



## **Papprets evolution**

Den fulla potentialen av återanvänt papper och dess egenskaper

Joel Knipparé  
Empiirinen tutkimus  
Muotoilun laitos  
Aalto-yliopisto  
4/2023

## Sammanfattning

Målet med det här projektet var att försöka ta reda på om återanvänd pappersmassa är ett alternativ till plast och trämaterial, genom att testa om materialen har jämförbara fysiska egenskaper. Jag är även intresserad av tillverkningsprocessen för papper materialet så till vida att jag vill ta reda på om det är möjligt att få acceptabelt resultat med enkla metoder som kan reproduceras i hemmamiljö. Min hypotes för projektet var kort och gott, att det borde vara möjligt att göra till ett material som har jämförbara egenskaper och på så vis vara ett alternativ där tillverkningsprocessen är lämplig. Men för att få ett bra resultat krävs information om både material och tillverkningsprocess som jag har haft som mål att hitta under processens gång och samla ihop till en helhet som gör det lättare att direkt få ett bra resultat. Efter att själv har tillverkat ett flertal sampel av materialet har jag genom den erfarenheten även kunnat identifiera dom mest kritiska punkterna för att lyckas.

## **Innehållsförteckning**

<b>1. Introduktion</b>	1
<b>2. Utförande</b>	2
2.1. Formar	3
2.2. Recept	4
2.3. Tillverkning	5
2.4. Test sampel	6
<b>3. Dragprov</b>	7
3.1. Resultat	8
<b>4. Slutsatser</b>	10
<b>5. Källhänvisning</b>	11

# 1. Introduktion

Att återanvända papper genom att göra pappret till pappersmassa är ingen ny idé, men det har blivit allt vanligare [6], [7] exempelvis som förpackningsmaterial där man ersätter plast i allt större utsträckning. Eftersom användningsområdet för återanvänd pappersmassa främst har varit just förpackningar blir det lätt att man underskattar materialet och dess användningsområden, vilket är något jag gärna skulle se en förändring på. Materialet har nämligen stor potential att användas för andra ändamål exempelvis i möbler [3] [4] och en egenskap som gör detta material särskilt intressant är dess formbarhet och förmågan att gjutas till komplexa former med en relativt enkel process. Men den kanske största styrka hos materialet är ändå att det kan tillverkas av till största delen återvunnet papper, vilket gör materialet väldigt attraktivt ur hållbarhetssynpunkt. Pappersindustrin växer också stadigt [8] fastän tidningar och tryckt papper minskar på grund av digitaliseringen, en stadigt växande industri skapar också ett större behov för lösningar angående återvinning av materialet.

En stor fördel med att använda återvunnet papper som ersättning för plast är bland annat minskningen av växthusgasutsläpp. Att producera plast är en energiintensiv process som genererar en betydande mängd koldioxidutsläpp [7] utöver att råmaterialet inte är förnybart. Återvinning av papper å andra sidan förbrukar mindre energi och producerar mindre växthusgasutsläpp än produktion av nytt papper [6]. Att återanvända papper har positiva fördelar för både miljö och ekonom [6], papper återanvänds också som en förnybar energikälla och balansen mellan återanvändning och energiutvinning är viktig för att hitta det mest optimala sättet att utnyttja råvarorna till dess största potential.

Dessutom kan användning av återvunnet papper i sådana fall där plast ersätts också hjälpa till att minska plastföroreningar i miljön. Plast tar hundratals år att brytas ner och mycket av det hamnar i hav och andra vatten [7], vilket skadar både djur och ekosystem. Genom att använda återvunnet papper i bredare utsträckning och inte bara som förpackningsmaterial kan vi hjälpa till att ytterligare minska mängden plastavfall som hamnar i miljön och på så sätt försöka minska vår påverkan på planeten.

Återvunnen pappersmassa är såklart inte heller perfekt till alla ändamål eftersom pappret i sig själv är hygroskopiskt vilket betyder att materialet tar upp vatten ur luften om luftfuktigheten blir tillräckligt hög [6], i många fall är det ingen önskvärd egenskap eftersom materialet löses upp vid kontakt med vatten. Detta kan åtgärdas genom ytbehandlingar som skyddar mot direkt kontakt med vatten, men eftersom det inte är en

grundegenskap hos materialet kommer jag inte heller vara fokusera eller försöka förebygga den effekten i det här projektet. I stället borde man främst fokusera på tillämpningar där denna egenskap inte är nödvändig för produktens strukturella integritet.

Eftersom materialet är tillverkat av använt papper finns det många variabler som är svåra att kontrollera på ett enkelt sätt, vilket också gör det svårt att med hög precision specificera materialets mekaniska egenskaper [1], [2]. En annan nackdel är att det krävs en betydande investering främst till formarna så man kan skapa produkter av materialet, vilket i sin tur sätter press på att producera en stor mängd produkter av materialet. Denna aspekt kan delvis mildras genom användning av additiva tillverkningsmetoder som exempelvis FDM 3D-utskrift, särskilt för eget bruk eller i produktion av mindre skala.

För att sammanfatta så är målet med projektet att försöka svara på följande punkter.

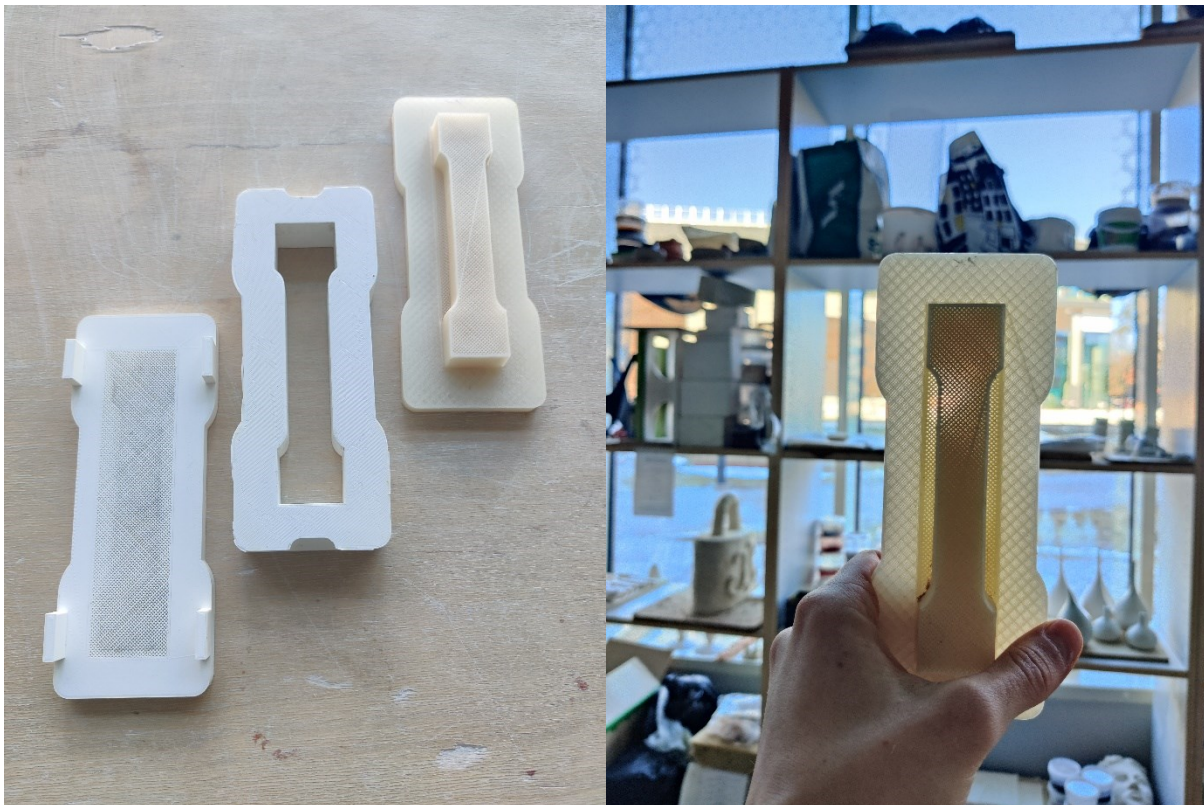
1. Går det att tillverka hemma med enkla metoder?
2. Hur jämförbart är materialet med trä och plast-material?
3. Till vilken grad påverkar pappers källan materialet?
4. Är materialet pålitligt, förutsägbart?

## **2. Utförande**

Projektet bestod till huvudsak av tre olika skeden, 1. Göra formen till pappers samplen 2. Göra pappersmassorna samt tillverka samplen 3. Testa samplen i ett relevant test. För att komma i gång med processen valde jag att direkt välja ut ett relevant test och jag bestämde mig för att ett dragprov skulle ge mig viktig information om materialen. Typen av test bestämmer även en hel del annan information som exempelvis formen av samplen. Just varför jag valde den här typen av test framkommer i sektion 3 av texten. Där förklarar jag noggrannare dragprovstest och hur testen utfördes. Genom att pressa alla pappers samplen genom samma form kunde jag tillverka sampel med väldigt lika dimensioner vilket gjorde dragprovs resultaten noggrannare. Efter att samplen var klara utfördes dragproven och testresultaten analyserades för att kunna ge informativa svara på forskningsfrågorna. Jag valde att göra 3 olika pappersmassor av olika papperssorter eftersom jag var intresserad av att se hur pappers källan påverkar det färdiga materialet.

## 2.1. Formar

I projektet kommer jag använda mig av en rätt simpel 3D printad form för att tillverka testsamplen. Formen består av 3-delar, botten, sidor och en överdel (se bild 1) som även fungerar som kolv för att tryck ihop pappersmaterialet. Orsaken till den 3-delade konstruktionen är främst att göra det lättare att få ut samplet när det är färdig pressade och har torkat [3]. Under processens gång upptäckte jag även ett par svagheter i den formdesign jag hade gjort, nämligen att mittendelen som utgör sidorna av formen började bukta utåt under hårt tryck. För att undvika detta skulle det vara bra att integrera en kant som går runt hela formen för att ge sidorna extra stöd från botten delen av formen och på så vis minimera deformationen under hårt tryck. En sådan kant skulle också hjälpa till under själva tillverkningsprocessen eftersom du kan sätta ihop botten och mitt delen. Deformationen lede i mitt fall till att samplen blev lite bredare i mitten där formen var svagast vilket i sin tur lede till sämre toleranser för samplen, slutligen handlade det ändå om såpass små skillnader att slutresultatet inte påverkades destomera.



*Bild 1, Formen som samplen senare pressas i.*

## 2.2. Recept

Målet med projektet var inte heller att hitta det perfekta receptet fastän det också skulle ha varit ett intressant mål i för sig. I stället tog jag den enklare vägen och sökte upp ett redan testat recept [4], [5] och räknade ut en ungefärlig proportion av papper, lim och vatten utgående från receptet vilket jag senare själv använde mig av. I alla dom sampel jag gjorde använde jag samma proportion av lim och papper för att så gott som eliminerar skillnaderna i proportionerna mellan papper och lim i testsamplen.

Ingredienserna som behövs för massan är:

- Valfritt papper (utan behandling)
- PVA lim
- Vatten

Med andra ord krävs det väldigt få ingredienser för att skapa ett motsvarande material till det som jag gjort i det här projektet. Du kan använda valfri mängd papper och vatten, pappersmängden är rätt svår att uppskatta men med hjälp av en våg är det möjligt att komma nära, det skadar inte heller att göra lite för mycket av massa. Mängden lim du behöver kan du enkelt räkna ut genom att ta **(Papprets vikt (g) X 0,6 = Volymen PVA lim (ml))**. Det vill säga, för 50 gram papper behövs alltså 30ml PVA lim ( $50g \times 0,6 = 30ml$ ), och vatten tillsätter enligt behov eller så mycket som behövs för att mixa allt till en homogen massa.

Resultatet som jag åstadkom genom att använda detta recept var enligt mig väldigt bra och samplen blev i största delen av fallen bättre än jag förväntat mig. Dom små problemen jag stötte på berodde snarare på formarna och press- och torkningsprocessen än själva pappersmassan. Vilket tyder på att dom svåra aspekterna och även mest tids krävande momenten när man jobbar med materialet är just formarna och press- och torknings-processen. Det är också dessa två delmoment där största utveckling är möjlig i jakten på att hitta en process som effektivt kan tillverka delar av materialet.

### 2.3. Tillverkning

Tillverkningsprocessen för samplen börjar med att du har en form som kan komprimera materialet (som den i bild 1.) och har någon typ av hålighet så vattnet kan komma ut när du pressar pappersmassan. Håligheterna förnsnabbar även torkningsprocessen, eftersom det är eftersträvansvärt att hålla formen stängd och på det sättet minimerar deformation under torkningen. Håligheterna bidrar på så sätt även till en drastiskt förkortad torktid för materialet.

Efter att du har gjort klar formen är det dags att göra själva pappersmassan, jag rekommenderar att följa receptet jag beskrev i sektion 2.2 för att med större sannolikhet få ett bra slutresultat. Innan man pressar massan i formen är det bra att klämma ut en del av vattnet för att få plats med en större volym av pappersmassa i formen. Massan packas så hårt som möjligt förhand och sedan är det dags att lägga den sista form biten på plats och trycka ihop hela formen med hjälp av någon typ av press ja använde mig exempelvis av skruvtingar (se bild 2). Försök att pressa in så mycket av pappersmassan som möjligt för bästa resultat. En större mängd pappersmassa minimerar bland annat krympning när komponenten torkar och resulterar även i en starkare komponent. Efter att delen är pressad är det bara att vänta tills massan har torkat ordentligt vilket kan ta flera dagar, om möjligt så lönar det sig att använda ett torkskåp eller liknande för att drastiskt förnsnabba den här tidskrävande delen av processen.



*Bild 2. Arbetskedena under tillverkningen av samplen.*



## 2.4. Test sampel

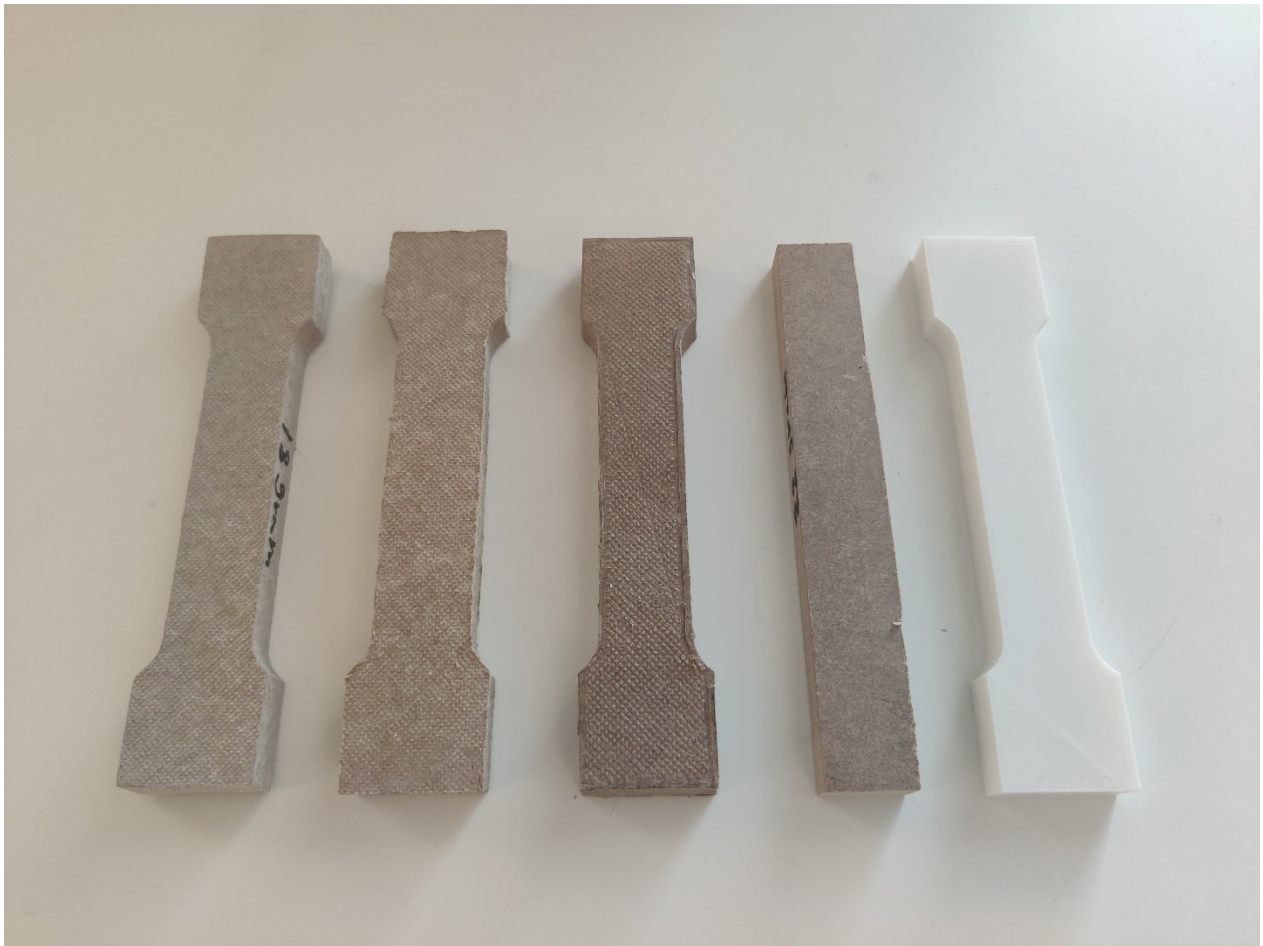


Bild 3. Färdiga samplen, (från vänster till höger) Tidningspapper, 50% tidningspapper 50% kartong, Kartong, MDF, PLA 3D-utskrift.

Sampel	#1	#2	#3	#4	#5
Material	Tidningspapper	50% tidningspapper, 50% kartong	Kartong	MDF	PLA, 3D-utskrift (25% infill)
Massa (g)	18g	21g	31g	22g	20g
Densitet (g/cm <sup>3</sup> )	0,5 g/cm <sup>3</sup>	0,58 g/cm <sup>3</sup>	0,86 g/cm <sup>3</sup>	0,61 g/cm <sup>3</sup>	0,55 g/cm <sup>3</sup>

Tabell 1. Samplens material, massa och densitet.

### 3. Dragprov

Draghållfasthetstest eller dragprov är en typ av mekanisk test som används för att mäta förmågan hos ett material att motstå en sträckande kraft innan den brister. I ett sådant test dras en provbit av materialet isär med hjälp av en maskin som linjärt ökar dragkraften tills materialet separeras. Mängden kraft som krävs för att separera provet mäts kontinuerligt, och resultaten används för att beräkna materialets draghållfasthet.

Det här är ett viktigt test eftersom det ger värdefull information om dom mekaniska egenskaperna hos material, såsom styvhet och elasticitet. Draghållfasthet är en avgörande parameter när man väljer material, eftersom det berättar om materialets förmåga att motstå belastningar utan att brytas eller deformeras för mycket. Testresultaten kan också hjälpa till att identifiera defekter eller svaga punkter i materialet, vilket direkt påverkar designbeslut och tillverkningsprocessen.

Dessutom kan draghållfasthetstester också ge insikter i materialets beteende under olika förhållanden, såsom förändringar i temperatur, luftfuktighet eller deformationshastighet. Denna information är också viktig för att förutsäga prestanda och tillförlitlighet hos material i under verkliga tillämpningar. Nedan (se bild 4) finns ett exempel på dom olika egenskaper man kan bestämma med hjälp av draghållfasthetstest.

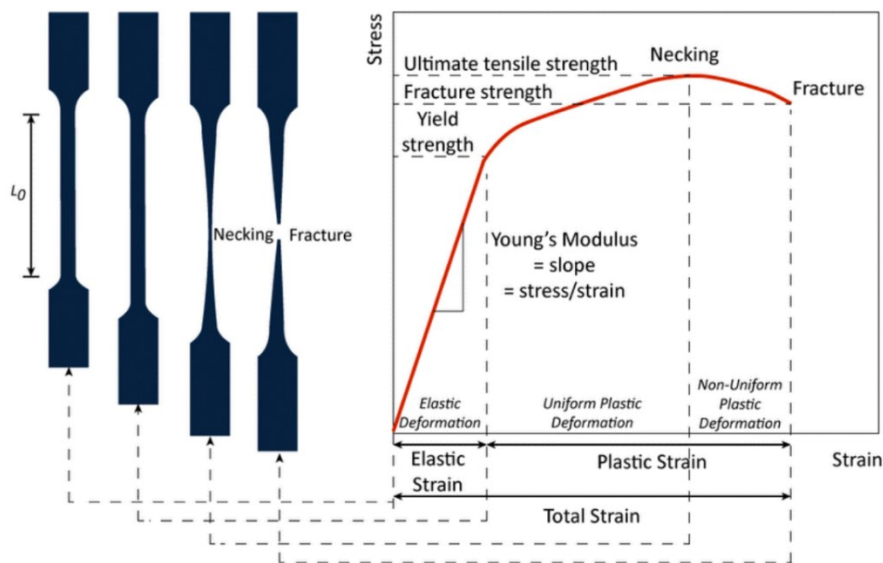


Bild 4. Exempel på resultat av ett dragprov och hur man analyserar resultaten. Bild av ADMET Materials Testing System Manufacturer.

### 3.1. Resultat

Dragproven gav en bred insikt i materialens egenskaper, både materialens negativa och positiva sidor. Pappers samplen presterade rätt lika, speciellt om du räknar bort densiteten för test-bitarna, vilket är ett smart drag eftersom du på så sätt kan eliminera också den variabeln ur ekvationen. Sampel #1 "Paperi" var den enda utstickaren av pappers samplen och det berodde främst på att samplet hade böjt sig under torkningsprocessen vilket i sin tur gjorde att samplet hade en svag punkt och lägre testresultat. Förutom sampel #1 så hade all andra sampel lyckats bra och resultaten berättar en sammanhängande och trovärdig berättelse om materialets hållbarhet. MDF samt PLA samplen presterade överlagset bäst i dragprovet men det var också ett väntat resultat, att det hemma gjorda materialet ändå presenterade så bra som det gjorde visar att materialet har god potential.

Resultaten tyder på att papper materialet går att tillverka på ett förutsägbart sätt vilket är en viktig egenskap eftersom det gör att resultaten går att uppskattas redan under modelleringsskedet, speciellt i fall där materialet används för delar som är utsatta för någon typ av mekanisk stress. Att resultaten är förutsägbara betyder att man kan räkna ut var gränserna för en specifik del är och med ytterligare information är det möjligt att skapa modeller och simulera resultaten på förhand. Det var ändå en överraskning att resultaten för alla pappers samplen blev så lika, min hypotes var nämligen att papperstypen skulle ha en större inverkan på testresultaten.

Pappers materialets densitet är en mycket viktig faktor för materialets hållfasthet, det här kan du klart se genom att jämföra sampel #2 "paperi-kartonki" och sampel #3 "kartonki" i testresultaten (tabell 1, bild 5), eftersom sampel #3 hade en densitet som var 47% högre än sampel #2. Skillnaden i densitet korrelerade tydligt med materialens sträckgräns som i det här fallet var 79% högre för sampel #3 jämfört med sampel #2. Densiteten av bitarna kontrolleras direkt av mängden pappers massa och trycket i formen vilket beskrivs noggrannare i sektion 2.2.



## Testausseleste KH-TS-230417-1

Asiakas : Joel Knippari  
Koestuspäivä : 17.4.2023  
Koekappaleen tyyppi : Vetokoe  
Koestaja : Veli-Antti Hakala & Joel Kippari  
Koestuslaitteen tiedot : Zwick RK 250/50, 50kN  
Esikuorma : 10 N  
Kuormitusnopeus : 0,5 mm/min

### Koetulokset:

Tunnus	Koepäivä	a <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> mm	F <sub>max</sub> kN	σ <sub>M</sub> N/mm <sup>2</sup>
LDF	17.4.2023	10,2	20,7	3,649	17,28
PLA	17.4.2023	10,9	20,0	2,637	12,10
Paperi	17.4.2023	10,7	20,0	0,497	2,32
Paperi - Kartonki	17.4.2023	12,0	21,0	0,968	3,84
Kartonki	17.4.2023	12,0	21,0	1,740	6,90

Yhteenveto: -

### Voima-siirtymäkuvaaja:

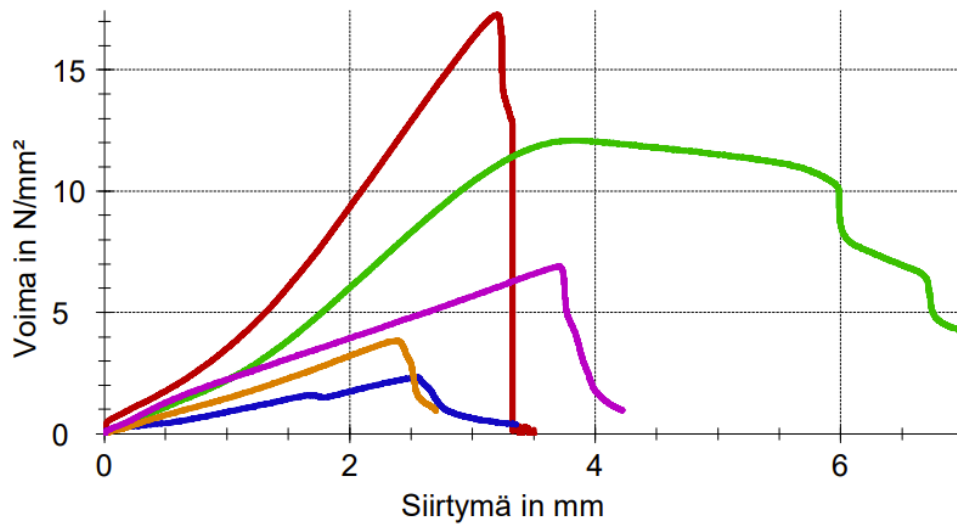


Bild 5. Resultaten för Draghållfasthetstestet.

## 5. Slutsatser

Under projektets gång har jag undersökt och utfört ett dragprov på olika pappersmassor som till största delen består av återanvänt papper. Genom projektet har jag försökt att besvara ett par frågor som nämns i slutet av introduktionen i sektion 1, och samtidigt samla ihop informationen som behövs för att skapa liknande resultat. Efter att ha genomfört dragprovs testet kunde jag besvara största delen av frågorna och även identifierat att par områden som skulle kräva ytterligare utforskning för att göra processen ännu effektivare.

För att ännu sammanfatta vad jag kommit fram till under projektet så besvara jag introduktions frågorna i kronologisk ordning.

1. Materialet kan enkelt skapas hemma och resultaten talar för sig själva när det gäller både toleranser och kvalité på ytorna. Dom svåraste delarna av tillverkningsprocessen är design av formen som delarna pressas i och reglering av mängden pappersmassa som behövs.
2. Det färdig pressade pappers materialet är definitivt jämförbart med sampel #3 och #4 fastän resultat i dragprovet var sämre, dragprovet visar ändå klart och tydligt att delar som klarar av belastning går att tillverkad av materialet. Det är också viktigt att komma ihåg dom andra egenskaperna hos materialet, exempelvis miljöpåverkan är viktiga när man väljer material för en produkt.
3. I det begränsade test jag gjort av olika papperskällor så tyder resultaten på att det inte skulle ha någon större betydelse. Men för att definitivt kunna svara på den frågan skulle det behövts flera sampel och ett mer omfattande test av olika papperssorter.
4. Testresultaten visar att materialet har både pålitlig och förutsägbar prestanda under stress, vilket är en viktig egenskap om materialet används i en komponent som utsätts för belastning.

Resultaten har varit väldigt lärorika och genom att ha jämfört pappers materialen med bland annat MDF som oftare används kan man nu lättare skapa sig en bild av hur materialets egenskaper ser ut och vilka typer av projekt materialet lämpar sig för, vilket är väldigt viktigt om man försöker skapa en grundligare förståelse för ett material och dess potential. Med denna information hoppas jag personligen att materialet blir alltmer vanligt även i sammanhang utöver förpackningar, eftersom materialet har stor potential.

## Källhänvisning

- [1] A. Johansson, 'Correlations between fibre properties and paper properties', Dissertation, 2011.
- [2] S. P. Gurav, A. Bereznitski, A. Heidweiller, and P. V. Kandachar, "Mechanical properties of paper-pulp packaging," *Composites Science and Technology*, vol. 63, no. 9, Jul. 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/s0266-3538\(03\)00104-0](https://doi.org/10.1016/s0266-3538(03)00104-0).
- [3] EveryOtherDay, "Cardboard – Future Materials Bank," [www.futurematerialsbank.com](http://www.futurematerialsbank.com).  
<https://www.futurematerialsbank.com/material/cardboard/> (accessed Apr. 17, 2023).
- [4] XYZAidan, "Recycle Cardboard Into Anything With 3D Printing!," *Instructables*.  
<https://www.instructables.com/Recycle-Cardboard-Into-Anything-With-3D-Printing/> (accessed Apr. 17, 2023).
- [5] flowalistikMore, "Pulp It! - 3D Printable Recycled Cardboard Molds," *Instructables*.  
<https://www.instructables.com/Pulp-It/> (accessed Apr. 17, 2023).
- [6] Y. Virtanen and S. Nilsson, *Environmental Impacts of Waste Paper Recycling*. Earthscan Publications Limited, 2017.
- [7] T. M. Letcher, *Plastic Waste and Recycling : Environmental Impact, Societal Issues, Prevention, and Solutions*. Amsterdam: Academic Press, 2020. Available:  
<https://www.elsevier.com/books/plastic-waste-and-recycling/letcher/978-0-12-817880-5>
- [8] P. Berg and O. Lingqvist, "Pulp, paper, and Packaging in the next decade: Transformational Change," *McKinsey*, 2019.  
[https://www.mckinsey.com/~/\\_/media/McKinsey/Industries/Paper%20and%20Forest%20P%20products/Our%20Insights/Pulp%20paper%20and%20packaging%20in%20the%20next%20decade%20Transformational%20change/Pulp-paper-and-packaging-in-the-next-decade-Transformational-change-2019-vF.pdf](https://www.mckinsey.com/~/_/media/McKinsey/Industries/Paper%20and%20Forest%20P%20products/Our%20Insights/Pulp%20paper%20and%20packaging%20in%20the%20next%20decade%20Transformational%20change/Pulp-paper-and-packaging-in-the-next-decade-Transformational-change-2019-vF.pdf) (accessed Apr. 17, 2023).