mekanismen som har vært vurdert. Et der beinene foldes inn mot senter av sleden når setet slås opp, og et der beinene er faste. Figur 3.29 viser prinsippet som skiller de to konseptene.



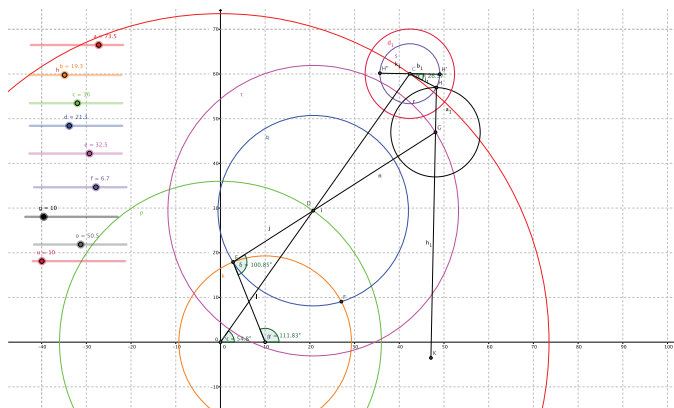
Figur 3.29: Prinsippkisse, faste bein og bein med foldemekanisme

En fordel med konseptet der beinene foldes inn til senter er at av- og påstigning på setet blir lettere da beinene ikke er i veien når en folder ned setet. Føreren kan ta ett skritt frem, felle ned setet, og sette seg.

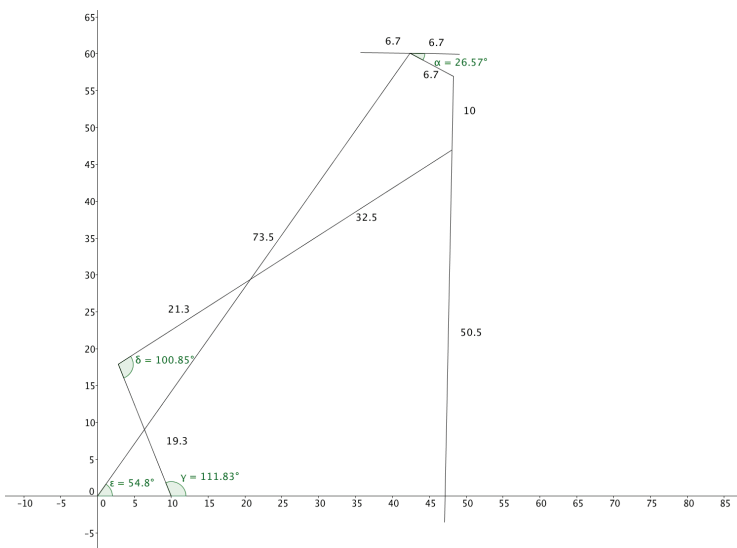
Mye tid ble brukt på utforsking av konseptet med foldbare bein, men problemet som gikk igjen var å få mekanismen til å fungere begge veier. Altså både når en feller setet ned og når en feller det opp.

Konseptet med stive bein gjør at bevegelsen til mekanismen holder seg i ett plan som forenkler arbeidet med å tilpasse sammensetningen av leddene. Som nevnt kan en kun jobbe i to dimensjoner i Geogebra. Valget ble derfor tatt at setet skulle ha faste bein.

Ved utarbeidelse av parameterne ble først høyden på setet satt innenfor rammene gitt i kravspesifikasjonen. Deretter ble lengdene på leddene funnet. Figur 3.30 og Figur 3.31 viser det endelige oppsettet fra arbeidsområdet i Geogebra.



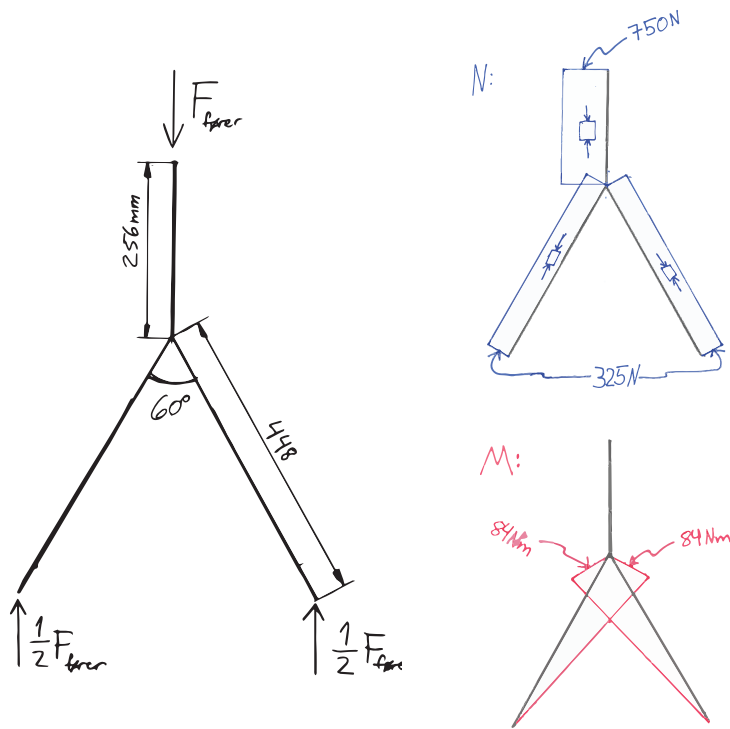
Figur 3.30: Arbeidsområde fra Geogebra med oppsett av setemekanisme



Figur 3.31: Endelige mål på mekanismen (mål i centimeter)

16.2.2 Beregninger

Slik mekanismen er laget skal majoriteten av vekten av føreren gå direkte ned gjennom beinene og ned i skiene. Noen enkle beregninger på beinene vil gi et bilde av kreftene som må tas opp. Som skissene i Figur 3.32 viser vil momentkreftene i sammenføyningen mellom beinene (tilsammen 168Nm) være av stor betydning for konstruksjonen. En enkel forbedring vil være å feste et stag eller en vaier mellom hvert av beinene.



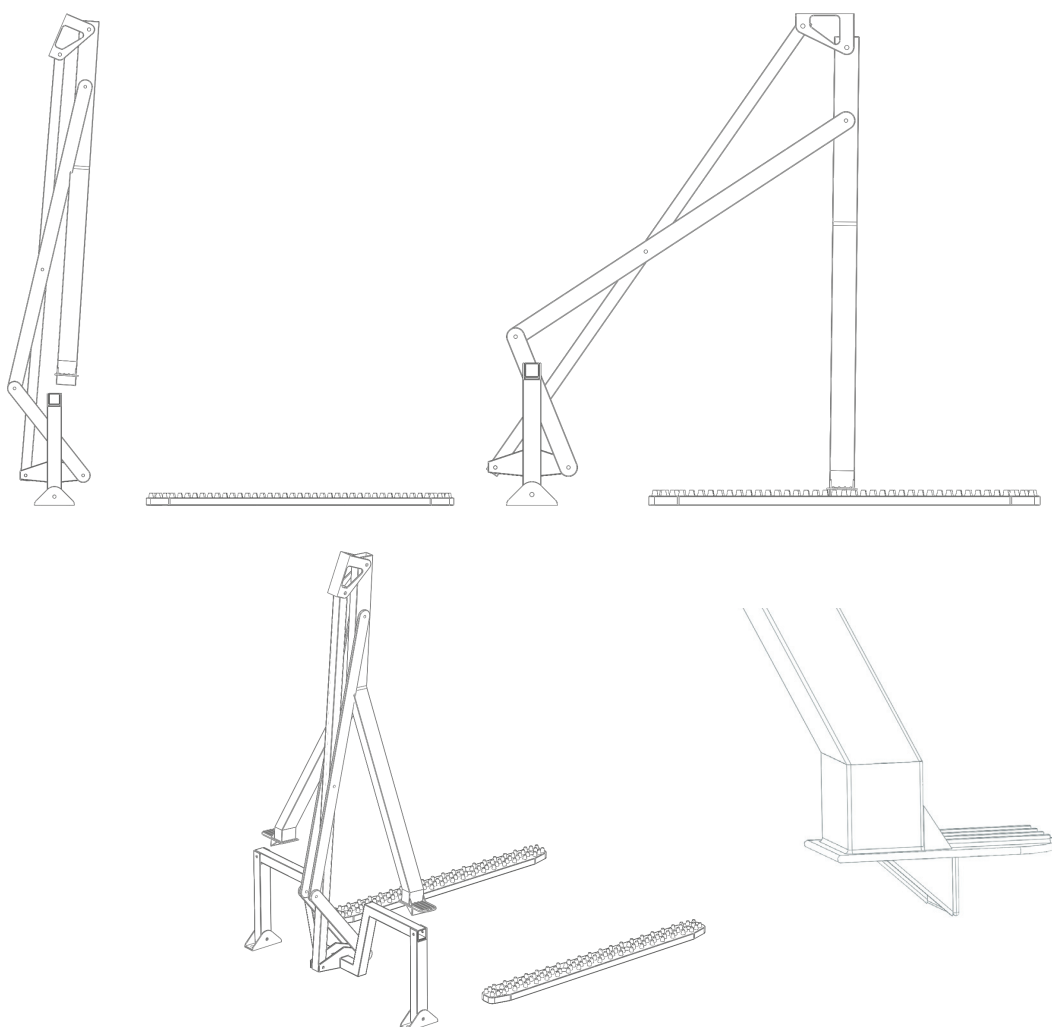
Figur 3.32: Skisse av normalkraft og moment diagram

16.2.3 CAD

Modellen i Figur 3.33 viser setemekanismen isometrisk og fra siden i nedslått og oppslått tilstand relativt i forhold til fotbrettene på skiene. I tillegg vises detaljene til en fot fra ett av beinene nede til høyre. Foten er laget slik at den skal holde beinene på setemekanismen plassert mellom skiene og ikke være i veien for førerens føtter når setet brukes.

For å ta opp momentkreftene i beinene ble en firkantprofil av aluminium valgt på grunn av høyere 2. arealmoment per vekt enn flatt aluminium. Samme gjelder for staget som er festet i fronten av setebraketten. Sammen med beinene skal dette staget skape en stabil plattform for setebraketten.

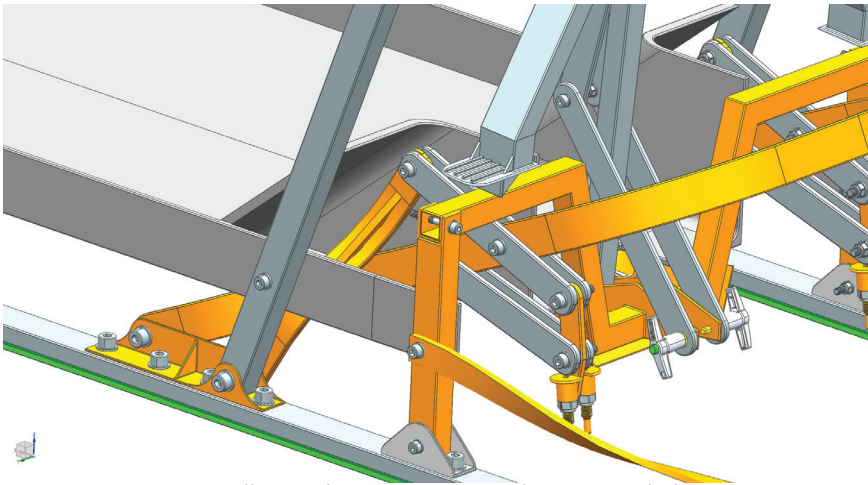
Totalvekten av setemekanismen inkludert bolter, skiver og muttere er 1,66kg, altså godt innenfor det som ble satt i kravspesifikasjonen. Vekten er uten selve sitteflaten.



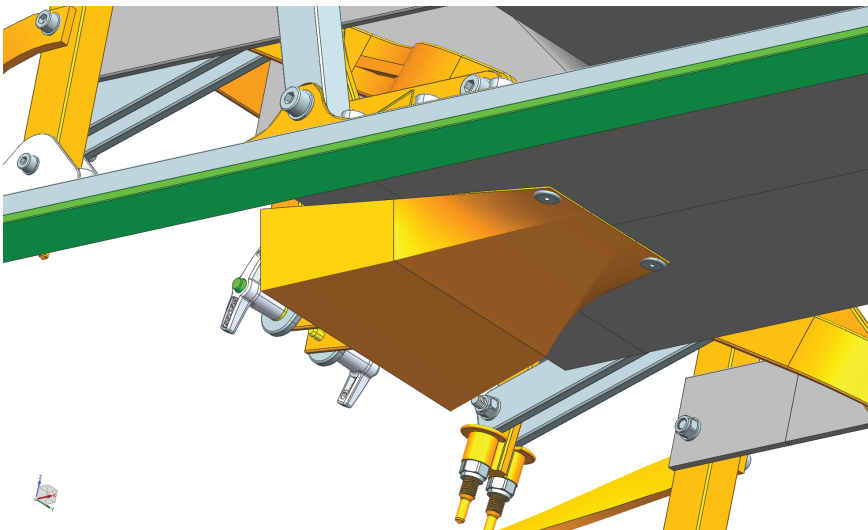
Figur 3.33: CAD-modellen av setemekanismen

16.3 Sammenstilling med resten av sleden

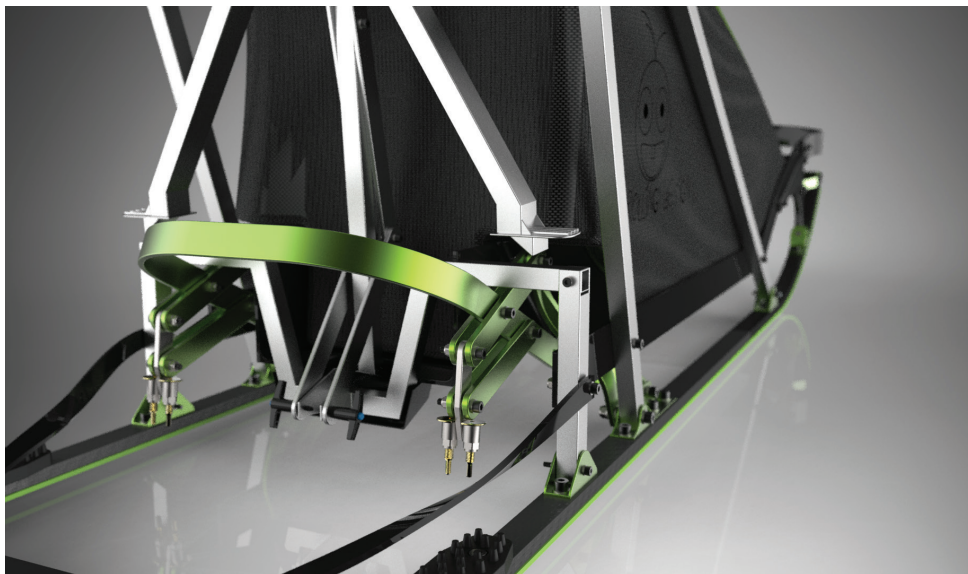
I grenseflatene til resten av sleden har det blitt gjort tilpasninger for å integrere det nye setet og bremsen. Figur 3.34 viser hvordan bremsen og setet er integrert med tobogganplaten og bukken. Tobogganplaten har utskjærte spor for bremsen med en beskyttende kant rundt mekanismen. Figuren viser også festebraketten til setet som går over bremsen og ned til laveste punkt på seteinnfestingen. På seteinnfestingen kan en se to hurtigkoblinger som er ment brukt for å ta av og på hele seteløsningen på et øyeblikk. Figur 3.35 viser tilpasningen av tobogganplaten for å få plass til de nederste festepunktene på setemekanismen. Et beskyttende deksel ble lagt over for å hindre hekting i underlaget. Figur 3.36 og Figur 3.37 viser en mer virkelighetsnær fremstilling av løsningene etter rendering av CAD-modellen. For flere renderinger av CAD-modell se vedlegg 9.



Figur 3.34: Sammenstilling av brems og sete med resten av sleden



Figur 3.35: Tilpasning av tobogganplate for integrering med setemekanisme



Figur 3.36: Rendering av brems integrert i sleden



Figur 3.37: Brems og sete etter rendering av CAD-modell

17 Prototype

For å verifisere konseptene ønsket vi å bygge en fungerende prototype. Figur 3.38 og Figur 3.39 viser setet på prototypen i oppslått og nedfelt tilstand. Figur 3.40 gir et overblikk over bremsen og innfestingen til setet.

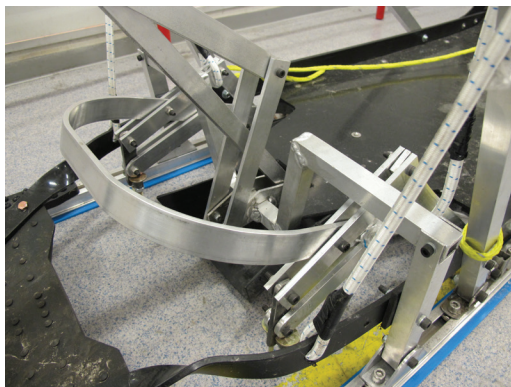
Til setet og bremsen ble det brukt aluminium så langt det lot seg gjøre, da dette ville vært førstevalget i et eventuelt produkt. Allikevel ble enkelte kompromiss foretatt på braketten til setet og braketten vist i Figur 3.41. Disse ble laget i stål da vi ikke hadde mulighet til å få de laget i aluminium. Legg merke til sfæriske endelagere i innfestingspunktene til bremsen for å unngå å hindre skien i å krenge. Føttene på setemekanismen ble også høyst provisoriske da vi ikke hadde mulighet til å sveise ferdig beinene på grunn av for lite dekk-gass til sveiseapparatet. Setet er et standard sykkelsete. Figur 3.42 viser sleden med det nye setet og bremsen slik den fremstod rett før testing.



Figur 3.38: Komplette prototype med oppslått sete



Figur 3.39: Nedfelt sete på prototype



Figur 3.40: Bremsen integrert med resten av sleden



Figur 3.41: Brakett for innfesting av bukk (lengst til venstre) og brems



Figur 3.42: Prototypen klar for tur!

18 Resultat

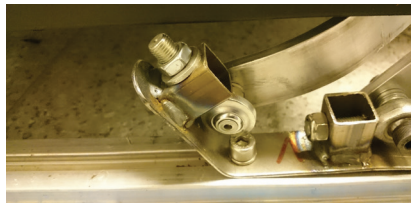
18.1 Testresultater - brems

18.1.1 God bremsekraft

Sammenlignet med de andre sledene stoppet prototypen veldig enkelt selv når hundene (5-spenn) dro det de kunne. Spesielt når spenn foran ditt eget tok i gang ble hundene veldig ivrige og rykket kraftig til i sleden. En merket da at det var vanskelig å holde de igjen med bare én fot på bremsen på BEWE og Prairie Bilt sledene. Med prototypen var dette aldri noe problem.

18.1.2 Problemer med brakett

Omtrent halvveis under testturen observerte vi at brakettene til innfestingen av bremsen var kraftig bøyd Figur 3.43, men bremsen fungerte allikevel helt greit. Dette skyldes en ganske dårlig designet brakett som ble lagd som en liten nødløsning for å få ønsket innfesting av bremsen med sfæriske endeledd. Et annet problem med braketten var klaringen mellom skiene og festepunktene til bremsen. Denne var for liten og medførte at bremsen buttet i skiene under store krenningsutslag på bukken.



Figur 3.43: Bøyd brakett etter testtur

18.1.3 Passe høyde på pigger

Vi var litt bekymret for at piggene på bremsen skulle være for lave slik at de ville komme til å hekte seg i ting langs bakken. Dette var ikke noe problem i den løypa vi kjørte som var relativt jevn og fin, men er noe som bør tas inn til vurdering om løypa er røffere.

18.1.4 Dårlig feste for fot på bøyle

Bremsebøylen var glatt og enkel å skli av da den ikke hadde noe gummi eller annen form for struktur som kunne bedre festet på den glatte alubøylen.

18.2 Testresultater - sete

18.2.1 God komfort og brukervennlighet

Som eneste slede med sete under testingen var det en liten ekstra komfort-bonus å få kjøre prototypen. Setet var behagelig under bruk med en komfortabel høyde på setet. En hadde blant annet god oversikt fremover og mulighet til å bruke bukken aktivt til styring mens en satt. Avstanden fra setet til bukken var dog noe liten og det kunne føles som en fikk bukken i fanget under kjøring. Dette skyldes delvis at bukken ble plassert 35mm lengre bak i forhold til setet enn opprinnelig planlagt grunnet problemer med innfestingen. Bilde fra testingen på Venabygdsfjellet sees i Figur 3.44.

“Jeg tror løsningen på setet har potensiale” - Amund Kokkvoll



Figur 3.44: Testing av prototype

18.2.2 Dårlig sideveisstabilitet.

Underveis på testrunden ble mekanismen merkbart mindre stabil sideveis. Dette kunne by på utfordring når en skulle felle ned setet. En måtte da passe ekstra godt på at beinene traff skiene. Mange faktorer spilte inn her, blant annet manglende sideveis stivhet mellom bakre del av skiene. Dette medførte at avstanden mellom skiene der setet var ment å stå økte.

18.2.3 Problemer med brakett

Som med bremsen hadde konstruksjonen et svakt punkt. For setet var dette braketten til selve setet. Denne var i likhet med braketten til bremsen laget som en nødløsning uten mye tanke på detaljene rundt designet. Setet fungerte dog greit gjennom hele testen, men bevegelsen til mekanismen ble noe endret da braketten ble bøyd.

19 Veien videre

19.1 Utbedring av brems

19.1.1 Endring av mekanisme

Mulighetene for å endre parameterne til mekanismen og dermed egenskapene til bremsen er store. Høyden på piggene fra bakken når bremsen ikke var i bruk var liten sett relativt til toboganplaten. Mulighetene for hekking i underlaget øker. For å heve piggene ytterligere bør braketten som setet er festet i endres. Denne begrenser toppunktet til bremsen slik utformingen er nå.

For å oppnå økt vandring på piggene kan en enkelt endre lengdene på de øverste svingarmene i mekanismen.

19.1.2 Vekt og styrke

Vekten av bremsen er $\approx 80\%$ mer enn dagens løsning. Som et ledd i veien videre vil det være naturlig å optimalisere bremsen med hensyn på vekt og styrke. Ved bruk av høykvalitetsaluminium slik som 7075-legering og minimere bruken av stål vil en kunne presse vekten ned. En betydelig del av vekten av bremsen er bolter, muttere og skiver som alt er laget i stål. Enkelte av disse kan dimensjoneres mindre eventuelt byttes ut med andre materialer som aluminium, titan, etc.

19.1.3 Forbedre innfesting av brems til slede

For å sørge for at skiene har fri bevegelse ved krenkning må en ta hensyn til bevegelsesrommet som festepunktene på bremsen må kunne bevege seg i. Sfæriske endeledd vil fungere bra om en har nok rom rundt der leddet er montert i braketten i skien. Løsningen vår har ikke hatt gode nok klaringer rundt innfestingspunktene, dette bør endres for å hindre uønskede krefter i bremsebøylen.

19.1.4 Øke stivhet sideveis

Som et ledd i å øke stivheten mellom skiene slik at en unngår problemet beskrevet under 18.2.2 vil endring av hovedbøylen i bremsen være en mulighet. Øker en 2. arealmoment i bøylen ved å bruke en profil av aluminium i stedet for flatt aluminium vil en kunne oppnå ønsket resultat. Innfestingen av bremsen slik den er nå med sfæriske endeledd er ikke beregnet på krefter i aksialretning. En må derfor se på både innfesting og selve bøylen om dette skal være et alternativ.

19.2 Utbedring av sete

19.2.1 vekt og styrke

Som for bremsen vil det i det videre arbeidet være naturlig å gjennomføre simuleringer på setemekanismen for å optimalisere med tanke på vekt og styrke. Bruk av 7075 -aluminiumslegering er å foretrekke. Dimensjonering av bolter, skiver og muttere er også for setet viktig da dette utgjør en betydelig del av totalvekten.

19.2.2 Hindre oversving på mekanisme

Et problem med en mekanisme kan være oversving slik at ledd i mekanismen vrenger seg og får et stort utslag i en retning den ikke er laget for. Med setet kunne dette skje om en skapte et moment i selve setet, da ville beinene kunne svinge bakover mer enn beregnet under bruk. For å hindre dette tenkes det at en monterer små vaiere mellom setebeinene og det lengste fremre staget.

19.2.3 Komfort

For å undersøke komfort under langtidsbruk vil omfattende testing være nødvendig. Utformingen av selve setet vil være den viktigste faktoren her. Et sykkelsete slik det er nå er erfaringsmessig ikke det mest komfortable å sitte på over lang tid. Et sete med større og mykere plattform vil være å foretrekke.

19.2.4 Endring av mekanisme

En mer kompakt mekanisme vil være nyttig for å senke vekten samt øke stabiliteten sideveis ved å gjøre leddene kortere. Festepunktene bør heves slik at de flukter med tobboganplaten for å unngå hekking i underlaget da dette er noe festebraketten ikke er beregnet for.

19.2.5 Stabilitet sideveis

Innfestingspunktene overfører relativt mye moment om en bruker mye krefter sideveis på setet da momentarmen fra setet til innfestingspunktene er forholdsvis lang. Her er det tenkt at en endrer selve braketten hele mekanismen er festet til og lager en mer solid innfesting. Sammen med en mer kompakt mekanisme vil dette kunne løse noe av problemet med sideveisstabilitet



SKI



20 Introduksjon

Gjennom arbeidet med prosjektoppgaven så vi et stort potensiale i å forbedre skien som brukes til dagens konkurransesleder. Flertallet av sledene til dagens hundekjørere bruker aluminiumsski, som er en løsning som har eksistert i snart over 40 år uten markante endringer. Behovet for bedre glid var viktig blant kjøerne, og store summer ble brukt på produkter som gir bedre glid på skiene. Men er dette den beste løsningen? Kan en ta ett skritt tilbake og se om det finnes andre løsninger på selve skiene som de bruker for å gli bedre?

Ser en på hvilke løsninger som for eksempel langrenns- og alpinsporten, vil en se at det er komposittmaterialer som gjelder. Hvorfor er ikke dette tatt i bruk i hundekjøringssporten?

20.1 Målsetting

Målet med denne delen av masteroppgaven er å utvikle en komposittski til bruk innen hundekjøring slik at sleden glir lettere i terrenget. Dette skal gjøres ved å kombinere styrke og fleksibilitet med torsjonsstivhet for å gjøre skien lettere og mer levende, samtidig som en har en ski som kan krenses. Masteroppgaven vil ta sikte på å lage ett komplett par prototyper som kan monteres og testes på en eksisterende hundeslede.

20.2 Hvorfor lage en komposittski?

Et komposittmateriale er resultatet av å kombinere to eller flere materialer med ulike egenskaper for å lage et materiale med unike egenskaper. Fordelen med et komposittmateriale er at en har ubegrensede muligheter for å kombinere og utnytte de spesifikke egenskapene til hvert materiale. Den viktigste - og mest kjente gruppen av komposittmaterialer er fiberkompositter. Dette kan være glass-, karbon- eller aramidfiber, sammen med en matrise av epoxy, polyester, polypropylen eller polyamid. Alene er komponentene svake - fiberen har ofte høy styrke men er svært sprø, mens matrisen er svak men svært fleksibel. Kombinasjonen av disse gjør at vi får en synergi som resulterer i et materiale som både er fleksibelt og sterk, der matrisen holder fibre sammen og fordeler kreftene på dem alle [3].

Bruksområdet til komposittmaterialer øker stadig. Styrken til materialet gjør at en kan bruke akkurat det en trenger av materiale for å dekke kravene til styrke og utforming. Dette gir sterke produkter med lav vekt. Fly- og båtskrog, trykktanker og ski er bare noen av bruksområdene til komposittmaterialer. Komposittski har vært brukt i flere tiår og har blitt spesialisert innenfor hvert område den brukes – også innen langrenn og alpint.

21 Spesifisert behovsanalyse

For å lære om og kartlegge de ulike aspektene knyttet til skien på en hundeslede har vi vært i kontakt med flere sentrale eksperter; innenfor glid i langrennssporten, beregning og simulering av kompositter, bygging av komposittski for frikjøring, og ikke minst hundekjøring.

21.1 Kjørere og glid

Sigrid og Amund var veldig positive til å kunne bidra til å utvikle en komposittski. Sigrid sa høsten 2014 at hun syntes det gled best når hun kjørte på skibelegg (Ptex), selv om glideren ofte forsvant etter 2-3 mil. Glidebeleggene - eller "bøtteplasten" som hun kalte det, fungerte helt greit, men hun stolte ikke helt på at det skulle være det beste tilgjengelig på markedet. Om dette var noe produsentene solgte for å tjene mer penger, visste hun ikke. Dette peker på at kjørere ikke har mye kunnskap om det tekniske innen ski og glid, og det virker som at en velger å følge trenden i miljøet.

Sigrid og Amund har begge kjørt på glidebelegget i årets sesong. Det som kan være viktig å merke seg er at Sigrid i tillegg brukte mellomdistanse-sleden med treski på slutten av Finnmarksløpet, da hun vant med overlegne 2,5 timer. Denne sleden er en del lettere enn Prairie Bilt-sleden, og det kan også tenkes at skibelegget sammen med treskiene gir fordeler som ikke aluminiumsski og glidebelegg gir. Taktikken som legges opp foran et løp er ofte helt avgjørende for resultatene, ifølge Team Sigrid Ekran. Man velger allerede belegg og tilpassninger på sleden, og kan derfor også se på mulighetene til å kunne velge ski etter forholdene.



Figur 4.1: Slede med fire innspenninger

Sigrid og Amund er avhengige av å kjøre hundesleder som er pålitelige og fungerer slik de skal. Skal en så komme frem til en ny løsning på ski, må denne kunne implementeres i eksisterende produkter som de bruker i dag, eller i en helt ny slede.

21.2 Skiytelse

Felix Breitschädel fullførte en doktoravhandling med tittelen “Technical aspects to improve performance in cross-country skiing” i 2014, og jobber nå i Olympiatoppen for å finne den ultimate gliden for landslaget i langrenn. Han kunne fortelle at å finne den beste gliden til en hundeslede ville kreve altfor mye arbeid i tillegg til å utvikle en egen ski. Han anbefalte å bruke løsningene til skiene som finnes i dag, både for å avgrense oppgaven men også å gjøre det lettere for testing av en komposittski.

Tribologi-biten av oppgaven vil derfor bli utelatt siden dette er et stort fagfelt i seg selv. I langrennssporten kommer valget av selve skien foran gliding av ski, på grunn av de varierende forholdene i konkurransene. Dette var noe som en burde tenke på i hundekjøringen også.

Per dags dato har hundekjørerne valgt en veldig trygg linje på valg av ski. Aluminiumsskiene er svært hardføre og tåler mye juling. En slik ski er unødvendig sterk for distanser med lite krevende terreng, og gjør at hundene bruker unødvendig energi. Å designe en ski som er rettet mot bedre gli, heller for en som skal tåle “alt”, kan være et viktig steg i riktig retning.

21.3 Thorleif Nordengen

Thorleif startet 24 år gammel som møbelsnekker og har jobbet i yrket frem til han pensjonerte seg som 80-åring. I 1975 fikk han et oppdrag fra en fetter om å reparere en “Nansen-slede”, og etter den dagen startet Thorleif å produsere sine egne hundesleder som han kalte OT-sleden. Thorleif var i sin tid en innovatør som innførte mye nytt til hundekjørermiljøet; Han fikk laget glidebelegg med glidertilsetting, glassfiber ble brukt i sledebyggingen og han lagde i tillegg laminerte treski. Alt gjennom prøving og feiling på verkstedet. Mer en 4.000 OT-sleder har blitt solgt gjennom årene, og var en av de mest populære sledene på markedet i sin tid.



Figur 4.2: Thorleif Nordengen i egen person på Hakadalseminaret

Det viste seg at Thorleif også hadde drevet på å utvikle komposittski på 80-tallet. I en telefonsamtale fortalte han om arbeidet han hadde gjort med å lage komposittski med både tre- og skumkjerne. Han hadde brukt mye tid og ressurser på å anskaffe utstyr og finne ut hvordan ting burde gjøres. Produksjonen var tidkrevende og dermed dyrere enn for eksempel aluminiumsskien som kom ut på markedet. Det ble da vanskelig å overbevise

det konservative hundekjørermiljøet om å gå for en dyrere ski, og han ga seg etter 150 produserte par. Thorleif prøvde seg også på en ski med carving (innsving). Dette ble dårlig mottatt av kjørerne, og lite salg mot mye arbeid gjorde at skiproduksjonen ble lagt ned.

Utviklingen av kompositter har kommet svært langt siden Thorleif produserte sine ski. En har tilgang på bedre materialer og produksjonsmetoder. I tillegg har hundekjørerne fått øynene opp for å bruke teknologi for å kjøre raskere; Dette kunne vi lese om i en artikkel fra årets Finnmarksløp der det kom frem at kjørere brukte opp til 18.000 kroner på belegg sliping og smøring i året [4].

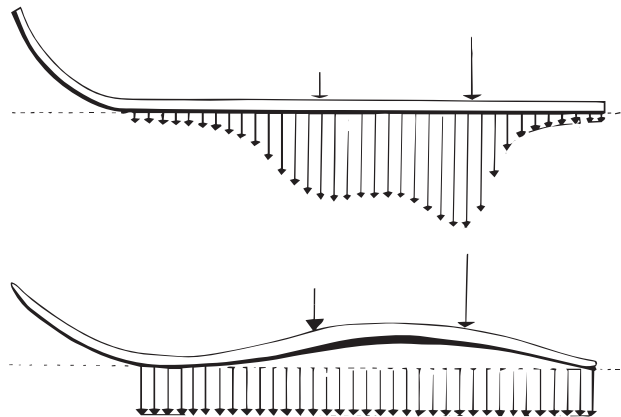
21.4 Krefter på ski

21.4.1 Glid

Glidegenskapene til sleden vil gjennom en enkeltdistanse ha mye å si for prestasjonene til hundene. Det sier seg selv at til bedre glid sleden har, jo lengre holder hundene ut. En forskjell på 1% i glid vil ha store utslag for hundene gjennom en enkeltdistanse, som ofte ligger på over 100 km.

Glid mellom en overflate og snø oppstår ved at det gjennom friksjonsvarme dannes en tynn vannhinne som senker friksjonen mellom overflatene. Friksjonsvarmen er avhengig av temperaturen på snøen og skien, samtidig med kornstørrelsen på snøen og overflaten på skien.

Marktrykket fra skien skaper friksjonen som igjen skaper varmen til å lage vannsjiktet. Det er dette som gjør skiegenskapene så viktige for gliden [7]. God vektfordeling og evnen til å holde et godt marktrykk langs hele skien er avgjørende for å ha god glid (Figur 4.3).



Figur 4.3: Vektfordeling langs ski uten- og med spenn

21.4.2 Kjører

Kjøreren utgjør største del av vekten på hundesleden. Plasseringen kan variere både i lengderetning og fra side til side (Figur 4.4). Mange kjørere skifter vekt plassering etter hvordan terrenget er eller hvordan sleden skal styres. En gjennomgående trend for alle ski er at kjøreren er plassert svært langt bak på skien, noe som gjør at en får en dårlig

vektfordeling og dermed mindre optimal glid. Vekten av bekledningen alene kan komme opp i 5 kg, og ser vi på Sigrid og Amund er de i vektklassen 50-70 kg. I beregningene og simuleringene er det brukt en kjører på totalt 90 kg for å ta med sikkerhetsfaktor til dimensjonering.



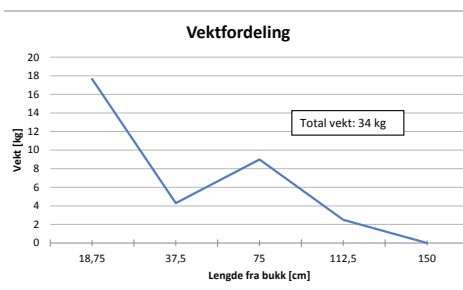
Figur 4.4: Hundekjører i full vektoverføring gjennom Røros-svingen

21.4.3 Utstyr

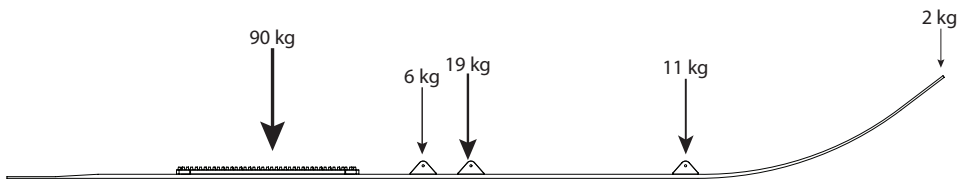
I alle konkurranser innen hundekjøring er det reglement for påbudt utstyr som skal med i sleden. I tillegg har de fleste hundekjørere med utstyr som de erfaringsmessig trenger gjennom distansen de skal kjøre. Total vekt på utstyret og plassering er viktig input for å kunne oppnå et godt skidesign. Gjennom samtaler og diskusjon med Roar og Amund ble det laget en modell som viser vekten av utstyret fordelt på tobogganplata på sleden (Figur 4.5 og Figur 4.6). Totalvekten av utstyr og slede ligger på rundt 40 kg [5]. Utstyret og plasseringen vil variere fra løp til løp, men modellen vil gi et godt estimat på vektfordelingen på skien vist i Figur 4.6.



Figur 4.5: En ferdig pakket slede for Iditarod



Figur 4.6: Vektfordeling av utstyr på tobogganplaten [1]



Figur 4.7: Vektbelastning på innspenninger

21.4.4 Hastighet

Ser vi på konkurransene som kjøres innen langdistanse - over 1000 km, vil hastigheten på et hundespenn ligge på rundt 12 km/t. Sigrid Ekran hadde en gjennomsnittshastighet på 12,8 km/t da hun vant Finnmarksløpet 2015 [6]. Denne hastigheten vil være betydelig hvis en skulle treffe hindringer og lignende - noe en ofte er utsatt for i hundekjøring.

Variasjoner i terrenget vil forplante seg gjennom skiene og opp i sleden og videre til bein og armer på føreren, noe som kan bli slitsomt etter åtte timer stående bak på sleden. Dette vil kjennes spesielt ved hardt underlag. Alle ski vil ha en viss demping, men den varierer etter hvilket materiale og stivhet det er i skien.

21.4.5 Krengning

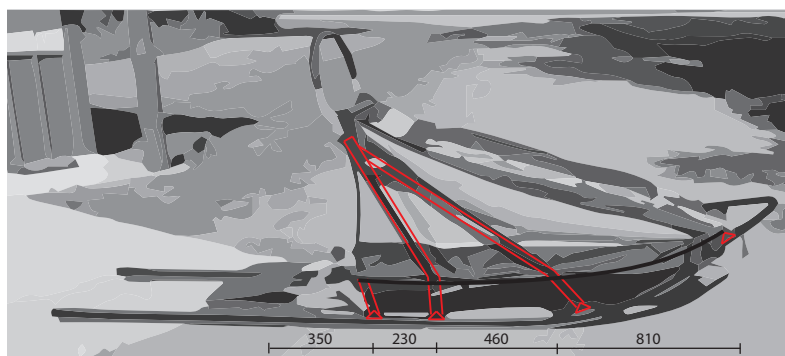
I tillegg til at skien skal gå fremover må den - ved et tradisjonelt svingesystem - også kunne kantres slik at sleden kan unngå hindringer og komme gjennom svinger. Etter samtaler med kjørere, observasjon og egen erfaring er det kommet frem til at svingning av en hundeslede er sterkt avgrenset til draget fra hundespennet. Likevel vil en kunne holde en linje forskjellig fra hundene ved å kantre skiene. Dette gjøres på forskjellige måter etter hvilket konsept som er brukt på den enkelte slede. Felles for de alle er at skien må være torsjonsstiv nok. Et eksempel på krengning er vist i Figur 4.8.



Figur 4.8: Hundekjører på vei ut fra Røros-svingen

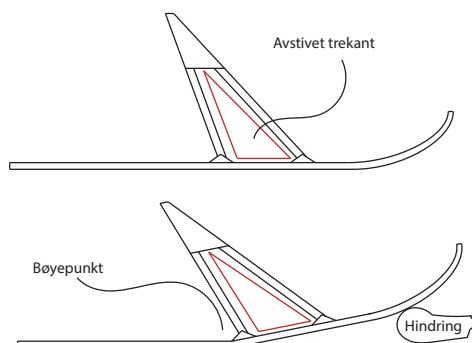
21.4.6 Innspenning

Alle kreftene fra sleden går gjennom innspenningene. Dette gjør at mye av sledens karakter bestemmes i forholdet mellom ski og slede. Prairie Bilt-sleden til Sigrid og Amund har totalt fire innspenninger på hver ski, og er vist i Figur 4.9. Rammene rundt oppgaven tilsier å bruke eksisterende sleder på testing. Dermed må skien passe med målene på innspenningene.

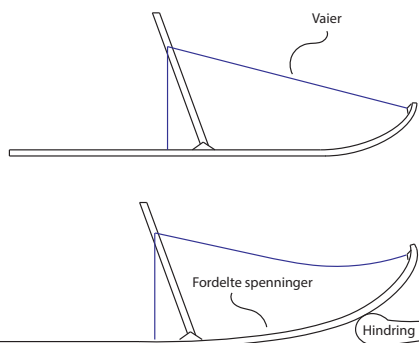


Figur 4.9: Plasseringer av innspenninger på Prairie Bilt-slede

Slededesignet har blitt analysert for å se hvordan innspenningene kan påvirke skien. De fleste sledene er designet slik at en har innfestninger med fri rotasjon, samtidig som en har stivet av triangelet mellom bukkene (Figur 4.10). Dette gjør at en låser av skien fra bremsen og fremover. Når en kjører over ulendt terreng blir deformasjonen av skien konsentrert i den korte avstanden mellom ståplaten til kjørerens og innspenningen ved bremsen.



Figur 4.10: Slede med trekant-avstivning



Figur 4.11: Slede med fri ski

Figur 4.11 viser en annen løsning som er for eksempel brukt på BeWe-sleden til Sigrid (Figur 4.12). Antall innspenninger er nede i to til tre, og en bruker vaier for å stive opp sleden. Dette gjør at en ikke låser av deler av skien og deformasjoner vil fordele seg jevner utover hele lengden.



Figur 4.12: Slede med to innspenninger

21.4.7 Varierende forhold

Konkurransesesongen for hundekjøring er fra slutten av desember til starten av mars. Løpene i Norge holdes over hele landet, og dermed vil forholdene variere i stor grad. Langrennsutøvere har titalls par ski å velge mellom, med spesifikke egenskaper til ulike forhold. En hundekjører vil ha ett par påmontert sleden, som kun kan skiftes belegg på. Dette stiller store krav til skien på sleden.

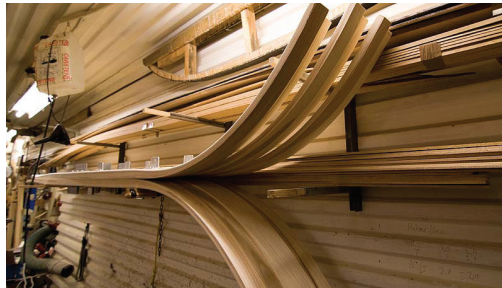
Som nevnt tidligere blir hvert løp kjørt opp av snøskuter for å få en solid såle som underlag for hundekjøerne. Snøen vi finner i sporet vil være preget av både temperatur og vind. Kalde temperaturer gjør at snøkornene blir finere, samt at vinden legger igjen snø i sporene. Forholdene setter forskjellige krav til skiene som blir brukt, og som Felix sier, kan bearbeides for å få optimal glid.

22 Eksisterende løsninger

Det finnes hovedsakelig bare to typer ski som brukes på langdistansesleder i dag; treski og aluminiumsski. En ren komposittski finnes per i dag ikke på markedet. Her følger en beskrivelse av de to skitypene. Til slutt oppsummeres fordelene og ulempene til skiene.

22.1 Treski

De første hundesledene som ble laget brukte grove treski laget av solid tre. Dette var hovedsakelig grunnet at dette var lettest tilgjengelig som kunne bøyes og som var sterkt nok. Etter hvert ble treskiene mer spesialiserte og en startet med å bruke laminerte treski Figur 4.13. Trelamellene gjorde at en kunne utnytte fiberretningen på treskiene slik at en fikk en sterkere ski.



Figur 4.13: Treski klare for montering [2]

For at skiene skulle gli bedre brukte en først en stålskinne under skiene. Da plastikk materialet ble utviklet fant en ut at dette gled mye bedre. I nyere tid bruker en enten skibelegg som er limt på skien, eller en skinne som en kan tre glidebelegg på.

Egenskapene til en treski er veldig gode. En har en levende ski som gjennom sin styrke og fleksibilitet følger terrenget godt. Treski er svært bra for å dempe variasjoner i underlaget eller vibrasjoner som kan oppstå på et hardt underlag.

Ulempen med treski er at de blir relativt tunge på grunn av styrken som trengs. De er også lite torsjonsstive grunnet den naturlige fiberstrukturen. Treski kan ta til seg vann og dermed bli tyngre, miste sin styrke og delamineres av frostsprengning. De krever derfor mye vedlikehold og må passes på. I tillegg kreves det mye arbeid for å finne treemner som er tilnærmet like - slik at begge skiene oppfører seg likt. Treski vil til slutt bli utmattet og miste sin styrke og spenn.

Det nærmeste produktet en kommer til en komposittski er i fra Cody Strathe (Alaska) [8]. Han lager treski med en karbon/glassfiberstrømpe rundt (Figur 4.14). Produktet er først og fremst en treski som er blitt forsterket av et komposittlag. Dette gjør at skien blir mye tyngre enn nødvendig. Produksjonsteknikken som benyttes er ikke anbefalt for komposittmaterialer, der herdingen gjøres ved å varme opp en krympestrømpe over skien. En får ikke utnyttet fordelene til komposittmaterialet i skien, og det virker som om komposittmaterialet blir bukt for navnets skyld.



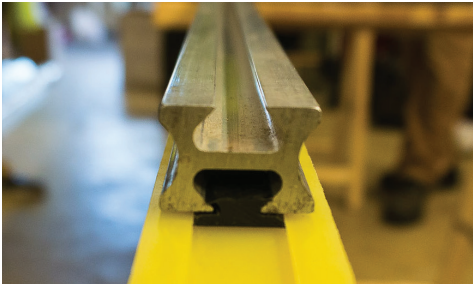
Figur 4.14: Bildeklipp fra Strathes verksted [3]

Fordeler	Ulemper
+ Varierende styrke langs skien	÷ Krever vedlikehold
+ Levende ski	÷ Lang og kostbar produksjon
+ Vektfordeling langs skien	÷ Veier mye
+ Presisjonsski ved flatt underlag	÷ Dårlig torsjonsstyrke

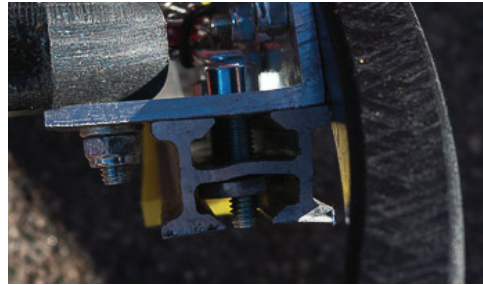
22.2 Aluminiumsski

Tidlig på 80-tallet kom Tim White opp med en ekstrudert skinne av aluminium som han bøyde til en ski. Denne ble laget av aluminium fra flyindustrien - 7075 T6, som har veldig høy styrke i forhold til andre typer aluminium. Dette gav en lett ski med høy styrke som kunne produseres billig. I tillegg ble det mye lettere å skifte belegg da White innførte QCR-systemet (Quick Change Runners) som gjorde at en kunne tre av og på glidebelegg (Figur 4.15).

Aluminiumsskien er svært slitesterk og tåler mye mye hard kjøring. Det er nettopp derfor flertallet av hundekjørrer bruker den i dag. Man kan kjøre skiene over grus og veier uten at den tar skade, og etterpå bytte beleggene som har blitt slitt. Løsningen er et kompromi der robusthet kommer forran ytelse.



Figur 4.15: Aluminiumsski med glidebelegg



Figur 4.16: Deformasjon av aluminiumsski

Den ekstruderte aluminiumen blir kjøpt inn fra én leverandør i USA, og er dermed vanskelig å få tak i. Skiene blir bøyd for hånd og er parvis like. Dette fører til at en må bytte begge skiene skulle en gå i stykker - om en vil ha helt like ski. Skien har konstant tverrsnitt, noe som gjør at den har lik styrke langs hele skien. Vekten av aluminiumsskiene (9 ft) ligger på rundt 2400 g per ski med braketter. Dette er en relativt stor del av vekten på sleden.

Aluminiumskien har veldig gode festeanordninger for braketter, siden hele skien er en skinne. Likevel må en bore i skien der en vil sette braketten, på grunn av store krefter. En ulempe med festeanordningen er at skien vil deformeres ved bruk av for mye kraft når en strammer bolten (Figur 4.16). Dette fikk Sigrid Ekran erfare før starten av Femundløpet i år da skibelegget ikke ville gli inn på skien.

Selv om aluminiumsskien har en bruddstyrke på over 500 MPa [9], kan det oppstå utmattelsesbrudd i skien, som diskutert tidligere ved trekant-avstivingen i Figur 4.10 on page 114. For å unngå brudd har en forsterket aluminiumsskien på denne overgangen, noe som bare har gjort skien enda stivere.

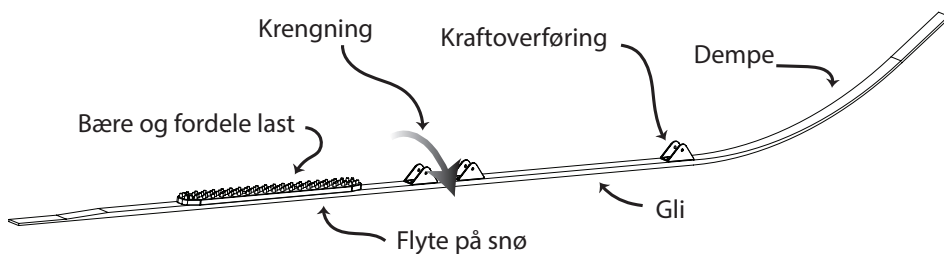
Fordeler	Ulemper
+ Robust og lite vedlikehold	÷ Død ski
+ Veier mindre enn treski	÷ Konstant tverrsnitt og styrke langs skien
+ Enkel å produsere	÷ Veier relativt mye
+ De fleste bruker produktet	÷ Lang og kostbar levering
+ Kan brukes til alle forhold	÷ Dårlig vektfordeling på underlag
	÷ Utmattelsesbrudd

23 Kravspesifikasjon

Fra brukerundersøkelsene gjort både for prosjektoppgaven og i masteroppgaven følger kravspesifikasjonene til skien (Tabell 4.1 og Figur 4.17). Kravene er hovedsakelig tekniske med verdier, og funksjoner som skal oppfylles. Disse setter grunnlaget for skien som skal utvikles.

Tabell 4.1: Tekniske krav på ski

Krav nr	Beskrivelse	Enhet	Marginal verdi	Ideell verdi
1	Lengde på ski	fot	8 - 10	9
2	Bredde på ski	mm	32 - 40	35
3	Torsjonsstivhet	Nm ²	> 80	> 110
4	Lengde på toboganplate	mm	1500-1550	1550
6	Styrke i ski	MPa	500 - 700	600
7	Egenvekt	kg	1,5 - 2,5	< 2
8	Lastkapasitet	kg	90 - 150	130
9	Spenn	mm	10 - 30	20



Figur 4.17: Funksjonskrav på ski

Bære og fordele last

Komposittskien må kunne festes på hundesleden slik at kraften fra sleden fordeles langs skien og videre i bakken.

Gli

Komposittskien må være utformet slik at en får festet glidebelegget og at vi får en optimal

gli på underlaget.

Dempe

Komposittskien må kunne tåle å kjøre over kupert terreng samtidig som energien blir tatt opp på en minst forstyrrende måte.

Kraftoverføring

Kreftene fra sleden må gå gjennom innspenninger på skien.

Flyte på snø

Komposittskien må kunne komme seg over snøen slik at det ikke oppstår ploging i front eller at deler synker ned i snøen.

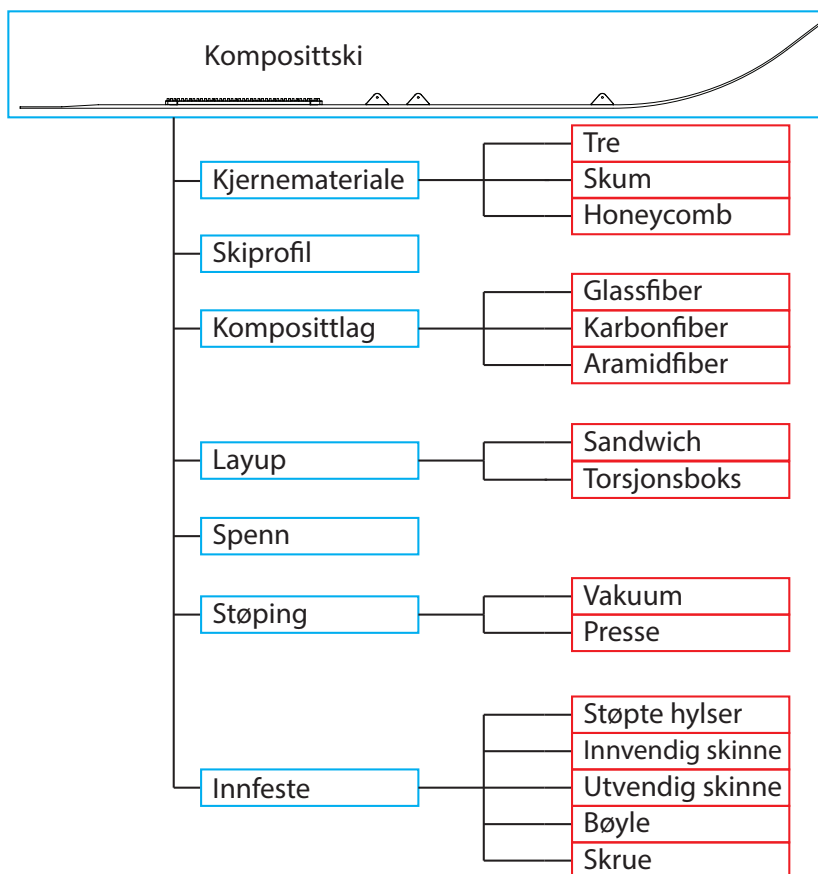
Krenges

Komposittskien må kunne krenges for å styre sleden gjennom svinger og unna hindringer.

24 Konseptutvikling

Målet med konseptutviklingen er å finne de gode alternativene til hvordan en ski kan bygges opp. Produktkravene som ble satt tidligere må tilfredsstilles og under utviklingen benyttes blant annet testing og simulering for å begrunne valgene.

Det er mange måter å bygge opp en komposittski på. Avsnittet som følger vil gå igjennom de ulike elementene som tilsammen utgjør en komposittski, og er listet i Figur 4.18. Blå rammer er funksjoner, mens røde rammer er løsninger.



Figur 4.18: Elementer som inngår i en komposittski

24.1 Kjernemateriale

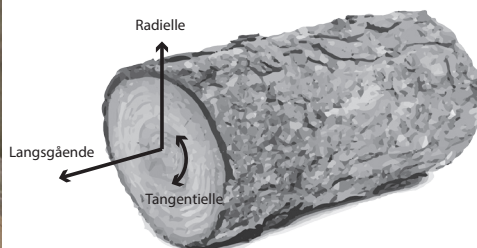
Kjernematerialet i en ski er den viktigste enkeltkomponenten ettersom den bestemmer skiens grunnleggende egenskaper og fleksibilitet. Det finnes svært mange kjernematerialer brukt opp igjennom årene fra en begynte å produsere komposittski på 70-tallet. Målet med kjernematerialet er at en øker annet arealmoment til skien for styrke og tar opp vibrasjoner fra underlaget.

24.1.1 Trekjerne

Det mest brukte kjernematerialet for skisporten gjennom tidene er trekjernen. Grunnen til dette er som tidligere nevnt at tre har svært gode egenskaper som passer skikjøring godt; Tre kan lagre potensiell energi i fra terrenget som gjør det i stand til å dempe men også opprettholde god kontaktflate med underlaget - noe som er viktig for god gli og flyt. Tre har i tillegg en lavere stivhet enn andre komponenter i skien som gjør den i stand til å ta opp vibrasjoner. Treverket har en organisk cellestruktur som gjør at materialet tåler påkjenninger og holder egenskapene lenger.



Figur 4.19: Trekjerne klar for støping

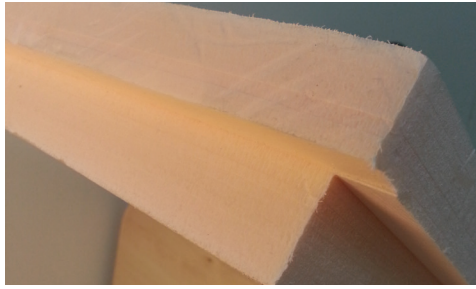


Figur 4.20: Ortotropisk materiale

Et trevirke har ortotropiske egenskaper. Det vil si at egenskapene er forskjellige i tre retninger; aksial-, radiell- og tangentiell retning (Figur 4.20). Ved å dele opp treverket i lameller kan en få et materiale som har tilnærmet like radielle- og tangentielle egenskaper - noe som gjør det til et bra kjernemateriale. I tillegg blir en kvitt uregelmessigheter som kvister og feil fibermønstre som kan påvirke egenskapene. En kan også legge inn flere tretyper for å få mer spesifikke egenskaper.

24.1.2 Skumkjerne

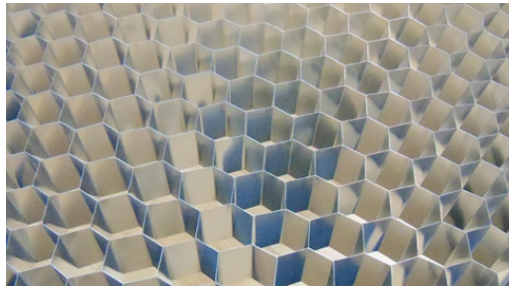
Skumkjernen kom som et billigere og enklere alternativ til trekjernen. Skum er svært lett og enkelt å forme. Materialet har et homogent materiale og passer bra til produkter som må ha like egenskaper. Baksiden er at skummet er et "dødt" materiale - skiene vil ikke dempe terrenget eller vibrasjoner på samme måte som tre. Skum er også veldig sårbart for kollaps og brudd. Vann kan også trenge inn og ødelegge skummet.



Figur 4.21: Skumkjerne

24.1.3 Aluminiumskjerne

En honeycomb-struktur av aluminium er lett og sterk og deler mange av fordelene som skum har. Honeycomben er kostbar og er som skum et "dødt" materiale. Det er vanskelig å maskinere materialet.



Figur 4.22: Honeycomb av aluminium [4]

24.1.4 Evaluering og valg av konsept

Tabell 4.2 viser en evaluering av de tre ulike kjernematerialene:

Tabell 4.2: Evalueringsmatrise

Kjernemateriale		Tre	Skum	Aluminium
Kriterie	Vekt (%)	Score	Score	Score
Kostnad	15	3	4	1
Spenn	25	5	1	1
Vekt	20	1	5	3
Produsjon	10	2	5	3
Tilgjengelighet	10	5	4	1
Robusthet	20	5	1	2
Total		3,6	2,95	1,8

Forklaring til tabell

Kostnad: Pris på materialet

Spenn: Hvor mye energi kan tas opp av materialet i form av fleksibelt spenn

Vekt: Relativ vekt på materialet

Produksjon: Arbeid som kreves fra emne til ferdig kjerne

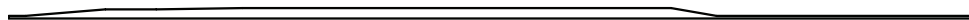
Tilgjengelighet: Hvor lett er det å få tak i materialet

Robusthet: Hva materialet tåler av påkjenninger

Som vi ser av evalueringsmatrisen får trekjernen høyest score på grunnlag av egenskapene innen spenn og vil dermed bli brukt i videre testing og raffinering. En trekjerne vil i tillegg til fordelene nevnt over også klare å bøye seg nok til å passe i en kommende skiform. Skumkjernen kom ikke langt bak og scorer bra på vekt og produksjon.

24.2 Skiprofil

Profilen på kjernematerialet gir til slutt skiens unike egenskaper som varierer langs hele lengden som vist i Figur 4.23. Tykk kjerne gir høy stivhet, mens tynnere kjernetykkelse gir mer fleksibilitet og kan bøyes før støping. Formen på skiprofilen henger sammen med flere andre faktorer, og vil bli sett nærmere på under designet av prototype-skien.



Figur 4.23: Flat skiprofil med varierende kjernetykkelse

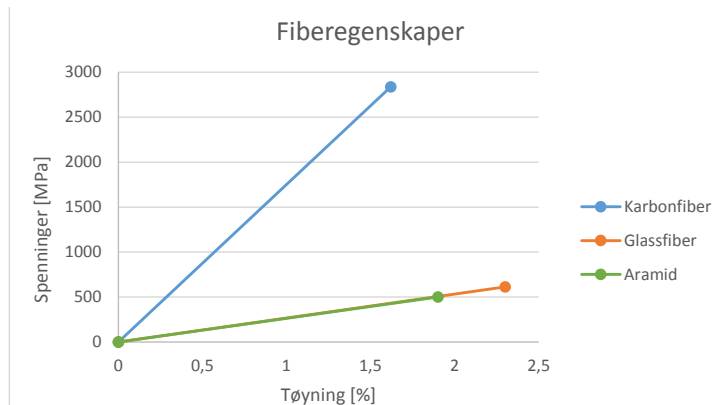
24.3 Komposittlaget

Komposittlaget i skien gir mesteparten av stivhet og styrke - opptil 50-80 % [10]. De unike egenskapene gjør at materialet kan bøyes utrolig langt uten å brette.

Det finnes flere typer fiber som blir brukt;

- Glassfiber - relativt billig og gir god styrke. Rundt 90% av alle ski som blir laget bruker glassfiber som materiale [10].
- Karbonfiber - har skutt i været de siste ti årene. Karbonfiber er lettere og sterkere enn glassfiberen, men også mer kostbar. Fordelen med karbonfiber ligger i at en får lik stivhet på skien med en brøkdel av vekten.
- Aramid - eller mer kjent som Kevlar, er brukt som et vibrasjonsdempende materiale. Materialet er veldig kostbart.

Se sammenligning i Figur 4.24.



Figur 4.24: Sammenligning av ulike fibermateriale [5]

24.3.1 Evaluering og valg av konsept

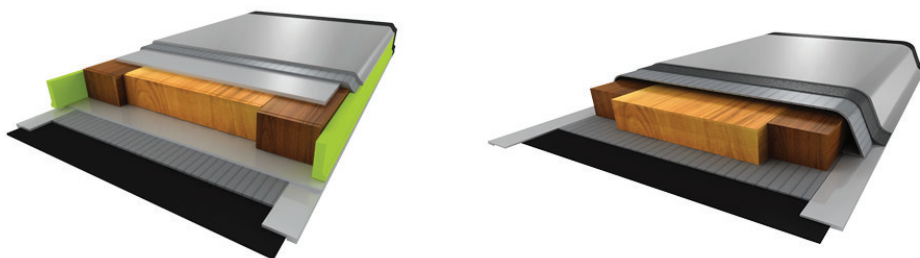
Det vil bli brukt glassfiber på prototypene, siden vekt ikke er hovedprioritet i første omgang. Komposittlaben på instituttet har mye glassfiber liggende på lager, og har mye ekspertise på materialet. Muligheten for forsterkninger av karbonfiber vil komme som en del av veien videre.

Som tidligere nevnt får komposittlaget sin styrke fra fiberretningen. Dette betyr at en må kombinere flere fiberretninger for å styrke skien på alle områder - både i styrke, fleksibilitet og torsjonsstivhet. Beregninger og simuleringer kommer senere i oppgaven.

24.4 Layup

Når en kombinerer kjernematerialet med komposittlaget vil en kombinere stivheten til komposittlaget med fleksibiliteten til kjernen. Det finnes to måter på hvordan en pakker inn kjernematerialet (Figur 4.25):

- Sandwich - På sandwich-konstruksjonen vil en legge komposittlag over og under kjernematerialet. Dette vil eksponere sidene på kjernen for snø og slag fra omgivelsene. Vanligvis legges et hardere laminat på sidene for å beskytte resten av den myke kjernen.
- Torsjonsboks - I en torsjonsboks vil hele kjernematerialet være innpakket i komposittlag. Dette gjør at en har en vanntett beskyttelse av kjernen, samtidig som en kan utnytte den ekstra styrken til komposittlaget på sidene.



Figur 4.25: Illustrasjon av sandwich og torsjonsboks [6]

24.4.1 Evaluering og valg av konsept

Siden kravet om høy torsjonsstivet er sentral for skien, vil det i utgangspunktet bli brukt torsjonsboks på prototypen. Det er vanskelig å si noe om hvor store forskjeller en har mellom styrken til de to hovedtypene. Derfor vil det bli gjort flere tester for å begrunne valget.

24.5 Spenn

Spennet i skien lages i støpeprosessen der komposittlagene herder til kjernen og blir til en ski. Ved å bruke en støpeform med et valgt design som vist på Figur 4.26, vil kjernen formes og låses i fasongen til støpeformen av komposittlagene. Spennet gjør at vekten av lasten på skien blir fordelt langs lengden av skien. Optimalt vil en designe en ski som har et spenn som gjør at en får en slik vektfordeling av lasten at tykkelsen på vannhinnen under skien holder seg mest mulig konstant. På grunn av alle variablene vil det bli vanskelig å komme frem til en optimal løsning. De første prototypene vil legge seg på et lavere spenn enn det som er beregnet for deretter å øke gradvis med iterasjonene, siden det er bedre å ha full kontakt med underlaget.



Figur 4.26: Profilen på skiformen og styrken av skien bestemmer spennet

24.6 Støping

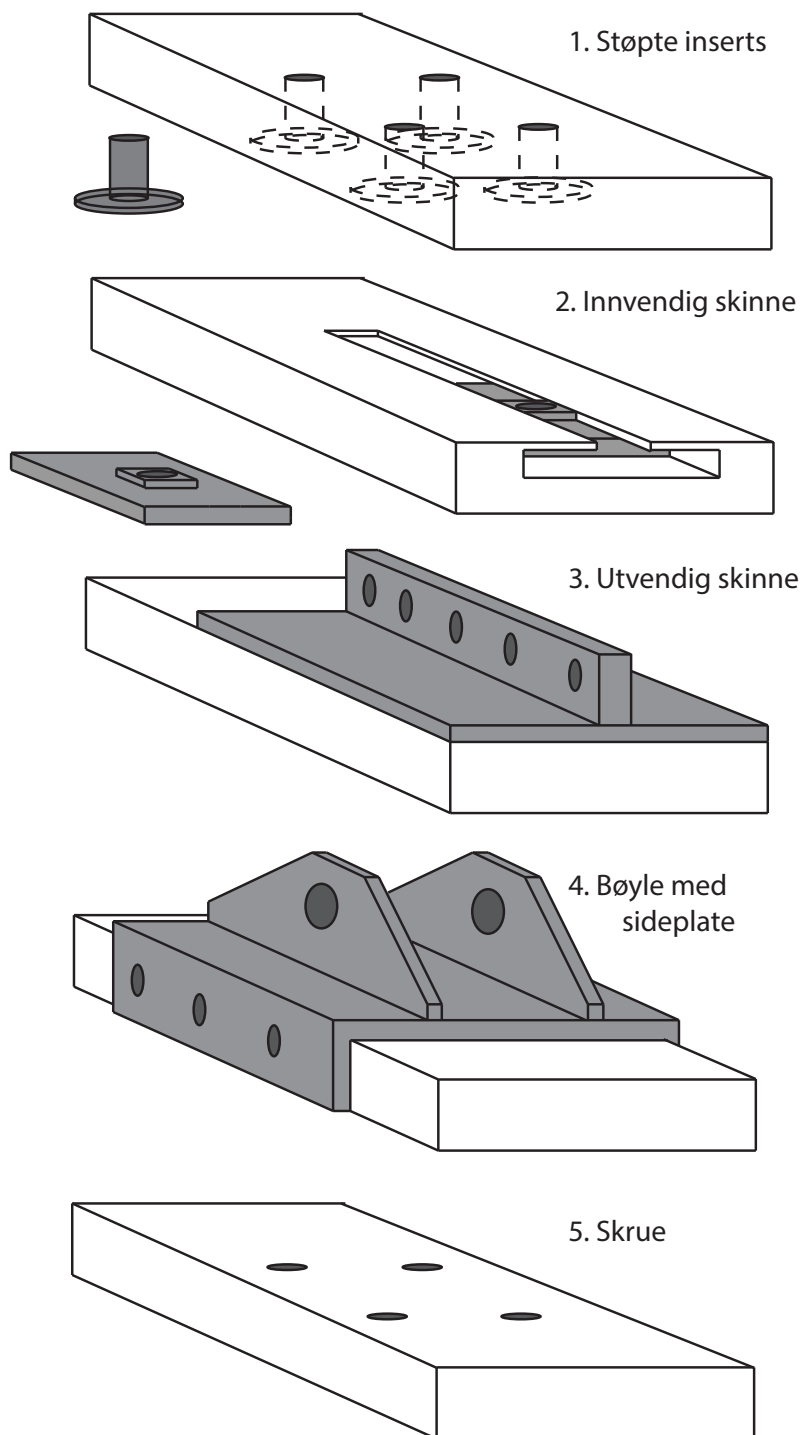
Det finnes flere forskjellige måter å støpe en ski på. I oppgaven har vi vurdert to forskjellige prinsipper; presse og vakuum. Komposittskien skal være nesten tre meter lang, noe som stiller store krav til en skipresse. Ved vakuum vil en bare trenge en stor nok vakuumbag til å dekke skien. Ettersom komposittlagen på instituttet har svært gode fasiliteter og ekspertise for vakuurstøping, er det denne metoden som vil bli brukt.

24.7 Innfesting

Innfestingen på en komposittski skiller seg i fra innfestingen på for eksempel en aluminiumsski siden en i utgangspunktet ikke har noe å feste i - dette må fastsettes før skien lages. Innfestet må kunne ta flere typer krefter under kjøring; støt oppover fra underlaget, rykk i fartsretning fra hundespannet og bøyekrefter fra bukken.

Alt som festes eller støpes på skien vil øke stivheten. Derfor vil en holde lengden på innspenningene til et minimum. Skulle innspenningen bli revet av, vil skien trolig være ødelagt. Derfor må løsningen være robust og kunne tåle store krefter.

Det finnes mange løsninger på hvordan innfestingen bør være. I oppgaven har det blitt fokusert på konseptgenerering av innfester, men det har ikke gått videre til test-fasen ettersom testingen av selve skien er førsteprioritet. Figur 4.27 viser resultatene av en "Brain-Writing" -øvelse som ble gjennomført av gruppen for å komme frem til ideer til hvilke innspenninger som kan bli brukt videre.



Figur 4.27: Resultat fra Brainwriting

24.7.1 Støpte hylser

Støpte hylser er mye brukt til alpinski der en vil kunne skifte de påmonterte bindingene. Inserts'ene må bli montert inn i kjernematerialet før støping og gjør at en må bore gjennom kjernematerialet - som kan gi uønsket svekkelse. Skal en ha endringsmuligheter må det støpes inn flere hylser.

24.7.2 Innvendig skinne

Ved å støpe inn en innvendig skinne vil en enkelt flytte på innspenningen samtidig som en har en boltet forbindelse. Løsningen krever en mer avansert støping av hele skien, men påvirker til gjengjeld ikke kjernematerialet.

24.7.3 Utvendig skinne

En utvendig skinne vil kunne feste braketter på midten av skien. Løsningen vil være robust, men gi en vanskelig innspenning for braketten med tanke på kregning av ski.

24.7.4 Bøyle med sidefeste

Ved å bruke en bøyle med sidefeste vil det være god kraftoverføring til skien, spesielt bøyekreftene. Boltene er plassert der spenningene i skien er lavest for å påvirke egenskapene minst mulig. Denne vil kunne virke som innspenning og brakett i ett.

24.7.5 Skrue

Den simpleste løsningen er å forbore hull, legge i lim og skru inn en treskrue i braketten. Dette er også brukt på alpinski der en ikke regner med å endre bindingen. En slik løsning passer bra til prototyping der styrke og robusthet ikke spiller den største rollen.

24.7.6 Evaluering av konsept

Som evalueringsmatrisen i Tabell 4.3 viser, vil det være mest aktuelt å drive videre testing på bøylene med sidefeste:

Tabell 4.3: Evalueringsmatrise for innfeste

Innspenninger		Konsept				
		Inserts	Innvendig skinne	Utvendig skinne	Bøyle m/ sidefeste	Skrue
Kriterium	Vekt (%)	Poeng	Poeng	Poeng	Poeng	Poeng
Kostnad	10	4	2	5	4	5
Styrke	30	2	3	2	5	1
Vekt	15	5	1	3	3	5
Produsjon	20	4	1	1	4	5
Robusthet	25	2	4	4	3	1
Total		3,05	2,45	2,75	3,9	2,8

Forklaring til tabell

- Poeng fra 1-5, der 5 er best
- Kostnad: Total pris på løsnning
- Styrke: Hvor store belastninger kan løsnningen ta
- Vekt: Relativ vekt på løsnning
- Produksjon: Arbeid som kreves
- Robusthet: Hva løsnningen tåler av påkjenninger

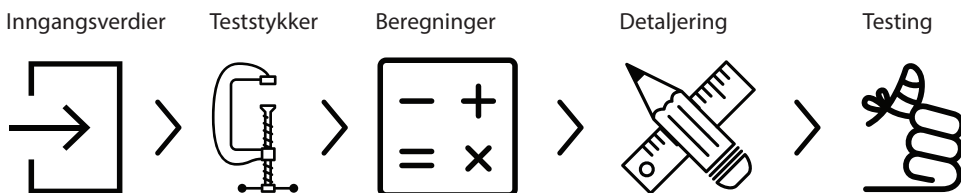
Siden løsnningen på innspenning som blir brukt på de første prototypene ikke stiller samme krav som en fullverdig ski, vil skrue-løsnningen testes for å se om den kan brukes. Detaljer om dette kommer senere under beregningene.

25 Detaljering og testing

For å kunne si noe om hvordan de valgte konseptene skal utformes ble det gjort detaljering og testing.

25.1 Fremgangsmåte

Figur 4.28 viser fremgangsmåten på hvordan det ble kommet frem til designet av prototypen:



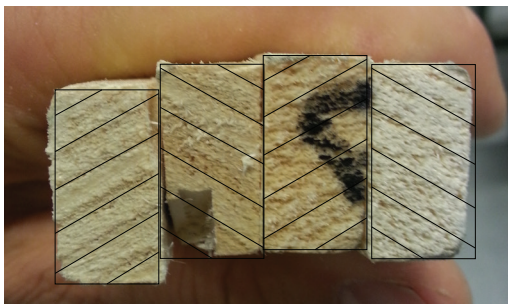
Figur 4.28: Fremgangsmåte

25.2 Teststykker

For å kunne gi en begrunnet plan på hvordan skien skal bygges har det blitt laget mindre teststykker som har gjennomgått flere ulike tester. Ved å sammenligne resultatene fra testing og simuleringer kan en med større sikkerhet bruke simuleringer til å velge riktig design på skien. I tillegg samles det erfaringer fra blant annet laminering av trekjerne, støpeprosessen og styrkesimulering, som er viktig før en starter på en fullskala prototype.

25.2.1 Laminering av trekjerne

Laminering av trekjerne er som sagt viktig for å likestille radielle og tangentielle egenskaper. Figur 4.29 viser hvordan lamellene er plassert for å nøytralisere de radielle fibermønstrene. Trekjernene ble planfrest ned til fire ulike tykkelser oppgitt i dataene nedenfor. Tykkere kjerne øker andreareal momentet til skien som gjør at stivheten om y-aksen øker. Det samme gjelder for bredden av kjernematerialet og som øker stivheten om z-aksen.



Figur 4.29: Omstrukturering av lameller

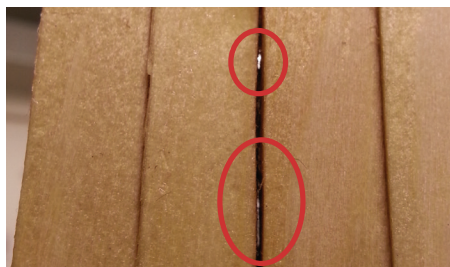
Tabell 4.4: Data for trekjerne

Tykkelse av lameller:	25 mm
Bredde av lameller:	12 mm
Total lengde:	1450 mm
Tykkelse av trekjerner:	7,5 mm, 9,3 mm, 13,3 mm og 15,8 mm
Lim:	Epoxy og trelim

Tabell 4.5: Teststykker

Teststykke 1	7,5 mm
Teststykke 2	9,3 mm
Teststykke 3	13,3 mm
Teststykke 4	15,8 mm

Første lamell ble limt med epoxy - samme som brukes til glassfiberen. Resultatet viste at det ble vanskelig å legge nok epoxy mellom lamellene for å få kontakt med hele lengden. En kan tydelig se av Figur 4.30 at mye av epoxyen trekker inn i treverket og dermed danner luftrom mellom lamellene.



Figur 4.30: Luftrom mellom lamellene ved liming med epoxy

Løsningen ble å bruke vanlig trelim i stedet for epoxy. Trelim er mer tyktflytende, trekker

ikke så mye inn i treverket og er mindre helseskadelig. Resultatet av limingen (Figur 4.30) viser at lamellene er limt langs hele lengden og at det er et overskudd med lim.



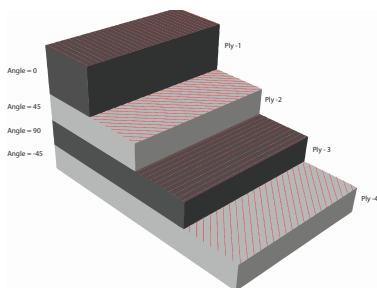
Figur 4.31: Liming med trelim

Det ble gjort en styrketest av trekjernene etter maskinering. Resultatene kommer under Testing av teststykker.

25.2.2 Støping

Neste steg er å bestemme layupen og støpe glassfiber rundt trekjernene. Antall lag fiber øker betraktelig styrken til skien, samtidig som vekten økes. Antall lag vil kunne kompenseres med økt kjernetykkelse. Fiberretningen gir stivhet og styrke til skien i ulike retninger. Etter å hentet inspirasjon fra alpinski, vil det bli brukt glassfiber i tre retninger; 0 og ± 45 grader. Fibrene i fartsretningen vil ta det meste av bøyekreftene, mens fiberen i ± 45 -retning vil også ta torsjonskrefter som kommer fra krenkning av skien. Det skal prøves å oppnå en fordeling på 40% i 0-retning og 60% i ± 45 -retning.

Det er brukt en 850 g/m^2 [0/45/90/-45] fiberduk [11] som også har fiber liggende 90 grader (Figur 4.32). Fiberduken har en fin fordeling av fiberretningene - 37 % i 0-retning (240 g/m^2) og 60 % i ± 45 -retning (200 g/m^2), sett bort i fra 90-retning. 90-retningen har lite å si for egenskapene til teststykkene og blir bare ekstra vekt. Støpeprosedyren ligger som vedlegg 5.



Figur 4.32: Layup av fiberduk

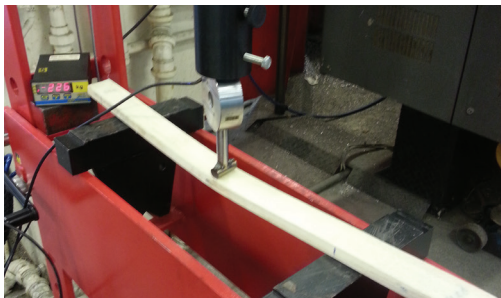


Figur 4.33: Resultat av støping

Resultatet av støpingen var veldig positivt. Som Figur 4.33 viser har fiberduken lagt seg fint over hele kjernematerialet og overflødig epoxy er tatt opp av filtduken.

25.2.3 Styrketest av teststykker

Før støpingen ble det gjort en styrketest av trekjernene for å se om det var sammenheng mellom teoretisk- og målt stivhet. Oppsettet på bøyetestene av teststykkene er som vist i Figur 4.34 og er lik testene som ble gjort før støping.



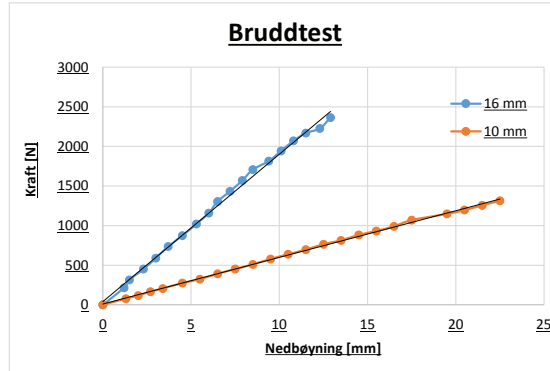
Figur 4.34: Testoppsett

Etter støpingen ble teststykkene satt inn i test-riggen og testet som torsjonsboks og etterpå som sandwich-konstruksjon. Resultatene fra styrketesten av tre og kompositt er vist i Tabell 4.6 [12], og viser kraften nødvendig for en nedbøyning på 5,6 mm. Senere vil resultatene sammenlignes med teoretiske verdier fra simuleringene.

Tabell 4.6: Resultater fra styrketester

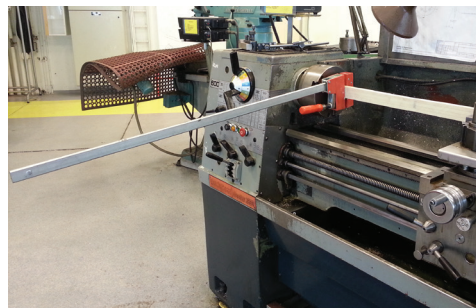
Teststykker i tre		
Teststykke nr.	Kraft [N]	Stivhet [N mm ²]
1	117,72	2,93E+07
2	196,2	4,88E+07
3	431,64	1,07E+08
4	676,89	1,69E+08
Teststykker torsjonsboks		
Teststykke nr.	Kraft [N]	Stivhet [N mm ²]
1	117,72	6,59E+07
2	196,2	9,28E+07
3	431,64	1,66E+08
4	676,89	2,83E+08
Teststykker sandwich-struktur		
Teststykke nr.	Kraft [N]	Stivhet [N mm ²]
1	255,06	6,35E+07
2	353,16	8,79E+07
3	647,46	1,61E+08
4	1098,72	2,74E+08

I tillegg ble det gjort en bruddtest av to teststykker - 16 mm og 10 mm, for å se på bruddstyrken og hvordan den elastiske kurven ser ut for to ulike tykkelser (Figur 4.35). Resultatet viser en tilnærmet god elastisk nedbøyning der det er stor forskjell i bruddstyrke mellom tykkelsene. Dette støtter opp under kjernematerialets viktighet.



Figur 4.35: Bruddtest av 10 mm og 16 mm [7]

Torsjonstesten ble satt opp i en innspenning som vist i Figur 4.36. Oppsettet er veldig grovt og målet er å verifisere resultater fra torsjonstesting mot bøyetestene, som er lettere å sette opp. Resultatene av testene er vist i Tabell 4.7, og vil bli sammenlignet med simulerte verdier senere.



Figur 4.36: Torsjonstest av teststykker

Tabell 4.7: Resultater fra torsjonstest

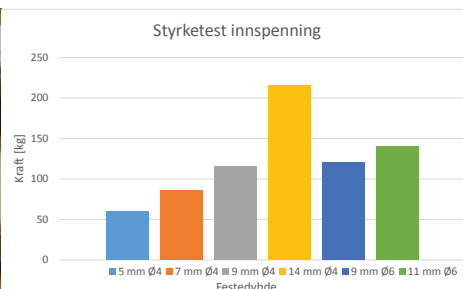
Teststykke nr.	Torsjonstest 1		Torsjonstest 2	
	Vinkel [grader]	GI [N mm ²]	Vinkel [grader]	GI [N mm ²]
1	13	1,64E+07	17	1,62E+07
2	8	2,44E+07	14,8	1,72E+07
3	6,3	2,93E+07	11,5	2,08E+07
4	4	4,57E+07	6,3	3,77E+07

25.2.4 Styrketest av innspenning

Siden oppgaven er avgrenset til å ikke se på løsninger til innspenning av komposittskien, ble det gjort noen styrketester på en enkel innspenning med skruer. Testen [13] tar for seg fire ulike skruelender, samt to dimensjoner skruer (Figur 4.37).



Figur 4.37: Testutstyr med skruer, teststykke og bøyle



Figur 4.38: Resultater fra styrketest med ulike festedybder [8]

Resultatene i Figur 4.38 viser at 4 mm-skruene holder like så bra som 6 mm-skruene. 4 mm-skruene holder på det meste over 200 kg, noe som vil være tilstrekkelig for prototypetestingen.

Det ble erfart fra testingen at momentet skruene strammes til med må være svært lite for at festet i trekjernen ikke skal rives opp. Det maksimale momentet oppnådd var 5 Nm. Dette kan gi problemer under lengre testing ved at skruene kan gli opp. Problemet ble utbedret med å lime skruene i tillegg.

25.3 Beregninger av layup i excel

Mekanismene innen kompositter er ikke som et vanlig homogent materiale. For å regne på mekanismene i et komposittmateriale, må en inkludere fibre og matrisen som ligger sammen i flere lag og retninger. Styrkebidraget til hvert enkelt lag varierer fra plassering fra midtplanet og hvilken retning fibre ligger - i forhold til lastretning. Layupen til et materiale er gitt av lagfordelingen av fibre, som inkluderer tykkelse, retning og materiale - samt prosentandel fiber mot matrise. Under følger en forklaring på noen av de mest sentrale områdene innen komposittberegninger for å komme frem til stivheten til hele tverrsnittet på komposittmaterialet. Teorien er hentet fra kompendiet "Essential Mechanics of Composites" av førsteamanuensis Nils Petter Vedvik ved Institutt for Produktutvikling og Materialer [3].

Volumandel fiber

Volumandelen fiber i komposittmaterialet (V_f) er en viktig faktor for å kunne si noe om den effektive tykkelsen komposittlaget vil ha i de teoretiske utregningene. I praksis vil ikke volumandelen ha så mye å si, ettersom styrken av materialet i all hovedsak ligger i fiberen - som er konstant i forhold til mengden epoxy.

$$V_f = \frac{\text{Volum fiber}}{\text{Totalt volum}} \quad (4.1)$$

Elastisitetsmodul

Elastisitetsmodulen til komposittlaget i aksial retning (E_1) kan enkelt regnes ut ved å kombinere V_f med elastisitetsmodulene for fiber og matrise (E_f) og (E_m):

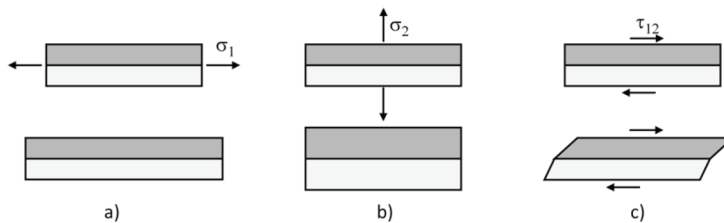
$$E_1 = V_f E_f + (1 - V_f) E_m \quad (4.2)$$

For enkelthets skyld settes elastisitetsmodulen for tverretningen (E_2) som:

$$E_2 \approx E_m \quad (4.3)$$

Mikromekanisme

Den enkleste modellen for fiberkompositter er å regne fiber og matrise som parallell- eller seriekoblet. Dette gjør at elastisk tøyning i aksial retning vil være lik for fiber og matrise (Figur 4.39).



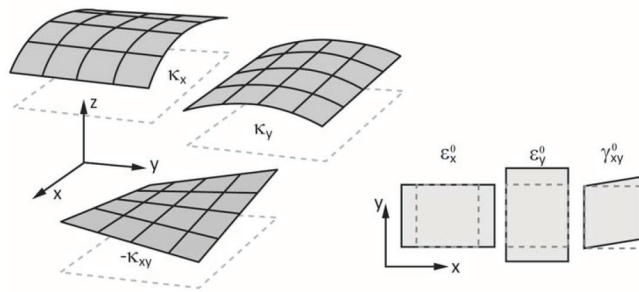
Figur 4.39: Mikromekansimer for fiberkompositter [9]

Stivhetsmatrise

Vi ønsker å finne en sammenheng mellom deformasjon, stivhet og krefter på et komposittmateriale for å finne stivheten på de teoretiske testbitene. Deformasjonen av et

komposittlag kan bli beskrevet av midtplan-tøyningene ($\epsilon_x^0, \epsilon_y^0, \gamma_{xy}^0$), krumningene (κ_x, κ_y) og vridningen (κ_{xy}) som vist i Figur 4.40. Forholdet mellom spenningene (σ) og midtplan-tøyningene på et enkelt komposittlag k med en avstand z fra midtplanet, kan skrives som matriser i x -, y - og xy -retning:

$$\sigma_k' = \mathbf{Q}_k' \epsilon^0 + z \mathbf{Q}_k' \boldsymbol{\kappa} \quad (4.4)$$



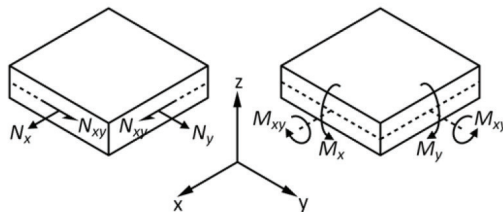
Figur 4.40: Deformasjoner av komposittlag [10]

Ved å samle bidragene fra hver spenningskomponent kan en finne resultantkraften ($N_{i,k}$) per lengdeenhet:

$$\begin{aligned} N_{x,k} &= \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_x dz \\ N_{y,k} &= \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_y dz \\ N_{xy,k} &= \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{xy} dz \end{aligned} \quad (4.5)$$

Og resultantmomentet ($M_{i,k}$) per lengdeenhet (Figur 4.41):

$$\begin{aligned} M_{x,k} &= \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_x z dz \\ M_{y,k} &= \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_y z dz \\ M_{xy,k} &= \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{xy} z dz \end{aligned} \quad (4.6)$$



Figur 4.41: Resultantkrefter og -momenter per lengdeenhet [11]

Ved å summere resultantkreftene finner vi kreftene på komposittskien per lengdeenhet. Dette gir stivhetsmatrisen til komposittskien på matriseform:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{N} \\ \mathbf{M} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{B} & \mathbf{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{\varepsilon}^0 \\ \boldsymbol{\kappa} \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

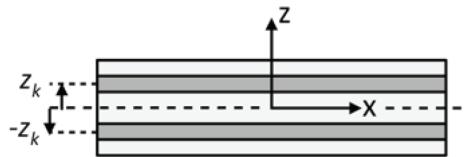
A - Stivhetsmatrise for plane krefter

D - Stivhetsmatrise for bøyning og vridning fra momentene

B - Stivhetsmatrise for interaksjonen mellom plane krefter og bøyning/vridning.

Symmetri

Når en har symmetri i komposittmaterialet – både geometri og materialer, vil det ikke bli noe interaksjon mellom **A** og **D**. Dermed blir **B = 0** (Figur 4.42).



Figur 4.42: Symmetriske komposittlag [12]

Beregninger

Vedvik er også foreleser i faget Polymerer og Kompositter, har mye erfaring med støping av kompositter på fakultetet, og kunne bidra med data for komposittmaterialet. Ved å sette opp et excel-ark med ligningene ovenfor og deretter legge inn dataene for komposittmaterialet fra Tabell 4.8, kan en enkelt regne ut stivhetsmatrisen til hvert teststykke og hente ut verdier av interesse i aksial retning (Tabell 4.9) [12]. Utregninger og mer detaljerte forklaringer er gitt i Vedlegg 12. Teoretiske verdier for teststykkene med torsjonsboks krever tyngre beregningsmodeller og blir ikke prioritert i oppgaven.

Tabell 4.8: Data brukt i beregningsmodellen [12]

Volumandel fiber:		50 %			
Fibervekt:		850 g/m ²			
Fiberretninger:		[0/-45/90/45]			
E-modul fiber:		72 500 MPa			
E-modul epoxy:		8 000 MPa			
Tetthet glass:		2 580 kg/m ³			
Lagtykkelse [0/-45/90/45]:		[0,19 mm/ 0,16 mm/ 0,16 mm/ 0,16 mm]			
Materiale	E ₁ [MPa]	E ₂ [MPa]	G ₁₂ [MPa]	v ₁₂	
Kompositt	37500	8000	4000	0,30	
Trekjerne [15]	12500	400	750	0,29	

Tabell 4.9: Teoretiske verdier for bøye- og torsjonsstivhet

Bøyetest		
	Tre	Sandwich
Teststykke nr.	Bøyestivhet [Nm ²]	Bøyestivhet [Nm ²]
1	21,2	49,5
2	42,1	84,0
3	11,0	18,2
4	18,6	28,2
Torsjonstest		
	Torsjonstest 1	Torsjonstest 2
Teststykke nr.	Torsjonsstivhet [Nm ²]	Torsjonsstivhet [Nm ²]
1	10,3	10,3
2	16,3	16,3
3	30,8	30,8
4	44,5	44,5

Sammenligning av resultater

Fra beregningene av stivhetsmatrisen kan vi hente ut den spesifikke stivheten for bøying om y-aksen, som er den samme som vi fant ved styrketesten av testbitene. Tabell 4.10 viser de praktiske resultatene fra testingen mot de teoretiske beregningene [12].

Tabell 4.10: Sammenligning av praktiske og teoretiske resultater

Bøyetest		
	Tre	Sandwich
Teststykke nr.	Differanse	Differanse
1	38 %	28 %
2	16 %	5 %
3	-2 %	-12 %
4	-9 %	-3 %
Torsjonstest		
	Torsjonstest 1	Torsjonstest 2
Teststykke nr.	Differanse	Differanse
1	38 %	58 %
2	30 %	5 %
3	-18 %	-32 %
4	-11 %	-15 %

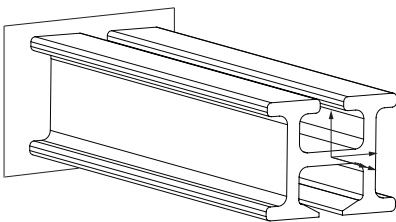
Som vi ser har vi en god sammenheng på resultatene for testbitene over 9 mm - som ligger innenfor 12 % differanse. Dette er innenfor det slingringsmonnet men kan forvente av praktisk testing, og forsvarer dermed bruken av verdiene beregnet i excel-filen til simuleringer i FEA-programmet Abaqus.

Ved torsjonstestene varierer likheten mellom teori og praksis fra 5 til 58 %. Dette kan skyldes unøyaktige målinger og grovt oppsett.

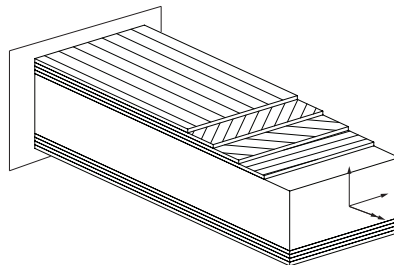
25.4 Simulering i Abaqus

Simuleringsprogrammet Abaqus CAE er et FEA-program (Finite Element Analysis) som blant annet kan beregne ikke-lineære modeller og komposittmaterialer. Målet med simuleringene er å kunne komme frem til gode inngangsverdier til designet på skien.

Aluminiumsskien ble simulert med tre ulike deformasjoner for å finne tilhørende stivheter i horisontal- og vertikal retning i tillegg til rotasjonsstivhet i lengderetning (Figur 4.43) [14]. Dataen kan så brukes som en referanse på resultatene for kompositttestene. Testene ble modellert like lange som aluminiumsskien med kjernetykkelse 10 mm, 13 mm og 16 mm. Hver av tykkelsene ble testet med ett- og to lag fiberduk, alle med sandwich og torsjonsboks (Figur 4.44).



Figur 4.43: Aluminiumsbit med horisontal-, vertikal- og rotasjonsdeformasjon

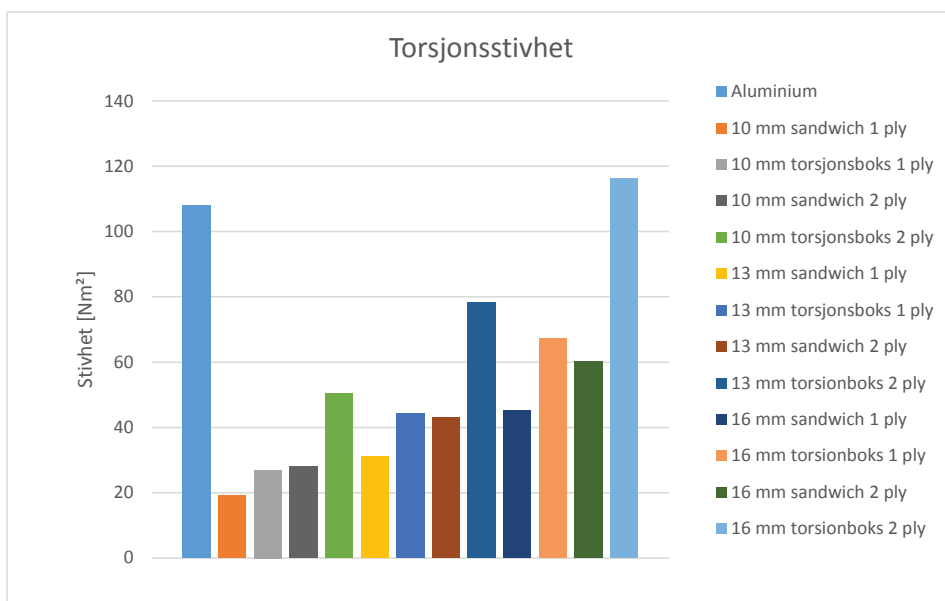


Figur 4.44: Komposittbit med samme deformasjoner

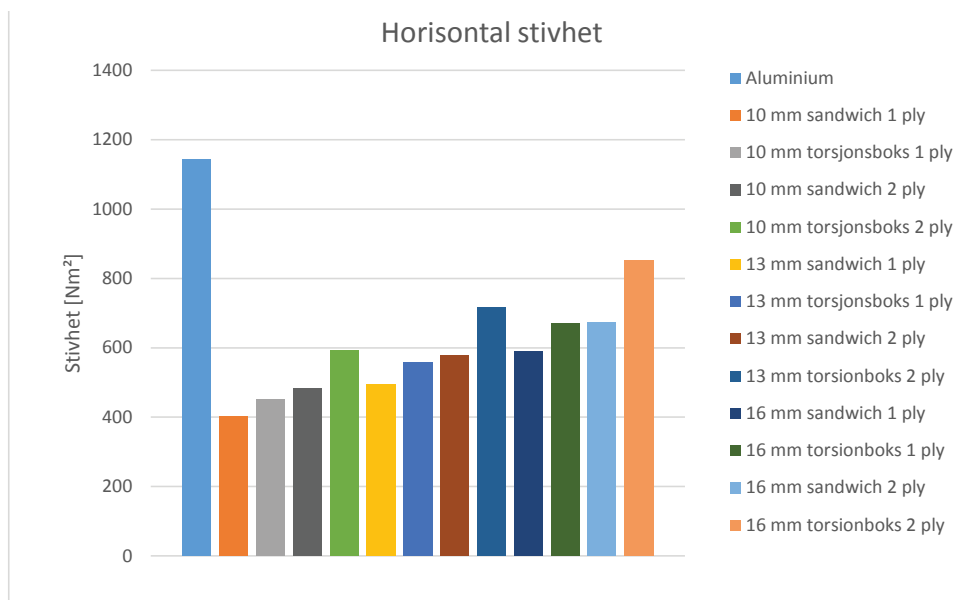
Simuleringene som ble gjort for å dimensjonere prototypen hadde en feil i materialegenskapene til trekjernen; trekjernen lå inne i programmet som et isotropisk materiale, like sterkt i alle retninger. Dette gjorde at vi fikk høyere verdier på torsjonsstivheten til komposittbitene, og prototypen ble laget med lavere torsjonsstivhet enn aluminiumsskien.

Trekjernen skulle vært et anisotropisk materiale med ulike egenskaper i aksiell- og tverretning på grunn av trefibrene. De nye simuleringene gav nesten en halvering i torsjonsstivheten med sandwich-kompositt, mens torsjonsboksen lå litt over. Forskjellene er vist i vedlegg 4.

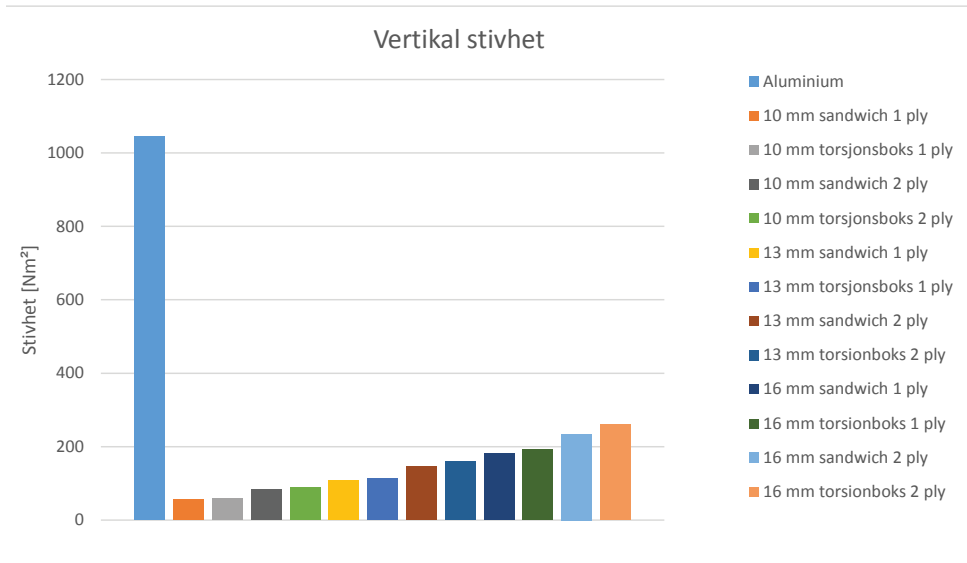
De oppdaterte resultatene er samlet og fremstilt grafisk i Figur 4.46, Figur 4.45 og Figur 4.47.



Figur 4.45: Torsjonsstivhet som resultat av rotasjonsdeformasjoner [13]



Figur 4.46: Horisontal stivhet som resultat av horisontale deformasjoner [13]

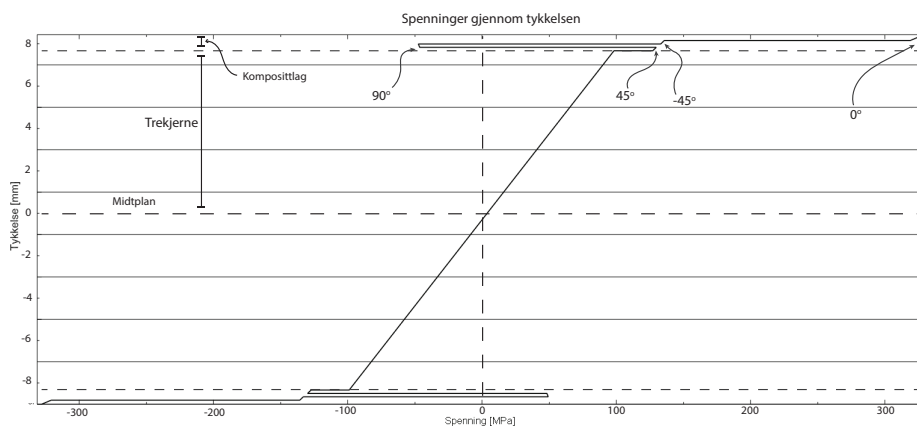


Figur 4.47: Vertikal stivhet som resultat av vertikale deformasjoner [13]

Det første en kan lese ut av resultatene er at aluminiumsskien er sammenlignet med komposittskien veldig stiv i alle retninger. Dette viser hvor stiv aluminiumsskien er når en tenker på en levende ski.

Kravet om torsjonsstivhet høyere enn aluminium blir nådd ved to-lags 16 mm torsjonsboks. Prototypen skulle dermed hatt to - og ikke ett lag fiber for å tilfredsstille produktkravet. Ved de gamle resultatene med feil egenskaper ble kravet nådd ved to-lags 13 mm torsjonsboks eller ett-lags 16 mm torsjonsboks. Dermed ble prototypen laget med ett-lags 16 mm torsjonsboks.

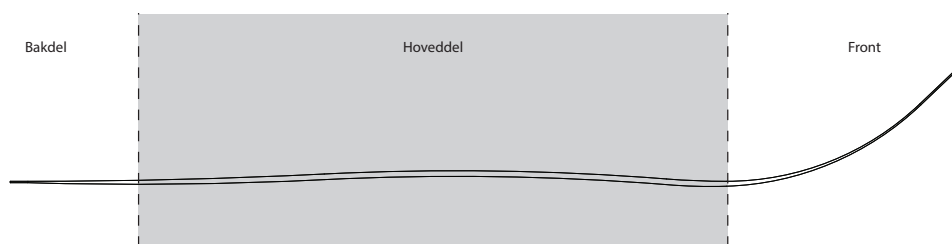
Modellen i Abaqus kan vise spenningsbildet av komposittskien gjennom tverrsnittet. Figur 4.48 viser at spenningen i trekjernen er mye lavere enn i de forskjellige lagene med komposittmateriale, noe som viser tydelig nytten av komposittlaget.



Figur 4.48: Spenningerne gjennom tykkelsen på 16 mm komposittbit

25.5 Design av prototype-ski

Skidesignet er delt inn i tre deler, bakdel, hoveddel og front (Figur 4.49).



Figur 4.49: Inndeling av skidesignet

Hoveddel

Hoveddelen av skien skal bære kjøreren og største del av vekten på sleden. Gjennom å støpe hoveddelen med et spenn, vil en prøve å få en mer gunstig vektfordeling. En kan se på spennet av skien som en fritt opplagt bjelke med diverse punktlaster på innspenningene og fotplaten. Ved belastning vil en få nedbøyning og kontakt med det elastiske underlaget slik at vekten fordeles jevnere.

Bakdel

Bakdelen av skien skal fordele siste del av vekten til kjøreren og være fleksibel nok til å avlaste underlaget. Her er det ikke krav til høy styrke eller stivhet.

Front

Fronten på skien må gi en god angrepsvinkel til underlaget for å gi løft, dempe slag og komprimere snøen under skien. Den må også være fleksibel nok til å følge krumningen av formen uten at det blir brudd i kjernematerialet, samtidig som den må tåle kreftene den blir utsatt for.

25.5.1 Støping med spenn

Når en støper ski med et gitt spenn, må en regne med “springback” - eller tilbaketrekning av materialet (Figur 4.50). Det letteste er å teste dette ut i praksis. Det ble laget en test for hoveddelen og en for fronten. Målet med testen var å se om kjernematerialet tillot bøyningen som formen krevde, samtidig for å måle springback på de ulike tykkelsene. Profilen til testbitene ble hentet ut i fra designet på skiformen – som vil bli presentert senere. Tykkelsen på testene er 4 mm og 13,3 mm.



Figur 4.50: Springback av testbit støpt i form

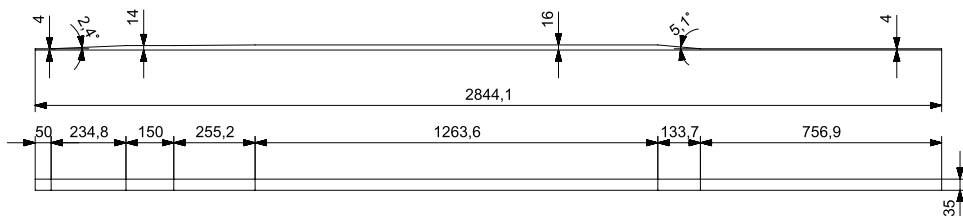
Tabell 4.11: Resultat av springback-test

Test	R ₀ [mm]	R ₁ [mm]	Differanse [%]
4 mm-bit	797	962	20,70
13,3 mm-bit	12800	17210	34,45

Resultatene av testen er presentert i Tabell 4.11 og viser at vi får en springback på rundt 35 % på 13,3 mm og 20 % på 4 mm tykkelsen.

25.5.2 Skipprofil

Designet på skipprofilen henger tett sammen med designet på skiformen; Skipprofilen sammen med komposittlaget bestemmer styrken i skien, som sammen med designet på formen bestemmer spennet. Skipprofilen er presentert i Figur 4.51.



Figur 4.51: Skipprofil med mål

Tabell 4.12: 16 mm torsjonsboks med ett- og to lag fiber sammenlignet med Aluminiumsski. Differansene er oppgitt i parantes.

	Torsjon [N m]	Horisontal [MPa]	Vertikal [MPa]
Aluminium	108	1144	1044
16 mm torsjonsboks 1 ply	67 (-38 %)	671 (-41 %)	191 (-82 %)
16 mm torsjonsboks 2 ply	116 (+8 %)	852 (-26 %)	259 (-75 %)

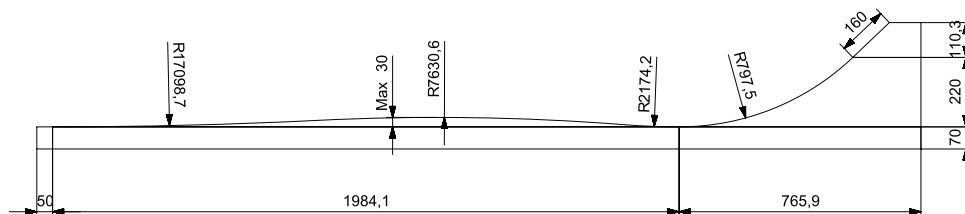
Som en ser av målene på Figur 4.51, er hoveddelen dimensjonert ut i fra de gamle simuleringene i Abaqus (Tabell 4.12); en tykkelse på 16 mm torsjonsboks med ett lag glassfiber skulle gi tilstrekkelig torsjonsstivhet, men er etter oppdateringen under kravet. Ett ekstra lag med fiber hadde tilfredsstillt kravet med 8 % i følge beregningene. Dermed skulle dette blitt gjort istedet.

Lengden på hoveddelen er på nesten 130 cm. Midtpunktet på hoveddelen er plassert slik at den grovt sett sammenfaller med resultantkraften som virker på skien. Differanseverdiene i tabellen er kun for å se forskjellene, og er ikke et mål på om noe blir bedre eller dårligere i forhold til prestasjon.

Overgangen fra hoved- til bakdel går ned til 14 mm deretter til 4 mm på enden. Dette er for å gi en jevnere fleksibilitet over lengden bak. Fronten går ned til 4 mm for å klare krumningen på skiformen. Her er det derfor brukt to lag glassfiber for å gi styrke og stivhet, for å kompensere for det smale tverrsnittet.

25.5.3 Skiform

Det er tatt utgangspunkt i en 9 fots aluminiumsski på høyde og lengde av fronten på skiformen. Hovedspennet er lagt under midtpunktet av skien og har et toppunkt på 30 mm. Forventet spenn etter støping er rundt 20 mm. Fronten har også fått ekstra krumning for å få ønsket krumning. Utformingen av skiformen er vist i Figur 4.52.



Figur 4.52: Skiform med mål

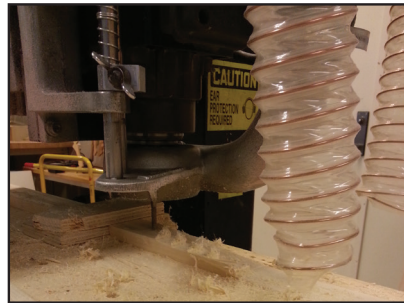
Skiformen er laget av 2 toms trevirke der flere av elementene kan skiftes ut – noe som er gunstig for å spare arbeid og materiale til neste iterasjon. En og en ski vil bli støpt i formen, slik at mindre arbeid går tapt skulle noe gå galt.

25.6 Produksjon av prototypeski

Etter at alle inngangsverdiene til skien var satt, kunne produksjonen av prototypene begynne. Erfaringene fra testingen var nå helt nødvendige for å kunne oppnå et resultat som holdt mål. Under viser Figur 4.53 hele produksjonsforløpet.



Laminering og liming



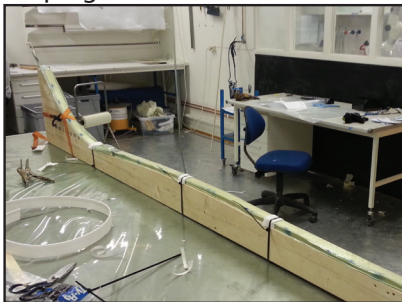
Fresing av profil



Støping



Vakuumpakking



Innspenning i form



Montering av skinner og braketter



Montering på slede



Testing

Figur 4.53: Produksjonsforløpet for prototypingen

Følgende erfaringer ble notert under produksjonen:

- Trevirke som blir tatt inn i varmen vil i ulik grad vri seg på grunn av interne spenninger under tørking. Dette skjedde både med trevirket til kjernematerialet og formen. Ved begge anledninger ble det brukt de lengdene som var minst påvirket.
- Sirkelsagen på instituttet viste seg å ikke egne seg for kapping av tynne laminat. Ved limingen etterpå ble det tydelig at kappene ikke var rette og at dermed laminatene ble presset ut fra hverandre. Dette kunne bare freses ned, men gjorde limingen vanskeligere.
- Under herdingen av limet må oppsettet ligge helt flatt. På grunn av vekten av tvingene hadde den ferdiglimte trekjernen seget ned på midten. Løsningen ble å nedprioritere laminatretningen og frese kjernen rett i riktig bredde.
- Glassfiberduken krevde mye arbeid for å klippes til skiprofilen. Siden det skulle være torsjonsboks må undersiden legges over sidene på kjernematerialet. Det bør vurderes å bestille inn fiberstrømper som kan tres på skien i stedet.
- De ferdige skiene hadde mindre spenn enn forventet. Spennet er målt til 15 mm ubelastet.
- Prototypen og aluminiumsskien ble prøvd bøyd for hånd for å verifisere resultatene i Figur 4.45 on page 144. Aluminiumsskiene var nesten ikke bøyelige for hånd, mens prototypen hadde en fin fleksibilitet.



Figur 4.54: Ferdig montert slede klar for testing

Ved monteringen:

- Skiene veide 1450 g med skinne og braketter påmontert. Det er en vektreduksjon på 40 % fra aluminiumsskiene som veier 2400 g med samme oppsett. Skien vil bli noe tyngre når et ekstra komposittlag blir lagt på, men de

tilfredsstillende produktkravet om å veie mindre enn en aluminiumsski.

- Sleden som var tilgjengelig for å teste med hadde ikke samme dimensjonene som Prairie Bilt-sleden. Dermed ville innspenningene bli forflyttet i forhold til opprinnelig design. Det ble ikke store forandringer utenom at fronten måtte spennes opp mer enn planlagt. Dette kan ha fjernet noe av spennet i resten av skien.
- Monteringen av skinnene og brakettene gikk smertefritt. Og belegget tredde lett på skinnene.

25.7 Testing av prototype

Følgende erfaringer ble notert:

- Treskiene på BeWe var svært stive og det totale oppsettet tillatte ikke noen form for krenkning av skiene. Under kjøringen kunne en bare henge bak hundene uten mye styremuligheter. Skiene var likevel behagelige å bruke og det følte som om sleden gled bra.
- BeWe-sleden med aluminiumsski var like ustyrlig som den med treski. Det var vanskelig å kjenne noe stor forskjell på skiene utenom at aluminiumsskiene kunne skrense lettere til siden.
- Prairie Bilt-sleden var mye mer styrbar på grunn av utformingen på sleden. Aluminiumsskiene var også her lett å skrense ut til siden. Sleden følte mer bevegelig, der en hadde muligheter for å styre mer.



Figur 4.55: Testing av prototypeski med Team Sigrid Ekran

Ved kjøringen av sleden med egne prototypeski ble det gjort disse erfaringene:

- Det lave spennet i skiene gjorde mindre utslag enn forventet. Skiene bar godt på snøen og følte som om de hadde like god gli som de andre sledene som ble testet.
- Snøhauger i løypen ble håndtert bra av fronten på skiene.
- God torsjonsstivhet på skiene som gjorde kantringen av skiene responsiv og god.
- Skiene fulgte underlaget godt. Dette merket seg særlig da sleden gikk ned i søkk i terrenget.
- Flexibiliteten på skien ble tydelig fokusert til bak innspenningen ved bukken på grunn av stivheten mellom innspenningene på sleden, som diskutert på side page 114.

26 Veien videre

26.1 Slededesign

Rammene rundt oppgaven var å se på en komposittski som kunne monteres på en eksisterende slede for å kunne se forskjellene på ulike ski. Etter testingen av prototypen har det blitt tydeligere at det bør settes krav til slededesignet med tanke på hvilke innspenninger en har; Mye av skiegenskapene styres av slededesignet. Dette gjelder spesielt for avstivningen på innspenningene som ble sett på tidligere under innspenninger på skien.

For å kunne utnytte fleksibiliteten til skien vil der være gunstig å ha en mest mulig fri ski uten for mange innspenninger som stiver den av. Færre innspenninger kan også gjøre det lettere å designe et bra spenn på skien i forhold til hvilke krefter som virker på den.

26.2 Spenn

Lengden på skiene gjorde at spennet som ble designet ikke gav så store utslag som forventet. Testingen viste at skiene likevel fungerte bra. En må endre skiformen til å ha enda høyere spenn; fra 30 mm opp til en 50 mm. Utfordringen blir å finne en løsning som kan fordele mye vekt på lengden av skien på et varierende elastisk underlag – som snøen er.

Neste prototype være stivere i vertikal retning når den dimensjoneres riktig. Av beregningene vil vi få en økning på rundt 70 Nm² i vertikal stivhet; fra 191 Nm² til 259 Nm² [14]. Sammen med et større spenn kan dette gjøre store forskjeller. I tillegg vil en gå mer i detalj av dimensjoneringen av skien, med for eksempel grundigere simuleringer av hele skien i Abaqus.

I fremtiden kan det være en mulighet å velge skiparametre etter kjører og forhold; En stivere ski om man er tyngre enn gjennomsnittet eller om man kjører på hardt underlag. I tillegg vil en da kunne ha flere ski liggende som passer til ulike forhold.

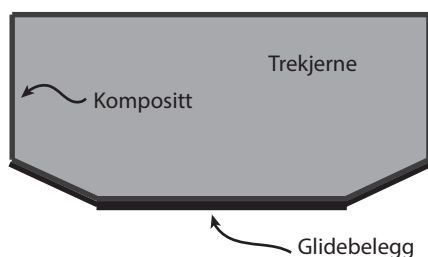
26.3 Vekt

Resultatene av prototypen viser at det kan spares mye vekt på å bruke komposittski. En lettere ski betyr mye for å få ned den totale vekten på sleden. Det er mer som kan gjøres for å optimalisere styrken i skiene og dermed vinne noe vekt, samtidig må den nok stives mer opp og dermed adderes vekt igjen.

En kan også starte å se på hvor mye vekt som kan spares ved å gå over til karbonfiber, der stivheten skal være lik på begge produkter.

26.4 Tverrsnittdesign

Den fastsatte bredden på skien satte begrensninger på hvor stiv og sterk skien kan bli. Ved å se på andre måter å designe tverrsnittet på, vil en oppnå høyere stivhet. Figur 4.56 viser et eksempel på dette. Her kan en også begynne å se på om det er fordeler med å ha en ski med progressivt flyteareal – der kontaktarealet under skien øker jo mykere underlaget er.



Figur 4.56: Endring av tverrsnitt for å øke stivhet

Kravene om høy torsjonsstivhet kommer fra behovet for å krenge skien, noe som igjen henger sammen med at en vil kunne svinge sleden. Ved å se på mulighetene til å designe en ski med carving, vil en ikke trenge så høy torsjonsstivhet.

26.5 Kjernemateriale

Erfaringene med trekjernen er at det er mye arbeid som må til for å produsere ett par kjernemateriale. Ser en bort i fra muligheten til masseproduksjon, er det likevel mange variasjoner i materialet som gjør at en kan møte på problemer. Vridning av trevirke, kvister og deformasjon etter liming er bare noen av usikkerhetene under produksjonen.

Det bør gjøres forsøk med å sammenligne tre- og skumkjerner før en fastsetter valget av kjerne. Utviklingen av skum har kommet veldig langt, og det er verdt å se på bruk av høykvalitet skum med for eksempel tette porer. Dette kan gjøre produksjonen av ski mye mer effektivt og billigere med tanke på tidsbruk.

26.6 Belegg

Det ligger et stort potensiale i å utvikle bedre belegg som er mer spesialisert med tanke på hvilke ski en kjører med. Klarer en å utvikle et belegg der en har sett på trykket som virker på belegget samtidig som en kan utnytte et jevnere fordelt marktrykk, kan dette gi store utslag på prestasjonen til sleden. I dag blir de viktigste komponentene innen glid produsert hver for seg, uten stor vekt på at de skal fungere i synergi med hverandre. Dette gjør at en ikke får den optimale gliden som finnes i en god hundeslede.

Som nevnt tidligere har hundekjørerne fått øynene opp for å ta i bruk teknologien som finnes i dag. Dagens regler holder åpent for å tilpasse sleden til forholdene. Dermed kan det være en mulighet til å lage en ski med skibelegg som er optimal for områder med mye snø og lite hindringer som kan ødelegge gliden og skien. Dermed kan en spesialisere ski til ulike formål.

26.7 Fiber

Det krevde mye arbeid å klippe til og plassere glassfiberen riktig før støpingen. Ved å gå over til bruk av fiberstrømper vil arbeidet bli svært mye lettere, og en kan klare å få et mer uniformt resultat som har høyere kvalitet enn det som ble oppnådd i prototypen.

26.8 Utskiftbare ski

Ved å konstruere en slede som har innspenninger tilpasset en komposittski, kan man utvikle et system som gjør det enkelt og effektivt å skifte hele skien på sleden. Fordelene med dette vil være at handlere kan forberede skiene i forkant slik at de er ferdig glidet når kjørerer kommer inn til sjekkpunkt. Dermed kan man også velge ski ut i fra hva utfordringer neste distanse vil tilby; lette ski laget for god glid kan brukes på flate strekk på innsjø og elver, mens mer robuste ski som tåler slag og slitasje kan brukes på distanser med grus og kupert terreng.

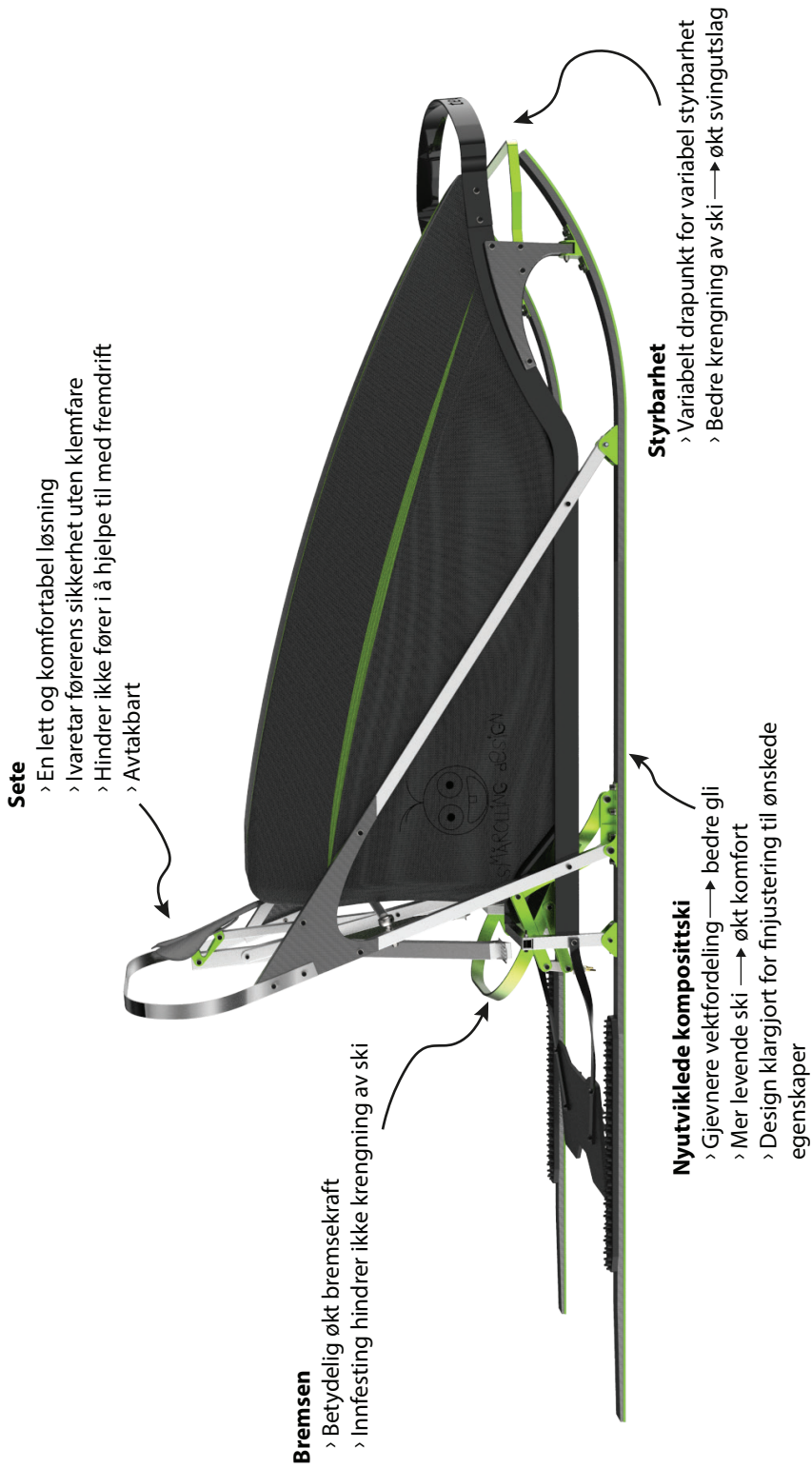


OPPSUMMERING

Gjennom masteroppgaven har det blitt utviklet løsninger for å bringe hundekjøringssporten videre. Løsningene er basert på teknisk rettet produktutvikling med spesialisering mot konkurransedelen av sporten for å presse resultattidene enda mer.

Som nevnt i evalueringene i utviklingsområdene er det mye som kan gjøres for å optimalisere løsningene i videre iterasjoner. Masteroppgaven legger opp til en idegenerering og videreutvikling av områdene.

Figuren på neste side presenterer resultatene av utviklingsområdene i en samlet model:



REFERANSE

27 Tekst

- 1 Vastveit EN. Holen JT. Brekke H. Neste Generasjons Hundeslede, Prosjektoppgave, IPM, 2014
- 2 Løypebeskrivelse Femundløpet 600. Tilgjengelig fra: <http://www.femundlopet.no/loslashypebeskrivelse-f600.html>
- 3 Vedvik NP. Essential Mechanics of Composites,IPM, 2014.
- 4 Kvidal-Røvik T. Forsker på god glid. Finnmarksløpet. 10.03.2015. Tilgjengelig fra: <http://www.finnmarkslopet.no/article.jsp?lang=no&id=6967>
- 5 Vedlegg 2. Vektfordeling.
- 6 Resultater - Sigrid Ekran. Finnmarksløpet. 13.03.15. Tilgjengelig fra: <http://www.finnmarkslopet.no/race/results/musher.jsp?rid=55&entr.id=2112&ts=1430208516050>
- 7 Breitschädel F. Technical aspects to improve performance in cross-country skiing [avhandling]. Trondheim: NTNU; 2014. Kapittel 2.
- 8 Drozda R. Statscewich M. Sakurai KS. Cody Strahe. Dog Mushing in Alaska. 19.09.2011. Tilgjengelig fra: <http://jukebox.uaf.edu/site7/interviews/2335>
- 9 Metals Handbook, Vol.2 - Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, ASM International 10th Ed. 1990.
- 10 Haney DC. Ski Construction Explained: "How do materials & manufacturing affect performance?". Backcountry; Jan. 2014 . Tilgjengelig fra: <http://www.backcountry.com/explore/ski-construction-explained>
- 11 Devold AMT. Spesification, DBLT 850-E10-J (448-17).
- 12 Vedlegg 3. Teststykker.
- 13 Vedlegg 5. Prototype - ski.
- 14 Vedlegg 4. Beregninger i Abaqus.
- 15 Kretschmann DE. General Technical Report FPL-GTR-190. Kapittel 5, Mechanical Properties of Wood.

28 Figurer

- 1 Vedlegg 1. Vektfordeling.
- 2 Runners made of wood for new dogsleds. Photo by Matti Holmgren, Jokkmokkguiderna. Tilgjengelig fra: <http://www.jokkmokkguiderna.com/en/2010>
- 3 Drozda R. Statscewich M. Sakurai KS. Cody Strahe. Dog Mushing in Alaska. 19.09.2011. Bildeklipp fra video (0:45:15). Tilgjengelig fra: <http://jukebox.uaf.edu/site7/interviews/2335>
- 4 Aluminum Honeycomb Core. Aktek Honeycomb. Tilgjengelig fra: http://www.aktekhoneycomb.com/aluminum_honeycomb_core.html
- 5 Komposittdata fra Det Norske Veritas AS. DNV-OS-C501: App F-I, 2013.
- 6 Elan Skis. Monoblock og RST. Tilgjengelig fra: <http://www.elanskis.com/en/technology/construction.html>
- 7 Vedlegg 2. Teststykker, Bruddtest.
- 8 Vedlegg 11. Prototype
- 9 Vedvik, NP. Essential Mechanics of Composites. IPM. 2014. Figur 2-7, Simple micro-mechanical models; s 14.
- 10 Vedvik, NP. Essential Mechanics of Composites. IPM. 2014. Figur 3-2, Laminate deformation; s 16.
- 11 Vedvik, NP. Essential Mechanics of Composites. IPM. 2014. Figur 3-3, Forces and moments per length unit; s 17.
- 12 Vedvik, NP. Essential Mechanics of Composites. IPM. 2014. Figur 3-4, Pair of symmetric layers; s 20.
- 13 Vedlegg 3. Beregninger fra Abaqus.

VEDLEGG

1 Risikovurdering

 NTNU HMS	Kartlegging av risikofylt aktivitet		
	Utarbeidet av HMS-avd. Godkjent av Rektor	Nummer HMSRV2601	

Dato: 20.02.15

Enhet: IPM

Linjeleder:

Deltakere ved kartleggingen (m/ funksjon): Knut Einar Aasland (ansv. veileder), Bjørn Age Berntsen (medveileder), Erlend Nærland Vastveit (student), Jarle Theodor Holen (student) og Harald Brekke (student)

(Ansv. veileder, student, evt. medveileder, evt. andre m. kompetanse)

Kort beskrivelse av hovedaktivitet/hovedprosess: Bygging av hundeselede til bruk i konkurranse

Er oppgaven rent teoretisk? (JA/NEI): NEI

risikovurdering. Dersom «JA»: Beskriv kort aktivitetens kartleggingskjemaet under. Risikovurdering trenger ikke å fylles ut.

Signaturer: Ansv. veileder: 

Student: 

ID nr.	Aktivitet/prosess	Ansv. veileder	Eksisterende dokumentasjon	Eksisterende sikringstiltak	LoV, forskrift o.l.	Kommentar
1.	Diverse reiser, blant annet reise til femundløpet	Harald Brekke		Bilbelle	Vegtrafikkloven	Ikke direkte knyttet opp til prosjektoppgave
2.	Prøvekjøring av hundeselede	Sigrd Ekran		Beskyttelsesutstyr		Trolig kjøring under oppsyn
3.	Arbeid i verksted	Harald, Erlend, Theo		Verneutstyr (briller, vernesko, hørselvern, etc.)	Gjeldende verkstedforskrift	Bygging av prototype av selede
4.	Testing av prototype	Harald, Erlend, Theo		Beskyttelsesutstyr		

NTNU	Risikovurdering		Utarbeidet av	Nummer	Dato
			HMS-avd.	HMSRFV2601	22.03.2011
HMS			Godkjent av		Erstatter
			Rektor		01.12.2006

Enhet: **IPM**

Dato: **20.02.15**

Linjeleder:

Delektore ved kartleggingen (m/ funksjon): Knut Einar Aasland (ansv. veileder), Bjørn Age Berntsen (medveileder), Erlend Nærland
 Vastveit (student), Jarle Theodor Holen (student) og Harald Brekke (student)
 (Ansv. veileder, student, evt. medveileder, evt. andre m. kompetanse)

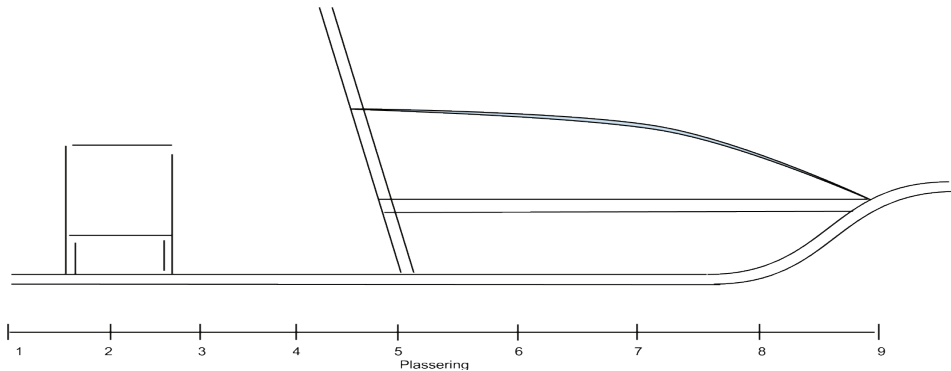
Risikovurderingen gjelder hovedaktivitet: **Utkjring av hundeslede for konkurransekjring**

Signaturer: Ansv. veileder:

Student:

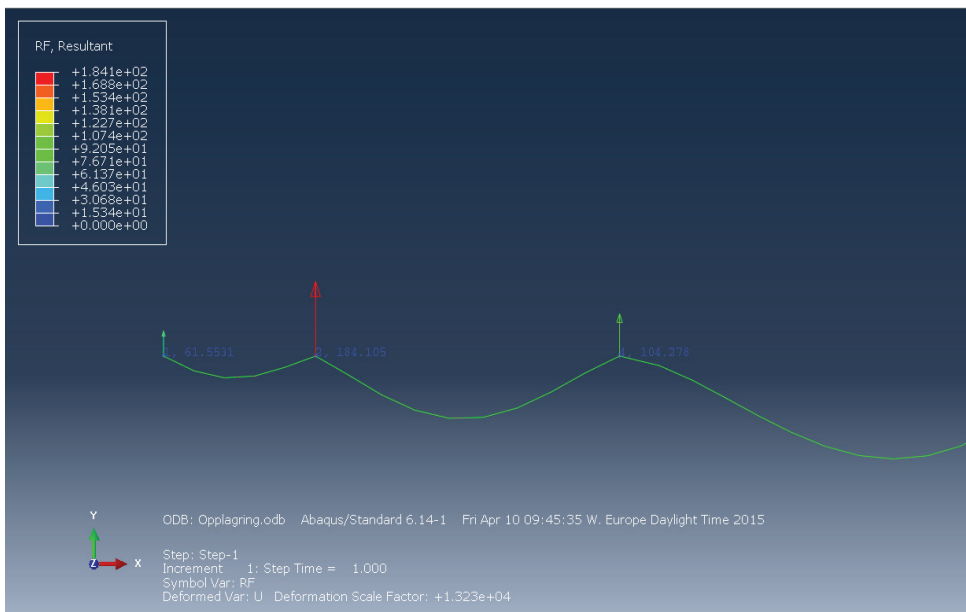
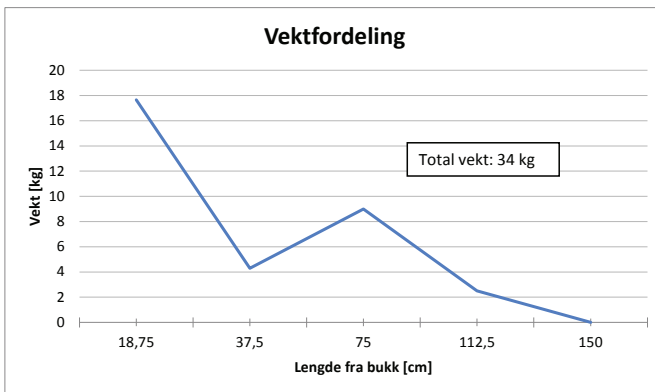
ID nr	Aktivitet fra kartleggings-skjemaet	Mdlig uønsket hendelse/ belastning	Vurdering av sannsynlighet (1-5)	Vurdering av konsekvens:			Risiko-Verdi (menneske)	Kommentarer/status Forslag til tiltak	
				Menneske (A-E)	Ytre miljø (A-E)	Øvr. materiell (A-E)			
1	Diverse reiser, bla reise Bilulykke ned til femundløpet		1	E	A	B	B	E1	Førholde seg til veitrafikkloven. Tilpasse kjring til forholdene. Bruke setebelte
2	Prøvekjring av hundeslede	Velt, kollisjon med tre, angrep av hund	3	B	A	C	A	B3	Få grundig opplæring og veiledning. Bruke riktig beskyttelsesutstyr.
3	Arbeid i verksedet	Klemskader, kuttskader og lignende ved bruk av maskiner	4	B	A	A	B	B4	Gjennomført verksedkurs og førstehjelpskurs
4	Testing av prototype	Velt, kollisjon med treslag- og kuttskader	3	B	A	C	A	B3	Få grundig opplæring og veiledning. Bruke riktig beskyttelsesutstyr.

2 Vektfordeling



Utstyr	Vekt [kg]	Plassering [1-9]	Utstyr	Vekt [kg]	Plassering [1-9]
Plassering 5			Plassering 6		
reservemat	6	2	Snøspade	1	6
Mat/Snack hunder	3	2	Wire	1	6
Lysstav	0,1	4	Tau	0,3	6
Fjellkart	0,2	5	Rødsprit	1	6
Veterinærhåndbok	0,1	5	Mat kjører	1	6
Kompass	0,1	5			
Øks/storkniv	0,6	5	Plassering 7		
Førstehjelp	0,5	5	Vinterbekledning	5	7
Hundesokker	1	5	Klesskift	2	7
Hodelykt+batterier	1	5	Vindsekk	2	7
Vannkoker	4	5			
Søppelsekk	0,05	5	Plassering 8		
Drikke kjører	1	5	Sovepose	2,5	8

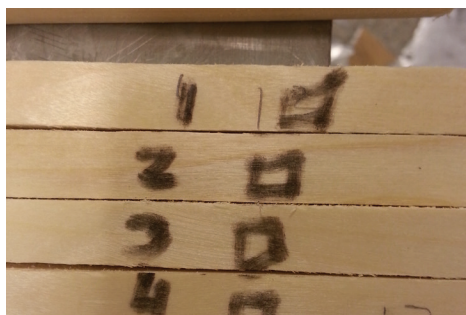
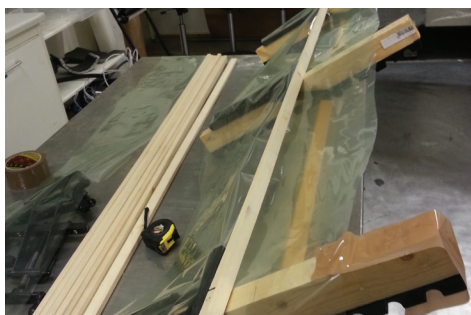
Kraft ved hver plassering:	Lengde [cm]	Vekt [kg]
a	18,75	17,65
b	37,5	4,3
c	75	9
d	112,5	2,5
e	150	0
Total vekt:		33,45



Opplagerkrefter fra innspenninger på ski til tobogganplate.

3 Teststykker

3.1 Laminering og liming av trekjerne



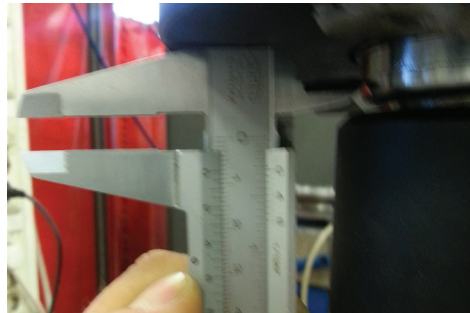
Lamellbredde på 12 mm
Justering for å jevne ut radiell trestruktur

3.2 Testing av trekjerne

Teststykke	Tykkelse [mm]	Bredde [mm]	Lengde [mm]	I [mm ⁴]
1	7,5	46,8	406	1628,9
2	9,3	48,1	406	3237,2
3	13,3	43,4	406	8451,9
4	15,8	43,3	406	14312,5

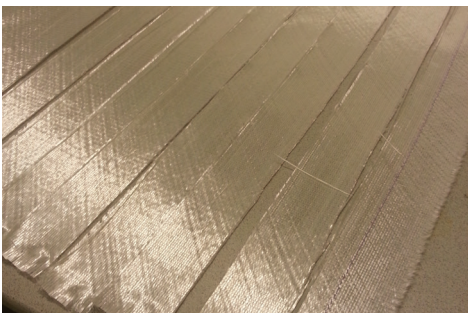
E_wood:	8000 MPa
---------	----------

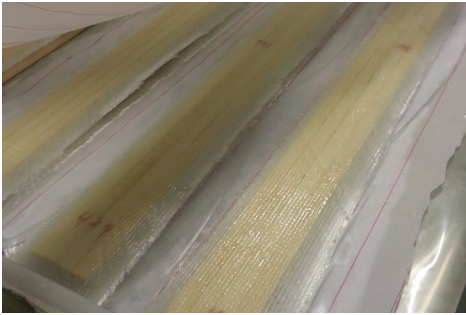
Teststykke nr.	Vekt [kg]	Kraft [N]	Nedbøyning [mm]	EI_wood [Mpa*mm ⁴]	EI_wood (teori)	Differanse
1	12	117,72	5,6	2,93E+07	2,12E+07	0,38
2	20	196,2	5,6	4,88E+07	4,21E+07	0,16
3	44	431,64	5,6	1,07E+08	1,10E+08	-0,02
4	69	676,89	5,6	1,69E+08	1,86E+08	-0,09



Spesiallaget bolt for å få bedre tester
 Brukte skyvelære for å måle nedbøyning

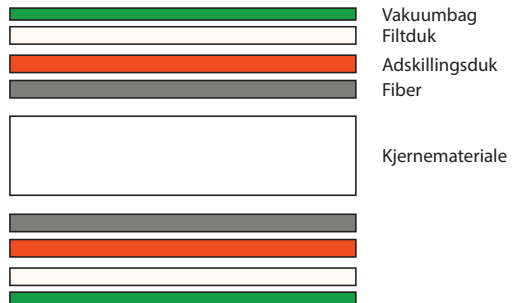
3.3 Støping av teststykker





Matrise data:

Produsent: Momentive
 Type: Epoxy
 Produkt: EPIKOTE Resin MGS RIMR135
 + EPIKURE Curing Agent MGS RIMH 137
 Mix ratio: 100:30 ±0.5 (vekt)
 Blandetid: 5 min
 Herdetid: 24h ved 23 °C



Fiberduk: Devold DBLT 850-E10-J

3.4 Fiberverdier

Glass density					2580	Kg/m ³
Volume ratio (fiber to total)					0,4	
Layer 1			1	ply	0	rad
Fiber angle	0	deg	Fabric Weight		240	g/m ²
		Percent	0,29	Thickness	0,23	mm
Layer 2			1	ply	0,79	rad
Fiber angle	45	deg	Fabric Weight		200	g/m ²
		Percent	0,24	Thickness	0,19	mm
Layer 3			1	ply	-0,79	rad
Fiber angle	-45	deg	Fabric Weight		200	g/m ²
		Percent	0,24	Thickness	0,19	mm
Layer 4			1	ply	1,57	rad
Fiber angle	90	deg	Fabric Weight		200	g/m ²
		Percent	0,24	Thickness	0,19	mm

3.4.1 Stivhetsberegninger for Teststykke 1							
	Elastic properties					Layup	
Ply no.	E1	E2	G12	v12	v21	Thickness	Angle
1	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,23	0
2	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	45
3	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	90
4	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	-45
5	12500	400	750	0,29	0,00928	7,50	0
6	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	-45
7	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	90
8	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	45
9	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,23	0
					Total t =	9,13	

LAMINATE STIFFNESS MATRIX (per unit length)					
127987	9797	0	0	0	0
9797	34661	0	0	0	0
0	0	17078	0	0	0
0	0	0	1057565	154023	9129
0	0	0	154023	544604	9129
0	0	0	9129	9129	220128

3.4.2 Stivhetsberegninger for Teststykke 2							
	Elastic properties					Layup	
Ply no.	E1	E2	G12	v12	v21	thi	ang
1	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,23	0
2	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	45
3	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	90
4	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	-45
5	12500	400	750	0,29	0,00928	9,30	0
6	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	-45
7	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	90
8	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	45
9	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,23	0
					Total t =	10,93	

LAMINATE STIFFNESS MATRIX (Nmm ² per unit length)					
150548	10006	0	0	0	0
10006	35383	0	0	0	0
0	0	18428	0	0	0
0	0	0	1744791	230704	11162
0	0	0	230704	816025	11162
0	0	0	11162	11162	337973

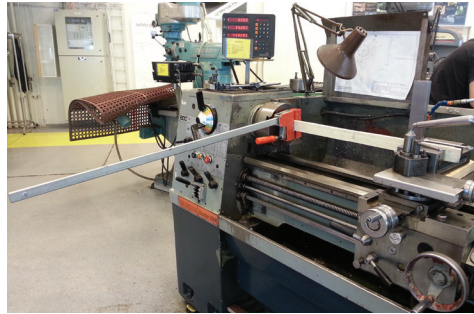
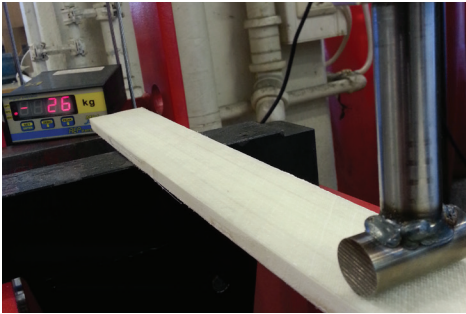
3.4.3 Stivhetsberegninger for Teststykke 3							
	Elastic properties					Layup	
Ply no.	E1	E2	G12	v12	v21	thi	ang
1	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,23	0
2	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	45
3	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	90
4	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	-45
5	12500	400	750	0,29	0,00928	13,30	0
6	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	-45
7	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	90
8	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	45
9	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,23	0
					Total t =	14,93	

LAMINATE STIFFNESS MATRIX (Nmm ² per unit length)					
200683	10472	0	0	0	0
10472	36987	0	0	0	0
0	0	21428	0	0	0
0	0	0	4198450	459640	15681
0	0	0	459640	1626110	15681
0	0	0	15681	15681	709921

3.4.4 Stivhetsberegninger for Teststykke 4							
	Elastic properties					Layup	
Ply no.	E1	E2	G12	v12	v21	thi	ang
1	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,23	0
2	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	45
3	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	90
4	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	-45
5	12500	400	750	0,29	0,00928	15,80	0
6	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	-45
7	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	90
8	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,19	45
9	37500	8000	4000	0,3	0,064	0,23	0
					Total t =	17,43	

LAMINATE STIFFNESS MATRIX (Nmm ² per unit length)					
232017	10762	0	0	0	0
10762	37990	0	0	0	0
0	0	23303	0	0	0
0	0	0	6521802	645029	18505
0	0	0	645029	2281858	18505
0	0	0	18505	18505	1027915

3.5 Testing av teststykker

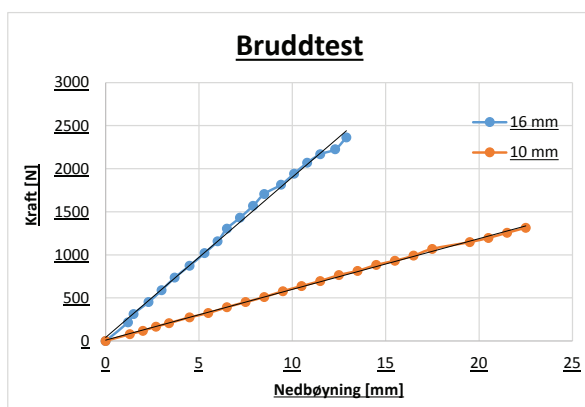


3.5.1 Bøyetest av teststykker mot beregninger

Test med torsjonsboks							
Teststykke nr.	Vekt [kg]	Kraft [N]	Nedbøyning [mm]	EI_total [Mpa*mm ⁴]	(Ingen teoretisk verdi)		
1	27	264,87	5,6	6,59E+07			
2	38	372,78	5,6	9,28E+07			
3	68	667,08	5,6	1,66E+08			
4	116	1137,96	5,6	2,83E+08			
Test med sandwich							
Teststykke nr.	Vekt [kg]	Kraft [N]	Nedbøyning [mm]	EI_total [Mpa*mm ⁴]	EI_total (teori)	Difference	
1	26	255,06	5,6	6,35E+07	4,95E+07	0,28	
2	36	353,16	5,6	8,79E+07	8,40E+07	0,05	
3	66	647,46	5,6	1,61E+08	1,82E+08	-0,12	
4	112	1098,72	5,6	2,74E+08	2,82E+08	-0,03	

3.5.2 Bruddtest av Teststykke 2 og 4

Mål	Nedbøyning	Vekt	Kraft	Mål	Nedbøyning	Vekt	Kraft
101,9	0	0	0	107,5	0	0	0
103,1	1,2	22	215,82	108,8	1,3	8	78,48
103,4	1,5	32	313,92	109,5	2	12	117,72
104,2	2,3	46	451,26	110,2	2,7	17	166,77
104,9	3	60	588,6	110,9	3,4	21	206,01
105,6	3,7	75	735,75	112	4,5	28	274,68
106,4	4,5	89	873,09	113	5,5	33	323,73
107,2	5,3	104	1020,24	114	6,5	40	392,4
107,9	6	118	1157,58	115	7,5	46	451,26
108,4	6,5	133	1304,73	116	8,5	52	510,12
109,1	7,2	146	1432,26	117	9,5	59	578,79
109,8	7,9	160	1569,6	118	10,5	65	637,65
110,4	8,5	174	1706,94	119	11,5	71	696,51
109,4	9,4	185	1814,85	120	12,5	78	765,18
110,1	10,1	198	1942,38	121	13,5	83	814,23
110,8	10,8	211	2069,91	122	14,5	90	882,9
111,5	11,5	221	2168,01	123	15,5	95	931,95
112,3	12,3	227	2226,87	124	16,5	101	990,81
112,9	12,9	241	2364,21	125	17,5	109	1069,29
				127	19,5	117	1147,77
				128	20,5	122	1196,82
				129	21,5	128	1255,68
				130	22,5	134	1314,54



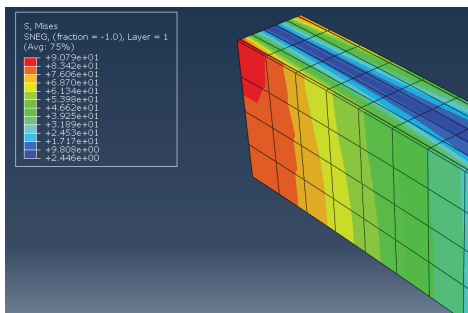
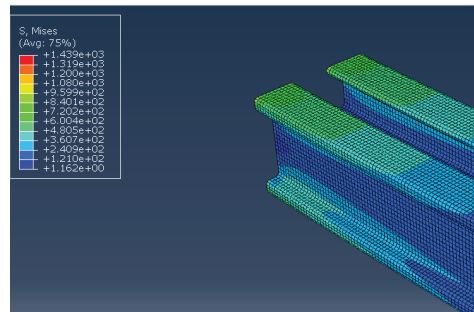
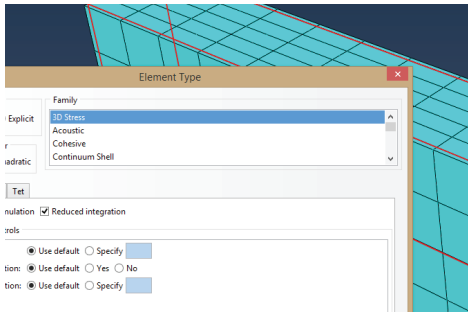
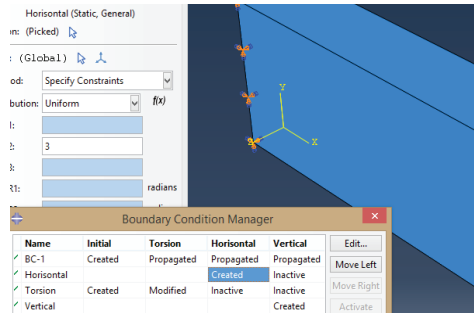
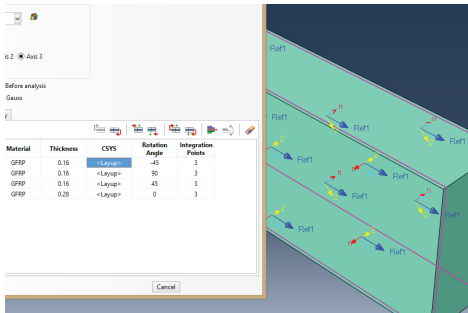
3.5.3 Torsjonstesting

Lengde	505	mm
Stang		
L	1000	mm
m	2,6	kg
Ledd		
L	150	mm
m	0,7	kg
Torsjon		
Stang	12753	Nmm
Stang + Ledd	19104,975	Nmm
Teststykke nr.	Torsjonskonstant [J]	
1	5867,626867	
2	11292,42004	
3	27584,04233	
4	44676,99974	

Test 1	Teststykke nr.	Grader	GI [Nmm ²]	GI_teori [Nmm ²]	Differanse
Stang	1	13	1,42E+07	1,03E+07	38 %
	2	8	2,12E+07	1,63E+07	30 %
	3	6,3	2,54E+07	3,08E+07	-18 %
	4	4	3,96E+07	4,45E+07	-11 %
Test 2	Teststykke nr.	Grader	GI	GI_teori	Differanse
Stang +710 g	1	17	1,62E+07	1,03E+07	58 %
	2	14,8	1,72E+07	1,63E+07	5 %
	3	11,5	2,08E+07	3,08E+07	-32 %
	4	6,3	3,77E+07	4,45E+07	-15 %

4 Beregninger fra Abaqus

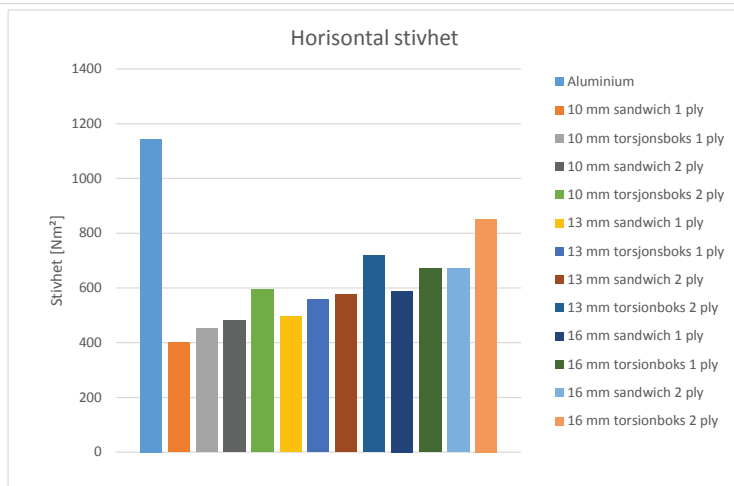
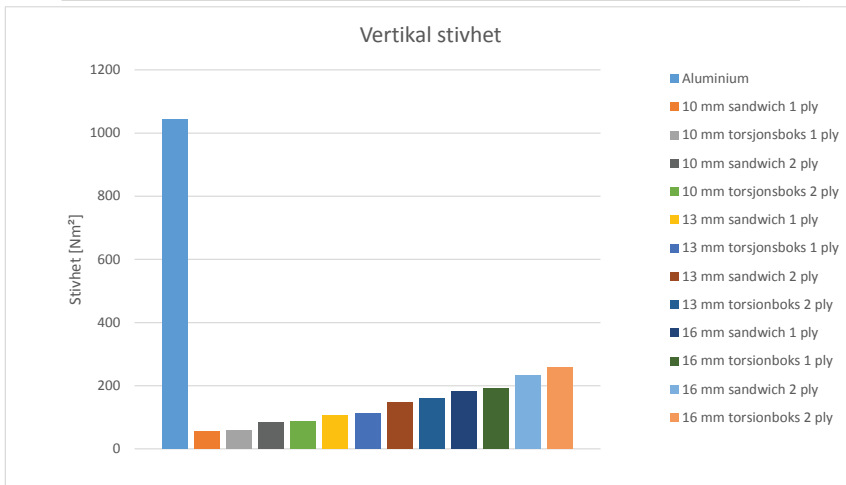
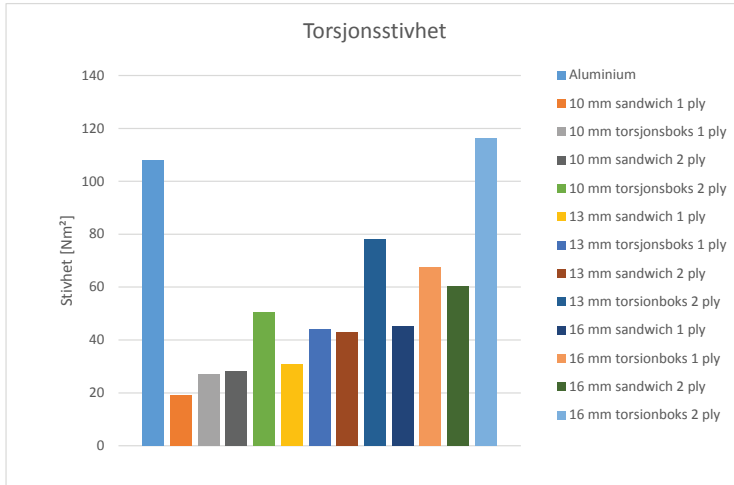
4.1 Oppsett



4.2 Resultater

Aluminium					
		Kraft	Enhet	Stivhet	Enhet
	Torsjon	189000,00	Nmm	108	Nm2
	Horisontal	10300,00	N	1144	Nm2
	Vertikal	9400,00	N	1044	Nm2

Kompositt							
10 mm		Sandwich	Torsionboks	Enhet	Sandwich	Sandwich	Enhet
1 lag	Torsjon	33270,00	47110,00	Nmm	19	27	Nm2
	Horisontal	3614,00	4067,00	N	402	452	Nm2
	Vertikal	505,00	524,00	N	56	58	Nm2
10 mm							
2 lag	Torsjon	49280,00	88140,00	Nmm	28	50	Nm2
	Horisontal	4337,00	5342,00	N	482	594	Nm2
	Vertikal	748,00	796,00	N	83	88	Nm2
13 mm							
1 lag	Torsjon	54180,00	77310,00	Nmm	31	44	Nm2
	Horisontal	4459,00	5030,00	N	495	559	Nm2
	Vertikal	968,00	1012,00	N	108	112	Nm2
13 mm							
2 lag	Torsjon	75300,00	136900,00	Nmm	43	78	Nm2
	Horisontal	5198,00	6464,00	N	578	718	Nm2
	Vertikal	1325,00	1432,00	N	147	159	Nm2
16 mm							
1 lag	Torsjon	79230,00	117800,00	Nmm	45	67	Nm2
	Horisontal	5300,00	6040,00	N	589	671	Nm2
	Vertikal	1630,00	1722,00	N	181	191	Nm2
16 mm							
2 lag	Torsjon	105300,00	203500,00	Nmm	60	116	Nm2
	Horisontal	6051,00	7669,00	N	672	852	Nm2
	Vertikal	2110,00	2334,00	N	234	259	Nm2



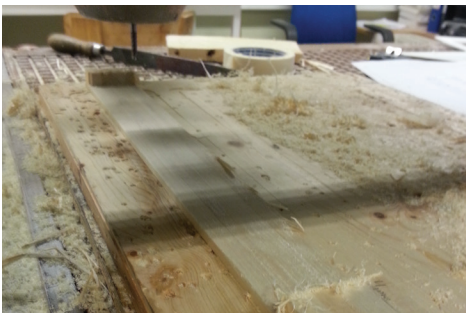
4.3 Feil materialeegenskaper

Kjernematerialet ble lagt inn i Abaqus med isotropiske materialeegenskaper med $E=12500$ MPa. Istedet skulle det ha vært anisotropiske materialeegenskaper med $E_1=12500$ MPa, $E_2=400$ MPa $E_3=750$ MPa.

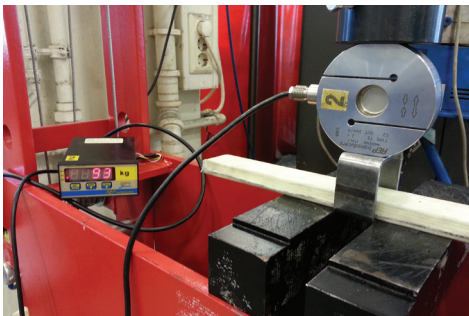
		Difference	Difference
		Sandwich	Torsionbox
10 mm	Torsjon	-47 %	-35 %
1 lag	Horisontal	18 %	12 %
	Vertikal	19 %	19 %
10 mm	Torsjon	-44 %	-23 %
2 lag	Horisontal	17 %	9 %
	Vertikal	8 %	9 %
13 mm	Torsjon	-51 %	-40 %
1 lag	Horisontal	17 %	11 %
	Vertikal	21 %	20 %
13 mm	Torsjon	-48 %	-28 %
2 lag	Horisontal	17 %	8 %
	Vertikal	10 %	11 %
16 mm	Torsjon	-54 %	-43 %
1 lag	Horisontal	17 %	10 %
	Vertikal	22 %	20 %
16 mm	Torsjon	-51 %	-31 %
2 lag	Horisontal	17 %	7 %
	Vertikal	9 %	11 %

5 Prototype - ski

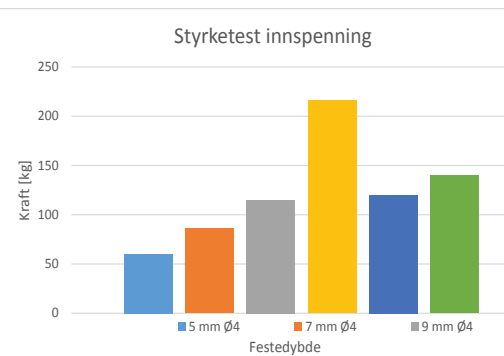
5.1 Laminering, liming og fresing av kjernemateriale



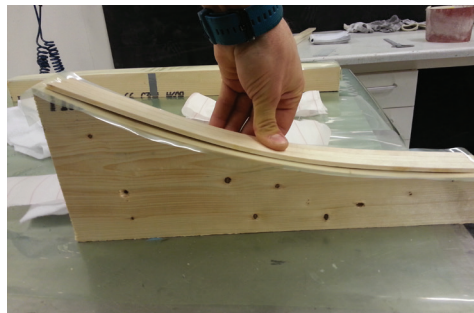
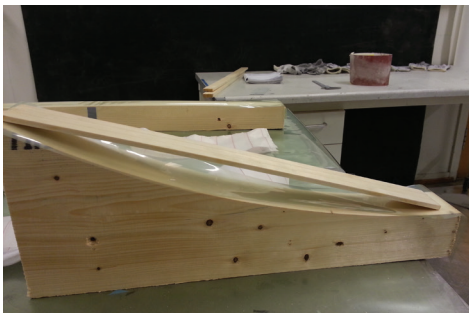
5.2 Testing av innspenning

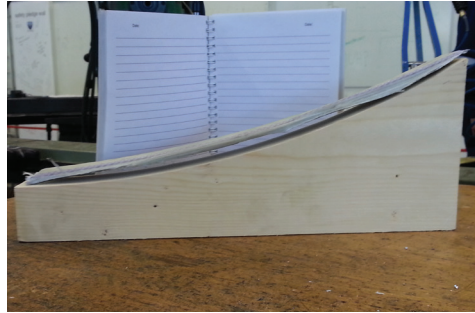


Liten	Festedybde [mm]	Kraft [kg]
	5 mm Ø4	60
	7 mm Ø4	86
	9 mm Ø4	115
	14 mm Ø4	216
Stor		
	9 mm Ø6	120
	11 mm Ø6	140

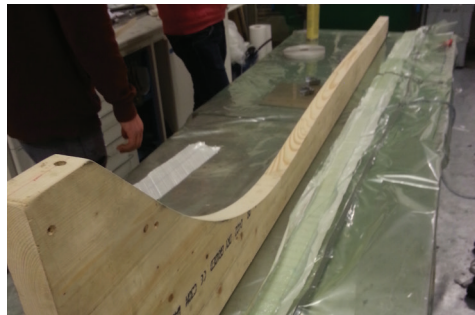
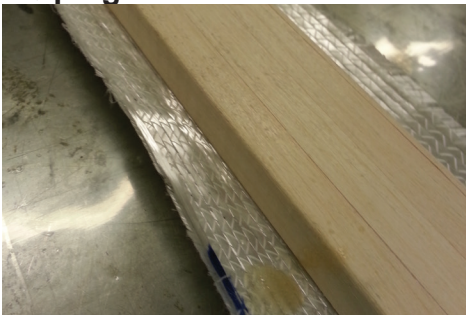


5.3 Testing av springback

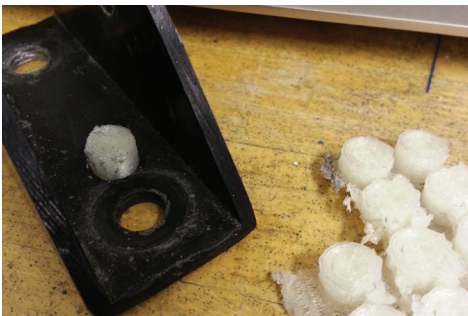
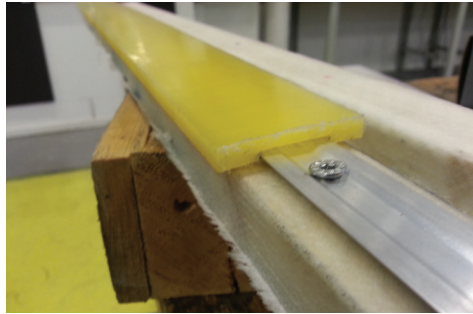
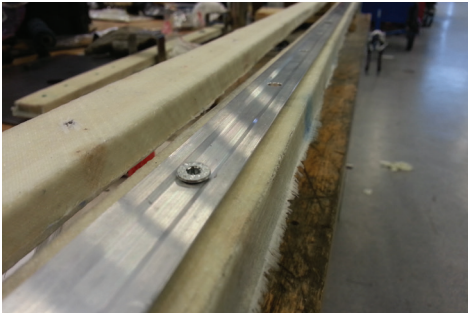




Støping av ski



5.4 Montering av ski

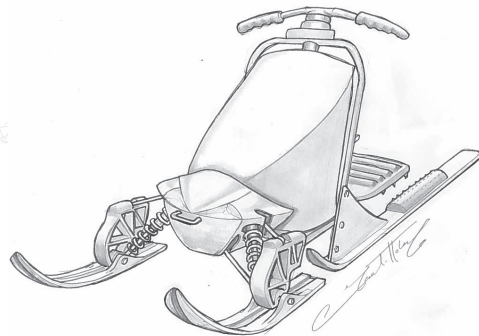
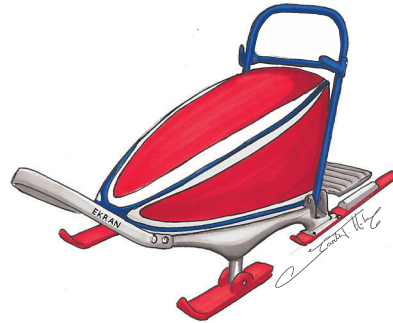
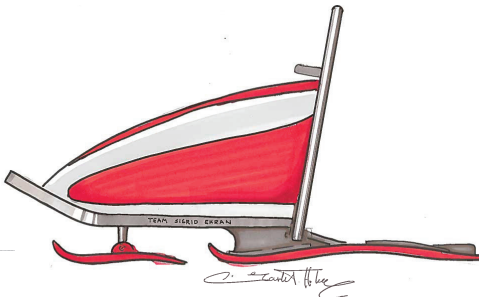
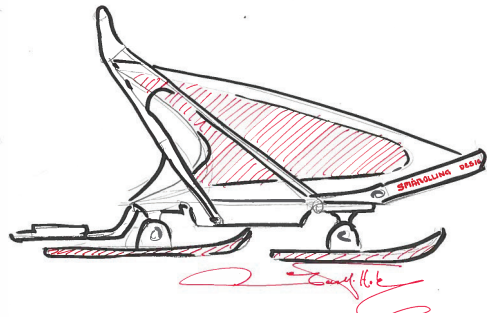
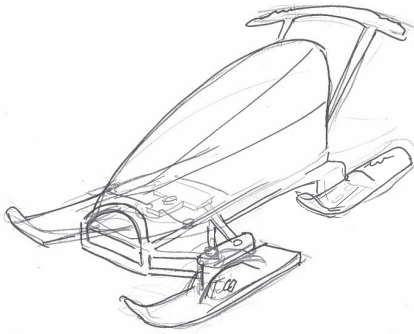


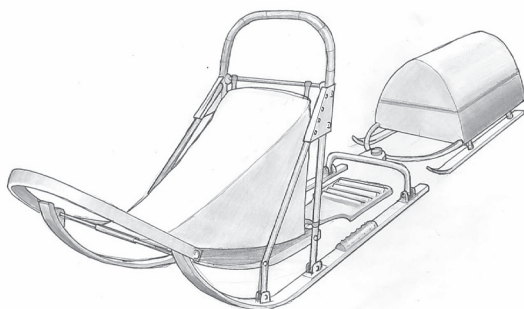
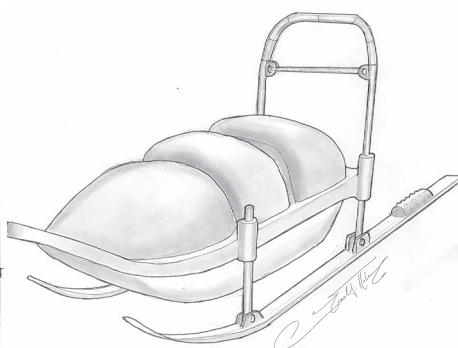
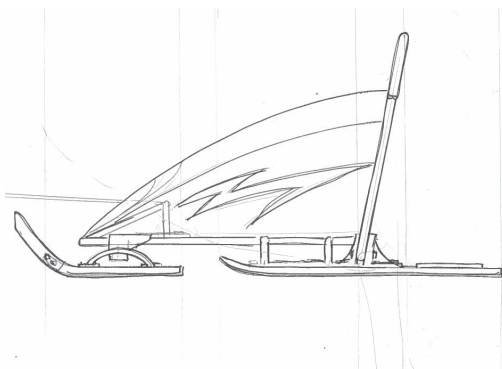
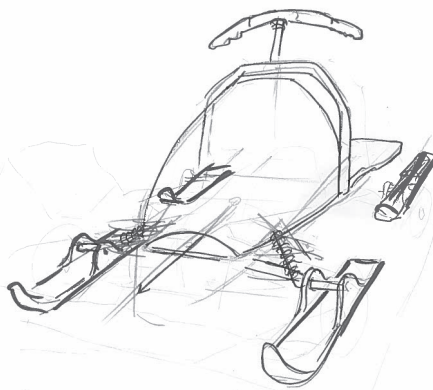
6 Testing av ski



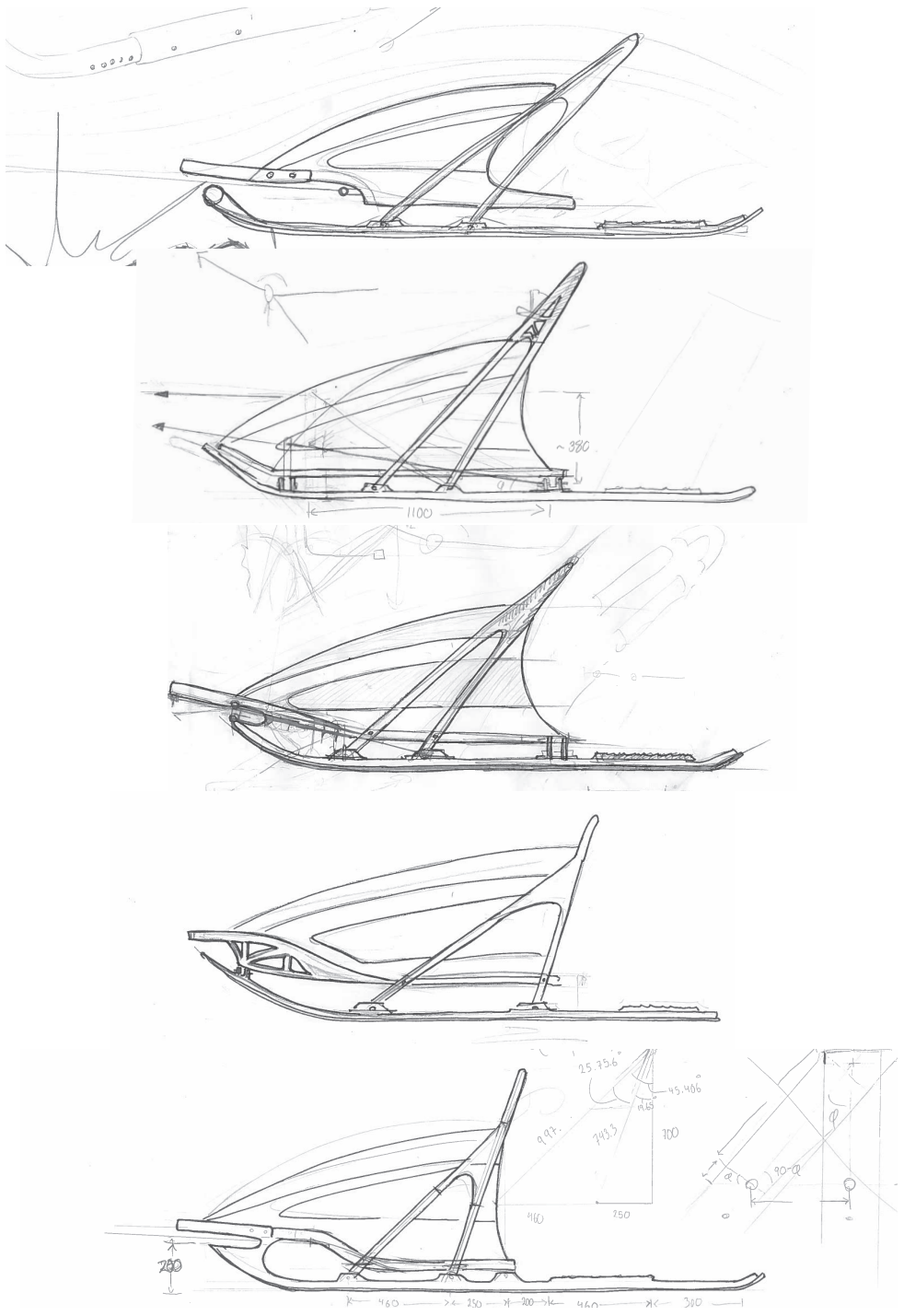
7 Skisser av sledeutforming

7.1 Konseptgenerering





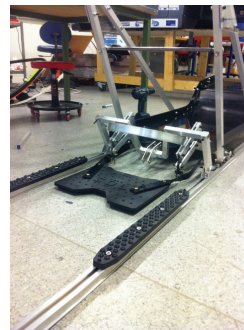
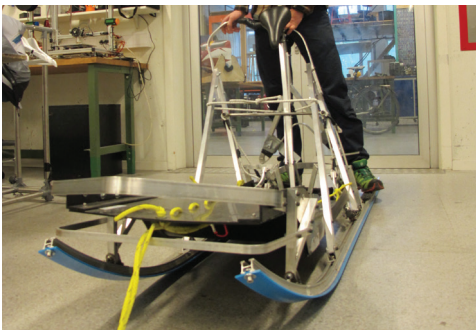
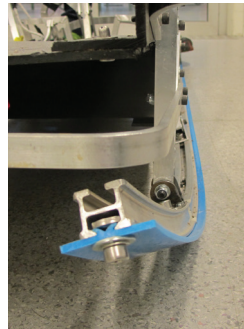
7.2 Utforming av slede med justerbart dra-punkt



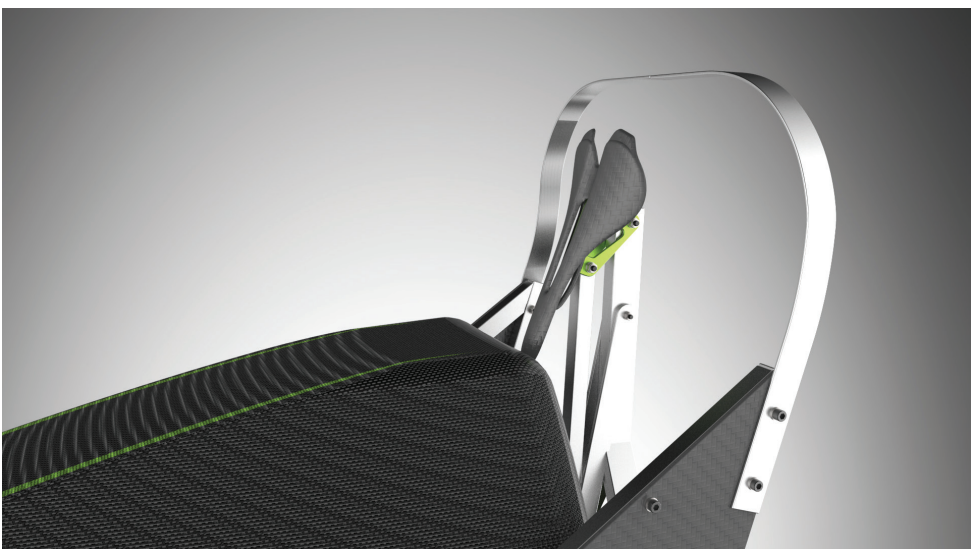
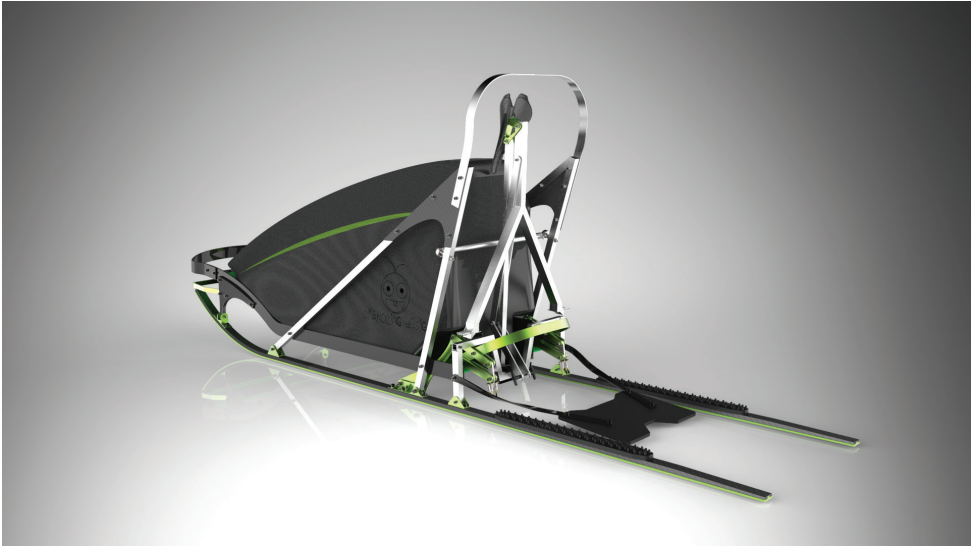
8 Prototype - slede

8.1 Bygging av prototype





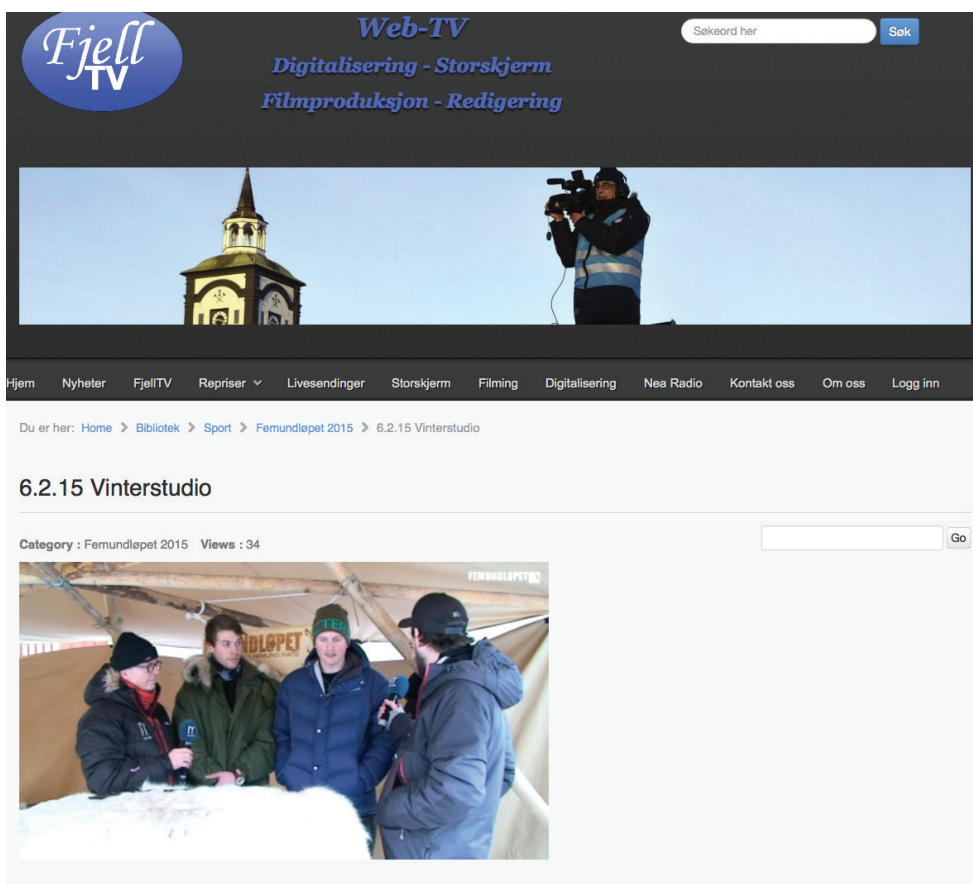
9 Renderinger av CAD-modell





10 I media

10.1 Intervju under Femundløpet med Nea radio



The screenshot shows the FjellTV website interface. At the top left is the FjellTV logo. To its right, the text reads "Web-TV", "Digitalisering - Storskjerm", and "Filmproduksjon - Redigering". A search bar with the placeholder "Søkeord her" and a "Søk" button is located in the top right. Below the header is a banner image showing a church steeple and a person with a camera. A navigation menu at the bottom of the banner includes: "Hjem", "Nyheter", "FjellTV", "Repriser", "Livesendinger", "Storskjerm", "Filming", "Digitalisering", "Nea Radio", "Kontakt oss", "Om oss", and "Logg inn". Below the navigation menu, a breadcrumb trail reads: "Du er her: Home > Bibliotek > Sport > Femundløpet 2015 > 6.2.15 Vinterstudio". The main content area features the title "6.2.15 Vinterstudio" and a category "Femundløpet 2015" with "Views : 34". A video player is embedded, showing a group of people in winter gear. A search bar with a "Go" button is visible on the right side of the video player area.

Video av intervjuet er tilgjengelig fra:

<http://www.fjelltv.no/index.php/component/allvideoshare/video/latest/femundlopet-vinterstudio-6-2-15>

Omtrent 37 minutter ut i filmen kommer innslaget.

10.2 Intervju i avisen Arbeidets Rett

Arbeidets Rett

NTNU-studenter lager super-slede til Sigrid

VIDEO: Tre NTNU-studenter skal utvikle en superrask hundeslede. De tre studentene var nylig på besøk hos Sigrid Ekran for å lære mer om hundekjøring.

Tonje Hovensjø Løkken

E-post

Publisert 09.10.2014 kl. 18:07 Oppdatert 09.10.2014 kl. 18:07

De tilbrakte et par dager i strålende høstsol på garden Sølvø i slutten av september, der forberedelsene til Femundløpet og senere Finnmarksløpet går sin gang.

[Se videosak fra besøket](#)

Både Sigrid Ekran og rørgutten Amund Rognes Kokkvoll kjører langdistansene i løpene i år.

Varm september

Arbeidets Rett har tidligere vært på besøk og sett treningsshjulet som har vært til god hjelp når hundene skulle trenes i sommer. Med sommervarme langt ut i september, har natta og tidlige morgener vært den eneste tida det har gått an å trene hund.

[Se videosak: Her trener 32 hunder i en ring](#)

Samtidig dreies oppmerksomheten i retning av det som skjer på snøen og på hundesleden.

Verken firbeinte eller tobeinte blir spesielt lei seg hvis snøen plutselig en morgen laver ned!

– Som gode joggesko

– Vi er på jakt etter en god langdistanseslede, forklarer Sigrid Ekran, og fortsetter:

– En god slede er som gode joggesko når du skal springe.

Hun mener det er litt smak og behag, og at det er mange detaljer en hundekjører kan tenke seg på en slede.

En eventuell superrask, ny langdistanseslede blir uansett ikke klar til verken Femundløpet eller Finnmarksløpet denne sesongen.

– Nei, det dreier seg vel mer om konkurransesesongen 2016, sier utviklerne.

Se også videosaken: [Topp ti i både Femund og i Finnmark](#)

Produktutvikling

Theo Holen fra Nesodden, Erlend Vastveit fra Finnøy og Harald Brekke fra Gjerdrum er de tre studentene som skal utvikle det som kan bli verdens raskeste hundeslede.

De studerer produktutvikling og produksjon ved NTNU i Trondheim, med fordykning i produktutvikling og materialer.

Under besøket i Sølvø skulle de bli kjent med hundekjøring som sport, og med hvordan en hundeslede er bygd opp og ser ut.

ANNONSE



UTVIKLER SLEDE: Sigrid Ekran (til venstre) og Amund Kokkvoll (til høyre) er spent på hva NTNU-studentene Erlend Vastveit (nummer to fra venstre), Harald Brekke og Theo Holen kommer fram til når de skal lage verdens raskeste hundeslede. En annen som er rask, er den høye og mørke på fire bein midt i bildet. Hunden Negro (betyr svart på spansk) gjør glade hopp over tursleden. (Foto: Tonje Hovensjø Løkken)

ANNONSE

– Vi hadde fått noe informasjon på forhånd, men bare én av oss har vært borti hundekjøring tidligere, sier Harald Brekke.

Det første de nå skal til med, er analysefasen, der de avdekker behov. Hva er det hundekjørerne trenger?

Samarbeid

– Hvordan gikk det til at nettopp dere tre skal jobbe med å utvikle en superrask hundeslede?

– Vi fikk høre om ulike prosjekter gjennom professorer ved NTNU, og vi valgte et vi syntes virket interessant, sier Theo Holen.

– Og så kom Troll Mushing og viste interesse, fortsetter Amund Rognes Kokkvoll, den unge hundekjøreren som for tida bor hos Sigrid Ekran, og som skal kjøre det ene hundespennet hennes i vinter.

Det er Troll Mushing, som har butikker både i Trondheim og på Røros og Tynset, som stiller med deler når den nye supersleden skal bygges, og som eventuelt skal produsere den framtidige sleden.

– Vi står for utviklinga, og lager kanskje en prototyp, forklarer Erlend Vastveit.

På jakt etter god design

– Først og fremst er jobben vår å finne en god design, supplerer Harald Brekke.

Sammen med Amund Kokkvoll og Sigrid Ekran står de i tunet i Sølve og titter på en turslede.

Alaska huskyen Negro kommer settende i fullt firsprang og hopper gjentatte ganger over tursleden. Sjarmøren med et blått og et brunt øye er fullstendig klar over sin egen underholdningsverdi. Resten av hundene står, sitter eller ligger rolig i den store hundegarden denne formiddagen.

De 32 hundene i Fram-kennelen skal springe fort i vinter. Springer de enda fortere når kalenderen skifter til 2016, og de er klare til dyst foran den nye super-sleden?

Les mer om: [Femundløpet](#)

0 kommentarer

[LOGG INN](#)[E-POSTVARSLING](#)[Logg inn](#)[A Debattregler](#)[KOMMENTER](#)

For mer info og video: <http://www.rettten.no/femundlopet/ntnu-studenter-lager-super-slede-til-sigrid/s/1-25-7631454>