

Műszaki textília alakváltozásainak mérése fotó-eljárással

Hegyi Dezső*

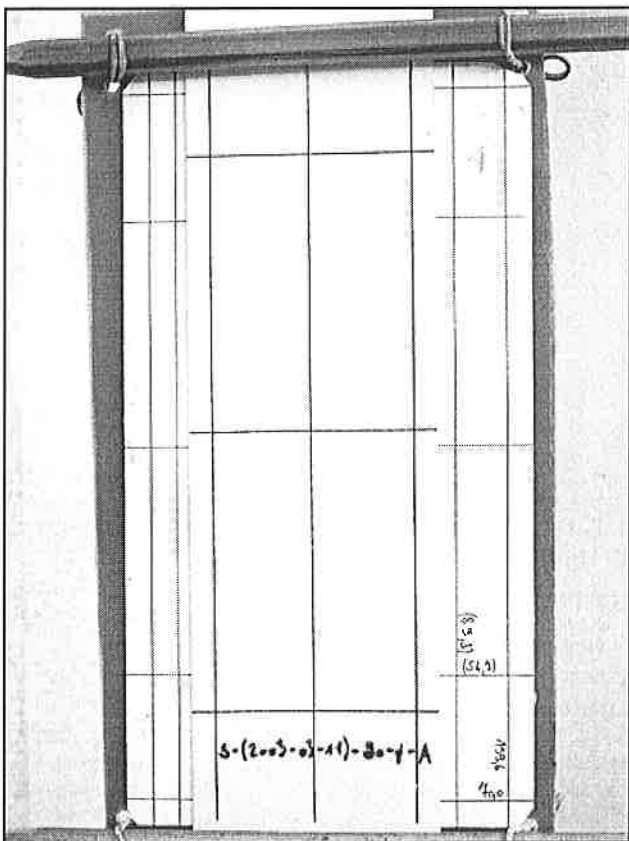
A feladat és megoldásának elve

A sátorépítésben műszaki textíliákat használnak. Magyarországon jellemzően PVC bevonatú poliészterszálászöveteket. Ezek az anyagok viszonylag érzékenyek a mechanikai és vegyi hatásokra a legtöbb szerkezeti anyaghoz (fa, beton, acél) képest. Alakváltozásuk méréséhez a szokásos eljárások nem használhatók. A nyúlásmérő bélyegek felragasztása megváltoztatja az anyagjellemzőket. A befogó pófák távolodásának méréséből csak durván becsülhetjük az anyag tényleges fajlagos alakváltozásait a rögzítések környezetében lévő nagyobb deformációk miatt. Olyan eljárást kerestünk, amely a lehető legkisebb mértékben befolyásolja az anyag mechanikai viselkedését.

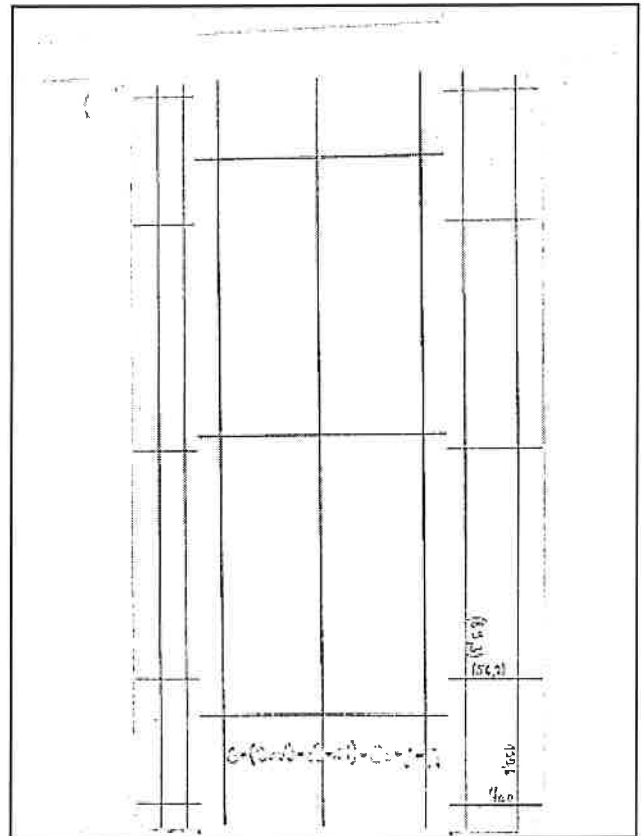
A kifejlesztett eljárás arra épít, hogy a vizsgált szövet jellemzően sík, és a vizsgálat során is sík marad. Ha a vizsgálandó szövetre vonalhálót rajzolunk és elhelyezünk mögötte egy kalibrált vonalhálózatot, ami az anyaggal egy síkban fekszik, akkor a rendszert lefotózva a hálózathoz képest vett alakváltozások mérhetővé válnak. A felrajzolt vonalhálót alkoholos filccel visszük fel az anyagra, ami elhanyagolhatóan kis mértékben befolyásolja az anyag mechanikai viselkedését.

Az alkalmazott tábla nagyon lazán van rögzítve az anyag mögött, ugyancsak elhanyagolható mértékben befolyásolhatja a megnyúlásokat. A rárajzolt vonalhálózat két oldalt kilóg a ponyvacsik mögöl, egy síkban van vele, de mégis fotózható. A vonalhálózat merőleges rendszert alkot.

Mivel tökéletesen ortogonális képet nem tudunk készíteni, a fotókat



1. ábra. A mintadarab és a keret



2. ábra. A binarizált kép

transzformálni kell ahhoz, hogy visszakapjuk a kalibrált vonalhálózat eredeti alakját. A hálózat alapját a merőleges, téglalap alakú keret adja. Ez a fotón szabálytalan négyszöggé jelenik meg, ráadásul a fényképezőgép lencséjének torzítása miatt kissé íves oldalakkal. A transzformációhoz a végeselem-módszerben szokásos parametrikus koordináta-rendszert használjuk. A keret sarokpontjaira és az oldalak egy közbűlső pontjára illesztjük az új koordináta-rendszert, amelyben már a valós távolságokat mérhetjük le az egyes pontok között. A mintadarabon elhelyezett jelölések közötti távolságokból számíthatók a megnyúlások, a harántkontrakció és a szögtorzulás is.

A felvázolt módszer lépéseit mutatom be a következőkben.

A mérési módszer lépései

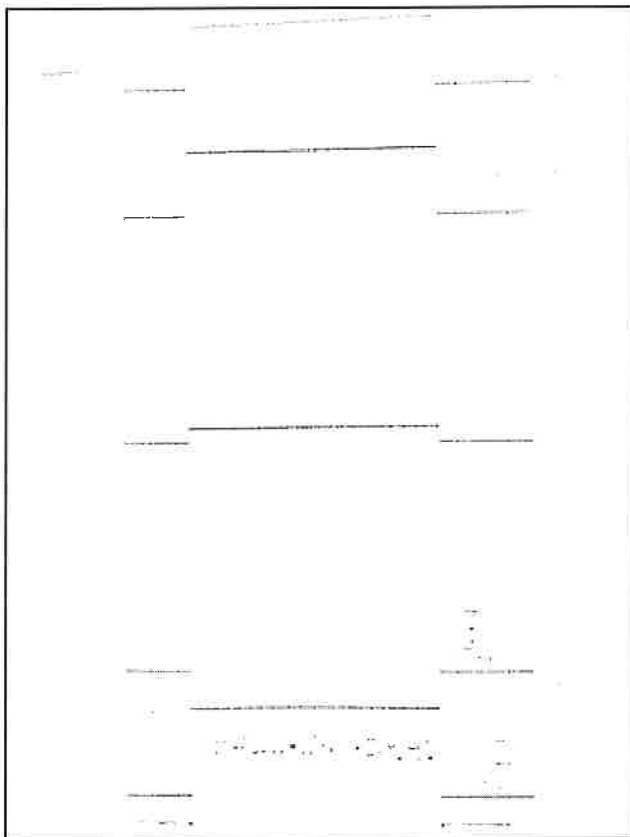
A mintáról fotó készül (1. ábra). Itt törekedni kell arra, hogy minél inkább merőleges helyzetből készüljön a kép, mert ez nagyban befolyásolja a mérés pontosságát. A fotón látható a ponyvaanyag, és körülötte a mögötte lévő merőleges keret és a kiegészítő vonalak.

A képet beolvassuk egy szoftverrel, a továbbiakban ez a program dolgozza fel az adatokat. Első lépésben a színes képből fekete és fehér képpontokból álló, úgynevezett binarizált képet készítünk (2. ábra). A képpont színe alapján eldöntjük, hogy mely képpont legyen fekete, melyik fehér.

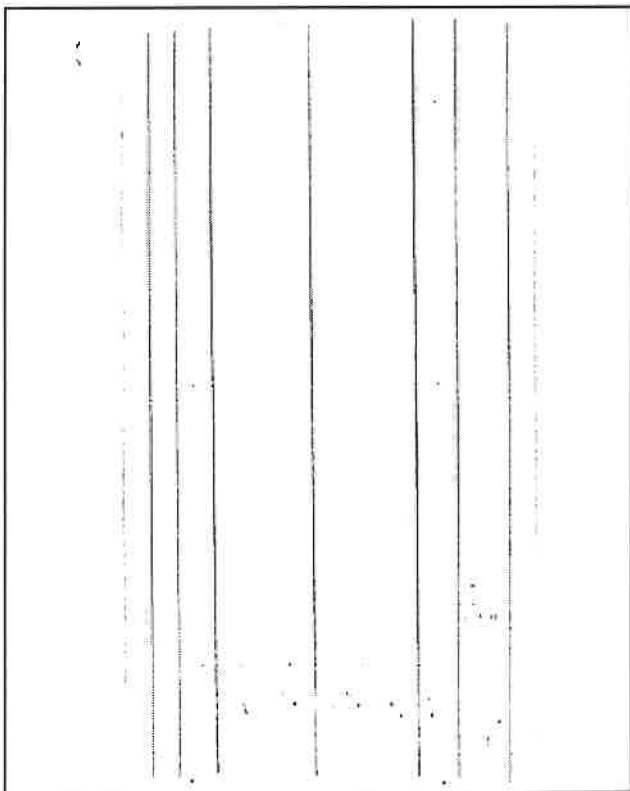
A következő lépésben azt vizsgáljuk, hogy melyik képpont tartozik függőleges vagy vízszintes vonalhoz a fekete pontok közül (3. és 4. ábra). Ehhez élkiemeléses eljárást használunk [2]. Egy szűrőt viszünk végig a képen, amely azt figyeli, hogy függőleges vagy vízszintes irány-

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

ban vannak-e pontok a vizsgált pont környezetében. Ha vannak, akkor a vizsgált képpont egy vonalhoz tartozik. Itt még csak a vonalhoz tartozást figyeljük, de az egyes vonalak képpontjai még függetlenek, nem tartoznak vonalhoz kirajzoló ponthalmazba.



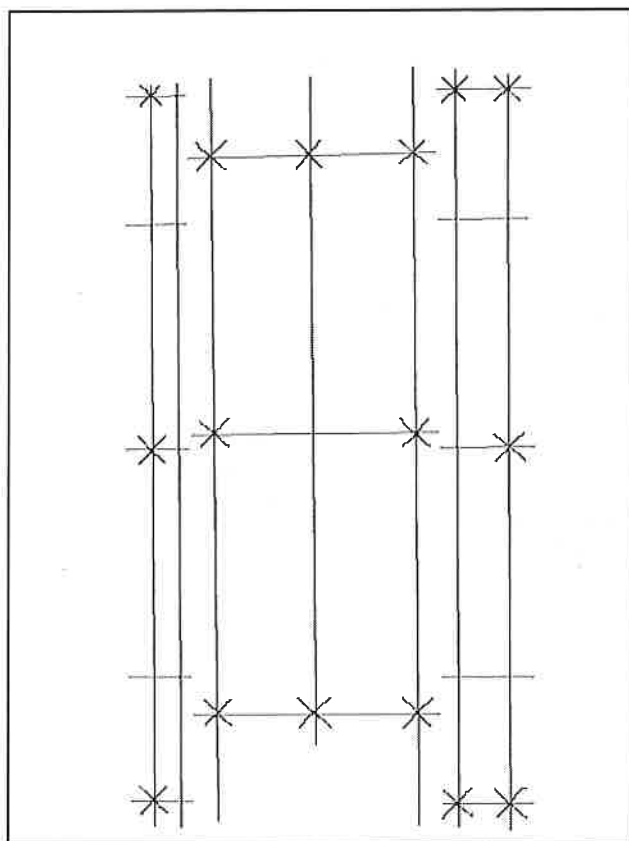
3. ábra. A vízszintes vonalak



4. ábra. A függőleges vonalak

A következő lépés keresi össze az egyes vonalakat. Az egymással érintkező pontokat egy-egy vonal halmazba rendezzük. Ezzel a képpontok (pixelek) szintjén végeztünk is a kép feldolgozásával.

Az egy-egy vonalhoz tartozó pontok halmazára a legkisebb négyzetek elve alapján hatványfüggvényt illesztünk. A függvények által kirajzolt görbék metszéspontjait fogjuk keresni. Ehhez előbb ki kell választani azokat a vonalakat, amelyek metszéspontjaira szükségünk van (5. ábra). Eddig a pontig ugyanis minden a képen található vonalat feldolgozott a program. Ezek lehetnek segédegyenesek vagy árnyékok is. Mivel a vonalaink rajzolata jól meghatározható, a szükséges vonalak összekereshetőek. Így végül megkapjuk a keresett jelölő pontokat, melyeket két csoportra bonthatunk. Az egyik csoportban a parametrikus koordináta-rendszert meghatározó pontok tartoznak, a másikba az ezen belül elhelyezkedő pontok, melyeknek a valódi elhelyezkedésére tulajdonképpen kíváncsiak vagyunk.

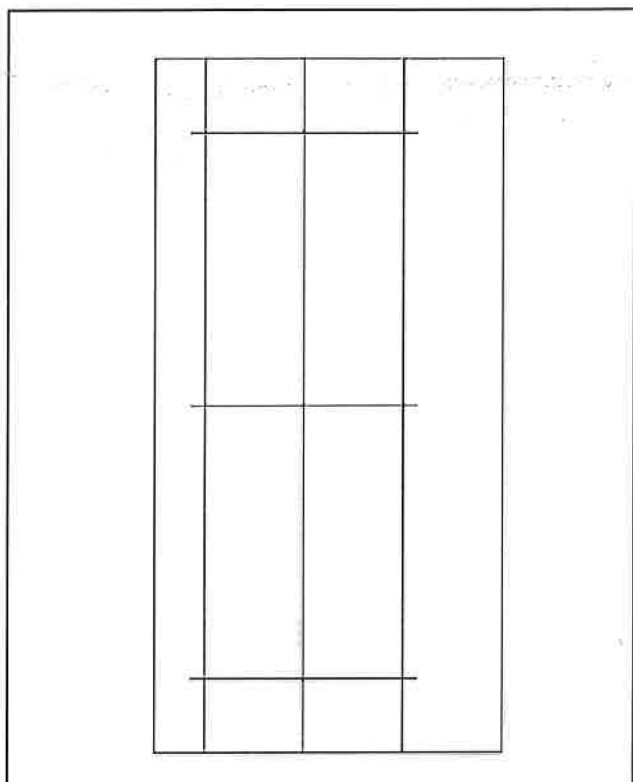


5. ábra. A keresett vonalak és metszései

A vizsgált metszéspontok egy bizonyos síkban helyezkednek el. Ez a próbatest és a rá erősített mérőtábla síkja. A fényképezőgép érzékelője ezzel nincs tökéletesen azonos síkban, így a kép torzított a valósághoz képest. A torzítás megszüntetésére és a valódi méretek meghatározásához a képet vissza kell transzformálni az eredeti méretekre (6. ábra).

A transzformációra használt koordináta-rendszerünk meghatározásához négy sarokpontra és oldalanként egy-egy pontra van szükség. A szokásos nyolc pontos, négyszög alakú végelemek oldalain fekvő pontok az oldalfelezőkben helyezkednek el. Ezt nagyon pontos szerkesztéssel sem lehetne biztosítani, ezért olyan elemet alkalmazunk, melynek az oldalain fekvő pontok szabadon felvehetők oldalanként a két sarokpont közötti egyenesen. A közbenső pont segítségével másodfokú függvényeket használhatunk a transzformációhoz, a képen ívként meg-

* M. A. Celia and W. G. Gray: An improved isoparametric transformation for finite element analysis. Int. J. Numer. Meth. Engng. 20, 1443-1459 (1987)



6. ábra. A transzformált ábra

jelenő egyeneseket (az objektív torzításából származó görbeségről van szó) ismét egyenessé tehetjük.

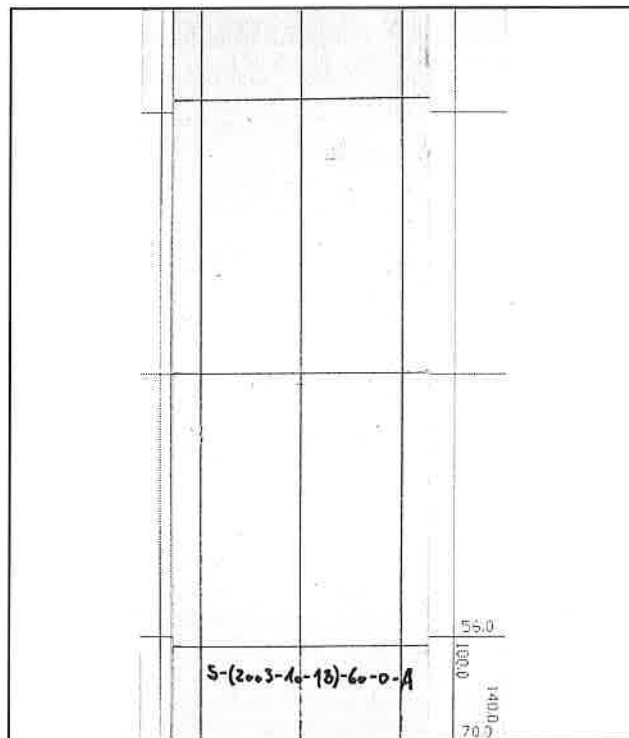
Ha ismerjük a keret valós méretét, a kereten belüli pontok valós helyzete is meghatározhatóvá válik. Ha relatív elmozdulások, megnyúlások mérését tűzzük ki célul, akkor elegendő a keret méreteinek közelítő ismerete is.

Fontos kérdés, hogy vajon mennyire pontos a bemutatott eljárás. A méréseinket 100 mm terheletlen hosszúságú anyagon végeztük. Egészen pontosan a mintadarab vizsgált hossza volt 100 mm, a befogó pofák között mért távolság 200 mm. A keret mérete 70x140 mm-es. Az alkalmazott digitális kamera 1500x2000 képpontot biztosított (átlagos turista gép). A ponyvaanyagra rajzolt vonalak vastagsága 6 képpont, a kereten lévőké 3. Egy-egy mért irányban három-három távolságot mérünk (megnyúlás és harántkontrakció). A három távolság átlagának viszonylatában a második tizedes értéket még pontosan tudjuk mérni. Azaz $0,01/100 = 0,0001$, vagy is egy tízezreléknyi fajlagos megnyúlást tudunk pontosan mérni. A mért értékek a keret geometriájához viszonyítva értendők, azaz a hiba mértéke relatív.

A mérési hiba a ponyvaanyag határteherbírásához tartozó megnyúlásának körülbelül a százada, acélnek és betonnak körülbelül a tizede. A pontosság a jelölő vonalaknak körülbelül az ötvened része, egy képpontnak pedig a nyolcada.

Azt mondhatjuk, hogy a módszer pontossága elfogadható a ponyvaanyagok megnyúlásának méréséhez. A pontosság tovább növelhető a kalibrált keret és a transzformáció fejlesztésével, a jelölő vonalak vastagságának csökkentésével és jobb minőségű képek felhasználásával. A 0,001 mm mérése még biztosan elérhető.

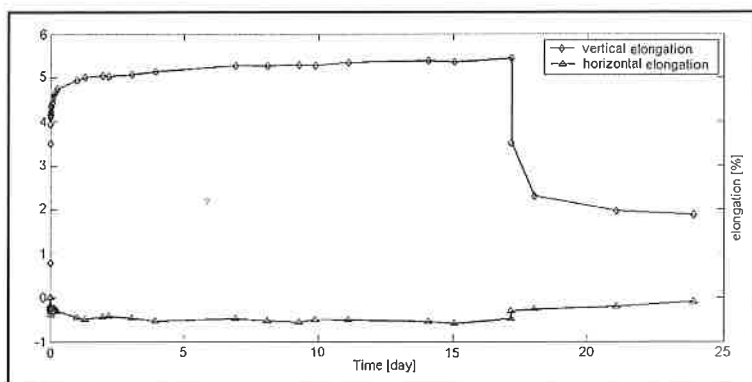
A bemutatott eljárás alkalmas jellemzően síkban bekövetkező deformációk mérésére. Különösen jó akkor, hogyha mérőeszközt nem rögzít-



7. ábra. A „kézzel” körbevágott kép

hetünk mechanikailag vagy ragasztóval a vizsgált anyagra. A mérésre használt kamera pozícióját sem kell rögzíteni. Az alkalmazott eszközök olcsók, könnyen beszerezhetők. Az eljárás lelkét adó feldolgozó szoftver elkészítése persze viszonylag munkaigényes, komoly elméleti háttérrel igényel.

Az eljárásnak volt egy „kézi” változata is. Ekkor egy képszerkesztő program segítségével a korábban bemutatott mérő keret mentén körbevágtuk a képet. Ezt a képszerkesztő programok téglalappá konvertálják (7. ábra), ami lényegében a fent bemutatott parametrikus koordináta-rendszer által elvégzett transzformációt eredményezi. A továbbiakban az egyes méretek lemérhetők a képről. Mivel mindent kézzel kell elvégezni, a módszer rendkívül időigényes. A feladatra bármely képszerkesztő program használható.



8. ábra. A mért megnyúlás-idő diagram

A módszer lehetővé teszi számunkra, hogy a ponyvaanyag lassú alakváltozásait kellő pontossággal meg tudjuk mérni. Az így elvégzett mérések eredményeként felrajzoltuk a ponyvaanyag megnyúlás-idő diagramját (8. ábra). Ez jellegében megegyezik a szakirodalomban fellelhető hasonló anyagokhoz tartozó ábrákkal. A továbbiakban elsődleges célunk megállapítani, hogy az anyag kúszása lineárisnak tekinthető vagy sem. Erre a kérdésre szakirodalom nem ad választ.

** R. C. Gonzalez and R. E. Woods: Digital Image Processing, Prentice-Hall (2002)