THE MECHANICAL PROPERTIES OF NEEDLE PUNCHED FABRICS BY USING MECHANICAL OR ELECTRICAL MODELS.

الخواص الميكانيكية للاقمشة الغير منسوجة باستخدام نموذج ميكانيكى أو كهربى ٠

Dr. Adel El-Hadidy
Textile Engineering Dept., Mansoura University.

ABSTRACT:

The mechanical properties for mechanically punched N.W. fabrics could be represented by high degree of accuracy by using mechanical model or equivalent electric model.

The mechanical models are composed from elements that differ in number and order (or arrangement) according to the properties to be represented and are often a spring to describe complete elasticity and a dash pot to describe the complete plasticity.

In the present work given the relationships are given to be used for the conversion from mechanical models to electric models, because the analysis of electric circuits is alwyas much easier than that of equivalent mechanical models.

The results obtained in this work for N.W. fabrics proved that the stress-strain relationship is not sufficient enough to describe the mechanical behaviour of these fabrics, therefore it is necessary to study the effect of time, this is what known as creep, then its behaviour is measured after unloading, this is known as relaxation.

1. INTRODUCTION — مقدمة:

نقطة البدء فى هذا البحث هى محاولة ايجاد قواعد التشابه (analogy) بين النماذج الميكانيكية والكهربية التى يمكن الاستفادة بها فى حل المشاكل المتعلقة بخواص الاقمشة الغير منسوجة ٠

ايضا فى هذا البحث محاولة لتخليص المشكلة التى تحت الدراسة، الاساليب العلمية والتكنولوجية المؤثرة، الموديلات الرياضية المقترحة ، التشابه بين الموديلات الميكانيكية أوالكهربية المستخدمة لوصف سلوك الاقمشة الغير منسوجة ميكانيكيا ٠

ويهدف هذا البحث الى اعتبار أن خواص القماش الغير منسوج ميكانيكيا كنظام حقيقى (AS) والانحراف الحادث فيه بسبب اجهاده يمكن وصفه رياضيا فى صورة موديل طبيعى (PM) ويمكن بدوره تشبيه بالتشوه الحادث فى البلمرات (A) وتسجل المشاهدات أثناء اجهاد القماش (O) ونهتم هنا بتسجيل الاستطالة فى مرحلتى الحمل رفع الحمل (M) لنحصل على دلائل التحليل (SA) ويمكن نقترح الموديل الرياضى (MM) الذى يصف هذه الخواص وتقارن خواص الموديل المقترح بخواص القماش الحقيقى (C)،خطوات نظم التحليل يوضحها شكل ١٠

١٠١ــ الخواص الميكانيكية للاقمشة الغير منسوجة:

Mechanical Properties of Mechanically Bonded NW Fabrics

تعتبر الخواص الميكانيكية من أهم الخواص التى تحظى بأهتمام كل من المنتجين والمستهلكين للاقمشة، ومفهوم الخواص الميكانيكية يعنى كل الخواص مجتمعة معا، والاقمشة اثناء

الاستخدام تتعرض للاجهادات بطرق متعددة تؤثر بلاشك فى تركيبها الاصلى .

وغالبا تدرس العلاقة بين القوة المؤثرة على الاقمشة والتشوه الحادث فيها ، وهى علاقة معقدة اذ تعتمد على صف طويل من المتغيرات مثل التركيب الكيميائى والطبيعى للخامات النسيجية ، خواص هذه الالياف ، طريقة التصنيع ، درجة حرارة ورطوبة الاختبار ، طريقة التحميل ، سرعة التحميل .... وعموما يمكن تمثيل هذه المتغيرات رياضيا هكذا :-

$$F\left(\sigma, \varepsilon, \frac{\delta\sigma}{\delta\varepsilon}, \frac{\delta_2\sigma}{\delta\varepsilon^2}, \frac{\delta\varepsilon}{\delta t}, \frac{\delta_2\varepsilon}{\delta t^2}, \frac{\delta_2\varepsilon}{\delta\sigma\delta t}, \dot{\sigma}, t, T, \theta, \right.$$

$$\left. \emptyset, \ldots\ldots, C\right) = \text{Constant} \qquad \ldots\ldots\ldots(1)$$

حيث

σ الاجهاد ، ε = الانفعال ، $\frac{\delta\sigma}{\delta\varepsilon}$ = تغير الحمل الواقع

$\frac{\delta_2\sigma}{\delta\varepsilon^2}$ = معدل تغير الحمل الواقع ، $\frac{\delta\varepsilon}{\delta t}$ = سرعة التشوه ، $\frac{\delta_2\sigma}{\delta t^2}$

التغير فى سرعة التحميل ، $\dot{\sigma}$ = كمية تصف طريقة وضع الحمل ، t = الزمن T = درجة الحرارة ، θ = معامل يصف تركيب الشعيرات ، $\emptyset$ = معامل يصف تركيب القماش ، ..... ، C = ثابت يصف شروط بدء الحركة . كما أن الخواص الميكانيكية تعتمد ايضا على خواص آخرى مثل (الخواص الكهربية ، الخواص الحرارية ، الخواص المجهرية ، الخواص الناتجة من دمج أى منهما مع الآخر) .

وعلى ذلك فانه من الصعب عمليا تصنيع أقمشة غير منسوجة لها أقصى قيمة لاى من هذه الخواص (لان ذلك يفسد ويصل بقيم أخرى الى نهايتها الصغرى) والتى يقل بعض منهما أو يكاد ينعدم .

ومنعا للتعقيد سوف تدرس المعادلة (١) بأخذ ٣ متغيرات نقط هى الاجهاد ، الانفعال ، الزمن وعليه تؤول المعادلة (١) الى الصورة التالية :-

$$F(\sigma, \varepsilon, t) = 0 \qquad \ldots\ldots\ldots(2)$$

شكل (٢) يوضح العلاقة بين المتغيرات الثلاثة فى المعادلة (2) والذى يمكن منه دراسة العلاقة بين أى متغيرين من الثلاثة بتثبيت الاخر هكذا :-

$$F(\varepsilon, t) = 0 \qquad \ldots\ldots\ldots(3)$$

حيث يكون الاجهاد σ ثابتا وهذه العلاقة معروفة بأسم الزحف (Creep)

$$F(\sigma, t) = 0 \qquad \ldots\ldots\ldots(4)$$

حيث يكون الانفعال ε ثابتا وهذه العلاقة معروفة بأسم الارتخاء (Relaxation)

والمعادلات ٣ ، ٤ يمكن استخدامها فى تصميم موديل رياضى ميكانيكى أو كهربى يصف السلوك التى تسلكها هذه الاقمشة عند تعرضها للاجهاد .

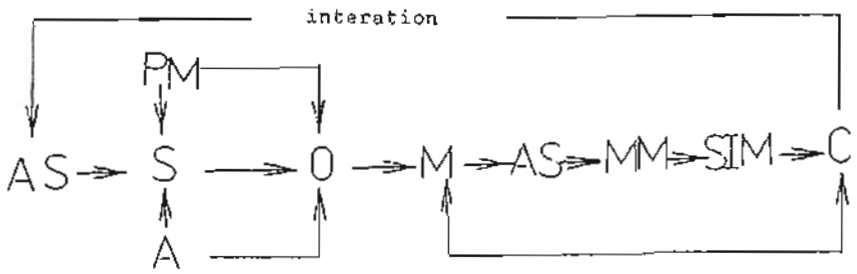


Fig.(1): The stages of systems analysis /1/.
AS = Actual system, S = System, PM = Physical model
A = Analogy, O = Observations, M = Measurements,
SA = Signal analysis, MM = Mathematical model,
SIM = Simulation, C = Comparison.

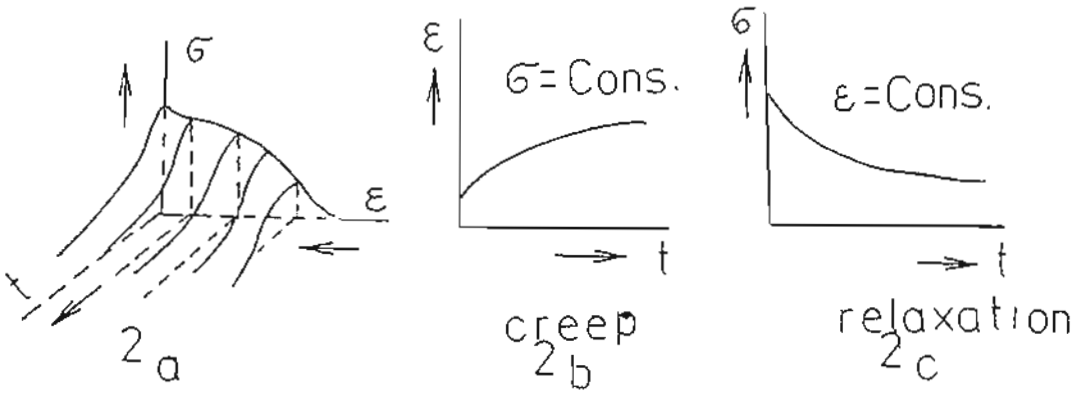


Fig.(2-a,b &c): Indicates the relationship between stress σ, strain ε, and time t schematically./2/

٢٠١ـ الموديلات الميكانيكية (الكهربية) للاقمشة الغير منسوجة:

The Mechanical and/or Electrical Models for Non-Woven Fabrics

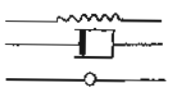
أثبتت الدراسات[٣] التشابه الذى يمكن حدوثه بين الاقمشة الغير منسوجة والبوليمرات فى حدود مجال خواص الارتخاء حيث أجهدت عينة من القماش الغير منسوج (لم يسبق اجهادها) فى حدود الشد ثم تركت لتعود ثانية بعد زمن معين وأمكن تقسيم كمية الانفعال الى ثلاثة اقسام هى :ـ

high elastic deformation,	١ـ انفعال عالى المرونة
elastic deformation, and	٢ـ انفعال مرن
plastic deformation	٣ـ انفعال لدن

ولكى يمكن وصف سلوك الاقمشة الغير منسوجة خلال اقسام الانفعال الثلاثة السابقة وذلك باقتراح موديل ميكانيكى أو كهربى فانه من الافضل التعرف على مكونات أى موديل.

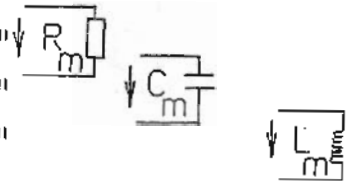
جدول (١) يوضح العناصر التى يتكون منها أى موديل مقترح

أ- بالنسبة للموديلات الميكانيكية



spring — لوصف الانفعال عالى المرونة، والمرن
dash-pot — لوصف الانفعال اللدن،
mass — لوصف كتلة النقطة المادية.

ب- بالنسبة للموديلات الكهربية



المقاومة — حيث (5) $x = IR$
المكثف (6) $i = c\, d x/dt$
الملف (7) $x = L\, di/dt$

٣٠١- التشابة بين الموديلات الميكانيكية والكهربية:

The Similarity Between the Mechanical and Electrical Models

لسهولة حل الدوائر الكهربية يكثر تحويل الموديلات الميكانيكية الى موديل مكانى كهربى على أساس أن الشحنة على المكثف q تشبة معامل المرونة العالى E_{he}، المقاومة المادية R تشبه معامل اللزوجة η، وسعة المكثف c تشبه معامل المرونة E_e.

ويوجد نظامان للتشابه بين الموديلات الكهربية يوضحها جدول (٢)[٣]

عناصر الموديل الميكانيكى	عناصر الموديل الكهربى طبقا للنظام الامريكى	عناصر الموديل الكهربى طبقا للنظام الهولندى
ε الانفعال	q الشحنه	E فرق الجهد
σ الاجهاد	E فرق الجهد	I التيار
J معامل المرونه	C السعه	R المقاومه
η معامل اللزوجه	R المقاومه	C السعه
m الكتله	L الممانعه	
V السرعه	I التيار	

وللتحويل من نظام الى آخر تستخدم العلاقات التالية

قانون هوك	(8)	$\varepsilon = J\sigma$
قانون كولب	(9)	$q = C.\varepsilon$
قانون أوم	(10)	$\varepsilon = I.R$
قانون نيوتن	(11)	$\sigma = J \frac{d\varepsilon}{dt}$

$$E = L \cdot \frac{dI}{dt} \qquad (12)$$ قانون هنرى

$$E = \sum_{i}^{n} E_i \,,\; I = \sum_{i}^{n} I_i \qquad (13)$$ قانون كير شُينوف (توالى ـ توازى)

$$\sigma = m \frac{d2\,E}{dt^2} \qquad (14)$$ قانون نيوتن للحركة

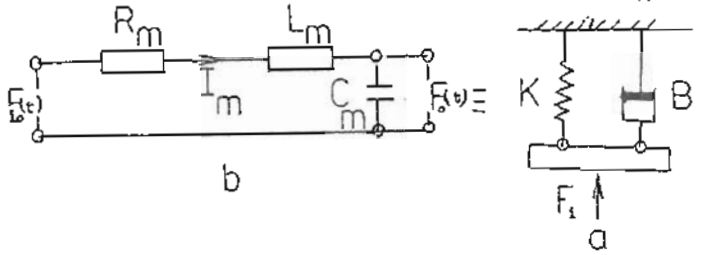
$$= m \frac{dv}{dt} \qquad (15)$$ قانون نيوتن للحركة

شكل (٣) يوضح موديل ميكانيكى والموديل الكهربى المكافئ له ومنه نجد أن:

المقاومة R_M تماثل B(damping)

السعة C_M تماثل K(inverse of spring constant)

الممانعه L_M تماثل الكتلة m



فى ملحق هذا البحث (Appindex) عرض لاكثر الموديلات الميكانيكية والكهربية المكافئة لها المعروفة والمقترحة.

٤٠١ـ خواص الارتخاء Relaxation Properties

من المعروف أن الاجسام تامة المرونة تخضع مباشرة لقانون هوك حيث يتناسب الاجهاد σ والانفعال ε عند أى لحظة t . وعلى ذلك فان تأثير الزمن لاوجود له.

والارتخاء هو العملية التى يتم فيها انتقال المادة (NW) من حالة عدم الاستقرار الى حالة الاستقرار والتى تحتاج الى زمن ربما يصل الى عدة أيام أو عدة شهور.

قيست خواص الارتخاء للاقمشة الغير منسوجة بنفس الطريقة التى سبق اتباعها عند تقييم خواص البولمورات ٢، ٤، ٥ وذلك باتباع الاتى :ـ

١ـ تعيين قيم الانفعال للاقمشة الغير منسوجة عند تعرضها لحمل ثابت مع الزمن.

٢ـ تعيين قيم الارتخاء للاقمشة الغير منسوجة بعد رفع الحمل كدالة مع الزمن.

٢٠ الجـزء النظـــرى: The Theoretical Part

عند قياس استطالة (elongation) عينات من الاقمشة الغير منسوجة معرضة لحمل ثابت على فترات زمنية متساوية ومتتالية يمكن ملاحظة الآتـى :ـ

بفـرض أن طول العينة الاصلى L_o ، والطول النهائى L_k
فان الاستطالة L يمكن حسابها من المعادلة (16) حيث

$$L = L_k - L_o \qquad .....(16)$$

والاستطالة السابقة L تنقسم الى ثلاثة اقسام: L_{he} (الاستطالة عالية المرونة)، L_e (استطالة المرونة) ، L_p (استطالة اللدونة) وعليه يكون :ـ

$$L = L_{he} + L_e + L_p \qquad .....(17)$$

وبقسمة المعادلة (17) على طول العينة الاصلى L نحصل على :

$$1 = \frac{L_{he}}{L} + \frac{L_e}{L} + \frac{L_p}{L}$$

$$\text{i.e.} \quad 1 = D_{he} + D_e + D_p \qquad .....(18)$$

D_{he} هى نصيب المرونة العالية من الانفعال الكلى
D_e هى نصيب المرونة من الانفعال الكلـــــى
D_p هى نصيب اللدونة من الانفعـــال الكلـــى

ولكن جرت العادة على أن تنسب الاستطالة الكلية الى الطول الاصلى وعليه بقسمـــة المعادلة (17) على L_o نجـد أن:

$$\frac{L}{L_o} = \frac{L_{he}}{L_o} + \frac{L_e}{L_o} + \frac{L_p}{L_o}$$

$$\text{i.e.} \quad \varepsilon = \varepsilon_{he} + \varepsilon_e + \varepsilon_p \qquad .....(19)$$

حيث:

ε_{he} تمثل الانفعال النسبى فى مرحلة المرونة العالية،
ε_e تمثل الانفعال النسبى فى مرحلة المرونـة،
ε_p تمثل الانفعال النسبى فى مرحلة اللدونـة.

ومن وجة نظر الاستطالة فان :ـ

$$L_{he} = L_1 - L_2 \qquad .....(20)$$

$$L_e = L_2 - L_3 \qquad .....(21)$$

$$L_p = L_3 - L_o \qquad .....(22)$$

حيث:

$ل_1$ = طول العينة بعد فترة زمنية اختيارية من وضع الحمل
$ل_2$ = طول العينة مباشرة عند رفع الحمل (نهاية فترة التحميل)
$ل_3$ = طول العينة بعد فترة اختيارية من رفع الحمل.

٣. الجزء العملي:

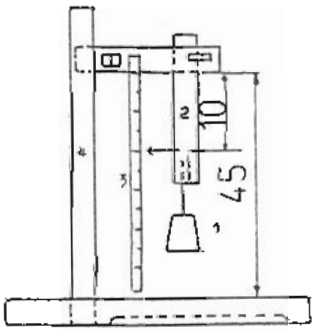
١٠٣ـ الخامات والطريقة المستخدمة عند الفحص:

عينتان من القماش الغير منسوج ميكانيكيا احدهما من شعيرات البولى استر (virgin) والآخرى مصنوعة من عوادم شعيرات البولى استر (waste)، طبقا للنظام التشيكى القياسى[٦] اختيرت العينات فى اتجاه القماش المنتج على الماكينه بعرض وطول ١٠٠ سم.

هذه العينات كل على حده حملت بحمل ثابت (١٣٠٠ث.جم) لمدة ساعة، سجلت الاستطالة فيها مرة كل دقيقتين ثم رفع الحمل وسجلت خواص الارتخاء ايضا مرة كل دقيقتين.

العينات عرضت للجو القياسى فى المعمل (٢٠ ± ٢ °م، ٦٥ ± ٢ ٪ رطوبة) شكل رقم (4) يوضح رسما تخطيطيا للتركيبة المستخدمة عند قياس الاستطالة عند حمل ثابت وايضا خواص الارتخاء.

طبقا للمرجع[٧] اختير حمل الشد الاولى بمقدار (٥ ± ٥ر٠ نيوتن) وذلك للاقمشة الغير منسوجة حتى وزن ٥٠٠ جم/م٢ واختير (١٠ ± ١ر٠ نيوتن) للاقمشة الغير منسوجة التى كتلة المتر المربع لها فوق (٥٠٠ جم/م٢).



1- Load, 2- Non-Woven Fabric,
3- Scale, 4- Wood attachment.

Fig,(4)

٤ · النتائج والمناقشة :

جدول رقم (3) يوضح بعض الخواص الهامة للاقمشة الغير منسوجة المستخدمة فى هذا البحث·

النوع	كثافة التغريز (غرزة/سم٢)	وزن المتر المربع (جم/م٢)	السمك (مم)	الطراوة (مم)	معامل التعبئة (Ø)
A قماش غير منسوج من (شعيرات لم يسبق استخدامها)	١٠٠	٧٠٠	١٠٫٨	٤٫٥	٤٠٫٩ × ١٠ $^{-٣}$
B قماش غير منسوج من (شعيرات سبق استخدامها)	٦٠	٨٠٠	١٢٫٢	١٫٥	٤٣٫٥ × ١٠ $^{-٣}$

استخدم جهاز (Instron) فى تعين العلاقة بين الحمل والاستطالة للعينات المختبرة تحت الظروف التالية :ـ

١ـ مدى القوة (٢٠ كجم) ٢ـ سرعة الفحص (٥٠ سم/دقيقة)

٣ـ سرعة الورقة (١٠ سم/دقيقة)·

شكل (5) يوضح العلاقة بين الحمل والاستطالة لكل من العينتين المختبرة والذى منه يمكن استخلاص النتائج التالية :ـ

(أ) المدى الاول : (α - α) Before the yield point

فى هذا المدى نجد أن خواص اللزوجة للقماش (B) اقل منها للقماش (A) مع ملاحظة ان قوى الاحتكاك فى هذه الحدود يمكن اهمالها اذا قورنت بكل من قيم E , η وان القماش B أكثر صلابة من القماش A لقرب المماس له من المحور الرأسى·

(ب) المدى الثانى : (β - β) After the yield point

بالنسبة للقماش (A) نجد أن الانفعال بدأ بمعدل أكبر عما كان عليه قبل نقطة الخضوع مقارنة بسلوك القماش (B) وهذا يدل على أن مقدار التشوه اللدن للقماش A أكبر من نظيره B ·

(ج) المدى الثالث: (بعد الخط β - β)

بالرغم من اختلاف معدل التشوه للقماش A عن B فان أى زيادة جديدة فى الانفعال الحادث فى كلا العينتين ـ ترجع الى تركيب القماش نفسه وظاهره (Orientation) للشعيرات المكونه لهم وأن الشغل اللازم لقطع العينة (A) أكبر من الشغل اللازم لقطع العينة (B)·

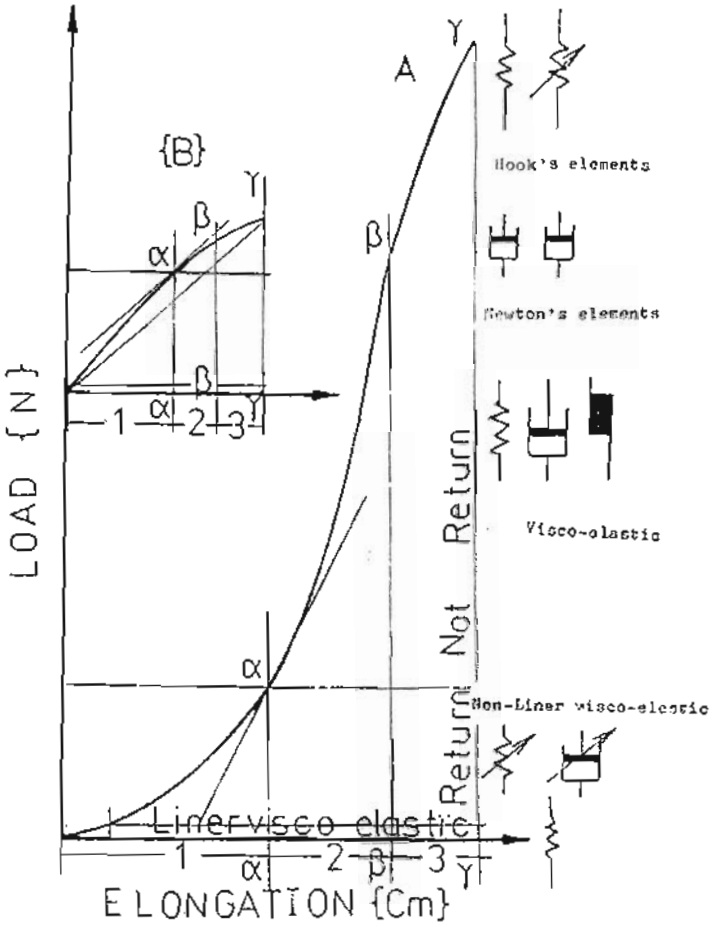


Fig.(5); Shows the behavior of tensile properties of needle punched nonwoven fabrics, A = PES_s, B = PES_{waste}.

ولتكوين موديل يصف الخواص الاحتكاكية ، فانه من الضرورى دراسة سلوك العينات بعد رفع الحمل وللعينات السابقة الذكر فان موديل كلفن (شكل 6) يصلح لوصف سلوك القماشتين(A, B). ويوضح شكل (7) تأثير تحميل كل من القماشتين الغير منسوجتين (A, B) بحمل ثابت مقداره(١٣٠٠ ث جم) ولمدة ساعة ومنه يتضح ان العينات فى البداية تستطيل بكمية كبيرة وبسرعة كبيرة ايضا ثم يقل معدل الاستطالة مع الزمن، والذى يعرف بـ (time dependent elongation) والذى يسمى بالزحف، وعندما يزال الحمل تعود بسرعة ثم ببطء واخيرا يتبقى جزء من الاستطالة والذى يعرف بـ (Perment set)[8]

سلوك الاقمشة الغير منسوجة فى كلا الاختبارين الحمل والاستطالة ، كذلك الارتخاء (شكل 7)، وبمقارنة قيم ε_{he} ، ε_e ، ε_p ، لكل من القماش الغير منسوج (A) والغير منسوج (B) كما هو واضح من جدول رقم (٤).

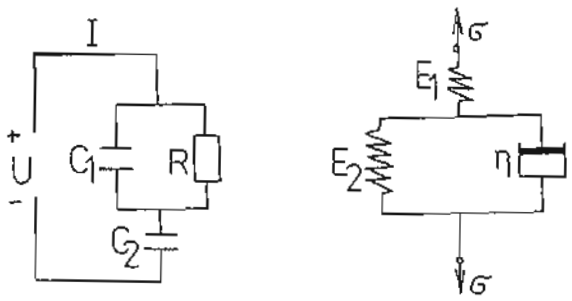


Fig.(6): Indicats schematically diagrams for mechanical and equivalent electrical model according to Kelleven.

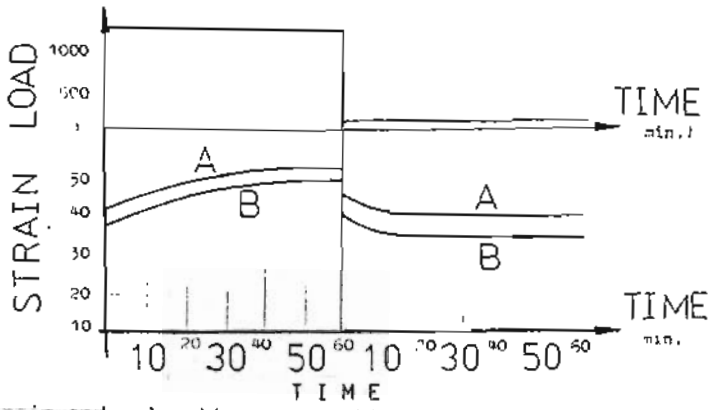


Fig.(7): Strain and relaxation versus time of mechanically punched non-woven Fabrics.
A- NW made of virgin PES_s fibers, B- NW made of waste PES_s fibers.

جدول (٤) يوضح نتائج الارتخاء للاقمشة الغير منسوجة المختبرة.

نوع القماش	الانفعال عالى المرونة ε_{he}(%)	الانفعال المرن ε_e(%)	الانفعال اللدن ε_p(%)	الثابت A(%)
A	1,0	13.4	24.1	21.7
B	0.7	5.8	31.0	27.4
	الاجهاد عالى المرونة $E_{he}(N/cm^2)$	الاجهاد المرن $E_e(N/cm^2)$	اجهاد اللدونة $E_p(N/cm^2)$	
A	3.9×10^3	0.29×10^3	0.16×10^3	1.09×10^7
B	4.9×10^3	0.60×10^3	0.11×10^3	1.91×10^7

قيم كل من ε_{he} ، ε_e للقماش (A) أكبر من نظيره (B) والعكس يتضح بمقارنة قيمة ε_p لكلاهما والذى منه يتضح سهولة التشوه فى القماش الثانى أكثر من الاول.

وبمقارنة قيمة E للاقمشة المختبرة يمكن أن نجد مايلى :

قيمة E_e, E_{he} للقماش (A) اقل منهم للقماش (B) وهذا يشير الى أن القماش (A) سيكون أكثر طراوة من نظيره (B) وهذا يشير الى ان القماش B بالرغم من أنه من عوادم شعيرات البولى استر الا ان خواصه ليست من السوء بحيث يتحكم تجنبه بالعكس نجد خواصه ترشحه كحشو فى صناعة الملابس وكطبقة وسيطة فى صناعة السجاد والموكيت وغيرها .

طبقا لـ (Krčma) فان انفعال الارتخاء عند حمل ثابت يمكن وصفه بالمعادلة :

$$\varepsilon = A_1 e^{-t/\tau_1} + A_2 e^{-t/\tau_2} + \ldots + A_n e^{-t/\tau_n} \quad \ldots\ldots\ldots(23)$$

حيث n تشير الى عدد العناصر $A_n, \ldots, A_2, A_1$ ثوابت

والمعادلة (23) يمكن اعادة كتابتها لعنصر واحد هكذا

$$\varepsilon = A e^{-t/\tau} \quad \ldots\ldots\ldots(24)$$

بأخذ اللوغاريتمات

$$\text{Log } \varepsilon = \text{Log } A - \text{Log } e^{t/\tau} \quad \ldots\ldots\ldots(25)$$

ويفرض أن كمية الاجهاد الواقع على القماش هى σ فان :

$$\sigma = F./S \quad \ldots\ldots\ldots(26)$$

حيث: F- هى القوة المؤثرة على عينة القماش (kp)

S- هى مساحة مقطع العينة (cm^2)

وعموما القول[3] يمكن تمثيل الانفعال الكلى بموديل يتكون من جزء خاص بالانفعال المرن وجزء يتوقف على الزمن طبقا للمعادلة :

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_1} + \frac{\sigma}{E_2}(1-e^{t/\tau}) \quad \ldots\ldots\ldots(27)$$

حيث: ε = الانفعال الكلى

σ = الاجهاد

E_1 = معامل المرونة العالية

t = زمن انفعال العينة

τ = زمن الارتخاء

E_2 = معامل المرونة

وطبقا لموديل كلفن ـ نوجا[3] نجد أن :

$$\tau = \frac{\eta_2}{E_2} \quad \ldots\ldots\ldots(28)$$

وهذا الموديل يمكن تحقيقه باستخدام خواص الارتخاء .

المعادلة (27) يمكن اعادة كتابتها هكذا :ـ

$$\varepsilon = \varepsilon_y + A(1 - e^{-t/\tau}) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(29)$$

حيث:

ε_y = قيمة الانفعال المرن

A = ثـابـــت

شكل (8) يوضح رسما تخطيطيا للموديل المقترح بواسطة (Krčma) [٣]

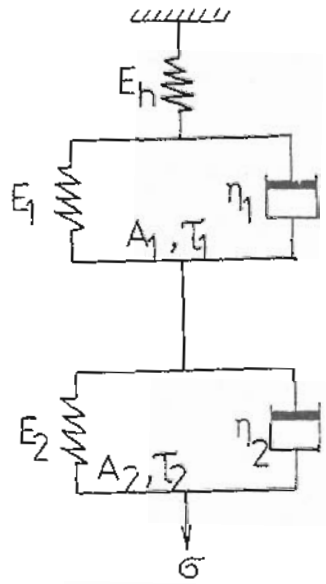


Fig.(8): The suggested mechanical model for needle punched nonwoven fabrics.

٥- الخاتـــمة:

١- الخواص الميكانيكية للاقمشة الغير منسوجة فى صورة اجهاد وانفعال فقط ثبت أنها غير كافية لوصف السلوك الاحتكاكي لهذه الاقمشة ولا تكتمل هذه الخواص الا بدراسة خواص الارتخاء.

٢- العلاقة بين الاجهاد ، الانفعال ، الزمن للاقمشة الغير منسوجة- اقترح لتمثيلها موديل رياضي قسم الانفعال الحادث فى الاقمشة الى ثلاثة اقسام طبقا للمعادلة التالية: ($\varepsilon = \varepsilon_{he} + \varepsilon_e + \varepsilon_p$).

٣- قواعد تحويل الموديل (الميكانيكى) الى آخر (كهربى مكافئ) .

٤- العلاقة بين الاجهاد والانفعال والزمن للاقمشة الغير منسوجة ميكانيكيا أمكن وصفها باستخدام موديل ميكانيكى معادلته طبقا للمعادلة $\left(\varepsilon = \frac{\sigma}{E_1} + \frac{\sigma}{E_2}(1 - e^{-t/\tau})\right)$

٥- ثبت أن الخواص الميكانيكية للاقمشة الغير منسوجة المختبرة قد اتضحت بصورة أفضل باستخدام الموديل الميكانيكى المقترح ، لذا اقترح أفضل استخدام للاقمشة المختبرة فى هذا البحث.

REFERENCES:

1. Mela, M.J. et al.: "Systems thinking and operation research", National Operation Research Conf., Zag. University, Vol. II, p. 1, 1988.

2. Hladík, V.: Textilní Vlákna, SNTL, Praha, S. 47 - 60, 1970.

3. Krčma, R.: "Struktura NT", Doktorská disertační práce, VŠST, Liberec, ČSSR, 1977.

4. Tichomirov, V.B. et al.: Mechaničeskaja model i relaksacionnye svojstva netkanych kleen-ych materialov. Nauka i issledovanija v tekstilnoj pro syšlennosti XII S. 91-104, 1972.

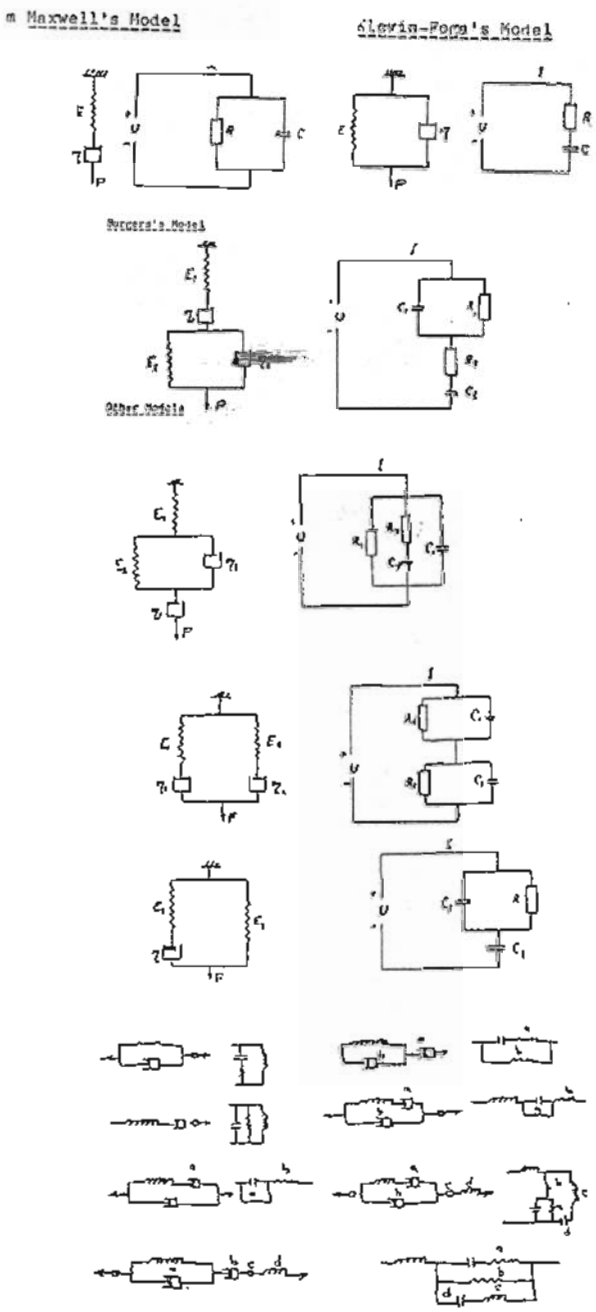
5. Krčma, R. et al.: Využití mechanických modelů při studiu pojených textilí z dvousložkových vláken a ze spletí. Textil, ČSSR, 1973.

6. Č S N 800815 Zkoušení pevnostia tažnosti.

7. Košková, B.: Zatěžovac Krivka mechanickéhg namáhání textilního vlákna, Sbornik, V Š S T, Liberec, ČSSR, S. 287, 1981.

8. Booth, J.E.: Principles of textile testing, National Trade Press, London, P. 362, 1961.

APPINDEX


m Maxwell's Model
Kelvin-Voigt's Model
Burgers's Model
Other Models