



NTNU – Trondheim
Norwegian University of
Science and Technology

Development of Product for Prevention of Femur Fracture

Ingrid Lothe Ruø

Mechanical Engineering

Submission date: June 2013

Supervisor: Knut Einar Aasland, IPM

Norwegian University of Science and Technology
Department of Engineering Design and Materials

MASTEROPPGAVE VÅR 2013
FOR
STUD.TECHN. INGRID LOTHE RUØ

UTVIKLING AV PRODUKT FOR FOREBYGGING AV HOFTEBRUDD
Development of product for prevention of femur fracture

Lårhalsbrudd er et stort problem blant eldre i Norge, både fordi det er så vanlig – ca. 9000 tilfeller pr år – og fordi følgene er så dramatiske. Det regnes med en dødelighet på 20%, og av de resterende blir 25% pleiepasienter.

Det fins noen produkter som skal redusere faren for lårhalsbrudd, men de har mange dårlige egenskaper. SINTEF Helse/Medisinsk teknologi samarbeider med Protex AS om å gjøre noe med dette. Kandidaten har i sitt prosjektarbeid – i samarbeid med SINTEF og Protex – studert krav og ønsker til et produkt for aktive, eldre mennesker som reduserer faren for slike brudd, og lagt fram 3 alternative konsepter.

Denne oppgaven bygger videre på det som ble gjort i prosjektoppgaven, og de resultatene som kom fram der. Målet er nå å føre dette fram til et ferdig definert nytt produkt.

Oppgaven skal inneholde:

1. en gjennomgang av kravspesifikasjon fra prosjektoppgaven, og eventuell raffinering av denne basert på ny kunnskap som er kommet til
2. testing av et utvalg støtdempende materialer for å komme fram til et som har et optimalt forhold mellom brukeregenskaper (vekt, tykkelse o.a.) og beskyttelse
3. valg av støtdempende materiale
4. definering og optimalisering av produktets plassering på menneskekroppen
5. utforming av komponenter i støtdempende materiale
6. utforming av totalprodukt
7. utvikling av prototype
8. hvis tida tillater det: brukertesting

I tillegg til rapporten, skal besvarelsen inneholde en PU-journal.

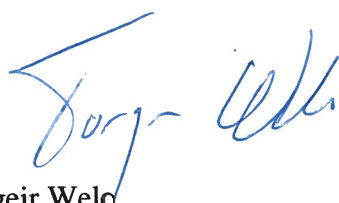
Besvarelsen skal ha med signert oppgavetekst, og redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse, etc. Ved utarbeidelse av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk 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.

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.

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

Kontaktperson ved SINTEF: Tore Christian Storholmen Bjørsvik
Kontaktperson ved Protex: Margrethe Engan Gjære



Torgeir Welde
Instituttleder



NTNU
Norges teknisk-
naturvitenskapelige universitet
Institutt for produktutvikling
og materialer



Knut Aasland
Faglærer

I. PREFACE

This master thesis was conducted as a part of the study program Product Development and Materials at the Norwegian University of Science and Technology (NTNU).

The development task was given by Protex AS and the work in the development process has been conducted in a close collaboration with SINTEF Technology and Society and their Department of Health Services Research.

This thesis is written as a continuation of a student project in autumn 2012 where the idea generation and final concept for the product were established. I recommend reading the former project report in Appendix 7.7 before reading about the detailing and further product development in this master thesis.

II. ACKNOWLEDGMENTS

I would like to thank my supervisor Knut Einar Aasland for giving me the opportunity of working with this exciting assignment. A thank you is also directed to Kaja Marie Flottorp for her collaboration on the autumn project.

At the Department of Engineering and Design I want to thank Halvard Støver for providing with electrical equipment and guidance for the material testing, Børge Holen for helping to realize the test set-up, and Bjarne Stolpnessæter for milling assistance.

I would not have come so far if it wasn't for the close cooperation with Tore Christian Storholmen from Sintef and Margrethe Engan Gjære from Protex. The frequent communication with them was invaluable when making design decisions and developing new prototypes.

A big thank you is also directed to all the enthusiastic persons we have met during the user testing. Their contribution and inputs have been very helpful!

III. SUMMARY

The number of hip fractures in Norway is annually increasing due to growth of the older part of the population. The consequences from this type of injury are massive, both for the victims and in terms of medical rehabilitation costs.

The hip can be protected by applying a hip protector. This is a product with shock attenuating material covering the hip region which prevents fracture in case the user falls by accident. Many such products already exist, but they all suffer from the same problem; the hip protector is undesirable to use.

This thesis involves the development of a more desirable hip protector in collaboration with Protex AS and Sintef. The basic idea was a belt solution that gave a sporty and practical look. This idea was developed further and through workshops and user testing, the result was a thin, clean-looking belt with focus on the user's needs ranging from protection to personal taste.

Extensive material testing was conducted in order to find an optimal shock absorbing material that gave sufficient protection from the impact of a fall from standing height. The material should be thin to reduce the visual impact of the belt and at the same time flexible to increase the comfort. The final material choice was 6 mm thick, over 57 % thinner than other competing hip protectors in the Norwegian market.

Being able to offer this new hip protector as an alternative to the existing may open for increased usage of such products. This can help to lower the amount of hip fractures and ensure people to maintain an active lifestyle and good health for longer.

IV. SAMMENDRAG

Antall hoftebrudd øker i dag jevnlig som følge av en stadig større andel av eldre på landsbasis. Konsekvensene av et slikt brudd er enorme, både for den rammede og når det gjelder medisinske utgifter.

Hofte kan beskyttes ved bruk av en hoftebeskytter. Dette er et produkt med støtabsorberende materiale som dekker over hoftepartiet og forhindrer brudd ved eventuelle fall. Det finnes mange slike produkter på markedet, men de lider alle av det samme problemet: brukerne ønsker ikke å bruke dem.

Denne oppgaven omhandler utviklingen av en mer attraktiv hoftebeskytter i samarbeid med Protex AS og SINTEF. Grunntanken var å lage en belteløsning som var både praktisk og sporty i utseende. Denne idéen ble videreutviklet gjennom workshops og brukertesting og resultatet ble et tynt belte av stilrent design og med fokus på brukerens behov som spenner seg fra beskyttelse til personlig smak.

Det har blitt utført omfattende materialtesting for å finne fram til et optimalt støtdempende materiale som gav tilstrekkelig beskyttelse mot kreftene fra et fall fra ståhøyde. Materialet skulle være tynt for å redusere det visuelle inntrykket av beltet og samtidig være fleksibelt for å gi maksimal komfort. Det endelige materialvalget var 6 mm tykt og dermed over 57 % tynnere enn andre konkurrerende hoftebeskyttere på det norske markedet.

Det å kunne tilby denne nye hoftebeskytteren som et alternativ til de eksisterende, kan åpne for økt bruk av slike produkter. Dette kan hjelpe til med å senke andelen hoftebrudd og sørge for at de eldre bevarer en aktiv livsstil og god helse i lengre tid.

V. CONTENTS

I. Preface.....	I
II. Acknowledgments	I
III. Summary.....	III
IV. Sammendrag.....	V
V. Contents.....	VII
VI. Figures	IX
VII. Tables	XI
1 Introduction	1
1.1 Collaboration	1
1.2 Hip fractures in numbers	2
1.3 Previous work.....	3
1.4 Report structure	4
2 Concept.....	5
2.1 Targeted users	5
2.2 Covering a need.....	7
3 Product development	8
3.1 Methodology	8
3.2 Starting point.....	8
3.3 Design workshop.....	11
3.3.1 The workshop agenda:.....	11
3.3.2 Remarks from the physical therapists.....	12
3.3.3 Workshop session.....	12
3.3.4 Workshop review.....	13
3.4 Product detailing	14
3.4.1 Size and fitting.....	14
3.4.2 Choice of materials	17
3.4.3 Pads.....	19
3.4.4 Design.....	20
3.4.5 Accessories.....	22
3.4.6 Expression and attitude.....	23
3.4.7 Additional elements.....	24

3.4.8	Product demand specifications	28
3.5	Usability testing	30
3.5.1	Collaboration	30
3.5.2	Exercise group.....	30
3.5.3	User trials	31
4	Impact Protection.....	34
4.1	Background	34
4.1.1	Bone specifics	34
4.1.2	Falling dynamics.....	35
4.2	Padding materials.....	38
4.2.1	Energy attenuating principle	39
4.2.2	Choice of material type	41
4.2.3	Properties of polyurethane.....	41
4.3	Experimental.....	45
4.3.1	Research.....	45
4.3.2	Testing parameters.....	48
4.3.3	Design of the test rig.....	49
4.4	Testing.....	55
4.4.1	Testing procedures.....	55
4.4.2	Calibration	55
4.4.3	Method	55
4.4.4	Data processing.....	56
4.5	Test results.....	57
4.6	Discussion	64
4.6.1	Explanation of the results	64
4.6.2	Conclusion and final choice of impact material	68
5	Final design and specifications	70
5.1	Alterations for the new prototype	70
5.2	Redesign sketches	71
5.3	Product review.....	74
6	References	75

7	Appendices	79
7.1	Workshop session	81
7.2	Meeting with users at exercise session	86
7.3	Meeting with user after 3 week trial period	89
7.4	Mechanical drawing of weight surface	93
7.5	Test results	94
7.6	Design history	100
7.7	Autumn report	103

VI. FIGURES

Figure 1 - Maria (71).....	5
Figure 2 - Active	9
Figure 3 - Sporty.....	9
Figure 4 - Slimfit	9
Figure 5 - Sintef V1	9
Figure 6 - Technical drawing for Prototype V2.....	10
Figure 7 - Prototype V2	10
Figure 8 - Post-it panels used in Workshop	12
Figure 9 - Prototype V3	13
Figure 10 - Fabrication pattern for the outer fabric.....	14
Figure 11 - Velcro with additional adjustment	15
Figure 12 - Landmarks in the hip region	16
Figure 13 - Locating GT, ref: [F1]	16
Figure 14 - Locating GT with landmarks	16
Figure 15 - Elastic grippers in Prototype V3.....	17
Figure 16 - Elastic grippers with printed logo	17
Figure 17 - Reflective logo.....	18
Figure 18 - Cuttin with NMC pattern	20
Figure 19 - Perforation by Poron	20
Figure 20 - Pad constricted by geometry	20
Figure 21 - Pocket for keys, coins and cards	22
Figure 22 - Folding sections	24
Figure 23 - Folding the hip protector.....	24

Figure 24 - Cardboard packaging.....	26
Figure 25 - Mesh fabric bag	26
Figure 26 - Selsbakk Menighetshus	30
Figure 27 - Woman from the user trial holding Prototype V3	32
Figure 28 - Healthy bone structure [F2].....	35
Figure 29 – Osteoporosis [F2].....	35
Figure 30 - Two common types of hip fracture [F3]	36
Figure 31 - Potential areas for impact protection.....	38
Figure 32 - Impact area and critical area over the GT	39
Figure 33 - Principle of energy absorption (left) and energy shunting (right)	40
Figure 34 - Behavior of PUR due to change in temperature	42
Figure 35 - Molecular behavior around time of impact.....	43
Figure 36 - Materials for testing	44
Figure 37 - Anatomical hip model for testing	47
Figure 38 - Drop tower	49
Figure 39 - Crane.....	49
Figure 40 - Weight surface.....	50
Figure 41 - 3D model of weight	51
Figure 42 - Weight	51
Figure 43 - Release mechanism	51
Figure 44 - Central load cell.....	53
Figure 45 - Assembled central load cell	53
Figure 46 - The force plate.....	53
Figure 47 - Spider8 with all sensors attached	54
Figure 48 - Location for testing Xpad1 and Xpad2	55
Figure 49 - Relevant peak force	56
Figure 50 - Relevant peak of all samples	58
Figure 51 - Relevant materials with maximum peak forces below 0.55 kN	59
Figure 52 - Results from accelerometer	60
Figure 53 - Force versus thickness	61
Figure 54 - Force versus density.....	61
Figure 55 - 6 mm samples, peak force at H0, H1 and H2.....	63
Figure 56 - 6 mm samples, difference between 192 kg/m ³ and 240 kg/m ³	63
Figure 57 - Design revision, inside	71
Figure 58 - Design revision, front	72
Figure 59 - Design revision, back.....	73

VII. TABLES

Table 1 - User demand specifications.....	5
Table 2 - Probability of fracturing the hip	6
Table 3 - Potential color combinations.....	21
Table 4 - Three possible ways of attaching the loose end	25
Table 5 - Product demand specifications.....	28
Table 6 - List of materials for testing.....	44
Table 7 - Test parameters, recommendations for testing (2009) [12].....	46
Table 8 - Test parameters, bfu test regulations [21].....	48
Table 9 - Test parameters for this thesis	49
Table 10 - Sample results arranged by maximum peak force	57
Table 11 - 6 mm samples, peak force at H0, H1 and H2	62
Table 12 - Force distribution	62
Table 13 - Final choice of padding material	69

1 INTRODUCTION

Hip fractures are a big issue all over the world. Each fracture causes major trauma for the victim, both physically and psychologically. The treatment costs are very high, and as the oldest part of the population is increasing, the total sum will become substantial.

Most hip fractures are due to falls. This project will focus on preventing the damage resulting from a fall rather than preventing the fall itself. This means that we look upon the possibility of intervention during the time between losing balance and until the person is lying on the ground. Applying some kind of hip protection to the hip region will reduce the possibility of fracturing the hip bone and thereby help the user maintain his or her physical health.

1.1 Collaboration

Protex AS is a textile company with headquarter in Ålen in Norway and manufacturing facilities situated in Tallin, Estonia. They offer a wide range of products and are especially competent in customization to fit the customer needs.

SINTEF Health Services Research is a branch of SINTEF Technology and Society which is one of the institutes in the largest independent research organization in Scandinavia.

InnoMed is a national competence network for need-driven innovation. The network is rooted in the health care sector and their goal is to contribute to increased efficiency and quality through development of new solutions.

During this project there has also been a close cooperation with Trondheim Kommune regarding help from physiotherapists and contact with training groups for elderly in the Trondheim region.



1.2 Hip fractures in numbers

Each year around 9000 people are affected by hip fractures in Norway which makes Norway the country with the highest occurrence of hip fractures in the world by percentage. The main cause for this is reduced bone mass in combination with falling. The risk of falling increases rapidly after the age of 70. The chance of fracture is also much larger for women than for men. This is because the women usually have more bone loss than men, but also due to their higher life expectancy [1].

Norway has a high incidence of osteoporosis compared to other parts of the world with still unknown reasons. Around 240.000 Norwegians are affected by osteoporosis which gives no symptoms until fracture occurs. The most serious type of fracture is hip fracture. [2]

The annual risk of falling will also increase with age, going from 1 in 5 of women at the age of 50 and up to a 50 % chance for women over 85 years of age [1]. One of the most dramatic consequences of a fall is hip fracture since the fracture victims will usually suffer from reduced mobility for the rest of their lives. The mortality rate for a hip fracture victim is as high as 20 % within the first year after the accident. Of the remaining, 25 % will end up permanently in a nursing home as a result of the injury. In general, experiencing a fall can lead to reduced physical activity, depression and insecurity. Up to 50 % of the elderly who are afraid of falling will reduce or refrain from social and physical activity because of this fear. A lower level of activity will again lead to reduction of physical strength, endurance as well as muscular strength and further lead to an increased probability of falling [3]. It is therefore very important to maintain an active lifestyle as one gets older.

As the oldest part of the population is in relatively large growth, it is crucial to keep people in their own home for as long as possible instead of completing the care facilities. Reducing the number of hip fractures and thereby making the elderly feel more secure and safe can help to increase their level of physical activity which in return will give overall health benefits.

The population in Norway is aging due to higher life expectancy and immigration. In 2010 there were 624.000 elderly in Norway and the number is said to be doubled within 2060 [24]. With an older population comes an increased amount of hip fractures. With each hip fracture costing the Norwegian Government 167.000 NOK the first year, summing up to over 1.5 billion NOK for the total 9 000 fractures, this is a substantial cost that should not be ignored. Preventing hip fractures from occurring can save the people from massive inconveniences as well as expenses from the government.

1.3 Previous work

A preliminary report titled *Prevention of fall injuries among the elderly* [4] was published by SINTEF and Innomed in 2011 (hereafter known as “the preliminary report”). In 2012, a collaboration started between Protex AS and SINTEF on the development and production of a hip protecting device for elderly. The preliminary report was used as a basis for a project assignment in autumn 2012. The result from the work done in the autumn assignment (hereafter “the autumn project”) is the foundation for the continued product development in this thesis.

Product information on several existing products on the Norwegian and the international market and large differences have been found regarding the protective means in the various products. These differences can be in terms of material use, shape of the padding or energy-reducing principle; either energy-absorbing or energy-shunting. Several studies have been performed to compare the many hip protectors. These studies are sometimes very different regarding study objectives, methods or results. It has also been expressed speculations if some of the tests are biased due to the studies being funded by the companies owning the hip protector that comes out with the best results [5].

A recurring problem was the low compliance related to the hip protectors. In medicine, compliance is defined as *willingness to follow a prescribed course of treatment*. A low compliance for a hip protector means that the users do not wish to use the product despite of the recommendations of others. People familiar with the existing products have indicated that the products feel uncomfortable to wear, too warm and unpractical. A frequent opinion was that it made them look older than they feel and it gave them the impression of being a medical aid for “weak” people. Even though a hip protector is claimed functional, a lot of the hip fractures occur simply because the hip protector is not in use.

1.4 Report structure

The work done for this thesis has been divided into two main sections; product development and impact protection.

The part about the product development includes improvement and further development of the product. In addition to product detailing, this section also includes results from the workshop and from the usability testing. Feedback from the test subjects has been processed and necessary alterations for future work is presented at the end of this main section.

Everything concerning the impact protection of the product is presented in the second main section. This includes information on impact absorbing materials and how a test rig has been designed to test different samples of these materials. The results from the testing are presented and a final choice of impact material for this new hip protector is made.

The final design and new product specifications are summarized at the end of the thesis.

2 CONCEPT

The concept was established in the autumn project and the main idea behind it is to develop a hip protector for active, elderly people.

2.1 Targeted users

In the preliminary report the elderly were roughly divided into three age-categories or sub-groups. Each of these groups has different needs depending on their life situation and perception of their personal health status.

The youngest group is identified as *the youngest elderly* represented by Maria, 71 years of age (Figure 1). She lives at home with her husband and manages daily tasks without help. She is active on a daily basis and walks shorter distances most days. She has never fallen and does not feel she is in the target group for traditional hip protectors. She also has a clear idea of what she finds aesthetically appealing in terms of clothing and products.



Figure 1 - Maria (71)

During the autumn project it was decided to focus on active elderly of ages between 65 and 74 years. Even though the development of the product will be based on this user group, there are no age restrictions for the use of this hip protector.

For the new generation of hip protectors, user demands have been identified by the targeted users. The criteria have been identified on the basis of the preliminary report [4] and the work done in the autumn project. These are shown in Table 1.

Table 1 - User demand specifications

Hip protector for active elderly	
Operability, functionality	<ul style="list-style-type: none">- Can be handled despite weak hands or stiff back- Can be handled with gloves/mittens- Protects the hip from impacts- Intuitive and easy to handle- Can be handled by the user him/herself- Simple maintenance
Attitudes, awareness	<ul style="list-style-type: none">- Motivation for increased compliance- Making the elderly more familiarized with hip protectors- Meets the self-perception of the user- Easily recognizable product identity- Sense of sports equipment rather than medical aid
Availability	<ul style="list-style-type: none">- Easy to acquire- Available in sporting goods stores- To be sold along with walking sticks, crampons etc.- Can be tried on before buying
Comfort	<ul style="list-style-type: none">- Will transport moisture away from the body- Will maintain the body temperature

- Can be used at high temperatures
 - Will not hinder body movement (walking, sitting...)
 - Will not hinder body functions (pushing on the bladder...)
 - Compatible with clothing and/or sporting equipment
- Aesthetics**
- Sporty, attractive appearance
 - Not stigmatizing
 - Adapted to fit the body
 - Should not alter the body shape

The age from where a person is subjected to weakened bone structure varies strongly from person to person [6]. It is difficult to know if a person is in risk of fracturing his or her hip, but Table 2 has been developed to give an indication of this risk [7]. The numbers from each column are added together and compared to the risk score at the bottom of the table.

Table 2 - Probability of fracturing the hip

A Build and weight		B Balance and activity		C Sex, age in years		D Specific risks	
Normal or underweight for age with good muscle and soft tissue cover over the GT ¹	-8	Normal	0	Male <65	0	Clinical osteoporosis	8
Overweight but with good tissue cover over the GT ¹	-4	Only able to walk	1	Male 65-74	1	Rheumatoid arthritis	2
Normal or underweight but little tissue cover (< 3 mm) over the GT ¹	4	Walking with help	3	Male >75	2	Male with previously fractured wrist	6
Overweight with little tissue cover (< 3 mm) over the GT ¹	8	Walking in home only	4	Female <65	2	Male with previously fractured spine	4
		Housebound	6	Female 65-74	3	Male with previously fractured other hip	3
		Add the features below if applicable:	+	Female >75	8	Female with previously fractured wrist	4
		Balance problems	8			Female with previously fractured spine	3
		History of falling	10			Female with previously fractured other hip	2
Total score: 10 "at risk", 20+ "high risk", 30+ "very high risk"							

¹ GT = Greater Trochanter

Having a score above 10 implies an increased risk of fracturing the hip, and the person should use a hip protector. However, one must bear in mind that there is still a chance of fracture even with a score lower than this.

2.2 Covering a need

Today, there exist several types of functional hip protectors in the world market. Taking into account the previous studies on the comparison between the different types along with the comments from elderly people in the product's target group, we can see a clear goal for improvements being *increased compliance*. Even though the protector works, there is no use in it as long as it is not worn on the body. It is therefore important to focus on the attitude towards the hip protectors and what can be done to better this. The expression given by the product should *not* resemble "an aid for old people", but be more along the lines of equipment for promoting activity, like walking sticks and crampons.

The user's attitude can be changed to the better by making alterations in the design and presenting it as more sporty or youthful. A good product solution should be something that younger sports enthusiasts could wear as well.

This attitude-improvement can well enough ensure that people buy the product, but in order for the buyers to keep using it it is crucial that the hip protector is both practical as well as easy to use.

3 PRODUCT DEVELOPMENT

This chapter involves the detailing of the belt and the discussion of elements leading up to the final product. A full design history can be found in Appendix 7.6.

3.1 Methodology

In the early stages of this project, the prototypes made in the autumn project were merged with another prototype made by SINTEF. This acted as a starting point for the development task. A workshop was held in mid-February and the results made a solid foundation for the further improvement.

Regular communication with SINTEF has permitted close cooperation with Protex and their factory in Estonia. In this way the construction of the prototypes has been efficient enough to allow for usability testing. The feedback from the users has been realized through exercise courses and trial periods.

The improvement of the foundation from the autumn project has to a large degree been done as an iterative process following the IPM model [8]. This is a development technique that guides the project through five phases; from vision and all the way to a detailed product. The work done in this thesis has mainly been focused around *Phase 4: Structure and design* and *Phase 5: Production preparation*. The development has gone back and forth between these two phases several times as a result of new input and suggestions from health care personnel and also feedback from the users. Over these past months, two hip protectors have been produced and a new prototype is currently in production to make the zero series of the new hip protector.

3.2 Starting point

The three prototypes developed at NTNU in the autumn project were noted as *Active*, *Sporty* and *Slimfit* (see Figure 2 - Figure 4). A different prototype (Figure 5) had been developed independently by Sintef in parallel to these three. To get a foundation for further work it was necessary to merge these four prototypes into one of which the improvement process could continue.

Merging

A meeting was held in the beginning of 2013 to map out the future work on the hip protector. In this meeting it was decided to combine the best parts of the different concepts and to use this as a foundation for the development in this master thesis. This merger is largely related to Phase 4 in the IPM model.

Some of the best features from the various prototypes are presented in below each concept.

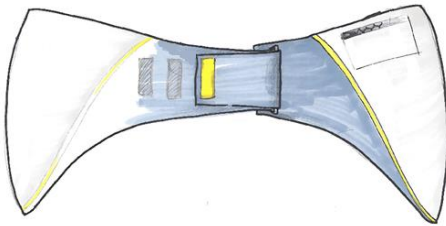


Figure 2 - Active

This prototype had good fitting properties which were used as a base for the shape. It was uncertain if the plastic wire would serve its purpose adequately so it was decided to make two of the next prototype; one with plastic wires and one without. The pocket was also held in mind.

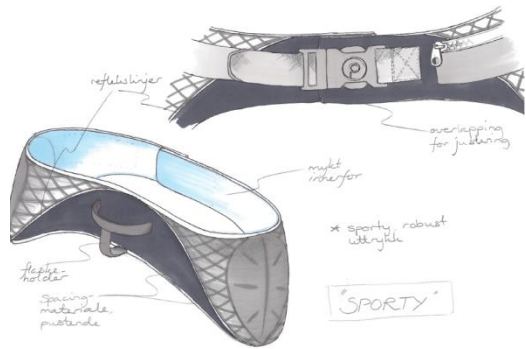


Figure 3 - Sporty

The rigidity of the belt was desired as this would simplify putting the belt on/off. This belt was straight along the upper edge of the belt which was preferred while sitting down.



Figure 4 - Slimfit

This prototype had only one type of elastic material going around the whole belt and a seamless surface which gave the belt a clean look. The elastic fabric enhanced the fitting of the belt and it was desired to use elastic Velcro for the fastening.



Figure 5 - Sintef V1

The edge bands used on this belt was looking very neat and worked well to seal the connection between the inner and outer fabric.

The closing mechanism developed in the autumn project worked very well and was established as the final concept for opening or closing the belt. The final points from the merger was summarized in the technical drawing in Figure 6 and sent to the factory in Estonia for prototype production.

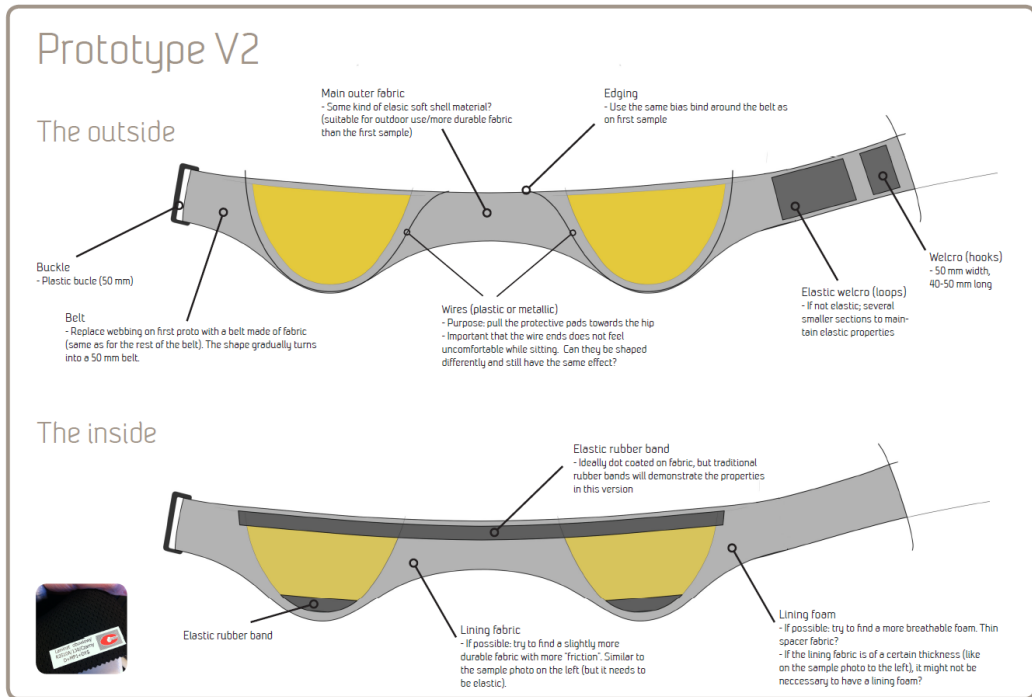


Figure 6 - Technical drawing for Prototype V2

The finished prototype resulting from the merger can be seen in Figure 7.



Figure 7 - Prototype V2

3.3 Design workshop

Design workshops are a great way of including the stakeholders in creative activities focusing on understanding the user and establishing design implications. The participants are often designers and non-designers with specific roles and they are brought together collectively to review the concepts, express feedback and provide insights for the refinement and iteration of the design [9].

Such a workshop was held at Sintef's facilities at Valgrinda with the main purpose of evaluating the merged prototype and to plan the next one in closer detail. A more detailed summary of the workshop can be found in Appendix 7.1.

This part of the development is belonging to Phase 5 in the IPM model.

Participants

The following persons took part in the workshop:

- Margrethe Engan Gjære – Chief Executive Officer at Protex
- Lillian Erlien – Key Account Manager at Protex
- Maia-Leena Varjun – Project Manager at Protex (Estonia)
- Karin Ilves – Key Account Manager at Protex (Estonia)
- Tore Christian B. Storholmen – Researcher at Sintef
- Ole Petter Næsgaard – Researcher at Sintef
- Ingrid Lothe Ruø – Master Student at NTNU

Additional comments on the prototypes were given by:

- Silje Haslene – Physical Therapist at Trondheim Kommune
- Tor Hoel – Physical Therapist at Trondheim Kommune

3.3.1 The workshop agenda:

- Aim of the workshop and project status
- Presentation of MSc-project
- Feedback from the physical therapists on the old prototype
- Detailed presentation of the new prototype
- Workshop session with four topics
 - Fit/comfort (shape, sizing, wires etc...)
 - Material selection (materials, lining, foam, etc...)
 - Impact protection (material, grading, integration, shape, positioning, etc...)
 - Aesthetics (Appeal to the user group! Trim, colors, product identity, etc...)
- Summary and plan for the next prototype

3.3.2 Remarks from the physical therapists

The physical therapists provided valuable contributions concerning the physical aspects of the targeted user. One of the points they considered important was maintaining the comfort. For instance the belt should not push too much on the stomach as this would cause unnecessary pressure on the bladder; a common problem for the elderly. The therapists also spoke about their own experience with other hip protecting equipment. They explained that hip protectors are usually not given as recommendations to people in the target group because of the low practicality and poor usability of the products. One example was given on a fracturing accident happening when the person lost balance while trying to put on the actual hip protector.

A big issue with most hip protectors was that many elderly felt uncomfortable using such products because it was so unattractive to put onto the body. The therapists were positive to a new simple and functional product and hoped that it would be more attractive to use and that the users then would see the benefits of wearing a hip protector.

3.3.3 Workshop session

The session was conducted by dividing the participants into two diverse groups and placing them in different rooms where each group discussed the hip protector on isolated terms. The discussed topics were fit/comfort, materials, protection and aesthetics. Some of the methods used in the creative thinking were affinity diagramming, collage, drawings and other forms of creative expressions.

When the idea-generation was finished, all the participants reunited and presented the acquired information. The ideas were put up on the wall by using post-its, see Figure 8. This gave a nice overview of all the ideas and made it easier to narrow down to the best ones. After eliminating the ideas unsuitable for the target group, the new ideas were discussed regarding feasibility and integration for production.



Figure 8 - Post-it panels used in Workshop

3.3.4 Workshop review

The participants in the workshop had very different roles relative to the product. Due to this difference, it was possible to take advantage of the different points of view and thereby create a better and less narrow-minded solution. The results from the workshop are divided into six categories:

- Size and fitting: focusing on comfort of wearing the belt and the adjustments needed to make a product that fits most body types.
- Fabrics: including inner and outer lining, edge bands, buckles, Velcro, reflective features and similar.
- Pads: meaning the shape and properties of the pads. The choice of material is discussed in Chapter 4.
- Design: concerning details like colors and branding
- Accessories: discussing additional functions
- Expression and attitude: concerning the psychological interface

As a result from the workshop, a new version of the prototype was developed, Prototype V3. This was sent to prototype production in Estonia and two different versions came back in mid-April. The only difference between the two versions was that a pocket was included on the back area of one of them.

The finished Prototype resulting from the workshop can be seen in Figure 9. This is the prototype used during the encounters with users and also during the user trials.



Figure 9 - Prototype V3

3.4 Product detailing

The elements in this chapter are based on all the information gathered from the development up to and including the workshop session. The material is divided into the six categories determined in section 3.3.4. Additional elements have later been included to account for other external features of the belt.

3.4.1 Size and fitting

This category includes the positioning of the belt on the body and also the fastening and adjustments of the sizes.

To be able to approach as many users as possible, making several sizes were considered important. The size designation should be comprehensible for the buyer hence the commonly used sizes S, M, L and XL were decided upon. The different sizes should be based on the circumference of the body and any extension would happen in the frontal and back area.

The vertical height of the pad area was deemed just right at 15 cm by the physical therapists as this height would protect the hip sufficiently even with small displacements due to incorrect positioning by the user. While in use, the frontal area should not induce pressure on the bladder or on other sensitive regions. A wide frontal area could increase the comfort while sitting down, but a too wide frontal part would compromise on the user's freedom of movement. Conclusively, the belt should not be any higher than 15 cm in the padded region and the width of the frontal region should be between 5 and 8 cm.

As men and women are very different in terms of body shape, especially around the hip region, male- and female models were discussed. However, this would cause at least eight different hip protector patterns to be made (four sizes per model). A simpler and more convenient way of ensuring the fit would be using an elastic fabric and make a unisex model instead. The elastic hip protector would follow the contours of the body well, even though the users within the same size class would be individually different. Also, by making the curve of the upper edge of the pattern in a sharper radius, the back center would get closer to the lower back of the user and give the belt a better overall fit, see Figure 10.

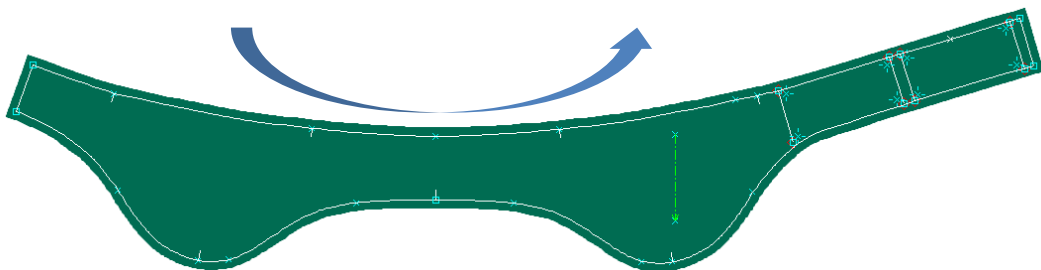


Figure 10 - Fabrication pattern for the outer fabric

Practicality

While trying on the belt during the workshop, it became clear that the belt should have a longer end opposite of the buckle to improve the maneuverability and control while fastening the belt. The Velcro area should allow for additional adjustments between the different sizes. A square patch of Velcro-hooks should be placed on the tip to be attached to a longer rectangular patch of Velcro-loops, as seen in Figure 11. Since the smaller hook-patch will be connected to the bigger loop area at all times, there is no risk in the hooks causing damage to nearby clothing or fabrics while in use. The belt should be easy to put on or take off in both upright and seated position. A typical situation of putting it on could be along with outdoor clothing or in combination with crampons.

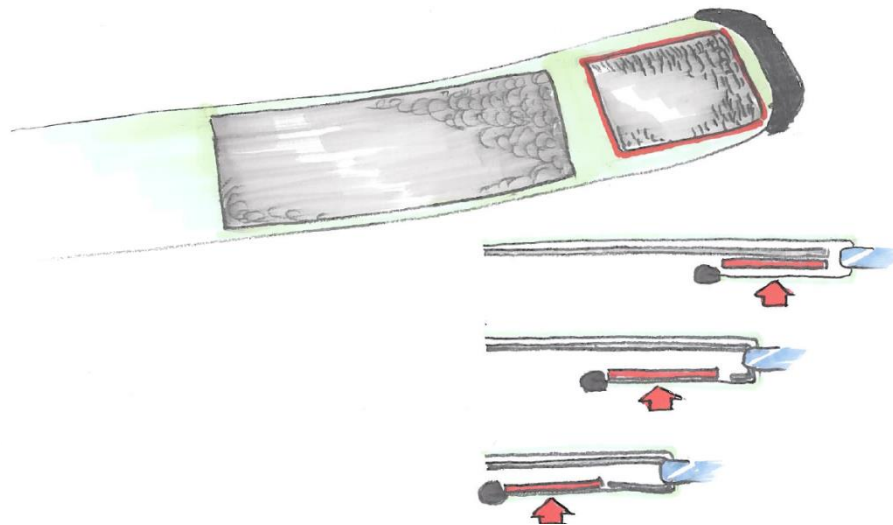


Figure 11 - Velcro with additional adjustment

The belt will be used in situations involving movement and it is therefore important that it rests in position during the activity. Elastic grippers of silicone are fitted on the inner lining all along the length of the belt. Putting such bands at the lower part of the padded regions has been discussed and should be accepted or rejected after feedback from user tests.

A vanity issue that should not be ignored is that some users might want to use the belt underneath the clothes. A thin belt with smooth edges and no outstanding parts would fit this need and it is important that this is taken into consideration. Since this is a belt and not a boxer-solution, compatibility with products used for incontinence is no problem.

- The symmetrical shape of the belt makes it possible to wear on reverse. This can be an alternative for health institution personnel taking care of patients with dementia as the patients would not be able to take off the belt as easily when unsupervised.

Positioning

The main purpose of the belt is protecting the hip in the area above the greater trochanter, implying that positioning of the belt is crucial. The greater trochanter (hereby denoted as GT) lies beneath the skin and is often difficult to feel through the natural soft tissue of the body. Other landmarks on the body can instead be used to find its position.

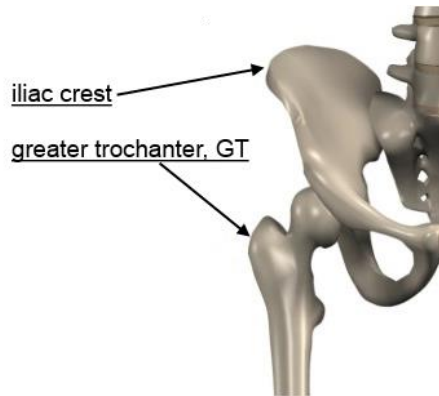


Figure 12 - Landmarks in the hip region

The iliac crest is easily located over the hip, see Figure 12. If the thumb is positioned at the highest part of the iliac crest and the fingers are stretched down vertically following the body, the GT will be located under or nearby the tip of the middle finger. This is shown in Figure 13 and Figure 14. Performing this positioning test while using the belt will enable the user to see if the pads are positioned correctly.



Figure 13 - Locating GT, ref: [F1]

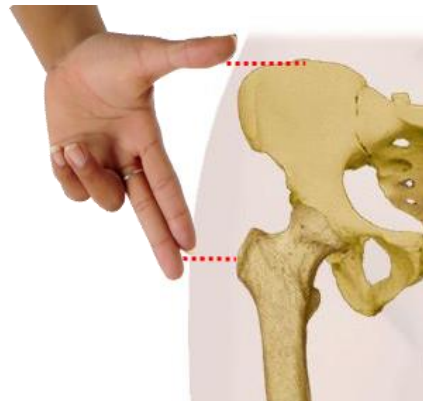


Figure 14 - Locating GT with landmarks

- An idea for intuitive positioning is creating a mark (logo, design element etc.) on the middle of the padded area on the belt. This mark would serve as a guide on the instructions for use – by putting the thumb on the top of the iliac crest, the tip of the middle finger should be on the mark.

3.4.2 Choice of materials

This product is intended for both outdoor and indoor use and with low to high levels of activity. The fabrics should withstand the elements including high and low temperatures and good and bad weather. All the elements included on the belt should be durable for several years. This also means that both the elastic grippers and the Velcro should not lose its functionality during this time.

The inner lining should be comfortable if placed directly onto the skin and it should also be able to transport moist that may be experienced during high levels of activity. The outer lining should be scratch resistant and easy to clean with a wet towel if dirty. A thicker material might be beneficial on the outside as this will help minimizing the appearance of the pads inside by reducing any sharp edges seen through the fabric.

Edge bands are multifunctional as they give a nice finish to the product and also help to pull the lower part of the padded areas towards the body. As the edges will be exposed to friction from clothing or other sports equipment while in use, the edge bands should also be durable in the sense that they will not get too much pilling.

On the market of elastic grippers there exist several alternatives. Two different types were tried out for Prototype V2 and V3. These were evaluated and the choice fell upon the band used in V3 (Figure 15) as this seemed to give the most slipping resistance.



Figure 15 - Elastic grippers in Prototype V3



Figure 16 - Elastic grippers with printed logo

- An idea for other types of elastic grippers is printed elastic gripper with logo for better brand recognition; see the example in Figure 16. The Protex logo could be integrated as a nice detail for the new hip protector.

The buckle should be in plastic to not cause irritation to the skin or make it too uncomfortable while seated. Using plastic instead of metal is also beneficial when it comes to cold weather as the metallic buckle might cause discomfort if it comes in contact with the skin on the stomach. The plastic buckle must also withstand cold weather meaning that it should not break at cold temperatures.

→ By having the buckle made of plastic there is no need for taking off the belt if going through the security gates at an airport.

A plastic or rubbery tip could be added to the end of the Velcro-end of the belt. This will make it easier to guide the tip through the buckle, but also to make it easier to grasp the end when opening the belt. Using the same material for the buckle and the hard tip will make a more fluent design impression. The reinforced tip was shown earlier in Figure 11.

Reflectors can be integrated on the belt, either as edge bands or as printed marks. These can be silvery in color and should be flowing into the design discretely while still functional. On Prototype V3 the reflector is printed on as the Protex logo, see Figure 17. This logo can potentially be used as a guide for correct positioning as mentioned in section 3.4.1.



Figure 17 - Reflective logo

3.4.3 Pads

The main purpose of this product being *increased compliance*, it is essential that the pads are as thin as possible (thickness and density are determined in section 4.6.2). Seeing the pads through the fabric is an undesirable feature as it risks the product looking more like an aid. The padded region will be slightly thicker than the unpadded region and grading of the pad's edges is therefore a possibility for minimizing the visibility of this thickness transition. As mentioned in section 3.4.2, a thicker outer fabric might solve this issue.

In a fall, the contact surface between the ground and the skin overlying the hip is estimated to be 110 cm^2 [10]. This equals a circle of a little less than 12 cm in diameter and indicates the minimum area of each pad. Using a pad height of 15 cm and a central pad width of 17 cm, the most critical area will at least have a tolerance of $\pm 6 \text{ cm}$ and thereby fulfilling with good margins the criterion given in the product demand specifications. The high tolerance allows for inaccurate positioning at the same time as the force can be spread out.

The padding should follow the contours of the hip region regardless of the person wearing it. A 3D-shape would adapt to the double curvature of the hip surface, but as people are very different in shape and size, one shape might not work for all persons. As the belt height over the padded region is only 15 cm, there is no need for special curving of the pads in the vertical direction. As the desired padded material is flexible foam, the vertical curving of the pads would automatically be guided by the belt itself and the positioning of it. To maintain the shock attenuating abilities of the padded material regardless of displacement, a continuous material is the most suitable solution.

Even though the foam is flexible in its original state, modifications can be made to enhance these qualities even further. Perforations and special cutting patterns as shown in Figure 18 and Figure 19 can make the pads more agile. The influence of perforations on the material's ability of attenuating shocks is discussed in section 4.6.1. The foam can be bought by the meter from the manufacturer either with or without perforated finish. Potential cutting of the shape and grading of the edges will be done in-house at the factory in Estonia.

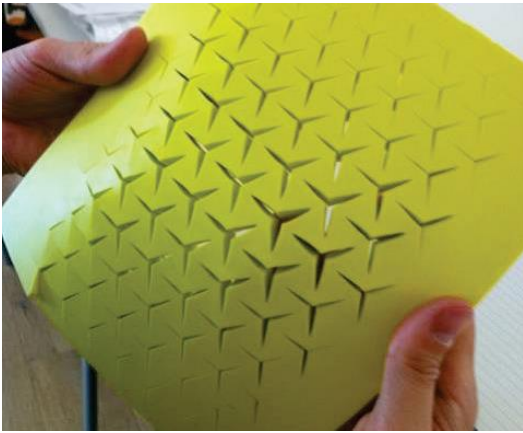


Figure 18 - Cuttin with NMC pattern

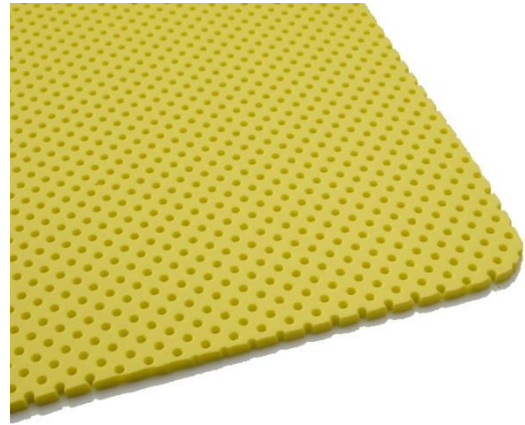


Figure 19 - Perforation by Poron

The pads can be fixed in position inside the belt in several ways. A pocket can be added around it and integrated in the seams on the edges of the belt, but this would add more fabric to the total thickness. It is also possible to glue the pad onto the fabric of the inner lining, an alternative that requires glue and may cause too much rigidity to the belt. Yet another possibility is shaping the pad after a certain geometry that does not allow for any movement between the inside and outside fabric as all degrees of freedom are fixed, see Figure 20. This solution will not increase the overall thickness of the belt.

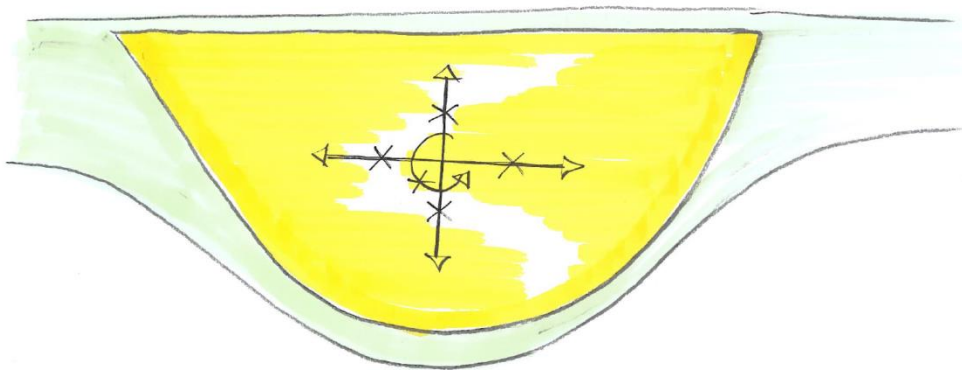


Figure 20 - Pad constricted by geometry

3.4.4 Design

A good impression of the product is crucial as this will greatly help to increase the compliance. It should not be conceived as an aid, but be a practical belt to use *just in case* an accident occurs. The look of the belt is important; it should be both attractive looking and discrete at the same time. Invisible seams can be incorporated on the upper edge of the belt creating a clean and even more discrete look. Such invisible seams may also contribute to less irritation to the skin. Invisible seams are only possible on one of the edges due to the geometry of the

belt. If this option is chosen, the upper edge of the belt will be the most suitable as this is easier to realize in the production.

A logo can be placed on the padded areas, in the back or in the front on the threading part of the belt. The logo could be printed or sewn on with bright colors or as a reflective label as already done in Prototype V3. A reflective logo would serve as a branding enhancement as well as a practical feature when using the product in dark conditions.

Bright colors (purple, turquoise, yellow etc...) can also be used on the inner lining of the belt. This would “freshen up” the belt at the same time as the outer appearance remains discrete. The colors can distinguish belts made for men and women if necessary. Having a male and female version could promote the sense of personality, but the optimal solution is a belt that can be worn by both male and female without any gender issues. This being said, women are in focus for this product development, and a black belt could be used by both men and female.

- If several versions will be made, one possibility is to make two belts; one intended to be used over the clothes and one for wearing underneath. The latter could be even more discrete, maybe beige in color, and without the need of a pocket or reflective bands. However, the beige color is very stigmatizing by signifying something you want to hide away. Other color combinations may therefore be desired at this point, see Table 3.



Table 3 - Potential color combinations

3.4.5 Accessories

As several of the interviewees mentioned the practicality of a pocket, this functional option was examined closer. The desired inventory volume of the pocket varied subjectively and ranged from “small enough for the car key” up to “large enough for the lunch pack and some water”. Some persons did not see the need of the pocket at all as they seemed keen on using the belt on the inside of their clothing. The pocket is therefore identified as an excitement factor and should be discrete enough to not be of any inconvenience when not in use. A pocket size of 9x6 cm² would be practical as it can contain keys and coins as well as a credit card or driver’s license if desired, see Figure 21. A small zipper can be used to close the pocket. However, it is necessary to pay attention to the reduced function of the fingers for the elderly.



Figure 21 - Pocket for keys, coins and cards

During the workshop it was decided to determine the positioning and to clarify the necessity of the pocket only after the feedback from the users had been received.

For institutional use it can be practical to include a nametag for distinguishing between several identical belts. This nametag should be placed on the inside of the belt on a discrete location. The location should not be subjected to friction that might deteriorate the identification.

3.4.6 Expression and attitude

It was desired that the product expressed a sporty attitude in the direction of a practical and convenient safety gear instead of being frowned upon as “an aid for old people”. Skin color is often used for products that people want to hide away. To be able to use the product on the outside of clothes it is necessary to avoid this color unless Protex AS is going for an additional version only intended for use underneath the garment.

While one problem is getting the user to wear the product at all, another problem is to make sure that the user continues to use it. Even though the product is attractive to wear, the user should definitely feel a sense of security while wearing it. This is the only way of getting the user to truly understand why he or she should be wearing the product in all situations involving the risk of falling onto the hip. The continued use is also dependent on practicality and usability of the product.

3.4.7 Additional elements

Folding for storage

By letting the area on the back between the pads be approximately the same length as the width of the pad area, it is possible to fold the belt in a convenient fashion, see Figure 22 for visualization.

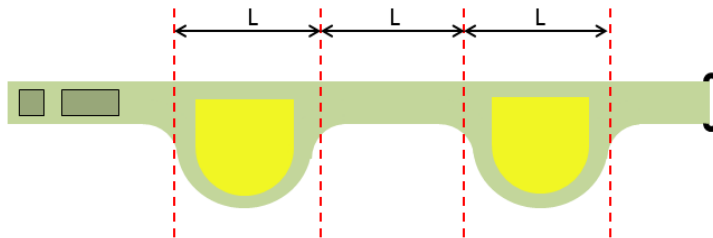


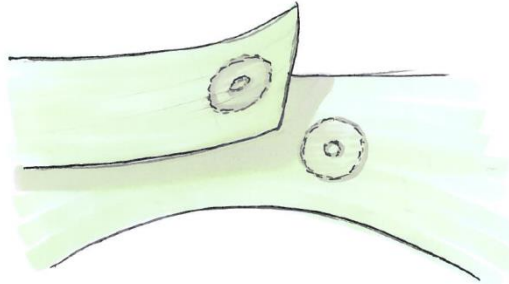
Figure 22 - Folding sections

The folding starts at the end with the buckle moving towards the inside of the belt. Folding four times will position the two pads on top of each other facing in the same direction. The end of the belt with Velcro on it will end up near the back of the belt, but remain loose, see Figure 23. Table 4 shows three potential ways of dealing with this loose end.

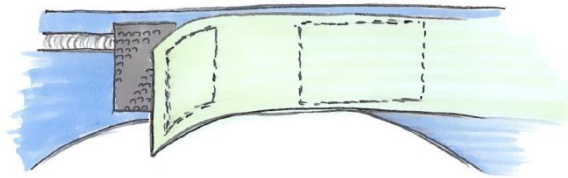


Figure 23 - Folding the hip protector

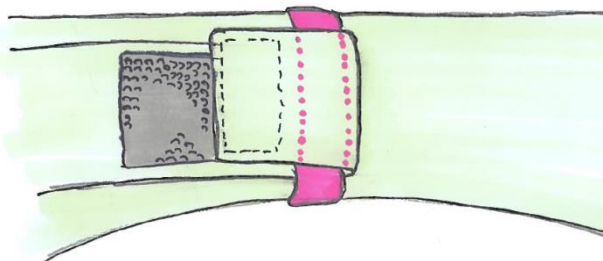
Table 4 - Three possible ways of attaching the loose end



Magnets would give the belt a clean look as they are implemented on the inside of the fabric and therefore invisible to the eye. However, this could make it less intuitive for the user as it will be difficult to know where the magnets should connect and maybe even to know that there are magnets there at all. A correct placement of the magnets might also be a burden for the factory workers because they cannot be sewn through.



An additional patch of Velcro (loops) have to be placed on the inner lining of the belt, over the silicon band, as this is the only way to secure the already existing Velcro hooks at the end. This means that the part of the belt facing outside towards the environment is the inner lining which might be more susceptible to scratches and dirt. It is possible that the most intuitive way of folding the belt is towards the inner lining and with this the additional Velcro would be wrongly situated.



Adding a vertical strap in the middle of the rear part of the belt allows the user to attach the loose end with Velcro around it and thereby securing the belt in its folded, compact condition which is convenient for storage. The vertical strap has a dual function as it can also be used as a loop for hanging the belt.

Packaging

Trying on the belt and adjusting it before buying is important in order to find a length that ensures correct positioning of the pads on the body. It should be possible to try on the belt without having to destroy the packaging.

One possibility is fastening a label to the belt in a pad-free region. The label could be made from cardboard or plastic and contain all necessary information including brand identification, size and barcode. A hook can be integrated in the paper label to permit hanging on store shelves like in Figure 24. Instructions can be printed on the back of the label or maybe in an integrated leaflet on the inside.

Another storage possibility is to sell the product in a customized bag (Figure 25). The bag can have a multifunctional purpose as packaging, washing bag and also being a bag for storing the belt during transport or at home. The same fabric used in ordinary washing bags can be used and label and instructions can be sewn onto it.

Color psychology (i.e. using colors to provoke certain feelings like happiness, positivity, energy etc.) can also be incorporated into the packaging. The color of the label can match the color of the belt or be made in a color that attracts certain buyers and enhances its positive impression.



Figure 24 - Cardboard packaging

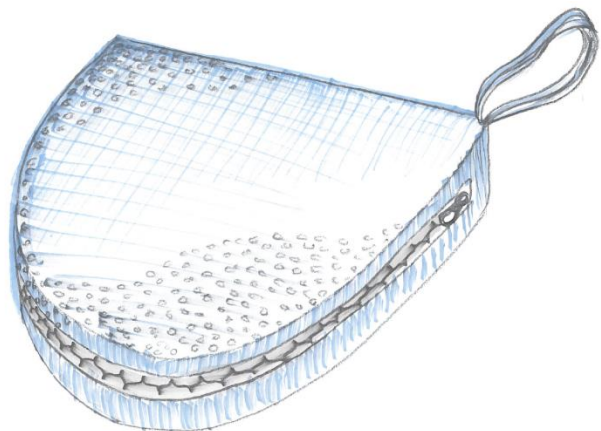


Figure 25 - Mesh fabric bag

Marketing

Marketing is an important aspect in selling the hip protector. A good marketing strategy can greatly help selling the product and increase the compliance.

One way of getting into the market can be by promoting the product as “especially practical during wintertime” since this is the time where many elderly are afraid of slipping and falling. This might increase the amount of activity during the winter and in general which in return will prevent muscle loss and thereby give other health benefits as well. It is possible to make two different products for the summer and winter season, but this might create unnecessary complications as there is a chance that people only buy one of the two types anyway.

There are many possible ways of selling the product, however there should be as few obstacles as possible related to the buying process for the user. Selling the belt on prescription from the doctor can introduce the product to many persons in the target group who not usually look for such products or don't think they are in need of one. However, this way of selling the product is cumbersome and pushes the product more in the direction of an obliged aid than equipment promoting activity.

Another approach is to sell the belt in a sporting goods store along with other equipment like crampons and walking sticks. In this way the younger elderly can get an impression that the belt is “commonly used” and that it is practical to combine with being active. They will also be in charge of their purchase which removes the aspect of using a product they “have to” use. In such a store the product will also be available for everyone else which means that family members can buy it as gift.

By presenting the benefits coming from the belt to the Norwegian home care services, they can possibly help distribute the information to their customer base and thereby increase the credibility of the belt.

In addition it is a possibility that the hip protector will appeal to extreme sports enthusiasts that may experience high impacts on the body during the activity. Potential interest in the product coming from this group may rub off on the elderly creating a greater demand than before. Commercials using famous athletes promoting the hip protector could be an interesting idea to guide the product towards a more sporty direction.

The cost of the product should not be too high as elderly can be cautious about spending money, especially those on minimum pension. By setting a price that many can afford, a greater user-share can be obtained.

Further plans regarding the promotion of the product and its economic strategy are left for the company to consider.

3.4.8 Product demand specifications

For the new generation of hip protectors some criteria have been identified based on the detailing of the product. These are shown in Table 5.

Table 5 - Product demand specifications

Description	Value
1. Functional requirements	
1.1. Protect the hip area	$A_{\min}/\text{pad} > 110 \text{ cm}^2$
1.2. Reduce impact forces	$F_{\text{peak,max}} = 2500 \text{ N}$
1.3. Encourage physical activity	Should
1.4. No interference with body movement	Shall
1.5. No interference with other body functions	Shall
1.6. Identifiable	Nametag
1.7. Lightweight	< 400 g
1.8. Stay in position	Anti-glide
1.9. Preserving body temperature	Shall
2. Appearance requirements	
1.10. Thickness	$T < 15 \text{ mm}$
1.11. Colours	Dark, black, seasonal
1.12. Design versions	≥ 1
1.13. Sizes	S, M, L, XL
3. Ambient requirements	
1.14. Usable in all temperatures	$-20 \text{ }^\circ\text{C} < T < 25 \text{ }^\circ\text{C}$
1.15. Compatible with other sports equipment	Should
1.16. Compatible with outer/inner clothing	Shall
1.17. Compatible with incontinence products	Shall
1.18. Corrosion proof	Shall
4. Operational requirements	
1.19. Easy to open/close	$F_{\text{fingers}} < 30 \text{ N}$
1.20. Intuitive placement	Shall
1.21. Alignment, positioning	Centre $\pm 5 \text{ cm}$, towards abdomen
5. Technical requirements	
1.22. Number of pads	2
1.23. Potential key pocket	Size: $5 \times 8 \text{ cm}^2$
1.24. Washing bag	Size: $25 \times 20 \times 5 \text{ cm}^3$
6. Material requirements	
1.25. Pads	Impact absorbing
1.26. Fabric	Heat transporting
7. Reliability requirements	
1.27. Durability pads	Given by manufacturer
1.28. Durability Velcro	> 2 years
1.29. Durability fabrics	> 2 years
8. Maintenance requirements	
1.30. Number of falls before replacement	> 100 Falls

1.31. Machine wash	T ≤ 60 °C, 50 washes
9. Safety requirements	
1.32. Protect against hip fracture	Shall
10. Production requirements	
1.33. Number of seams	< 20 seams
11. Environmental requirements	
1.34. Fabrics made in a sustainable way	Shall
1.35. Recyclable	> 70 %
12. Documentation	
1.36. Documentation of testing documents	Shall
1.37. Included instructions for use and positioning	Shall

3.5 Usability testing

An important phase in the user-centered design is to let the intended user test the product in a real-life setting. This will give direct input on how the product actually will be used and it may also reveal unforeseen problems.

This chapter presents the main points extracted from the user feedback. More detailed summaries for each meeting with the users can be found in Appendix 7.2 and 7.3.

3.5.1 Collaboration

To get in contact with potential users of the hip protector, one of the physical therapists attending the workshop was asked to help. She forwarded the request to the right people so they could help finding potential users who were willing and able to try on the hip protector prototypes and give feedback. Trondheim Kommune has played a very important role in finding these users.

3.5.2 Exercise group

A visit to *Selsbakk Menighetshus* was done in April with the intention of attending an exercise group for elderly, see Figure 26. The main goal was to get feedback on the current prototype; Prototype V2. Both the versions with and without zipper were brought to the session.



Figure 26 - Selsbakk Menighetshus

All participants, including two women wearing the belt, were observed during the exercise. It was paid special attention to body shape, level of activity and also how the belt maintained its position throughout the session. The participants were

interviewed as a group immediately after the exercise and the results from the visit is summarized in Appendix 7.2.

Feedback from the exercise group

The general feedback was positive and they applauded the discrete visual impression. It was slim and looked good, a positive surprise in contrast to the boxer shorts available today. Some wanted to wear it underneath the clothes.

There were big variations in body size and shape so the prototypes only fitted a few of the participants.

The belt did not change position during the activity which indicates sufficient use of elastic grippers. The material felt very nice to touch and the light weight was acknowledged. None of the women trying on the belt felt that it got uncomfortably warm during the exercise.

The pocket was deemed practical but should be placed in the front to be easier to reach. A pocket or bag would be very practical for storage. Folding into a compact package was also considered smart, but maybe unnecessary if you already had a bag for it.

Practical as insurance when alone and good to have within reach in backpack or purse when needed.

3.5.3 User trials

Prototype V2 was later delivered to a contact person in Trondheim Kommune and further distributed to elderly people for trying out. Three women used the belt on a daily basis during a period ranging from 1 to 3 weeks. They were not given any instructions on when, where or how to use it. This was done with the intention of not giving them any guidance in their way of thinking before trying on the product for the first time. This approach would potentially uncover hidden problems related to the ease of use.

Feedback from the user trials

Two of the ladies lived at home and were quite active on a daily basis. They tried the prototypes for a period of 1 week each. They were very happy with the fit and claimed that it held its position nicely. It was positive that it had such a sporty expression. More detailed feedback from these two users will be given from their physical therapist to Protex at a later point.

The third lady was a 89-years-old former athlete with a hip replacement dated from the 80's. She wore the hip protector for 3 weeks and wrote a very informative summary (Appendix 7.3) of her thoughts and ideas during the trial period. A picture of her is shown in Figure 27.



Figure 27 - Woman from the user trial holding Prototype V3

She described the belt as delicate and well-made. The choice of material was good and it could easily be folded together for transport. She described three scenarios where she experienced abnormal behavior of the belt:

- Sitting down: the belt creeps up, needs adjustment
- Sitting on the toilet: uncomfortably tight, but easy to take on/off
- Bending down: The belt does not cause discomfort during the movement, but a slightly bigger bend was necessary

She describes the belt as “a good companion”. She also explains that she felt safe when using it and that it gave her a more relaxed body and motivation to walk more correctly.

Some of her worries concerned forgetfulness; she found it sometimes difficult to remember to put on the belt in the morning or after going to the bathroom. Her recommendation about this was to leave the belt on a visible location when going to bed and then rely on a guilty conscience if you don't put on the belt in the morning. Another trick that worked for her was setting a timer that rang and reminded her to put it on.

Remarks were made on the lack of instructions as she did not know where to place the belt on the body. She also added that written instructions are harder to

understand the older you get. Longer pads were also requested to be sure about correct positioning.

The belt did not feel too warm in use, but it was not used as much on very warm days. The belt should not be too tight due to discomfort. Opening and closing the belt was easy even though she suffered from osteoarthritis [footnote] in the finger joints.

She was positive towards adding a pocket, but this should be discrete. If she would wear a jacket she would use the pockets in this one instead. The zipper of a potential pocket should not be too small as this would make it difficult to open with cold fingers.

Several comments were made on the motivation for using the product. Many people have already had a hip replacement and are afraid of falling again. Our test subject thought that this group of people might be more susceptible to buying such a product. The age is decisive as the mindset changes to a more careful and concerned fashion when you get older. She concluded with the advice that the motivation for using the belt is very important.

4 IMPACT PROTECTION

The material used for padding the hip is the protective element of the hip protector and therefore very important. The pads should meet the user demands in physical properties and at the same time give sufficient impact reduction in case of a fall. In order to see how efficient the impact reduction is, it is necessary to know how much the impact force has been reduced at the point of interest. After, this information will be compared to the capacity of the object needing protection. If the force from the impact is less than the capacity of the object, the object will be protected.

4.1 Background

The hip is very complex and its resistance to fracture depends on many elements including the bone structure, the soft tissue surrounding it, and the fall itself.

4.1.1 Bone specifics

All humans are different when it comes to exact measurements of the body. Elements such as bones, skin and even posture will change as you get older and there is also a substantial difference in this change for males and females, a difference very prominent when it comes to the strength of the hip.

Several studies have been made to determine the strength of the hip bone. Measurements have been performed *in vitro* by inducing pressure on the greater trochanter of cadaveric hip bones until fracture occurs somewhere on the proximal femur. For the proximal femur, the angle between the femoral neck and the shaft of the femur makes the neck weak and more prone to fracture. This is especially true if the bone is already weakened by osteoporosis [11].

Age-related bone loss and osteoporosis

As we get past 35 years of age, the bone mass in our bodies starts to decrease naturally – a change more prominent in women after menopause [6]. Osteoporosis is a condition where the bone mass and consequently the bone mineral density (BMD) are reduced more than usual. The reduced BMD leads to bigger pores within the bone and these are affecting the structural integrity of the bone, making it more susceptible to fractures. The lower the BMD, the higher the risk of fractures. The structural difference between healthy bone and osteoporosis can be seen in Figure 28 and Figure 29 respectively.

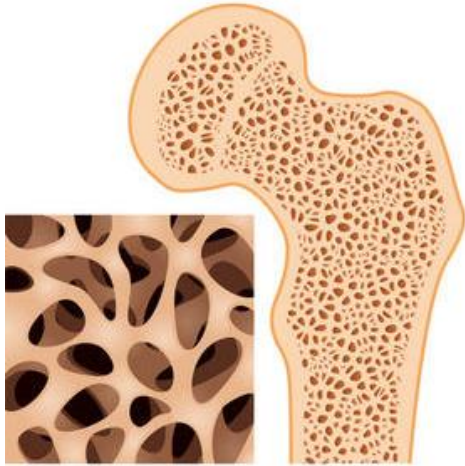


Figure 28 - Healthy bone structure [F2]



Figure 29 – Osteoporosis [F2]

The rate of losing bone mass is higher for women than for men. Women tend to live longer than men and they also fall more easily. This leads to women being up to three times more vulnerable to hip fractures than men. This is why as much as 8 out of 10 who experience a hip fracture are women [1].

Fracture threshold

When the load applied to a bone reaches a limit, the so called *fracture threshold*, the structural integrity will reach its capacity and collapse. This limit is determined to be the strength of the bone. The limit is influenced by age, gender, the rate and direction of the applied load, bone quality and the geometry of the bone.

Studies have found age-specific values showing that the strength of older specimens is around 50% less than for younger specimens. In addition, the femoral strength of a female specimen is approximately 30% lower than for a male specimen [12].

A fracture threshold of 2.5 kN seem to be commonly accepted in several articles on the mechanical testing of hip protectors [12, 13].

4.1.2 Falling dynamics

Around 90 % of hip fractures are due to falls, yet only a small percentage of these falls will actually result in a fracture. Factors that can promote falls are i.e. impaired strength, reduced vision and poor balance [14]

A hip fracture can be divided into several different fracture types depending on the location of the fracture on the hip joint. About 90 % of the fractures are of the two types *femoral neck fracture* and *intertrochanteric fracture* as shown in Figure 30.

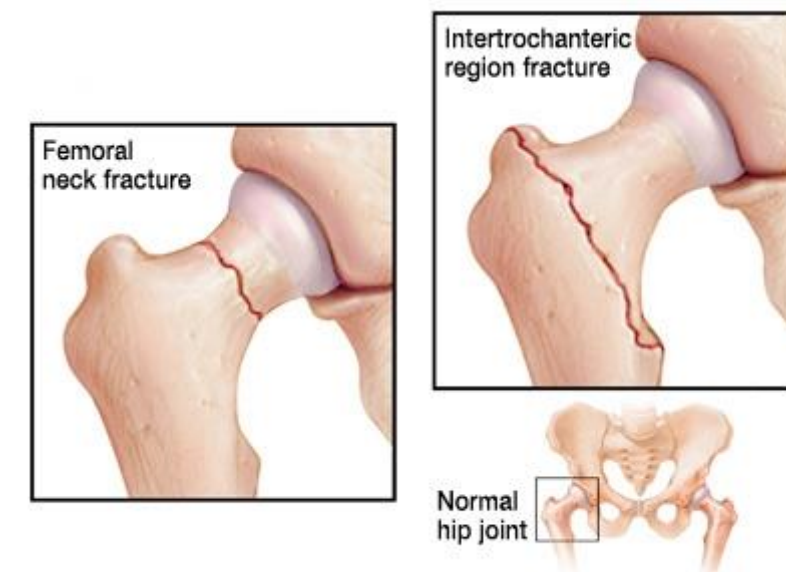


Figure 30 - Two common types of hip fracture [F3]

The type of hip fracture will strongly depend on the load applied to the hip during the impact. A correlation has been found between low impact load and femoral neck fractures, and this is again especially valid for women [11].

If a person falls onto the ground there are usually three main conditions that must be met in order for the person to fracture his or her hip:

1. The impact is near the hip region (*i.e. falling sideways*)
2. No active protective mechanisms (*i.e. stretching out an arm to soften the fall or hitting something on the way down to break the momentum*)
3. Insufficient passive energy absorption (*by local soft tissue or surface on the ground*)

If all these conditions apply, there is a chance that the force transmitted to the hip joint is sufficient to exceed the structural capacity of the proximal femur and thereby break the hip [15].

The role of natural shock absorption

When falling on the ground, the most exposed part of the hip is the GT as this bone is the most protruding in this region. The degree of natural impact absorption depends on the thickness of the soft tissue over the GT as well as the characteristics and the stiffness of the soft tissue. For a healthy, young person this area above the GT is covered with an adequate layer of fat and soft tissue which will absorb a great deal of the forces from the impact. As the person gets older, this tissue will become thinner, lose its flexibility and reduce its capability of absorbing the impact. The result is a bigger part of the impact energy passing through to the GT causing severe forces on the hip joint and possibly a fracture. Research has shown that women with hip fractures have a significantly decreased thickness of this soft tissue compared to healthy controls, regardless of BMI² [10].

The pelvis also plays a part in the impact absorption. The compressive stiffness of the pelvis will in a lateral impact cause a deflection in the pelvis bone that helps reduce a part of the peak force from the impact.

Because of the large differences between humans, the amount of shock absorption from natural components is very hard to determine and many discussions and disputes are available on the subject.

For this thesis it has been decided to disregard the natural shock absorption related to the hip region and instead focus on a worst-case scenario where all the forces from the impact are directed to the GT.

² BMI: Body Mass Index

4.2 Padding materials

The impact forces from a fall will result in high forces transmitted to the hip bone. In order to protect the proximal femur and prevent fracture, it is necessary to reduce the impact force by using a shock attenuating product. This product can be placed either on the person, in the surroundings or it can work in between these two, see Figure 31.

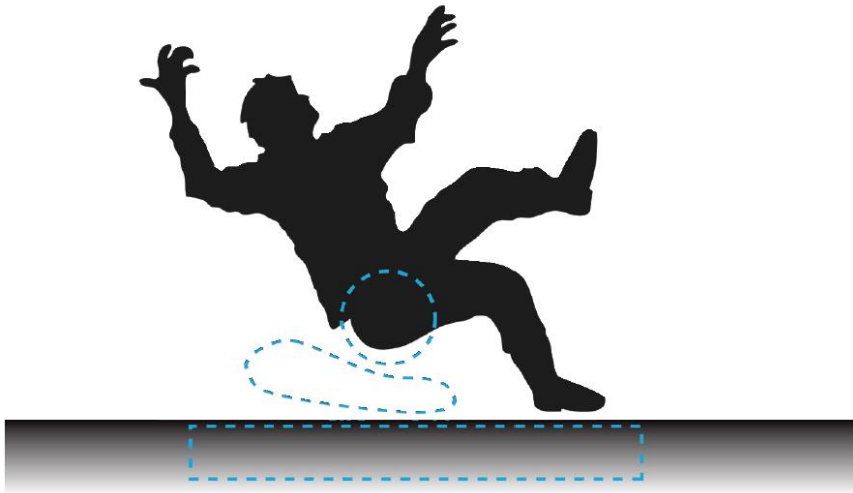


Figure 31 - Potential areas for impact protection

In the case of the new hip protector, the impact protection will be on the person and worn as a preventive equipment in case of an accidental fall.

Impact protective materials have three contributing factors:

- Force distribution
- Dissipation of energy
- Time delay in the force application

When the materials harden at the point of impact, the stiff zone will cause the force to spread out onto a larger impact surface and thereby lower the impact pressure. When the material stiffens, it also absorbs energy. Polyurethane foams have large hysteresis which is a measurement of the foam's ability to maintain original support after flexing [16]. This hysteretic effect will add a lag to the impulse, extending the time of impact and thereby lowering the peak force.

An ideal impact protective material will possess all of these three elements and reduce the impact force to a maximum.

4.2.1 Energy attenuating principle

The contact area between the skin and the impact surface (i.e. the ground) has been estimated to 110 cm². Inside this region, the critical area above the GT is approximately 2-6 cm², an estimation based on the study of hematomas in hip fracture patients [10]. Figure 32 shows the critical area (hereby noted as CA) and the surrounding tissue within the contact region.

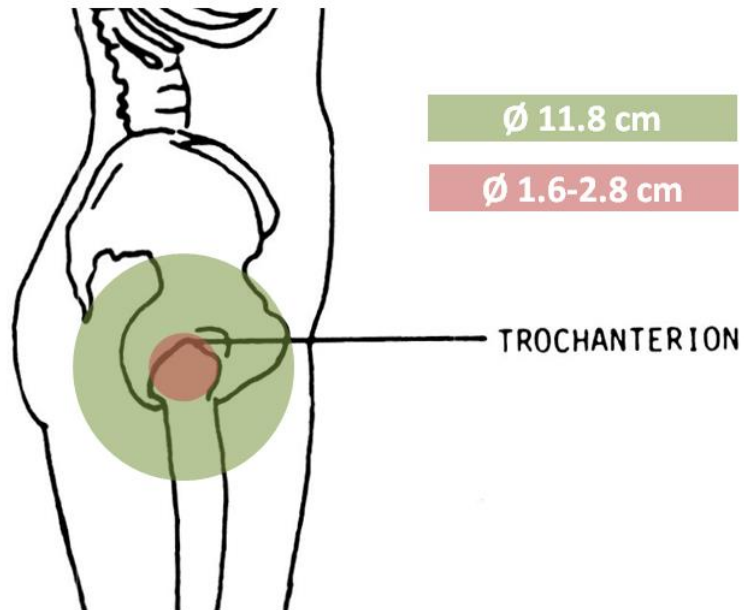


Figure 32 - Impact area and critical area over the GT

There are two principles of shock attenuation (see Figure 33):

- Energy absorbing:
The protective material covers the CA entirely and the energy is partly absorbed by the material itself
- Energy shunting:
The protective material forms a hard cover that works like a bridge over the CA. The energy is redirected to the surrounding soft tissue

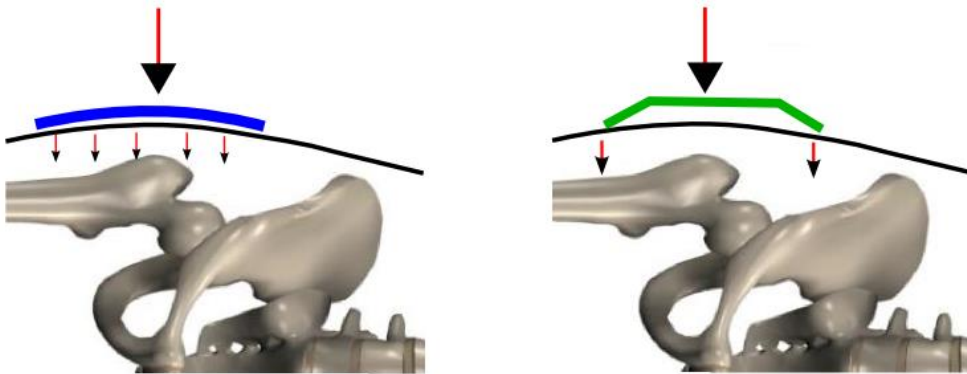


Figure 33 - Principle of energy absorption (left) and energy shunting (right)

Shunting away the impact energy by using a hard-shelled pad can be very efficient because the bridge will guide the forces to the surrounding tissues instead of directly to the area above the greater trochanter. A big disadvantage to this is if the pads are positioned incorrectly so that the energy is shunted towards the greater trochanter in which case they may cause more damage than they prevent. A pad made of hard fabric can also be less comfortable in use and it can cause more complexity to the pad production.

A soft pad will be more flexible and will follow the body movements to a greater extent. Crucial for this type of padding is that the soft pad will have to absorb the impact energy resulting from the fall and make sure the peak forces aren't high enough to cause a fracture.

In the development of this new product it will be used an impact material of the energy absorbing kind. This is chosen because of the higher degree of protection when it comes to potential displacements of the belt. A uniform, single component material is also practical production wise.

4.2.2 Choice of material type

Materials with shock absorbing properties have been explored in both the preliminary report and in the autumn project. After thorough evaluation and comparison between several brands, the choice fell upon the advanced polyurethane foam material PORON® XRD™ [17]. This is sold by the meter and has many standardized thicknesses and densities to choose between. The foam is distributed to Protex AS by AB H Brunner in Sweden.

The choice was made on the basis of their many good properties, like:

- Comfort
- Breathability
- Thin and lightweight
- Durability
- Ability to withstanding repeated shocks over time.

Even though all these properties are strived for, testing is necessary to be able to choose a specific thickness and density in between the many alternatives provided by the manufacturer. In addition, comparisons between other shock absorbing foams should be carried out to see if the product is truly better than its competitors.

4.2.3 Properties of polyurethane

Polyurethane is a thermoplastic material made by polyaddition of polyisocyanate and polyol [18]. The material contains alternating sequences of hard and soft segments and is therefore characterized as a semi-crystalline polymer.

The behavior of polyurethanes is temperature dependent. Below the material's characteristic glass transition temperature (T_g) the material is hard and brittle due to a high relaxation modulus, E_r . As the temperatures exceeds T_g , the E_r decreases and the material will assume a rubbery and viscoelastic behavior. With additional increase of temperature the material becomes increasingly viscous until reaching the melting temperature, T_m [19]. The temperature is thus to a large degree causing an alteration in the behavior of the material as shown in Figure 34.

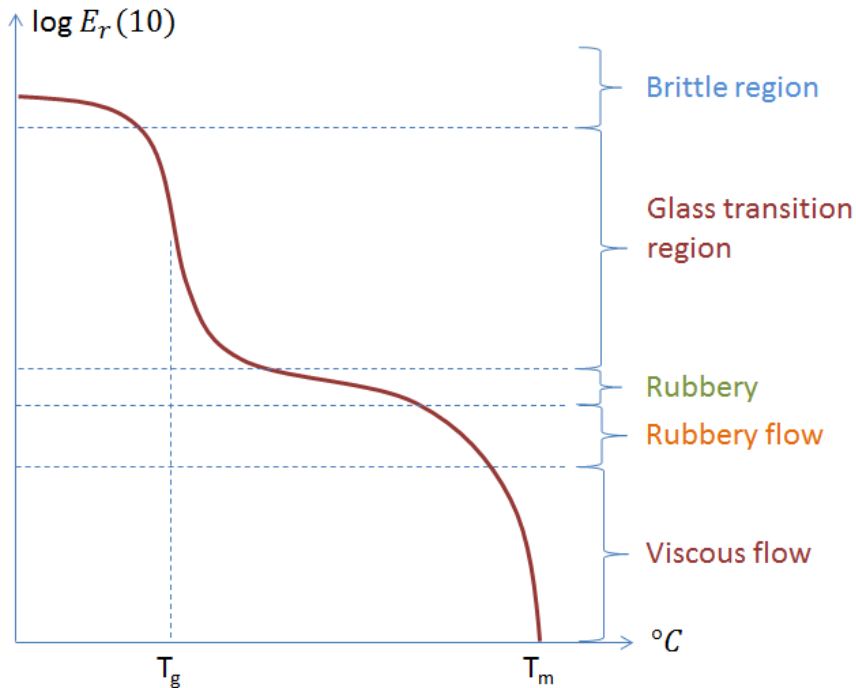


Figure 34 - Behavior of PUR³ due to change in temperature

Viscosity is a measurement of a material's resistance to deformation. The higher the viscosity, the more agile the material. The viscosity of non-Newtonian fluids depends on the shear rate in the material. A high shear rate lowers the viscosity and the material gets hard.

Like a non-Newtonian fluid, polyurethane foams also harden on impact. Shear forces are introduced by the impact and causes an alteration in the behavior *in the same manner as a lowered temperature*. This means that a powerful hit will result in a temporary stiffer material with inelastic properties that is much more capable of absorbing shocks.

On a molecular level this is explained by molecule chains that instantly freeze in their positions until the loading rate again subsides and the material returns to its original state [19]. This is visualized in Figure 35.

This is also the main principle of the shock attenuating PORON XRD foams. In an idle state the material will be soft and flexible. The impact from a fall will harden the material and create the effect of a protective shell. The shell is lowering the impact forces by spreading the load onto a bigger impact area and consequently reducing the peak force. Some of the forces are also absorbed in the material in the process of freezing the molecules. The molecules will only remain frozen as

³ PUR: Polyurethane

long as the load rate is extensive. Afterwards, the material will go back to its initial, soft state.

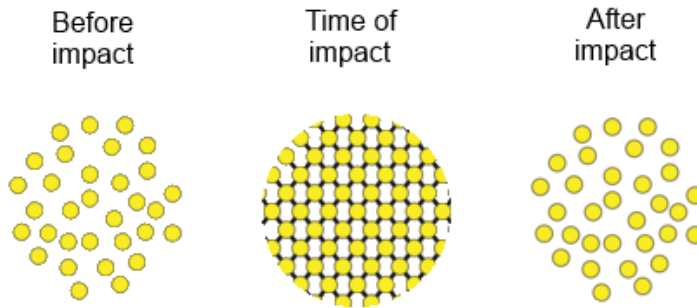


Figure 35 - Molecular behavior around time of impact

Materials for testing

The PORON XRD materials will be compared to other hip protectors and impact absorbing materials to see if it can perform sufficiently.

The hip protectors for comparison to XRD materials are:

- WonderHip (WH):
Boxer shorts (cotton, Lycra, PA) with removable pads from PUR-foam
- SafeHip Active (SH):
Soft belt (textile spacer fabric) with horseshoe-shaped integrated pads from PE-foam

The materials (all with non-Newtonian fluid properties) for comparison to XRD materials are:

- PORON Slow Rebound (SR):
Urethane foam, rebounds slowly to contour around the body, impact protection
- Dow Corning:
Polyester spacer fabric impregnated by silicone polymer
- D3O:
Urethane foam, hardens at impact

In addition, one of the XRD products will be tested with and without perforation to see if this causes variations in the shock attenuating abilities.

The materials to be tested are listed in Table 6 and shown in Figure 36.

Table 6 - List of materials for testing

Material type:	Designation	Thickness:	Density:
Poron XRD:	12625-04	16 mm	192 kg/m ³
	09500-35	12.7 mm	144 kg/m ³
	12500-35	12.7 mm	192 kg/m ³
	15500-35	12.7 mm	240 kg/m ³
	09374-35	9.5 mm	144 kg/m ³
	12374-35	9.5 mm	192 kg/m ³
	15374-35	9.5 mm	240 kg/m ³
	09236-35	6 mm	144 kg/m ³
	12236-35	6 mm	192 kg/m ³
	15236-35	6 mm	240 kg/m ³
	15236-35 - Perforated	6 mm	240 kg/m ³
	20235-35	6 mm	320 kg/m ³
	15197-35	5 mm	240 kg/m ³
	12158-35	4 mm	192 kg/m ³
	15118-35	3 mm	240 kg/m ³
15080-35	2 mm	192 kg/m ³	
Poron X-Pad	Hexagon pattern	6.7 mm	352.4 kg/m ³
Poron SlowRebound	Memory foam+textile	4 mm	144 kg/m ³
	Memory foam	3 mm	144 kg/m ³
Wonderhip	PUR foam	15 mm	Unknown
Safehip Active	PE foam	14 mm	Unknown
D3O	PUR foam	6 mm	Unknown
Dow Corning	Polyester with silicone	7.5 mm	Unknown



Figure 36 - Materials for testing

4.3 Experimental

“The biomechanical effectiveness of a hip protector is defined as the percentage decrease in an outcome of interest (e.g. peak force, stress, pressure applied to the proximal femur) it provides compared to an unpadded or unprotected condition” [10, p.14]

4.3.1 Research

There are many different hip protectors on the world market today and a lot of them claim to have approved their mechanical effectiveness through extensive testing. However, until recently there have been no general guidelines or standards on how to execute the testing of hip protectors. This has led to inconsistencies and confusion around the existing results. This is especially obvious when one type of hip protector has been tested for the same effectiveness in two different studies and the result came out to be very different.

CE-standard

Some hip protectors are CE-labeled, signifying an approval after the standard *EN 1621-1 Motorcyclists' protective clothing against mechanical impact* [20]. In this standard, an “impacter” is dropped down onto an “anvil” and the total force transmitted through the protector is measured by a high speed force transducer in line with its sensitive axis. Comments have been made on the validity of applying this standard (originally intended for motorcycle gear) onto hip protectors [5]. The arguments were as following:

- Does not take into account energy-shunting properties
The anvil has smaller radius and surface area than a human hip and will not capture the protective mechanisms from energy-shunters
- Soft tissues are not simulated
Soft tissues strongly influences the performance of hip protectors

The minimum performance level in the EN 1621-1 standard requires a transmitted force below 35 kN. This is around *ten times more* than the fracture threshold reported in other articles.

Recommendation for testing (2009)

In 2009 a recommendation for biomechanical testing of hip protector was published, summarizing the most important factors required to obtain valid results for testing the biomechanical efficiency [ref: recommendations for testing hip protectors]. This consensus concluded that “*the primary outcome of the testing should be the percentage reduction (compared with the unpadded condition) in peak value of the axial compressive force applied to the femoral neck during a*

simulated fall on the greater trochanter. (...) Given the current lack of clear evidence regarding the clinical efficacy of specific hip protectors, the primary value of biomechanical testing at present is to compare the protective value of different products, as opposed to rejecting or accepting specific devices for market use" [12]. Suggested design parameters according to the recommendation for measuring the force attenuation in the test systems are shown in Table 7.

Table 7 - Test parameters, recommendations for testing (2009) [12]

Parameter:	Recommended value or type:
Basic design	Impact pendulum or drop tower
Effective (drop) mass	22-33 kg
Effective pelvic stiffness	39-55 kN/m
Soft tissue covering	PE or PUR foam rubber
Minimal thickness of soft tissue covering GT	18 mm
Impact velocity	3.4 m/s
Peak compressive force in unpadded case	3.5-4.5 kN

Bfu test regulations

The Swiss council for accident prevention (bfu) has come up with test regulations R 0407 for the acquisition of a bfu safety symbol for hip protectors [21]. The test design is a bone structure of steel surrounded by silicone simulating the soft tissue. A force transducer is situated in the steel structure on the femoral neck. The anatomical hip model used in the testing is shown in Figure 37. For this test regulation it was suggested other test parameters than for the 2009-recommendations, see

Table 8.

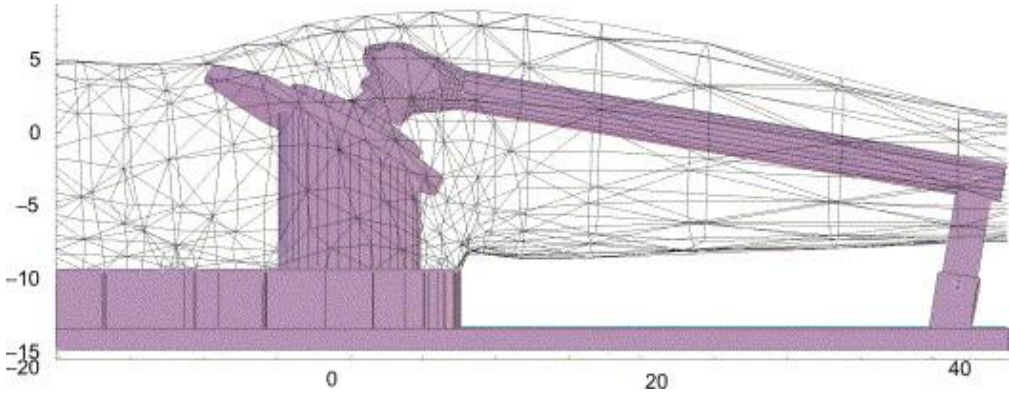


Figure 37 - Anatomical hip model for testing

Table 8 - Test parameters, bfu test regulations [21]

Parameter:	Value or type:
Basic design	Drop tower
Effective (drop) mass	9.9 ± 0.1 kg
Soft tissue covering	Silicone
Minimal thickness of soft tissue covering GT	20 mm
Displacement from central position	$5 \pm 0,5$ cm
Impact force (adjusted by fall height)	6.8 ± 0.2 kN (unpadded)

4.3.2 Testing parameters

The pass/fail criteria of the testing will be the fracture threshold of femoral strength. This was earlier found to be 2.5 kN.

Parameters for the test set-up in this report are established on the basis of the criteria found in the bfu regulations in the previous section [section 4.3.1]. The reason for this choice is the possibility of sending the new hip protector to bfu for approval and when finished. A drop tower will be used for the impact simulations.

An article concerning the mechanical testing of an anatomical hip protector [13] of the same type as the one in the bfu regulations uses an impact force of 7.1 kN. The same article also indicated a 20% reduction in peak force due to the damping effect of the soft tissue. A different test study [22] reported the soft tissue reduction varying from 13.6% to 15.2%.

Because of the many uncertainties related to the soft tissue and its influence on the applied impact force, it was decided to exclude this layer in the model and instead focus on a worst-case scenario where the soft tissue is merely non-existing.

The impact force used in the testing is determined to be 6.8 ± 0.2 kN (obtained by varying the drop height) consistent with the bfu regulations. The desired peak force value can be achieved by combining different values of drop height, effective mass and surface properties between the weight and the anvil. The mass weight is determined to be 10 kg and the height will be adjusted to reach the correct peak force.

A summary of all the extracted parameters for the use of this testing is found in Table 9.

Table 9 - Test parameters for this thesis

Parameter:	Value or type:
Basic design	Drop tower
Effective (drop) mass	10 kg
Soft tissue covering	None
Displacement from central position	$5 \pm 0,5$ cm
Impact force (adjusted by fall height)	6.8 ± 0.2 kN (unpadded)

4.3.3 Design of the test rig

The total design of the testing set-up includes the drop tower, the measuring equipment and other potential elements to integrate these two parts.

Drop tower

Available at the IPM lab was a drop tower from past projects. This consisted of a vertical steel tube with inner diameter of 102 mm supported by a steel frame at the bottom, see Figure 38. A weight could be dropped down through the tube and onto the ground. The weight would be attached to a string going up and through a crane hook used as a pulley, see Figure 39.



Figure 38 - Drop tower



Figure 39 - Crane

The weight was designed on the basis of a tube with outer diameter of 100 mm. The clearance between the outer diameter of the weight and the inner diameter of the tube in the drop tower was set very low to prevent the weight from tilting and getting stuck inside the tube which could give unnecessary obstruction in the advancement.

In the bfu test regulation, the weight to be dropped down is flat while the force transducer is placed inside a curved, hip-shaped surface. Due to the exclusion of the soft tissue layer in our model, it was decided to have a flat impact surface. To take into account some geometrical effects it was decided to make the weight curved instead. The surface of the weight hitting the ground was made to follow the geometry found in reference [23], see Figure 40. The mechanical drawing of the surface is found in Appendix 7.4.

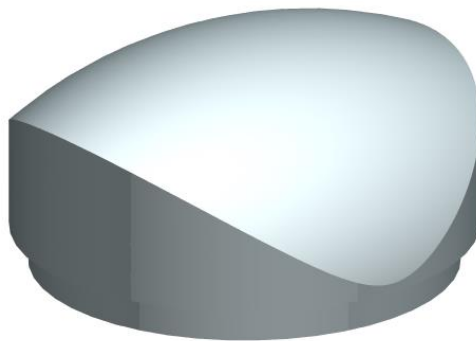


Figure 40 - Weight surface

The steel surface component weighed 3517 g. The steel tube used for the weight had an inner diameter of 68.2 mm. Along with an outer diameter of 100 mm the pipe had a cross section of 42.01 cm^2 . Exclusion of the weight from the surface component from the total weight of 10 kg left a maximum pipe weight of 6483 g, rounded down to 6,3 kg. A steel density of 7.85 g/cm^3 meant a required volume of 802.55 cm^3 for the pipe. Dividing this on the cross section area gave a pipe length of 19.1 cm. A steel arc was welded to the top of the weight as an attachment point to the string. The total weight was measured to 9.94 kg. A model and a picture of the finished weight can be seen in Figure 41 and Figure 42 respectively.



Figure 41 - 3D model of weight



Figure 42 - Weight

A releasing mechanism was designed to ensure a consistent drop the weight from a specified height. The design of this is seen in Figure 43.



Figure 43 - Release mechanism

Data acquisition

In order to compare the materials, it was necessary to obtain data concerning the shock attenuating abilities of all the test samples. The data had to be clear enough to allow for distinction between the various thicknesses and densities.

When designing the equipment for measuring, the first issue was to find what kind of data that would help distinguishing between the different protective materials. The fundamental idea behind the hip protector is to reduce the impact force transmitted onto the GT. It is therefore interesting to see how much lower the peak force from the impact will be in the CA (see Figure 32) when adding impact protection. Another interesting point is to see if the total force onto the hip is lowered with the protection meaning that the impact protection is absorbing a part of the energy. A third point of interest is to see how efficient the protective material is, that is to say how well the cushioning effect works.

In total this means that we have three points of interest:

1. Force distribution:

The best way to measure the force distribution would be to use a pressure sensor that measures peak pressure and contact area and gives a color map of the total pressure distribution during impact. This kind of equipment is very expensive and since there was no such pressure sensor available for borrowing, this option was excluded.

A more simple and feasible option is to measure the CA with a force transducer. The force transducer would measure the impact energy transmitted to the 2-6 cm² area before and after padding. The reduction in peak force would indicate a successful pressure distribution to the areas surrounding the CA. A load cell of the type HBM U2A 10kN was used for the purpose. A round sheet of steel was fixated to a 12M nut to create the critical surface with an area of 4.15 cm² (Ø 23 mm). The shape of the load cell was milled out of a wooden plate with dimensions 235 mm x 120 mm x 40 mm. Seen from above only the CA is visible with its height flush with the surface of the wooden plate.

Another wooden plate was attached underneath to complete the construction and provide a site for attachment to the ground. The components for measuring the force distribution are shown in Figure 44 and Figure 45.



Figure 44 - Central load cell



Figure 45 - Assembled central load cell

2. Total peak force reduction:

To see how the total impact force is absorbed by the protective material, a force plate was constructed. This was made by adding four threaded holes in each corner of a steel beam with a surface area of 23 cm x 16 cm. The beam was heavy enough to maintain its position even at large impacts. The beam rested onto four load cells of the type HBM U2A 5kN.

All four load cells are added together to see the total force working on the plate. The percentage force reduction compared to the unpadded case was used to identify the force distribution.

The force plate with four load cells and the load cell embedded in wood are hereby together denoted as “the force plate” and can be seen in Figure 46.



Figure 46 - The force plate

3. Deceleration of the impact absorbing material

To see the deceleration when the weight impacts the material, an accelerometer of the type KELAG KAS903 was fitted inside the weight. A small plate was welded vertically onto the back of the impact surface and this plate served as a support for the accelerometer. The cable was positioned in a spiral around the string to allow for raising and releasing the weight onto the force plate.

All the sensors were connected to the data acquisition system *Spider8* from HBM, see Figure 47. From here the signals were sent into the data acquisition software *CatmanEasy/AP* and extracted as data in ASCII format.

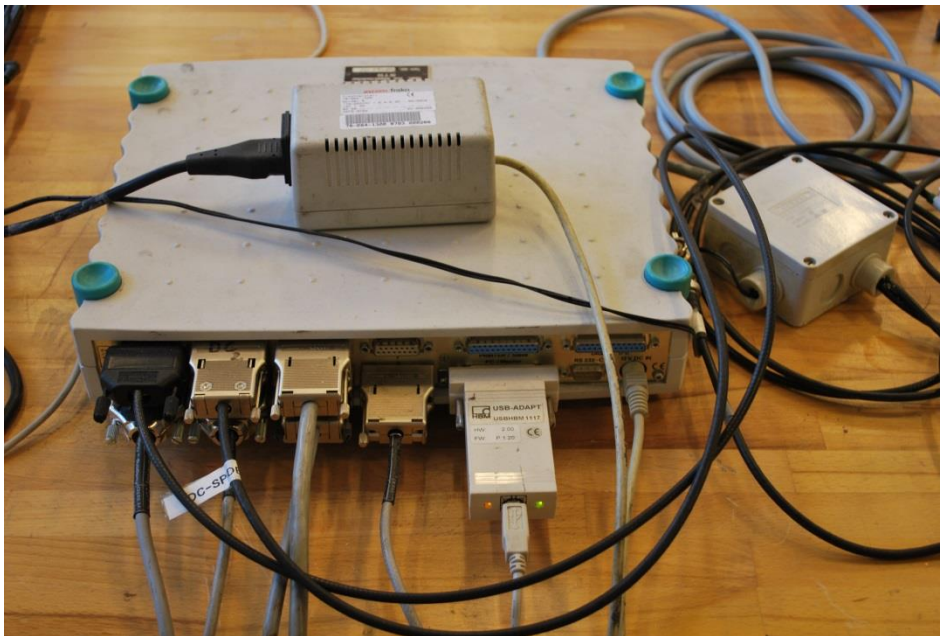


Figure 47 - Spider8 with all sensors attached

4.4 Testing

4.4.1 Testing procedures

The force plate was placed on top of a solid concrete floor and the four load cells were attached to the ground with industrial double-sided adhesive tape for better fixation. The drop tower was centralized over the force plate. To facilitate the replacement of material samples, the drop tower was placed onto a pallet to increase the clearance between the force plate and the lowest pipe end of the drop tower. The drop tower was secured to the pallet using clamps to avoid it from slipping down.

4.4.2 Calibration

The load cell in the center was calibrated by reading the signal before and after the placing a weight of 10 kg onto the CA surface. The load cells in the force plate had to be mounted on the plate before calibration. The 10 kg weight was placed on one side of the beam and the force was divided by 2 before included in the calibration of the loaded cells. Measurements were taken before and after putting on the weight. The same calibration procedure was repeated for the other side of the beam. The accelerometer was calibrating by zeroing out the electric potential. Before the calibration this value was 2.5 V due to the natural voltage of the power grid in the building.

All sensors were automatically reset in the data acquisition software before each test round.

4.4.3 Method

The unpadding case and every test sample were tested 10 times each. A time span of at least 120 seconds was allowed between each test to allow for structural recovery of the compressed foam. The test was conducted by placing a test sample onto the wooden plate and releasing the suspended weight by using the release mechanism.

Two testing points were used for the non-uniform X-Pad and the tests were denoted Xpad1 and Xpad2, see Figure 48. The red SlowRebound material (SR) laminated with black textile was tested from both sides to see if the pressure distribution changed noticeably. The SR tests were denoted SR-RoverB and SR-BoverR to imply which side of the laminate

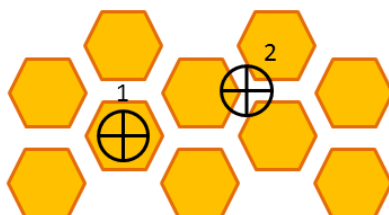


Figure 48 - Location for testing Xpad1 and Xpad2

The hip protectors were tested with and without displacements towards the abdominal side in accordance with the bfu test regulations. These displacements were 0, 15, 30 and 50 mm from the center of the hip protector WonderHip. For Safehip, the test position was in the center of the protector as well as directly on the PE⁴ foam, corresponding to a 50 mm displacement.

A check was performed after testing each type of material by releasing the weight onto the unpadded force plate. This was done to see if the testing produced consistent results and to double-check that the set-up had not changed in position during the last test series.

4.4.4 Data processing

Relevant data was extracted from each ASCII file by filtering for values over 0.3 kN. Only the first peak force was included as the later ones would be of lower values and thus of no importance for the comparison of the material samples. An example on how the filtered data would look like is shown in Figure 49.

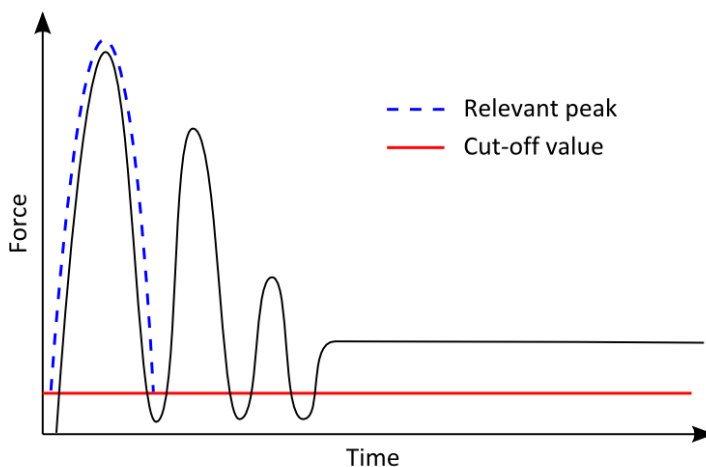


Figure 49 - Relevant peak force

The maximum peak forces from the load cells were noted for each test and transferred to a table showing all the maximum peak forces for each material type. The average of each material type was calculated and used as the basis for later comparisons.

Standard deviations describing how large percentage of the people that will be protected are not included in the calculations. This is because the determination of fracture threshold already takes this into consideration, see reference [12].

The main part of the test results are enclosed in Appendix 7.5..

⁴ PE: polyethylene

4.5 Test results

Each test is denoted by its designation from Table 6. Wonderhip and Safehip are abbreviated to WH and SH respectively. Both WH and SH are followed by a number which signifies the displacement in millimeters from the pad center.

Table 10 - Sample results arranged by maximum peak force

Type	Max force [kN]	Thickness [mm]	Density [kg/m ³]
09500-35	0,1304	12,70	144
12625-04	0,1500	16,00	192
WH-0	0,1583	15,00	-
12500-35	0,1595	12,70	192
WH-15	0,2280	15,00	-
12374-35	0,2411	9,50	192
15500-35	0,2494	12,70	240
WH-30	0,2619	15,00	-
15374-35	0,3506	9,50	240
WH-50	0,3720	15,00	-
09374-35	0,4518	9,50	144
12236-35	0,4696	6,00	192
15236-35	0,4911	6,00	240
Perforated	0,4994	6,00	240
SH-50	0,5458	14,00	-
Xpad2	0,5750	6,65	352
Xpad1	0,6000	6,65	352
15197-35	0,6768	5,00	240
20235-35	0,7804	6,00	320
09236-35	1,2300	6,00	144
12158-35	1,3870	4,00	192
D30	1,5450	6,00	-
15118-35	1,7960	3,00	240
SR-RoverB	2,0790	4,00	144
SR-BoverR	2,2800	4,00	144
DowCorning	2,7790	7,50	-
15080-35	3,1460	2,00	192
SR-Red	3,1980	3,00	144
SH-0	3,3300	14,00	-
Without	6,7330	0,00	-

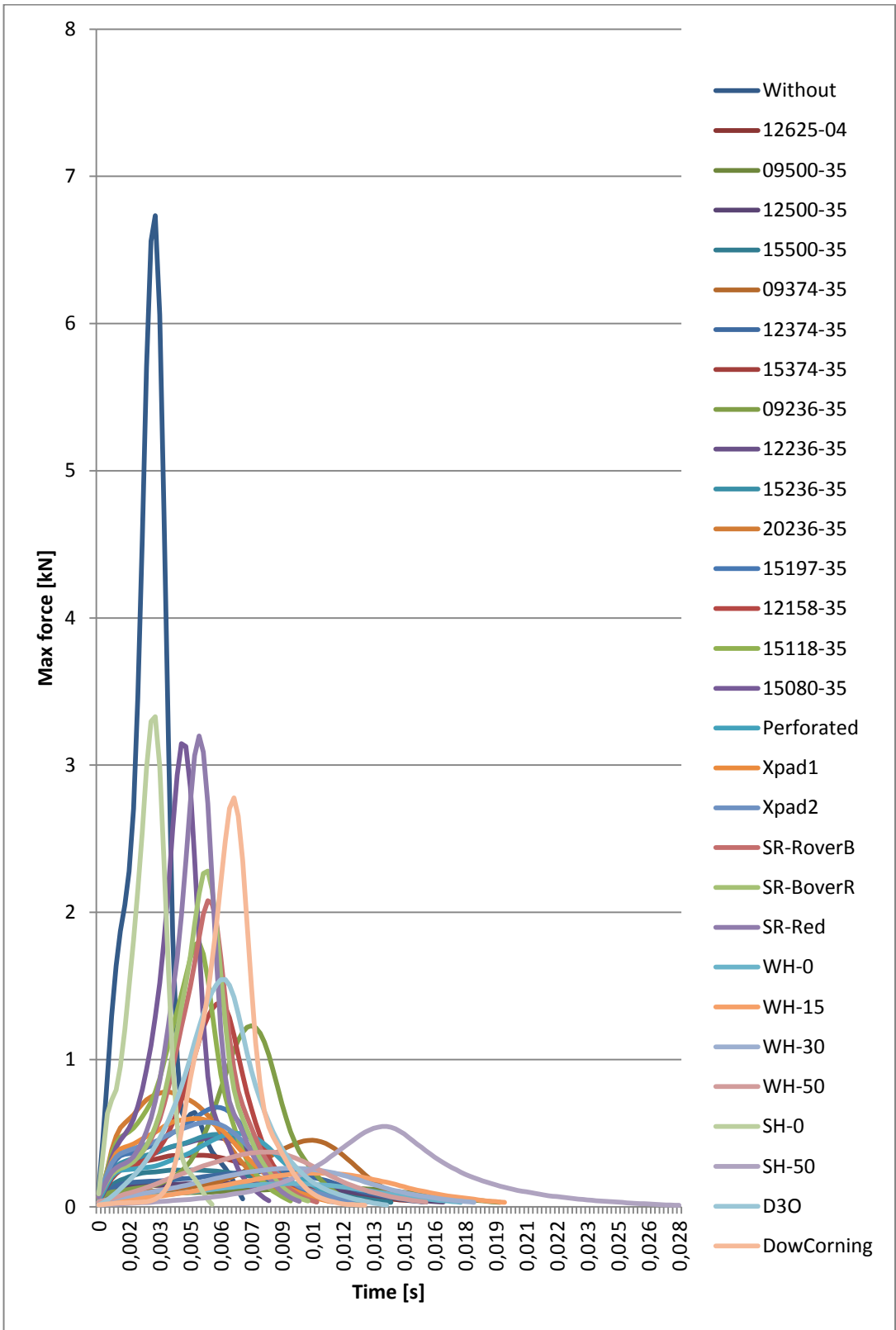


Figure 50 - Relevant peak of all samples

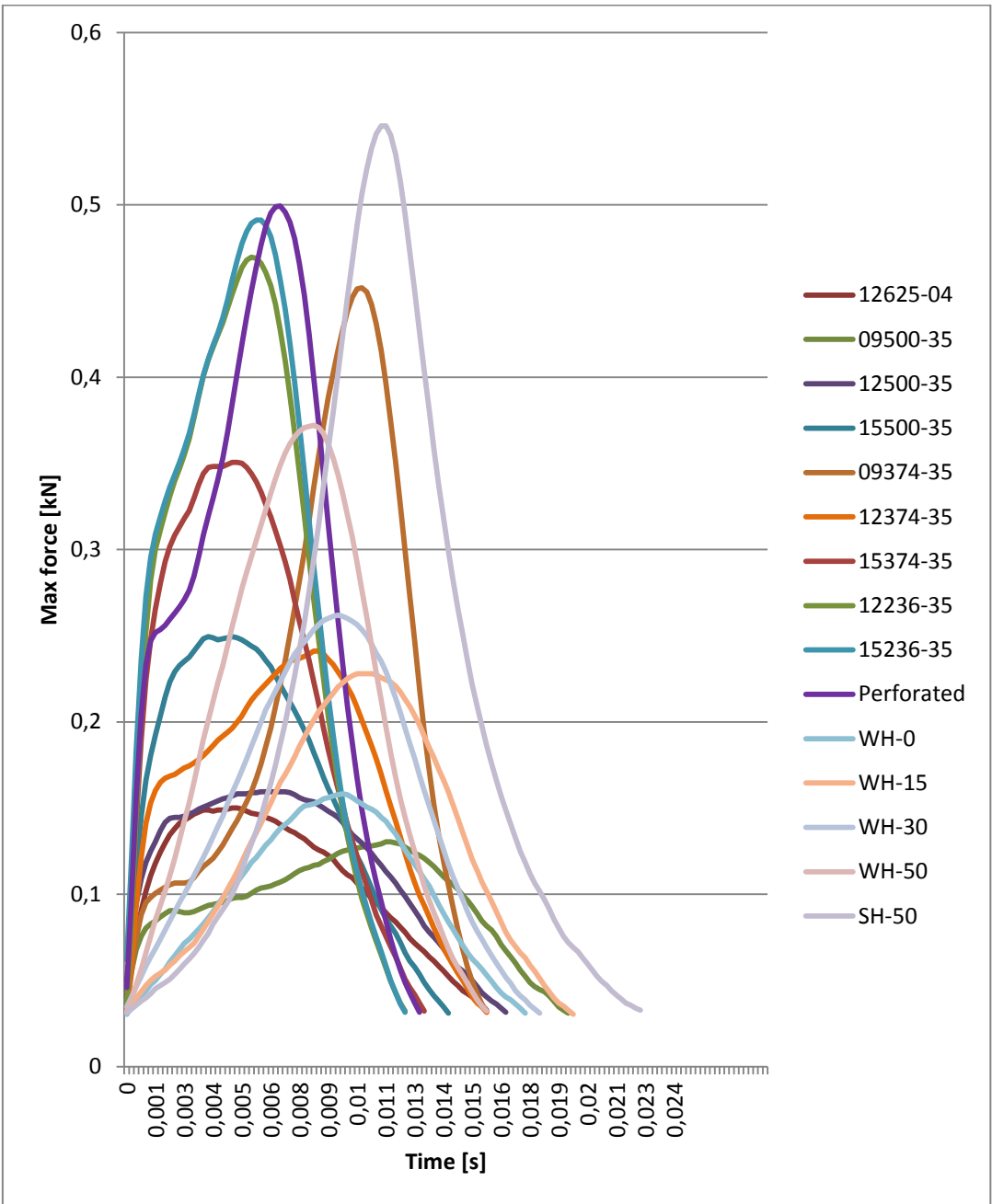


Figure 51 - Relevant materials with maximum peak forces below 0.55 kN

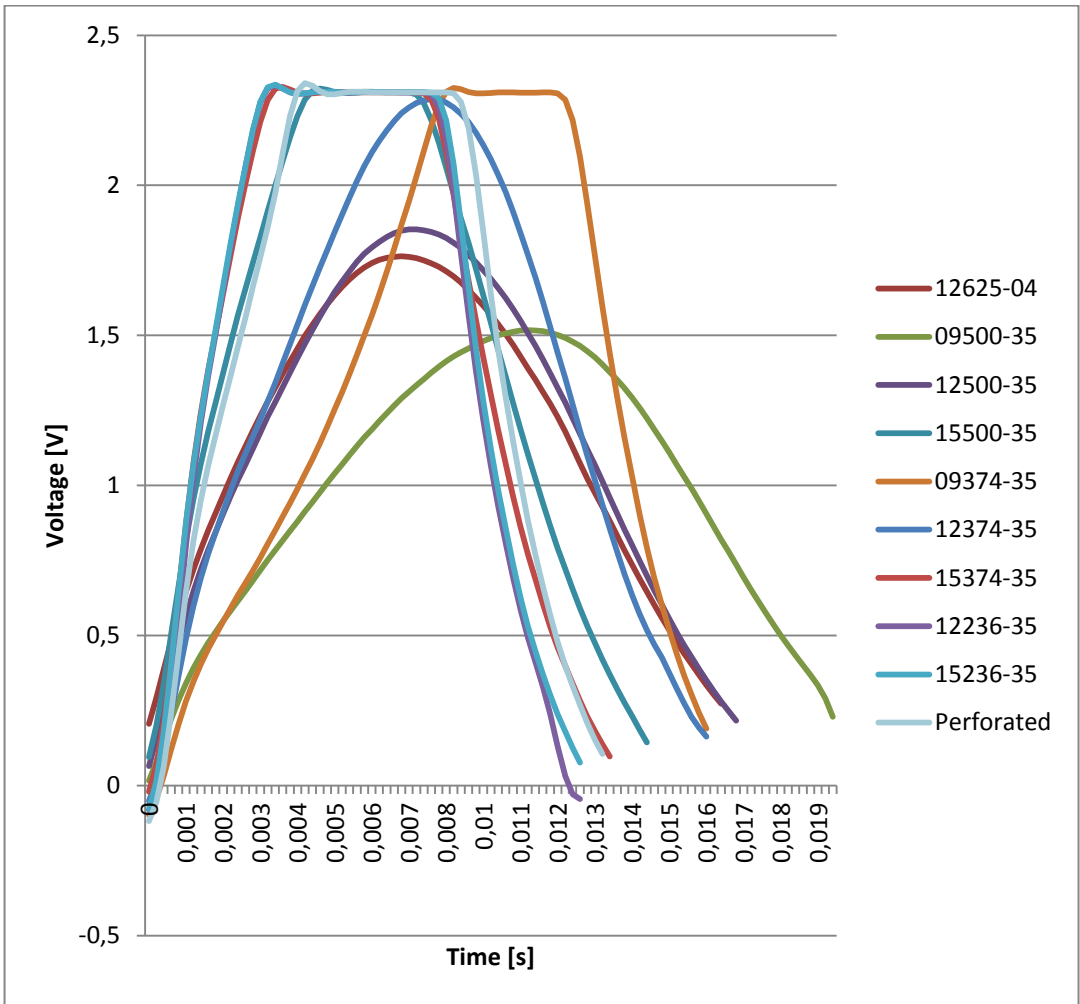


Figure 52 - Results from accelerometer

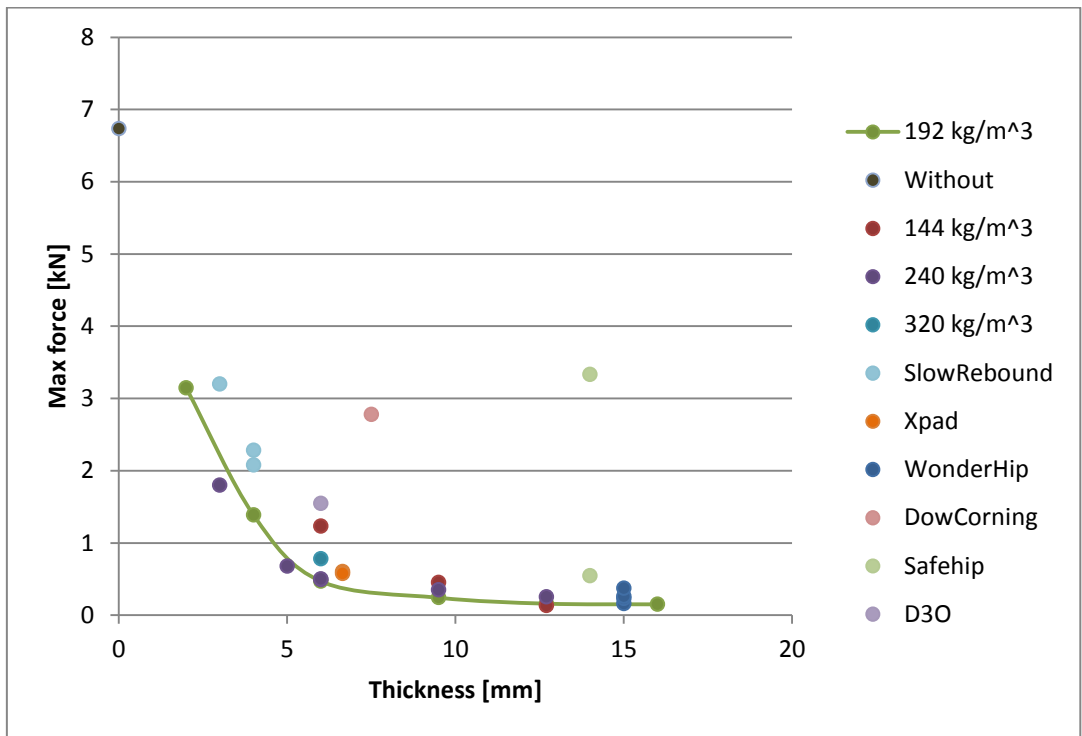


Figure 53 - Force versus thickness

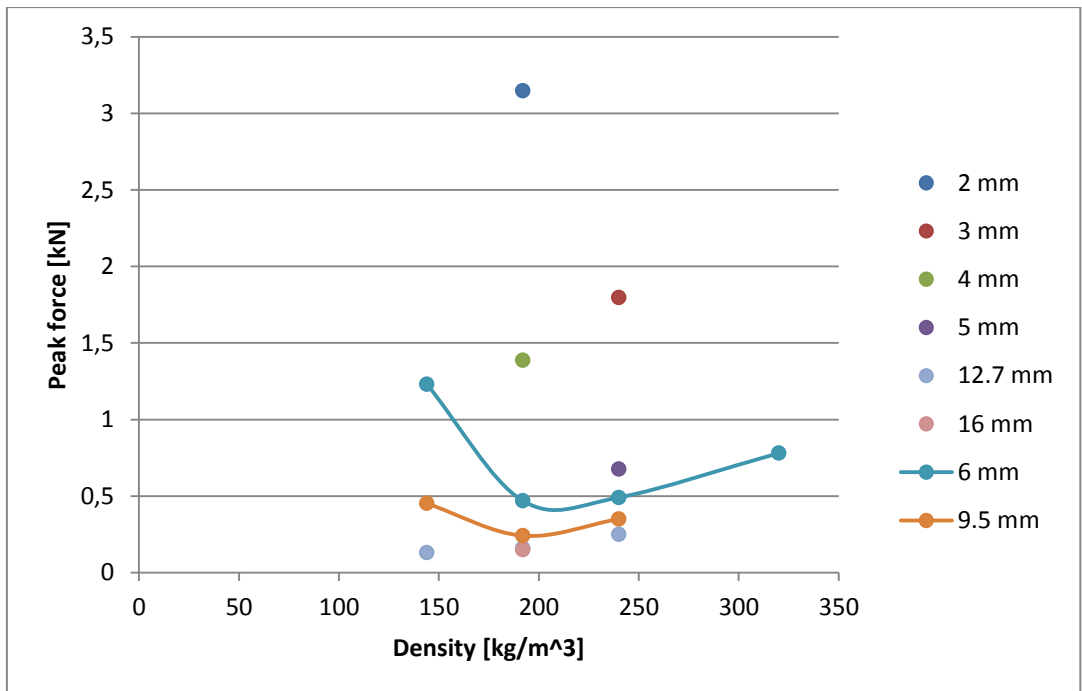


Figure 54 - Force versus density

Table 11 - 6 mm samples, peak force at H0, H1 and H2

Density	H0	H1	H2
(Without)	6,733 kN	7,971 kN	12,37 kN
144 kg/m³	1,23 kN	2,277 kN	5,096 kN
192 kg/m³	0,4696 kN	0,7107 kN	1,627 kN
244 kg/m³	0,4911 kN	0,7089 kN	1,696 kN
244-P kg/m³	0,4994 kN	0,8018 kN	1,91 kN
320 kg/m³	0,7804 kN	0,6988 kN	1 kN

Table 12 - Force distribution

Test sample:	Force plate:	Central load cell:	Percentage difference:	Sample arr. after %-diff.
Without				20236-35
12625-04	88,4	97,8	9,3	Xpad1
09500-35	90,4	98,1	7,7	15374-35
12500-35	88,0	97,6	9,6	Xpad2
15500-35	81,7	96,3	14,6	12236-35
09374-35	82,5	93,3	10,7	15197-35
12374-35	86,5	96,4	9,9	15236-35
15374-35	77,0	94,8	17,8	09236-35
09236-35	66,2	81,7	15,5	15118-35
12236-35	76,4	93,0	16,7	15080-35
15236-35	76,7	92,7	16,1	15500-35
20236-35	62,8	88,4	25,6	12158-35
15197-35	73,5	89,9	16,4	SR-BoverR
12158-35	66,4	79,4	13,0	SR-RoverB
15118-35	57,8	73,3	15,5	Perforated
15080-35	38,3	53,3	15,0	09374-35
Perforated	81,4	92,6	11,2	WH-50
Xpad1	69,4	91,1	21,7	12374-35
Xpad2	74,6	91,5	16,9	12500-35
SR-RoverB	57,1	69,1	12,0	12625-04
SR-BoverR	53,6	66,1	12,5	WH-0
SR-Red	44,3	52,5	8,2	WH-30
WH-0	88,5	97,6	9,2	WH-15
WH-15	87,9	96,6	8,7	SR-Red
WH-30	86,9	96,1	9,2	09500-35
WH-50	84,0	94,5	10,5	

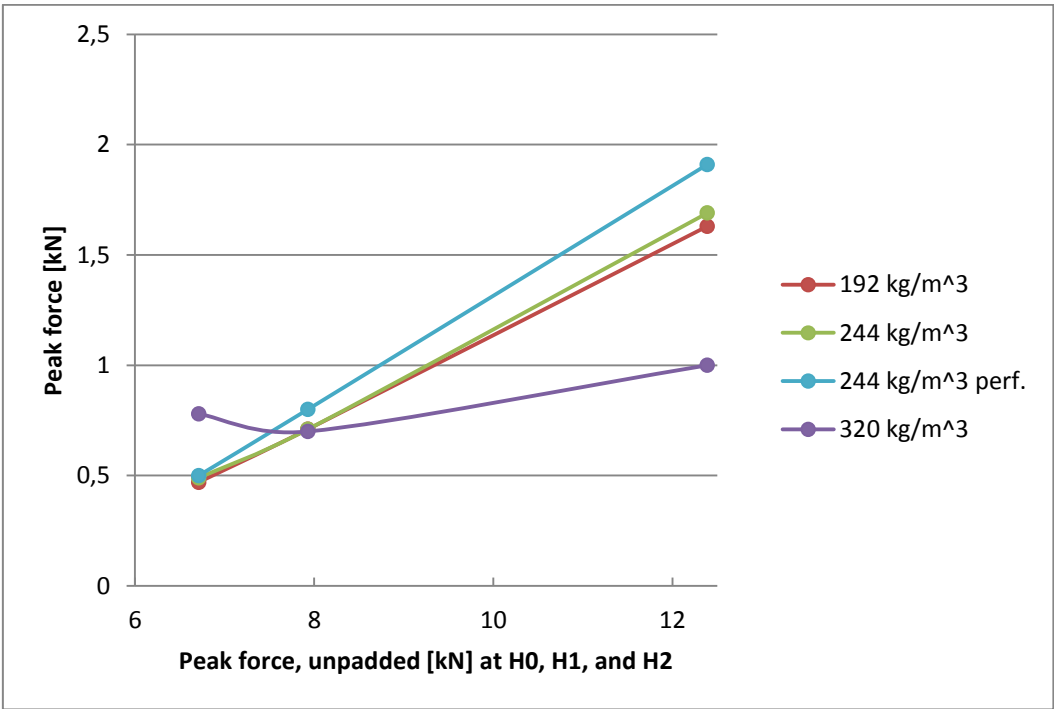


Figure 55 - 6 mm samples, peak force at H0, H1 and H2

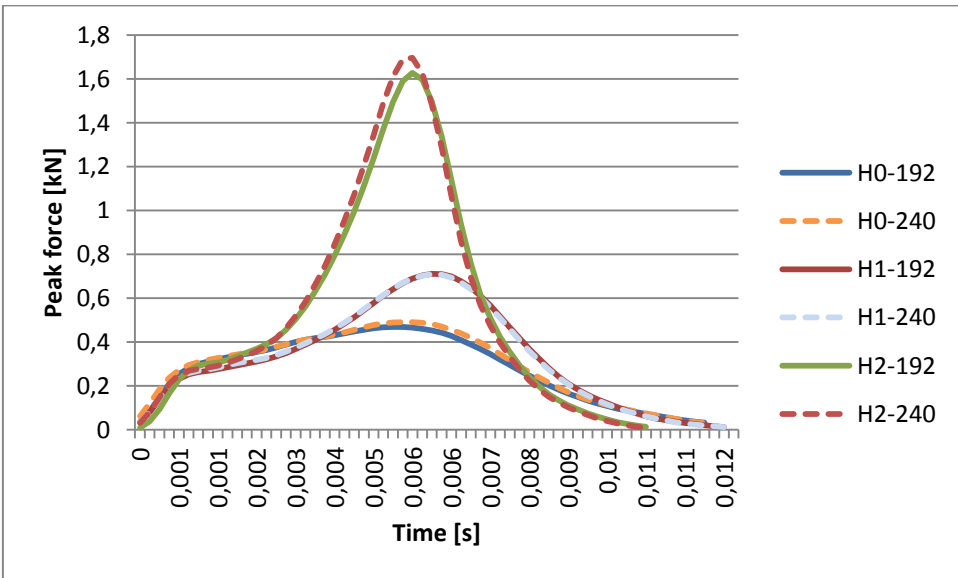


Figure 56 - 6 mm samples, difference between 192 kg/m³ and 240 kg/m³

4.6 Discussion

The material samples are compared using the attenuation in peak force calculated by Formula 1 [12].

$$Attenuation_{\%} = 100 * \left(1 - \frac{F_{padded}}{F_{unpadded}}\right) \quad (1)$$

4.6.1 Explanation of the results

Table 10 gives the maximum peak force registered at the central load cell. The table is arranged after the peak force values, going from low to high. This table is used to rule out the unsuitable materials which have too high maximum force.

The graph in [Figure 50](#) visualizes the impact curve of all the materials in addition to the unpadded case. [Figure 51](#) has been reduced by removing materials with a peak force above 0.55 kN in order to distinguish the best alternatives more easily.

[Figure 52](#) presents the data acquired from the accelerometer. Only XRD materials with peak force below 0.55 kN are presented.

[Figure 53](#) shows the various densities of the materials plotted with peak force versus thickness. The materials with unknown density are denoted by the name of the material. The material density of 192 kg/m³ was tested with six different thicknesses hence it gave a nice trend line to present the relationship between the axes. The trend line easily shows that the thicker the material, the lower the peak force.

Only XRD materials are shown in [Figure 54](#). Two trend lines are added for the thicknesses 6 mm and 9.5 mm. The lines show how each thickness has an optimal density when struck by a certain level of impact.

New tests were done only for the XRD materials with thicknesses of 6mm. This was done to compare them when exposed to higher impacts. In the results concerning only these materials, the material samples are denoted as sample 144, sample 192, sample 240, and sample 320 according to their density. The perforated sample is denoted as sample 240-P. In these tests the weight was elevated from the original height, H0, to two new heights; H1 and H2. The new height caused increased impact forces as seen in [Table 11](#).

[Table 12](#) Table 11 gives a comparison between the force attenuation sensed by the central load cell and the force plate. The force attenuation is calculated using Formula 1 and the difference is found by subtracting the force plate value from the central load cell value. The last column lists the material samples after the calculated difference of reduction in force attenuation. A high difference equals a good force distribution.

The x-axis in [Figure 55](#) denotes the peak force of the unpadding case for the three different drop heights. The y-axis marks the peak forces of the materials with different densities at each drop height. The graph shows how the XRD material with a specific density alters behavior as a result of increased impact.

In [Figure 56](#) the two 6 mm materials with densities 192 kg/m^3 and 240 kg/m^3 are compared for all three drop heights.

Peak forces above the fracture threshold

Figure 50 includes the peak force of all the material samples and shows that there are several samples that don't fulfill the threshold criteria of 2.5 kN. It does not come as a big surprise that one of the failing materials is the Slow Rebound material as this strictly wasn't a material dedicated to impact protection. The same applies for the Dow Corning material which is originally intended smaller impacts than induced in this test. Another sample doing a poor job was the thinnest XRD sample 15080-35. However, it should be mentioned that even with only 2 mm thickness, the sample still reduced the peak force with over 53 %.

Accelerometer

An ideal cushioning material has a flat and horizontal deceleration curve with a low maximum value. The acceleration is measured in voltage and 2.5 V equals 0 g. For every increased voltage unit, the acceleration is increased with 5 g.

The accelerometer is electrically supplied by the power grid with a set value of 2.5 V. The meter is zeroed out in the calibration which means that 0 V equals 0 g for the results in [Figure 52](#).

It can be seen in the same figure that all the curves flatten out at approximately 2.4 V. This corresponds to 12 g which unfortunately was the limit of the accelerometer. It is difficult to imagine the course of the curves above this limit and it is therefore not possible to compare the peak deceleration of the different materials.

Still, some information can be extracted from the curves. The best curves (lower peak and better distribution) have lower densities. Looking at the "length" of the flat plateau, the 6 mm sample with density 240 is performing better than the 9.5 mm sample of the same density. This can mean that for this particular impact force the thinner material is more efficient as a cushion.

Safehip Active

From [Table 10](#) the highest peak value of all the tests (disregarding the unpadding case) was from the centralized Safehip Active (noted as SH-0) with a peak force of 3.33 kN. Although its peak force is far over the fracture threshold, the results do

not necessarily mean that SH is an unsafe hip protector. It shows, however, that this test set-up is not suitable for testing the shunting abilities of energy shunting hip protectors. One reason for this can be the weight surface having too large curvature. The surface will proceed too far into the horseshoe shape to be able to sufficiently transfer the impact energy to the surrounding soft tissue.

SH was also tested with the maximum displacement of 50 mm. The peak force in this case was much lower at 0.54 kN which in reality should be higher than the centralized peak force.

Wonderhip

The Wonderhip hip protector is made with molded elements of shock absorbing foam. Due to the irregular geometry four tests were executed; WH-0, WH-15, WH-30, and WH-50 indicating centralized position and displacement of 15, 30, and 50 mm respectively. The shock attenuation was 0.1583 kN at the center of the pad and increased when moved away from the pad center. The highest peak force value was for WH-50, measuring 0.372 kN.

Since Wonderhip has been approved by the bfu regulations and since its pad is of the shock absorbing type, the highest peak value of 0.372 kN can be used as a guide when choosing pad material for the new hip protector.

Force distribution

The force distribution is quantified in Table 12. SH is left out in this table due to the difficulties of measuring the force distribution from the horse shoe shape. 20236-35 has by far the best force distribution. An explanation for this can be that the high density enhances the protective-shell-effect already before the impact has struck. The Xpad appears high on the ranking along with other materials of high density. A conclusion from this table is therefore that a higher density will give a better force distribution at impact.

Possible thicknesses of pad material

Of the PORON test samples, the ones proving better than WH-50 had all a thickness of 9.5 mm or higher. 9.5 mm is under 65 % of the Wonderhip thickness.

With a thickness below 9.5 mm, the peak force goes up slightly. However, the peak force is still under 0.5 kN which is only 20 % of the fracture threshold. The possibility of choosing a material thickness of 6 mm is therefore examined closer. More tests were therefore conducted to compare the 6 mm samples against each other.

XRD materials with 6 mm thickness

From this group of materials, sample 192 and sample 240 gave the best reduction of peak force for the 6.8 kN impact. For sample 240 and sample 240-P, minimal difference (0.0083 kN) was found between the smooth and the perforated material. Sample 320 and sample 144 had peak forces of 0.7804 kN and 1.23 kN respectively.

It is seen in Table 11 that sample 144 gives poor results when exposed to higher impacts. This sample is therefore excluded from the graph in Figure 55. In this same figure one can see how sample 320 is much more effective at higher impacts than for lower. However, in this case the impact force is 6.8 kN, and for this impact sample 320 is not optimal. As the impact load increases, the effectiveness of sample 240-P decreases but the change is not disconcerting.

When using Figure 56 to compare sample 192 and sample 240 for the three drop heights, the results are very similar.

Perforation

Advantages to perforated foam are very good heat transportation and good shaping abilities due to better flexibility. No significant differences were found in the shock attenuating abilities between the smooth and the perforated foam of the same thickness and density.

Additional decisive factors

A tear was found in the 6 mm XRD material with the highest density (320 kg/m^3) after being folded and stored. This sample was the only one with this high density and none of the other samples experienced the same tearing despite being folded in the same way. Otherwise, no signs of degradation were seen on the material samples as a result of the testing.

In a very different context, two 9.5 mm samples with densities 192 kg/m^3 and 240 kg/m^3 were lent out to be tested as cushioning material inside an indoor ice rink with an ambient temperature of -6°C . The feedback from this testing was that the samples hardened in the low temperatures, a behavior more prominent in the sample with the highest density. This corresponds with the theory of polyurethanes presented in Figure 34; a decrease in temperature will result in a harder and more brittle material.

Since the hip protector will be used outdoors there is a chance that the same hardening effect will happen for the product. However, some case differences should be mentioned:

- A thinner material is more flexible and it is possible that choosing a material of thickness less than the 9.5 mm used in the ice rink can reduce the hardening effect.
- The hardening effect can also be reduced by choosing a material with lower density.
- During the tests in the ice rink, the foam samples were cooled down to the ambient temperatures with no connection to any heat sources. The hip protector will on the other hand be worn onto the body and be exposed to body heat through the garment. This can prevent the pads from cooling down, an effect even more prominent if outerwear is worn on the outside of the belt.

It is uncertain how the hardening effect due to lower temperatures will affect the impact absorption of the material. This depends on the materials characteristic glass transition temperature which is unknown at the moment.

4.6.2 Conclusion and final choice of impact material

The product specifications establish the necessity of a thin and flexible padding used inside the hip protector. This is highly weighted when choosing the material. There is no big difference to the physical feel of the flexibility of the two materials. A perforated pad will give room for closer adaption to the geometry of the body. Due to the pad's relatively small geometry, the perforation option was excluded as the benefits of better moist transportation and flexibility will most likely be exceeded by the costs associated with the perforated alternative.

To avoid too large thickness and still be inside very reasonable limits from the fracture threshold, the XRD material with 6 mm thickness was chosen.

Sample 144 and sample 320 were ruled out as option due to lower impact reduction at impacts at 6.8 kN and also because of the tear that appeared in sample 320 during storage.

After these eliminations, the remaining alternatives are 12236-35 and 15236-35; two 6 mm samples with densities of 192 kg/m^3 and 240 kg/m^3 respectively. The peak forces of these two materials are still below the peak force of SH-50.

15236-35 will most likely harden more than 12236-36 at lower temperatures due to its higher density. However, it is uncertain how this hardening effect will turn out.

The trend given in Figure 55 supports a theory on 15236-35 giving higher impact reduction at impacts of greater amplitude than H1 and H2. To ensure sufficient protection at larger impacts, 15236-35 should be chosen as material.

The final choice

Material type:	PORON® XRD™ Extreme Impact Protection
Material designation:	15236-35
Thickness:	6 mm
Density:	240 kg/m ³

Table 13 - Final choice of padding material

To summarize, the material in Table 13 is chosen because:

- A thinner pad will be less noticeable
- A higher density gives better force distribution
- It gives a good force attenuation also for harder impacts
- It has sufficient flexibility

It is to be noted that the tests executed in this thesis are mainly done to compare different materials and through this choose a suitable candidate for use in the hip protector. To be able to certify that this product, I recommend that the product is sent to an institution like *bfu* where it can be tested with all parameters included like the soft tissue and deflection due to the pelvis.

5 FINAL DESIGN AND SPECIFICATIONS

This product was developed to help lowering the amount of hip fractures occurring in Norway every year. The focus was held on *increasing the compliance* and thereby getting people to *want* to use the product. This was pursued by making a thinner and practical product that gives a much more appealing impression than its predecessors.

5.1 Alterations for the new prototype

These alterations are based on the feedback from the usability testing and improvements from the previous prototypes.

Pocket:

The pocket should not be situated at the back as this position was too difficult to reach. Placing it on the side in front is also difficult due to lack of space (the pocket must not cover the pads). The zipper had to be bigger so the opening of the pocket could be done more easily, but this would impair the possibility of wearing the belt underneath the garment. Even though it seemed to be a practical idea for many it was decided not to integrate the pocket on the final prototype.

New buckle and reduced frontal width:

It was found very difficult to locate distributors selling plastic buckles of 7 cm. The option of making customized buckles was ruled out. This difficulty resulted in a reduction of the frontal width of the belt. The new width is set to 5 cm which fits a standard plastic buckle. It is the lower edge of the belt that is raised while the upper edge is kept at the original position, this will also improve the comfort when sitting down. As the belt is narrower in the Velcro area it is important to see if the edge bands covering the edges of the Velcro is “stealing” too much of the grip and if the Velcro should be sewn on over the edge bands.

Hanging loop:

This is considered unnecessary as it was not used during the user testing.

Labels:

A label containing instructions for washing and other information could be integrated on the inside of the belt, possibly in the seam for attaching the buckle. The name tag should be made in a different material that is more durable and withstands friction. The placement should also change as its current position on the inside of the padded area prevents moisture transport. A possibility is to combine the nametag with the washing label.

Color:

If the spacer fabric for the inner lining is available in other colors, a sportier version with a colorful inner lining should be considered. The color would make the

product stand out in the stores, but at the same time preserve a discrete appearance seen from the outside.

End of belt with Velcro:

The tip should be reinforced to facilitate the threading through the buckle.

Height of the pad:

The height should be increased slightly to allow for even more tolerance for any misplacement. An increase of approximately 2 cm would make the new height of the pad around 16 cm.

5.2 Redesign sketches

All these alterations are summarized in Figure 57-Figure 59. The images are currently sent to the factory in Estonia in order to make the next version of the hip protector. This new version will serve as a zero series and will be subjected to testing by a larger range of potential users.



Figure 57 - Design revision, inside



Figure 58 - Design revision, front



Figure 59 - Design revision, back

5.3 Product review

Compared to existing hip protectors, this product does not have the indication of being an aid. The appearance is more youthful and sporty with details that make it attractive to buy.

The belt is much more practical to put on than a boxer short and it is easy to handle and to store. As it is intended for use on the outside of the clothes, the maintenance is easy and the assembly can be put in the washing machine as a whole.

This product can be used by younger elderly still living in their own homes and it is hoped that this belt will encourage the user to keep being active and thereby preserve their own physical health.

6 REFERENCES

[1]	Cummings, S.R., Melton, L.J., 2002. <i>Epidemiology and outcomes of osteoporotic fractures</i> . The Lancet 359, 1761–1767.
[2]	<i>Tema: Beinskjørhet og brudd - osteoporose</i> - Folkehelseinstituttet [web document], http://www.fhi.no/tema/beinskjoerhet-og-brudd (accessed 23.04.13).
[3]	Todd, C. & Skelton, D., 2004. <i>What are the main risk factors for falls among older people and what are the most effective interventions to prevent these falls?</i> København, WHO Regional Office for Europe.
[4]	Friderichsen, P. & Storholmen, T. C., 2011. <i>Forebygging av fallskader blant eldre</i> . Forstudierapport, Innomed.
[5]	Kannus, P., Parkkari, J., Robinovitch, S., 2010. <i>The European Standard testing method for motorcyclists' protective clothing (EN 1621-1) is unsuitable for hip protectors</i> . Injury 41, 430-431.
[6]	<i>Osteoporosis Treatment, Medications, Symptoms, Prevention</i> - MedicineNet [web document], http://www.medicinenet.com/osteoporosis/article.htm (accessed 3.11.13).
[7]	Minns, J. et al., 2004. <i>Assessing the safety and effectiveness of hip protectors</i> . Nursing Standard 18.39, 33-38.
[8]	Hildre, H.P., 2002. <i>Produktutvikling</i> . Institutt for maskinkonstruksjon og materialteknikk, NTNU.
[9]	Hanington, B., Martin, B., 2012. <i>Universal Methods of Design: 100 Ways to Research Complex Problems, Develop Innovative Ideas, and Design Effective Solutions</i> . Rockport Publishers.
[10]	Laing, A.C.T, 2008. <i>Biomechanical testing of hip protectors and energy-absorbing floors for the prevention of fall-related hip fractures</i> . Summit, Simon Frasier University.
[11]	Pulkkinen, P. et al., 2006. <i>Association of Geometric Factors and Failure Load Level With the Distribution of Cervical vs. Trochanteric Hip Fractures</i> . Journal of Bone and Mineral Research 21, 6.
[12]	Robinovitch, S.N. et al., 2009. <i>Hip protectors: recommendations for biomechanical testing - an international consensus statement (part I)</i> . Osteoporosis International 20, 1977–1988.

[13]	Derler, S., Spierings, A.B., Schmitt, K.-U., 2005. <i>Anatomical hip model for the mechanical testing of hip protectors</i> . Medical Engineering & Physics 27, 475–485.
[14]	<i>Preventing falls and fractures - Soluciones de Medicare</i> [web document], http://www.solucionesdemedicare.com/eng/health_information_entry/preventing-falls-and-fractures (accessed 5.26.13).
[15]	Hayes, W.C. et al., 1993. <i>Impact near the hip dominates fracture risk in elderly nursing home residents who fall</i> . Calcified Tissue International 52, 192–198.
[16]	Polyurethane Foam Association [web document], http://www.pfa.org/ce/handout2.html (accessed 5.31.13).
[17]	Products and application [web document], http://www.poroncushioning.com/products/9/PORON-XRD-Extreme-Impact-Protection.aspx (accessed 4.13.13).
[18]	Kaushiva, B.D., 1999. <i>Structure-Property Relationships of Flexible Polyurethane Foams</i> . Virginia Polytechnic Institute and State University.
[19]	Callister, W.D.J., 2006. <i>Materials Science and Engineering: An Introduction</i> , 7th Edition. Wiley Publishers.
[20]	NS-EN 1621-1:2012 [web document], http://www.standard.no (accessed 4.13.13)
[21]	Swiss Council for Accident Prevention, 2010. <i>Test regulations bfu, Hip Protectors</i> .
[22]	Kannus, P., Parkkari, J., Poutala, J., 1999. <i>Comparison of force attenuation properties of four different hip protectors under simulated falling conditions in the elderly: an in vitro biomechanical study</i> . Bone 25, 229.
[23]	Nabhani, F., Bamford, J., 2002. <i>Mechanical testing of hip protectors</i> . Journal of materials processing technology 124, 311–318.
[24]	Birkeland, E., Lunde, E., Otnes, B., Vigran, Å., Statistisk sentralbyrå, 1999. <i>Eldre i Norge</i> . Statistisk sentralbyrå, Oslo.

Figure references:

[F1]	http://pinnaclept.files.wordpress.com/2010/04/greatertroch.jpg
[F2]	https://s3.amazonaws.com/healthtap-public/ht-staging/user_answer/reference_image/7328/large/Bone_loss.jpeg?1349476752
[F3]	http://www.mayoclinic.com/images/image_popup/mcdc7_hip_fracture.jpg

7 APPENDICES

LISTING:

7	Appendices	79
7.1	Workshop session.....	81
7.2	Meeting with users at exercise session	86
7.3	Meeting with user after 3 week trial period	89
7.4	Mechanical drawing of weight surface.....	93
7.5	Test results	94
7.6	Design history	100
7.7	Autumn report	103

7.1 Workshop session

WORKSHOP MEETING

14.02.2013

Feedback of the prototype:

- Needs to stay in place (stiffer material)
- More anti-glide
- More sizes for variation (depends on material stiffness)
- Fabric not fitted in the back – better angle of the pattern, bigger “curve”
- Ribs are complicated, maybe unnecessary
- PORON
 - o Cutting
 - o Grading
 - o In-house production or at manufacturer?
- Bigger Velcro area
- Longer belt for facilitated adjustment

Feedback from the physical therapists: (Silje and Thor, Trondheim commune)

- Used to treat people of 60+, mainly 80-100 years of age
- The goal is to help older people live longer inside their own home
- They usually don't recommend aids as they normally are difficult to use – they want user-friendliness!
- A good testing group is important

About the prototype:

- Thin pads are important, the thinner the better
- The length of the pad is good, protects a bigger part of the hip
- Anti-glide is good
- Resembles a hernia-belt
- No danger of falling while putting on the belt, also possible when sitting down.
- People would use it underneath the clothes in order to not look so old. This is common regardless of age – vanity
- A sporty appearance is good
- “SportSafe”, “in and out” (indoors and outdoors)

- Not good to give associations to aids
- Should be thin, invisible!
- Important to bear in mind the target group
- Easier to use in the winter
- Take it on/off along with outdoor clothing/crampons
- Young elderly people (Maria) will fall on the ice
- Older elderly people (Karl) will fall at home, on their way out
- Two different prototypes for these two groups? Two versions: sporty vs. karl-version
- Marketing like "EasyGrip" (Kadabra)
- Needs to be available
- SafeHip Aktiv pushes the bladder, uncomfortable
- The prototype has a good width in front of the belt
- Position on the hip, should be comfortable while sitting down
- Price: As cheap as possible in order to have a bigger user-share
- Older people are careful about spending
- Karl: Could go to the doctor to have a prescription
- Maria: Use more money on herself, buying from sports-stores etc.
- Bought from other family members
- Sports product might have pocket for keys etc.
- Ladies bring everything in their purse while men put everything in their jacket pockets
- Pocket is not a must-have
- Promotion using athletic people. Easier to go for sporty version towards a version for older people than the other way around
- Sporting equipment
 - o Winter bikers (locked pedals)
 - o Snowboard, ski, telemark
- Fitted: sizes and length should be adapted
- Identification good when used at institutions
- Positive that it is compatible with products used for incontinence
- Should not forget demented people, opening in the back is a possibility
- "Hjemmetjenesten" could help to put on the belt while helping with compression stockings
- Inactivity during the winter is a problem
 - o Inactivity leads to loss of muscle strength
 - o More unsecure when the spring comes, vicious circle
- The Velcro should be usable for a long time despite of dust and dirt getting stuck in the hooks

Debriefing:

- Pocket in the back – an excitement factor
- Sizes important for comfort while sitting down
- Focusing on younger users before older users
- Male/female version could promote sense of personality
- Longer belt necessary

Material samples:

- Silicon/rubber bands will hold the belt in position during movement
- Rubber dots?
- “confidence in textiles” Oeko-tex standard 100 11-20431

Workshop session:

- Invisible seams
- S M L XL, should be easy to understand, explanation with circumference measurements
- Elastic fabric allows for unisex model – will it lose its shape?
- Trying before buying important – criterias for embalmmnt
- More adjustments are necessary
- The pads make the product seem like an aid – hide them away
- Thicker material on outside will reduce the contours of the pads
- More curved pattern for fitting in the back
- 3D-shape can be accomplished by a groove creating a spoon-like shape
- Foldable – using a magnet?
- Not bigger!
- Indoors/outdoors version? Combination – you only buy one
- Reflective logo/ color logo
- Unisex model is decided. Diversification can be done by choices of colors
- Folding/compression – will it lose its shape?
- Check mesh availability without laminate unbreathable fabric
- The band on the edges has pilling – change type
- Matching buckle and tip of threading part of belt
- Longer threading part for more maneuverability
- Hanging hook on inside, soft, in the back, vertical. Includes instructions for washing etc.
- Nametag on the inside, left front
- Logo on threading part – positioned in the front middle
- PORON: 6 mm, perforated?
 - o Pocket?
 - o Glued on?
- Washing bag: selling point, added value. Good for shelf storage, compatible with trying before buying. Good for storage at home or when traveling

Plan:

Prototypes ready in week 12 (18. March):

- 1 glued
- 1 pocket

User testing in week 17 (22. April):

- Different sizes for several people in the user group.

7.2 Meeting with users at exercise session

MEETING WITH POTENTIAL USERS

22.04.2013 – 13:00

Contact person: Sylvi Sand, Trondheim kommune
Location: Gammel Lina 13, Selsbakk
Participants: Ingrid Lothe Ruø (master student)
Tore Christian Storholmen (Sintef)

Agenda for the visit:

- Meeting the group, brief introduction
- Take part in exercise
- Introduction of the project, goal of today's visit
- Presentation of the two prototypes, trying on if desired
 - o Feedback on first-impression
 - o Thoughts and ideas of changes, improvements
 - o Positivity, negativity
 - o Thoughts on the two different variants
- Conversation with the two long-period test subjects
 - o Informing about practicalities
 - o Requesting interview after end of test period
 - o Anonymous

Size, fitting

Did not fit everyone in the group, differences in the hip shape (wide and slim vs. “round” shape etc.). They felt like pulling it further up, unusual to wear it so far down on the hip. Should have a wide range of sizes. Flexible part in the back? Differences in the body profile (big or small hips), small/non-existing hips make it difficult for the padded areas to go near the body. Felt good to wear during the exercise, did not slip up.

Fabrics

Nice to touch, felt good. Breathable was a plus. Concerns about the Velcro – dirty or losing its functionality? The silicon bands held the belt in position.

Pads

No comments on the thickness – good? Did not notice the belt while we (I and TC) wore them – good! The light weight of the belt was acknowledged.

Aesthetics

Discrete, slim, looked good. A positive surprise as opposed to the padded boxer shorts used today. Black was practical. Uncertainties concerning other “fresh” colors. Beige can be nice under white trousers – cannot see it through the fabric (unnecessary for us to consider white pants?).

Accessories

Pocket was nice – placed in the front for easier access. Pocket/bag for storage while not in use would be practical. Positive attitude towards folding possibilities, but maybe not necessary if you already have a bag for it. (The bag should have instructions for use)

Attitude

Mainly positivity or indifference. Negative attitude for a woman below the age of our targeted user group. Great that it doesn’t show very much. Would not see it underneath the clothes – great. Would like to use it underneath the clothes and hide it. Practical as insurance when alone. Good to have within reach in backpack or purse when needed.

Practicality, user-friendliness

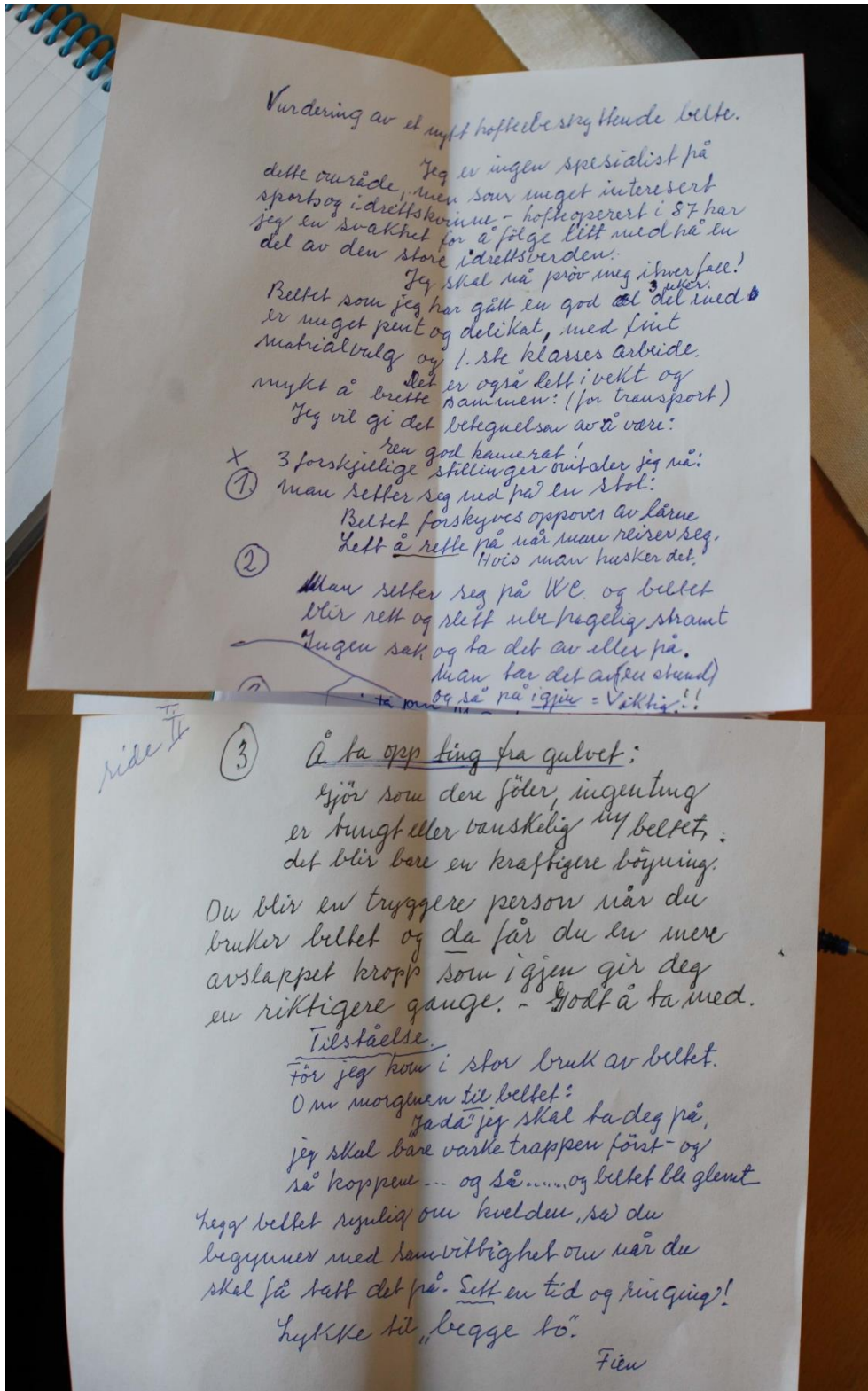
Put it on too high – instructions for positioning necessary! Seemed to be easily fastened. Quick to take on/off. Did not feel uncomfortable while sitting. Did not make the user feel uncomfortably warm or too damp after high levels of activity. Light weight made it nice to wear. Pocket should be placed in front. No dismay about metal hoop.

Notes:

We did not get any volunteers to try on the belt at home for a longer period. One belt was given to Sylvi for her to find a person willing to try it for a few days. The other belt was brought back to the Sintef facilities.

Large differences in body shape create the need for many available sizes.

7.3 Meeting with user after 3 week trial period



Vurdering av et nytt hoftebeskyttende belte:

Skrevet av kvinne (89) som har prøvd produktet i omtrent 3 uker.

«Jeg er ingen spesialist på dette område, men som meget interessert sports- og idrettskvinne og hofteoperert i 1987 har jeg en svakhet for å følge litt med på en del av den store idrettsverden. Jeg skal prøve meg ihvertfall!

Beltet som jeg har gått en god del med er meget pent og delikat, med fint materialvalg og førsteklasses arbeid. Det er også lett i vekt og mykt å brette sammen (for transport). Jeg vil gi det betegnelsen av å være en god kamerat!

3 forskjellige stillinger omtaler jeg nå:

1. Man setter seg ned på en stol:
 - Beltet forskyves oppover av lårene
 - Lett å rette på når man reiser seg. Hvis man husker det.
2. Man setter seg på WC:
 - Beltet blir rett og slett ubehagelig stramt.
 - Ingen sak å ta det av eller på. Man tar det av (en stund) og så på igjen = viktig!!
3. Å ta opp ting fra gulvet:
 - Gjør som dere føler, ingenting tungt eller vanskelig med beltet, det blir bare en kraftigere bøyning.

Du blir en tryggere person når du bruker beltet og da får du en mer avslappet kropp som igjen gir deg en riktigere gange. – Godt å ta med.

Tilståelse (før jeg kom i stor bruk av beltet):

Om morgenen til beltet:

«Jada, jeg skal ta deg på, jeg skal bare vaske trappen først – og så koppene... og så...» og beltet ble glemt.

Legg beltet synlig om kvelden så du begynner med samvittighet om når du skal få tatt det på. Sett en tid og ringing (alarm)!

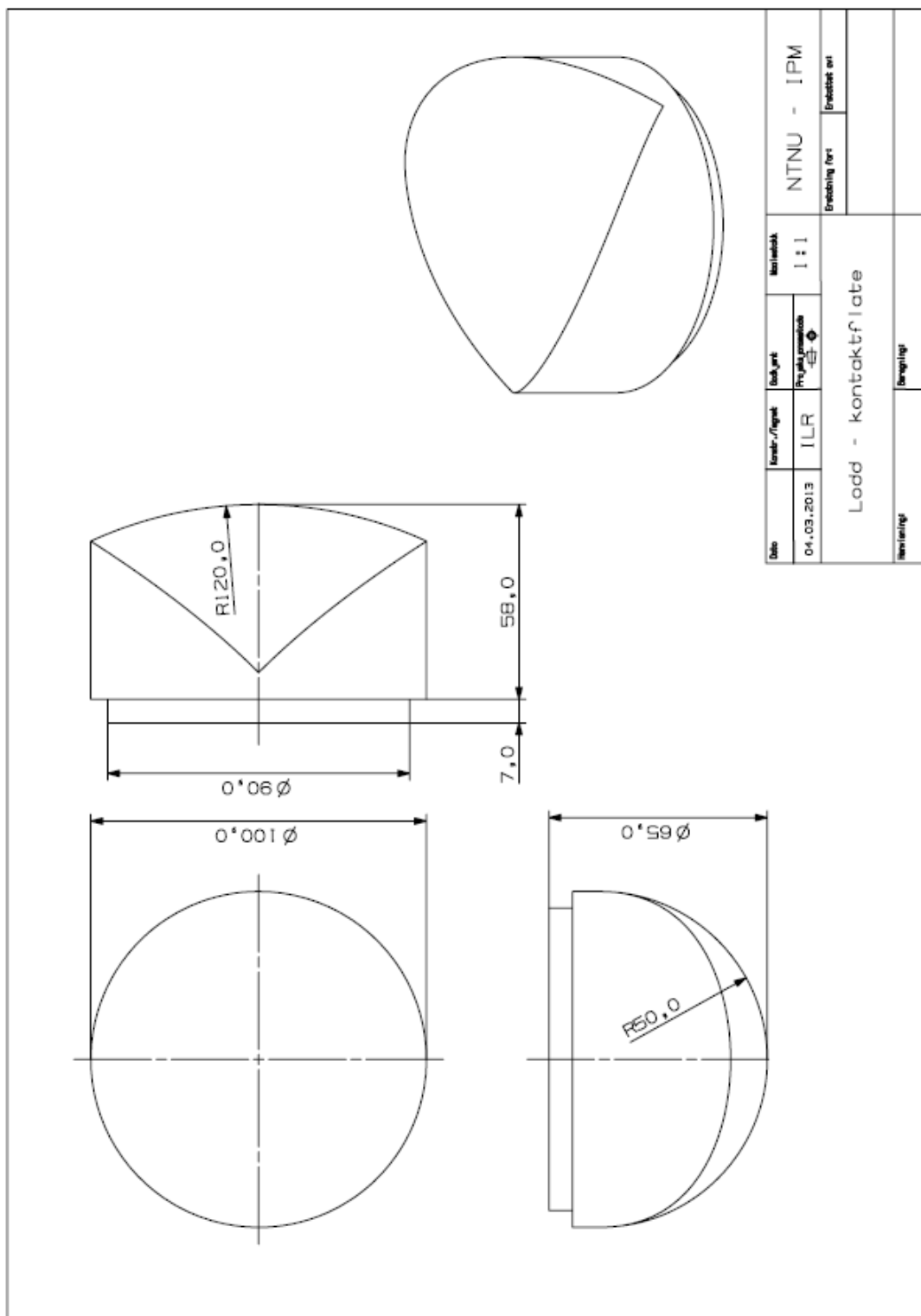
Lykke til «begge to».

Tilbakemelding:

- Meget pent og delikat belte
- Fint materialvalg, førsteklasses arbeid
- Lett i vekt, mykt å brette sammen for transport
- En god kamerat
- Hun beskriver 3 scenarier
 1. Man setter seg ned → beltet kryper oppover – men dette er lett å rette på når man reiser seg etterpå → må huske det!
 2. Setter seg på WC – ubehagelig stram. Lett og ta av og på... Må huske å ta det på igjen.
 3. Ta opp ting fra gulvet → må dypt ned. Ingen ting er tungt med beltet, blir bare en kraftigere bøyning.
- Du blir en trygg person med beltet. Mer avslappet kropp som gir deg riktig gange! Motiverer til å gå riktig!
- I starten, sier jeg til beltet «joda, jeg skal ta deg på... men skal bare vaske kopper, trappa... blir glemmt, utsatt og utsatt.
- Hun anbefalte derfor å legge beltet synlig om kvelden
 - Slik at du ser det...
 - Spill på samvittigheten– Pirk litt på den dårlige samvittigheten
 - Sett gjerne tid og ringing, gjør det lettere å huske at beltet må tas på.
- Plassering av beltet er viktig. Viktig med instruksjer.
 - Hvor skal det sitte?
 - Kunne pads vært lengre?
- Bruksanvisning er vanskeligere jo eldre man blir. Likevel kan det være nødvendig for å vite sikkert hvor beltet skal sitte på kroppen. Vanskelig å finne referansepunktet på kroppen.
- Ikke varmt å ha på → men er det varmt, blir det jo varmt... Brukte ikke beltet like mye når det var ekstra varmt ute
- Utendørs → kaldt (dermed behagelig å bruke beltet)
- Både under og utenpå klær
 - Når det er kaldt er det godt å ha beltet på
 - Kåpe for tykk → da hadde jeg beltet under
- Må ikke være for stramt, da blir det ubehagelig
- Ikke vanskelig å ta verken av eller på, selv med fingerleddsartrose som reduserer fingrenes funksjonalitet.
- Motiveringen!
 - Alder er avgjørende
 - Når man er ung og sprek tenker man ikke på samme måte → Man er ikke redd for å bli lenket til en stol pga ustødig gange, men det kan være realiteten om få år
 - Måten man motiverer på har mye å si

- Fikk hoftebeskyttende truse etter hofteoperasjon – huff!
- Puttet beltet i en pose. Naturlig å legge flatt. Skumputene virket å holde formen bra.
- Måte å falle på – balanse
 - Dersom man sparker fra i fallet – er mer bevegelse, mindre sjanse for å brette noe
 - Har falt mange ganger uten å brette noe
- Beltet sklir lett på innsiden, greit når man skal ta det på/av og over klærne
- Lomme?
 - Anorakk utenpå? – da velger jeg den isteden
 - ..men kjekt å kunne gå ut uten å tenke på å ta med medisin etc.
 - Medisin + batteri til høreapparat i lomme?
 - Positiv til lomme, men den bør være diskret
- Lommen og glidelåsen må ikke være taslete... Vanskelig å åpne med kalde fingre...
- Mange er redd for å bli operert i den andre hoften... eller redd for ny operasjon i samme pga. slitasje
 - Denne brukergruppen er kanskje mer mottagelige og positive for å bruke et slikt produkt
- Man stivner i ledd
- Går hver dag – men i mitt tempo. Nedover er verre enn oppover med tanke på knær, økt sjanse for å falle osv.

7.4 Mechanical drawing of weight surface



7.5 Test results

Maximum values, all samples:

	Without :	12625- 04:	09500- 35:	12500-35:	15500- 35:	09374- 35:	12374-35 (65):
0	6,796	0,1506	0,1208	0,1673	0,2661	0,4518	0,2452
1	6,687	0,1446	0,1244	0,1649	0,2601	0,4274	0,2435
2	6,9	0,1542	0,128	0,1512	0,2518	0,5083	0,2423
3	6,733	0,1494	0,1274	0,1607	0,2494	0,4196	0,2411
4	6,806	0,1446	0,128	0,1643	0,253	0,4857	0,2345
5	6,649	0,1524	0,1304	0,1744	0,2583	0,4363	0,2423
6	6,733	0,1476	0,131	0,1673	0,2512	0,4786	0,2381
7	6,353	0,1536	0,1238	0,1631	0,2536	0,4548	0,244
8	6,629	0,1423	0,1321	0,1625	0,2542	0,4012	0,2375
9	6,861	0,15	0,1321	0,1595	0,2482	0,4357	0,2363
	6,71	0,15	0,13	0,16	0,25	0,45	0,24
	12158- 35	15118- 35:	15080- 35:	Perforated:	Xpad1:	Xpad2:	SR-RoverB:
0	1,284	1,889	3,539	0,4935	0,6048	0,6505	1,962
1	1,356	1,796		0,4714	0,6161	0,6452	1,972
2	1,367	1,743	3,075	0,5214	0,5804	0,6238	2,01
3	1,339	1,603	3,163	0,5506	0,6298	0,6298	2,04
4	1,309	1,822	3,033	0,5101	0,5994	0,5429	2,223
5	1,387	1,652	3,128	0,5137	0,5976	0,575	2,079
6	1,585	2,07	3,16	0,4994	0,6	0,5601	2,192
7	1,38	1,827	3,146	0,4958	0,6071	0,5345	2,118
8	1,44	1,66	2,877	0,5024	0,6065	0,5429	2,068
9	1,438	1,736	3,099	0,4667	0,5869	0,5399	2,142
	1,39	1,78	3,14	0,50	0,60	0,58	2,08
DowCornin							
	SH-0:	SH-50:	D30:	g:			
0	1,894	0,397	1,556		2,483		
1	3,371	0,506	1,614		2,702		
2	3,657	0,5458	1,616		2,715		
3	3,086	0,6095	1,59		2,694		
4	4,152	0,5262	1,418		2,919		
5	3,106	0,5863	1,518		2,986		
6	3,836		1,497		2,77		
7	3,33	0,5256	1,608		2,877		
8	3,365	0,5339	1,545		3,004		
9	3,176	0,594	1,544		2,779		
	3,30	0,54	1,55		2,79		

15374-35:	09236-35:	12236-35:	15236-35:	20236-35:	15197-35:
0,3673	1,221	0,4726	0,5083	0,831	0,6482
0,3649	1,204	0,4774	0,4815	0,772	0,6783
0,3411	1,21	0,4893	0,5012	0,7732	0,6536
0,3506	1,276	0,4696	0,4911	0,7804	0,6548
0,3476	1,212	0,4714	0,4929	0,7845	0,6786
0,3494	1,251	0,4679	0,4935	0,797	0,6768
0,3458	1,18	0,4577	0,5119	0,7673	0,6798
0,3435	1,287	0,4714	0,4833	0,7923	0,6792
0,3476	1,23	0,469	0,5018	0,7976	0,6988
0,3357	1,204	0,4589	0,4321	0,7506	0,694
0,35	1,23	0,47	0,49	0,78	0,67
SR-BoverR:	SR-Red:	WH-0:	WH-15:	WH-30:	WH-50:
2,389	3,38	0,156	0,2185	0,2381	0,372
2,257	3,026	0,1685	0,2268	0,2506	0,356
2,145	2,849	0,1673	0,2411	0,2679	0,3988
2,28	3,222	0,1625	0,2244	0,2667	0,3946
2,241	3,198	0,1458	0,2232	0,269	0,3423
2,161	3,042	0,1512	0,2327	0,2625	0,3804
2,341	3,111	0,1583	0,228	0,2542	0,3518
2,302	3,283	0,1577	0,2268	0,2458	0,3893
2,393	3,363	0,1631	0,2214	0,2571	0,3238
2,367	3,229	0,1554	0,2232	0,2619	
2,29	3,17	0,16	0,23	0,26	0,37

Maximum values, 6 mm samples:

H0	H0-144	H0-192	H0-244	H0-320	H0-Perforated	
0	6,796	1,221	0,4726	0,5083	0,831	0,4935
1	6,687	1,204	0,4774	0,4815	0,772	0,4714
2	6,9	1,21	0,4893	0,5012	0,7732	0,5214
3	6,733	1,276	0,4696	0,4911	0,7804	0,5506
4	6,806	1,212	0,4714	0,4929	0,7845	0,5101
5	6,649	1,251	0,4679	0,4935	0,797	0,5137
6	6,733	1,18	0,4577	0,5119	0,7673	0,4994
7	6,353	1,287	0,4714	0,4833	0,7923	0,4958
8	6,629	1,23	0,469	0,5018	0,7976	0,5024
9	6,861	1,204	0,4589	0,4321	0,7506	0,4667
	6,71	1,23	0,47	0,49	0,78	0,50

H1	H1-144	H1-192	H1-244	H1-320	H1-Perforated	
0	7,765	2,167	0,7226	0,7036	0,7149	0,8518
1	7,699	2,24	0,675	0,6863	0,7262	0,7387
2	7,566	2,135	0,694	0,7089	0,7054	0,7804
3	7,971	2,252	0,7089	0,7268	0,7036	0,8167
4	8,282	2,262	0,725	0,7161	0,7065	0,803
5	8,197	2,277	0,7054	0,7125	0,7089	0,8476
6	7,806	2,386	0,7107	0,7179	0,7024	0,7923
7	8,068	2,468	0,7113	0,7208	0,6988	0,8018
8	8,035	2,215	0,7083	0,7226	0,6685	0,7798
9	7,875	2,378	0,7083	0,7232	0,6976	0,831
	7,93	2,28	0,71	0,71	0,70	0,80

H2	H2-144	H2-192	H2-244	H2-320	H2-Perforated	
0	10,33	4,83	1,508	1,517	0,983	1,765
1	12,46	5,205	1,515	1,582	0,9792	1,88
2	12,55	5,183	1,627	1,664	0,9988	2,044
3	12,63	4,938	1,623	1,756	0,9988	2,048
4	13,04	4,98	1,668	1,746	1,007	1,852
5	13	5,196	1,614	1,696	0,9988	1,868
6	12,35	5,128	1,627	1,779	1,004	1,951
7	12,88	5,21	1,671	1,729	1,019	1,88
8	12,32	4,905	1,686	1,634	1	1,874
9	12,37	5,096	1,736	1,76	1,007	1,91
	12,39	5,07	1,63	1,69	1,00	1,91

Maximum peak force for all materials, ranged after various properties:

ALL SAMPLES				ARRANGED AFTER DENSITY			
Type:	Max force:	Thickness :	Density :	Type:	Max force:	Thickness :	Density :
Without	6,733	0	0	Without	6,733	0	0
12625-04	0,15	16	192	WH-0	0,1583	15	0
09500-35	0,1304	12,7	144	WH-15	0,228	15	0
12500-35	0,1595	12,7	192	WH-30	0,2619	15	0
15500-35	0,2494	12,7	240	WH-50	0,372	15	0
09374-35	0,4518	9,5	144	SH-0	3,33	14	0
12374-35	0,2411	9,5	192	SH-50	0,5458	14	0
15374-35	0,3506	9,5	240	D3O	1,545	6	0
09236-35	1,23	6	144	DowCorn.	2,779	7,5	0
12236-35	0,4696	6	192	09500-35	0,1304	12,7	144
15236-35	0,4911	6	240	09374-35	0,4518	9,5	144
20235-35	0,7804	6	320	09236-35	1,23	6	144
15197-35	0,6768	5	240	SR-RoB	2,079	4	144
12158-35	1,387	4	192	SR-BoR	2,28	4	144
15118-35	1,796	3	240	SR-Red	3,198	3	144
15080-35	3,146	2	192	12625-04	0,15	16	192
Perforate				12500-35	0,1595	12,7	192
d	0,4994	6	240	12374-35	0,2411	9,5	192
Xpad1	0,6	6,65	352,44	12236-35	0,4696	6	192
Xpad2	0,575	6,65	352,44	12158-35	1,387	4	192
SR-RoverB	2,079	4	144	15080-35	3,146	2	192
SR-BoverR	2,28	4	144	15500-35	0,2494	12,7	240
SR-Red	3,198	3	144	15374-35	0,3506	9,5	240
WH-0	0,1583	15	0	15236-35	0,4911	6	240
WH-15	0,228	15	0	15197-35	0,6768	5	240
WH-30	0,2619	15	0	15118-35	1,796	3	240
WH-50	0,372	15	0	Perforate			
SH-0	3,33	14	0	d	0,4994	6	240
SH-50	0,5458	14	0	20235-35	0,7804	6	320
D3O	1,545	6	0	Xpad1	0,6	6,65	352,44
DowCorn.	2,779	7,5	0	Xpad2	0,575	6,65	352,44

ARRANGED AFTER THICKNESS

Type:	Max force:	Thickness :	Density :
Without	6,733	0	0
15080-35	3,146	2	192
15118-35	1,796	3	240
SR-Red	3,198	3	144
12158-35	1,387	4	192
SR-RoB	2,079	4	144
SR-BoR	2,28	4	144
15197-35	0,6768	5	240
09236-35	1,23	6	144
12236-35	0,4696	6	192
15236-35	0,4911	6	240
20235-35	0,7804	6	320
Perf.	0,4994	6	240
D3O	1,545	6	0
Xpad1	0,6	6,65	352,44
Xpad2	0,575	6,65	352,44
DowCorn.	2,779	7,5	0
09374-35	0,4518	9,5	144
12374-35	0,2411	9,5	192
15374-35	0,3506	9,5	240
09500-35	0,1304	12,7	144
12500-35	0,1595	12,7	192
15500-35	0,2494	12,7	240
SH-0	3,33	14	0
SH-50	0,5458	14	0
WH-0	0,1583	15	0
WH-15	0,228	15	0
WH-30	0,2619	15	0
WH-50	0,372	15	0
12625-04	0,15	16	192

ARRANGED AFTER MAX FORCE

Type:	Max force:	Thickness :	Density :
09500-35	0,1304	12,70	144
12625-04	0,1500	16,00	192
WH-0	0,1583	15,00	-
12500-35	0,1595	12,70	192
WH-15	0,2280	15,00	-
12374-35	0,2411	9,50	192
15500-35	0,2494	12,70	240
WH-30	0,2619	15,00	0
15374-35	0,3506	9,50	240
WH-50	0,3720	15,00	0
09374-35	0,4518	9,50	144
12236-35	0,4696	6,00	192
15236-35	0,4911	6,00	240
Perforated	0,4994	6,00	240
SH-50	0,5458	14,00	0
Xpad2	0,5750	6,65	352
Xpad1	0,6000	6,65	352
15197-35	0,6768	5,00	240
20235-35	0,7804	6,00	320
09236-35	1,2300	6,00	144
12158-35	1,3870	4,00	192
D3O	1,5450	6,00	0
15118-35	1,7960	3,00	240
SR-RoverB	2,0790	4,00	144
SR-BoverR	2,2800	4,00	144
DowCornin	2,7790	7,50	0
15080-35	3,1460	2,00	192
SR-Red	3,1980	3,00	144
SH-0	3,3300	14,00	0
Without	6,7330	0,00	0

Pressure distribution in percentage:

Force distribution calculated by difference of FP and LC				Arranged by difference	
Sample:	Force plate:	Central LC:	Difference:	Sample:	Difference:
12625-04	88,4	97,8	9,3	20236-35	25,6
09500-35	90,4	98,1	7,7	Xpad1	21,7
12500-35	88,0	97,6	9,6	15374-35	17,8
15500-35	81,7	96,3	14,6	Xpad2	16,9
09374-35	82,5	93,3	10,7	12236-35	16,7
12374-35	86,5	96,4	9,9	15197-35	16,4
15374-35	77,0	94,8	17,8	15236-35	16,1
09236-35	66,2	81,7	15,5	09236-35	15,5
12236-35	76,4	93,0	16,7	15118-35	15,5
15236-35	76,7	92,7	16,1	15080-35	15,0
20236-35	62,8	88,4	25,6	15500-35	14,6
15197-35	73,5	89,9	16,4	12158-35	13,0
12158-35	66,4	79,4	13,0	SR-BoverR	12,5
15118-35	57,8	73,3	15,5	SR-RoverB	12,0
15080-35	38,3	53,3	15,0	Perforated	11,2
Perforated	81,4	92,6	11,2	09374-35	10,7
Xpad1	69,4	91,1	21,7	WH-50	10,5
Xpad2	74,6	91,5	16,9	12374-35	9,9
SR-RoverB	57,1	69,1	12,0	12500-35	9,6
SR-BoverR	53,6	66,1	12,5	12625-04	9,3
SR-Red	44,3	52,5	8,2	WH-0	9,2
WH-0	88,5	97,6	9,2	WH-30	9,2
WH-15	87,9	96,6	8,7	WH-15	8,7
WH-30	86,9	96,1	9,2	SR-Red	8,2
WH-50	84,0	94,5	10,5	09500-35	7,7

(All the ASCII files can be obtained from the master student by request)

7.6 Design history

Prototypes from the autumn project:



1 - Slimfit



2 - Sporty



3 - Aktiv

Original prototype from Sintef:



4 - Prototype V1

Result after the merger:



5 - Prototype V2

Result after the workshop:



6 - Prototype V3

7.7 Autumn report

Høst 2012



NTNU

UTVIKLING AV PRODUKT FOR FOREBYGGING AV HOFTEBRUDD



Prosjektoppgave | Ingrid Lothe Ruø og Kaja Marie Flottorp

Forord

Denne rapporten er gjennomført i forbindelse med fordypningsprosjektet i faget TMM4501 - Produktutvikling, beregning og bearbeiding. I tillegg til prosjektet har vi begge studert to fordypningsemner på 3,75 studiepoeng hver i kurset TMM4506 - Produktutvikling, beregning og bearbeiding innenfor emnene TMM1 Produktmodellering og TMM3 Introduksjon til økodesign og livsløpsanalyser.

Arbeidet er gjennomført ved Institutt for Produktutvikling og Materialer under Fakultet for Ingeniørvitenskap og Teknologi på Norges Tekniske Naturvitenskapelige Universitet.

Vi ønsker å takke førsteamanuensis Knut Einar Aasland for veiledning gjennom prosjektets forløp. I tillegg vil vi takke Peter Friderichsen og Tore Christian Storholmen fra SINTEF og Margrethe Engan Gjære fra Protex for viktige innspill og tilbakemeldinger underveis.

Sammendrag

Dette prosjektet ble definert av NTNU i samarbeid med SINTEF avd Medisinsk Teknologi. SINTEF har gjennom kompetansenettverket InnoMed utarbeidet forstudierapporten "Forebygging av fallskader blant eldre", som ligger som grunnlag for arbeidet i dette prosjektet. På markedet i dag finnes det en rekke produkter siktet mot å minske faren for hoftebrudd ved fall. Løsningene består som oftest av en truse med innsydde beskyttelses pads på sidene. Det er dokumentert at disse padsene gir tilstrekkelig beskyttelse, men problemet ligger i at beskyttelsesproduktene ikke brukes da de er mislikt av både brukerne og helsepersonell.

Denne prosjektrapporten omhandler utviklingen av en ny generasjon av hoftebeskyttere. Idéen er en trimbelteløsning tilpasset turer og trening og den skal i hovedsak benyttes utenpå klærne. Forstudierapporten sammen med brukerundersøkelser ligger i grunnlag for de foreslåtte løsningene.

Primærbrukeren er friske, hjemmeboende eldre på 65 år og oppover. De har en aktiv livsstil og opplever sjelden å falle. Ettersom den største utfordringen har vært å få brukeren til å benytte produktet er det sentralt at løsningen er komfortabel, lett og estetisk pen. Beskytteren skal i hovedsak være et trimprodukt og ikke et hjelpemiddel. Gjennom produktet ønsker vi å fremme gode holdninger overfor hoftebeskyttere.

Det er kommet frem til tre løsninger som oppfyller disse kravene på en tilfredsstillende måte. Disse har fått arbeidsnavnene *SlimFit*, *Sporty* og *Aktiv*. *SlimFit* er en elastisk modell som er kompakt og til bruk både utenfor og innenfor klærne. *Sporty* er robust og har en rekke likheter med annet sportsutstyr. Den er laget av et pustende og uelastisk materiale. Den siste løsningen er *Aktiv*, en kombinasjon mellom *SlimFit* og *Sporty*. Den har elastiske midtparti og uelastisk materiale på sidene.

I den beskyttende delen har det blitt foreslått bruk av et viskoelastisk skum fra PORON. Dette vil være fleksibelt og føles behagelig ved bruk. Ved slag vil skummet hardne og utgjøre et beskyttende skall. Slaget absorberes og spres utover et større område.

Det er utarbeidet prototyper for å få konkret innblikk i styrker og svakheter ved løsningene. Dette ga verdifull erfaring omkring fasong og plassering av beskyttelses padsene. Målet med prototypene var å etterligne konseptløsningene best mulig i form og i materialvalg.

Anbefalinger til videre arbeid er å gjennomføre en grundig evaluering om skummet fra PORON beskytter tilfredsstillende mot hoftebrudd. Formen på beskytteren må også videre utarbeides slik at den blir tilpasset forskjellige kroppsformer best mulig.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Sammendrag	iii
Figurer	3
1 Innledning.....	5
1.1 Bakgrunn	5
1.2 Prosjektspesifikasjon	5
1.3 Formål.....	6
2 Metodikk	7
2.1 IPM-modellen	7
2.2 Kartleggings- og utviklingsteknikker.....	7
3 Kartlegging.....	8
3.1 Eksisterende løsninger	8
3.2 Bruker	9
3.2.1 Bruksituasjon	9
3.2.2 Intervju	10
3.3 Behov.....	11
4 Konseptutvikling.....	12
4.1 Idégenerering	12
4.2 Konsepter	12
4.3 Konseptevaluering.....	13
5 Beskyttelsespads	14
5.1 Form	14
5.2 Polyuretan (PUR)	15
5.3 PORON polyuretanskum.....	16
5.4 Enkel impact-test.....	17
6 Løsninger	18
6.1 SlimFit	18
6.2 Sporty	20
6.3 Aktiv.....	23
6.4 Oppbevaring:.....	25
7 Prototyper	26

7.1	SlimFit	26
7.2	Sporty	27
7.3	Aktiv.....	28
8	Diskusjon	30
9	Konklusjon og veien videre	31
10	Referanser	32
11	Vedlegg.....	33
11.1	Vedlegg 1 – Eldretrim med intervju	33
11.2	Vedlegg 2 – Bodystorming.....	35
11.3	Vedlegg 3 – Intervjurunde i marka	36
11.4	Vedlegg 4 – Moodboard for aktive, friske eldre.....	37
11.5	Vedlegg 5 – Brukerprofil.....	38
11.6	Vedlegg 6 – Produktkravs spesifikasjon	39
11.7	Vedlegg 7 – Brukerkravs spesifikasjon	40
11.8	Vedlegg 8 – Miljøvurdering	41

Figurer

Figur 1 - Risikoen for fall øker eksponentielt med alder [8].....	5
Figur 2 - Konseptforslag i forstudierapporten utarbeidet av SINTEF gjennom InnoMed	6
Figur 3 - Noen eksisterende løsninger på hoftebeskyttere.....	8
Figur 4 - Storyboard.....	9
Figur 5 - Vekting av kriterier	11
Figur 6 - Funksjoner og underfunksjoner	12
Figur 7 - Resultat av konseptgenerering	13
Figur 8 - Vekting av hvert konsept.....	13
Figur 9 - Materialoppførsel for viskoelastisk materiale	15
Figur 10 - Konsept SlimFit.....	18
Figur 11 - Stramming i retur	18
Figur 12 - Sømmer i innsnitt	18
Figur 13 - Tverrsnitt, limlag indikert av rød pil	19
Figur 14 - Tverrsnitt, avrunding av pads.....	19
Figur 15 - Konsept Sporty	20
Figur 16 - Skyvespor for flaskeholder	20
Figur 17 - Avtagbar flaskeholder	20
Figur 18 - Stramming bak på Sporty	21
Figur 19 - Overgang mellom pads og stoff	21
Figur 20 - Prinsipp bak "spacer fabric"	22
Figur 21 - Konsept Aktiv	23
Figur 22 - Spiler i Aktiv.....	23
Figur 23 - Oppheng.....	24
Figur 24 - Merkelapp i papp med hull for oppheng	25
Figur 25 - To ulike vaskeposer	25
Figur 26 - Forslag til kutting av pads.....	30
Figur 27 - Helhetsinntrykk. f.v.: Sporty, SlimFit og Aktiv	31
Bilde 1 - SafeHip i bruk	8
Bilde 2 - Maria, 71 år	9
Bilde 3 - Kutt mønster i PORON skum	14
Bilde 4 - Form utarbeidet av SINTEF.....	14
Bilde 5 - Utvalg av produkter fra PORON	16
Bilde 6 - PORON M-Guard	16
Bilde 7 - Svært enkel testing av støtabsorpsjon i ulike materialer.....	17
Bilde 8 - Stikklås med knapp.....	22
Bilde 9 - Prototyper. f.v: SlimFit, Sporty og Aktiv	26
Bilde 10 - Testing av SlimFit.....	27
Bilde 11 - Testing av Sporty	27
Bilde 12 - Sporty, kveldsbruk med refleks.....	28
Bilde 13 - Forskjell på Aktiv med og uten bruk av spiler	28
Bilde 14 - Testing av Aktiv	28
Bilde 15 - Prototype av SlimFit	29
Bilde 16 - Prototype av Sporty.....	29

Bilde 17 - Prototype av Aktiv	29
Bilde 18 - Brundalen kultursenter	33
Tabell 1 – Brukerkrav, hoftebeskytter for aktive eldre	11
Tabell 2 – Grønn = SlimFit, Gul = Sporty, Rød = Tur	12

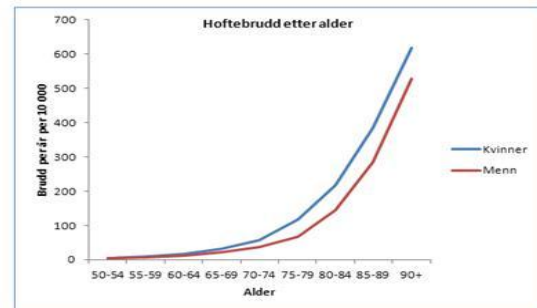
1 Innledning

1.1 Bakgrunn

InnoMed er et nasjonalt kompetansenettverk for behovsdrivet innovasjon i helsesektoren. De er etablert av Helsedirektoratet og deres mål er å bidra til økt effektivitet og kvalitet i helsesektoren gjennom utvikling av nye løsninger.

SINTEF er Skandinavias største uavhengige forskningskonsern. Gjennom InnoMed har SINTEF vært med på å utarbeide forprosjektrapporten «Forebygging av fallskader blant eldre» [4]. Denne rapporten har ligget til grunnlag for vårt arbeid med denne prosjektoppgaven.

Hvert år rammes 9000 personer av hoftebrudd her i Norge og vi er dermed det landet med høyest forekomst av hoftebrudd i verden. Hovedårsaken er redusert beinmasse i kombinasjon med fall. Risikoen for fall øker dramatisk etter fylte 70 år og sjansen for brudd er i tillegg mye høyere for damer enn for menn som vist i Figur 1. Tall viser at 8 av 10 med lårhalsbrudd er kvinner [8].



Figur 1 - Risikoen for fall øker eksponentielt med alder [8]

I Norge faller hvert år 30 % av eldre over 65 år og den mest dramatiske konsekvensen av dette er lårhalsbrudd. For de som brykker lårhalsen er dødeligheten 20 % innenfor det første året etter bruddet og av de resterende havner 25 % på sykehjem som resultat av skaden. Samtlige erfarer nedsatt mobilitet for resten av livet. For eldre som har opplevd fall kan dette til føre til nedsatt fysisk aktivitet, depresjon og utrygghet. [8]

En viktig årsak for lårhalsbrudd, sammen med lav beintetthet og lav vekt, er fysisk inaktivitet. Opp til 50 % av eldre som er redd for å falle reduserer eller utestår fra sosial og fysisk aktivitet på grunn av denne frykten. Lavere aktivitetsnivå fører til at styrke, utholdenhet og muskelkraft minker og da øker sannsynligheten for å falle [7]. Det er derfor viktig å opprettholde en aktiv livsstil når man blir eldre.

1.2 Prosjektspesifikasjon

Det eksisterer i dag flere produkter på markedet med mål å forhindre hoftebrudd. Selv om beskyttelsen som er i disse produktene oppfyller krav til sikkerhet, ligger problemområdet i at en for liten andel av målgruppen bruker beskyttelsen. Hovedintensjonen bak dette prosjektet ligger derfor i å endre denne innstillingen for å øke *compliance*¹.

Visjon: Skape økt bruk av hoftebeskyttelse for aktive, eldre mennesker.

Misjon: Øke trygghet og oppfordre til fysisk aktivitet hos eldre gjennom å skape gode holdninger mot produktet.

For å kunne oppnå dette skal vi prøve å motivere til gode holdninger til beskyttelsen gjennom å skape et produkt med positive assosiasjoner og et tiltalende utseende.

¹ Compliance: I hvilken grad pasienten følger legens medisinske råd

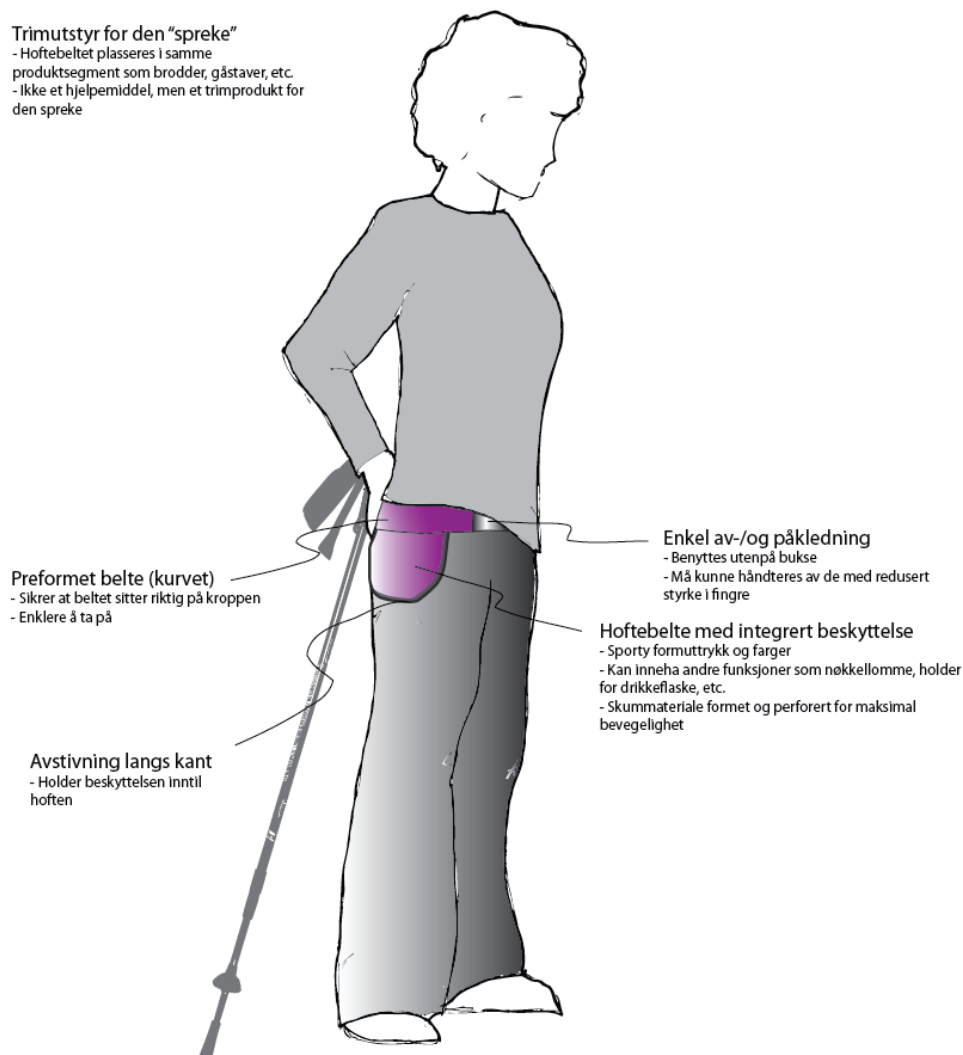
1.3 Formål

I SINTEFs forprosjektrapport [4] er det sett på eksisterende løsninger for å redusere sjansen for hoftebrudd. Et mulig tiltak er bruk av hoftebeskyttere. Behovskartleggingen avduket flere problemer rundt bruken disse, blant annet at de var lite tiltalende, ubehagelige i bruk, stigmatiserende og vanskelig å betjene.

I rapporten er det også presentert fem mulige løsninger der den ene er et gulvunderlag og de fire resterende er forskjellige utgaver av hoftebeskyttere utviklet for konkrete brukergrupper.

- For de svakeste eldre er det presentert et konsept med truse ment for engangs bruk
- For eldre over 75 år er det foreslått et konsept basert på en forbedring av den eksisterende løsningen *Wonderhip*
- For de friskeste eldre over 65: Turbukse med integrert beskyttelsespad
- For de friskeste eldre over 65: Trimbelte med integrert beskyttelsespad

I samråd med SINTEF og Protex ble det bestemt at vi skulle se videre på utviklingen av trimbeltekonseptet som er framstilt i Figur 2.



Figur 2 - Konseptforslag i forstudierapporten utarbeidet av SINTEF gjennom InnoMed

2 Metodikk

2.1 IPM-modellen

Utviklingen i dette prosjektet følger en itererende produktutviklingsmetodikk brukt av Institutt for Produktutvikling og Materialer, den såkalte IPM-modellen. Utviklingsprosessen følger veien fra behov til produkt gjennom flere faser med evalueringer og milepæler underveis. Jevnlig rapportering om prosjektets framgang er med på å gi de som står utenfor utviklingsprosessen eierskap om produktet samtidig som man bestemmer veien videre. Prosessen er konvergerende og sørger for at det er de beste idéene og innspillene som til slutt utgjør resultatet.

I startfasen går det grundig gjennom bakgrunnen for prosjektet, eksisterende løsninger og nødvendig informasjon tilknyttet emnet. Videre skal behov og hovedbrukergruppen analyseres før selve idégenereringen og konseptutviklingen kan begynne. Etter hvert skal ett eller flere sluttkonsepter velges og prototyper lages for disse. Kontinuerlig vurdering underveis knyttet opp mot prosjektets mål er essensielt for å kunne fullføre oppgaven på en tilfredsstillende måte.

2.2 Kartleggings- og utviklingsteknikker

I tillegg til forstudierapporten vi fikk fra SINTEF [4] har vi gjort flere semistrukturerte intervjuer med potensielle brukere. Dette ble gjort for å avdekke flere skjulte produktkrav eller posisjoneringsegenskaper samtidig som det gav oss en mer personlig kjennskap til prosjektet.

- Ved en anledning besøkte vi en trimgruppe for eldre mennesker med en gjennomsnittsalder på omtrent 80 år. Her ble det intervjuet to grupper på 3 og 5 intervjuobjekter og varigheten på hvert intervju lå på 10-15 minutter. Det eksisterende produktet *SafeHip* ble vist fram. (Vedlegg 1)
- En ytterligere runde med intervjuer ble gjort i marka med tilfeldige kvinnelige turgåere vi møtte på veien. Alderen på disse lå på mellom 60-70 år. Her ble intervjuene gjort med introduksjon av et eksisterende produkt samt en grov, uferdig prototype. Dette var for at intervjuobjektene kunne komme med innspill, egne idéer og se prinsippet bak produktet uten å ledes an i en spesiell retning. (Vedlegg 3)

Da vi foretok intervjuene i marka fikk vi også muligheten til å drive med bodystorming. Dermed fikk vi kjennskap til fordeler og ulemper med en eksisterende løsning i tillegg til hvordan produktet fungerer i praksis. Her hadde vi også med oss en svært enkel prototype som vi hadde laget for anledningen. Denne inneholdt de obligatoriske elementene for en hoftebeskytter; et belte med pads på hver side. Våre tanker etter bodystormingen er presentert i Vedlegg 2.

Observasjonene underveis, i tillegg til erfaringer gjort av intervjuobjektene som prøvde på seg produktene, hjalp oss til å lage et storyboard for en typisk brukersituasjon. Moodboard ble laget for inspirasjon og idégenerering (Vedlegg 4). Kartlegging av eksisterende løsninger og informasjon om tester og materialer ble gjort ved hjelp av søk på internett samt i bibliotekets internettdatabase.

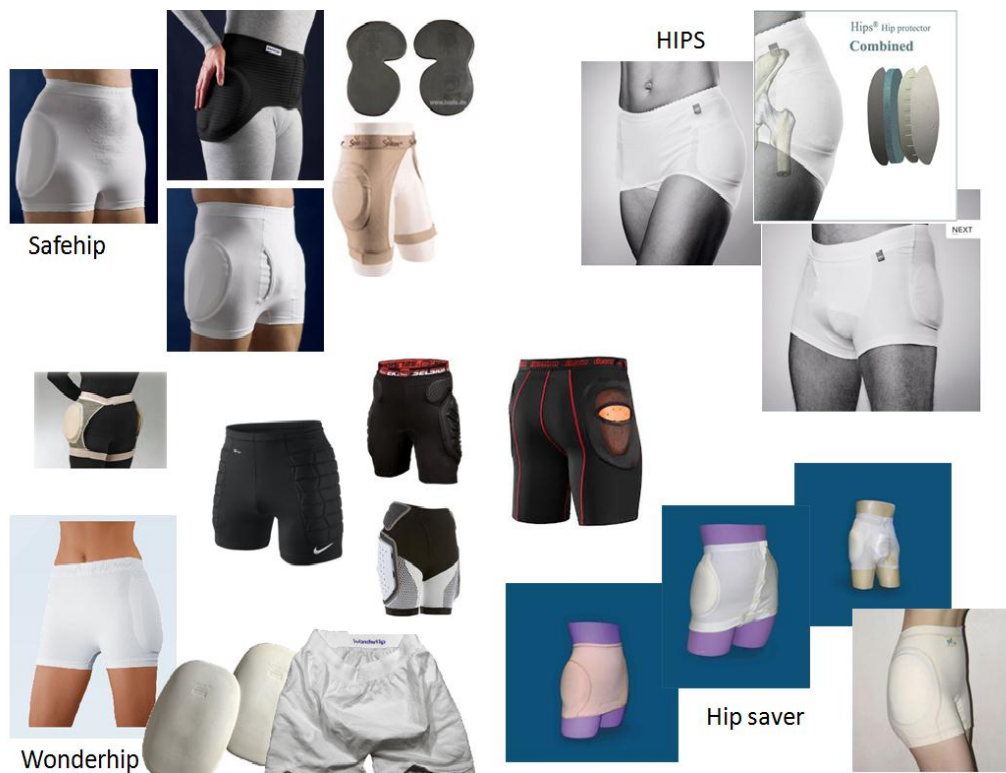
Vi lagde til slutt prototyper av de endelige konseptene for å få et inntrykk over formen, hvordan materialene fungerer sammen og hvilke styrker og svakheter løsningene har.

3 Kartlegging

For å danne oss et bilde av eksisterende løsninger på hoftebeskyttere, gjennomførte vi et omfattende nettsøk. Her så vi på hoftebeskyttere som var tilpasset eldre, men også løsninger som var ment for andre brukergrupper for eksempel innenfor idrett.

3.1 Eksisterende løsninger

Innen motorcross fant vi hoftebeskyttelser som var tilpasset høy aktivitet med kraftige sammenstøt. Blant padsene som var tilegnet sport var det brukt flere forskjellige «smarte materialer» i motsetning til padsene ment for eldre mennesker som stort sett besto av standard skummateriale og hardplast. Et eksempel på et smart materiale er D3O, et viskoelastisk materiale som hardner ved slagpåføring.



Figur 3 - Noen eksisterende løsninger på hoftebeskyttere

Vi brukte mye av det vi fant under denne kartleggingen til videre utvikling, spesielt med tanke på form og materialer som vi ønsket å bruke i padsene. Ulike produkter som eksisterer på dagens marked kan ses i Figur 3.

SafeHip

Gjennom SINTEF fikk vi utlevert et eksemplar av beskytteren *SafeHip Aktiv* (Fra nå av referert til som *SafeHip*) som finnes på det norske markedet. Denne ble brukt både under bodystormingen (Bilde 1) og som utgangspunkt for analyser og sammenligninger med de nye konseptene underveis.



Bilde 1 - SafeHip i bruk

3.2 Bruker

I denne oppgaven er primærbrukerne *friske, hjemmeboende eldre på 65 år og oppover*. Brukerne har gjerne en aktiv livsstil, de faller sjeldent og innser ikke egen risiko. De har sjeldent kontakt med helsevesenet og klarer seg selv uten hjelp.

Mer inngående informasjon om brukeren finnes i Vedlegg 5.

Brukerprofil

Maria på 71 år (Bilde 2): Hun liker å holde seg i aktivitet, går ofte på tur og klarer seg godt i hverdagen uten ekstra hjelp. Hun har aldri opplevd å falle og ser ikke på seg selv som i målgruppen for å trenge tradisjonelle hoftebeskyttere. Hun er litt skeptisk til å prøve helt nye produkter, men tar gjerne imot anbefalinger fra venner. Maria er stilbevisst og har en klar mening om hva hun synes er visuelt attraktivt.



”Jeg klarer meg selv, du trenger ikke å sy puter under armene mine!”

Bilde 2 - Maria, 71 år

Sekundærbrukere av produktet kan være sykehus og andre institusjoner, deltagere i trimgrupper, selgere, vaskeri eller yngre mennesker med spesielle hofteproblemer.

3.2.1 Brukssituasjon

Produktet er i hovedsak ment for å brukes utendørs på alt fra avstander til og fra postkassen til lengre turer ut i marka for å plukke bær. I Norge har vi ofte betydelige værforandringer gjennom et år; det inkluderer blant annet varme og kulde, nedbør, is, lys og mørke. Ettersom produktet designes for bruk gjennom hele året, sommer som vinter, må vi ta hensyn til dette.



Figur 4 - Storyboard

Aktiviteter som inngår under normal bruk kan i hovedsak være:

- Fra sakte til rask gange
- Sittende
- Trappegåing
- Jogging, løping
- Sykling, skigåing, skøyter

Løsningen bør være kompatibel med bruk av gå-staver.

3.2.2 Intervju

I løp av prosjektet gjennomførte vi to intervjurunder med mulige brukere (se Vedlegg 1 og 3). I disse intervjuene presenterte vi en av løsningene som finnes i dag (*SafeHip*), og spurte etter tilbakemeldinger om denne. Deretter spurte vi om mulige forbedringer på løsningen. Flere av de eldre som ble intervjuet prøvde på seg beskyttelsen mens vi observerte.

Hovedpunkter fra intervjuene

Problemer rundt eksisterende løsning:

- Harde puter
- Klam
- Lite flatterende utseende
- Stigmatiserende
- Tung
- Vanskelig å ta på seg
- Gled opp ved rask gange
- Unødvendig stor
- Mangel på oppbevaringsplass

Forbedringer

- Tilpasses kroppsform
- Ha under jakke/ytterbukse
- Tilpasset dame- og herremodell
- Refleks
- Spreke farger
- Oppbevaringsmulighet

3.3 Behov

Gjennom rapporten utarbeidet av SINTEF er det identifisert en rekke kriterier til en ny generasjon av hoftebeskyttere. Ved hjelp av disse brukerkravene, sammen med de brukerkravene vi har funnet gjennom våre intervjuer, har vi utarbeidet kriteriene vist i Tabell 1.

Betjening/funksjonalitet

- Mulig å betjene med svake hender og stiv rygg
- Mulig å betjene med hansker/votter
- Beskytte ved risiko for fall
- Intuitiv og enkel i bruk
- Benyttes av den eldre selv
- Enkelt vedlikehold

Holdninger/bevissthet

- Motivere til økt bruk
- Gjøre de friskeste eldre kjent med produktet
- Lett gjenkjennelig produktidentitet
- Treningsutstyr framfor hjelpemiddel

Tilgjengelighet

- Tilgjengelig i vanlige sportsbutikker på lik linje med gå-staver og lignende
- Muliggjør for individuell utprøving

Komfort

- Transporterer fukt
- Ivaretar kroppstemperaturen
- Behagelig ved gange
- Kompatibel med høy fysisk aktivitet

Estetikk

- Sporty utseende
- Ikke stigmatiserende
- Dame- og herreversjon
- Endrer ikke på kroppsfasongen

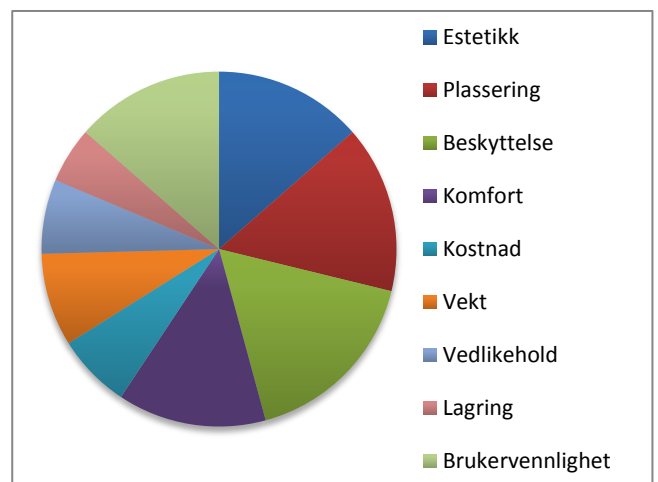
Tabell 1 – Brukerkrav, hoftebeskytter for aktive eldre

Med dette som grunnlag har vi utarbeidet en brukerkravspesifikasjon for hovedbruker og sekundærbrukere og ut ifra dette en produktkravsspesifikasjon for produktet (se Vedlegg 6 og 7).

Ut fra kriteriene som er presentert har vi identifisert noen elementer som vi mener er avgjørende for å oppnå en god løsning. Det er avgjørende at hoftebeskytteren gir tilfredsstillende beskyttelse mot hoftebrudd og dette oppnås gjennom tilstrekkelig beskyttelse av padsen og at de plasseres korrekt.

For å øke bruken er det vesentlig at hoftebeskytteren er god å ha på seg. Det er også viktig at produktet er estetisk pent. Siden brukergruppen ofte er plaget av nedsatt finmotorikk er god brukervennlighet av stor betydning.

I tillegg til disse hovedkriteriene er det viktig med vekt, pris, muligheter for lett oppbevaring og lavt vedlikeholdsbehov. For å illustrere viktigheten til hvert av kriteriene har vi vektlagt punktene illustrert i Figur 5.



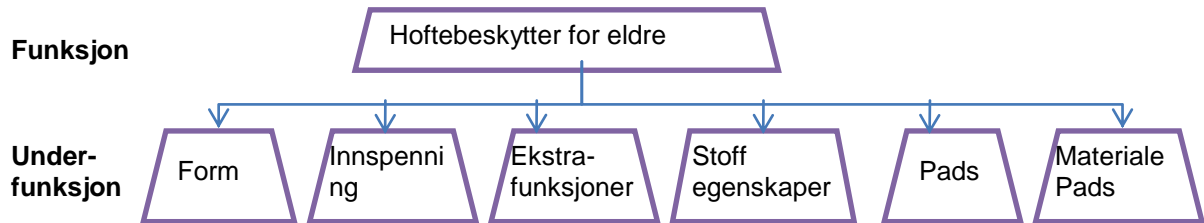
Figur 5 - Vekting av kriterier

Pliktetegenskaper for produktet er at den beskytter mot hoftebrudd og at beskyttelsen holder seg på riktig sted under bevegelse. Posisjoneringssegenskaper er komfort, estetikk og brukervennlighet.

4 Konseptutvikling

4.1 Idégenerering

Hovedfunksjonen til vårt prosjekt er å utvikle en hoftebeskytter for aktive, friske eldre. Ut fra dette identifiserte vi seks underfunksjoner som vi undersøkte nærmere, Figur 6.



Figur 6 - Funksjoner og underfunksjoner

4.2 Konsepter

Løsningene som ble generert ved hjelp av funksjonstreet ble oversiktlig plassert i en morfologisk tabell. Videre lagde vi flere stier nedover tabellen som hver representerer et konsept.

Utgangspunktet for de ulike konseptene er gjengitt med sirkler av ulike farger som vist i Tabell 2.

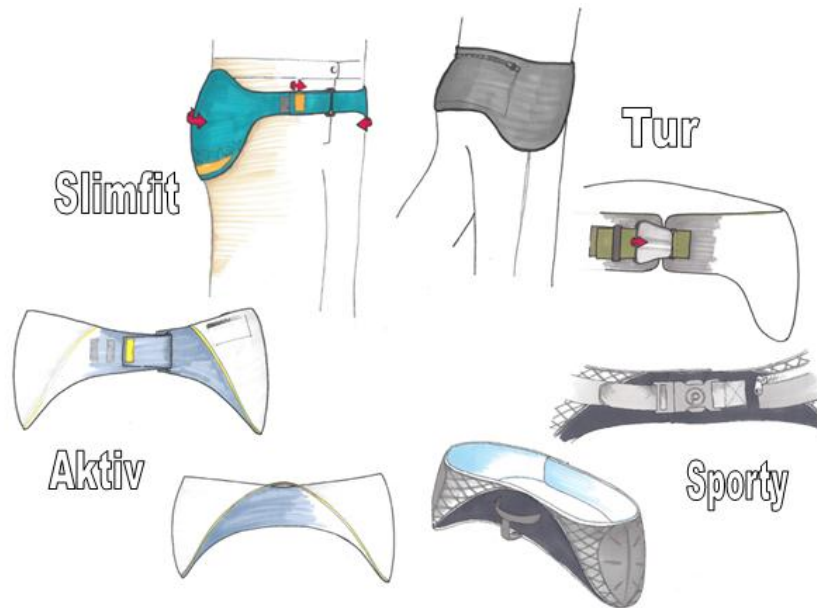
Løsninger/ Funksjoner	1	2	3	4	5	6
Form						
Åpne- og lukkeløsning						
Ekstra funksjoner						
Stoffegenskaper	Elastisk, fleksibelt	Vanntett	Pustende	Mykt	Tåler vask	Spacing fabric
Pads						
Materiale (pads)	D3O	Skum	Hard, plast	Engangs	Struktur	

Tabell 2 – Grønn = SlimFit, Gul = Sporty, Rød = Tur

Denne prosessen resulterte i tre konseptforslag som oppfyller brukerens ulike behov på en god måte. Disse ga vi arbeidsnavnene *SlimFit*, *Sporty* og *Tur* og de er indikert ved hjelp av sirkler i tabellen.

Gjennom arbeidet med konseptene ble det laget enda ett konsept som var en kombinasjon mellom *Sporty* og *SlimFit*. Dette konseptet kalte vi *Aktiv*.

SlimFit har fokus på å minimere areal og tykkelse. Den er av fleksibelt materiale, følger kroppsbevegelsene og passer godt med en aktiv livsstil. *Sporty* er en robust løsning som har et sportslig uttrykk. Beskytteren er uelastisk og laget av et lett og pustende materiale. *Tur* er et konsept som er tilpasset lange, rolige turer hvor man kan ha behov for oppbevaringsmuligheter. Den er laget et uelastisk, mykt materiale.



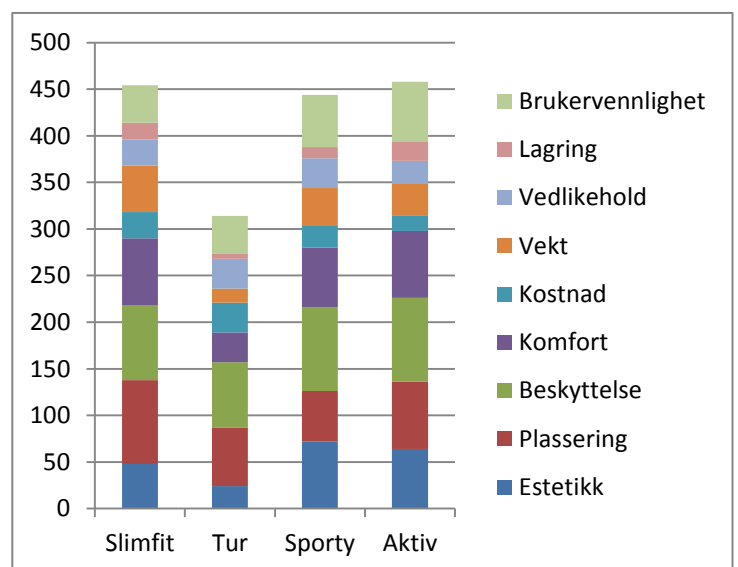
Figur 7 - Resultat av konseptgenerering

4.3 Konseptevaluering

SlimFit, *Aktiv* og *Sporty* er tilrettelagt for en noe annen brukergruppe enn *Tur*-konseptet. *SlimFit*, *Aktiv* og *Sporty* er tilpasset høy fysisk aktivitet, mens *Tur* er mer tilrettelagt for et noe lavere aktivitetsnivå.

Konseptene ble evaluert etter hvilken grad de oppfylte behovskriteriene fra Figur 5. Denne graden av oppfyllelse er vist for hvert konsept i Figur 8. Ut fra figuren kan man se at *Tur* oppnår betraktelig dårligere resultat enn de tre andre konseptene. På grunnlag av dette valgte vi å ikke jobbe videre med *Tur*-konseptet.

SlimFit, *Sporty* og *Aktiv* oppfyller brukerkriteriene til en stor grad alle tre. SINTEF og Protex ytret et ønske om å fortsette utviklingen av disse tre konseptene. Resten av rapporten vil derfor fokusere på disse tre.



Figur 8 - Vekting av hvert konsept

5 Beskyttelsespads

5.1 Form

Formålet til padsen er å absorbere slagkraften og spre den utover et større område slik at toppspenningen reduseres. Choi, Hoffer og Robinovitch [2] har testet krefter på en myk, heldekkende skumpad og viser at selv om den testede beskytteren hadde lite påvirkning for total slagkraft, gav den store endringer i verdiene for lokal spenning og trykkfordeling. Laing og Robinovitch [6] testet den samme paddingen med et ganske annerledes resultat med hensyn på total absorbert slagkraft (19 % mot 70 %). Dette avviket kan skyldes ulikheter i testoppsett spesielt med tanke på kroppsposisjon ved fall. Dette viser at kroppsposisjonen (og dermed kroppens effektive stivhet) spiller en viktig rolle for resultatene.

Laing og Robinovitch [6] testet den heldekkende padsen opp mot en hestekoformet pads som er å finne i *SafeHip*. Sistnevnte fungerer ved at det kritiske området rett over den store lårbeinsknoten (*trochánter májor*) ikke dekkes av padsen og kreftene går direkte til de nærliggende områdene rundt. De fant ved denne testingen ut at gjennomsnittlig trykk reduseres marginalt mer ved bruk av hestekoformen, mens total kraft absorberes bedre ved en heldekkende beskyttelse. På grunnlag av dette har vi bestemte oss for å satse på et heldekkende materiale. Dette bør også være mykt og fleksibelt med tanke på endring av form og fasong. Myke, fleksible pads vil også være mer komfortable i bruk og resulterer derfor i høyere compliance enn andre harde hoftebeskyttere.

De eksisterende padsene som finnes på dagens marked kommer i en rekke ulike former. Dersom materialet er relativt stivt vil det være gunstig å tilføre spor eller kutt i padsen for å bedre fleksibiliteten uten å endre på selve materialet. Dette er gjort av den finske bedriften *NMC Cellfoam Oy* som har patentert et spesielt kuttmønster (se Bilde 3) som skal gi stivere materialer en forbedret fleksibilitet og pusteevne. Kuttene gjør at stoffet kan dobbeltkrummes uten at det oppstår bukling, noe som er svært gunstig for kroppsnære produkter.



Bilde 3 - Kuttmønster i PORON skum



Bilde 4 - Form utarbeidet av SINTEF

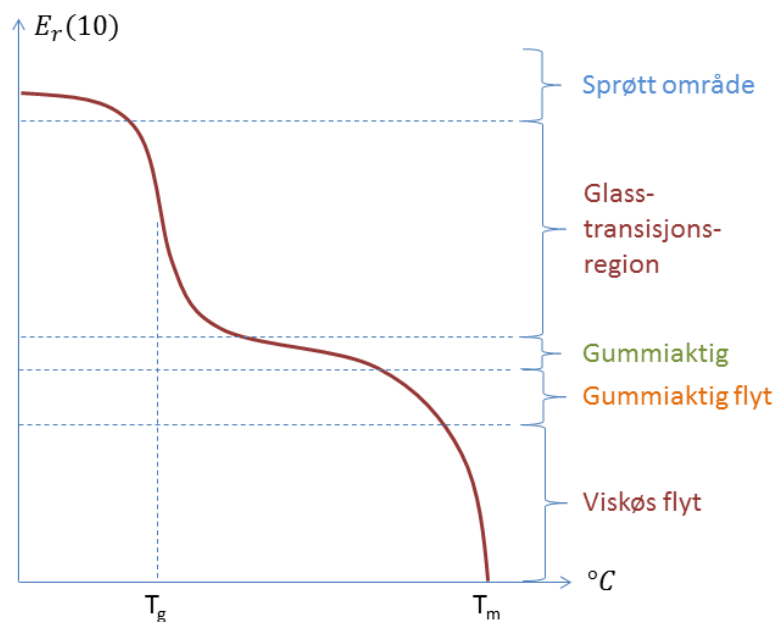
Formen kan gjøres ytterligere fleksibel ved å lage innsnitt på sidene slik at paddingen vil følge hoftebøyen i større grad. SINTEF har kommet med et forslag [4] til form (Bilde 4) som er utviklet for å følge kroppsfasongen best mulig.

Ettersom hoftebeskytteren skal brukes sammen andre klesplagg og føles mest mulig diskret ved bruk, er det også mest gunstig å bruke pads av et mykt materiale. Innenfor denne kategorien var det også mange forskjellige materialer å velge mellom, men etter mye leting på nettet og teoretiske

sammenligninger falt valget på et viskoelastisk materiale, nærmere bestemt polyuretanskum. Dette er i tråd med hva SINTEF foreslår i sin rapport[4].

5.2 Polyuretan (PUR)

Polyuretan er et termoplastisk materiale laget ved polyaddisjon av polyisocyanat og polyol [5]. Materialet inneholder alternerende sekvenser av harde og mye segmenter og betegnes som en halvkrystallin polymer. Slike halvkrystalline polymere er sprø ved temperaturer under den materialspesifikke glasstransisjonstemperaturen, T_g [1]. Etter hvert som temperaturen går over denne grensen, vil materialet få en viskoelastisk oppførsel. Ved ytterligere temperaturøkning blir materialet mer og mer viskøst før det til slutt når smeltetemperaturen, T_m . Temperaturendringen forårsaker altså en endring i materialets oppførsel gjennom flere faser som vist i Figur 9.



Figur 9 - Materialoppførsel for viskoelastisk materiale

Viskoelastisk oppførsel hos polymere materialer kan måles ved hjelp av spenningsrelaksasjon med relaksasjonsmodul; $E_r = \sigma(t)/\epsilon_0$. Molekylære avslapningsprosesser i polymerkjedene sørger for at spenninger i materialet, og dermed også E_r , minker med tiden.

Den viskoelastiske karakteristikken vil i tillegg til tid og temperatur påvirkes av spenningen som påføres materialet. *En økt belastningshastighet vil gi lik konsekvens som en senket temperatur.* Dette vil med andre ord si at et kraftig slag vil øke relaksasjonsmodulen. Resultatet blir et midlertidig stivere materiale med uelastisk oppførsel. Molekylkjedene er da frosset i posisjonen sin inntil belastningshastigheten avtar igjen.

Dette er prinsippet bak støtabsorberende PUR-skum. Ubelastet vil dette materialet være mykt og fleksibelt og uretanmolekylene vil da være over den tilhørende glasstransisjonstemperaturen, T_g . Ved belastning med høy hastighet vil E_r nå et nivå hvor uretanmolekylene midlertidig fryses slik at hele materialet hardner og utgjør et beskyttende skall. Dette skallet sørger for at kreftene fra slaget absorberes og spres utover til et større område, noe som medfører en vesentlig redusert toppspenning. Etter kort tid vil materialet igjen gå tilbake til sin opprinnelige tilstand.

5.3 PORON polyuretanskum

Det endelige valget falt på materialet *PORON XRD Extreme Impact Protection* som er et støtdempende skum laget av viskoelastisk polyuretan. Dette materiale er i samsvar med SINTEFs forslag til materiale [4]. Det har en uniform mikrocellulær struktur med cellestørrelse på omtrent 100 mikrometer [10]. Polyuretanskummet er et såkalt «memory-foam» som vil si at det gjenfinner den opprinnelige formen etter deformasjon. Den åpne cellestrukturen gjør materialet delvis pustende. Produsenten hevder selv at deres skummaterialer kan absorbere slagkrefter med opp til 90 %. Et slag vil normalt sett ikke forringe materialet og en PORON beskyttelse skal derfor fungere like bra etter mange belastninger [9]. Dette skummet leveres i metervare med tykkelse og tetthet etter behov. Man kan også kjøpe ferdigstøpte komponenter som kan integreres direkte i beskytteren ved hjelp av lommer eller åpninger. Et utvalg fra produsenten PORON er vist i Bilde 5. Den ferdigstøpte komponenten *M-Guard* vises i Bilde 6.



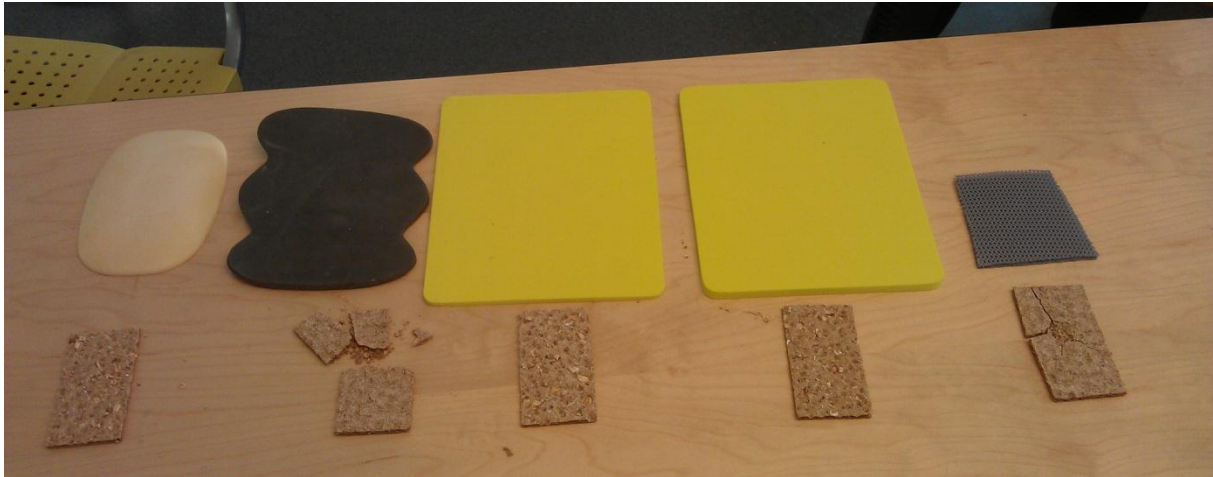
Bilde 5 - Utvalg av produkter fra PORON



Bilde 6 - PORON M-Guard

5.4 Enkel impact-test

For å skaffe oss et inntrykk av egenskapene hos skummaterialet fra PORON bestemte vi oss for å ta en veldig enkel test for å sammenligne materialenes evne til beskyttelse. For å illustrere disse egenskapene benyttet vi knekkebrød av typen *Wasa fiber balance*. Et slag ble påført ved å slippe et lodd med vekt på 750 gram fra en høyde på omtrent 20 cm ned på knekkebrød beskyttet av de ulike materialene.



Bilde 7 - Svært enkel testing av støtabsorpsjon i ulike materialer

Materialer som ble testet er vist i Bilde 7. Rekkefølge fra venstre:

1. WonderHip pad-materiale 15mm
2. Skumpad funnet i knærne på snowboardbukse 6mm
3. PORON XRD-09236-35 6.0mm
4. PORON XRD-12374-35 9.5mm
5. Spacer fabric 6mm

Som man kan se i Bilde 7 var resultatet knusende for material 2 og 5. Skaden tydet på at kreftene var dårlig fordelt utover knekkebrødet, noe som resulterte i at knekkebrødet knuste. For material 1, 3 og 4 så det ut til at beskyttelsen gjorde nytten. Kraften var her mer fordelt og toppspenningen var derfor redusert nok til at knekkebrødet forble helt. Vi så ingen store forskjeller på material 3 og 4 til tross for stor tykkelsesforskjell på skummet.

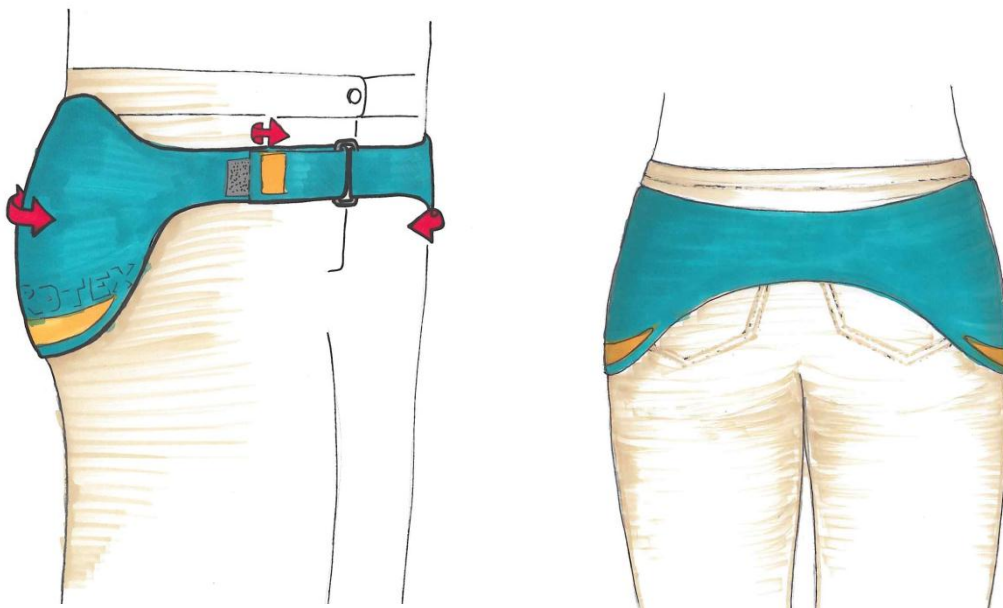
Gjennom denne enkle testen fikk vi et inntrykk av hvordan beskyttelsen fungerer i praksis.

6 Løsninger

I denne delen tar vi for oss de valgte løsningene og går nærmere inn på detaljer for hver av dem.

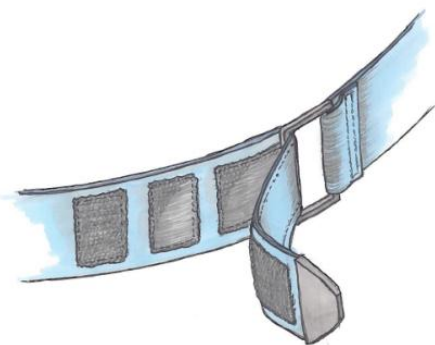
6.1 SlimFit

Gjennom brukerundersøkelsene ble behovet for en minst mulig dominerende hoftebeskytter uttrykt av flere. *SlimFit* (se Figur 10) er en beskytter med fokus på å være tynn og kompakt og har derfor ingen tilleggsfunksjoner som bidrar til å gjøre beskytteren større. Beskytteren holder seg godt inntil hofta og følger enhver bevegelse til brukeren. *SlimFit* kan brukes under klærne hvis dette er ønskelig. Den har et friskt uttrykk og kan komme i flere spreke farger.

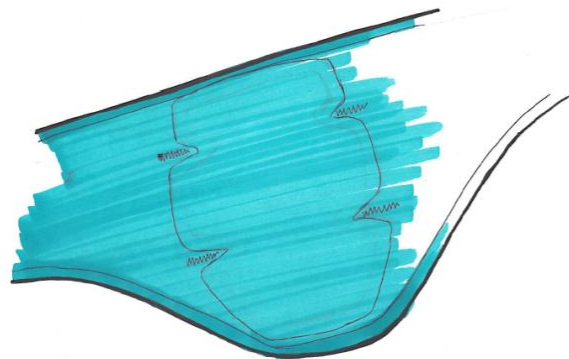


Figur 10 - Konsept SlimFit

For at beskyttelsen skal sitte god på kroppen er det viktig at den er lett å justere. Det bør være enkelt å få beskytteren riktig på og stramme den til ønskelig posisjon. Vi har valgt en løsning hvor den ene enden av beltet føres inn gjennom en slags ring i den andre enden før den tilbakeføres og strammes til ønsket omkrets. Dette er vist i Figur 11. Dette gjør at belteendene alltid vil være sentrerte og man kan også stramme beltet med kun én hånd. På denne måten trengs det mindre krefter og presisjon i fingrene for å feste på seg beskytteren.



Figur 11 - Stramming i retur



Figur 12 - Sømmer i innsnitt

Vi har identifisert flere løsninger for å sikre plasseringen til padsen inne i hoftebeskytteren så den ikke glir ut av posisjon. En løsning kan være å sy en søm i padsens innsnitt som vist i Figur 12. Ved å ikke ha sømmer langs hele kanten unngår man at padsen blir visuelt dominerende, men man kan oppleve at overflaten blir bulkete.



Figur 13 - Tverrsnitt, limlag indikert av rød pil



Figur 14 - Tverrsnitt, avrunding av pads

En annen løsning kan være å lime padsen fast i det underste stoffet som vist i Figur 13. Dette forhindrer bulker, men kan i midlertid ha en innvirkning på elastisiteten.

For at overgangen fra padsen til stoffet skal være mest mulig diskret kan man lage en skrånende kant på padsen. Dette gjør man ved å kutte padsen i en vinkel som indikert i Figur 14.

På grunn av det fleksible stoffet og den kompakte formen tar *SlimFit* liten plass under oppbevaring.

Materialer SlimFit

Beskytteren skal lages i et pustende og fleksibelt stoff tilpasset høy aktivitet. Det må være slitesterkt og tåle regelmessig bruk over tid. Det finnes flere egnede stoffer som vanligvis benyttes i sportsklær. Stoffet bør ha en god evne til å transportere fukt og svette vekk fra huden slik at den kan brukes både over og under klærne.

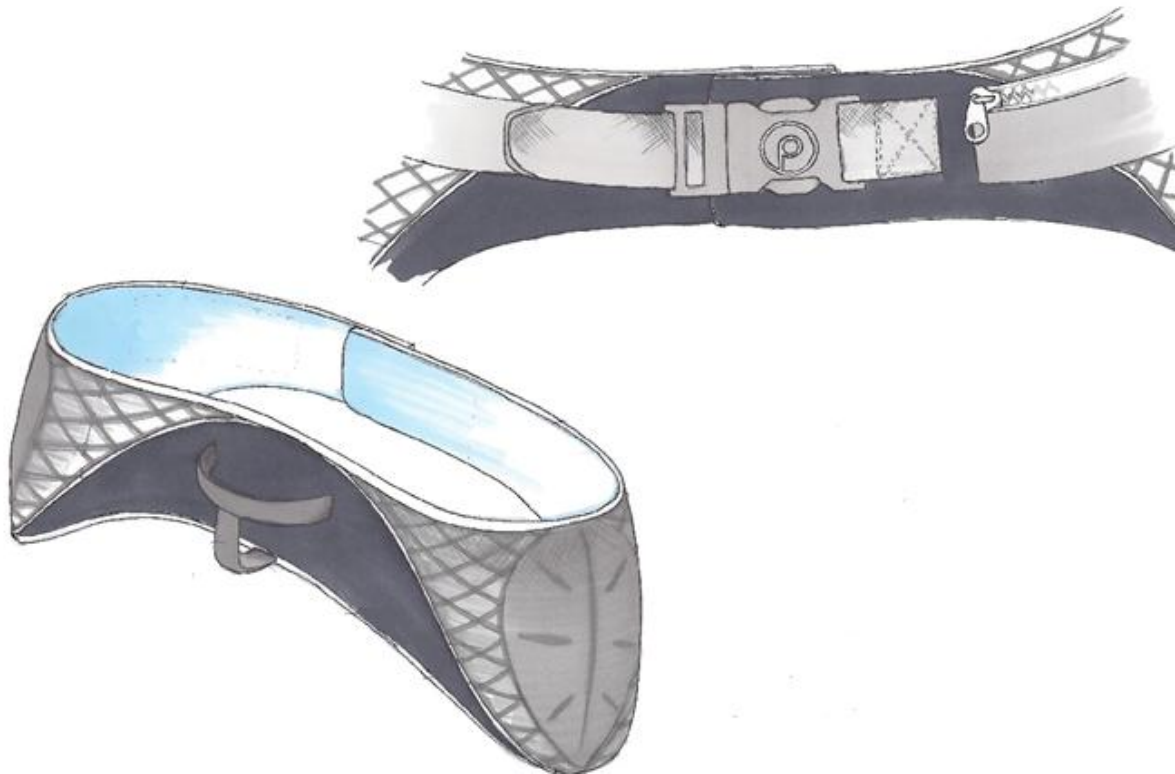
Et materiale som kan være egnet er 100 % Lycra® med ekstra ventilering gjennom mesh-partier av 85 % nylon og 15 % spandex. Dette brukes allerede i sportsklær som for eksempel racingdresser for skisport og lignende.

SlimFit stiller høye krav til valg av materiale og form til padsen. Padsen må ha en viss evne til å transportere fukt i tillegg til å følge kroppens bevegelse på en tilfredsstillende måte. Disse kravene oppfylles ved bruk av skummet fra PORON som er presentert i kapittel 5.

Borrelåsen kan være selvklebende av typen OMNI-TAPE. Enden av beltet som skal føres gjennom ringen for stramming bør ha en avrundet ende av plast for å forenkle innføringen.

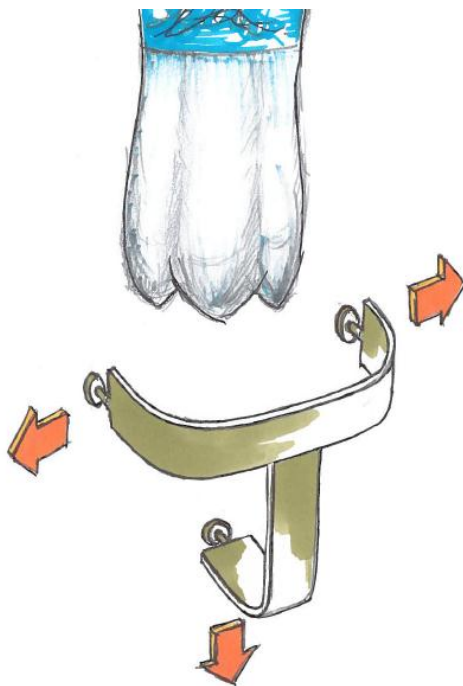
6.2 Sporty

Sporty er en beskytter med et tøft og robust uttrykk. Beskytteren har en rekke likheter med annet sportsutstyr som ryggsekker og lignende og fjerner derfor assosiasjonen til hjelpemidler, se Figur 15.



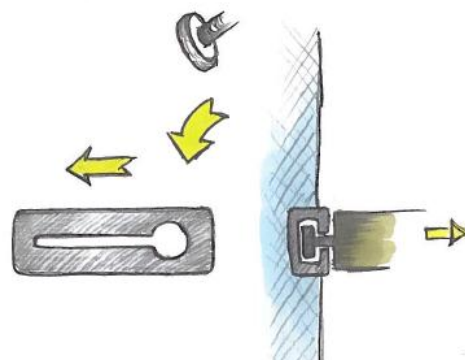
Figur 15 - Konsept Sporty

Beskytteren har flere ekstrarfunksjoner som for eksempel en liten lomme på siden med plass til nøkler, bankkort og småpenger og muligheten for en flaskeholder på baksiden.



Figur 17 - Avtagbar flaskeholder

Fra brukerundersøkelser (Vedlegg 1 og 3) har det vist seg at det er stor forskjell på hva folk ønsker å ha med seg på tur. Derfor er det viktig at denne holderen ikke tar mye plass for brukere som eventuelt ikke vil benytte seg av den. Dette kan løses ved en sammenleggbar lomme eller at det er mulig å ta den av og på etter ønske. Vi har i denne løsningen valgt en avtakbar løsning (se Figur 17).

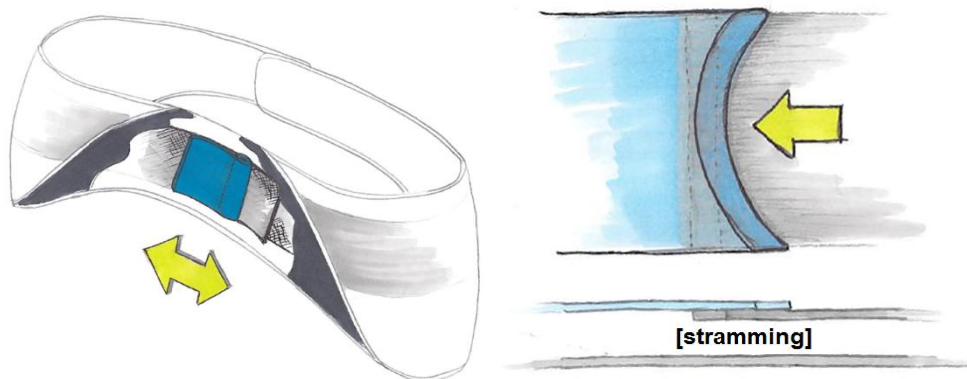


Figur 16 - Skyvespor for flaskeholder

Løsningen fungerer ved hjelp av skyvespor som er innfelt i stoffet (se Figur 16) slik at festepunktene blir så diskrete som mulig når flaskeholderen ikke brukes. Dermed kan hoftebeskytteren også kombineres med ryggsekker osv. Når flasken plasseres i holderen vil festeknottene naturlig skyves utover og låse fast flaskeholderen til beltet.

I tillegg til dette er beskytteren utstyrt med refleks slik at beskytteren også kan brukes i mørkere omgivelser. Beskytteren har lav totalvekt og er derfor behagelig å ha på seg på lengre turer. Den stødige formen gjør den svært lett å ta av og på for brukeren.

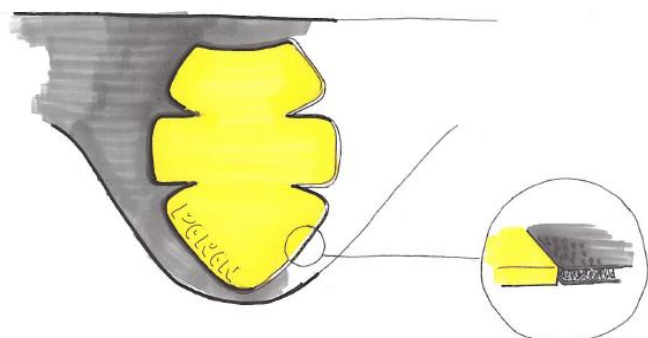
Ettersom *Sporty* ikke er elastisk, setter dette høye krav til beskytterens form og det er derfor viktig å ha en dame- og herreutgave. Videre må det være mulighet for å justere den bakre delen av beskytteren slik at størrelsen kan justeres samtidig som man opprettholder padsens posisjon på hofteledd. Justeringen gjøres ved første gangs bruk og kan derfor bli gjort på utsalgsstedet i forbindelse med salget. Stramminger bak gjøres via en skjult lomme som vist i Figur 18 og vil derfor ikke ha noe innvirkning på formen. Justeringssystemet på baksiden bør være så tynt som mulig for ikke å skape ubehag.



Figur 18 - Stramming bak på Sporty

Sporty har en sømløs innside for å øke komforten ved bruk og for å minke sannsynligheten for at klær eller hud kommer i klem. Beskytteren innside er i et behagelig materiale som føles godt mot huden. På innsiden langs øvre kant kan det være en mulighet å sette på et bånd i silikon som sørger for at beskyttelsen holder seg på plass under bruk.

Padsen er innfelt i materialet og vil derfor ikke være spesielt synlig fra utsiden (som vist i Figur 19). Dette er også med på å fjerne inntrykket av at produktet er et hjelpemiddel.

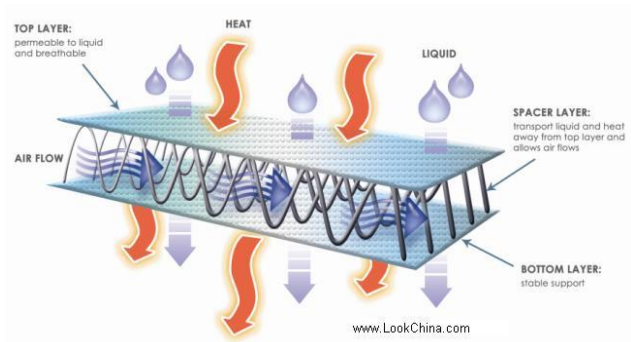


Figur 19 - Overgang mellom pads og stoff

Materialer Sporty

Sporty er laget med bruk av "spacer fabric". Dette er et stoff som består av et lag med stående polyesterfiber mellom to flate lag av polyesterstoff som indikert i Figur 20. Dette stoffet har høy pusteevne og er derfor med på å ivareta kroppstemperaturen. Stoffet har i tillegg en viss mulighet til å absorbere støt. Stoffet har noenlunde lik tykkelse som padsen, noe som minker høydeforskjellen mellom padsen og resten av beskytteren. Beskytteren dekkes med et annet tynt stoff på inn- og utside. Dette må være tynt, slitesterkt og pustende, for eksempel slikt som man finner i allværsjakker.

Beltet festes med en plastspenne av typen stikkelås. Stikkelås er en løsning brukeren er kjent med og vil derfor ikke føre til unødvendige utfordringer med å forstå seg på mekanismen. For å gjøre innfestningen brukervennlig ønsker vi å benytte en stikkelås med én knapp på midten som vist i Bilde 8. Det viktigste er at den er enkel å utløse.



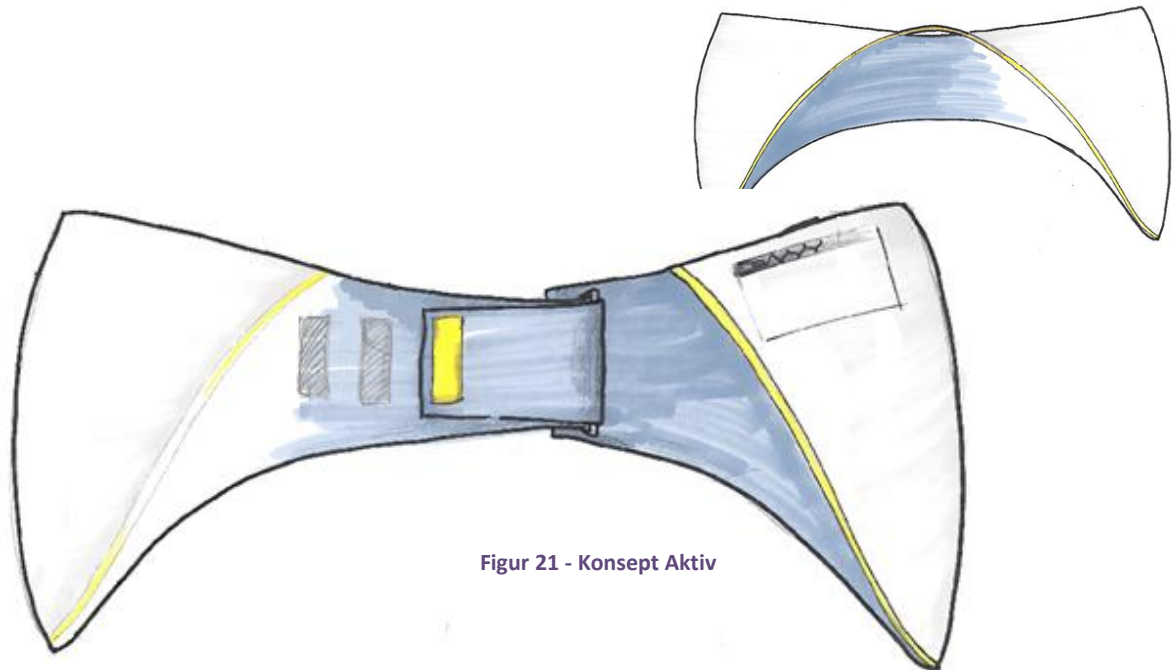
Figur 20 - Prinsipp bak "spacer fabric"



Bilde 8 - Stikkelås med knapp

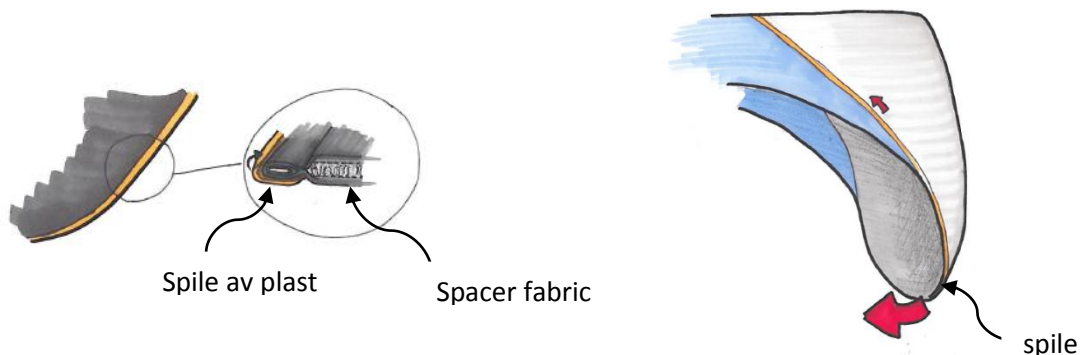
6.3 Aktiv

Aktiv er en kombinasjon av de beste elementene fra *Sporty* og *SlimFit*. På sidene brukes et stødig materiale mens det foran og bak er et elastisk stoff som gjør at beskytteren følger kroppen, se Figur 21. Innfestningen følger samme prinsipp som *SlimFit*.



Figur 21 - Konsept Aktiv

Det er satt inn spiler i sidekantene som går oppover mot midten foran og bak. Disse vil tilføre en kraft som virker innover mot kroppen og gjør at beskytteren holder seg inntil hoften under bevegelse, se Figur 22.



Figur 22 - Spiler i Aktiv

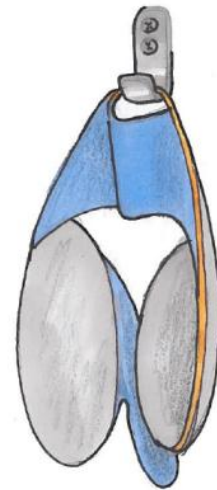
I likhet med *Sporty* er padsen innføyd inn i spacerstoffet rundt og vil derfor ikke være synlig på utsiden av beskytteren.

Aktiv inneholder få ekstrarfunksjoner. Den har i likhet med de andre konseptene refleks og i tillegg har den en liten lomme på siden av beskytteren tilegnet nøkler og småpenger.

Spilene vil gå langs linjen av refleksbåndet. For å få designet til å «flyte» fra den ene padsen til den andre, har vi valgt å la buen med refleksbånd gå opp mot ryggen og skape et lite åpenrom mellom buens toppunkt og den bakre delen av beltet. Dette er i hovedsak for ikke å forhindre fleksibiliteten i

materialet som brukes på baksiden, men i tillegg vil dette åpenrommet fungere utmerket som opphengingspunkt for oppbevaring på knagger i garderoben, se Figur 23.

Beskytteren tar på grunn av de fleksible delene liten plass ved oppbevaring i sekk eller lignende.



Figur 23 - Oppheng

Materiale Aktiv

I *Aktiv* har vi brukt det samme elastiske stoffet som i *SlimFit* for bruk i midtpartiene foran og bak. Materialets pustende egenskaper tilfører ekstra ventilasjon som er gunstig ved ryggpartiet som er spesielt utsatt for perspirasjon på grunn av høy aktivitet.

Spacer fabric er også her benyttet i sidepartiene for å skape en stødigere struktur. Denne bidrar også til å skjule padsene på lik linje som for *Sporty*.

Spilene er av plast og tåler dermed fuktighet og vasking ved behov, men det kan med fordel brukes vaskepose ved maskinvask. Det er viktig å feste spilene godt i produksjonen slik at de ikke penetrerer stoffet i endene og kommer ut av posisjon.

6.4 Oppbevaring:

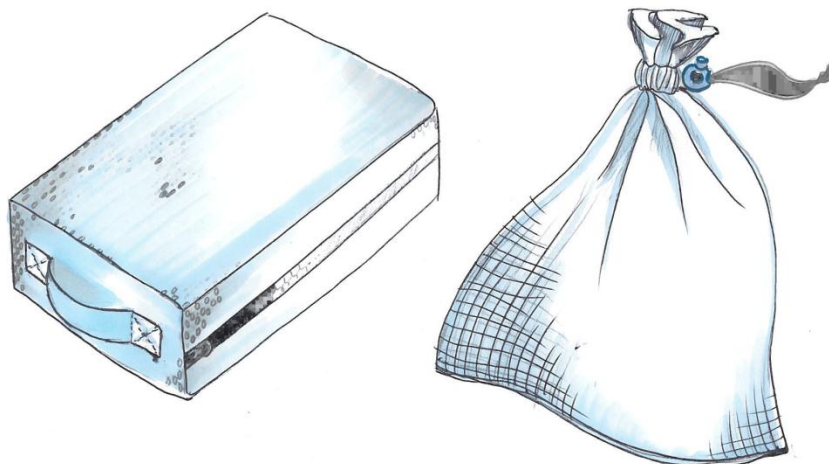
For å spare miljøet ved bruk av mindre emballasje har vi kommet fram til en merkelapp av resirkulert papp som kan inneholde den viktigste informasjonen som logo, størrelse, strekkode osv. Fargestoffene som benyttes i emballasjen skal være miljøvennlige. Merkelappen kan også ha en integrert funksjon for oppheng i butikkhyllene, se Figur 24.



Figur 24 - Merkelapp i papp med hull for oppheng

Hoftebeskytteren kan komme i en nettingpose for å beskytte materialene ved maskinvask eller til å bruke ved oppbevaring. To muligheter er vurdert, se Figur 25.

1. Formsydd nettingpose med glidelås og håndtak for frakting eller oppheng på knagg, butikkreol eller lignende
2. Enkel pose med snøring for åpning/lukking



Figur 25 - To ulike vaskeposer

7 Prototyper

Gjennom å lage prototyper fikk vi et konkret innblikk i styrker og svakheter ved de valgte konseptene samtidig som det gav oss verdifull erfaring omkring fasong og plassering av beskytteren. Prototypene gjør det i tillegg lettere å kommunisere løsningen bedre med interessenter i utviklingsprosessen, i dette tilfellet SINTEF og Protex. Målet vårt var at de skulle etterligne konseptene både i form og med materialer så langt det var mulig.

Fra Protex fikk vi stoffprøver tilegnet sportstøy som vi kunne benytte i prototypene. Dette stoffet ble brukt i de fleksible partiene i *SlimFit* og *Aktiv*. For å kunne etterligne spacer fabric i *Aktiv* og *Sporty* benyttet vi oss av filt og fliselin for å oppnå ønsket tykkelse og stivhet. Resten av materialene som trengtes ble kjøpt inn gjennom en vanlig stoffbutikk. Paddingen ble laget av PUR-skum som vi skar ut fra materialprøver som vi mottok fra PORON via Protex (materiale XRD-12374-35).

Resultatet av prototypelagingen er vist i Bilde 9.



Bilde 9 - Prototyper. f.v: SlimFit, Sporty og Aktiv

7.1 SlimFit

SlimFit prototypen var som tidligere nevnt laget i et fleksibelt og pustende stoff som var tilegnet sportsutstyr. Dette materialet var noe tynt ettersom det gav et litt ustabil inntrykk. Man bør derfor se på andre litt mer stabile stoffmuligheter til den endelige løsningen.

Én utfordring ved *SlimFit* er å få den til å holde seg inntil hoftene, noe som kan løses på flere måter. Formen må være slik at den nederste delen av padsen blir dyttet innover mot hoften ved stramming av beltet. Dette ble gjort gjennom å justere avrundingen av stoffbuen på midtpartiene foran og bak på beskyttelsen. En annen mulighet er å sy det innerste stoffet litt mindre enn det ytterste ved en tolags løsning eller å ha et kantbånd langs sidene som er noe mindre enn beskytterens utside. Dette vil da tvinge stoffet til å gå innover.

Tykkelsen på padsen kommer tydelig frem ved denne løsningen og det er derfor nødvendig at padsen er så tynn som mulig. Man bør i tillegg avrunde kantene tilstrekkelig slik at overgangen blir jevn.

Vi mottok en prøve fra *T.Pladsen* på selvklebende borrelås av typen OMNI-TAPE. Denne hadde i midlertid ikke tilfredsstillende sammenføyingssegenskaper ettersom det krevdes ekstra store krefter å feste den sammen på grunn av at krokene i borrelåsen var lavere enn filten. Vi foreslår derfor at den endelige løsningen ikke inkluderer denne typen borrelås, men heller en annen borrelås som i tillegg er fleksibel. Dette ville være gunstig for ikke å forhindre elastisiteten i beltet. Eventuelt kunne en uelastisk borrelås stykkes opp i mindre partier slik at de mellomliggende områdene fortsatt beholdt

fleksibiliteten fra stoffet. Denne siste løsningen ble implementert i prototypen og ble ansett som tilfredsstillende.

Det kom tydelig fram at en avrundet ende av plast på den ene enden av beltet ville være til god hjelp under innspenning for å lette føringen inn gjennom strammingen.

Ved prøving av *SlimFit* erfarte vi at den var lett og behagelig å ha på. Man la nesten ikke merke til at man hadde den på, noe som var ekvivalent med konseptets grunnidé. Den fulgte kroppsbevegelsene godt og satt godt inntil hofta. Den ble ikke lagt merke til av andre ved bruk under klærne.

Det var til tider vanskelig å forsikre seg om korrekt plassering i forhold til hoftebeinet, noe som eventuelt kan by på problemer ved bruk.



Bilde 10 - Testing av SlimFit

7.2 Sporty

På grunn av mangel av spacer fabric måtte *Sporty* lages i et annet materiale enn først tiltenkt det endelige konseptet. Dette medførte at beskytteren hadde dårlige termiske og pustende egenskaper som det ferdige produktet mest sannsynlig ikke ville hatt. Likevel ga prototypen oss et veldig godt innblikk med hensyn på formtilpassing. *Sporty* er det konseptet med desidert størst utfordringer med tanke på form og tilpassing til brukeren på grunn av det uelastiske materialet. Dette var spesielt tydelig på baksiden over rumpa ettersom formen her varierer mye fra individ til individ og spesielt mellom mann og kvinne. Dette betyr at det for *Sporty* er avgjørende å ha en dame- og en herremodell. Justering er viktig for å oppnå optimal posisjonering på hofta. For at flere brukere skal kunne bruke én størrelse vil en mulig løsning være å



Bilde 11 - Testing av Sporty

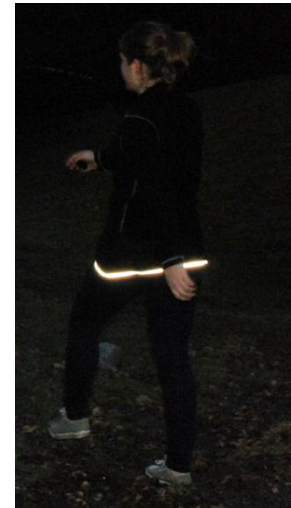
ha en ytterligere innstrammingsfunksjon i den bakre delen av beskytteren. Dette er også presentert under delkapittel 6.2. Det er for dette konseptet viktig å bruke tilstrekkelig med tid på å finne en form som passer mange ulike kroppsfasonger. I prototypen av *Sporty* er det ikke tatt hensyn til strammingen bak.

Riktig valg av innfestning er sentralt for at beskyttelsen ikke skal bli for vanskelig å ta av og på. I prototypen har vi benyttet oss av en stor plastspenne som vi hadde tilgjengelig, men denne var krevende å åpne og lukke. Det er viktig at løsningen for innspenning ikke stiller for store krav til finmotorikk og styrke i fingrene og en slik innspenning må derfor velges i samråd med leverandør av slike spenner.

Ved testingen erfarte vi at beskytteren var komfortabel og følte lett. Den stødige formen gjorde det enklere å ta på seg beskytteren, noe som var i tankene under konseptutviklingen. Vi erfarte at

beskyttelsen skapte trygghet gjennom å være robust uten å bli for dominerende. Den kunne til tider gli opp ved store bevegelser. Dette kan muligens forhindres av silikonbåndet på innsiden, men dette ble ikke utprøvd i denne prototypen.

Refleksbåndet nederst på beskytteren ga god synlighet i mørket som vist på Bilde 12.



Bilde 12 - Sporty, kveldsbruk med refleks

7.3 Aktiv

For *Aktiv* lå den største utfordringen i å få sidepartiene til å holde seg inntil kroppen. Vi ønsket å tilføre spiler i sidene for å skape en kraft som ville dra sidene innover. Dette prinsippet ble prøvd ut i prototypen og fungerte slik vi hadde sett for oss. Bilde 13 viser *Aktiv* med bruk av spiler på venstre side og uten på høyre side. I tillegg til spilene bidro den elastiske delen foran og bak til å holde sidepartiene inntil hoften.

Den fleksible delen gjør at *Aktiv* kan tilpasses flere ulike typer kroppsfasonger. Det er likevel sentralt å få tilpasset stoffbuen på den bakre delen av det fleksible materialet slik at den strammer på de riktige stedene. Man ser på Bilde 17, side 29, at prototypen er noe slapp over nedre del av rumpa på prøvedukken, men dette er fordi prøvedukken har en mannlig form mens prototypen er laget for en kvinne.



Bilde 13 - Forskjell på Aktiv med og uten bruk av spiler



Bilde 14 - Testing av Aktiv

Aktiv var veldig behagelig i bruk, den satt godt på hoften og fulgte bevegelsene godt. Beskytteren var lett å ta på seg og det var enkelt å oppnå korrekt plassering på grunn av spilenes innvirkning. Å ha innstramming i retur (som i *SlimFit*) gjorde det lettere å koordinere endene av beltet mot hverandre. Beskyttelsen var noe merkelig ved sitteposisjon på grunn av spilene.

De tre prototypene er vist i Bilde 15 - Bilde 17.



Bilde 15 - Prototype av SlimFit



Bilde 16 - Prototype av Sporty

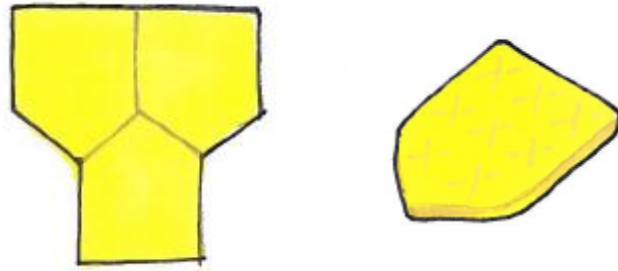


Bilde 17 - Prototype av Aktiv

8 Diskusjon

Etttersom beltet er relativt smalt er kanskje behovet for innsnitt i padsene mindre enn først antatt. Det er begrenset for hvor mye padsene følger beinet ved normal gange og en enklere fasong padsene kan derfor være tilstrekkelig. Dette kan også medføre en mer økonomisk materialbruk og forårsake mindre svinn av PUR-skum under produksjon. Dette vil i tillegg til produksjonsbesparelser gi et positivt bidrag for miljøet, se Vedlegg 8.

Et foreslått eksempel kan sees Figur 26.



Figur 26 - Forslag til kutting av pads

Pads for halebein er ikke tatt hensyn til i disse prototypene. Det er mulig å utvide løsningene til å omfatte en slik type pads, spesielt i *Sporty* hvor man likevel ikke har noe elastisk område på baksiden.

Padsene er av betraktelig mindre størrelse enn eksisterende produkter og dette er med på å minske bruken av polyester som inngår i Lycra og Spacer fabric noe som gir miljøgevinster. I tillegg til å se på måter å begrense polyesterbruken på kan man også se på alternative, mer miljøvennlige materialer. Mer om miljøpåvirkning finnes i Vedlegg 8.

Ved å bruke en mindre emballasje for Aktiv kan vi i tillegg til å redusere materialbruken skape bedre transportvilkår. Det er også mulig å bruke resirkulert papir og nedbrytbare fargestoffer.

9 Konklusjon og veien videre

I denne rapporten er det presentert nye løsninger på hoftebeskyttere for friske, aktive eldre. Disse har som mål å møte behovene for brukerne bedre og med det skape en økt compliance for beskyttelsesproduktet. I samråd med Protex og SINTEF har vi utviklet tre konseptløsninger. Disse fikk konseptnavnene *Sporty*, *SlimFit* og *Aktiv*.

Fellers for alle løsningene er at størrelsen er kraftig redusert i forhold til den eksisterende løsningen *SafeHip*. Løsningene er tilpasset en aktiv hverdag og de er alle behagelig å ha på over lengre perioder. De kan med fordel brukes under høy aktivitet ettersom de alle inneholder materialer med gode pustende egenskaper. I løsningene vektlegges det at beskytterne skal være estetisk pene og at de ikke gir assosiasjoner til hjelpemidler.

Hver av løsningene tilfredsstillende noe ulike behov for forskjellige brukersegmenter innenfor denne målgruppen. *Aktiv* er etter vår mening den som dekker markedets behov best ettersom den kombinerer det beste fra de to andre konseptene i én løsning.

Det er ikke gjennomført tilstrekkelig med brukerundersøkelser av de tre prototypene og det vil derfor være viktig at dette gjøres før eventuell produksjon av beskytterne kan starte. I tillegg må endelig valg av materialer for beskyttelsene bestemmes. Endelig form og størrelser på beskytterne må videre detaljeres.

Videre testing av skummet fra PORON må også foretas før det kan sies at løsningene er fullgode. Dette er viktig for å kunne bevise at beskytteren gir en tilstrekkelig beskyttelse mot hoftebrudd ved fall.

De tre konseptene er vist i Figur 27.



Figur 27 - Helhetsinntrykk. f.v.: Sporty, SlimFit og Aktiv

10 Referanser

- [1] Callister, W.D.J., 2006. *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 7th Edition. Wiley Publishers.
- [2] Choi, W.J., Hoffer, J.A. & Robinovitch, S.N., 2010. *Effect of hip protectors, falling angle and body mass index on pressure distribution over the hip during simulated falls*. *Clinical Biomechanics* 25, s. 63–69.
- [3] Choi, W.J., Hoffer, J.A. & Robinovitch, S.N., 2010. *The effect of positioning on the biomechanical performance of soft shell hip protectors*. *Journal of Biomechanics* 43, s. 818-825.
- [4] Friderichsen, P. & Storholmen, T. C., 2011. *Forebygging av fallskader blant eldre*. Forstudierapport, Innomed.
- [5] Kaushiva, B.D., 1999. *Structure-Property Relationships of Flexible Polyurethane Foams*. Akademisk avhandling, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [6] Laing, A.C., Robinovitch, S.N., 2008. *Effect of soft shell hip protectors on pressure distribution to the hip during sideways falls*. *Osteoporosis International* 19, s. 1067–1075.
- [7] Todd, C. & Skelton, D., 2004. *What are the main risk factors for falls among older people and what are the most effective interventions to prevent these falls?* København, WHO Regional Office for Europe.
- [8] Folkehelseinstituttet (Publisert 29.08.2012, oppdatert 30.08.2012) *Beinskjørhet og brudd - fakta om osteoporose og brudd* [Internett]. Tilgjengelig fra http://www.fhi.no/eway/default.aspx?pid=233&trg=MainArea_5661&MainArea_5661=5631:0:15,3303:1:0:0:::0:0, konsultert 20.11.2012
- [9] Rogers Corporation (2012) *How It Works - Performance Data* [Internett]. Tilgjengelig fra <http://www.PORONxrd.com/howitworks/performance.aspx>, konsultert 20.11.2012.
- [10] Stockwell Elastomerics, Inc. (2012) *PORON Cellular Urethane, Rogers PORON Foam Material* [Internett]. Tilgjengelig fra http://www.stockwell.com/pages/materials_PORON.php, konsultert 20.11.2012.

11 Vedlegg

11.1 Vedlegg 1 – Eldretrim med intervju

Ekskursjon til Brundalen kultursenter:

For å kunne vite litt mer om hvilke tanker som fantes rundt de eksisterende produktene ville vi gjerne møte potensielle brukere av et slikt produkt. Sintef viderefremmet kontaktinformasjon til en fysioterapeut ved navn Sylvi Sand som videre henviste oss til Randi Løvås, instruktør for treningsgrupper for eldre rundt om i Trondheim. Vi ble invitert til å delta i en av gruppetimene for å kunne observere de eldre under aktivitet og for å snakke med de etter timen.

Gruppetimen inkluderte i overkant av 20 personer derav kun én mann. Gjennomsnittsalderen på over 80 år var litt høyere enn vår ideelle brukergruppe, men de gav oss likevel mye informasjon om diversitet angående aktivitetsnivå og kroppsfasong.

Observasjoner om fysikk og oppførsel under treningen:

- Sterk variasjon i kroppsfasong (størrelse)
- Hofter og rumpe mindre fremtredende, generelt rett sidefasong
- Buksestramming tilsa en del overflødig hud
- Høyere aktivitetsnivå enn først antatt
- Økt temperatur forårsaket svetting og
- Klær: bukser med strikk i livet og uten lommer, lange topper som dekket rumpa

Vi fikk pratet med deltagerne etter timen da de hadde satt seg sammen i mindre grupper for å drikke kaffe og spise formiddagsmåltid. Vår framgangsmåte var et uformelt intervju gjennom uformell prat for å avdekke underbevisste behov og for å spørre dem hva de syntes, både om den nåværende hoftebeskytterløsningen og om eventuelle idéer til forbedring. Vi gikk fram ved å spørre litt om hvilke vaner de hadde på tur, om de hadde hørt noe om hoftebeskyttere tidligere og hva de ville tenkt om noe sånt før vi til slutt viste dem SafeHip og ba dem fortelle om tankene sine rundt denne. På denne måten kunne de svare på spørsmålene og gi oss sine egne idéer uten å ha flyttet fokus altfor mye over på løsningen de hadde rett framfor seg.

Ved disse gruppesamtalene fikk vi pratet med åtte av deltagerne i trimgruppen; syv damer og én mann. Det viste seg å være stor variasjon i forhold til hvor lenge deltagerne gikk på en typisk mosjonstur – noen gikk nesten aldri på tur mens andre kunne gå lange turer i høyt tempo.

Vi forsto raskt at de ikke hadde noen store kjennskaper til hoftebeskyttere og ingen hadde heller prøvd det før.



Bilde 18 - Brundalen kultursenter

Ved framvisning av SafeHip fikk vi følgende informasjon:

- Deltagernes erfaringer rundt Safehip:
 - o Harde puter
 - o Stiv
 - o Tung
 - o Varm
- Deltagernes forslag til forbedringer:
 - o Må kunne justeres/tilpasses til kroppsfasongen
 - o Dame- og herremodell
 - o Til bruk innenfor jakken
 - o Sort, mørk lilla, nøytral farge
 - o Borrelås var praktisk, men kunne bli møkkete og skade klærne

I tillegg varierte det hva de ønsket å ta med seg på tur. Flere mente det ikke var nødvendig med noen ekstrafunksjoner, men ved nærmere ettertanke kunne det kanskje være nyttig med en lomme til mobilen.

Utbytte av samtalene på Brundalen kultursenter:

Det var generelt stor interesse for et produkt som beskytter mot hoftebrudd. Flere mente at belteløsningen var mer attraktiv enn truseløsningen, men det var få preferanser angående materiale eller ekstrafunksjoner – poenget var å beskytte. Da noen av dem prøvde på seg SafeHip, forsto vi at det var vanskelig å vite hva som var bak, fram, opp eller ned på produktet. Mange av de uroet seg over hvorvidt den ville bli varm og klam ved bruk. Farger ble diskutert og praktiske, mørke farger ble foretrukket. Deltagerne nevnte også flere situasjoner hvor de så for seg at beskyttelsen kunne brukes, for eksempel på dansetrim, på sopptur eller spesielt på glattisen.

Det var stor interesse over hvor man kunne få tak i et slikt produkt. De kunne i tillegg fortelle oss at de tidligere hadde fått informasjon om gå-staver nettopp på en slik gruppetrening, men at det utenom dette ikke hadde vært noen opplysning om slike produkter. Det at en instruktør hadde hjulpet dem med å justere størrelse og plassering på beskytteren ville kunne være en god idé som oppfordring til bruk. I tillegg kom disse idéene fram angående markedsføring:

- LHL kunne vært egnet for informasjonsformidling
- De som brukte gå-staver hadde kjøpt disse på egen hånd på sportsbutikk
- Litt negativ innstilling til selgere

11.2 Vedlegg 2 – Bodystorming

Bodystorming i Estenstadmarka:

For å møte personer som var mer i vår brukergruppe, tok vi turen til marka på en mandags formiddag. Vi regnet da med å møte mennesker som var ute på tur og vi anså sannsynligheten for å treffe på pensjonister som større da tidspunktet var i den normale arbeidstiden.



Marka 1 - Prototype med obligatoriske elementer



Marka 2 - Kaja og prototype



Marka 3 - Ingrid og SafeHip

Vi hadde laget en svært enkel prototype (Marka 1) som inneholdt de obligatoriske elementene for en hoftebeskytter – en belteløsning samt en pad på hver side for å dekke hoftene. Denne ble laget for å bedre vise fram prinsippet bak hoftebeskytteren og videre skape en ramme hvor intervjuobjektene kunne komme med innspill og idéer. Vi tok også med den eksisterende hoftebeskytteren SafeHip.

Bodystormingen hadde som mål å avdekke hvordan hoftebeskytteren oppførte seg på kroppen under aktivitet. Vi forsøkte å tenke på alle bevegelser de ville påvirke, både ved vanlig gange og ved bruk av gå-staver. Beskytterne ble testet i kombinasjon med gå-staver og sekk.

Våre erfaringer med beskytterne kommer fram i Marka 4:

Prototype	SafeHip
<ul style="list-style-type: none">- Svært lettvektig- La ikke merke til at den var der- Lite fremtredene, følte ikke forstørrende- Følte ikke som et hjelpemiddel- Padsene holdt seg ikke i riktig posisjon, mindre trykghetsfølelse- Padsene beveget seg ut fra kroppen- Armene sneiet borti padsene ved gange- Ikke kompatibel med gå-staver	<ul style="list-style-type: none">- Satt godt inntil kroppen, trygg følelse- Virket trang, noe hindring ved gange i oppoverbakke, gled til en viss grad opp- Gled opp ved sittestilling- Padsene følte store og stive- Gav følelse av større hofter- Komfortabel under bruk- Klam pga. stor overflate over korsryggen- God å kombinere med gå-staver og sekk- Litt flaut å bruke

Marka 4 - Erfaringer fra bodystorming

11.3 Vedlegg 3 – Intervjurunde i marka

Vi traff flere kvinnelige turgjengere som passet utmerket i vår brukergruppe.

Intervju 1 – Dame (65-70 år) på rasteplass

- Aldri hørt om produktet før, kunne være en god idé
- Satt godt på, behagelig å bevege seg i
- Stødig, god for å springe med
- Positiv til oppbevaringsløsning, hadde allerede på seg rumpetaske
- Tok vanligvis med seg mye på tur (liten vannflaske, energi-bar, solbriller, antibac, lommetørkle)
- Positiv til løsning med integrert sitteunderlag
- Positiv til borrelås så lenge den fungerte godt, må være lettvinnt å ta av og på
- Mørke farger var både praktisk og slankende, lyse farger var uinteressant
- Ønsket et produkt med lavt vedlikeholdsbehov
- Ville bruke et slikt produkt i ulendt terreng eller når det er glatt ute, men ikke til vanlig

Intervju 2 – Tre damer (65-70 år) på ukentlig trim, «Moretrimmen» har holdt på i 30 år

- Høyt aktivitetsnivå, de var alle svette etter oppoverbakkene
- Svært aktuelt produkt, spesielt for ei venninne med beinskjørhet
- Alle tre tok på seg SafeHip for å teste den ut
- De syntes den gled opp ved rask gange
- Positivt med «hold-in»-funksjon
- Likte at den var myk, elastisk og satt godt
- Litt høy i kanten, ønsket en så liten modell som mulig
- Produktet kunne være litt mer sporty
- Ønsket å kunne bruke den under klærne ettersom de selv brukte løse bukser
- Kunne brukes på skitur, sykkel og lignende
- Spreke eller nøytrale farger som svart, «sort passer til alt»
- Refleks hadde vært kjekt, spesielt langs kanten nede
- Ikke behov for oppbevaring annet enn for å romme for eksempel en bilnøkkel
- Kunne tas av og brukes til å sitte på

Intervju 3 – Dame (60-65 år) med hund

- Synes det var lurt, hadde opplevd å falle selv
- Hadde på seg belte med krok for å feste hundebåndet i - kroken var i midlertidig ikke i bruk, båndet var knyttet rundt selve beltet. Kroken ble brukt ved ski-gåing
- Hadde også et annet hundebelte hjemme med oppbevaring, noe hun syntes var lurt
- Likte prototypens utseende best fordi den så tøffest ut
- Syntes SafeHip så ut som den var ment for «gamle kjerringer»
- Likte godt sterke farger, men trodde svart var mest anvendelig
- Av ekstra funksjoner kunne hun tenkt seg oppbevaring

11.4 Vedlegg 4 - Moodboard for aktive, friske eldre



11.5 Vedlegg 5 - Brukerprofil

Maria, 71



Lives at home with her husband and manage daily tasks together without help.
Enjoys an active social life and walk shorter distances most days.
Has never fallen, and does not identify herself as being in the target group for traditional hip protectors.
Has a clear idea of what she finds aesthetic appealing in terms of clothing and products.

Main user needs

- Simple to put on/off, even with weak fingers
- Comfortable in regards to:
 - temperature and moisture
 - sitting and walking
- Visually appealing and gender aware
- Active lifestyle
- Meets the self-perception of the user

Other requirements

- Easy to acquire
- Product must be trustworthy and recognisable



11.6 Vedlegg 6 – Produktkravs spesifikasjon

Produktkravs spesifikasjon		
Beskrivelse	Enhet	Verdi
1. Operasjonelle krav:		
1.1 Støtreduksjon	%	<70
1.2 Posisjonering på hoften	cm	<3
1.3 Fleksibilitet	°	30
2. Estetikk		
2.1 Tykkelse	cm	<1
2.2 Modeller	Antall	>2
3. Betjening/funksjonalitet		
3.1 Kraftbehov for åpning/lukking	N	20
3.2 Antall løse deler	Antall	<3
3.3 Vannsøyle	mm	>6.000
3.4 Pusteevne	g/m ² /24timer	>6.000
3.5 Levetid	år	>5
3.6 Sammenleggbarhet	cm ³	≈1000
4. Vedlikehold		
4.1 Fall før utskiftning	Antall	100
4.2 Vaskekriterier	°C	30-40
5. Komfort		
5.1 Lav vekt	g	<400
5.2 Temperaturbevarelse	W/(m ² K)	?
5.3 Sømmetykkelse	mm	<1
5.4 Anti-gli, friksjonsmotstand	μ	?

11.7 Vedlegg 7 - Brukerkravs spesifikasjon

Brukerkravs spesifikasjon - Friske Eldre		
Primærbruker		
Beskrivelse	Må	Kan
1. Funksjonelle krav		
1.1 Redusere risikoen for lårhalsbrudd ved fall	x	
1.2 Støtabsorberende		x
1.2 Overfører energi til omliggende vev		x
1.3 Korrekt plassering på hoftebenet	x	
1.4 Fleksibel etter kroppsbevegelser	x	
2. Estetikk		
2.1 Visuelt attraktiv		x
2.2 Dame- og herremodell		x
2.3 Endrer ikke kroppsfasongen merkbart	x	
2.4 Sporty uttrykk		x
2.5 Flere fargekombinasjoner		x
3. Betjening/ funksjonalitet		
3.1 Enkel å ta av og på	x	
3.2 Hekter seg ikke fast	x	
3.3 Robust i ulike værtyper	x	
3.4 Justerbar	x	
3.5 Kompatibelt med annet sportsutstyr		x
3.6 Sammenleggbar, kompakt		x
4. Vedlikehold		
4.1 Tåler vask i alminnelig vaskemaskin		x
4.2 Lavt vedlikeholdsbehov	x	
5. Komfort		
5.1 Sitter godt på hofta ved bruk	x	
5.2 Ivaretar en behagelig temperatur	x	
5.3 Veier lite		x
5.4 Klemmer ikke på huden		x
5.5 Behagelig ved gange	x	
5.6 Behagelig ved sitting		x
6. Praktiske ekstrafunksjoner		
6.1 Gjør brukeren synlig i mørket		x
6.2 Lommer		x
6.3 GPS/RECCO		x
6.4 Sammenleggbar		x
6.5 Gjenkjenne eier		x
6.6 Hempe for oppheng		x

11.8 Vedlegg 8 – Miljøvurdering

MILJØVURDERING:

I et samfunn hvor fokus på miljø stadig øker og blir mer bevisstgjort, får dagens bedrifter press på seg fra flere kanter om å forbedre sine miljøvennlige prestasjoner [Eco 4]. Mye forbedringspotensialet ligger i selve produksjonen, men signifikante forbedringer kan også gjøres i selve designprosessen. På den måten kan negative miljøpåvirkninger «designes ut» før de i det hele tatt rekker å gjøre noen skade.

For å kunne gjøre *Aktiv* til et produkt med lav miljøbelastning, har vi valgt å foreta en miljøanalyse [Eco9] for å belyse de delene av hoftebeskytterens livsløp som påvirker mest negativt. Analysen ble gjort «from cradle to grave» og tar med utvinning og produksjon av materialene, produksjon av hoftebeskytteren, frakt og emballasje, bruk av produktet samt avhending ved endt bruk. Det finnes flere ulike analyseverktøy som kan benyttes, hvert enkelt med ulik grad av nøyaktighet. Analysen vil være sterkt avhengig av systemgrensene som velges rundt produktet.

En av metodene som er brukt på dette produktet er en MET-matrise. Denne setter fokus på materialene som trengs for å lage produktet; hvor de kommer fra og hvorvidt de er fornybare, resirkulerbare eller holdbare. I tillegg forteller matrisen om energibruken gjennom produktets livsløp og om eventuelle giftige utslipp.

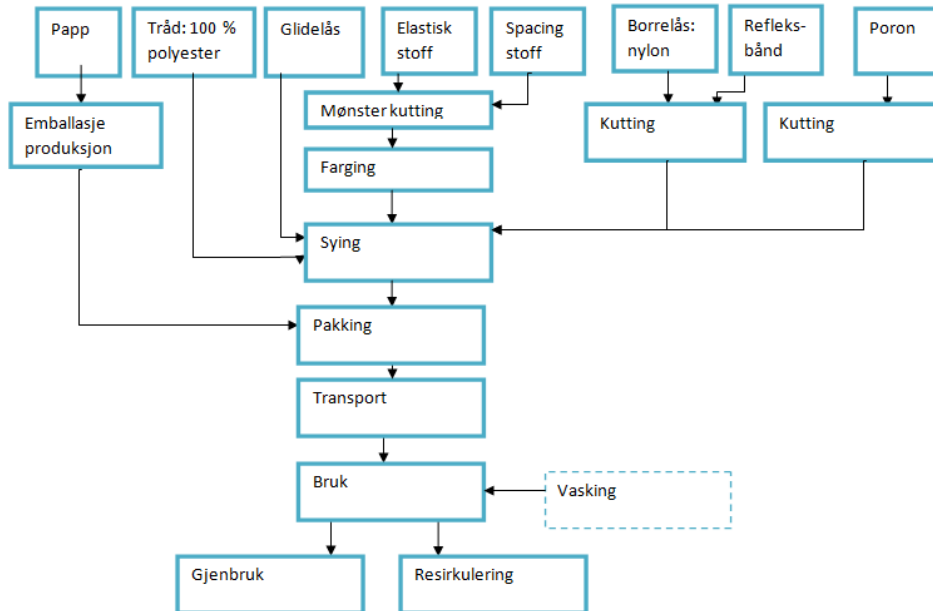
Et annet verktøy som også er benyttet her er den såkalte «Eco-indicator 99» analysen, videre beskrevet som «EI99». Det er utarbeidet mange indikatorverdier gjennom omfattende livsløpsanalyser og disse er å finne i verktøymanualen [5]. Disse indikatorverdiene finnes for materialproduksjon, produksjonsprosessene, diverse energidata samt for avhendingen og resirkuleringen ved livsløpsslutt. EI99 gir designeren kvantitative tallverdier som kan brukes som sammenligningsgrunnlag med andre lignende produkter innenfor de samme systemgrensene. Summen av poengene som kommer fram av indikatorverdiene gir designeren et bilde på hvor mye produktet gir av miljøbelastning samtidig som poengene viser hvilken livsløpsfase man bør fokusere på for å skape et mer miljøvennlig produkt.

I denne analysen er det valgt å sammenligne *Aktiv* med *SafeHip* som er et produkt som selges kommersielt i Norge og som ligner mest på den utviklede løsningen med hensyn på utforming. Bilder av begge produktene kan ses i Ecofigur 1.

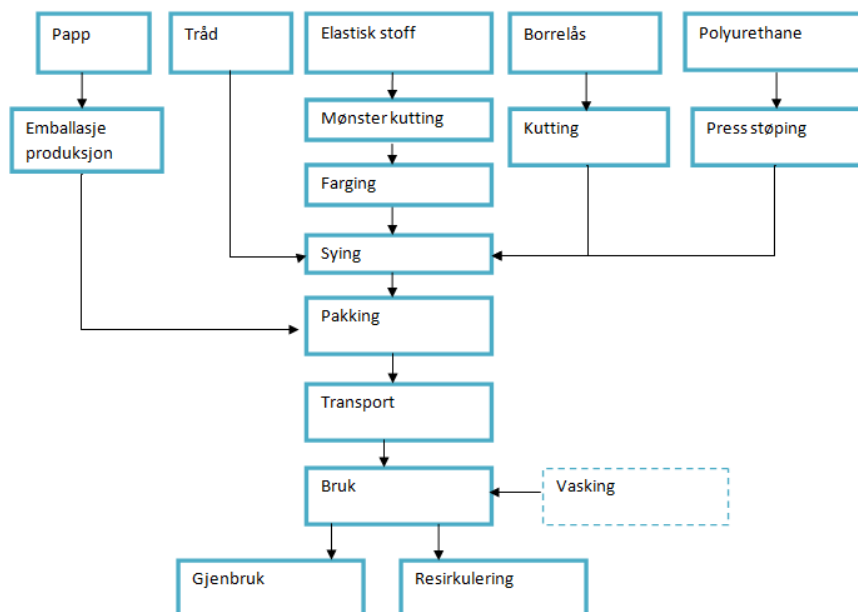


Ecofigur 1

Systemgrensene ble trukket slik at vasking er utelatt i livsløpet. Dette er fordi produktet er ment for å kunne brukes over lengre tid uten behov for mye vedlikehold. Prosesstre med tilhørende systemgrenser er vist i Ecofigur 2 og Ecofigur 3, elementer utenfor systemgrensen er vist med stiplet firkant.



Ecofigur 2 - Prosesstre Aktiv



Ecofigur 3 - Prosesstre SafeHip

Målet med analysen var å se på hvilke områder den nye hoftebeskytteren var bedre eller dårligere enn referanseproduktet og hvor i livsløpet det var størst potensiale for miljøforbedringer.

Analyse:

Aktiv og Safehip bruker materialene nylon og polyester som lages av ikke-fornybar olje. Selv om *Aktiv* har en mindre overflate enn *SafeHip*, bruker den mer polyester på grunn av den utstrakte bruken av spacer fabric. Polyester og nylon står for henholdsvis 46 % og 3 % av verdens tekstiler, men det er kun 1 % av all oljeproduksjon som går til tekstiler [Eco3]. Når det gjelder vann er polyester det tekstilet som forbruker minst under produksjonen. Her kan også energibruk og avfallsmengden gi besparelser. Likevel er ikke polyester nedbrytbart og det genereres derfor et avfallsproblem.

Aktiv inneholder polyuretanskum og Safehip inneholder elastan som består av over 85% polyuretan. Polyuretan krever mye energi å lage samtidig som man bruker isocyanatene TDI og MDI (toluen-2,4-diisocyanat og metylen bisphenyl-4,4-diisocyanat) i tillagingsprosessen [Eco1]. Disse kjemikaliene er giftige og kan føre til irritasjon og pustebesvær ved eksponering, i tillegg til at de inneholder forbindelser som er klassifisert som potensielt kreftfremkallende hos mennesker [Eco2].

Når det gjelder produksjon av beskytterne vil det i begge tilfellene være stoffrester og eventuelt rester etter farging. Fargestoffene må behandles med forsiktighet da langvarig eksponering eller uhellsrelatert overeksponering kan føre til potensiell helsefare. 85 % av vannet, 80 % av energien samt 65 % av kjemikaliene knyttes til innfarging og de siste prosessene i ferdigstillingen av tekstilene [Eco5]. I tillegg ender over 25 % av tekstilmaterialene på gulvet under produksjon [Eco6]. Alle disse punktene er det viktig å fokusere på for å skape en mer bærekraftig produksjon.

Innpakningen av Safehip er en stor pappeske som i tillegg er ment for oppbevaring. Aktiv skal også bruke en innpakning av papp, men denne er ment til å være langt mindre enn den for Safehip.

Vasking er stort sett den eneste byrden som kommer fra produktene i bruk. Det er ikke ment at Aktiv skal vaskes ofte ettersom dette i hovedsak er et ytterprodukt. Safehip er laget for regelmessig vasking og vil dermed kreve mer strøm og vann i bruksfasen.

På grunn av flere ulike materialer som er sydd sammen i Aktiv er det svært vanskelig å skille materialene fra hverandre. Verken PUR eller polyester er nedbrytbart. Polyester kan brennes for å gjenvinne mye varmeenergi, mens de uttakbare padsene sørger for at polyuretanen kan downcycles eller gjenbrukes til en annen hoftebeskytter. PUR som brennes gir ikke spesielt mye energi tilbake og kan gi fra seg farlige avgasser. Nylon kan resirkuleres, men ettersom denne brukes i sytrådene vil dette være svært uøkonomisk om ikke umulig i praksis. I Safehip er padsene integrerte og må derfor kastes eller brennes med resten av produktet. Forbrenning medfører CO₂-utslipp.

Ut ifra tallene som kommer fra EI99-analysen ser man klart at det er i produksjonsfasen at miljøvennlige grep bør foretas.

Konklusjon:

I tillegg til å se på måter å begrense polyesterbruken på kan man også se på alternative materialer som er mer miljøvennlige. Et slikt fornybart alternativ kan være viskose som utvinnes av bambus. Andre alternativer er brennesle og hamp. Det viktige man må tenke på da er å bruke noe som ikke kan brukes i matproduksjon. Det må heller ikke ta opp areal som kunne vært brukt i matproduksjon.

Ved å bruke en mindre emballasje for Aktiv kan vi i tillegg til å redusere materialbruken skape bedre transportvilkår. Det er også mulig å bruke resirkulert papir og nedbrytbare fargestoffer.

Eco-Referanser:

[Eco1] Ahmed, S., Kelvin, T., Clemett, A., Chadwick, M., 2006. *Health and Safety in the Textile Dyeing Industry* (booklet series), SEI, BCAS, University of Leeds, Dhaka, Bangladesh.

[Eco2] Bhamra, T.A., 2004. *Ecodesign: the search for new strategies in product development*. Journal of Engineering Manufacture, Vol. 218, part B.

[Eco3] Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, 2000. *Eco-Indicator 99 - Manual for Designers*. Hag, Nederland.

[Eco4] Cotton, Nylon, Spandex and Allergies [Internett]. Tilgjengelig fra <http://www.latexallergyresources.org/articles/cotton-nylon-spandex-and-allergies#spandex>, konsultert 12.11.2012.

[Eco5] Safety and Health Topics | Isocyanates [Internett]. Tilgjengelig fra <http://www.osha.gov/SLTC/isocyanates/index.html>, konsultert 12.11.2012.

[Eco6] NICE - Polyester som råvare? [Internett]. Tilgjengelig fra <http://www.nicefashion.org/en/consumer-guide-no/raw-materials/polyester.html>, konsultert 12.11.2012

[Eco7] NICE - Noe å tenke på [Internett]. Tilgjengelig fra <http://www.nicefashion.org/en/consumer-guide-no/production/Tenke.html>, konsultert 12.11.2012.

[Eco8] NICE - Produksjon [Internett]. Tilgjengelig fra <http://www.nicefashion.org/en/consumer-guide-no/production/index.html>, konsultert 12.11.2012.

[Eco9] Flottorp, K.M., Ruø, I.L., 2012. *Miljøanalyse*. Upublisert materiale.