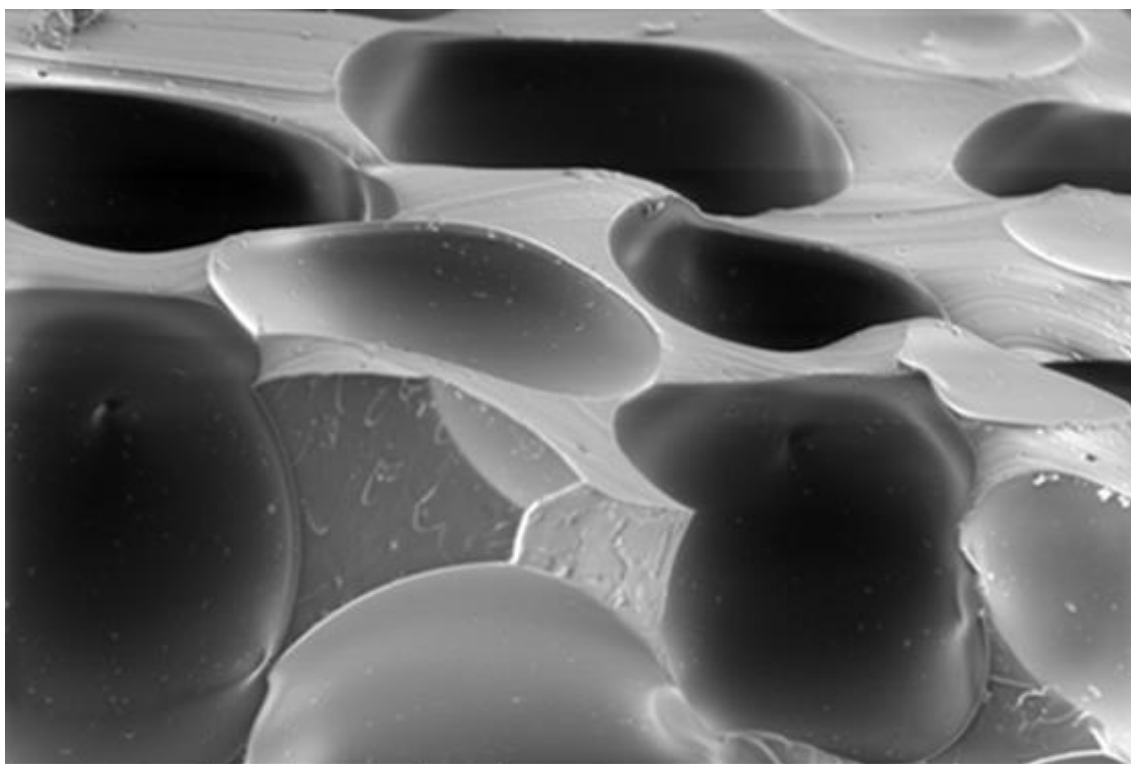


Egenskaper för energiupptagande material vad gäller kroppsskydds samt ytors material



RISE Research Institutes of Sweden

Postadress
RISE
Box 5607
114 86 STOCKHOLM

Besöksadress
Drottning Kristinas väg 45
114 28 STOCKHOLM

Telefon / Telefax
010-516 50 00
08-20 89 98

E-post / Internet
info@ri.se
www.ri.se

Bankgiro
715-1053

Org.nummer
556464-6874

Sammanfattning

Rapporten är framtagen med ekonomiskt bidrag från Trafikverkets skyltfond. Ståndpunkter och slutsatser i rapporten reflekterar författaren och överensstämmer inte med nödvändighet med Trafikverkets ståndpunkter och slutsatser inom rapportens ämnesområde.

Syfte med detta projekt har varit att undersöka vilka material som har störst potential att inkorporeras i kroppsskydd för cyklister och fotgängare.

Resultaten visar att en kombination av mikroporositet och skjuvhårdnande egenskaper anpassade till relevanta islagshastigheter är gynnsamt vid framtagande av material lämpliga som skyddsutrustning för fotgängare och cyklister.

1. Syftet med projektet

Syfte med detta projekt har varit att undersöka vilka material som har störst potential att inkorporeras i kroppsskydd för cyklister och fotgängare.

2. Bakgrund

2.1 Oskyddade Trafikanter skador

- Varje år uppsöker drygt 23 000 personer ett akutsjukhus efter att ha skadats som cyklist. Härtill kommer ytterligare ett par tusen som skadas i andra miljöer än transportmiljöer [1].
- Under 2011 representerade cyklister 41 % av alla svårt skadade och bilister 34 % [1].
- 82 % av cyklisternas skador uppkommer vid singelolyckor [1].
- Bland cyklister utgör huvudskador 39 % och övre extremiteter 28 % av de mycket allvarliga skadorna, medan för de allvarliga skadorna är huvudskadorna 9 % och extremiteterna 47 % för allvarligt skadade [2].
- För fotgängare utgör de övre extremiteterna 44 % av skadorna, nedre extremiteter 26 % och huvud 22 %, dock hör huvudskador till de allvarligaste [3].
- Genomsnittskostnaden för skadad cyklist 1 mnkr [4].
- Samhällets kostnader för att förebygga fallolyckor uppgår till 14 % av kostnaderna som olyckorna medför, detta kan jämföras med exempelvis bränder, där de förebyggande kostnaderna utgör hela 292 % av kostnaderna [5].
- Varje år orsakar fallolyckor närmare 1 600 dödsfall och över 50 000 fall av slutenvård för personer över 65 år [5].
- Ungefär en tredjedel av de äldre som på grund av fallolyckor kommer i kontakt med akutvården har skadats utomhus (få av fallen finns med i siffran för "vägtrafik" ovan pga. bristfällig inrapportering) [6].
- 94 % av fotgängarnas skador uppkommer vid singelolyckor [7].
- Enligt MSB's prognos kommer antalet personer över 85 år som dör i fallolyckor mer än tredubblas fram till år 2050 [5].
- Exempelvis år 2000 inträffade uppskattningsvis 620 000 höftfrakturer hos europeiska män och kvinnor över 50 [8].
- Dödad i vägtrafikolycka definieras som en "person som avlidit inom 30 dagar till följd av olyckan". D.v.s. många fallolyckor (om de överhuvudtaget registrerades från början) med dödlig utgång finns inte med i statistiken då förloppet (och plågorna) pågår längre än så innan döden inträffar.
- Idag beror ett av tio dödsfall enligt WHO på stillasittande [9].
- Fysisk rörelse har också en positiv inverkan på depression som drabbar 5 % av populationen [10].

- Om de drygt 110 000 personer i Stockholm som har maximalt 30 minuters cykelväg till arbetet, använder cykel istället för stillasittande trafikslag skulle enbart befolkningens lägre föroreningsexponering förhindra 40 förtida dödsfall per år, vilket motsvarar 500 förlorade år, varje år. Dessutom skulle denna siffra mer än dubbleras genom att addera effekten av den ökade fysiska aktiviteten [11].
- Idag använder 36 % av cyklisterna i Sverige hjälm [12], användning av övrig skyddsutrustning sker i princip inte. Bland fotgängarna används ingen skyddsutrustning.

För att lyckas med uppsatta mål angående klimat, framkomlighet och folkhälsa behöver antalet cyklister och fotgängare öka. Grundläggande för denna ökning är att ökningen kan ske säkert samt att cyklisternas hastigheter kan hållas tillräckligt höga för att attrahera pendlarna.

2.2 Skyddande material

I motorfordonen sitter trafikanterna fastspända och dessutom inbäddade i krockskydd och airbags. De material som används är designade för att tåla höga kollisionshastigheter, ha tillgång till elektricitet, bära en hög vikt samt verka på en stillasittande människa. Gatumiljön som utgör cyklisters och fotgängarnas kupé är annorlunda utformad då den fyller många andra funktioner än dessa trafikanters säkerhet. Trots att projekt pågår för att göra trafikmiljön mer kupéliknande, krävs kombinatoriska åtgärder för att öka säkerheten.

Vilka material finns då för att göra kroppen mer slagtålig? Ett krav på materialet är att det kan ta upp rörelseenergin från impulsen. Stötdämpning sker genom att minska denna energi eller öka tidsperioden över vilken den verkar, så att skaderisken minskar. Stötdämpning sker ofta genom omvandling av rörelseenergi till värme. En vanlig metod för stötdämpning är böjning, komprimering eller sträckning av elastiska material som omvandlar en del av energin till värme genom inre friktion. Stötdämpning kan också ske genom att permanent deformera material som vid fallet hårda porösa material exempelvis i hjälm. En fördel för elastiska material är att de återgår till sin ursprungliga form efter stöten och slipper kasseras. Intressanta material i detta sammanhang är så kallade dilatanta polymerer. Hos dessa sker en fasövergång vid mekanisk stress så att ett mjukt material blir hårt. Detta kan vara en fördel vid användande av kroppsskydd som bör vara följsamma under användning. Fasövergången tar också upp en del av impulsen och hindrar därigenom ytterligare energi att hamna i kroppen och där deformera ben och vävnader.

De flesta polymera material kan tillverkas med en cellstruktur, ofta kallad cellplast, skumplast eller expanderad plast. Cellplast är en bred grupp av olika material där materialens egenskaper till stor del beror på valet av polymer/gummi och den erhållna cellstrukturen i materialet. Cellstrukturen i materialet kan antingen vara öppen, d.v.s. att cellerna är i förbindelse med varandra, eller slutna där materialet innehåller enskilda cellerna utan förbindelse med varandra. Genom valet av tillverkningsprocess och typen av blåsmedel (eng. *blowing agent*) så kan olika typer av cellstruktur erhållas i materialet där man kan variera ex. andelen och storleken på cellerna samt öppen eller slutna cellstruktur. Vanligen delas blåsmedel upp i fysiska blåsmedel eller kemiska blåsmedel. Med fysiska blåsmedel menas ämnen som övergår från fast eller flytande tillstånd till gas vid uppvärmning eller tryckreducering (ex. vatten, korta kolväten etc.) vilket ger upphov till gasbubblor i materialet under tillverkningen. Kemiska blåsmedel ger upphov till gasbubblor i materialet från gasformiga restprodukter (ex. koldioxid) som bildas via kemiska reaktioner eller sönderfall av kemiska föreningar i tillverkningsprocessen [13]. Eftersom cellplaster ofta innehåller en stor andel luft eller andra gaser, exempelvis innehåller Airpop-material (s.k. frigolit) ca 98 % luft, så ger detta ofta material med låg densitet (reducerad vikt), förbättrade isolerande egenskaper (värme/kyla, ljud/vibrationer) och förändrade mekaniska egenskaper, bl.a. energiupptagande egenskaper [14]. Genom att studera de mekaniska egenskaperna under deformation av de olika skummade materialen och korrelera dessa resultat till både cellstrukturen och matrismaterialens egenskaper så hoppas vi få en ökad förståelse kring vilka egenskaper (både gällande cellstrukturen och matrismaterialet) som är

gynnsamma ur ett stötdämpande perspektiv. Denna information kan sedan ligga till grund för utveckling av nästa generations stötupptagande material där optimerad kombination mellan materialegenskaper med cellstruktur kan resultera i nya spännande material för stötdämpande applikationer [15].

Provningsmetoder för kroppsskydd innefattar exempelvis SS-EN 13158:2018 för *ridkläder*, som utöver stötupptagning föreskriver täckningsgrad och dimensioner för skyddande material. Skydden monteras på städ och utsätts för stöt av en s k impaktor. Standarden föreskriver energinivåer för islag motsvarande 25-60 J för Level 1, 30-60 J för Level 2 och 35-60 J för Level 3, beroende på impaktor (kroppsdela). För torso ska både bred och smal impaktor ha vikt 2,5 kg, medan för axel och skuldra används smal impaktor på 5 kg. Level 1 är här endast för professionella jockeys med viktgränser som gäller under lopp. Impaktorerna designas för att representera fall till marken, spark med hov eller fall på stolpe. Städen designas för att representera kroppsdela och deras respons på stötar. De gränser som föreskrivs för jackor är exempelvis medelvärden för torso <4 kN och punktvärden ≤ 6 kN för smal impaktor och för axelskydd medelvärden <25 kN och enskilda värden ≤ 30 kN. För *rullskridskoåkare* finns SS-EN 14120+A1:2007 där skyddsutrustning ska skydda mot friktion, blåmärken och frakturer. Standarden beskriver energinivåer efter kroppsvikt i område A (<25 kg), B (25-50 kg) och C (>50 kg). Massan ska vara 5 kg. Här beskrivs energinivåer för islag enligt 25-65 J (30-70 J för Level 2) för knäskydd, 20-60 J (30-70 J för Level 2) för armbågsskydd och 30 – 50 J (30-50 J för Level 2) för handskydd. Level 1 betecknar här normala rullskridskosporter och Level 2 akrobatiska rullskridskosporter. De lägre nivåerna i energispannet används för de lägre viktclasserna. De gränser som föreskrivs är exempelvis maxkraft på 6 kN för knä, 4 kN för armbåge och 3 kN för hand. För *motorcyklister* finns exempelvis SS-EN 1621-1:2012 för axel, armbåge-, höft-, samt knäskydd. Här används exempelvis energinivå på 50 J och gränser på ≤ 35 kN för Level 1 och ≤ 20 kN för Level 2. Massan ska vara 5 kg. Här finns krav på test både i vått och torrt tillstånd. För motorcyklister finns också SS-EN 1621-2:2014 för ryggskydd exempelvis med energinivå på 50 J, här är gränser för medelvärden exempelvis ≤ 18 kN för Level 1 och ≤ 9 kN för Level 2. Även här finns krav på test i vått och torrt tillstånd. För *hjälm* finns standarder, exempelvis SS-EN 1078:2012+A1:2012 för cykel- skateboard och rullskridskoåkare. I denna beskrivs gränser för maxacceleration på 250 g för hastighet på 5,42 m/s för plant underlag och 4,57 m/s på trottoarkant. Fallviktens massa är 10 kg och guidesystemets 3 kg. För ytbeläggning på *lekplatser* finns SS-EN 1177:2018. Här används en massa på 4,6 kg och från accelerationen sker en beräkning av HIC, där HIC 1000 och g_{\max} 200 g beskriver gränsen för kritisk fallhöjd.

3. Metod och material

Projektet har genomfört en litteratursökning för att identifiera olika material med potential att användas fallskadepreventivt i kroppsskydd. En selektion av materialen har införskaffats och deras stötupptagande egenskaper uppmätts. För att härleda materialegenskaper till fallskadeprevention har en mikroskopisk undersökning av materialens uppbyggnad genomförts, samt även materialens fasövergångar studerats. Hänsyn har också tagits till materialens följsamhet och vikt i förhållande till effekt.

De mikroskopiska egenskaperna har undersökts med ESEM med FEI Quanta 250 field-emission gun (FEG), 15kV, 10WD spot 3, 70 Pa. Mekaniska egenskaper har uppmätts med kompressionsprov (Zwick Z100 med 50kN lastcell) med provbitar ca 50x50 mm stora (11-14mm tjocka, tryckyta $D=36$ mm (ca 1 mm fasning runt om) \rightarrow ca 10 cm². Mekanisk undersökning har också gjorts med tryckfilm och slagprov med artificial athlete med en diameter på 70 mm och en vikt på 20 kg. Vidare har kemisk undersökning gjorts med IR-analys. För tryckfilmen har värden i MPa integrerats över ytan för att erhålla kraften. Här bör noteras att tryckfilmen har ett begränsat tryckområde och exkluderar värden som ligger över eller under detektionsgränsen.

4. Resultat

4.1 Urval

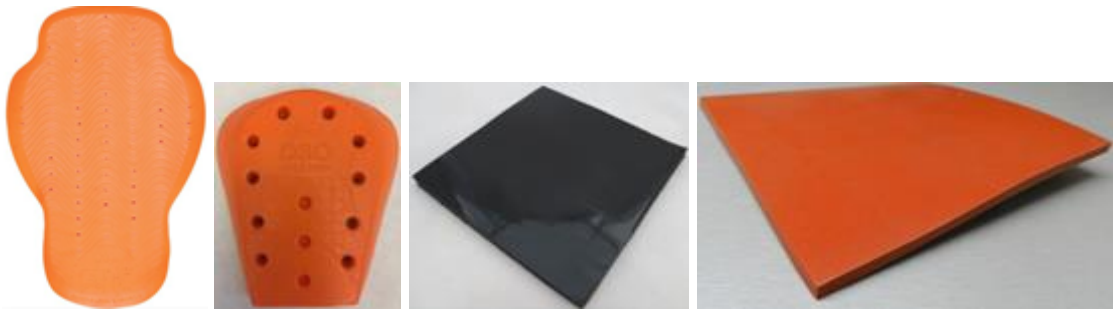
Tre stötupptagande material har undersökts; D30, sorbothane och silikon. D30 är enligt tillverkaren en komposit av polyuretan (PU), med stängda celler, med polyborodimetylsiloxan (PBDMS) som dilatanten dispergerad i skummatrisen. Polyuretan består av organiska enheter sammanbundna med uretan-bindningar ($-\text{NH}-(\text{C}=\text{O})-\text{O}-$) och framställs traditionellt genom att reagera di- eller poly-isocyanater med en polyol. PBDMS gör materialet hastighetskänsligt så att det kan ta upp mer energi vid vissa energinivåer än ren PU. I patentet fastställs att optimala förhållanden är 15-35% PBDMS och 40-70% gas (i detta fall CO_2 som bildas under skumningsprocessen), samt resterande del PU [16]. Detalj från tillverkningen visas i Figur 1. PBDMS är också en av komponenterna i ”studslera” som säljs i leksaksaffärer.



Figur 1 Tillverkning av D30 [17].

Sorbothane är en syntetisk viskoelastisk uretanpolymer som tillverkas från polyol och isocyanat [18]. Silikon är ett samlingsnamn för oorganiska polymerer med kiselkedjor som bas. Dessa kan framställas genom vulkanisering i rumstemperatur av polyfunktionella silaner och siloxaner i närvaro av katalysatorer, exempelvis aminer och karboxylsyrasalt av många metaller, exempelvis Pb, Sn, Zr, Sb, Fe, Cd, Sn, Ba, Ca och Mn. Siloxaner med Si-H bindningar är lämpliga som tvärbindare, dessa reagerar med polysiloxanolerna och frigör vätgas som genererar en porös struktur [19].

De material som studerats i denna studie är ett D30 ryggskydd för MC, CE-märkt enligt EN1621 Level 1 med nominella mått 360 x 240 x 11 mm, en sorbothaneplatta med nominella mått 6 mm X 150 mm X 150 mm, samt en silikonskumskiva från true seals med nominella mått 12,7 x 300 x 300 mm [Figur 2]. För försök med tryckpapper och artificial athlete samt pistong användes ett Höftskydd Klim D30 T5 Evo. Densitet för de olika materialen uppmättes till D30 0,54 g/ml, silikon 0,71 g/ml och sorbothane 1,24 g/ml. Materialens tjocklekar som användes vid mätningar uppmättes till D30 11,18 mm, Sorbothane 12,4 mm (dubbel) och Silikon 12,05 mm.



Figur 2 Undersökta material. Från vänster: D30 ryggskydd, D30 höftskydd, sorbothane, silikon.

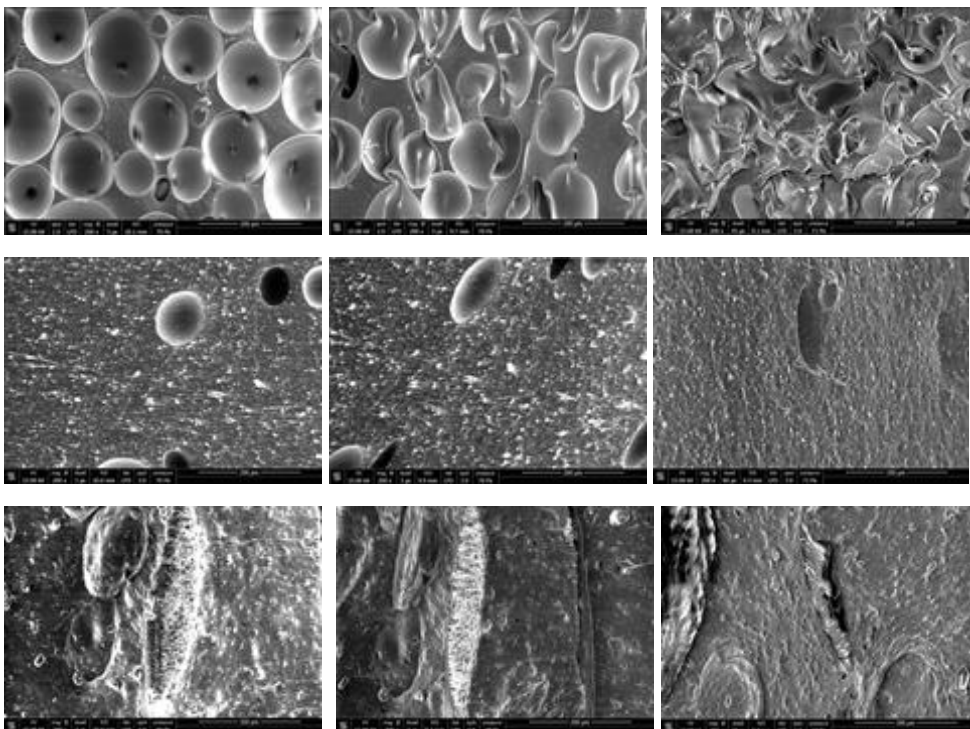
4.2 Mikroskopiska egenskaper

Figur 3 visar ett exempel på utrustningen som användes för att komprimera materialen.



Figur 3. Utrustning för kompression

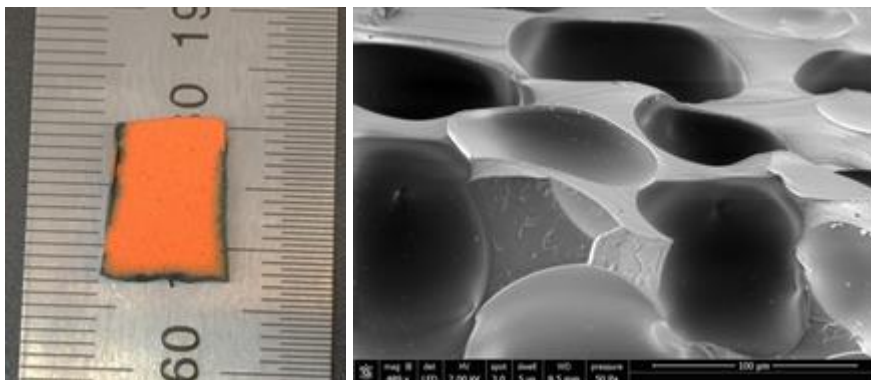
Figur 4 visar mikroskopiska bilder av materialens tvärsnitt med och utan kompression.



Figur 4. Överst: D30 100%, 65%, 35% kompression, mellan: sorbothane 100%, 65%, 56% kompression, underst: silikon 100%, 65%, 58% kompression

Figur 4 visar att tydligast porer syns hos D30. Porerna genomgår en tydlig geometrisk förändring när materialet komprimeras. Även för sorbothane syns denna trend, men antalet porer är här färre. Silikon har större strukturer, men också små sfäriska strukturer som inte verkar påverkas av deformationen.

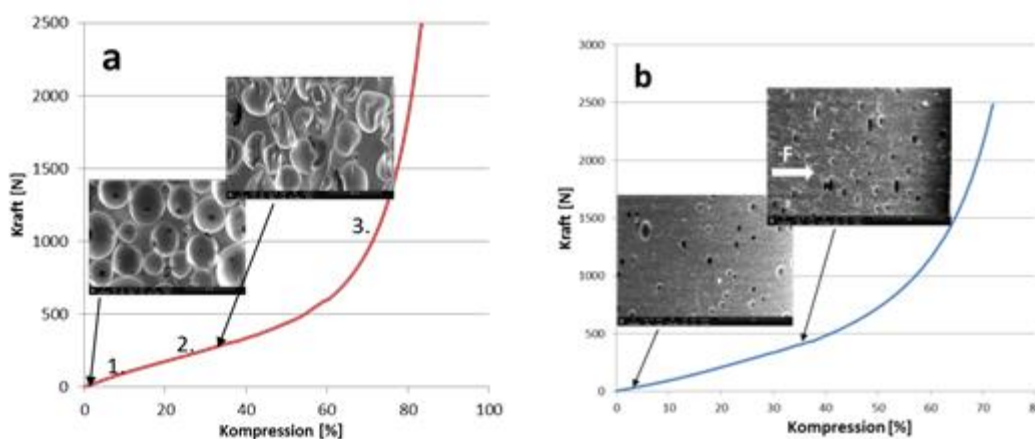
För att undersöka huruvida porerna hos D30 är sammanbundna eller slutna, gjordes en undersökning med färgämne samt närbilder på porer vid tvärsnitt av köldbrotet material. Figur 5 (vänster) visar tvärsnitt för material vars undersida varit i kontakt med färgämne i etanol.



4.3 Mekaniska egenskaper

I Figur 5 framgår att porerna har förbindelser, eftersom färgämnet sprider sig ca 1 mm in i provet, med tydlig koncentrationsgradient.

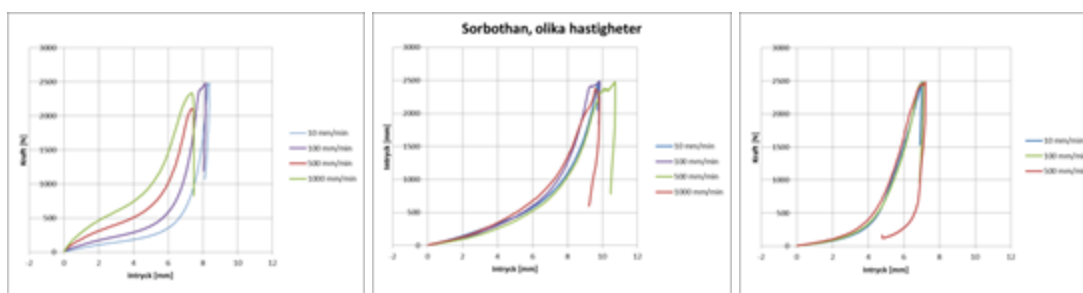
När man komprimerar en cellplast, exempelvis när materialet utsätts för en yttre kraft, så erhålls ofta en kraft-deformations-kurva som ser ut att bestå av tre regioner [20]. I den första regionen (1) deformeras cellerna elastiskt i materialet genom att cellväggarna deformeras (öppen cellstruktur) eller att stängda celler ändrar sin form (ex. rund till oval form). Vid ökad deformation kollapsar cellerna vilket ger en plåtå (region 2) i kraft-deformationskurvan som sedan, vid fortsatt deformation, går över i en brant kraftökning då ytterligare deformation av det kollapsade (solida) materialet kräver att materialet komprimeras. Figur 5 (a-b) nedan visar kraft-deformationskurvor från kompressionstester på D30 och sorbothane, med mikrografer för illustration.



Figur 5 Kraft-kompressionskurvor med tillhörande SEM-mikrografer vid olika kompressionsgrader för a) D30 och b) sorbothane. Notera att förstoringen på mikrograferna för a är 5 ggr högre än för b.

Kurvorna i Figur 5 påvisar ingen tydlig skillnad mellan region 1 och region 2. Dock så kan man med hjälp av mikrograferna se att vid ca 35 % kompression har cellerna i båda materialen deformerats kraftigt på grund av den pålagda kraften. Vi kan också se att region 3 (branten) börjar tidigare i det material som har färre celler (Figur 5b) vilket kan bero på att det finns mindre volym celler att trycka ihop i detta material. Detta återspeglas även i den erhållna kompressionsgraden vid maxkraft (i vårt fall 2500 N) där materialet med högre andel celler har deformerats till större grad jämfört med materialet med färre celler. Kraft-deformationskurvorna ger även information om hur lätt materialen deformeras samt vilken

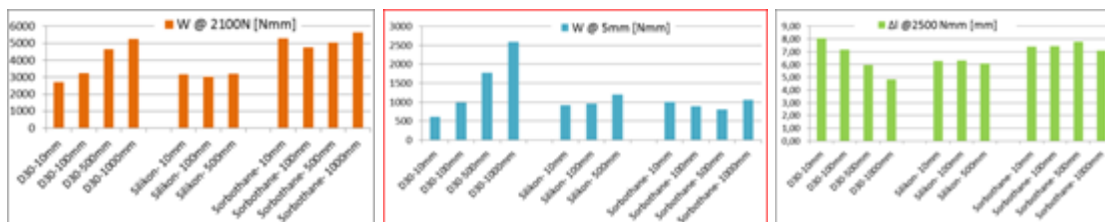
energi (arbete) som krävs för att deformera materialen. I Figur 6 visas kurvor från cykliska tester.



Figur 6 Kompressionskurvor från cykliska tester. Vänster: D30, mitten: sorbothane, höger: silikon.

I Figur 6 kan noteras att D30 som är tixotrop (skjuvhårdnande) tar upp mer energi vid högre hastigheter till vald maxkraft (2500, 2350 eller 2100N). Övriga material tar upp samma energi oberoende av hastighet.

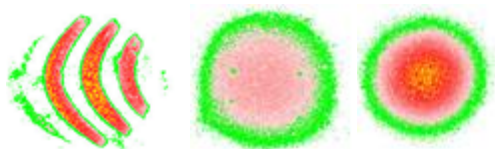
Figur 7 visar kompressionsstaplarna vid olika hastigheter för de olika materialen.



Figur 7 Kompression med olika hastigheter

I Figur 7 (vänster) noteras att D30 absorberar mer energi ju högre deformationshastighet (upp till förvald maxkraft) samt att för övriga material är energiabsorptionen oberoende av deformationshastigheten. Sorbothane absorberar mer energi än silikonet upp till vald maxkraft. I Figur 7 (mitten) noteras att energin (arbetet) för att trycka ihop D30 en förvald distans (5mm) ökar kraftigt med ökande hastighet och i Figur 7 (höger) noteras att D30 trycks ihop mindre för att absorbera en viss energi vid högre hastigheter.

I Figur 8 visas värden från tryckkänsligt papper placerat mellan provet och golvet när provet träffas av en fallande 1 kg kula släppt från 50 cm höjd på 50x50 mm prover (vilket ger 5 J). Tryckpapprets skala anger att upp till 0,5 kN är grönt, 0,5-1,25 kN rosa, 1,25-2,5 kN rött och över 2,5 kN gult med gradvisa övergångar rosa-rött.

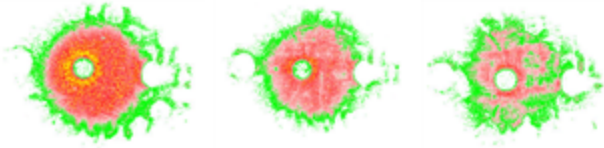


Figur 8. Tryckkänsligt papper med stålkula. Vänster: D30, mitten: sorbothane, höger: silikon.

Från Figur 8 uppmäts D30 på ett medelvärde av 0,8 kN, sorbothane på ett medelvärde av 0,7 kN samt silikon på ett medelvärde av 1.1 kN. Som bilden visar sprids kraften enligt ytornas topografiska egenskaper, exempelvis ryggskyddets linjer är starkt synliga. Vid uppmätning av kulans studshöjd under samma mätning var värdena 1 cm för D30, 7 cm för sorbothane och 17 cm för silikon.

Figur 9 visar avtryck på tryckkänsligt papper när D30 höftskydd utsattes för tryck av 36 mm pistong till energin 2,5 J med olika tryckhastighet. Tryckpapprets skala anger här att upp till

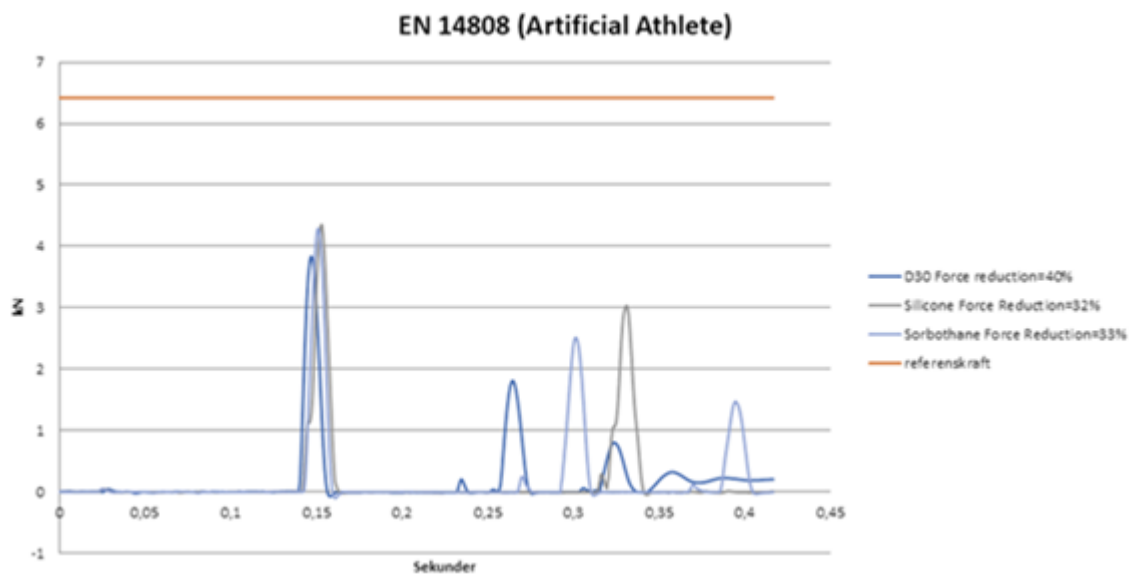
0,2 kN är grönt, 0,2-0,35 kN rosa, 0,35-0,8 kN rött och över 0,8 kN gult med gradvisa övergångar rosa-rött.



Figur 9. Tryckkänsligt papper med pistong på D30 höftskydd. Vänster: 10 mm/min, mitten: 100 mm/min, höger: 1000 mm/min

Från Figur 9 kan utläsas att 10 mm/min genererar ett tryck på pappret motsvarande ett medelvärde på 0,508 N, 100 mm/min 0,447 kN och 1000 mm/min 0,323 kN. Motsvarande värden från kompressionsprovet är 0,809 kN, 0,746 kN respektive 0,695 kN.

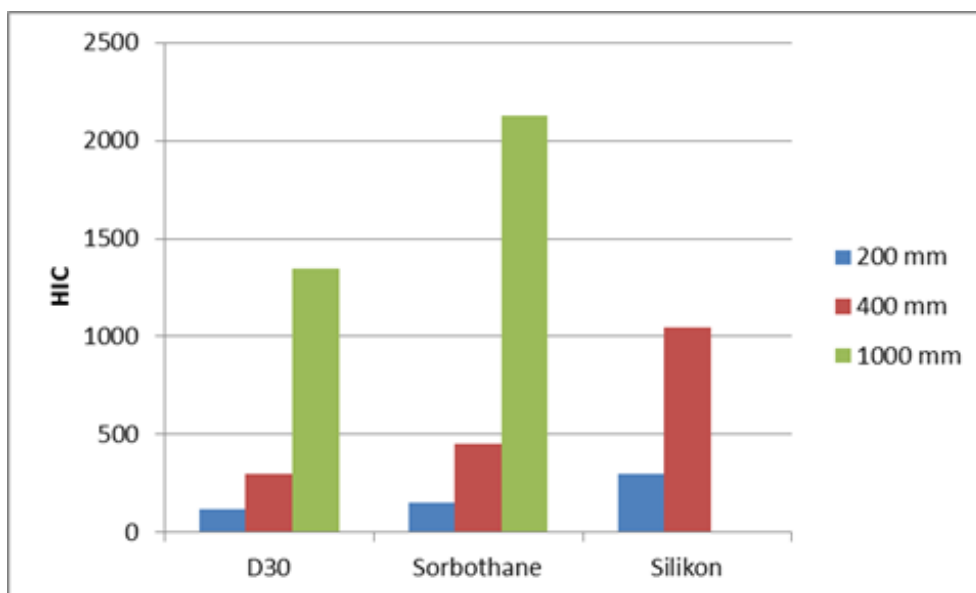
I Figur 10 visas avtryck resultat från Artificial Athlete när en 20 kg vikt släpptes från 55 mm höjd.



Figur 10. Mätningar med Artificial Athlete.

I Figur 10 kan utläsas att D30 har den största kraftreduktionen och att sorbothane och silikon i denna mätning är likvärdiga. Det kan också noteras att resultaten från mätningen i Figur 8 här befästs i och med att silikon uppvisar den största sekundära kraften följt av sorbothane och att sekundära kraften för D30 är betydligt lägre och kommer tidigare.

I Figur 11 visas resultat från HIC-mätning på materialen. Tre fallhöjder har använts; 200 mm, 400 mm och 1000 mm.

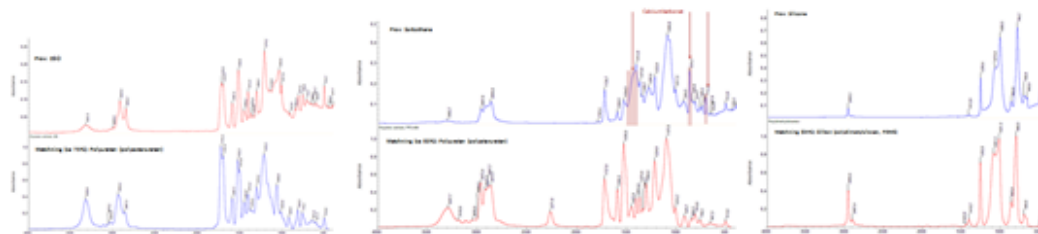


Figur 11. Resultat från HIC-mätning

I Figur 11 kan utläsas att D30 har det lägsta HIC-värdet för alla höjder, följt av sorbothane. Silikon kunde inte mätas vid 1000 mm, på grund av risk för utrustningen vid så höga islagsenergi.

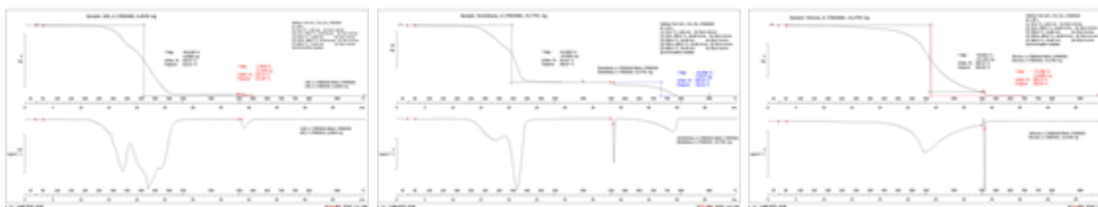
4.4 Kemiska egenskaper

Figur 12 visar resultaten från IR-mätningarna.



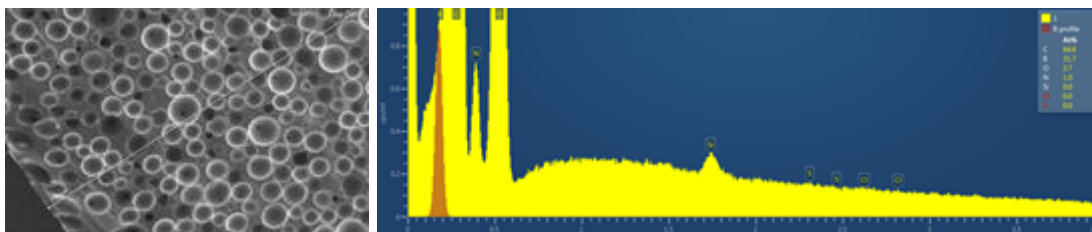
Figur 12. Resultat från IR-mätning. Vänster: D30, mitten: sorbothane, höger: silikon.

Figur 12 visar föga förvånande att prov silikon med stor sannolikhet är silikongummi, sorbothane är en poluretän med karaktäristiska toppar från kalk och D30 är en polyuretän. I Figur 13 visas TGA-utvärdering av materialen.



Figur 13. Resultat från TGA-mätning. Vänster: D30, mitten: sorbothane, höger: silikon.

Figur 13 visar att för D30 avgår största delen av materialet mellan 200°C och 500°C, med en rest på ca 2 % som avgår mellan 600°C och 800°C. Inget material kvarstår efter mätningen. För sorbothane avgår ca 67 % mellan 200°C och 450°C, medan ytterligare ca 16 % avgår mellan 550°C och 800°C. Material kvarstår efter mätningen. För silikon avgår ca 75 % mellan 200°C och 550°C. Material kvarstår efter mätningen. Figur 14 visar EDX analys för D30.



Figur 14. Resultat från EDX line scan av D30.

Enligt Figur 14 uppmättes C 64,6 At%, B 31,7 At%, O 2,7 At% och N 1,0 At% för undersökt linje.

5. Slutsatser och diskussion

De material som undersökts i studien (D30, sorbothane och silikon) visar en makroskopisk porstruktur, där den för silikon är mest framträdande. Även i den mikroskopiska studien framträder porer hos materialen, med D30 som mest poröst. Kompression av materialen deformerar porerna. Cyklisk belastning visar att D30 tar upp mer energi vid högre hastigheter (skjuvhårdnande) medan övriga testade material tar upp samma energi oberoende av hastighet. Vid mätning av kraftpåkänning visar sorbothane lägst nivå, tätt följt av D30 och högst kraft för silikon. Stor skillnad i elasticitet uppmättes, där D30 låg lägst, sorbothane i mitten och silikon högt. De skjuvhårdnande egenskaperna för D30 är också synliga vid mätning av kraft, där lägre krafter förmedlas vid högre hastigheter. Vid mätning av högre islagseenerier blir skillnaderna mellan materialen tydligare. Skillnaden mellan olika materials uppmätta stötupptagning kommer alltså att se olika ut beroende på islagshastighet vid provning. Genomgång av några standarder för personlig skyddsutrustning visar att det finns skillnader beroende på aktivitet. Uppskattning av islagshastighet för fritt fall baserat på i standard specificerad massa ger för mc 4,4 m/s, för ridsport 4 – 6 m/s och för rullskridsko 4 – 7,5 m/s. Detta kan jämföras med hastighet vid fritt fall från 1, 1,5, 2 respektive 3 m höjd som motsvaras av 4,4, 5,4, 6,3 respektive 7,7 m/s. IR analys visar att silikon är silikongummi, sorbothan är en poluretan med karaktäristiska toppar från kalk och D30 är en polyuretan. För D30 till skillnad från silikon och sorbothan återstår ingen rest vid uppvärmning till 800°C. Detta och observerade mikroporer hos D30 bidrar till att materialet har lägst densitet följt av sorbothan och silikon. På grund av de fördelaktiga egenskaperna beträffande kraftupptagning och densitet framstår D30 av de provade materialen som mest lämpligt för kroppsskydd. En kombination av mikroporositet och skjuvhårdnande egenskaper anpassade till relevanta islagshastigheter är alltså gynnsamt vid framtagande av material lämpliga som skyddsutrustning för fotgängare och cyklister.

Referenser

1. Schyllander, J. and R. Ekman, *Skadade cyklister – en studie av skadautvecklingen över tid*. 2013.
2. Niska, A. and J. Eriksson. *Statistik över cyklisters olyckor. Faktaunderlag till gemensam strategi för säker cykling*. 2013.
3. Schyllander, J., *Fotgängarolyckor*. 2014.
4. Trafikverket, *Trafiksäkerhet och olyckskostnader*, in *Samhällsekonomiska principer och kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 5.2*. 2015.
5. Schyllander, J., *Fallolyckor - Statistik och analys*, M.f.S.o.B. (MSB), Editor. 2014.
6. Granath, M., *Fallskador bland äldre – en sammanfattning av en kunskapsöversikt om fallskador*, S.K.o. Landsting, Editor. 2009.
7. Berntman, M., *Fotgängares olyckor och skador i trafikmiljö med fokus på fallolyckor*. 2015: Lunds universitet, LTH, instutionen för teknik och samhälle, trafik och väg.
8. Hernlund, E., et al., *Osteoporosis in the European Union: Medical Management, Epidemiology and Economic Burden. A report prepared in collaboration with the International Osteoporosis Foundation (IOF) and the European Federation of Pharmaceutical Industry Associations (EFPIA)*. . Arch Osteoporos, 2013. **8**(136).
9. *Steps to health A EUROPEAN FRAMEWORK TO PROMOTE PHYSICAL ACTIVITY FOR HEALTH*, W.H.O. Europe, Editor. 2007.
10. Jasarevic, T., S. Saxena, and M. Yasamy *Depression is a common illness and people suffering from depression need support and treatment*. 2012.
11. Schantz, P., et al. *Vilka folkhälsovinster kan erhållas vid olika scenarier av ökad cykling i en storstadsregion? : Empiri och fysisk arbetskapacitet som grund för beräkning av potentiell cykelpendling*. in *Transportforum*. 2015. Linköping, Sweden.
12. Larsson, J., *Cykelhjälmsanvändning i Sverige 1988–2013*, VTI, Editor. 2014.
13. Stenberg, B., *Polymerers bearbetning*. 1999: Kungliga Tekniska Högskolan, Polymerteknologi.
14. PARTS, E.P. *airpop engineered air*. 2017; Available from: <http://www.airpop.com/>.
15. Zimmerman, M., et al., *Comparative study between poly(ethylene-co-vinyl acetate) - EVA expanded composites filled with banana fiber and wood flour*. Materials Research, 2014. **17**(6).
16. Palmer, R.M. and P.C. Green, *Energy absorbing material* U.S. Patent, Editor. 2010, Design Blue Ltd. (London, GB)
17. D30. Available from: <https://www.d3o.com/>.
18. Forsynth, J.A., *Insole*. 1987, Sorbothane, Inc. .
19. Noll, W., *Chemistry and Technology of Silikons*. 1968: Academic Press.
20. Eaves, D., *Handbook of polymer foams*. 2004: Shrewsbury: Rapra Technology.