

CHALMERS



Utveckling av Trailplate – En skyddande innersula Trailplate Development

**EXAMENSARBETE INOM HÖGSKOLEINGENJÖRSPROGRAMMET
MASKININGENJÖR**

ERIK JOHANSSON

HAMPUS VON SPARR

Institutionen för Material och tillverknings teknik
Division of Material and process manufacturing
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Göteborg, Sverige, 2012
Report No. 71/2012

FÖRORD

Detta examensarbete är skrivet av Erik Johansson och Hampus von Sparr vid Chalmers Tekniska Högskola på Maskiningenjörsprogrammet. Arbetet omfattar 15 högskolepoäng och genomfördes under vårterminen 2012 på institutionen för Material och Tillverkningsteknik.

Intresset av att ta fram en skyddande innersula hade funnits hos Icebug under en längre tid och tack vare god kontakt med Erik Öhlund på Icebugs utvecklingsavdelning kunde arbetet utformas till ett spännande examensarbete.

Personer som varit till stor hjälp under examensarbetet och som vi vill tacka är:

- Alla anställda på Icebug men framför allt Erik Öhlund som med sin väldiga kreativitet och erfarenhet hjälpt oss genom hela arbetet.
- Peter Hammersberg, vår handledare på Chalmers, som kommit med många bra idéer och påpekande samt bidragit till rapportens vetenskapliga prägel.

SAMMANFATTNING

Projektet syftade till att utveckla en innersula som skyddar mot stenar och stabiliserar foten, kallad Trailplate. Produkten är främst anpassad för mjuka och lätta skor, efterfrågan kom framförallt ifrån terränglöpare i Frankrike, Schweiz och Österrike. Arbetet har utförts på Icebug, ett företag som tillverkar skor framförallt för tuffa underlag. Endast förbättring av innersulan genomfördes då denna ska kunna användas i flera olika skor.

Sökta egenskaper var framförallt vridstyvhet och motverkan av punktutböjning. För att förbättra befintlig innersula krävdes ett material med de rätta egenskaperna och en design som uppfyllde ovan nämnda funktionskrav samt ge god komfort. Av ekonomiska skäl skulle även storleksanpassningen optimeras, så att olika skostorlekar kunde använda samma storlek på hårdplastdetaljen vars verktyg är dyrt att tillverka.

Resultaten visar att materialet i innersulan måste ha en E-modul på minst 5 GPa för att minska punktutböjningen tillräckligt mycket och samtidigt inte överstiga tjockleken 2 mm. Kolfiber visade sig vara ett material med mycket lämpliga egenskaper men på grund av höga inköps- och tillverkningskostnader riktades fokus istället mot hårdplaster. Polyoximetylen (POM) visade sig ha rätt egenskaper och blev det som rekommenderades för Icebug. Den slutgiltiga designen innehåller bland annat ett flexibelt framfotsparti som följer metatarsal-phalangeal-leden, där foten naturligt böjer sig vid löpning. Åsar i framfoten, vilket ger en vågformad profil som motverkar punktutböjning och ett hål vid hälen för att öka fotens naturliga dämpning inryms också i den slutliga designen.

Produkten kommer att hjälpa terränglöpare och orienterare i stenig terräng, både som skydd och avlastning för foten. Målet är att produkten ska säljas i sommarkollektionen 2013.

ABSTRACT

The project aimed to develop a protective and stabilizing insole called Trailplate for soft and light shoes. The demand came primarily from off-road runners in France, Switzerland, and Austria. The project was carried out at Icebug, a company that develops shoes mainly for rough terrain. The main focus has been on the trailplate which is designed to fit several different shoes.

Torsional stiffness and bending resistance were the main objectives. To improve the existing insole, a material with the right features was required. The optimal design would meet the above functional requirements and provide comfort. Due to financial aspects sizing was also optimized.

The results show that the material of the insole must have a Young's modulus of at least 5 GPa to reduce deflection while maintaining a minimum thickness of 2 mm. The choice of material was also affected by costs and production aspects. While carbon was found to be a material with very desirable characteristics its high cost shifted the focus to hard plastic. The final recommendation for Icebug was Polyoxymethylene (POM) because it had the desired qualities with the added bonus of being cost effective. The final design included a flexible forefoot that follows the foot's flex line (the metatarsal-phalangeal joint), ridges in the forefoot to prevent deflection, and a hole at the heel to increase the foot's natural suppression.

The product will help off-road runners in rocky terrain by offering support and protection for their feet.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Precisering av frågeställningen	1
1.5 Disposition	1
Definiera	1
Mäta	1
Analysera	1
Förbättring	1
Kontroll	1
2. Teoretiskt referensram	2
2.1 Innersulans funktion	2
2.2 Tidigare forskning	2
2.3 Befintliga produkter	2
Arch Flex System	2
Självformande sulor	3
Rock Protection Plate	3
Innersula från Puma	3
3. Metod	4
3.1 Förundersökning	4
3.2 Materialval	4
3.3 Konceptframtagning	5
3.4 Koncepturval	5
3.5 Tillverkningsmetod	5
4. Förundersökning	6
4.1 SIPOC	6
4.2 Process-karta	6
4.3 Orsak-verkan matris	7
5. Framtagning av mätsystem	8
5.1 Mätsystemets uppbyggnad	8
5.2 Utförande av mätningar	9
5.3 Säkerhetsställande av mätsystem	9
6. Framtagning av funktionskrav	11
6.1 Test av acceptabel utböjning	11
Medelvärde av de två muttrarna	12
6.2 Beräkning av lämplig E-modul	12
Ekvationer	12
Beräkning	13
Diagram	13
8. Koncept	19
8.1 Konceptframtagning	19
Koncept 1	19
Koncept 3	19
Koncept 4	19
Koncept 5	19
8.2 Koncepturval	20
8.3 Ritningsunderlag	20
9. Tillverkningsmetod	22

9.1 Storleksanpassning	22
10. Diskussion	23
11. Slutsats	24
11.1 Material	24
11.2 Design och komfort	24
11.3 Storleksanpassning	24
Referenser	25
Muntliga källor	25
Bilagor	

BETECKNINGAR

Förklaring av symboler och beteckningar

S^* = Materialets styvhet

E = Materialets elasticitetsmodul

I = Tvärsnittets ytttröghetsmoment

δ = Utböjning

C_1 = Konstant, beroende av lastfall

1. INLEDNING

Nedan ges en beskrivning av vad som ligger till grund för arbetet.

1.1 Bakgrund

Dagens löpare och orienterare, framför allt från Frankrike, Schweiz och Österrike, upplever idag ett problem med mjuka och lätta skor. Kombinationen av mycket stening terräng och lätta, inte särskilt uppbyggda skor, gör att fötterna tar mycket stryk och löparna upplever trötthet i fötterna under långa löprundor. Detta har medfört en stor efterfrågan på någon form av innersula som stabiliserar skon och skyddar foten från stenar underifrån.

Icebug som är ett svenskt skoföretag inriktat mot tuffa underlag ville svara på denna efterfrågan genom att ta fram en ny typ av innersula för sina skor.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att ta fram en prototyp på en skyddande innersula som uppfyller de krav som ställs. Tanken är att prototypen skall leda till en produkt i nästa års sommarkollektion.

1.3 Avgränsningar

Projektet är avgränsat till skons innersula och fokus kommer enbart ligga på produktutveckling. Ingen marknadsanalys kommer genomföras. Projektet är begränsat till omkring tio veckor.

1.4 Precisering av frågeställningen

- Hur uppnås en skyddande, vridstiv och tunn sula med fortsatt bibehållen löpkänsla?
- Vilket material är bäst lämpat för uppgiften?
- Vilken design ger god komfort och är estetiskt tilltalande?
- Hur löser vi storleksanpassningen?

1.5 Disposition

Projektet är upplagt enligt DMAIC vilket står för Define Measure Analyse Improve Control.

Definiera

Kundkrav, problem, förbättringsmöjligheter och projektets målsättning definierades.

Mäta

Ett mätsystem togs fram, dess tillförlitlighet kontrollerades och mätningar genomfördes.

Analysera

Analys av mätningar och vad som påverkade mätresultaten samt definition av mål genomfördes.

Förbättring

Lösningsförslag togs fram i form av olika koncept, för- och nackdelar vägdes mot varandra. Bästa lösningen valdes och utvecklades.

Kontroll

Kontroll av slutgiltig prototyp genomfördes ej då prototypen inte tillverkades i tid.

2. TEORETISK REFERENS RAM

Det här kapitlet beskriver en innersulas funktion och presenterar forskning samt befintliga produkter inom området. Framförallt arbeten med fokus på vridstyvhet och stabilitet.

2.1 Innersulans funktion

Under en lång tid har innersulans huvudsakliga funktion varit att öka komforten. Ofta utformad som en 1-5 mm tjock sula av skummaterial. På senare tid har utvecklingen gått mot mer ergonomiskt riktiga sulor med syfte att avlasta och stabilisera foten.

2.2 Tidigare forskning

Skons vridstyvhet har ökat på ett flertal olika sätt. Enligt Brand (2004) är en lösning på problemet en styv platta som sträcker sig från hälen diagonalt till framfotens början, för att ej störa framfotens rörelse. Förstyvningen är utformad så att motståndet mot vridning är relativt konstant och lika både inåt och utåt. En annan modell, som tagits fram av Dietrich (2002) på Adidas, utnyttjar ett styvt band kring hälen som fäster i sulan vid hålfoten. Bandet ligger en bit upp på hälen vilket ger ett ökat motstånd mot vridning gentemot fallet att det ligger i nivå med framfoten.

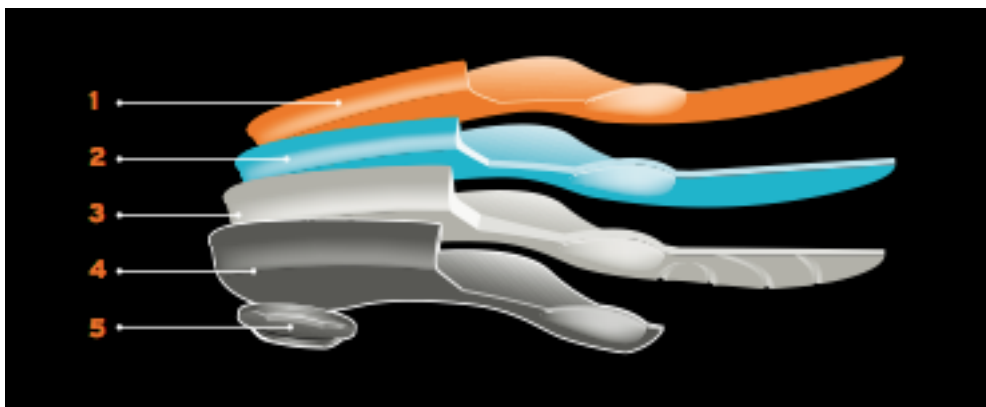
För att motverka punktuppböjning har olika designer i diverse plastmaterial tagits fram, bland annat av Gebhard (2011), där en plastdetalj skyddar framförallt hälen och framfoten mot vertikala böjningar.

2.3 Befintliga produkter

Nedan beskrivs befintliga produkter som användes som referenser under arbetes gång.

Arch Flex System

Arch Flex System sulan, Ekstrand (2012), är utvecklad av ICEBUG tillsammans med Ortolab, Skandinavians ledande tillverkare av ortopedtekniska fotbäddar. Sulan är uppbyggd av fem lager olika plaster, enligt Figur 2.1, och är unik i sitt slag genom att den ger ett dynamiskt stöd åt både det längs- och tvärsgående fotvalvet.



Figur 2.1 – AFS-sulans uppbyggnad

1. Fukktransporterande meshfoder med låg friktion.
2. Mycket mjukt och stötdämpande lager i Poliyou, ett speciellt skum med öppen cellstruktur.
3. Mjukt, stötdämpande EVA-lager som vid användning formar sig efter fotens tryck.
4. Styvt men flexibelt lager i polyeten (PE).
5. Formgjuten TPU-del med två upphöjningar på sidorna av hälen.

Ett produktionsproblem som uppstår vid tillverkning av sulorna är storleksanpassning. För att effektivisera produktionen vill tillverkaren inte göra en sula till varje skostorlek, samtidigt som sulan helst ska passa i ett flertal skomodeller. AFS-sulan löser detta genom att användaren själv får klippa till sulan i framkant så den passar i skon. Sulan erbjuds i tre varianter, låg, mellan och hög, för att passa olika fotvalv.

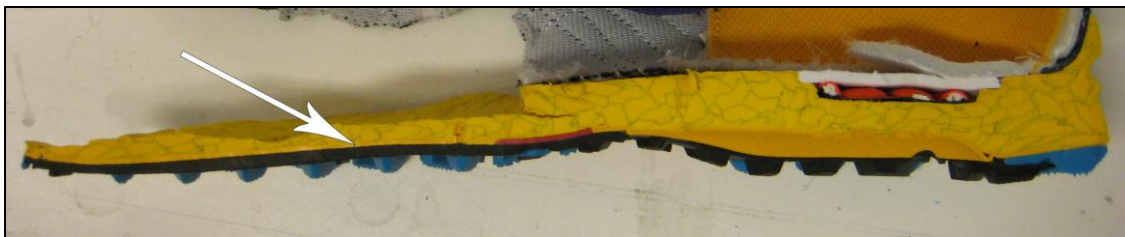
Självformande sulor

Sulor med en förmåga att forma sig efter foten har på senare år blivit mer och mer populärt. Sulan formas efter foten både för komfort och för att rätta till eventuell snedbelastning av foten som kan leda till smärtor i knä, höft, rygg och nacke. Detta genomförs ofta genom att foten gjuts och sedan formas sulan därefter, se www.fotform.se (2012).

Även skor med befintliga sulor av flera lager som under användning, genom ett material som har hög hysteres formas så att sulan ska överensstämja med konturerna av foten och sedan kvarhålla denna form under användning, se Pasternak (1989).

Rock Protection Plate

Asics har tagit fram en serie nya skor som är speciellt anpassade för stiglöpning (eng. trailrunning). Dessa skor har en förstärkning i form av en platta under mellansulan som heter Rock Protection Plate, se pil i Figur 2.2. Asics har valt att lägga sin trailplate på undersidan av mellansulan och tanken är att plattan skall skydda foten från vassa stenar. Plattan är gjord av en hårdare plast än övriga delar av sulan och ligger genom hela skon.



Figur 2.2 – Sulans uppbyggnad som visar en trailplate på Asics Fuji Attack

Innersula från Puma

Puma har tagit fram en skyddande innersula till fotbollsskor för att spelaren inte skall besvärans av skons dubbar, den ger även vridstyvhet och flexibilitet i framfoten. Den är skapad av plast och delvis kolfiber. Denna innersula hade Icebug som referens och jämförelse för att förklara att de var ute efter en tunn, lätt och styv innersula som motverkar punktutböjning. Sulan fungerar som ett löst tillbehör som går att plocka i och ur skon, se Figur 2.3.



Figur 2.3 – Innersula från Puma

3. METOD

I följande kapitel beskrivs arbetets upplägg.

3.1 Förundersökning

Projektet utgick från ett kundkrav på en styvare sko som skyddar fotsulan från vassa föremål. Med en SIPOC-analys definierades projektets ramar och vilket måttetal som skulle förbättras, se bilaga 10 för förklaring av SIPOC. I nästa steg upprättades en process-karta som på ett strukturerat sätt identifierade alla aktiviteter i projektet som kunde tänkas påverka det valda måttet.

För att skydda fotsulan mot vassa föremål bör skons punktutböjning minskas. För att kunna avläsa förbättringar av denna egenskap tillverkades ett mätsystem (böjrigg) som kunde mäta utböjningen, se kapitel 5. Systemets tillförlitlighet kontrollerades innan testningen med hjälp av programvaran Minitab 16 där slumpmässiga försök genomfördes. Mätningar gjordes på ICEBUG Pytho2, se Figur 3.1, med olika innersulor samt på befintliga skor ute på marknaden med någon form av trailplate.

C&E (Orsak Verkan) matris användes för att identifiera och rangordna vilka underliggande faktorer och parametrar som inverkar på de egenskaper hos sulan som var viktigast att fokusera på. Resultatet kan ses i kapitel 4.3.

Målet med arbetet var att minska punktutböjningen till en acceptabel nivå och därför behövde den acceptabla utböjningen mätas. För att bestämma denna genomfördes utböjningstester i ytterligare ett mätsystem där fem personer fick bedöma vilken utböjning som upplevdes godtagbar. Dessa värden överfördes sen till böjriggen. Medelvärde av de fem personernas bedömning valdes som målvärde för arbetet.



Figur 3.1 – Sulans uppbyggnad

3.2 Materialval

Tjockleken på sulan beror av E-modulen och då en tunn sula eftersträvades togs ett förhållande fram mellan materialets tjocklek och E-modul, vid maximal acceptabel utböjning. Alltså förhållandet vid gränsfallet för acceptabel utböjning. Förhållandet begränsade materialvalet då beräkningarna gav de värden på E-modulen som krävdes för att uppnå en tillräckligt tunn sula för att inte ta för stor plats i skon. Material med sökta egenskaper togs fram med hjälp av materialdatabasen CES EduPack 2011 för att sedan testas i mätsystemen.

För att bestämma materialet i den slutgiltiga produkten togs även hänsyn till ekonomiska och tillverkningsspecifika aspekter.

3.3 Konceptframtagning

Idégenereringen inleddes med stöd av framtagna funktionskrav. Med hjälp av mallar på skosulans profil skissades ett flertal koncept fram som därefter redigerades och blev mer detaljerade för att tydligt definiera funktionella skillnader mellan dem. Fyra koncept presenterades för Icebugs produktutvecklingsavdelning samt tillverkaren i Kina. För skisser på koncepten se bilaga 2 till 5.

3.4 Koncepturval

Med hjälp av Icebug, tillverkaren och en Pughmatris valdes ett koncept för vidareutveckling och optimering. Resultatet kan ses i kapitel 8.2.

3.5 Tillverkningsmetod

En av de bakomliggande faktorerna som begränsar designmöjligheterna är vilka tillverkningsmetoder som är möjliga. Tillverkningsmetoden valdes utifrån tillverkarens erfarenheter och de begränsningar som materialvalet införde. En viktig aspekt i valet var att plast kan gjutas medan kolfiber måste lamineras.

4. FÖRUNDERSÖKNING

Nedan presenteras inledningen av projektet och de metoder som användes i denna fas.

4.1 SIPOC

Projektet startades med en grundlig SIPOC-analys för att sätta projektets ramar, se Figur 4.1. Identifiering av vilka mätetal som skulle förbättras, vilka begränsningar samt för- och nackdelar som fanns. Den var användbar i detta projekt för att få en tydlig bild av delmomenten i processen. För mer detaljerad förklaring av SIPOC, se bilaga 10.

S		I	P	O	C	
Suppliers		Inputs	Process	Outputs	Customers	
Providers of the required resources	Resources required by the process	Numerical requirement on inputs	Top level description of the activity	Deliverables from the process	Numerical requirements on outputs	Stakeholders who place the requirements on the outputs
Requirements						
Produktutvecklarna ICEBUG	Testsystem skosula		Tester på befintlig sula	Jämförelsedata	Noggrannhet Precision	Produktutvecklarna
Marknadsundersökning Tester	Funktionskrav	Funktionskrav	Designval	Vald design	Hög vridstyvhet Flexibel framfot Minimal utböjning Inte suga åt sig vatten	Löpare/Användare
ICEBUGs tillgångar	Material	Materialurval Design Begränsningar	Materialval	Valt material		Löpare/Användare
ICEBUGs tillgångar	Verktyg	Design Material Ritningar	Tillverkningsval	Vald tillverkningsmetod	Skall passa i alla modeller	ICEBUG
Tillverkaren	Verktyg Material	Material Tillverkningsmetod	Tillverkning	Färdig prototyp	Pris Kvalitet	ICEBUG
Tillverkaren Produktutvecklarna	Prototyp Testutrustning	Testmetod Jämförelsedata	Testning	Testdata	Resultat av löptest Numerisk testdata	ICEBUG

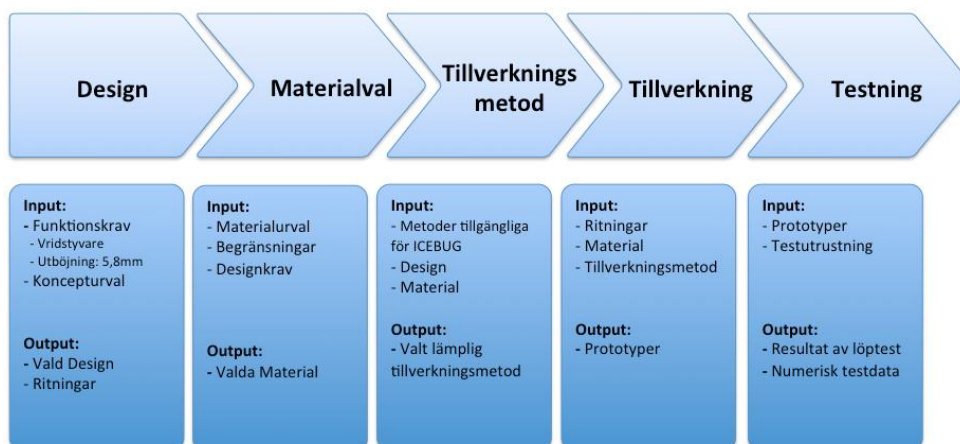
Figur 4.1 SIPOC

Enligt SIPOC-analysen i Figur 4.1 förefaller att mätetalen; sulans vridstyvhet, flexibilitet, utböjning och vattenavvisning styrs av processerna materialval och designval. Modellanpassningen styrs av tillverkningsvalet och kvaliteten på sulan styrs av tillverkningen.

Utvecklingsprocessen för innersulan inom ramen för detta projekt innehåller momenten; tester på befintlig sula, designval, materialval, tillverkningsval, tillverkning och testning av färdig produkt. Dessa delmoment leder till den slutliga produkten och det framgår även tydligt vilka moment som påverkar produktens respektive funktion, se Figur 4.1.

4.2 Process-karta

En process-karta syftar till att för varje steg av processen identifiera alla faktorer som kan tänkas påverka det mätetal som skall förbättras. I figur 4.2 ses projektets process-karta.



Figur 4.2 – Process-karta

4.3 Orsak-verkan matris

För att ta reda på vilka ingående parametrar som påverkade respektive funktion på sulan genomfördes en orsak-verkan matris där varje parameters inverkan prioriterades. Sedan vägdes (kvalitativt baserat på tidigare erfarenhet) varje parameter efter hur stor påverkan den hade på funktionen. Varje funktions prioritet (1-10) multiplicerades med varje parameters möjlighet till påverkan (1-10) och adderades sedan för var parameter. Resultaten i Tabell 4.1 visar att tjockleken och materialvalet bedömdes ha sammanlagt störst påverkan på sulans alla funktioner.

Tabell 4.1 Orsak-verkan matris

	Punktuppböjning	Vridstyvhet	Komfort	Vattenavvisande	Lätt vikt	Estetisk	
Prioritet	8	4	8	5	8	5	Totalt
Material	8	8	4	7	8	0	227
Tjocklek	7	8	9	0	6	5	233
Design	5	7	5	0	6	8	196

5. FRAMTAGNING AV MÄTSYSTEM

Nedan beskrivs mätsystemets uppbyggnad och hur dess tillförlitlighet kontrollerades, samt hur det kopplas till det som är viktigt för en förbättrad löpkänsla och minskad skaderisk.

5.1 Mätsystemets uppbyggnad

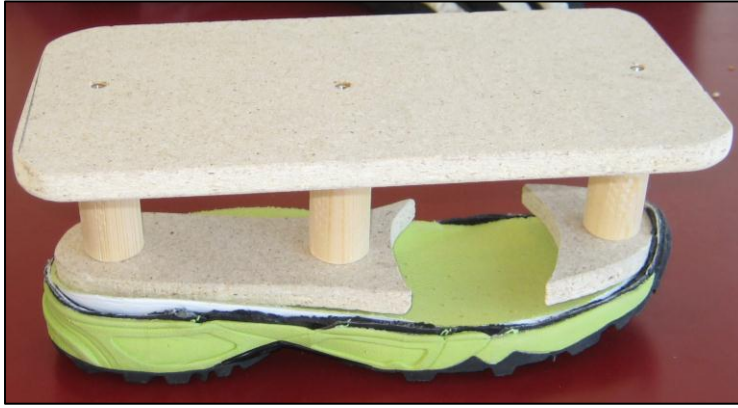
För att kunna sätta specifika krav och i ett senare skede utvärdera vår framtagna sula togs ett mätsystem fram. I rapporten kallad böjrigg. Syftet var att mäta sulans utböjning vid nedtramp på ett stenliknande föremål under belastning av en människas kroppsvikt.

Böjriggen byggdes av spånskiva, rundstav och ett skjutmått. Sulans profil sågades ut ur spånskivan för att kunna applicera ett verklighetstroget tryck mot skosulan. För att kunna studera sulans utböjning var ytan ovanför denna tvungen att vara fri. Detta löstes genom att ett hål togs upp i del 1, se Figur 5.1. Hålet medför att den uppmätta utböjningen då inte svarar mot den verkliga vid löpning. För att kunna mäta utböjningen placerades belastningen 70 mm ovanför del 1 på ytterligare en skiva. Belastningen överförs från del 2 till del 1 via tre rundstavar. Avläsningen av utböjningen sker med hjälp av ett digitalt skjutmått placerat i ett spår i del 2.



Figur 5.1 – Testrigg för punktutböjning (böjrigg)

För att koppla uppmätta värden i böjriggen till löparens upplevelse genomfördes tester där löpare fick bedöma känslan av obehag vid olika stora föremål under sulan, se kapitel 6. Deras bedömning översattes sedan till värden i böjriggen för att få fram den acceptabla utböjningen. Böjriggen konstruerades för att kunna uppmäta skillnader mellan olika sulmaterial där både förbättring och försämring i utböjning jämfört med den acceptabla kan beskådas. Värt att notera är att resultaten ifrån böjriggen inte ska förväxlas med den verkliga utböjningen vid löpning utan endast är till för att kunna jämföra skillnader mellan olika material och tjocklekar på innersulan. För att se hur böjriggen används, se Figur 5.2.



Figur 5.2 – Böjrigg under testning

5.2 Utförande av mätningar

Mätningarna genomfördes på följande sätt:

1. En mutter placerades på en bestämd position under sulan
2. En person ställde sig på del 2 med båda fötterna så att skjutmättet gick att avläsa
3. Skjutmättet pressades ner mot utböjningen och avståndet från ovansidan på del 2 till en markering på sulans ovansida avlästes.

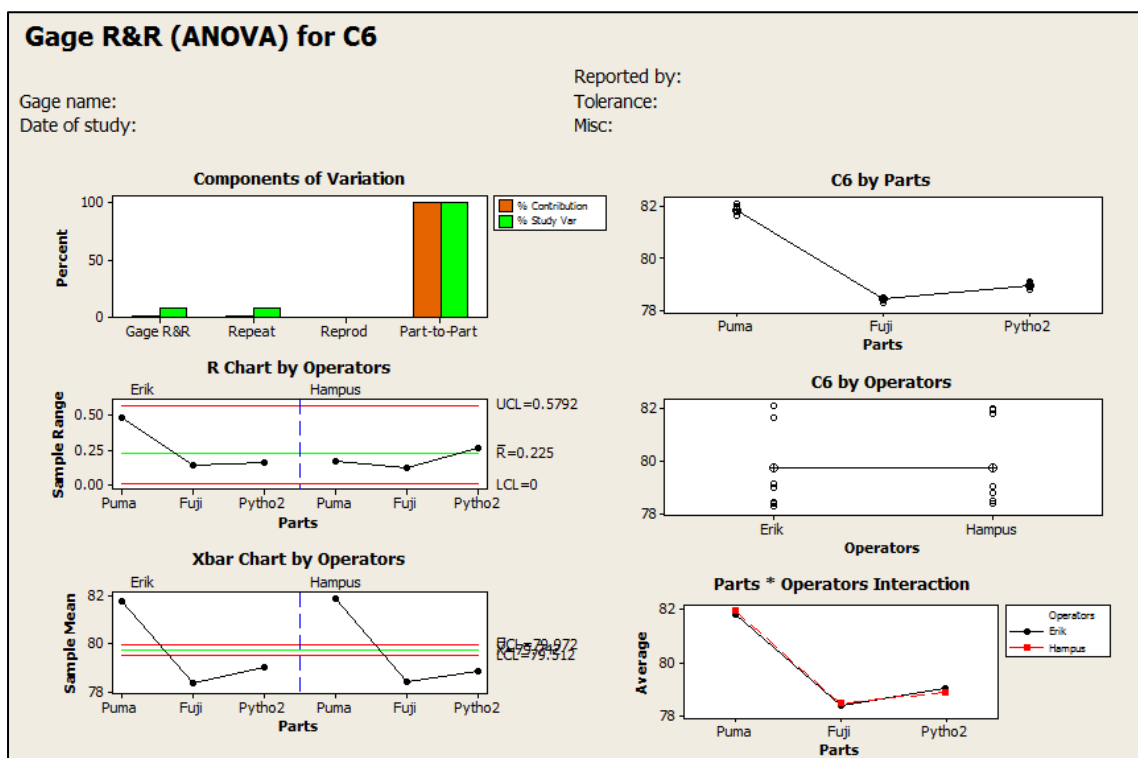
5.3 Säkerhetsställande av mätsystem

För att säkerställa att systemet kunde läsa av skillnader i utböjning med olika sulor analyserades testsystemet med en Gage R&R-studie. Programvaran Minitab 16 som användes använder sig av variansanalys (ANOVA) för att bedöma mätsystemet.

De olika sulalternativen som testades var Pytho2 utan innersula, Asics Fuji Attack (se teoretisk referensram) och Pytho2 med innersula från Puma (se teoretisk referensram).

De olika sulutföränderna testades tre gånger var, av två operatörer, i slumpmässig ordning. Ordningen slumpades av Minitab 16, testerna genomfördes och resultaten fylldes i och en kvalitetsanalys utfördes med hjälp av Minitab vilket gav resultatet som kan beskådas nedan i Figur 5.3.

I Figur 5.3 kan man tydligt se att mätsystemet är tillförlitligt genom att de två olika operatörernas, Erik och Hampus, mätningar blev väldigt närliggande för respektive sula men inte gav samma utböjning för de olika sulorna. Detta visar att mätsystemet ger bra utslag för de olika sulmaterialen, något som visas tydligt i diagrammet: ”Components of Variation” där ”Part-to-Part” balkarna är de enda som har stor variation. MSA (Measurement System Analysis) svarar på frågan att huvuddelen av variationen i data kommer från proverna och inte från mätsystemet, alltså kan det användas för att skilja olika sulmaterial åt.



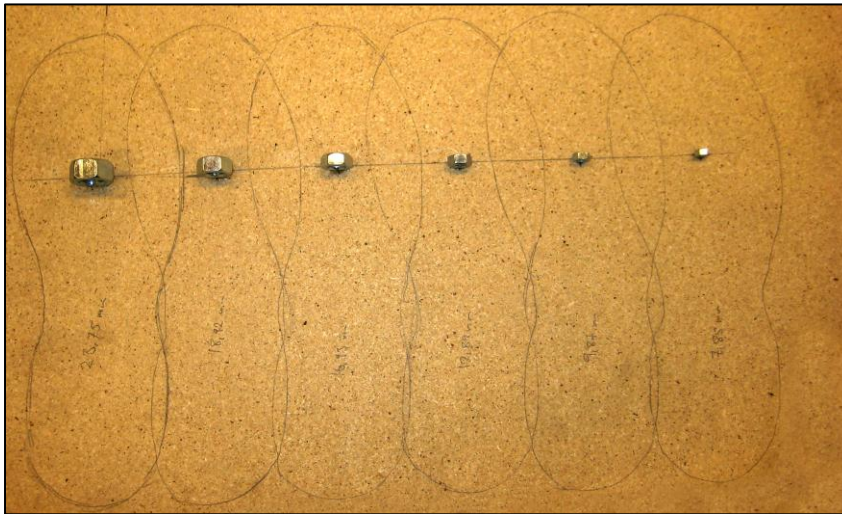
Figur 5.3 – Resultat från kvalitetsanalys i Minitab 16

6. FRAMTAGNING AV FUNKTIONSKRAV

I kapitlet nedan beskrivs hur sulans funktionskrav togs fram med experiment och analytisk beräkning.

6.1 Test av acceptabel utböjning

För att ta reda på vilken utböjning som kändes acceptabel under löpning genomfördes tester där fem personer fick trampa på olika stora föremål med Pytho2 på foten. Mätssystemet, i rapporten kallad känslorigg, byggdes upp av sex olika stora muttrar med en diameter på 8 mm till 24 mm som limmades fast på en spånskiva för att illustrera föremål i terrängen, se Figur 6.1. Varje testperson trampade på muttrarna för att avgöra vilken mutterstorlek som gav ett acceptabelt tryck på foten.



Figur 6.1 – Testmodul för känsla vid utböjning (känslorigg)

Testet visade att två testpersoner ansåg att 13 mm muttern gav en acceptabel utböjning och tre personer ansåg att 17 mm muttern gav en acceptabel utböjning, enligt tabell 6.1.

Tabell 6.1 – Fem testpersoners känsla av de olika muttrarna

Pytho2	T1	T2	T3	T4	T5
24					
19	inte ok	inte ok		inte ok	
17	ok	ok	inte ok	ok	inte ok
13			ok		ok
10					
8					

För att översätta testpersonernas känsla till numeriska data genomfördes mätningar med böjriggen på känsloriggen. Eftersom både mutter 13 och 17 upplevdes som acceptabel mättes utböjningen för dessa, se tabell 6.2. Ett viktat medelvärde beräknades för den acceptabla utböjningen.

Tabell 6.2 – Mätning av utböjning i rigg (alla mått i mm)

Föremål:	Nollvärde	13 mm mutter	17 mm mutter
Mätning 1	87,19	83,13	80,18
Mätning 2	87,14	83,4	80,2
Mätning 3	87,23	83,23	80,16
Medelvärde	87,17	83,25	80,18

Följande beräkningar genomfördes:

Medelvärde av de två muttrarna

$$\frac{83,25 \cdot 2 + 80,18 \cdot 3}{5} = 81,41 \text{ mm}$$

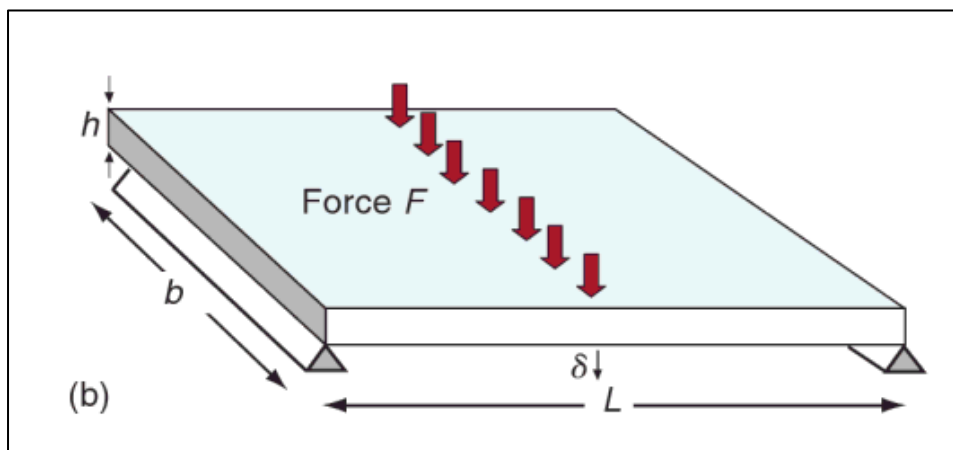
Beräkning av acceptabel utböjning

$$87,17 - 81,41 = 5,76 \text{ mm}$$

Alltså visades att den acceptabla utböjningen på Pytho2 var 5,8 mm enligt böjriggen.

6.2 Beräkning av lämplig E-modul

För att sulan inte ska ta för mycket plats i skon eller påverka löpkänslan, sattes en maxgräns på tjockleken till 2 mm. För att få ut en lämplig E-modul på innersulan gjordes beräkningar med hjälp av ekvationer tagna ifrån materialboken Materials, Ashby(2010). Med förenklade lastfall, se Figur 6.2, materialdata och önskvärd utböjning framtagna på experimentell väg gjordes följande beräkningar antaget att innersulan ej komprimeras:



Figur 6.2 – Panel med last (Ashby M, 2010, s. 91).

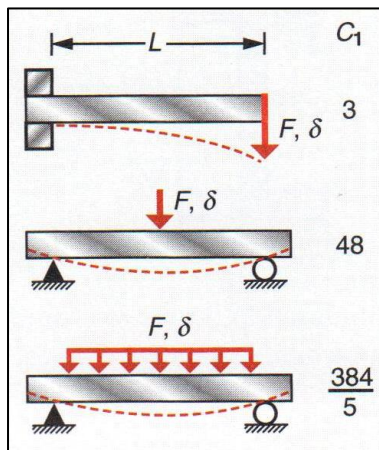
Sökt: höjd (tjockleken vi söker) = h

Ekvationer

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (1)$$

$$S^* = \frac{C_1 \cdot E \cdot I}{L^3} \quad (2)$$

$$S^* = \frac{F}{\delta} \quad (3)$$



Figur 6.3 – Lastfall för utböjning (Ashby M, 2010, s. 86).

Enligt lastfallet i Figur 6.3 blev i detta fall: $C_1=48$.

Beräkning

$$(1) \Rightarrow I = \frac{b \cdot h^3}{12} \Rightarrow h = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot I}{b}} \quad (4)$$

$$(2) \text{ och } (3) \Rightarrow \frac{F}{\delta} = \frac{C_1 \cdot E \cdot I}{L^3} \Rightarrow I = \frac{F \cdot L^3}{\delta \cdot C_1 \cdot E} \quad (5)$$

$$(5) \text{ i } (4) \Rightarrow h = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot \left(\frac{F \cdot L^3}{\delta \cdot C_1 \cdot E} \right)}{b}} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot F \cdot L^3}{b \cdot \delta \cdot C_1 \cdot E}} = L \cdot \sqrt[3]{\frac{12 \cdot F}{b \cdot \delta \cdot C_1 \cdot E}} \quad (6)$$

Diagram

För att ta reda på sambandet mellan E-modul och tjocklek, sattes följande värden in i ekvation (6) ovan. Värdena togs från böjriggens mått, den experimentellt framtagna acceptabla utböjningen, lastfall och kraften på 100 kg för att simulera en persons tyngd.

$$\begin{aligned} b &= 110 \text{ mm} \\ L &= 50 \text{ mm} \\ \delta &= 5,8 \text{ mm} \\ C_1 &= 48 \\ F &= 982 \text{ N (100 kg)} \end{aligned}$$

Olika E-moduler som kan ses i Diagram 6.1 sattes in i ekvation (6) och gav följande kurva för hur tjockleken varierar med materialets E-modul.

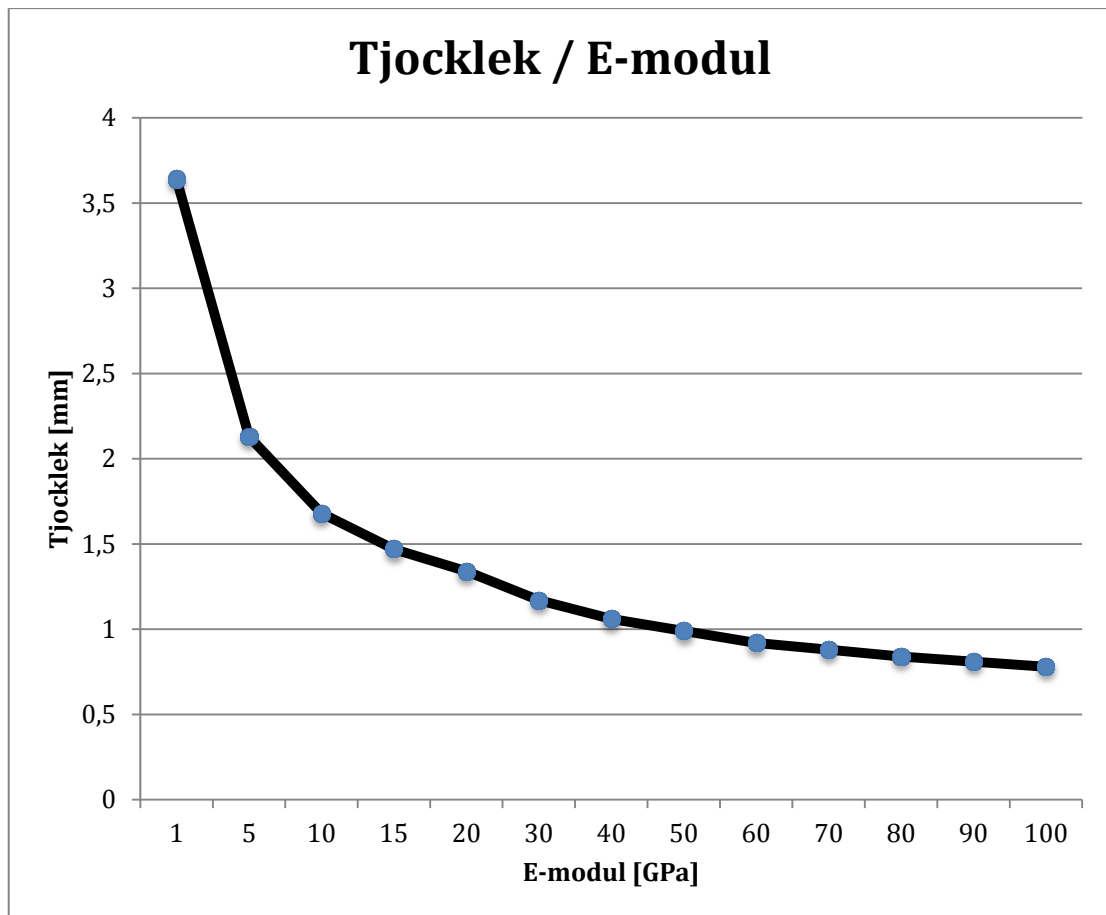


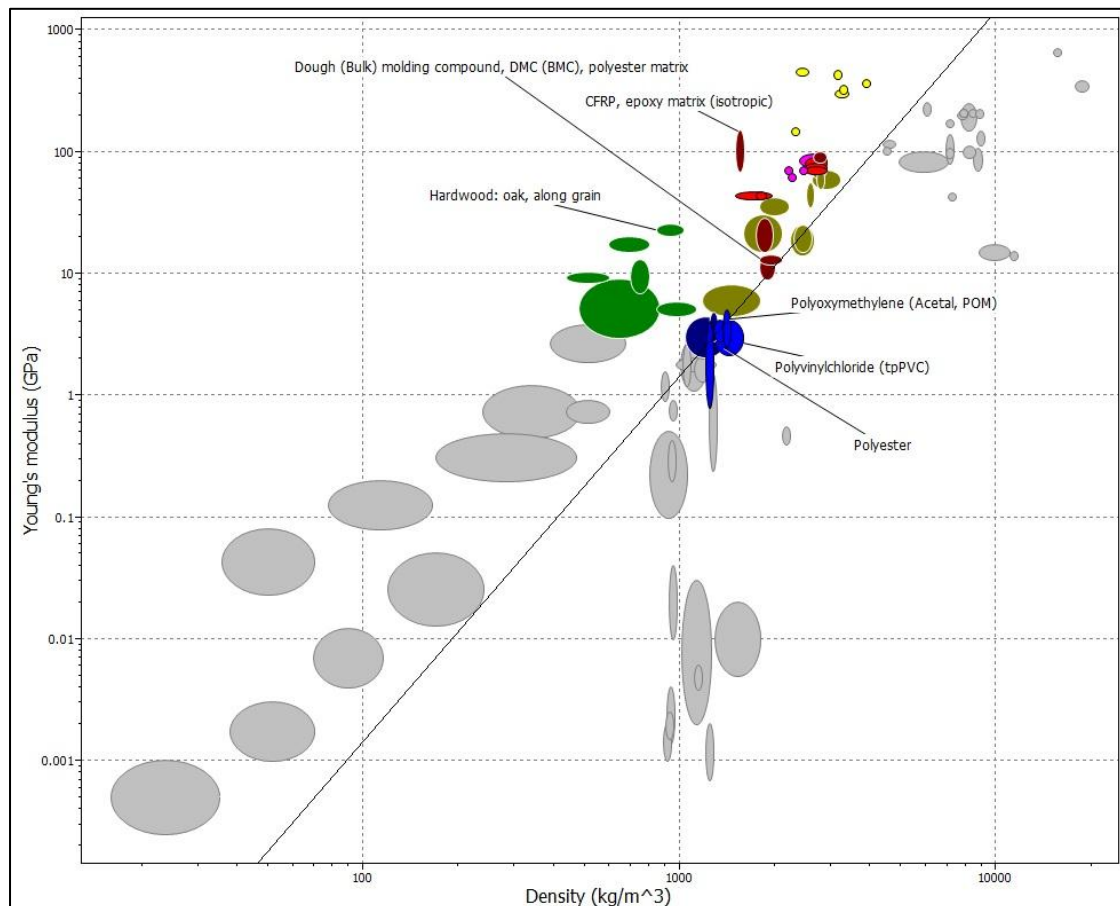
Diagram 6.1 – Tjocklek beroende på E-modul

Som ses i diagram 6.1 ställs höga krav på materialets E-modul för att hålla tjockleken nere. E-moduler upp mot 50 GPa går inte att uppnå med plastmaterial som t.ex. termoplast, då krävs kompositmaterial, se Figur 7.1. Termoplasten som tillverkaren erbjöd (och inte kunde ge oss exakt materialdata på) ligger någonstans mellan 1-4 GPa vilket skulle innebära på gränsen till för tjock sula (2mm) för att kravet på utböjningen ska kunna uppnås. Således leder detta till två möjligheter, användning av kompositmaterial eller om möjligt styvare plast med högre E-modul.

7. MATERIALVAL

Enligt diagram 6.1 krävs en E-modul över 5 GPa för att komma under en 2 mm tjock sula. För att minska tjockleken ner till 1 mm krävs en rejäl ökning av E-modulen, upp mot 50 GPa. Eftersom en så tunn sula som möjligt är önskvärd för att bibehålla löpkänslan och inte ta för mycket plats undersöktes möjligheten att använda ett kompositmaterial.

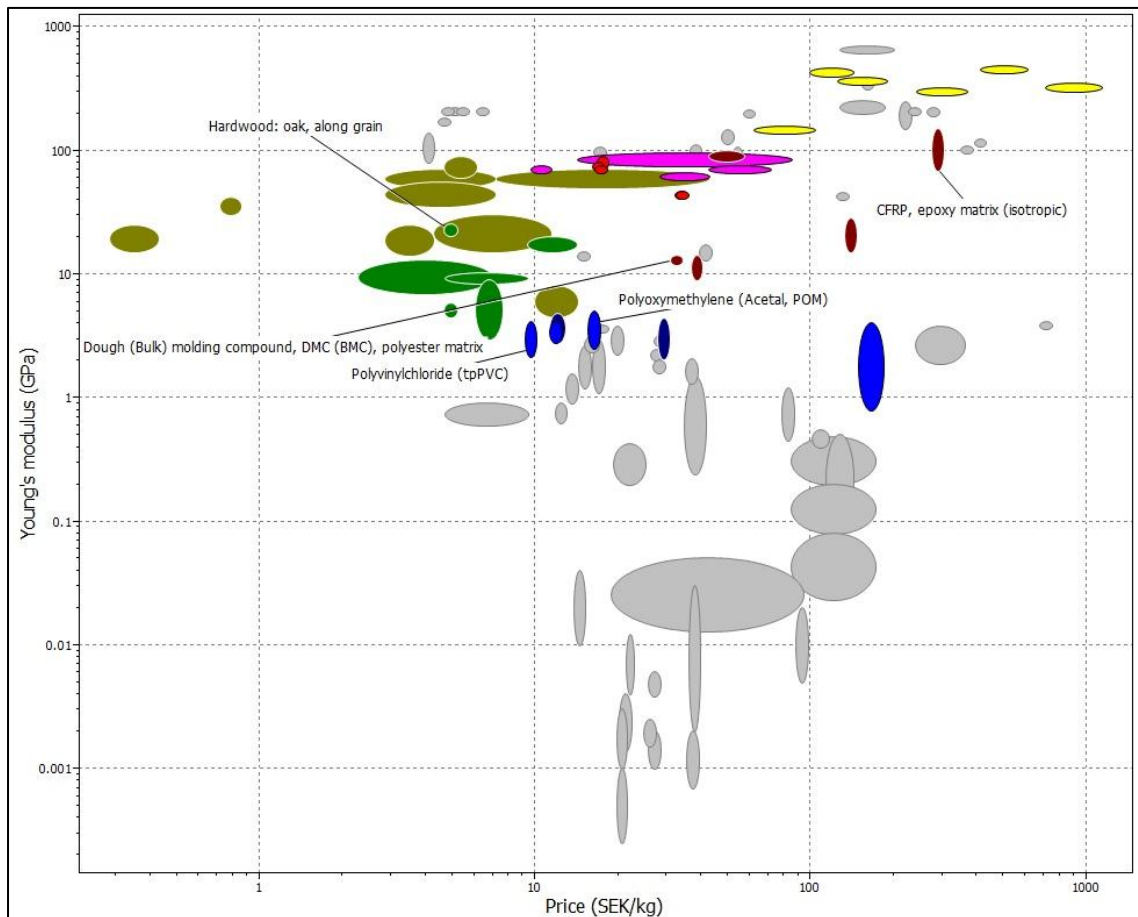
För att hitta och studera lämpliga material användes CES EduPack 2011. I figur 7.1 är E-modulen ritad mot densiteten. Lutningslinjen är inlagd med en lutning på 3 eftersom lastfallet i fråga är en styv panel. Endast material med en E-modul över 4 GPa visas aktivt i färg.



Figur 7.1 – E-modulen ritad mot densiteten med lutningslinje inlagd.

I figur 7.1 ses ett flertal intressanta material. Den gula gruppen högst upp är keramer och är för spröda för att användas i sulan. Intressant att notera är att ek har de rätta egenskaperna för sulan. Kolfiber har högst E-modul av övriga material och ligger långt ovanför linjen vilket innebär att det har en hög styvhet i förhållande till sin vikt. Den gröna gruppen är trä och den blåa olika plaster. Enligt figuren är ek ett bättre lämpat material än vinylplast då det ligger längre ifrån linjen, vilket innebär högre E-modul och lägre densitet. Dock tillåter inte de tillverkningsmöjligheter som tillverkaren använder sig av trä och därför studeras detta material inte vidare.

En förfrågan om kolfiber skickades till tillverkaren i Kina som undersökte möjligheten att använda detta material i tillverkningen. Det visade sig att tillverkaren inte kunde erbjuda kolfiber men att de hade ett annat plastmaterial med liknande egenskaper. En övervägande fördel med att använda plastmaterial istället för kolfiber ses i Figur 7.2 där E-modulen är ritad mot priset per kilo. Ur figuren ses att kolfiber är ungefär 15 gånger så dyrt som plast. En sådan hög kostnad bara för materialinköp innebär en betydande skillnad på det slutliga produktpriset i butik.



Figur 7.2 – E-modulen ritad mot pris per kilo.

Prover på plastmaterialet som tillverkaren kunde erbjuda skickades till Sverige för undersökning och test. Då kolfiber uppvisade mycket bra egenskaper enligt Figur 7.1 undersöktes möjligheten att köpa in kolfiber i Sverige istället, trots priset. En svensk leverantör vid namn Carbix kontaktades för rådgivning och expertis. Färdiglaminerade plattor av kolfiber beställdes från Carbix för vidare testning.

För att utöka testerna med fler material köptes polyesterplast på skiva från Matton, Göteborg, i både 1 och 2 mm.

Då samtliga material hade levererats gjordes mätningar i böjriggen för att ta reda på eventuella skillnader i utböjning mellan materialen. Testerna genomfördes med en Pytho2 sko där ovandelen klippts bort, de olika provmaterialen (beskärda i lästprofil) lades i som innersulor, se Figur 7.3.



Figur 7.3 – Modifierad Pytho2 sko med kolfibersula

Samtliga material testades först för sitt nollvärde två gånger och mättes sedan tre gånger var med en 17 mm bred mutter under sulan, medelvärden togs sedan ut. Tabell 7.1 nedan visar resultaten.

Tabell 7.1 – Resultat av mätningar (alla värden i mm)

Mätning	Pytho2	TPU, 1mm	TPU, 2mm	Kolfiber, 1 mm	Polyester, 2mm	Polyester, 1mm
Nollvärde 1	87,19	88,40	89,80	86,26	89,27	89,40
Nollvärde 2	87,14	88,37	89,20	86,27	89,15	89,44
Medelvärde	87,17	88,39	89,50	86,27	89,21	89,42
Mätning med 17 mm mutter under sulan						
Mätning 1	80,18	81,80	82,57	84,20	84,61	82,79
Mätning 2	80,20	81,82	82,37	84,24	84,46	82,62
Mätning 3	80,16	81,76	82,57	84,26	84,50	82,80
Medelvärde	80,18	81,79	82,50	84,23	84,52	82,74
Utböjning	6,99	6,60	7,00	2,04	4,69	6,68

Experimenten visar att kolfibersulan gav en tydlig minskning i utböjning och tack vare sina egenskaper skulle man utan tvekan kunna använda sig av ännu tunnare kolfiber (inte minst med hänsyn till att den maximalt acceptabla utböjningen beräknats till 5,8 mm), något som skulle minska innersulans tjocklek och därmed gynna löpkomforten.

Mätningarna visar även att TPU inte minskade utböjningen något märkbart, varken med 1 mm eller 2 mm tjocklek. Den lilla skillnaden som uppstod beror med största sannolikhet på den mänskliga faktorn. Alltså gjorde tjockleksskillnaden för TPU-materialet inte någon skillnad för utböjningen.

2 mm tjock polyester minskade utböjningen till 4,7 mm medan den tunnare polyesterskivans inverkan på utböjningen var försumbar.

Resultaten ovan visar klart att kolfiber var det material som minskade utböjningen mest och således ger den bästa innersulan om man enbart ser till sulans produktkrav. Vägs ekonomiska och tillverknings specifika aspekter in blir bilden en annan. Ett hårdplastmaterial är mycket billigare och lättare att tillverka än kolfiber vilket är betydande i stor produktion. Om tillverkaren kan tillhandahålla en hårdplast med E-modul över 5 GPa (för att inte överstiga 2 mm tjocklek på sulan) vore det en bra lösning. Enligt figur 7.1 skulle ett sådant material kunna vara Polyoximetylen (POM).

Därför valdes Polyoximetylen som material i inläggssulan.

8. KONCEPT

Nedan beskrivs hur prototypen tagits fram från ett flertal koncept som förfinats och sållats bort till en slutgiltig design.

8.1 Konceptframtagning

All produktframtagning anpassades till skomodellen PYTHO2 i storlek 42, då denna skomodell är Icebugs tänkta trailsko och storleken 42 för att produktutvecklarna skulle kunna testa prototypen i verkligheten. Se Figur 3.1 för sulans uppbyggnad. Pappersprofiler av två skors insida (Pytho2 och Acceleritas) beställdes av tillverkaren för att kunna börja med nästa steg – ta fram en förstärkt innersula. Pappersprofilerna användes både som stöd i designframtagningen och för att avgöra hur storleksuppdelningen skulle fördelas.

Pappersprofilerna av PYTHO2 (medelbred modell) och ACCELERITAS (smal modell) skissades av på samma papper för att möjliggöra en sula som skulle passa i båda skorna, se bilaga 1. Med hjälp av denna mall skissades ett flertal modeller upp, alla mer eller mindre med hänsyn till vridstyvhet, punktuppböjning och flexibelt framfotparti.

När fyra väl genomtänkta koncept tagits fram togs kontakt med tillverkaren i Kina som fick ta del av koncepten i form av skisser och beskrivningar. På så vis kunde tillverkaren förbereda tillverkningsmetoden och ge respons på koncepten angående material- och designmöjligheter samt begränsningar. I detta skede beställdes även materialprover.

Nedan beskrivs koncepten (koncept 2 uteblev då det var väldigt likt koncept 3).

Koncept 1

Koncept 1, se bilaga 2, består av ett styvare material längs hela foten. Styvheten varierar med tjockleken på tvärsnittet och på så vis uppnås önskade egenskaper på rätt ställe. För att öka sulans rörlighet längs fotens flexlinje har material tagits ut mellan zon 1 och 2. För att sulan inte skall bli för vridstyv har zon 1 en rejäl midja som tillåter vridning.

Koncept 3

Koncept 3, se bilaga 3, har många tvärsnittsförändringar för att optimera förhållandet mellan vikt och styvhet. Hålet i hälen är hämtat från Arch Flex System sulan och hjälper fotens egen stötdämpning genom att samla ihop fettkudden, Ekstrand (2012). Rörligheten i sulans framdel har ökat genom ett flertal kanaler där material tagit ut. Bryggorna mellan kanalerna är tillverkningsdetaljer som gör att sulan kan betraktas som ett stycke.

Koncept 4

Koncept 4, se bilaga 4, är en vridstyv konstruktion med mycket material i bakre partiet. För att främre partiet ska kunna följa fotens rörelse har urtag gjort mellan zon 1 och 2. Bryggorna mellan zonerna är tillverkningsdetaljer som underlättar produktionen då sulan kan behandlas som ett stycke istället för två.

Koncept 5

Koncept 5, se bilaga 5, är framtaget för vikt och materialbesparing. För att uppnå hög styvhet med så lite material som möjligt utnyttjas nätets styrkor. Då belastning tas upp av ”ribborna” och fördelas i nätet blir konstruktionen styv och stark trots lågt materialanvändande.

8.2 Koncepturval

Med hjälp av en Pugh-matris värderades varje koncepts funktion beroende på kriterier, se Tabell 8.1. Sex viktiga kriterier på trailplaten jämfördes med den befintliga innersulan och värderades utifrån hur mycket bättre respektive sämre koncepten uppfyllde dessa.

Värderingen sträcker sig från -2 till 2, där -2 är stor försämring, 2 är stor förbättring och 0 är ingen förändring. Värderingspoängen summerades och högst poäng innebar störst förbättring gentemot befintlig innersula. Enligt matrisen var koncept 1 det bästa alternativet vilket även stämde överens med tillverkarens åsikt. De ansåg att koncept 1 var det mest ekonomiska och praktiska ur tillverkningsynpunkt. Således fastslogs att vidareutveckling skulle ske av koncept 1.

Tabell 8.1 – Pugh-matris för de fyra koncepten

	Befintlig	Koncept 1	Koncept 3	Koncept 4	Koncept 5
"En gjutning"	-	2	-1	1	1
Styvhet	0	2	2	2	2
Punktutböjning	0	2	2	2	2
Flexibel framfot	0	0	0	-1	-2
Lätt	0	-2	-2	-2	-1
Storleksanpassning	0	0	0	0	0
$\Sigma+$	0	6	4	5	5
$\Sigma-$	0	2	3	3	3
$\Sigma 0$	0	2	2	1	1
SUMMA	0	4	1	2	2

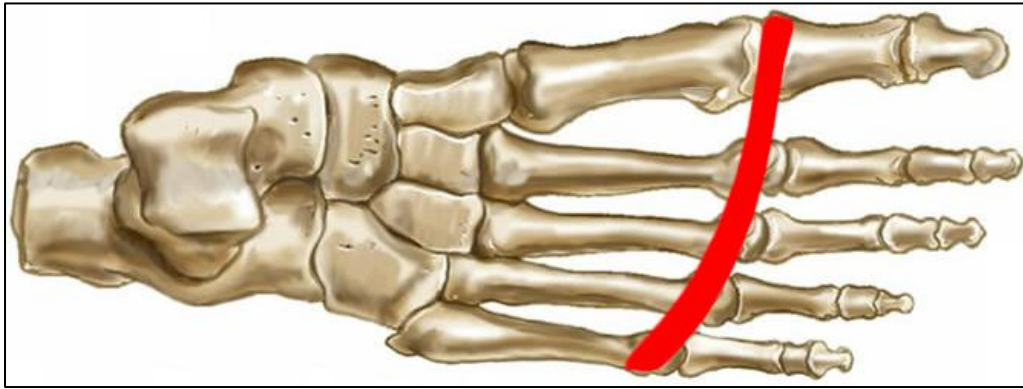
Utifrån en tydlig beskrivning av konceptet samt enkla skisser tog tillverkaren fram ritningsunderlag som sedan redigerades.

8.3 Ritningsunderlag

Enklare skisser skickades till tillverkaren i Kina på koncept 1 med tydlig beskrivning om tjocklek, material och diverse detaljer på designen, se bilaga 2.

Tillverkaren skickade tillbaka handgjorda ritningar på innersulan för verifiering och respons, se bilaga 6.

Grunderna i konceptet hade begripits men ett antal detaljer behövde redigeras, bland annat sänktes kanten betydligt, det beslutades att kilen som skapade flexibilitet i framfoten skulle vara längre bak på sulan och med en viss lutning för att stämma överens med fotens naturliga flexlinje, i medicinska termer kallad metatarsal-phalangeal-leden, Stenbeck (2012), se Figur 8.1. Fyra stycken åsar lades till i designen för att motverka punktutböjning och även ett hål för hälen lades till för att öka komforten och undvika problem med bland annat hållsporre. Detta genomfördes genom att tydligt rita på den befintliga handgjorda ritningen och beskriva med text vad som skulle läggas till och vad som skulle tas bort, se bilaga 7.



Figur 8.1 – Fotens flexlinje (efter Kidport, 2012)

Tillbaka kom digitala ritningar, se bilaga 8, där samtliga förändringar ovan hade genomförts näst intill korrekt, endast några mindre detaljer behövde redigeras. Tvärsnittet förändrades för att sulan skulle ligga bättre i skon, framför allt minskades kanternas radie. Kilen vid flexlinjen förändrades så att den blev genomgående. Åsarna förändrades också något så att de stämde överens med grundtanken, se bilaga 9.

9. TILLVERKNINGSMETOD

För att effektivisera tillverkningen skulle sulan tillverkas i tre steg och endast bestå av två olika material. Dessa kriterier har tagits hänsyn till under koncepturvalet och således påverkat designen. Att använda endast två material bidrog egentligen inte till några större svårigheter i att uppnå önskad funktion då den faktor som påverkar sulans funktion mest är materialets tjocklek. I tillverkningsprocessen kan tjockleken i ett längsgående tvärsnitt varieras fritt vilket gör att olika styvheter i sulan lätt kan åstadkommas.

En gjutform för TPU formas i en CNC-fräs utifrån en STL-ritning. TPU injiceras sedan i formen. ESS köps prefabricerad i stora skivor och pressas sedan till sin slutliga form under hög temperatur (120-160 grader) och högt tryck (500 kg). Processen kan liknas vid att lägga en plastskiva i ett våffeljärn. För att TPU ska hamna i ett lager av ESS placeras den färdiggjutna TPU-biten mellan två skivor ESS som pressas till en enhet enligt ovan.

9.1 Storleksanpassning

Designen består av en hårdplastdetalj som pressas ihop med mjukplast. Då verktyget för hårdplastdetaljen kostade cirka 13000 kr och verktyget för mjukplast ca 3500 kr att tillverka gjordes inte hårdplastdetaljen i alla storlekar. En storlek på hårdplastdetaljen användes till fyra skostorlekar. Detta då fotens flexlinje inte skiljer sig mer än ett fåtal millimetrar för dessa storleksskillnader, något som inte påverkar framfotens flexibilitet, enligt Icebugs tidigare undersökningar. Storleksanpassningen fördelades enligt Tabell 9.1 nedan.

Tabell 9.1 – Storleksanpassning för hårdplastdetalj

Plastdetaljstorlek	Skostorlekar
1	36 - 38
2	38½ - 40
3	40½ - 42
4	42½ - 44

Mjukplasten kunde istället stansas ut efter varje storlek för att sedan pressas ihop med respektive hårdplastdetalj, eftersom det verktyget var förhållandevis billigt.

10. DISKUSSION

Detta projekt har varit till för att förbättra skons funktion men produktutvecklingen har fokuserats på innersulan. Arbetsmetodiken har följt sex sigma metoden DMAIC vilket är en metod för förbättringsarbete. Metoden har passat mycket bra till detta produktutvecklingsprojekt då den innehåller alla viktiga steg i en sådan process samtidigt som det har känts logiskt att arbeta på detta vis.

Det sista steget i DMAIC metoden, kontroll, har inte genomförts då en prototyp inte har tillverkats i tid på grund av långa väntetider och kommunikationsbrister med tillverkaren i Kina. Arbets sättet som har använts i detta projekt har inneburit att vi har skissat och förklarat koncept till tillverkaren som sedan har skickat tillbaka CAD-ritningar. Ändringar på dessa har sedan skickats tillbaka till tillverkaren som ändrat i sin CAD-ritning. Detta har inneburit långa väntetider och missförstånd. Det hade därför varit mycket bättre och tids-effektivare om vi hade kunnat rita modellen direkt i CAD för att skicka ner till Kina, något som Icebug redan har funderingar kring.

Några avgörande steg i vårt projekt har varit materialvalet, mätsystemet och konceptframtagningen.

Materialvalet har präglats av såväl ekonomiska aspekter som praktiska vid tillverkning. Att hitta ett väldigt bra material rent funktionellt var egentligen lätt (kolfiber), svårigheten låg i att hitta ett material som var både billigt och smidigt att använda i tillverkningen. Plastmaterial föll naturligt som ett bra alternativ då tillverkaren jobbat mycket med detta tidigare samt dess låga kostnader.

Mätsystemets uppbyggnad är väldigt enkelt men det ger oss de resultat som är relevanta för att undersöka olika material. Tillförlitligheten är oerhört viktig för att det inte ska fattas beslut på brus från mätsystemet. Därför kontrollerades tillförlitligheten noga med hjälp av Minitab, vilket gav goda resultat.

Konceptframtagning kan slutföras på väldigt många sätt men vi insåg tidigt att det var mycket viktigt med förundersökningar innan detta för att ha tillräckligt med information så att rätt beslut kan tas.

Trycksulor, som kan känna av hur trycket fördelas över foten hade varit väldigt intressant för detta projekt, tyvärr fick vi inte tillgång till några trycksulor. Det har etablerats en kontakt med personerna som driver ett labb på idrottshögskolan i Göteborg där sådana finns. Icebug kommer fortsätta med denna kontakt för eventuella tester i framtiden.

11. SLUTSATS

För att de krav som ställdes på sulan skulle uppfyllas har löpkänsla och komfort varit i fokus under hela utvecklingen. Flexibilitet i framfoten samt en lätt och tunn sula var oerhört viktiga parametrar. För att uppnå en skyddande sula krävs ett styvt material som kan motverka punktutböjningar, ska detta samtidigt vara tunt ställs höga krav på materialets egenskaper.

För att uppnå flexibilitet i framfoten när ett väldigt styvt material används krävs detaljerade krav på designen, där hänsyn framförallt måste tas till var fotens flexlinje ligger. Med ett styvt material uppnås en vridstyv sula, men skillnaden mellan en vridstyv sula och en allt för stel och hård sula är hårfin, detta ställer stora krav på både design, tjocklek och material.

11.1 Material

Enligt våra mätresultat var kolfiber det material som minskade utböjningen mest och därmed skyddade foten bäst. Även vad gäller vridstyvheten visade sig kolfibern överlägsen. De enda nackdelarna med kolfiber var dess höga kostnad och att en felaktigt designad sula kunde ge ett allt för styvt uppträdande. Polyesterplasten som testades uppvisade en klar minskning av utböjningen, dock inte lika stor som kolfibern, om en tjocklek på 2 mm användes. Polyestern var betydligt billigare än kolfiber men något för benäget att spricka för att vara det optimala alternativet.

Kolfiber torde vara det bästa alternativet men om ekonomiska aspekter utesluter materialet vore det lämpligt att fortsatt undersöka möjligheter med ett styvt plastmaterial. För att hålla nere tjockleken på sulan rekommenderas ett material med en E-modul högre än 5 GPa. Det är viktigt att materialet är resistent mot utmattning och inte är för sprött. Därför rekommenderar vi polyoximetylen (POM).

11.2 Design och komfort

För att uppnå god komfort ska sulan vara så anonym som möjligt, det vill säga inte hindra fotens flexibilitet, inte göra skon för stel och inte åstadkomma obehag för löparen. Designen består av en hårdplast som ger sulan dess funktioner samt mjukplast som ger en jämn yta över hela sulan samt komfort och fäste undertill.

För att uppnå flexibilitet togs en kil ut ur hårdplasten längs fotens flexlinje. I framfoten lades fyra åsar in för att ge designen en punktutböjningsreducerande form, ett effektivt sätt att motverka utböjning. I hälen gjordes hål i hårdplasten för att hjälpa fotens dämpning och motverka hälsporre.

En design som klarar av samtliga krav och samtidigt ger en god komfort kan göras på flera sätt. Den slutgiltiga designen blev utvecklad allt eftersom där olika tillägg och reduceringar gjordes med tanke på funktion och komfort.

11.3 Storleksanpassning

Storleksanpassningen blev av ekonomiska skäl sådan att hårdplastdetaljen (dyrt verktyg att tillverka) endast gjordes i fyra storlekar, då fotens flexlinje endast differerar på ett fåtal millimetrar mellan dessa storlekar. Mjukplasten som däremot stansas ut (billigt verktyg) kan istället produceras för varje storlek för att sedan pressas ihop med hårdplastdetaljen. På detta vis sparar man in på kostnader för tillverkningen av verktyg utan att gå miste om funktion eller passning.

REFERENSER

Ashby M. Shercliff H. & Cebon D., 2010: *Materials - 2nd Edition*, Copyright Elsevier Ltd, Oxford.

Brand JL. & Jongenengel CD., *Shoe and sole fitted with torsion stiffener*. US 6,785,986 B1. 2004-09-07.

Dietrich SJK. & Knoche B., *Shoe with external torsion stability element*. US 6,497,058 B2. 2002-12-24.

Fotform, 2003, <http://www.fotform.se/tillverkning.php> (Acc 2012-03-27)

Gebhard J., *Torsion system for an article of footwear*. US 7,934,327 B2. 2011-05-03.

Kidport, 2012,
<http://www.kidport.com/reflib/science/humanbody/skeletalsystem/Foot.htm> (Acc 2012-05-22)

Pasternak SM., *Shoe with form fitting sole*. 4,858,340. 1989-08-22.

Muntliga källor

Ekstrand Mattias (Business Area Manager, Arch Flex System) Möte med författarna 2012-03-29

Stenbeck Ola (Ortopedingenjör, TeamOlmed) Intervju 2012-05-21

BILAGOR

Bilaga 1: Profil av sko

Bilaga 2: Koncept 1

Bilaga 3: Koncept 3

Bilaga 4: Koncept 4

Bilaga 5: Koncept 5

Bilaga 6: Handgjorda skisser från tillverkaren i Kina

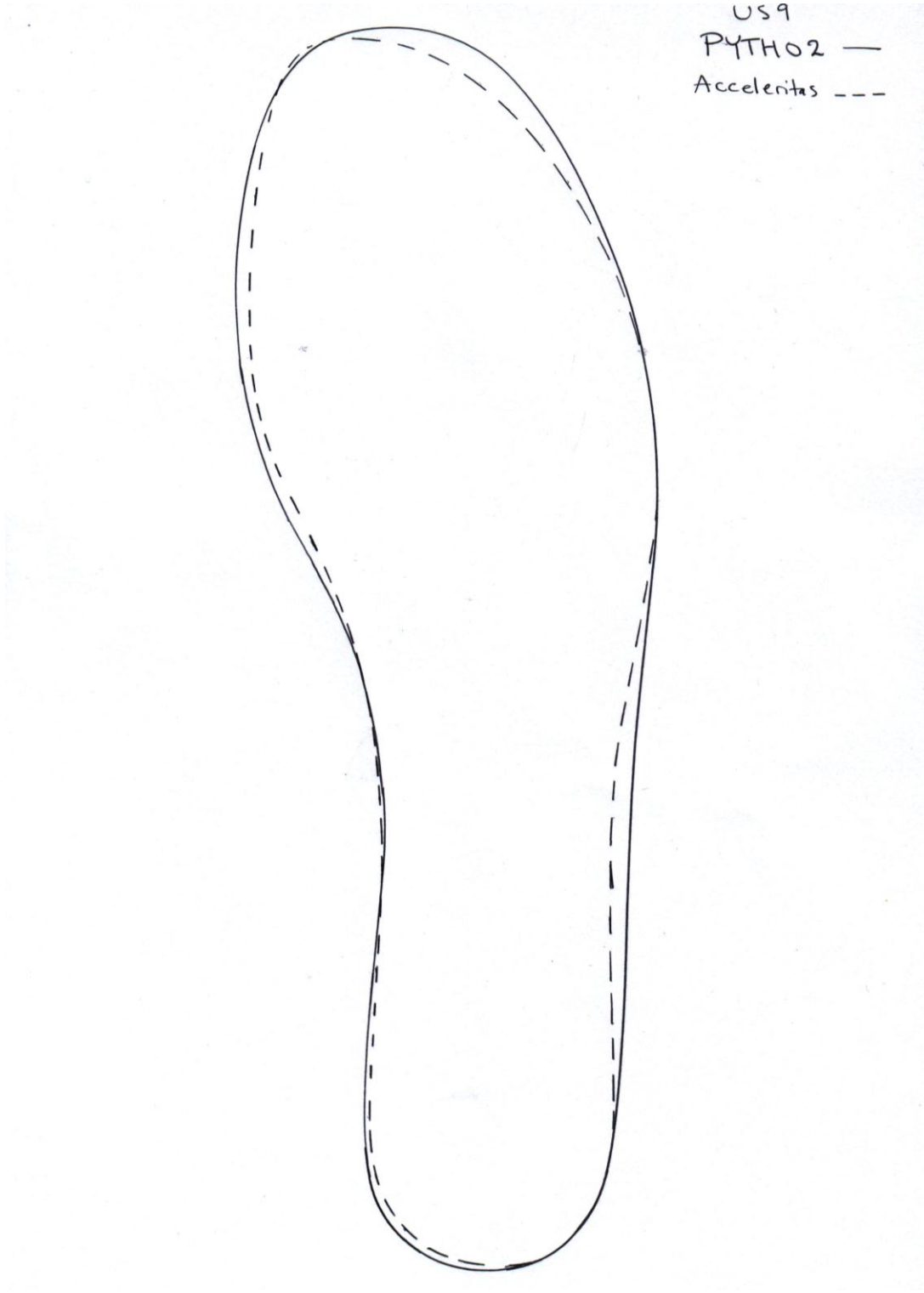
Bilaga 7: Redigering av handgjorda skisser

Bilaga 8: Ritning på koncept 1

Bilaga 9: Redigering av ritning på koncept 1

Bilaga 10: Förklaring av SIPOC

BILAGA 1

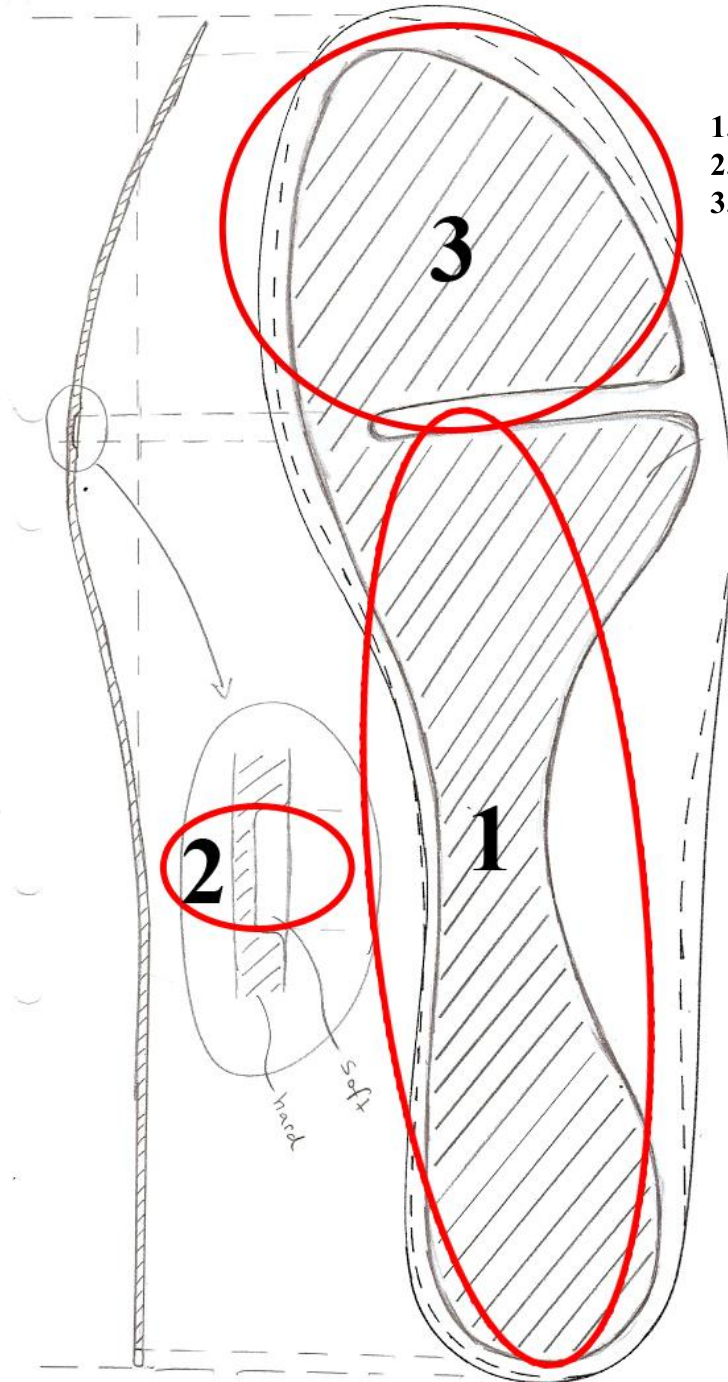


BILAGA 2

29/3-2012

Concept 1

US9
PYTH02 —
Acceleritas ---



- 1. Thickest part.
- 2. Thinnest part, for flex.
- 3. Medium thick.

BILAGA 3

30/3 -12

Concept 3

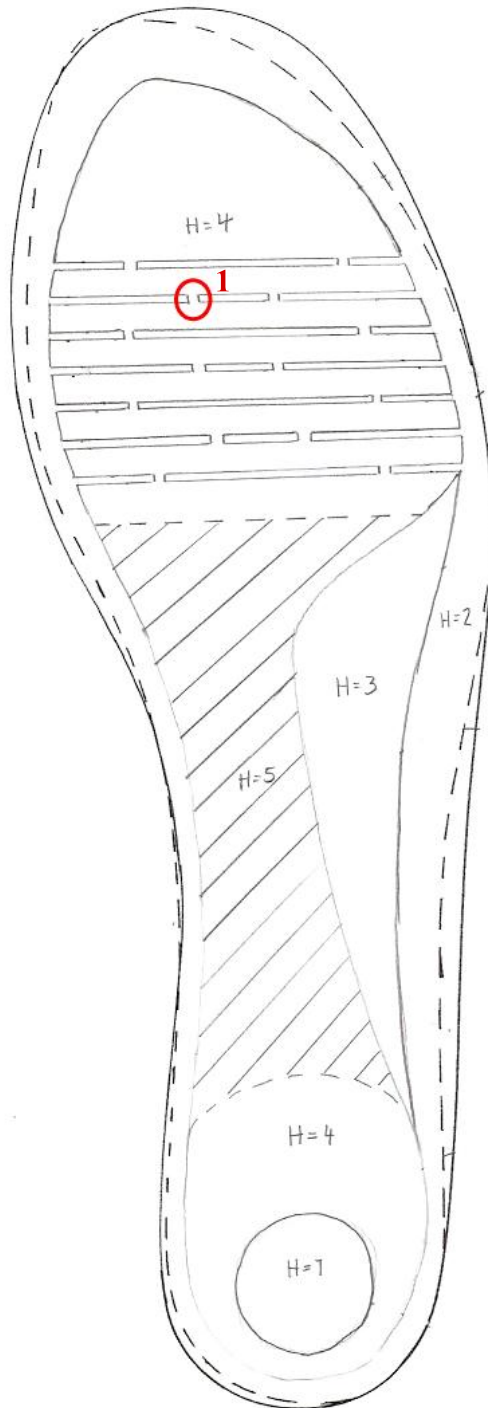
US9
PYTHO2 —
Acceleritas ---

H = Hardness/Stiffness

1 = Most soft

->

5 = Hardest



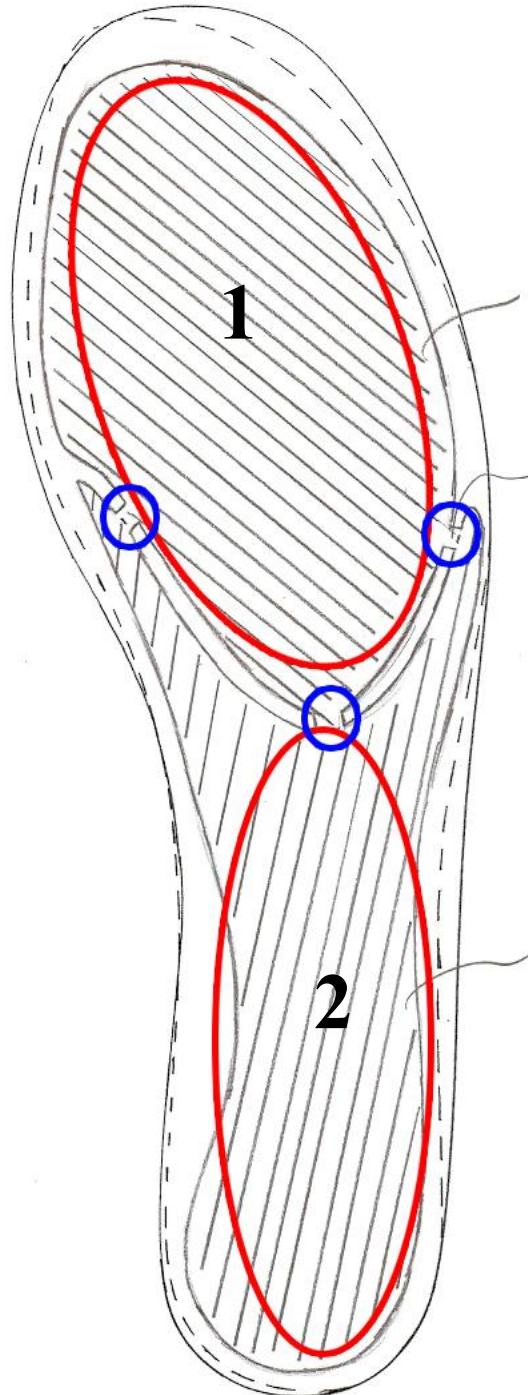
BILAGA 4

30/3-12)

Concept 4

US9
PYTHO2 —
Acceleritas ---

- 1. Thinner plate**
- 2. Thicker plate**



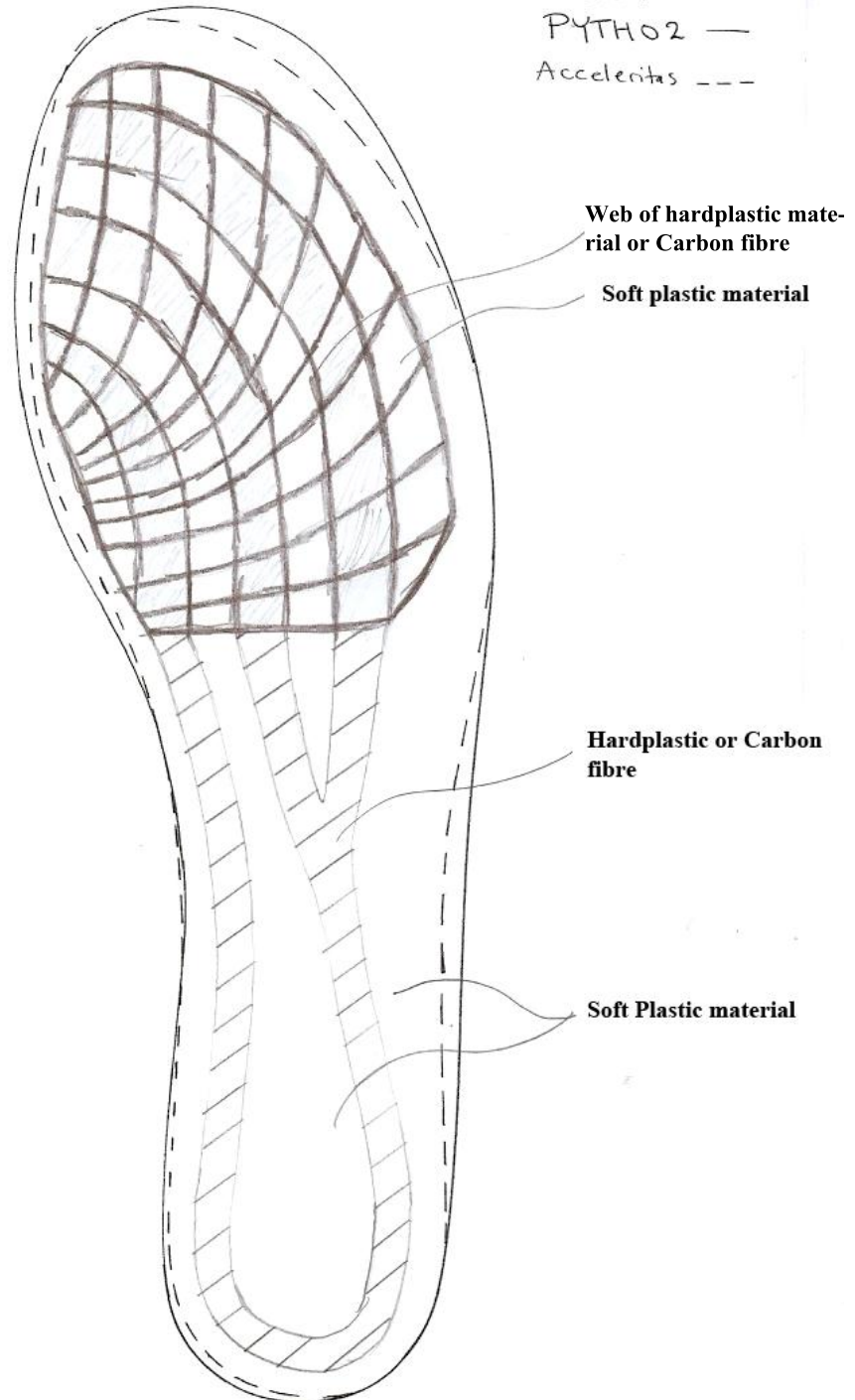
○ = Material thick-
ness fades down to
thinner.

BILAGA 5

30/3 -12

Concept 5

US9
PYTHO2 —
Acceleritas ---



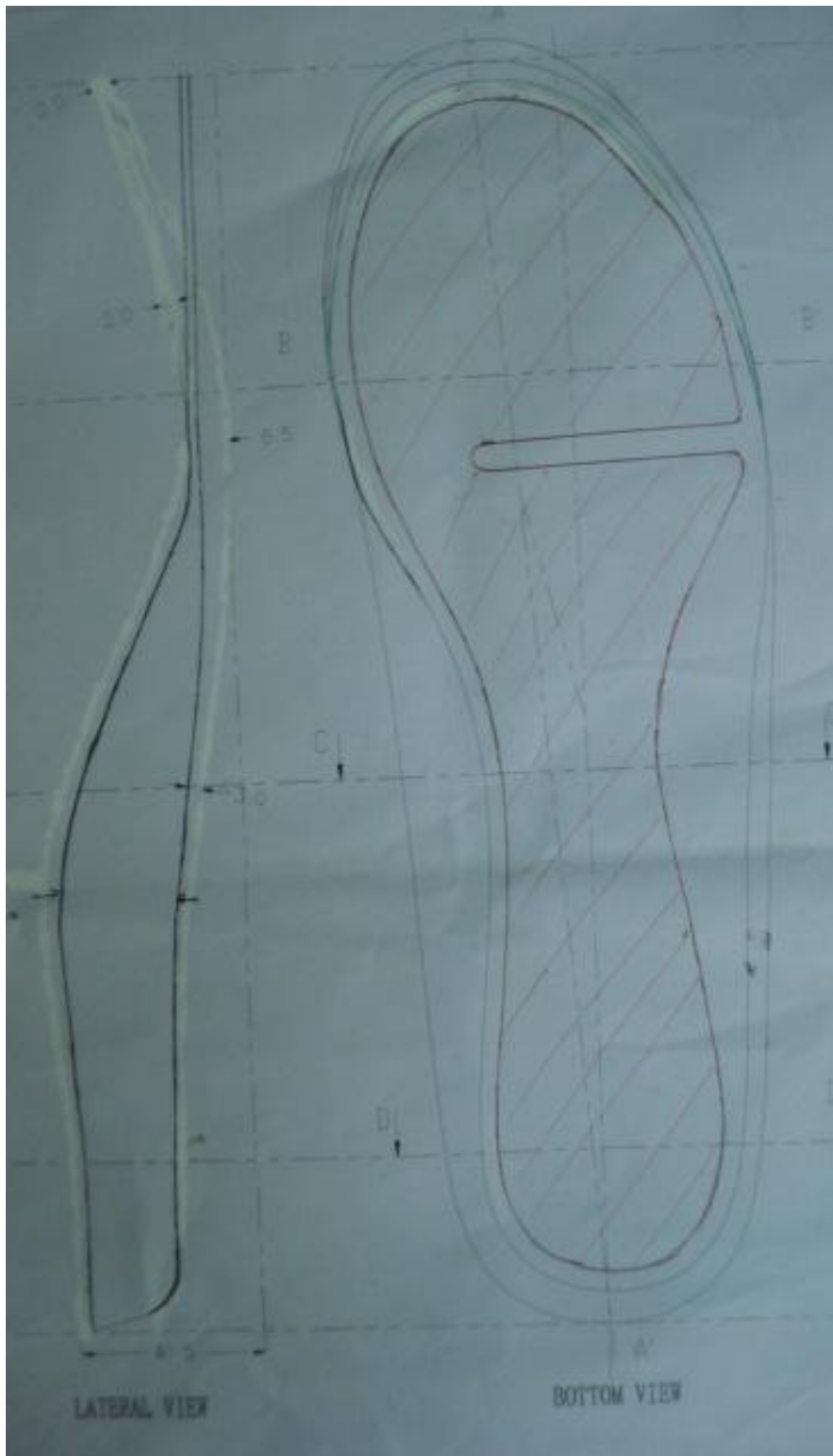
Web of hardplastic material or Carbon fibre

Soft plastic material

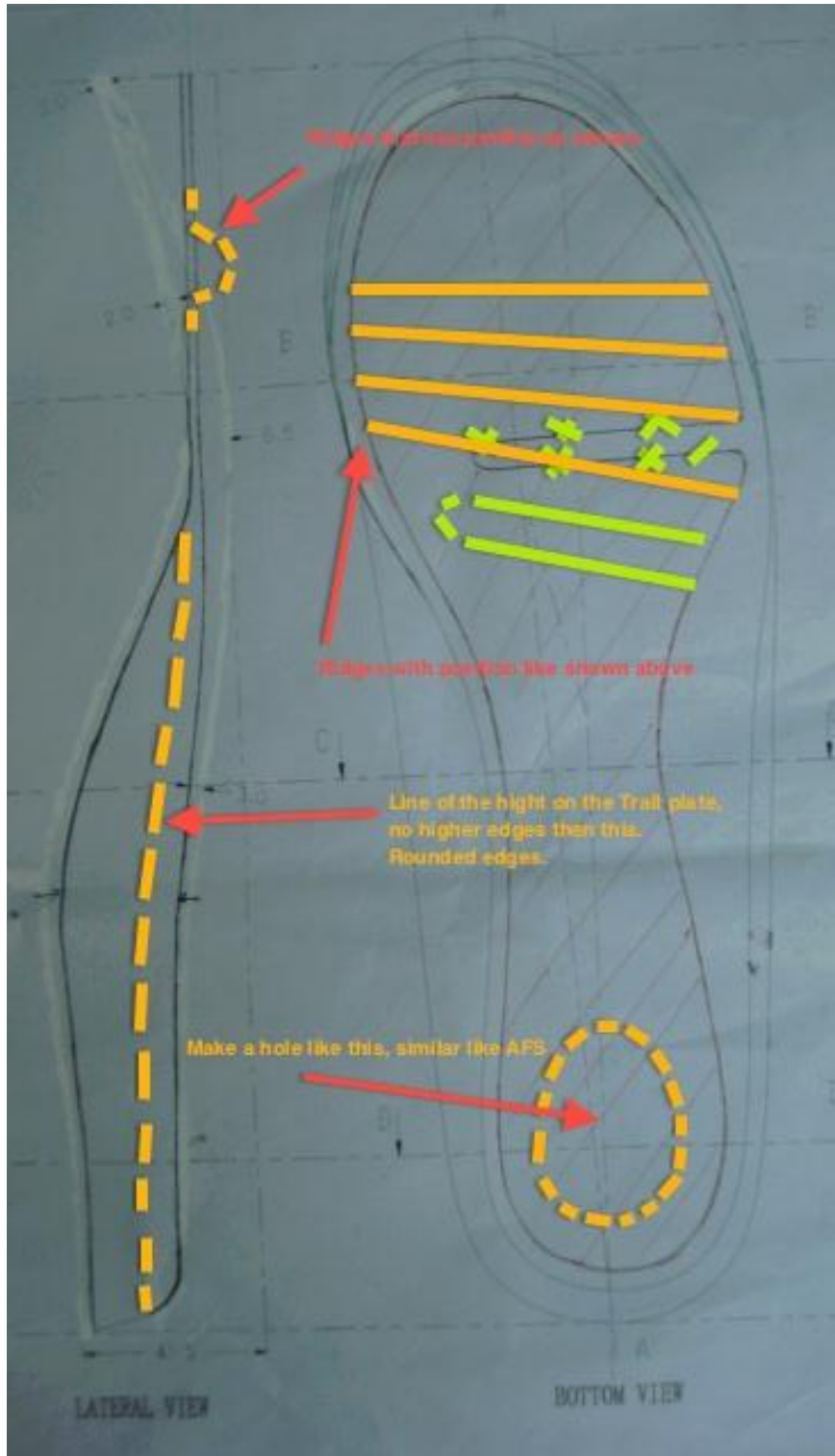
Hardplastic or Carbon fibre

Soft Plastic material

BILAGA 6

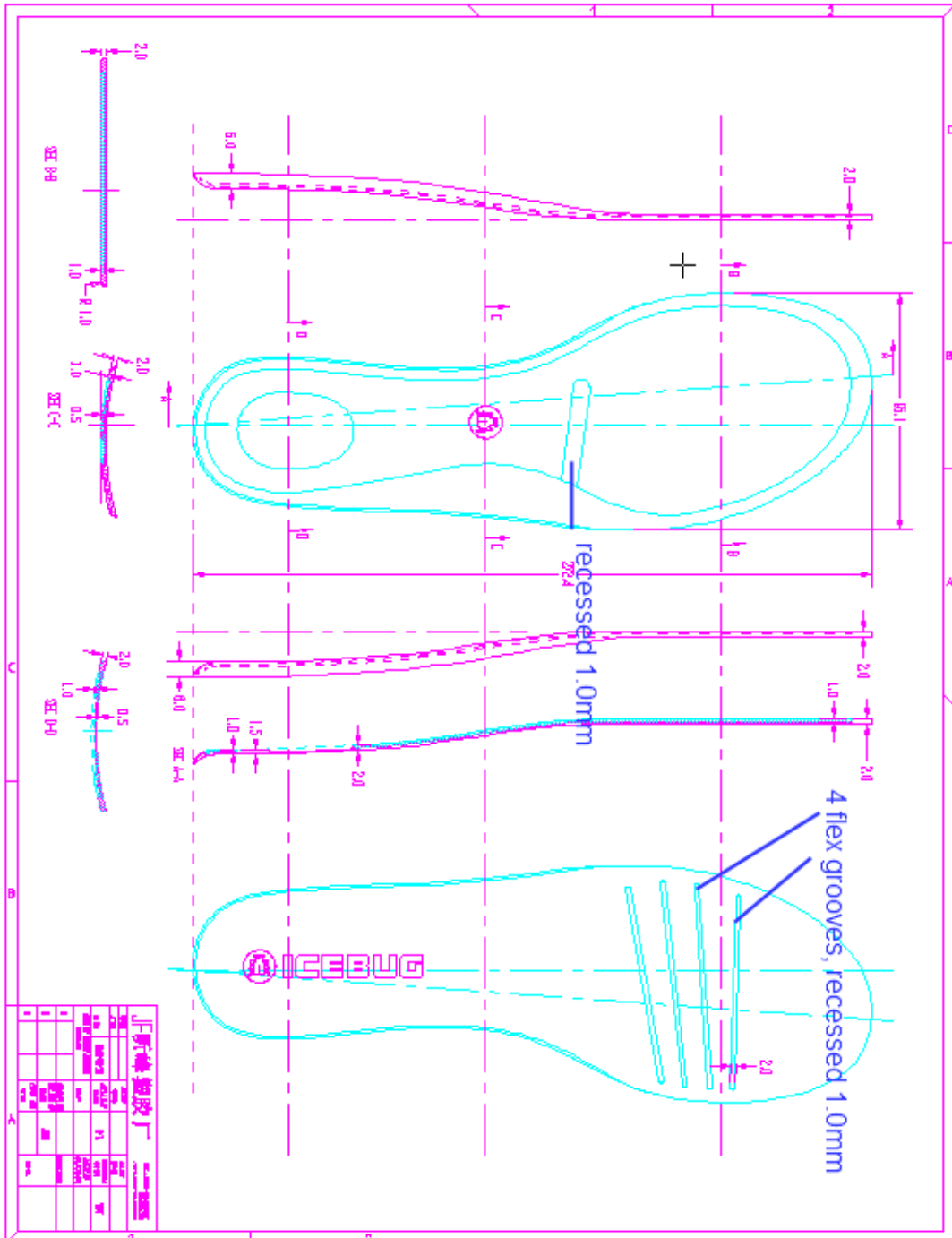


BILAGA 7



BILAGA 8

^



BILAGA 10

SIPOC står för Suppliers, Input, Process, Output, Customers och används för att definiera samtliga processer, vem som står för vad, vilka krav som finns och vem som är kunden. En SIPOC-analys används främst när en process eller produkt skall förbättras för att definiera kundens krav och vilket måttetal som skall förbättras samt identifiera alla delar (inputs) som påverkar men som inte kan styras fullt ut, dvs. vad som levereras från andra.

Tabell – Exempel på SIPOC för tillverkning

S Suppliers		I Input	P Process	O Output	C Customers	
Leverantörer	Resurser som processen kräver	Krav på indata	Process	Vad som kommer ut ur processen	Krav på output	Kunden
Tillverkaren	Verktyg Material	Ritningar Material Tillverkningsmetod	Tillverkning	Produkt	Pris Kvalitet	Kund

Nedan beskrivs samtliga steg kortfattat

Leverantörer (Suppliers)

Här definieras vem som levererar de resurser som behövs samt de resurser som processen kräver.

Input

Här definieras vilka krav som ställs på indata, t.ex. för att kunna tillverka en produkt krävs ritningar, material och vald tillverkningsmetod.

Process

Projektets huvudmoment (processer) definieras.

Output

Här beskrivs vad som kommer ut ur processen, exempel på output ifrån en tillverkningsprocess är produkt.

Kunder (Customers)

Vem kunden är och kundens krav på output (t.ex. produkten) definieras här.