

A TERHELÉSI ELŐTÖRTÉNET VIZSGÁLATA A LUCFENYŐ AKUSZTIKUS EMISSZIÓS TÖNKREME- NETELI FOLYAMATAIVAL KAPCSOLATBAN

PRELOAD HISTORY EXPERIMENTS IN SPRUCE WOOD BY ACOUSTIC EMISSION TESTING

Dr. Kánnár Antal*

ABSTRACT

It is well known in the field of metal research that if the metal is loaded with a certain force then the load is taken away, in the next loading period the material does not show acoustic activity, while the stress reaches the maximum of the last load. This is called Kaiser effect.

The question is whether the wood shows this effect or not? The examination consisted of short term experiments – also with changed moisture content and temperature - and longer term experiments. The second loading period followed the previous one directly in short term experiments and in 1 or 2 months in the case of longer term tests. The tested species was Scots pine. The investigation proved that Scots pine shows the Kaiser effect during short term experiments. However the more time elapses till the second loading period the less the effect can be observed. Also the significant change in moisture content and temperature results in disappearing of the Kaiser effect. The results help us to understand the special behaviour of wood, namely, it gives a possible answer why the wood does not show the Kaiser effect in the first loading period while living trees endure loads of wind and snow up to the 50-60% of its ultimate strength.

BEVEZETÉS

A természetes fa élete során a különböző klimatikus hatások következtében számos igénybevételnek van kitéve. Ilyen, a fa mechanikai tulajdonságait befolyásoló tulajdonságok a szélterhelés és hó terhelés. Ezek a faanyag törőszilárdságának 60-70%-t is kitehetik, így a fában különböző tönkremeneteleket, rostszakadásokat, repedéseket hozhatnak létre.

A feldolgozott faanyag nagy része aztán mesterséges szárítás után kerül a felhasználási területére. A feldolgozás majd az azt követő szárítás során drasztikus nedvességtartalom változás következik be és jelentős hő terhelés éri a faanyagot. Felmerül a kérdés, hogy ezen keze-

lések ill. a fát korábban ért hatások során bekövetkezett tönkremenetelek valamint a fát korábban ért terhelések, hogyan hatnak a fa akusztikus emissziós tulajdonságaira (továbbiakban AE).

A vizsgálatokhoz Kaiser [1.] megfigyeléseit vettük alapul, aki azt tapasztalta, hogy egyes fémek egy előterhelést követő második terhelési ciklusban nem válnak akusztikusan aktívvá mindaddig míg az újabb terhelés el nem éri a korábbi terhelés maximumát. A jelenséget Kaiser effektusnak nevezzük.

Felmerült a kérdés vajon a fa mutatja-e az effektust és a jelenség milyen módon függ a két terhelési ciklus között eltelt időtől ill. a fát ért kezeléstől.

VIZSGÁLATOK

A kísérletek során húzóvizsgálatokat végeztünk, miközben mértük a faanyag akusztikus aktivitását. Az AE vizsgálatok során a faanyag ultrahangtartományban mérhető, tönkremeneteli folyamataiból származó rugalmas hullámokat, mint hangjeleket mérjük. Ezek fizikai és statisztikai jellemzőiből lehet a vizsgált anyag egyes anyagszerkezeti, mechanikai jellemzőire következtetni. Faanyag esetén az AE forrásai repedés keletkezés, terjedés, rostköteg szakadás. A vizsgálatokat 4 csatornás DEFECTOPHONE AE mérőrendszerrel végeztük, az alkalmazott piezoelektromos érzékelők rezonanciafrekvenciája 150 KHz volt.

Jelen kutatásban minden vizsgálat két ciklusban történt. Első ciklusban egy előterhelést adtunk a próbatestnek. Ennek mértékét úgy választottuk meg, hogy közelítőleg 20-25 akusztikus eseményt eredményezzen. Ezen eseményszám - mely előkísérletek alapján határoztunk meg - megválasztása biztosította, hogy a faanyagba keletkező tönkremenetelek a vizsgálat értékelhetőségét biztosítsák, jelentős szilárdságcsökkenést azonban ne okozzanak.

A második terhelés ciklus az elsőt sorozatonként eltérő idő elteltével követte és a próbatestet törésig terhelte.

A vizsgálatokat lucfenyő fafajon végeztük el, melyek átlagos nedvességtartalma 12% volt.

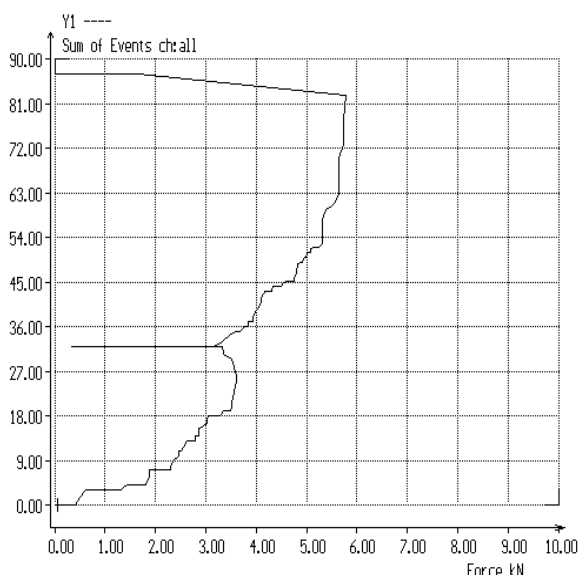
* egyetemi docens, NymE FMK Műszaki Mechanika és Tartószerkezetek Intézet

Az egyes mintasorozatok vizsgálatát a következő feltételek mellett végeztük el:

- I. sorozat; a törőterhelés az előterhelést közvetlenül követte
- II. sorozat; a törőterhelés az előterhelést 15 napra követte
- III. sorozat ; a törőterhelés az előterhelést 1 hónapra követte
- IV. sorozat; a törőterhelés az előterhelést 2 hónapra követte
- V. sorozat; a törőterhelés az előterhelést 24 óra áztatás, 48 óra 90°C-os szárítás majd klimatizálás után követte a két terhelési ciklus között 15 nap telt el.

Az effektus vizsgálatához az eseményösszeg görbéket vettük fel terhelőerő függvényében.

Az I-es mintasorozatban a törőterhelés az előterhelést követő tehermentesítést azonnal követte. Egy a vizsgálat során kapott görbét az 1. ábra mutat, az eredmények összefoglalását az 1. táblázat adja meg.



1. ábra Kaiser effektus a 8-as minta esetén

1. táblázat Kaiser effektus vizsgálat eredményei lucfenyő fajfaj esetén az előterhelést azonnal követő törés esetén

Minta s. sz.	Előterhelés maximuma kN	Eseményszám előterhelésnél	Eseményszám előterhelés értékénél 2. terhelési ciklusban	Eseményösszeg a törés során	Kaiser effektus igen + / nem -
	5,2	20	1	31	+
	5,5	21	3	320	+
	5,1	26	0	128	+
	2,52	21	6	240	+
	4,72	20	4	147	+
	3,65	58	4	323	+
	7,2	52	18	530	+
	3,6	32	3	88	+
	3,7	35	11	171	+
	7,6	21	4	340	+
	4,2	26	11	93	+
	6,9	23	7	72	+
	8,1	35	15	2280	+
	6,8	31	131	440	-
	6,41	27	2	144	+
	4,45	20	5	61	+
	9,0	28	6	52	+
	4,85	20	9	202	+
	4,28	21	2	70	+
	5,51	21	8	112	+

20 mintából 19 mutatja, 1 nem mutatja a Kaiser effektust. Az effektus fennállását akkor fogadtuk el, ha a második terhelési ciklusban az előterhelésig kevesebb mint 50% eseményt kaptunk az előterhelési eseményszámhoz képest. Ezen értékelési módot az indokolja, hogy néhány esemény bekövetkezése még nem utal jelentős tönkremeneteli folyamatra az előterhelési szint alatt.

Az értékelhető minták 95 %-a mutatja a Kaiser effektust. A második terhelési ciklusban az előterhelésig kapott jelek száma, a törésig kapott eseményszám 0-10% között van. A faanyag tehát jelen kísérleti körülmények között „emlékszik az őt a törés előtt közvetlenül ért terhelés maximumára,

azaz addig a terhelési szintig újabb jelentős tönkremenetel nem jön létre benne. Ez azt is jelenti, hogy a fában az előterhelés során keletkezett tönkremenetelek az újabb terhelési ciklusban nem akusztikus források, azaz nem képződnek ill. a beállított zajszűrési küszöb alatt maradnak a belőlük származó esetleges sűrűlódásos jellegű események.

A további vizsgálatok ezután arra irányultak, hogy a fa ezen tulajdonsága az időben hogyan változik. A II. mintasorozatot az előterhelést 15 nap múlva követő törésnek vetettük alá.

Az előterhelés ill. törés során kapott eredményeket a II. táblázatban foglaltam össze.

II. táblázat Kaiser effektus vizsgálat eredményei lucfenyő fafaj esetén ha a törés az előterhelést 15 napra követte

Minta s. sz.	Előterhelés maximuma kN	Eseményszám előterhelésnél	Eseményszám előterhelés értékénél 2. terhelési ciklusban	Eseményösszeg a törés során	Kaiser effektus igen + / nem -
1.	4,66	23	5	813	+
2.	3,84	23	23	24	-
3.	5,07	30	21	2704	-
4.	4,17	27	228	1488	-
5.	4,90	26	26	1257	-
6.	3,68	43	14	1077	+
7.	4,41	25	4	717	+
8.	4,17	31	9	1043	+
9.	3,43	29	8	542	+
10.	4,16	30	10	1427	+
11.	3,84	26	7	206	+
12.	4,0	29	6	524	+
13.	1,47	96	27	140	+
14.	3,51	26	32	176	-
15.	2,53	29	12	991	+
16.	4,57	24	175	415	-
17.	3,19	35	1	1333	+
18.	5,14	26	3	1107	+
19.	4,98	20	14	100	-
20.	2,94	74	52	192	-

A vizsgált 20 próbatestből 12 mutatta a Kaiser effektust, azaz a minták 60%-a. A vizsgálat alapján kiderült, hogy 15 nap után a minták 40%-a jelentős akusztikus aktivitást mutat az előterhelési szintig.

Ez azt jelenti, hogy új tönkremenetek keletkeztek az anyagban vagy a meglévő tönkremeneteli felületek egymáson elmozdulva súrlódásos típusú jeleket hoznak

létre. Az akusztikus események mért és számolt jellemzőinek vizsgálatából következtethetünk a létrejött AE események jellegére. A feltevésünk az volt, hogy ha az események sűrűdésos jellegűek azok energiája a kis energiájú eseménygyakoriságot növeli. Ha rostszakadás és repedésterjedés okozza az AE aktivitást akkor ez nagy energiájú jelek gyakoriságának növekedését okoz-

III. táblázat Kaiser effektus vizsgálat eredményei lucfenyő fafaj esetén ha a törés az előterhelést 1 hónapra követte

Minta s. sz.	Előterhelés maximuma kN	Eseményszám előterhelésnél	Eseményszám előterhelés értékénél 2. terhelési ciklusban	Eseményösszeg a törés során	Kaiser effektus igen + / nem -
1.	6,2	28	0	67	+
2.	4,16	28	0	200	+
3.	5,96	23	15	162	-
4.	5,8	24	8	156	+
5.	4,57	23	6	58	+
6.	3,51	25	9	86	+
7.	3,26	23	3	172	+
8.	5,22	31	5	112	+
9.	7,51	33	100	195	-
10.	2,77	58	14	65	+
11.	5,22	41	27	83	-
12.	5,22	23	6	64	+
13.	2,69	33	12	159	+
14.	6,21	127	287	410	-
15.	5,71	25	0	261	+
16.	6,53	21	17	450	-
17.	7,35	23	35	381	-
18.	4,33	27	0	170	+
19.	4,41	25	25	95	-
20.	5,23	23	26	254	-

IV. táblázat Kaiser effektus vizsgálat eredményei lucfenyő fajaj esetén ha a törés az előterhelést 2 hónapra követte

Minta s. sz.	Előterhelés maximuma kN	Eseményszám előterhelésnél	Eseményszám előterhelés értékénél 2. terhelési ciklusban	Eseményösszeg a törés során	Kaiser effektus igen + / nem -
1.	7,27	28	141	212	-
2.	7,43	22	41	117	-
3.	4,41	27	36	129	-
4.	5,55	23	15	167	-
5.	7,02	21	53	975	-
6.	1,79	66	116	143	-
7.	4,73	23	35	169	-
8.	3,10	25	0	158	+
9.	6,86	25	52	2133	-
10.	5,47	35	29	200	-
11.	2,85	23	3	310	+
12.	7,27	34	48	78	-
13.	7,43	24	92	391	-
14.	6,94	25	42	664	-
15.	6,00	27	11	392	+
16.	6,2	52	36	235	-
17.	5,31	29	12	122	+
18.	2,77	27	22	101	-
19.	6,21	26	0	36	+
20.	6,69	23	21	249	-

za. A vizsgálatok az előterhelés és második terhelési ciklus eseményenergia eloszlás függvényei között jelentős különbséget nem mutattak ki. Ez azt jelenti, hogy a második terhelési ciklus előterhelési szint alatt detektált eseményei nem súrlódásos jellegűek, hanem újonnan kialakult tönkremeneteli folyamatokból származnak. Másrészt a második terhelési ciklusban- ahol egy tönkremeneteket tartalmazó anyagot terhelünk- némileg eltérő feszültség szint alakul ki a szerkezet egyes pontjaiban és kritikus feszültség és tönkremenetek helyei is mások lesznek. Természetesen ez nem jelenti azt, hogy a korábban létrejött repedések nem lehetnek kiinduló pontjai az újabb tönkremeneteknek, csupán azt mutatja, hogy az újabb jelek újabb repedésterjedésből és rotszakadásokból származnak, melyek energiaszintje hasonló az előterhelés eseményeinek energiájához.

A III. sorozat esetén az előterhelést a törés 1 hónapra követte. Az eredményeket a III. táblázat mutatja.

A vizsgált 20 mintából 12 esetben mutatja a faanyag a Kaiser effektust. A mintának tehát a 60%-a mutatja a Kaiser effektust, hasonlóan az előző sorozathoz.

Az eredmények arra utalnak, hogy egy hónap után a kialakuló feszültség állapot és a lejátszódó tönkremeneteli folyamatok hasonlóak a 15 napos terhelési ciklusban kialakultakhoz. Az energia-eloszlás vizsgálatok is ugyanezen hasonlóságot erősítették meg.

A IV. mintasorozat esetén a törés az előterhelést 2 hónapra követte. Az eredményeket a IV. táblázat mutatja.

20 mintából 5 mutatta az effektust és 15 minta nem mutatta a Kaiser effektust.

Az értékelt minták 75%-a nem mutatta az effektust.

2 hónap elteltével tehát a minták döntő többsége

nem jelzi a korábban elszenvedett terhelések hatását az akusztikus aktivitásában. Az előterhelésnél akusztikusan aktívabbnak mutatkozik a 15-ből 10 minta / ugyanez 1 hónapnál 8-ból 4 aktívabb/. 2 hónap elteltével tehát valószínűleg az előterhelés során létrejött tönkremenetek egyrészt a terhelést felvevő keresztmetszet lecsökkenésében játszanak szerepet másrészt a tönkremenetek kiinduló pontjaivá válnak. Így a több tönkremenetel tartalmazó anyagban több tönkremenetel jön létre az előterhelés értékéig. A vizsgálatok szerint tehát míg az előterhelést azonnal ill. 1 hónapra követő törésnél az előterhelés az akusztikus aktivitást csökkentő tényezőként játszik szerepet, addig 2 hónap múltán mint aktivitást növelő tényező mutatkozik.

Az V. mintasorozaton a nedvességtartalom és hőmérséklet együttes hatását vizsgáltuk, mintegy modellezve ezzel az élőnedves állapotból (nedvességtartalom > 30%) szárítással felhasználási állapotba (~10% nedvességtartalom) kerülő faanyag klimatikus igénybevételeit.

A kísérletek során a 10% nedvességtartalmú faanyagot előterheltük megelőző kísérletekkel megegyező módon. Ezt követően 24 óra áztatásnak lettek a minták kitéve. Ezzel az élőnedves állapot nedvességtartalmát érték el. Az áztatást 48 óra 90°C-on végrehajtott szárítási folyamat következett. A kiszáritott mintákat ezután klimatizáltuk a kiinduló 10% nedvességtartalomra és törésig terheltük. A második terhelési ciklus az elsőt 15 napra követte. Az eredményeket a V. táblázatban foglaltam össze.

20 mintából 15 nem mutatja, 5 mutatja a Kaiser effektust. A minták 75%-a nem mutatja a Kaiser effektust az áztatás és klimatizálás után. A 15-ből 11 az előterhelés-

V. táblázat Kaiser effektus vizsgálat eredményei lucfenyő fajaj esetén ha a törés az előterhelést 24 óra áztatás 48 óra szárítás majd 12 nap klimatizálás után követte

Minta s. sz.	Előterhelés maximuma kN	Eseményszám előterhelésnél	Eseményszám előterhelés értékénél 2. terhelési ciklusban	Eseményösszeg a törés során	Kaiser effektus igen + / nem -
	6,2	31	24	159	-
	3,92	23	21	91	-
	7,67	23	25	223	-
	4,0	26	4	1151	+
	6,86	25	25	87	-
	6,61	46	62	105	-
	2,94	55	48	728	-
	6,2	34	65	495	-
	5,63	29	84	154	-
	8,98	38	137	152	-
	5,06	25	86	268	-
	7,43	19	110	110	-
	5,39	27	37	71	-
	5,63	24	6	751	+
	4,82	22	6	32	+
	4,98	36	16	33	+
	6,29	25	36	354	-
	8,17	28	239	323	-
	7,1	46	152	190	-
	2,94	25	2	94	+

nél nagyobb akusztikus aktivitást mutat.

A vizsgálatok tanulsága szerint tehát a klimatikus körülményekben bekövetkező drasztikus változás jelentős mértékben befolyásolja a második terhelési ciklus akusztikus aktivitását.

A faanyagot ért a korábbi terhelések ill. a hatásukra bekövetkezett mikro- tönkremenetek hatása mint akusztikus aktivitást növelő tényező jelenik meg az akusztikus emissziós tulajdonságokban.

Az V. sorozaton is elvégeztük az előterhelés és törés azonos terhelési szintig kapott eseményeinek energia eloszlás vizsgálatát. A vizsgálat eredménye azt mutatta, hogy a töréskor kapott események energiája az előterhelés eseményeinek energia tartományába esik és az adott próbatestre jellemző értéket ad. Ez fennáll azokban az esetekben is amikor a törés során lényegesen magasabb eseményszámot detektáltunk mint az előterhelés során. A törés során kapott események tehát az előterhelés tönkremeneteleihez hasonló fizikai paraméterekkel rendelkeznek. A törés során előterhelési szintig kapott nagyobb eseményszámok azzal magyarázhatók, hogy a tönkremeneteket tartalmazó anyagban kialakuló feszültségállapot kedvezőbb a tönkremenetel szempontjából, így a több tönkremenetel miatt nagyobb eseményszámot kapunk.

ÖSSZEFOGLALÁS

A Kaiser effektussal kapcsolatos vizsgálataink eredményei alapján a következőket mondhatjuk:

- Az előterhelést közvetlenül a tehermentesítés után követő törés esetén az értékelhető minták 92.8%-a mutatja a Kaiser effektust. A faanyag tehát ezen kísérleti körülmények között „emlékszik az őt a törés előtt közvetlenül ért terhelés maximumára, azaz benne előterhelési szintig újabb tönkremenetel nem jön létre.
- Az előterhelést 15 napra és 1 hónapra követő törés esetén az értékelhető minták 60%-a mutatja a Kaiser effektust. A vizsgálatok szerint tehát 1 hónap elteltével a minták 40%-a a korábbi előterhelés ellenére akusztikusan aktív lesz az előterhelési szint alatt. Az események energia-eloszlás vizsgálatai alapján kijelenthetjük, hogy az előterhelési szint alatt kapott újabb események nem súrlódásos jellegűek, hanem újabb törések, repedésterjedések eseményei.
- Az előterhelést 2 hónapra követő törés esetén az értékelhető minták 75%-a nem mutatta az effektust. 2 hónap elteltével tehát a minták döntő többsége nem jelzi a korábban elszorított terhelések hatását az akusztikus aktivitásában.
- Az áztatott majd szárított és klimatizált minták esetén az értékelhető minták 75%-a nem mutatja a Kaiser Effektust az áztatás és klimatizálás után. A vizsgálatok tanulsága szerint tehát a klimatikus körülményekben bekövetkező drasztikus változás jelentős mértékben befolyásolja a második terhelési ciklus akusztikus aktivitását, a faanyagot ért a korábbi terhelések hatása nem mutatkozik meg az akusztikus emissziós tulajdonságokban.

Mindezek alapján elmondhatjuk, hogy a fát élő állapotban ért terhelés szintjének Kaiser effektus jellemző ha-

tásával nem kell számolnunk a feldolgozott faanyag AE vizsgálataiban. A korábbi terhelések által okozott tönkremenetek elsősorban mint újabb tönkremenetek forrásai, az AE aktivitást növelő hatásként jelentkeznek.

CONCLUSIONS

– The investigation related to the Kaiser effect of wood showed, that **90% of Scots fir specimens showed the effect, if the second loading cycle immediately followed the previous load.** Very few events take place up to the previous load level in the second loading period, the previous load appears as decreasing factor of acoustic activity in this case. Furthermore it results too, that friction type events do not take place or they are under the threshold level in the second loading cycle. The surfaces of damages are not sources of acoustic emission.

– The examination of time dependency of Kaiser effect showed that **15 days and 1 month after the previous load as well 60% of specimens showed the effect,** it means that 40% of specimens showed acoustic activity under the maximum of previous load. The comparison of differential distribution of energy of acoustic events showed that the energy distribution is characteristic of the specimen, so the events during the fracture have similar distribution like the events during the first loading period under the previous load level. It results firstly, the events up to the previous load level during the second loading cycle accrued from new damaging places; there are no friction type events. The newer events accrue from newer crack propagation and newer fibre breaks whose energy level is similar to the energy of events obtained in the first loading cycle.

– **2 months after the previous load 75% of the samples does not show the Kaiser effect** during the fracture. It is probable that a new strength state come into being and the accrued damages during the previous load on one hand decrease the stressed cross-section on the other hand become origin for newer damages. So more events come into being in the more damaged material up to the previous load level. The examination of distribution of energy showed the same as in the former series, namely in the second loading period new damages take place.

– The investigation of **affect of moisture content and temperature showed that 75% of the samples does not show the effect.** Similarly to the former series the majority of samples are acoustically more active in the second loading cycle. The experiments presented that a considerable change in moisture content and temperature festinate the changes in the microstructure, so the specimens become acoustically active under the previous load level. The existing damages in wood appear as increasing affect of acoustic activity under the presented conditions. The investigation has proved that the more time elapses between the first and second loading cycle the less observable the Kaiser effect is. The damages in the first loading cycle become origin of newer damages in the second loading cycle, therefore the previous load appears as increasing factor of acoustic activity. Also a considerable change in moisture content and temperature affect the disappearing of Kaiser effect. The examination of energy distribution of events proved that friction type events of fracture surfaces did not take place or remain under the threshold level. From the investigation it can be concluded that the endured load of trees does not occur Kaiser effect type phenomenon during the acoustic emission testing of wood.

REFERENCES

- [1] KAISER, J. 1953. Untersuchungen über das Auftreten Gerauschen beim Zugversuch. Ph.D. Thesis, München, Technische Hochschule
- [2] KÁNNÁR, A. 1999. Acoustic emission research in relation to the damage process of wood. Proceedings of COST Action E8 Workshop Damage in wood Bordeaux 27-28 may 1999
- [3] KÁNNÁR, A. 2004. Az akusztikus emissziós kísérleti technika alkalmazhatóságának vizsgálata a faanyag mechanikai tulajdonságainak megítélésére PhD. értekezés; NYME-MMTI. 169 o.
- [4] KÁNNÁR A. 2009.: Testing of the fracture nature of wood using acoustic emission technology;
- [5] DANUBIA-ADRIA 26th Symposium on Advances in Experimental Mechanics September 23-26, 2009. Proceedings 99-100.
- [6] PELLIONISZ, P. 1992. Akusztikus Emissziós szerkezetvizsgálatok GTE.Bp.1992.