

VÁLASZ OPPONENSI VÉLEMÉNYRE

OPPONENS:

Vas László Mihály, az MTA doktora

Egyetemi tanár

DOKTORI DOLGOZAT CÍME:

Sztochasztikus és determinisztikus modellek faalapú kompozitok fejlesztésére

SZERZŐ:

Láng Elemér Márton (2011)

Tisztelt Professzor Úr!

Előjáróban szeretném megköszönni igazán mélyreható és számomra nagyon értékes bírálatát. Úgy vélem, hogy a vállalt kötelezettségeken túlmenő, alapos és részletes opponensi véleményében megfogalmazott észrevételek nagyban hozzájárulnak jelenlegi és jövőbeni munkám kiteljesítéséhez.

Az általános és formai észrevételek után bírálóm 29 pontban foglalja össze kritikai észrevételeit. Válaszomat ennek megfelelő számozással, de az észrevételek citálásának mellőzésével fogalmaztam meg. Itt kívánom megjegyezni, hogy egyes kritikai észrevételekre adott argumentációkat helyenként összevontan alakítottam ki, az ismétlések elkerülés céljából.

A formai követelmények címszó alatt Vas professzor hiányolja a számítógépes programok közzétételét. Két tényező motiválta ezek elhagyását. A legfontosabb, hogy a közel húsz éve FORTRAN kódban írt rutinok kislemez tárolóról, jórészt nem, vagy csak sérült állapotban voltak elérhetők. Másodsorban úgy véltem, hogy a hiányos programcsomagok a disszertáció oldalszámát növelik, de hasznos információkat nem közölnek.

Sajnálatos, hogy a fejezetek számozása nem egyértelmű. A tézisek megfogalmazásánál az „*érdemi*” fejezetre asszociáltam, de sajnos a jelző beillesztése elmaradt.

Válaszok a II. fejezettel kapcsolatos észrevételekre:

#1. A kísérleti forgácsteríték kialakítása az egyes alkotó elemek irányításmentes, véletlen elrendeződését próbálta imitálni. A formázó kaloda széleinél fellépő természetes orientációt levágásokkal szüntettük meg. A 20. oldalon található megállapítás. „*a minta blokk így egy véletlen formázott forgácspaplan részének tekinthető*” megfogalmazást kiegészíthettem volna azzal, hogy az alkotó elemek hosszirányú elrendeződése kizárólag sztochasztikusan valósult meg. Úgy gondolom, hogy a fentiek a **#2.** és **#3.** alatt jelzett észrevételekre is elfogadható választ nyújtanak.

#4. A Forgácsteríték szerkezeti jellemzőinek már csak a kiválasztása is jelentős egyszerűsítő feltételezéseket igényel. Tekintettel arra, hogy a méreteiben konstans forgács deformációja nem mérhető, azzal az alapfeltétellel éltünk, hogy a konszolidáció kezdetén minden forgács

hossza átlagban 70 mm. Tehát ha $i=0$, akkor $L_{ijk}=70$ mm. Figyelembe véve, hogy a görbült/deformálódott forgács rövidül, ám többnyire a diagonálisan átellenes sarkain fekszik fel, ez az egyszerűsítés elfogadható. A 20. oldal utolsó bekezdése jelzi, hogy csak a kísérleti blokk oldalával párhuzamos elrendezésű forgácsokat használtuk a Δ_{bjk} és X_{bjk} értékeinek meghatározásánál. Az X_{bjk} meghatározásának a tartó lehajlásának számítását tekintve nincs túl nagy jelentősége. A vélt egyenletesen megoszló terhelés az oszlopok tengelyeitől jobb vagy baloldaltól mért X_{jk} pontban, a feltételezett szimmetria miatt, azonos lehajlási ellenállást eredményez. A konszolidáció alatt az egyes tartók hossza változik. A megtámasztási és/vagy befogási peremfeltételek változása miatt az L_{ijk} értékei is arányosan változnak a Δ_{bjk} értékeivel egyetemben. A 29. oldalon a II.4 egyenletet követő paragrafus tárgyalja a forgácsok feltételezett deformációját a prészárás folyamán. A valóságban a forgácsok pozíciója és orientációja is változhat a ferde alátámasztások, belső súrlódások és görbületek miatt. Az összes konszolidációs paraméter figyelembe vétele sajnos a modell olyan mértékű komplexitását eredményezte volna, amely a kezelhetőséget teljesen lehetetlenné teszi. A sarokoszlopokon végzett adatgyűjtés nem jelentett előnyt, sőt a kétszer ollózott oszlopfelületeknél kialakult kisméretű alkotók gyakori kihullása miatt hibaforrást jelentettek.

#5. A II.1 táblázatban az N_{bj} adatok átlaga valóban hibás, a helyes érték 24,42.

#6. Egyetértek bírálóm azon megjegyzésével, hogy a Δ_{bjk} értékek kiterjesztett felvétele hasznosabb lett volna. Megjegyzésként csak annyit, hogy a terítéket jellemző paraméterek számítógépes képelemző program hiányában, nyomtatott ábráról, manuálisan kerültek kigyűjtésre.

#7. Valóban, a forgácsok számának eloszlása erősen korlátozott. A 640 elemű minta minimuma 10, míg maximuma 42. Feltételezésünk az volt, hogy a Δ_{bjk} és N_{bj} valamilyen korrelációban állnak egymással, mivel a forgács görbülete nagymértékben meghatározza Δ_{bjk} értékét. Ugyanakkor, az egymás felett és alatt lévő forgácsok konkáv vagy konvex formája, vízszintes és függőleges orientációja e korreláció ellen hat. A H (átlagos terítékmagasság) már csaknem 100 %-ban függő, ezért csak a szimulációs rutin ellenőrzésére használtuk.

#8. A forgácseloszlás jellemzésére használt N_{bj} adatok kétlépcsős szimulációja szükségszerű volt, mivel nem sikerült elfogadható illeszkedésű diszkrét, vagy folytonos eloszlást meghatároznunk. A második lépésben a Poisson eloszlást szakirodalmi javaslatok alapján választottuk (Dai and P.R. Steiner, 1994a, 1994b; Law and Kelton. 1991). Természetesen egyéb típusú kvantitatív eloszlást is lehetne több, kevesebb sikerrel illeszteni.

#9. Az 1.-3. és 4. pontokra adott válaszomat itt kiegészíteném azzal, hogy a X_{bjk} eloszlása határozottan log-normál ($LN \mu, \sigma^2$) jellegű volt, 2,5 mm minimum és 38,72 mm maximum értékekkel. Ez az intervallum lefedi a fél forgács hosszúságát. Véleményem szerint, így az orientált forgácsok esetében is alkalmazható.

Nem tapasztaltunk az N_{bj} értékek generálása során extrém értékek előfordulását. Ahogy ezt bírálóm megjegyzi, természetesen ez elméletileg lehetséges. A13 mm-es préselési célvastagság optimális terítés és forgácselrendeződés esetén $N_{bj} = 17$ lenne, nem számítva tömörödést, ami a műszaki jellemzők javulását eredményezi egy bizonyos tartományban.

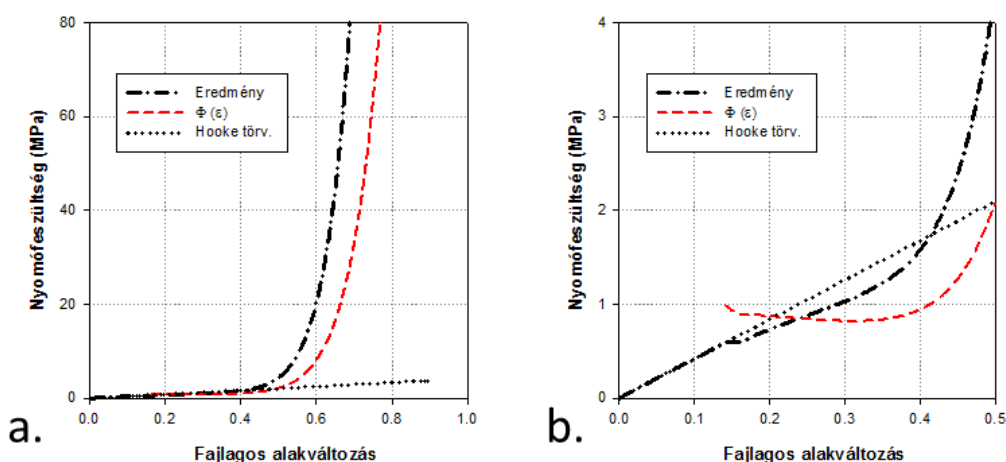
A szimuláció ez esetben különösen jó eredményeket produkált, ahogy az a II.1 és II.3 táblázatok adatai is jelzik. A FORTRAN kódban megírt Poisson eloszlást szimuláló rutinban egy IF-THAN utasítással a probléma egyszerűen megoldható lett volna, de mivel a hiba nem jelentkezett, erre nem volt szükség.

#10. Igen, a feltételrendszer megfogalmazása hiányos. Ennek oka elsősorban a peremfeltételek bizonytalan azonosítása, beleértve az alátámasztások, befogások és az effektív tartóhossz valamint tartóalak meghatározását. A megfigyelt Δ_{bjk} átlagos értéke 3,22 mm volt 2,37 mm szórással, így a kis lehajlásokra érvényes feltétel minimum 68%-ban teljesül.

#11. A tartó modell valóban azt feltételezi, hogy a forgácsfelületek egyszeresen görbültek. Ez természetesen újabb egyszerűsítés. Az ipari technológiával kialakított forgácsok térbeni görbülete nem számottevő (II.1 ábra). A teríték belső üregeinek kialakulása jórészt az egyes forgácsok alátámasztási különbségeiből adódnak. A kísérleti, szabályos méretű és alakú, forgácsok keresztirányú görbületei a szárítási feszültségekből adódtak. A Δ_{bjk} értékek egyenes, konkáv, konvex és kétszer görbült forgácshoz is véletlenszerűen mellérendeltek. Így az egyes alaki tényezők százalékos arányát nem vizsgáltuk.

#12. Sajnálatos módon a II.3 egyenlet valóban szerkesztési hiba áldozata lett. Talán egy kiegészítő hibajegyzékkel a számomra nagyon zavaró probléma helyrehozható.

#13. A II.10 ábrán az Y tengely csak logaritmikus, így az elnevezés valóban helytelen. A nem lineáris fajlagos deformáció függvény ($\Phi(\epsilon)$) csak ϵ_y és 1 között értelmezhető fizikailag. A görbe vízszintes szakasza, $\Phi(\epsilon)=1$ reprezentálja a Hooke törvény érvényességét egészen $\epsilon_y = 0,14$ értékig, amelyen túl a deformáció nem lineáris. A diagram törésmentes görbét az A.II.2 ábrán látható görbesereg alapján illesztéssel határoztuk meg úgy, hogy a lineárisan elasztikus szakaszokat elhagytuk és a kísérleti adatokat a Hooke törvény szerint módosítottuk. A II.10 ábra csak az elméleti és az empirikus becslés közel azonosságát hivatott reprezentálni. A II.4 táblázatban megadott paraméterek így helyesek, amint azt az alábbi ábrák is jelzik.



A II.5 egyenlet szerint a pontvonallal jelzett eredménygörbét sikerült meghatározni minden egyes képzetes oszlopra vonatkozóan. Az ábra **b** részlete a kritikus feszültségek régióját mutatja, ahol a nem lineáris alakváltozásokat viszonylag pontosan sikerült modellezni.

#14. A II.11 ábrán öt egyedi kísérleti blokk (152 x 152 mm) feszültség – deformáció adatai kerültek összehasonlításra a modell előrejelzéseivel. A fajlagos deformáció (cca. 0,6) értékeinél várható volt az eltérés a kisméretű terítékek miatt. E hiba az egyes blokkok N_{bj} eltérő számú maximumából adódik. A II.12b ábra már öt blokk átlagát mutatja ahol az illeszkedés a normál skálán szinte tökéletesnek tűnik. Ugyanakkor a logaritmikus skálán, bírálóm észrevételei szerint is jelentős eltérések mutatkoznak. Ennek számos oka lehet, beleértve a mérési pontatlanságokat is, de a tény, hogy a hajlítási modell nem tökéletes a 30. oldal 2. bekezdése is indikálja. Ugyanakkor a 0,01 – 4,0 MPa nyomófeszültségi régióban, jelentősen hozzájárul a pontos becsléshez.

#15. Természetesen a nem lineáris alakváltozás függvény megközelítése javítható matematikailag. Az empirikus megközelítést azért választottuk, mert a zártüregű habokra kidolgozott egyenlet (II.6) az $N_{bj} > \sim 30$ oszlopokban szingulárisává válik a túltömörödés miatt.

#16. Ezen észrevételt a **#14.** pont alatt részlegesen igyekeztem tisztázni. Az alul- felülbecslés a magasabb feszültség tartományokban a mintablokkok kis méreteiből adódik. A valóságban egy teríték méretei a technológiától függően elérhetik a 6 x 12 m-es területet is.

Válaszok a III. fejezettel kapcsolatos kérdésekre:

#17. A nyírószilárdság meghatározására kialakított apparátus elsősorban a nyomatékából eredő járulékos feszültségek csökkentését célozta. Sajnos tiszta nyírást szinte lehetetlen létrehozni, különösen faanyagok vizsgálatai során. Az alátámasztó blokk függőleges felületén fellépő súrlódó erők meghatározására nem volt lehetőségünk. Ez az erő a terhelés növekedésével változhat a Poisson hatás következtében, amely az anatómiai irányok változásától függ. Úgy vélem, hogy az ebből eredő kísérleti hiba nagysága elhanyagolható.

#18. A 15 ° rostiránynál tapasztalható maximális nyírószilárdság okait nem vizsgáltuk. Eredményeikről így nem tudok beszámolni. Sajnos a szakirodalom sem tartalmaz ez irányú kutatási beszámolókat.

#19. A nyomóvizsgálataink kifejezetten kisméretű, hibamentes próbatestek mérésein alapultak. A próbatesteket már felfűrészelt állapotban lévő faanyagokból alakítottuk ki. Nem volt információnk a fatörzs tájolásáról. A faanyagtudomány azonban megkülönbözteti az egy fatestben esetlegesen megtalálható abnormális, ún. *nyomott* vagy *húzott* fát. Ahol a szél és gravitációs terhek miatt a fa szövetszerkezete eltérő a normálistól. Az ilyen tulajdonságú próbatesteket kizártuk a mintavétel során.

#20. Bár a másodfokú polinom sem az origón halad át, a görbe Y metszés pontja (0,175 GPa) közelíti azt. Ez a hiba úgy vélem a mérések hibaintervallumán belül van. A lineáris regresszió nullpont eltérése (-1.67 GPa) mintegy tízszerese a másodfokú modell hasonló értékének,

ráadásul negatív. Ez az eltérés elég jelentős megbízhatatlanságot eredményezhet, ha az origón kényszerítjük át a regressziós egyenest.

Válaszok a IV. fejezettel kapcsolatos kérdésekre:

#21. A faanyag, mint komplex polimerekből álló, több szinten sajátságos kompozit elasztikus tulajdonságai a szálerősített polimerekéhez nagyon hasonlóak. Természetesen így a nyomó és húzó rugalmassági modulusok minden anatómiai irányban jelentősen különbözhetnek.

Mindez a hajlítófeszültségek aszimmetriáját és a semleges szál eltolódását eredményezi. A nagyméretű próbatestek hajlítoszilárdságának meghatározása során, egy alaki és egy tartó magassági tényezővel módosítják a kísérletileg meghatározott szilárdsági értékeket.

Kisméretű, hibamentes próbatestek esetében a húzásból eredő végső tönkremenetel miatt ezt nem veszik figyelembe. Az arányossági határ alatti terhelés esetén pedig a feszültségkülönbségek a húzott és nyomot szélső szálak között nem szignifikánsak (Bodig and Jayne, 1982). Ezért, ezt a specifikus jelenséget nem vettük figyelembe a modellek kialakításánál.

#22. Bírálom észrevétele helyénvaló. A zárójelben lévő szimbólumok korrekt sorrendje a következő: (θ' and φ'). Szerencsére a következő mondat némileg megmagyarázza a jelölések értelmezést.

#23. A laminált furnértartó (LVL) keresztmetszeti szimulációját egy 15 rétegből felépített tartóval demonstráltuk. A két szélső furnérréteget (a terítékben alsó és felső lapok) külön kezeltük a tömörödés miatt. A *rest (core)* az ezen belül elhelyezkedő 13 réteget, azaz a *magot* jelenti.

A tórusz-konvenció valóban azt feltételezi, hogy az egyes parciális elemek a másik oldalról épülnek be (Hall, 1988). Az idézett szerző publikációjának bibliográfiáját itt, a HIVATKOZÁSOK címszó alatt pótoltam.

#24. A furnérszalag tartó (PSL) elemeinek orientációs szögeit manuálisan, egy szögmérővel mértük a valós termékek megfelelő felületén. Az α és β szögek átlagértékei rendre 0,03 és 2,99. Ezek nagyon kicsi szögeltérések, és α estében valószínű, hogy a mérési hibák következménye. A hosszirányú (β) szögeltérésnek technológia magyarázata is van. A kötőanyaggal bevont hosszú szalagok egy formázó vályúba esnek, ahol a gravitáció szerint rendeződnek. Elméletileg a terítőszőnyeg haladási irányára merőleges szalagok gyakorta elfordulhatnak. Az ilyen szalagok a szőnyegről lebillennek és az x-y síkban a vályú tengelyével nem párhuzamosan rendeződnek.

#25. A furnérszalag tartó keresztmetszete nem teljesen tömör technológiai okokból. Ez az anyaghiány a IV.2 b. baloldali ábráján fekete foltokban látható. Statisztikailag a keresztmetszet 95 %-ban tömör faanyagot tartalmaz, vagyis a szalagok бүтү felületeivel nagyrészt lefedett. A szimulációs modell kritériuma az, hogy $0,95A_T < \Sigma A_i < A_T$; ahol a T index a teljes tartó, az i pedig az egyes szalagok keresztmetszetét jelöli.

#26. A IV.2 b. jobboldali ábrája valóban, egy soha nem látható keresztmetszeti konfigurációt ábrázol. A lefedettség kritériumának teljesítése után a szükséges szalagmennyiséget ábrázolja

az adott keresztmetszeten belül. A valóságban - ahogy a baloldali fotó mutatja - az egyedi szalagok tömörödnek és az y-z síkban eltorzulnak. A 104. oldal első bekezdése említi, hogy ennek a geometriai egyszerűsítésnek sem a hajlító sem a nyomó igénybevételek modellezése esetén nincs jelentősége.

#27. Mintegy 80 - 90 %-ban a szalagok hossza a hámozott furnér szélességi méretével megegyezik (cca. 2,5 m). A további 10 -20 % változó hosszúságú, 2,5 – 0,4 m intervallumban. A 0,4 méternél rövidebb szalagokat egy csapdával a technológiai folyamat során kiejtik. A szalag hosszúságainak eloszlását nem vizsgáltuk, mivel a modell gyakorlatilag csak két-dimenziós.

#28. A 26. pontra adott válaszomat azzal egészíteném ki, hogy keresztmetszet alkotóit a teljes szelvény vízszintes tengelye mentén széthúzzhatjuk, így az effektív rugalmassági modulusokat a IV.1 és IV.2 egyenletek alapján számolni lehet.

#29. A kérdéses paragrafus megfogalmazása statisztikai szempontból valóban nem helytálló és zavaros. Egyszerűen csak arról van szó, hogy a 20 kísérlet eredményeinek alapján megállapított jellemzők leíró statisztikáit nem csak 20, hanem 20 x 20 futtatott szimuláció jellemzőivel hasonlítottuk össze. Mindezt abból az egyszerű megfontolásból tettük, hogy a modell sztochasztikus elemeiben elfordulható extrém értékek hatását a nagyszámú szimuláció feltehetőleg kompenzálja vagy enyhíti.

Az ötödik fejezetről megfogalmazott véleménnyel kapcsolatban különösebb észrevételeim vagy hozzátennivalóm nincs.

A tézisekkel kapcsolatos megállapításokról:

Általánosan, a tézisekről alkotott opponensi véleménnyel egyetértek. Tulajdonképpen bírálóm, lényegében és részleteiben is, azonosan vélekedetek a tézisek értékelését illetően. Azok számának csökkentése és csak az új eredmények számító modellek hangsúlyozása a disszertáció értékét bizonyára növelte volna.

A II. fejezet alapján megfogalmazott állítások értékelésével kapcsolatban annyit kéne megjegyezni, hogy sajnálatosan az eredeti angol nyelvű disszertációból kimaradt a 3. pont és a számozatlan utalás a hasznosításra lépett elő 8. pontként. A hiányzó tézispont az alábbi:

3. *Bebizonyítottuk, hogy a középponti korlátozás tétele (CLT) sikeresen alkalmazható diszkrét véletlen változók generálására.* ^[23,38]

3. *It has been proved that the central limit theorem (CLT) can be used successfully to generate discrete random deviates.* ^[II.10, II.12]

Következésképpen a 8. tézispont, ahogy bírálóm is észrevételezte, valóban nem fogadható el.

A III. fejezet témájából kialakított tézisekkel kapcsolatban megjegyzendő, hogy volt olyan bírálat, amely ezt a téziscsoportot teljes egészében elutasította. Örömmel olvastam, hogy Vas professzor úr talált új eredményeket ebben a fejezetben is.

A IV. fejezet 18. állítása valóban kevesebb tudományos értékkel bír. Utólag én is úgy vélem, hogy ez csak technológiai szempontból lényeges megállapítás.

Az V. fejezet téziseinek értékelésével egyetértek.

Ezzel válaszaimat azzal a reménnyel fejezem be, hogy a felvetett kérdésekre és észrevételekre adott magyarázatok részleteikben és minőségükben is megfelelőek. Ismételten szeretném megköszönni Dr. Vas László Mihály professzor igen alapos és részletekre is kiterjedő bírálatát. Továbbá külön is köszönöm támogató javaslatát dolgozatom védsre bocsátását illetően.

Tisztelettel,

Láng Elemér Márton

Sopron, 2013, Február 24.

HIVATKOZÁSOK

Bodig, J. and B. A. Jayne, 1982. Mechanics of Wood and Wood Composites. Van Nostrand Reinhold Co., N.Y. 712 pp.

Dai and P.R. Steiner. 1994a. Spatial structure of wood composites in relation to processing and performance characteristics. Part 2. Modelling and simulation of randomly formed strand layer network. Wood Science and Technology, 28(2):135-146.

Dai Cand and P.R. Steiner. 1994b. Spatial structure of wood composites in relation to processing and performance characteristics. Part 3. Modelling the formation of multi-layered random strand mat. Wood Science and Technology, 28(3):229-239.

Hall, P. (1988) Introduction to the Theory of Coverage Processes. John Wiley and Sons, Inc. Hoboken, NJ, USA, pp. 408.

Law, A.M. and W.D. Kelton. 1991. Simulation modeling and analysis. McGraw-Hill, Inc. New York, NY., 759 pp.