

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
DIN CLUJ-NAPOCA

FACULTATEA DE CONSTRUCȚII

ing. Vladimir MARUSCEAC

TEZA DE DOCTORAT

CONTRIBUȚII CU PRIVIRE LA REALIZAREA ȘI CALCULUL
ELEMENTELOR DIN LEMN LAMELAT ÎNCLEIAT

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC
Prof.dr.ing. Gavril KOLLO

CUPRINS

1	Capitolul I - Generalități	9
1.1	Introducere	9
1.2	Lemnul lamelat încleiat	9
1.2.1	Descriere	9
1.2.2	Istoric	12
1.3	Materiale utilizate în construcția elementelor din lemn lamelat încleiat	13
1.3.1	Lemnul	13
1.3.2	Adezivi	25
1.3.3	Alte materiale folosite la realizarea grinzilor din lemn lamelat încleiat	27
2	Capitol 2- Acțiuni, gruparea acțiunilor și comportarea elementelor din lemn lamelat încleiat	29
2.1	Acțiuni și gruparea acțiunilor conform normelor Eurocode 0	29
2.2	Proiectarea elementelor din lemn conform normelor Eurocode 5	32
2.2.1	Starile limită de serviciu (SLS)	32
2.2.2	Influența umidității și a duratei încărcărilor asupra rezistenței elementelor din lemn, în conformitate cu EC5	35
2.2.3	Relații efort-deformație după normele EC5	38
2.2.4	Distribuția eforturilor secționale în funcție de dimensiunea elementelor	39
2.2.5	Conlucrarea elementelor structurale	40
2.3	Acțiuni la podurile rutiere	41
2.3.1	Împărțirea carosabilului în benzi teoretice de circulație	41
2.3.2	Modele de încărcare	42
2.3.3	Grupuri de încărcări din trafic la podurile de șosea	44
2.3.4	Acțiuni pentru situații de proiectare accidentale	44
2.4	Acțiuni la trotuare, piste de bicicliști și pasarele	45
2.4.1	Convoaie de calcul statice pentru încărcări verticale	45
2.4.2	Convoaie de calcul statice pentru forțe orizontale	47
2.4.3	Grupuri de încărcări la pasarele	47
2.4.4	Acțiuni pentru situații de proiectare accidentale	47
2.5	Acțiunea vântului	47
2.6	Combinarea acțiunilor	49
3	Capitolul 3 – Studiul teoretic cu privire la calculul tensiunilor și deformațiilor în grinzile realizate din lemn lamelat încleiat	51
3.1	Pregătirea probelor care urmează a fi încercate	51
3.1.1	Dimensiunea epruvetelor	51
3.1.2	Umiditatea epruvetelor	51
3.1.3	Determinarea densității	51
3.1.4	Aclimatizarea probelor	51
3.2	Raportarea rezultatelor	52
3.2.1	Epruveta de test	52
3.2.2	Metoda de testare	52
3.2.3	Rezultatele	52

	3.3	Analiza grinzilor realizate din lemn supuse la încovoiere conform EC 5	53
	3.3.1	Calculul la starea limită ultimă.....	53
	3.3.2	Calculul la starea limită de deformație.....	54
	3.3.3	Natura ruperilor, factori care influențează rezistența la încovoiere	54
	3.3.4	Calculul teoretic al grinzilor realizate din lemn lamelat încleiat; modelul de calcul Karlsruhe.....	57
03	3.4	Calculul elementelor din lemn solicitate la încovoiere simplă, în conformitate cu norma NP 005-60	
	3.4.1	Calculul la starea limită de rezistență	60
	3.4.2	Calculul la starea limită de deformație.....	60
	3.5	Analiza elementelor realizate din lemn supuse la forfecare, conform normelor Eurocode 5	62
	3.5.1	Calculul la forfecare la elemente cu secțiune constantă	62
	3.5.2	Calculul la forfecare pentru elemente cu secțiune variabilă	63
	3.6	Analiza elementelor din lemn solicitate la forfecare conform normei NP 005-03	65
	3.6.1	Calculul elementelor solicitate la forfecare perpendicular pe direcția fibrelor	65
	3.6.2	Calculul elementelor solicitate la forfecare paralelă cu direcția fibrelor	65
	4	Capitolul IV Studii experimentale	67
încleiat	4.1	Comportarea la smulgere a benzilor de tip cordstrap utilizate la ranforsarea lemnului lamelat	67
	4.1.1	Pregătirea probelor și realizarea încercărilor	67
	4.1.2	Rezultate	68
	4.1.3	Concluzii	72
	4.2	Comportarea la încovoiere a grinzilor realizate din lemn lamelat încleiat	73
	4.2.1	Reglementări cu privire la scară, în conformitate cu EN 408-2010.....	73
	4.2.2	Alcătuirea și realizarea epruvetelor pentru testare.....	74
	4.2.3	Codificarea și numerotarea probelor	74
	4.2.4	Pregătirea pentru testare	86
de clasă superioară	4.2.5	Comportarea la încovoiere a grinzilor din lemn lamelat încleiat realizate în totalitate din lamele	90
	4.2.6	Comportarea la încovoiere a grinzilor din lemn lamelat încleiat armate cu benzi tip PET	99
poliester	4.2.7	Comportarea la încovoiere a grinzilor din lemn lamelat încleiat armate cu benzi din fibre de	107
	4.2.8	Studiu comparativ cu privire la comportarea la smulgere a benzilor studiate	116
	4.2.9	Studii comparative cu privire la comportarea probelor supuse la încovoiere	120
încleiat cauzate de folosirea lemnului de clasă inferioară pentru realizarea inimii.....	4.2.10	Studiu comparativ cu privire la scăderea capacității portante a grinzilor din lemn lamelat	124
5		Capitolul V - Concluzii și contribuții personale.....	129

Obiectivele tezei

Lemnul este unul dintre primele materiale de construcție utilizate de om. Acesta se găsește din abundență, este un material regenerabil și prezintă multiple avantaje fizico-mecanice și de ordin tehnologic.

Studiul elementelor din lemn încleiat este de mare actualitate la nivel mondial, acesta fiind o soluție modernă, superioară calitativ elementelor din lemn masiv. Acesta înlătură dezavantajele date de mărimea elementelor lemnoase brute, a neomogenității materialului și aduce avantaje cu privire la tehnologia de prelucrare, rezistențe mecanice superioare și posibilitatea unei valorificări mai bune a materialului lemnos.

Literatura de specialitate pe plan mondial este relativ la începuturi, iar cea națională este practic inexistentă în domeniul inovațiilor cu privire la calculul și alcătuirea elementelor structurale din lemn lamelat încleiat.

Scopul principal al tezei este aducerea de contribuții științifice cu privire la proiectarea, calculul și comportarea grinzilor din lemn lamelat încleiat, precum și studiul ranforsării cu materiale compozite.

Subiectul actualului studiu de cercetare este prioritar pe plan mondial și contribuie, prin rezultatele obținute la îmbogățirea cunoștințelor în ceea ce privește alcătuirea și comportarea elementelor structurale realizate din lemn lamelat încleiat.

Noutatea în domeniu este adusă chiar de studiul propriu-zis datorită faptului că la nivel național nu există o vastă experiență în domeniu, iar la nivel european normele de proiectare ale acestor tipuri de elemente nu sunt pe deplin finalizate.

A doua noutate constă în studierea comportării grinzilor din lemn încleiat ranforsate cu benzi din fibre sintetice de tip cordstrap precum și comportarea la interfața lemn fibre.

Multitudinea de încercări de laborator cu privire la comportarea diferitelor tipuri de grinzi studiate, precum și încercările efectuate asupra armăturilor sintetice cresc complexitatea acestui studiu.

Realizarea cercetării va aduce inovații și beneficii majore, atât de ordin tehnologic cât și economic, cu privire la realizarea mai eficientă a grinzilor sau a altor structuri realizate din lemn lamelat încleiat.

Studii experimentale și încercări de laborator:

- Comportarea la smulgere a benzilor din PET folosite la ranforsarea elementelor din lemn înțleiat;
- Comportarea la smulgere a benzilor din fibre de poliester folosite la ranforsarea elementelor din lemn înțleiat;
- Comportarea la smulgere a benzilor din fibre de poliester laminate folosite la ranforsarea elementelor din lemn înțleiat;
- Încercări la încovoiere pe grinzi simple realizate din lemn lamelat înțleiat;
- Încercări la încovoiere pe grinzi realizate din lemn lamelat înțleiat cu inima executată din scânduri de clasă inferioară;
- Încercări la încovoiere pe grinzi din lemn lamelat înțleiat ranforsate cu benzi din PET;
- Încercări la încovoiere pe grinzi din lemn lamelat înțleiat ranforsate cu benzi din fibre de poliester;
- Comportarea la cicluri de încărcare a grinzilor realizate din lemn lamelat înțleiat neranforsate;
- Comportarea la cicluri de încărcare a grinzilor realizate din lemn lamelat înțleiat ranforsate cu benzi din PET;
- Comportarea la cicluri de încărcare a grinzilor realizate din lemn lamelat înțleiat ranforsate cu benzi din fibre de poliester.

Lucrarea de doctorat este structurată pe cinci capitole, bibliografie și anexe, structurate după cum urmează:

Capitolul I– Noțiuni de bază cu privire la alcătuirea și materialele utilizate la realizarea elementelor din lemn înțleiat, caracteristici fizico-mecanice ale acestor materiale și a elementelor de înbinare folosite. Acesta cuprinde și date despre cunoștințele actuale, atât la nivel național cât și mondial, cu privire la acest domeniu de cercetare;

Capitolul II – Tipuri de solicitări care apar la elementele din lemn lamelat înțleiat, acțiuni și gruparea acțiunilor conform normelor Eurocode 1 și calculul lor după Eurocode 5. De asemenea este prezentată și comportarea la acțiunea focului și protecția la acțiunea factorilor climaterici sau a agenților biologici;

Capitolul III – Studiu teoretic cu privire la calculul tensiunilor și deformațiilor care apar în grinzile realizate din lemn lamelat înțleiat, rezistențe, influența diferiților factori asupra caracteristicilor fizico-mecanice;

Capitolul IV – Studiu experimental cu privire la comportarea grinzilor realizate din lemn lamelat înțleiat folosind lemn de diferite clase, precum și comportarea grinzilor ranforsate cu benzi din PET sau benzi din fibre de poliester;

Capitolul V – Contribuții personale la elaborarea tezei de doctorat, concluzii finale și domenii de valorificare a rezultatelor. Direcții de orientare a cercetărilor viitoare.

Bibliografie

Anexa 1 – Fișă de măsurători;

Anexa 2 – Grafice și date cu privire la comportarea benzilor sintetice folosite ca ranforsări în cadrul realizării elementelor din lemn lamelat înțleiat supuse la smulgere;

Anexa 3 – Grafice și date cu privire la comportarea grinzilor realizate din lamn lamelat înțleiat supuse la încovoiere.

Capitolul I - Generalități

1.1 Introducere

Etapă de dezvoltare actuală a țării noastre în domeniul construcțiilor, în special a domeniului de infrastructură, a determinat în mod logic adaptarea la noile standarde impuse de aderarea la Uniunea Europeană a rețelei existente de infrastructură precum și extinderea acesteia pentru a corespunde cu noile cerințe, țara noastră fiind un nod strategic în transportul internațional de mărfuri.

Astfel a apărut necesitatea introducerii de noi tehnologii din ce în ce mai performante din punct de vedere tehnologic precum și optimizarea costurilor.

Această teză are ca scop aducerea de contribuții științifice cu privire la proiectarea, calculul și comportarea elementelor realizate din lemn lamelat încleiat folosite la suprastructuri moderne de poduri.

Conform bazelor de date actuale publicate de CNADNR, din 3529 de poduri aflate sub administrația sa, 1292 de poduri nu corespund cerințelor de gabarit, iar din cele 2237 care corespund ca și gabarit au durata de viață depășită. Aceleași probleme apar și la podurile aflate sub administrația autorităților locale.

Astfel se propune realizarea de soluții noi, economice și ușor de aplicat, pentru reabilitarea sau înlocuirea suprastructurilor la aceste poduri folosind grinzi sau alte elemente realizate din lemn lamelat încleiat, ranforsat cu diferite tipuri de fibre sintetice.

Ca și material de construcție lemnul prezintă multiple avantaje precum: calitățile sale naturale, disponibilitatea sa, posibilitatea de regenerare a parcului forestier, evoluția tehnologiilor de asamblare și asociere ale elementelor structurale și în special asocierea cu alte materiale compozite pentru realizarea de structuri cu calități tehnico-economice superioare.

Ca și comportare, comparativ cu alte materiale considerate clasice în domeniul construcțiilor, putem formula următoarele concluzii conform tabelelor și figurilor următoare.

1.2 Lemnul lamelat încleiat

1.2.1 Descriere

Lemnul lamelat încleiat, numit și *Glulam*, este un produs structural care utilizează mai multe straturi de scânduri îmbinate prin presare cu ajutorul unor adezivi structurali speciali rezistenți la umezeală. Astfel se formează un element masiv care nu mai depinde de limitările dimensionale date de natura lemnului și care se comportă foarte bine în exploatare atât sub formă de stâlpi sau grinzi, precum și elemente curbe sub formă de arce.

Aceste elemente sunt prefabricate sau sunt asamblate in situ din subansamble prefabricate. Pentru îmbinări se folosesc în principal șuruburi împreună cu piese metalice speciale prefabricate.

1.2.1.1 Avantajele utilizării lemnului lamelat încleiat

Prin realizarea acestor elemente se valorifică la maxim materialul lemnos existent, folosindu-se o cantitate mai mică de material. Se pot folosi scânduri de orice lungime îmbinate cap la cap, scânduri care altfel erau considerate pierderi de prelucrare sau erau folosite ca și material secundar de construcție.

Costurile sunt relativ mici raportate la alte material: ca exemplu, pentru un element din oțel costul de producție este de până la șase ori mai mare decât la un element lamelar care suportă aceeași sarcină.

Rezistența acestora este relativ mai mare decât la aceleași elemente realizate din lemn masiv, fapt datorat în special influenței negative pe care o au nodurile și defectele la elementele masive ecarisate din lemn. Aceste noi tipuri de elemente pot acoperi deschideri mari, fără a fi necesară instalarea de stâlpi intermediar de susținere.

Rezistență bună la foc: astfel pentru o durată de ardere de 15-90 minute, elementele își mențin portanța.

Aspect estetic deosebit: aceste elemente constituie elemente arhitecturale deosebite prin forma și textura lor.

Consum mic de energie necesar fabricării (de până la 5 ori mai mic decât consumul folosit la realizarea unei grinzi de beton cu aceleași proprietăți).Daca avem în vedere amprenta energetică și o comparăm cu celelalte materiale folosite în domeniul construcțiilor, observăm că lemnul este un material foarte eficient din punct de vedere energetic. [1]

Tab. 1.1 – Amprenta energetică și emisii CO₂ pentru diferite materiale de construcții

Material	Energie MJ / kg	Emisie CO ₂ / kg	Densitate kg / mc
Agregate	0.083	0.0048	2240
BCA	3.5	0.3	750
Bitum	51	0.38 – 0.43	1200
Cărămidă (standard)	3	0.24	1700
Mortar de ciment(1 :3)	1.33	0.208	2100
Beton de ciment(1:1.5:3)	1.11	0.159	2400
Lemn lamelat încleiat	12	0.87	500-750
Lemn, cherestea	10	0.72	480-720
Oțel (standard)	20.1	1.37	7800

Raportate la ciclul de viață, emisiile CO₂ pentru principalele materiale au următoarele valori:

- Beton 0.128 kg CO₂-e/kg
- Lemn 0.014 kgCO₂-e/kg
- Oțel 2.88 kgCO₂-e/kg

Observăm o emisie de aproape nouă ori mai mare a betonului și una de aproximativ doua sute de ori mai mare la oțel. Deasemenea, lemnul face parte din categoria materialelor care au un ciclu scurt al carbonului, mai precis copacii absorb dioxidul de carbon în interiorul fibrelor eliberând în același timp oxigen în aer.

Exploatarea pădurilor reînnoiește fondul forestier făcând loc plantării de noi arbori care să reia acest ciclu de absorbție al dioxidului de carbon din atmosferă, iar energia necesară prelucrării lemnului poate fi eventual obținută din arderea deșeurilor provenite în urma prelucrării propriuzise.

Deasemenea energia obținută la încetarea duratei de exploatare a unui element din lemn lamelat încleiat prin arderea acestuia este mai mare decât energia necesară pentru realizarea aceluiași element: astfel putem spune ca acesta este un element extrem de eficient din punct de vedere energetic.

1.2.1.2 Proprietăți structurale

Deoarece pentru obținerea elementelor se folosesc lamele subțiri și elastice, se pot obține relativ ușor forme deosebite, curbate pe una sau pe mai multe direcții, fapt greu de realizat în cazul betonului sau al altor materiale structurale. Astfel se pot obține arce dublu încastrate sau articulate, bolți sau alte elemente curbe deosebite cu economie de material și cheltuieli reduse sau chiar adaptarea grinzilor drepte prin inducerea unei contrasăgeți.

Au o greutate proprie redusă, fapt care duce la realizarea de elemente zvelte și cu un aspect estetic deosebit care pot acoperi deschideri mari fără rezemări intermediare. Deasemenea se aduce un plus de economie la montajul elementelor, nefiind necesară utilizarea de utilaje de mare tonaj.

Datorită alegerii și inspectării în prealabil a lamelor care urmează a fi încleiate, elementul rezultat are o capacitate portantă sporită. Aceasta este cauzată de următorii factori:

- Adezivul îmbunătățește comportarea elementului la forfecare;
- Prin dispunerea lamelor se pot distribui defectele naturale ale lemnului pe toată lungimea elementelor;
- Prin folosirea de lamele din cherestea de calitate superioară se aduce un plus de rezistență;
- Aria netă a secțiunii solicitate este mai mare decât la același element realizat din lemn masiv.

1.2.2 Istoric

Ca și un scurt istoric, lemnul lamelat încleiat fost introdus ca material de construcție încă din anul 1819, studiu efectuat de *Col.M.Emy* (Franța) pe baza sistemului de laminare gândit de Philbert DeLorme.

Introducerea adezivilor în realizarea elementelor lamelate din lemn a fost introdusă relativ devreme, la începuturile secolului al XIX-lea în Europa, mai exact în 1807-1809 în Germania de către un inginer bavarez pe nume *Carl Friedrich von Wiebeking*; acesta a realizat suprastructuri de poduri din arce din lemn lamelat încleiat asamblate in situ, cu deschideri de până la 60 m. Printre cele mai importante realizări se numără podul de la *Altenmarkt* realizat din lamele profilate asamblate prin încleiere in situ, care este primul pod mai important care a fost realizat folosindu-se o astfel de tehnologie. Această tehnologie a fost introdusă în Franța cu zece ani mai târziu iar în Marea Britanie începând cu anii 1830 [2].

Primele poduri de cale ferată din Anglia și Scoția care aveau ca structură de rezistență arce din lemn lamelat încleiat au fost construite între anii 1835 și 1855 și aveau deschideri de la 18 până la 36 de metri. Lamelele erau îmbinate atât mecanic cât și prin încleiere cu cleiuri naturale pe bază de celuloză sau caseină. Pe la mijlocul secolului, odată cu introducerea trenurilor grele de marfă, aceste poduri au fost înlocuite cu poduri având suprastructura din oțel [3].

Primul brevet în domeniu a apărut în anul 1872 în *Weimar*, Germania; acesta se referea la o podină realizată din lemn lamelat pretensionat, patent înregistrat de *Otto Hetzer*. El a continuat cercetarea, iar în anul 1906 a brevetat un element unitar compus dintr-un stâlp care la partea superioară devenea căprior în cadrul unui acoperiș; astfel apare cadrul realizat din glulam.

Folosind aceste patente s-au realizat construcții pe teritoriile mai multor țări din Europa printre care Elveția, Franța, Anglia etc.

Peste ocean, tehnologia apare în Statele Unite în anul 1934 importată de *Max Hanisch Sr.* care a colaborat cu *Otto Hetzer* la începutul secolului; acesta ridică și una dintre primele construcții realizate din glulam: laboratorul de cercetare al USDA, în *Madison, Wisconsin*, structură care este funcțională și în ziua de azi. [4]

Revoluția tehnologică apare odată cu introducerea unui adeziv complet rezistent la apă în 1942, permițând astfel folosirea elementelor structurale realizate din glulam în mediul exterior fără a exista pericolul degradării adezivului în timp.

Primul standard cu privire la proiectarea și prelucrarea elementelor din lemn lamelat încleiat apare în Statele Unite, în anul 1963.

Normele Europene cu privire la alcătuirea elementelor sunt relativ recente, iar metodele de calcul nu sunt încă finalizate în totalitate.

Domeniul de utilizare este unul vast, atât în construcții civile sau industriale cât și în lucrări de artă .

Ca și lucrări reprezentative amintim:

- *Centre Pompidou* din Metz, Franța – o construcție sub formă de hexagon de 90 m deschidere cu o suprafață de aproximativ 8000 m², lucrare la care s-au folosit peste 16 km de elemente glulam puse cap la cap;
- *PostFinance Arena* din Berna, Elveția – construită în 1967, fiind una dintre cele mai mari săli de sport din lume cu o capacitate de 17.131 de persoane. Structura de rezistență a acoperișului este realizată din arce din glulam prinse cu tiranți metalici care acoperă o deschidere de 87 m;
- *Richmond Olympic Oval* din Vancouver, Canada – construit pentru a găzdui o parte din probele de la Olimpiada de iarnă din 2010, acoperă una dintre cele mai mari deschideri realizate pe o structură din lemn;
- Podurile *Keystone Wye Bridges* din South Dakota, Statele Unite ale Americii – podul mai înalt are ca structura de rezistență trei arce articulate de 20 metri deschidere, iar cel de jos este realizat pe o structură din grinzi simplu rezemate;
- Podul din *Flisa*, Norvegia – este unul dintre cele mai mari poduri realizate din lemn înclieat, are o deschidere principală de 70,34 m și o lungime de 196 m.

1.3 Materiale utilizate în construcția elementelor din lemn lamelat înclieat

1.3.1 Lemnul

1.3.1.1 Date generale

Lemnul este o resursă regenerabilă disponibilă aproape peste tot în lume, la nivel mondial estimându-se o suprafață de peste 4,5 miliarde de hectare de pădure. Din păcate, la ora actuală, rata defrișărilor depășește cu mult rata de regenerare a pădurilor, în majoritatea țărilor dezvoltate.

Pentru folosirea materialului lemnos în construcții sau în alte domenii ale industriei, trebuie luate în calcul aspectele tehnico-economice precum și impactul asupra mediului înconjurător.

Pentru evaluarea impactului asupra mediului trebuie să se aibă în vedere întreg ciclul de viață al produsului: de la exploatarea efectivă, transportul, prelucrarea, tratamentele industriale ale produselor rezultate, punerea în operă, perioada de exploatare până la demolarea și gestionarea efectivă a deșeurilor rezultate.

Având în vedere cele menționate se poate spune că lemnul este un material relativ superior celorlalte materiale utilizate în construcții, în ceea ce privește impactul asupra mediului deoarece:

- Este un material regenerabil, padurile întreținute și exploatate corespunzător pot fi o sursă perenă de lemn;
- Pădurile contribuie active la reducerea încălzirii globale și implicit a efectului de seră, prin absorbția și înmagazinarea dioxidului de carbon din atmosferă;
- Transportul și manipularea se fac fără dificultăți, lemnul având o densitate relativ scăzută;
- Prelucrarea materialului brut se face fără consum excesiv de energie;
- În cazul încetării duratei de exploatare, energia calorică obținută prin ardere aduce este relativ mare și se poate gestiona pozitiv în alte scopuri;
- Lemnul este un material biodegradabil.

Cel mai mare impact negativ asupra mediului îl au materialele auxiliare folosite la conservarea, finisarea sau lipirea materialului lemnos. Toate aceste materiale auxiliare sunt în continuă dezvoltare tehnologică iar impactul lor asupra mediului este din ce în ce mai redus, fapt datorat mobilizării la nivel global pentru reducerea emisiilor de dioxid de carbon și conștientizarea problemelor cauzate de efectul de seră și poluare în general.

Fondul forestier din România este unul destul de mare, fiind posibilă exploatarea anuală a 22,3 milioane de metri cubi. Acesta se poate structura după mai multe criterii, după cum urmează:

Tab. 1.2 – Distribuția fondului forestier din România în funcție de relief

Tipul pădurii în funcție de relief	Pădure de munte	Pădure de deal	Pădure de câmpie
Procent din fondul forestier (%)	52	37	11

După zone și specii caracteristice avem:

Zona Alpină – zonă cu condiții climatice aspre, vegetație reprezentată de arbuști al căror lemn este folosit doar pentru foc. Se împarte în două subzone:

- zona superioară (cu specii de talie mică de genul sălcii pitice (*salix retusa*), azalee pitice (*loiseleuria procumbens*), ienupăr pitic (*juniperus sibirica*);
- zona inferioară în care se întâlnesc specii precum jneapănul (*pinus mugho*) sau smârdar (*rhododendron kotschii*).

Zona forestieră – este zona cea mai exploatată pentru lemnul folosit în construcții și se împarte în trei subzone, în funcție de specii, astfel:

- subzona coniferelor (peste 900-1000 m altitudine): zonă caracterizată prin specii precum molidul (*picea abies*, *Picea excelsa*), brad (*abies alba*) și pin (*pinus sylvestris*);
- subzona fagului (peste 700 m altitudine): cuprinzând fagul (*fagus*), carpenul (*carpinus*), mesteacănul (*betula*), frasinul (*fraxinus*) și altele;
- subzona stejarului (peste 200 m altitudine): aici întâlnim stejarul (*quercus robur*), gorunul (*quercus petraea*), alunul (*corylus avellana*) precum și alte specii.

Zona stepei – situată la altitudini de până la 150 m, zone în care se mai întâlnesc stejarul (*quercus robur*), salcâmul (*robinia pseudacacia*), arțarul (*acer platanoides*), teiul (*tilia tomentosa*), salcia (*salix alba*), plopul (*populus*) sau arinul (*alnus glutinosa*).

Distribuții procentuale pe diferite categorii se pot vedea în figurile ce urmează, conform datelor furnizate de Ministerul Mediului pe anul 2010 [5]:

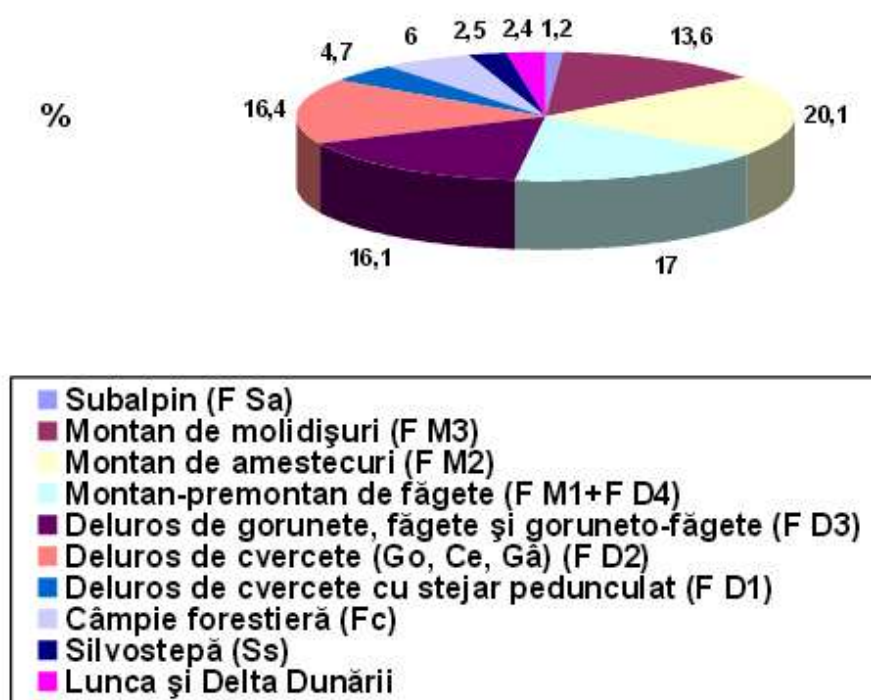


Fig.1.1 – Distribuția procentuală după etaje fitoclimatice

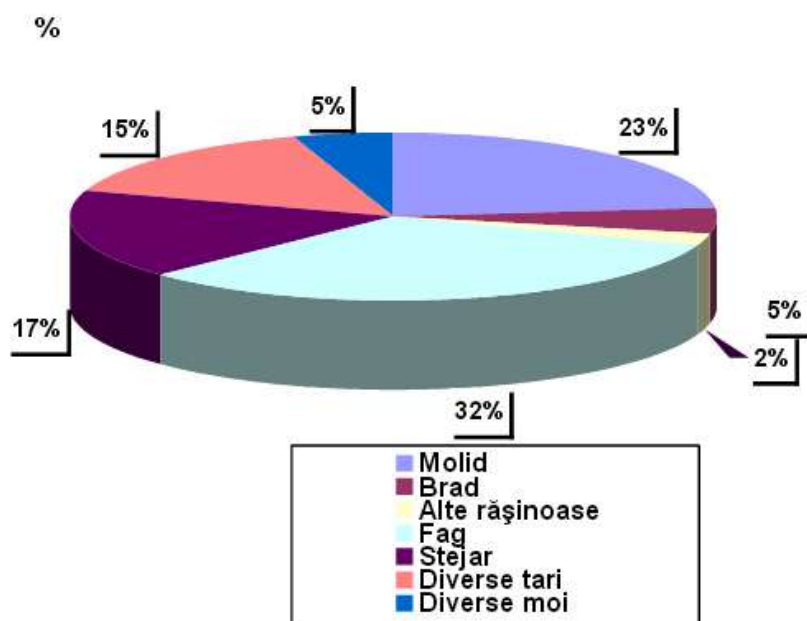


Fig.1.2 – Distribuția procentuală pe specii și grupe de specii

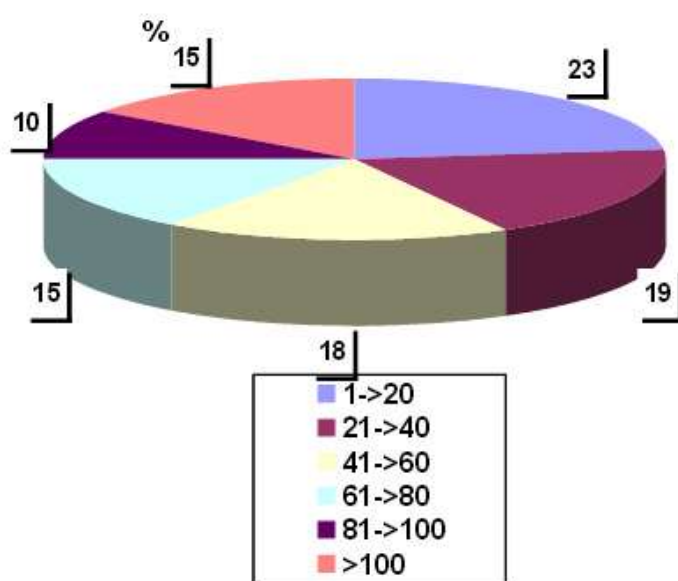


Fig.1.3 – Distribuția procentuală pe clase de vârstă

Pădurile se împart pe grupe funcționale precum și pe tipuri funcționale după cum urmează :

Grupuri funcționale:

- Grupa I funcțională – păduri cu funcții de protecție și producție; reprezintă 53.3% din suprafața pădurilor;
- Grupa II funcțională – păduri cu funcții de producție și protecție; reprezintă 46.7 % din suprafața pădurilor.

Tipuri funcționale:

- Tipul I – nu permite intervenții silviculturale, excepție făcând situații care au acordul Academiei Române;
- Tipul II – permite doar lucrări de conservare;
- Tipurile III, IV – sunt permise tratamente intensive care promovează regenerarea Natural; prin excepție, la molid, pin, plop, salcâm, salcie se pot aplica tăieri;
- Tipurile V și VI – sunt permise toate tipurile de tratamente;

Ca și distribuție procentuală pe teritoriul României avem:



Fig.1.4- Distribuția procentuală pe clase funcționale

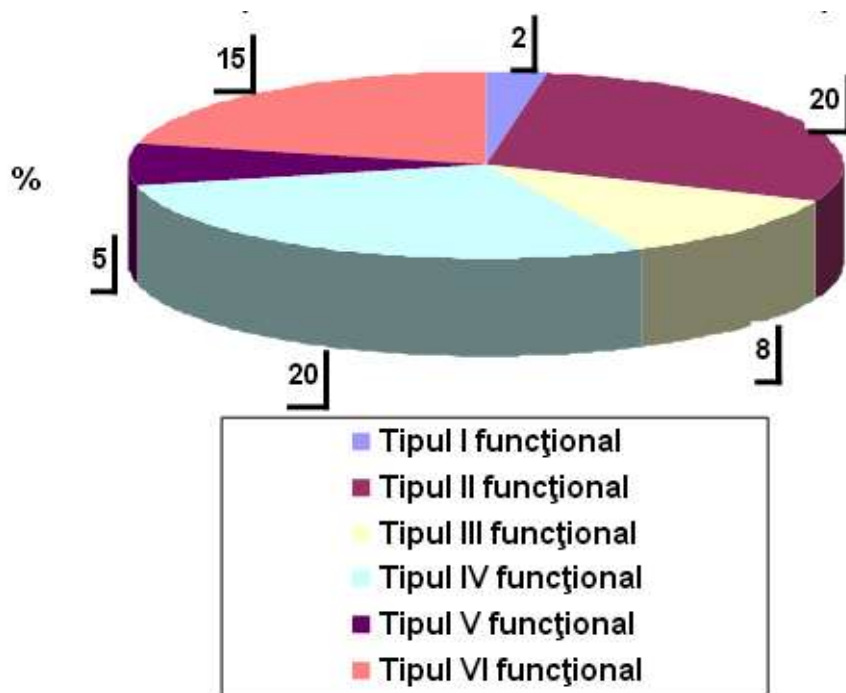


Fig.1.5- Distribuția procentuală pe tipuri funcționale

Volumul mediu per hectar la nivel național al arborilor care constituie fondul forestier este undeva în zona a 200-220 mc - situație bună, peste valoarea medie la nivel european unde volumul mediu la hectar are o valoare de sub 150 mc,

Creșterea medie la nivel anual este de 5,6 mc/an/ha, creștere care o depășește pe cea medie la nivel european care măsoară o valoare de 4,5 mc/an/ha.

Dacă raportăm suprafața de pădure la numărul de locuitori, obținem o valoare de 0,30 hectare pe cap de locuitor - medie apropiată de valoarea la nivel european.

1.3.1.2 Utilizarea lemnului în lucrările de construcții

Lemnul, ca material de construcție, prezintă calități deosebite comparativ cu alte materiale, lucru care a dus la folosirea lui pentru o gamă foarte variată de elemente de construcție. Calitățile naturale ale lemnului, disponibilitatea și potențialul de regenerare la care se adaugă metodele moderne de prelucrare și asamblare, au permis folosirea lui pe scară largă.

La sfârșitul secolului ponderea pe care o reprezenta lemnul comparativ cu celelalte materiale brute utilizate în domeniul construcțiilor se poate observa în tabelul Tab. 1.3.

Observăm o creștere a acestui procent direct proporțională cu gradul de dezvoltare industrială și economică a țării/zonei respective.

Tab. 1.3- Ponderea lemnului din totalul materialelor brute folosite la construcții

Țara/Zona	SUA și Canada	Țările Scandinave	Germania	Franța	România
Procente (%)	35	30	15	10	3..5

Procentul relativ scăzut înregistrat la nivelul țării noastre se poate mări prin introducerea pe scară largă a noi tehnologii de realizare și asamblare a elementelor structurale din lemn; unul dintre acestea ar fi chiar utilizarea lemnului lamelat încleiat (glulam) atât în domeniul construcțiilor civile precum și la realizarea suprastructurilor de poduri.

Datorită particularităților specifice lemnului, a defectelor, a neomogenității și anizotropiei acestuia pentru a putea fi utilizat ca material fiabil se utilizează următoarele principii de bază:

- Clasificarea corectă pe clase de calitate;
- Evitarea realizării de elemente de dimensiuni mari dintr-o bucată masivă de lemn, respectiv realizarea de produse prin compunerea unor elemente de dimensiuni medii spre reduse.

Ca și structură, materialul lemnos este constituit din fibre orientate preponderent axial cu legături relativ slabe pe direcție transversal; astfel o mare parte din proprietăți, în special rezistențele mecanice, diferă în funcție de direcția de aplicare a încărcării față de direcția fibrelor. Aceste rezistențe pot varia la același tip de încărcare cu până la de 40 de ori (rezistența la întindere) între încărcarea paralelă cu fibrele și cea perpendiculară pe fibre. Printr-o folosire rațională a elementelor în funcție de solicitările la care sunt expuse sau prin utilizarea de elemente compuse sau cu adaosuri de alte material, aceste diferențe pot fi înlăturate.

O altă problemă majoră întâlnită la lemn este legată de higroscopicitatea acestui material, lucru care modifică umiditatea internă a materialului în funcție de umiditatea mediului înconjurător; umiditatea internă a lemnului care modifică dimensiunile elementelor, unele proprietăți, rezistențe mecanice precum și favorizează apariția unor factori biochimici care produc degradarea acestuia.

Pentru a elimina sau cel puțin a controla aceste probleme se recomandă:

- Selectarea atentă și corespunzătoare a lemnului în funcție de utilizare;
- Eliminarea situațiilor unde umiditatea este mare;
- Tratamente speciale de prevenire și conservare.

În concluzie, pentru a avea structuri performante din lemn, este necesară buna exploatare a caracteristicilor mecanice avantajoase ale acestuia și luarea în calcul la nivelul proiectării a tuturor acestor dezavantaje și probleme.

1.3.1.3 Avantajele construcțiilor din lemn

- Densitatea aparentă redusă raportată la rezistențe

Comparativ cu alte elemente clasice folosite în domeniul construcțiilor observăm că lemnul este de la 3 până la 16 ori mai ușor decât acestea și raportând rezistențele relative putem observa un avantaj major în folosirea lemnului la realizarea elementelor structurale în special pe deschideri mari, datorită problemelor generate de greutatea proprie a acestor elemente.

Printre alte avantaje datorate greutății reduse enumerăm: comportarea favorabilă la acțiunea seismică și cheltuieli reduse în cazul realizării fundațiilor executate pe terenuri nefavorabile care au o capacitate portantă redusă.

În tabelele următoare sunt prezentați niște indici comparativi pentru diferite materiale de construcții uzuale în funcție de rezistențe la diferite solicitări.

Tab. 1.4 – Indici comparativi la solicitări de compresiune pentru diferite materiale

Material	Densitate (kg/m ³)	Rezistența la compresiune (daN/cm ²)	Raport rezistență/densitate
Lemn încleiat calitatea I (II)	470 (470)	410 (330)	0.87 (0.70)
Lemn masiv calitatea I	500	400	0.80
Oțel obișnuit	7850	3700	0.47
Beton precomprimat	2500	450	0.18
Beton armat	2500	270	0.108
Cărămidă plină calitate medie	1800	180	0.10

Tab. 1.5 - Indici comparativi la solicitări de întindere pentru lemn și oțel obișnuit

Material	Densitate (kg/m ³)	Rezistența la întindere (daN/cm ²)	Raport rezistență/densitate
Lemn încleiat calitatea I (II)	470 (470)	130	0.27
Lemn masiv calitatea I	500	150	0.30
Oțel obișnuit	7850	2350	0.30

Tab. 1.6 – Indici comparative pentru diferite materiale în funcție de raport rezistență/densitate

Clasificare după eficiență	Întindere	Încovoiere	Compresiune	Forfecare
1	Material plastic	Material plastic	Metal cu densitate mică	Metal cu densitate mică
2	Metal cu densitate mică	Lemn densitate mică	Material plastic	Metal cu densitate mare
3	Lemn densitate mică	Metal cu densitate mică	Lemn densitate mică	Material plastic
4	Metal cu densitate mare	Lemn cu densitate mare	Metal cu densitate mare	Lemn densitate mică
5	Lemn cu densitate mare	Metal cu densitate mare	Lemn cu densitate mare	Lemn cu densitate mare

- Prelucrarea ușoară

Prelucrarea lemnului în fabrici sau pe șantier se realizează cu ușurință datorită durității scăzute, respectiv a rezistenței reduse la prelucrare. Viteza de execuție a fasonării este mare și se poate face indiferent de anotimp.

Darea în exploatare a construcției se poate face imediat după terminarea lucrărilor, spre deosebire de exemplu de cazul construcțiilor din beton, unde aceasta trebuie să se facă după un anumit timp.

- Sisteme complexe de asamblare a elementelor

Elementele structurale se pot realiza din subansamble prefabricate, cu posibilitatea demontării și a refacerii în totalitate sau parțial a elementului, precum și cu schimbarea unor subansamble de-a lungul perioadei de exploatare.

- Posibilitatea realizării unor gabarite deosebite și forme arhitecturale spectaculoase

Elementele realizate din lemn pot avea forme deosebite, greu de obținut în cazul utilizării altor materiale precum oțelul sau betonul, dificultăți datorate procesului de obținere și prelucrare a elementelor. Caracteristicile arhitecturale deosebite pe care le are sunt datorate senzației de căldură pe care o dă lemnul precum și a texturii deosebit de estetice.

- Coeficient de conductibilitate termică redus

Comparativ cu oțelul, betonul, cărămida sau alte materiale de construcție, lemnul are un coeficient de conductibilitate termică λ redus, de până la 400 ori mai eficient decât oțelul și de aproape 10 ori mai eficient decât betonul.

- **Comportare bună la variația temperaturii**

Coeficientul de dilatare termică liniară în lungul fibrelor α are o valoare redusă, astfel se pot evita rosturile de dilatație la structuri cu deschideri mari. Deasemenea tensiunile interne provenite din variația temperaturii sunt parțial preluate de fibrele lemnoase.

- **Durabilitate sporită într-un mediu adecvat**

Dacă se respectă regimul de exploatare precum și execuția la timp a lucrărilor de întreținere necesare, durata de viață a structurilor din lemn este una relativ mare. Un alt avantaj îl prezintă intervențiile ușoare în cazul lucrărilor de reabilitare sau consolidare a structurii.

- **Posibilitatea refolosirii materialului lemnos**

Deșeurile rezultate în urma încheierii duratei de exploatare a unei construcții din lemn se pot utiliza cu succes pentru producerea energiei termice în urma arderii lor, fapt benefic asupra mediului înconjurător.

- **Posibilitatea realizării unor elemente compuse prin asocierea cu alte materiale**

Pentru eficientizarea elementelor structurale, lemnul se poate asocia cu diferite materiale precum oțelul, betonul sau fibrele sintetice, astfel obținându-se elemente compozite cu o rezistență sporită și o mai bună comportare în exploatare. Această asociere se poate face în momentul realizării elementului sau pe parcursul exploatării construcției în cazul ranforsărilor.

- **Comportare relativ bună la foc**

Deși este un material combustibil, elementele masive din lemn ard mai greu, cu o viteză de 0,5...0,7 mm/minut iar temperatura din interiorul elementului poate ajunge până la 700...800 ° C, temperatură la care se pierde capacitatea portantă. Spre deosebire de lemn, la elementele realizate din oțel sau aluminiu neprotejate cu tratamente special de acoperire, capacitatea portantă se pierde la temperaturi mai joase, de 500...600° C.

1.3.1.4 Dezavantajele construcțiilor din lemn

Caracteristicile mecanice ale lemnului variază atât în funcție de specie, cât și în cadrul aceleiași specii, în funcție de unghiul pe care îl face încărcarea cu direcția fibrelor, umiditatea lemnului sau existența defectelor naturale. Aceste variații duc la dificultăți în calculul și proiectarea elementelor structurale din lemn.

- **Variația în funcție de direcția fibrelor**

În funcție de unghiul pe care îl face direcția forței cu direcția fibrelor, caracteristicile mecanice pot varia foarte mult. În graficul următor este reprezentată această variație pentru solocitări la compresiune, întindere și încovoiere.

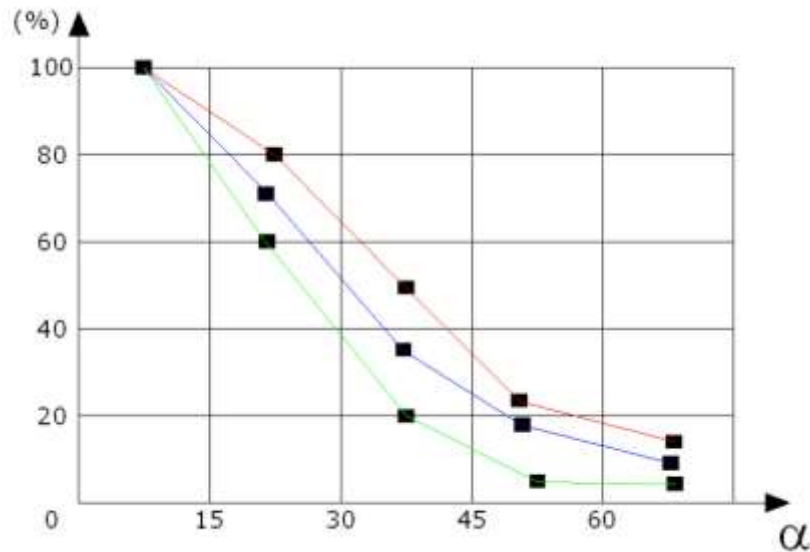


Fig.1.6 – Variația procentuală rezistențelor mecanice în funcție de unghiul dintre direcția forței și direcția fibrelor

- **Variația în funcție de umiditate**

Creșterea umidității duce la reducerea semnificativă a rezistențelor mecanice, precum și favorizează degradarea biologică accelerată a lemnului datorită apariției ciupercilor sau a mușgaiului. La unele specii de lemn o variație de la 5 % umiditate la una de 15% poate duce la reducerea la jumătate a rezistenței la compresiune.

- **Sortimentul limitat al materialului lemnos**

Dimensiunile secționale precum și lungimea elementelor realizate din lemn masiv sunt limitate de diametrul și lungimea materialului brut neprelucrat. Aceste deficiențe se pot elimina prin folosirea elementelor compuse alcătuite din subansamble sau prin utilizarea lemnului lamelat încleiat pentru realizarea elementelor masive.

- **Defecte cu privire la forma și structura lemnului și defecte datorate altor factori**

Aceste defecte naturale sau induse reprezintă inconveniente importante cu privire la comportarea structurilor din lemn. Aceste defecte naturale se considera globale și se iau în calcul la dimensionarea elementelor structurale. Problemele care apar la structuri se pot împărți pe trei categorii, după cum urmează:

- Deficiențe datorate erorilor de concepție;
- Deficiențe datorate erorilor de execuție;
- Deficiențe ale materialului propriuzis.

Aceste deficiențe sunt reprezentate procentual în tabelul următor, raportate la diferite tipuri de structuri, în funcție de materialul utilizat.

Tab. 1.7 – Deficiențe ale structurilor în funcție de materialul utilizat

Tipul structurii	Erori de concepție	Erori de execuție	Deficiențe ale materialului
Beton armat sau precomprimat	65%	30%	5%
Metal	58% Din care: 13% concepție 45% studii insuficiente	38% Din care: 3% fabricație 35% montaj	14% Din care: 14% întreținere
Lemn sau lemn încleiat	55% Din care: 22% deformații 30% studii insuficiente	38% Din care: 12% concepție 18% legături generale 8% montaj	11% Din care: 10% ciuperci și insecte 1% foc

- **Anizotropia lemnului**

Marimea și natura rezistențelor mecanice variază odată cu structura anatomică a acestui material. Astfel construcția sa anatomică, dispunerea elementelor componente în material, numărul și proporția acestor elemente anatomice pe unitatea de suprafață sau de volum a piesei din lemn, toate influențează caracteristicile fizico-mecanice ale materialului precum și comportarea în exploatare.

Aceste elemente anatomice depind de natura speciei, ca atare diferitele specii lemnoase vor avea caracteristici total diferite de la una la alta.

Sub încărcări, lemnul reacționează prin calitățile sale elastice, plastice și de duritate, în funcție de natura solicitării și de orientarea fibrelor în raport cu direcția de aplicare a forței, lucru tratat și anterior.

Putem spune ca lemnul masiv este un material foarte neomogen, cu o comportare care variază de la o specie la alta și chiar și în cadrul aceleiași specii.

1.3.2 Adezivi

Pentru îmbinarea lamelor din lemn se folosesc adezivi speciali de diferite tipuri în funcție de compoziția chimică a rășinilor după cum urmează:

- **Pfenol-resocinol-formaldehidice (PRF);**
- **Melamine-urea-formaldehidice (MUF);**
- **Urea-formaldehidice (UF);**
- **Polyuretan (PUR);**
- **Emulsie de polimeri izocianat (EPI).**

1.3.2.1 Adezivi tip PRF

Acești adezivi fac parte din clasa polimerilor termorigizi și se obțin prin condensare și polimerizare în urma reacției dintre pfenoli și resocinoli(formaldehide).

Pot fi utilizați atât la încluirea materialelor lemnoase cât și la cele pe bază de fibre de sticlă sau alte fibre sintetice.

Uscarea și priza se fac la temperatura ambiantă și prezintă o bună rezistență la acțiunea factorilor climaterici, foc și în special la infiltrarea apei; astfel elementele la care se folosește acest tip de adeziv se pretează pentru utilizare în exterior, în zone umede sau în zone cu variații mari de temperatură.

În cazul în care se dorește grăbirea prizei, din varii motive, se pot face intervenții termice sau cu unde radio.

1.3.2.2 Adezivi tip MUF

Fac parte din clasa polimerilor termorigizi și se obțin prin condensare în urma reacției celor trei elemente componente.

Datorită unui interval controlabil relativ mare al vâscozității, acest tip de adeziv are o arie largă de utilizare, atât la interior cât și la exterior.

Concentrația acestor adezivi este astfel reglată încât să prezinte comportarea optimă în funcție de domeniul în care aceștia sunt utilizați: interior/exterior, zone umede/uscate, temperaturi ridicate etc.

Deoarece pelicula prezintă o flexibilitate sporită, se recomandă utilizarea acestui tip de adeziv la realizarea elementelor încluite de tip arce sau bolți.

1.3.2.3 Adezivi tip UF

Fac parte din clasa polimerilor termorigizi obținuți prin polimerizarea și condensarea în urma reacției dintre uree și formaldehide. Are o reactivitate sporită și un cost scăzut de realizare.

Datorită acestor calități, este unul dintre cele mai folosite tipuri de adezivi, dar comportarea deficitară la factorii climaterici fac ca acest tip să fie recomandat doar pentru lucrări de interior, utilizarea la elemente pentru suprastructuri de poduri fiind limitată.

Se livrează sub formă de pudră sau lichid cu o mare varietate de vâscozități, procente de conținut solid sau raport molar.

1.3.2.4 Adezivi tip PUR

Pot fi de două feluri: polimeri termorigizi sau polimeri termoplastici, în funcție de formula chimică aleasă.

Se prezintă sub următoarele forme:

- Cu un component;
- Bi-component;
- Sub formă de dispersie;
- Pe bază de solvent.

Prezintă adezivitate sporită atât la lemn cât și la metal sau mase plastice, astfel rezultând o arie largă de utilizare. Întărirea se face la temperatura ambiantă, iar timpul de priză este unul relativ scurt.

Cel cu format bi-component (Dynopur) este folosit foarte des în industria lemnului, la elemente structurale importante, deoarece prezintă rezistențe mecanice superioare iar timpul de priză este unul scurt.

1.3.2.5 Adezivi tip EPI

Sunt adezivi formați din două componente: emulsie pe bază de apă care conține polimeri de tip SBR, EVA sau PVA și un întăritor izocianat. La amestecul celor două componente începe timpul de priză.

Ca și catalogare, aceștia sunt adezivi de tip termoplastic cu proprietăți asemănătoare celor de tip termorigid.

Se utilizează în general pentru încheierea elementelor structurale de rezistență, a îmbinărilor și prezintă o adezivitate sporită și față de alte elemente precum aluminiu, mase plastice sau fibră de sticlă. [6]

1.3.3 Alte materiale folosite la realizarea grinzilor din lemn lamelat încleiat

Pentru sporirea capacității portante a elementelor precum și pentru o mai bună comportare în timp, respectiv o durată de viață mai lungă, se recomandă utilizare unor materiale compozite în componența elementelor.

Aceste benzi sintetice au apărut în anii 1960 ca o alternativă viabilă atât din punct de vedere tehnologic, cât și economic la benzile de oțel folosite până atunci la ambalarea coletelor voluminoase.

Inițial aceste benzi au fost realizate din fibre de celuloză, material folosit în industria anvelopelor auto care era relativ ieftin și se găsea din abundență. Acestea au fost înlocuite zece ani mai târziu cu benzile realizate din fibre de poliester datorită rezistențelor sporite pe care acestea le aveau.

Aceste fibre erau dispuse longitudinal și solidarizate între ele prin intermediul unor polimeri sau adezivi și laminate sub formă de benzi.

La ora actuală principalele tipuri de benzi folosite în industrie sunt:

- benzi din oțel;
- benzi din fibre de poliester sau bumbac împletite;
- benzi din fibre de celuloză solidarizate cu polimeri sau adezivi speciali;
- benzi din polipropilenă;
- PET;
- fibre de poliester laminate/nelaminate;

S-a optat în cadrul prezentului studiu pentru folosirea benzilor sintetice din PET texturat sau fibre de poliester laminate și nelaminate, folosite pe post de armătură sintetică dispusă în zona întinsă a elementelor.

Această alegere s-a făcut din rațiuni economice precum și datorită compoziției și a compatibilității suprafețelor cu lamelele din lemn, în vederea incleierii.

Comparând cele șase tipuri de benzi, se pot realiza următoarele clasamente în funcție de proprietățile fizico-mecanice:

Tab. 1.8 – Tabel comparativ benzi de tip cordstrap în funcție de caracteristicile fizico-mecanice [7]

Clasament	1	2	3	4	5	6
Rezistența la rupere						
	Oțel	Fibre împletite	Poliester	Fibre de celuloză	PET	Polipropilenă
Alungire						
	Polipropilenă	PET	Poliester	Fibre de celuloză	Fibre împletite	Oțel
Zona de comportare elastică						
	Fibre împletite	Oțel	Fibre de celuloză	Poliester	Polipropilenă	PET
Pierderea rezistenței la întindere în timp						
	Oțel	Fibre împletite	Fibre de celuloză	Poliester	PET	Polipropilenă
Rezistența la acțiunea factorilor climaterici						
	Fibre împletite	Poliester	PET	Oțel	Polipropilenă	Fibre de celuloză
Sensibilitatea imbinărilor/nodurilor						
	Fibre împletite	Fibre de celuloză	Poliester	PET	Oțel	Polipropilenă
Comportarea la fluaj sub acțiunea încărcărilor de lungă durată						
	Oțel	Fibre împletite	Fibre de celuloză	Poliester	PET	Polipropilenă
Energia necesară ruperii						
	Fibre împletite	Poliester	Fibre de celuloza	PET	Polipropilenă	Oțel

Se observă o comportare foarte bună a benzii de oțel și a celei realizate din fibre de poliester sau bumbac împletite; dar deoarece studiarea ranforsării cu benzi de oțel nu prezintă o noutate în domeniu, iar cealaltă variantă nefiind compatibilă cu elementele încleiate din lemn datorită grosimii, nu s-a optat pentru acestea în cadrul prezentului studiu.

Capitol 2- Acțiuni, gruparea acțiunilor și comportarea elementelor din lemn lamelat încleiat

2.1 Acțiuni și gruparea acțiunilor conform normelor Eurocode 0

În conformitate cu normele europene în vigoare, acțiunile se clasifică în cinci clase distincte în funcție de durată, după cum urmează:

- Încărcări permanente care au durata de acțiune mai mare de 10 ani (ex. greutatea proprie a elementelor);
- Încărcări de lungă durată care au intervalul de acțiune cuprins între 6 luni și 10 ani(ex. încărcări din depozitare);
- Încărcări de durată medie cu acțiunea între 1 săptămână și 6 luni(ex. Încărcări din exploatare, zăpadă etc.);
- Încărcări de scurtă durată cu acțiune pe perioade mai mici de 1 săptămână;
- Încărcări instantanee reprezentate de acțiuni accidentale.

Acțiunile permanente se aplică cu o intensitate practic constantă în raport cu timpul pe toată durata de exploatare a construcției.

Acțiunile temporare de lungă durată au intensități constante pe durate de timp îndelungate, dar mai mici decât durata de exploatare a construcției.

Acțiunile temporare de scurtă durată au intensități variabile, intensitățile maxime aplicându-se pe durate reduse sau cu intensități practic constante care se aplică pe durate de asemenea reduse.

Acțiunile excepționale sunt acelea care intervin foarte rar sau niciodată pe durata de exploatare a construcției. În această categorie intră: încărcări seismice, izbirea navelor și ambarcațiunilor de pilele podurilor peste cursuri de apă navigabile, forțele produse de vehiculele care deviază din axul căii la podurile de cale ferată, încărcări produse prin distrugerea unor instalații fixe de pe pod.

Stările limită sunt stări după care structura nu mai satisface cerințele de performanță necesare și se clasifică în două categorii, după cum urmează:

- Stări limite ultime, USL, care sunt asociate cu colapsul sau alte forme de cedare structurală;
- Stări limită de serviciu, SLS, care se referă la limitele după care construcția nu mai corespunde criteriilor de exploatare normală.

Stările limită ultime se împart în două subcategorii în funcție de cedare astfel:

- a) Stări limită ale echilibrului static, unde marimea deplasărilor se verifică cu formula:

$$E_{d.dst} \leq E_{d.stb} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

unde: $E_{d.dst}$ - efectul de calcul al acțiunilor destabilizante;
 $E_{d.stb}$ - efectul de calcul al acțiunilor stabilizante.

- b) Stări limită cu privire la ruperea sau deformarea excesivă a secțiunii transversale, deformări care se verifică cu relația:

$$E_d \leq R_d \quad (\text{Ec. 2.2})$$

unde: E_d - efectul de calcul al acțiunilor destabilizante;
 R_d - efectul de calcul al acțiunilor stabilizante.

Este obligatoriu ca aceste stări limită considerate să nu fie depășite, indiferent de situația de proiectare considerată.

Ca valori, acțiunile permanente (G_k) au ca și valori caracteristice valorile medii G_{med} , iar în cazul în care acestea variază ca valoare cu peste 10%, iar structura este sensibilă la această variație, se vor utiliza $G_{k.inf}$ respectiv $G_{k.sup}$.

Pentru acțiunile variabile (Q_k) valorile caracteristice depind de perioada de revenire măsurată în ani (N), de obicei calculată pentru $N=50$ de ani, ceea ce corespunde unei probabilități de $1/N=0,02$. Pentru alte probabilități se calculează valoarea caracteristică în funcție de probabilitate și de coeficientul de variație a încărcării.

Acești coeficienți sunt introduși în calcul astfel:

- Valoare de combinație $Y_0 Q_k$;
- Valoarea frecvenței $Y_1 Q_k$ care depășește durata de 5% din timpul de acțiune;
- Valoare cvazi-permanentă $Y_2 Q_k$ care corespunde unei valori medii în timp.

Tab. 2.1 – valorile coeficienților de variație Y

Acțiunea	Y_0	Y_1	Y_2
Încărcări din exploatare în:			
- Locuințe, spitale, birouri	0.7	0.5	0.3
- Construcții pentru comerț, teatre, restaurante, parcaje	0.7	0.7	0.6
- Depozite, arhive	1.0	0.9	0.8
Încărcări din zăpadă	0.7	0.2	0.0
Încărcări din vânt	0.6	0.5	0.0

Valorile de calcul pentru diferite acțiuni exterioare (F_d) se determină luând în calcul starea limită la care se face calculul și coeficienții de siguranță pentru acțiuni permanente γ_G respectiv γ_Q pentru cele variabile.

Acești coeficienți țin seama de posibilitatea variațiilor defavorabile sau favorabile a încărcărilor, de modelarea imprecisă precum și de incertitudinea evoluției efectelor acțiunilor după cum sunt prezentate și în tabelul următor.

Tab. 2.2 – Coeficienții parțiali de siguranță pentru acțiuni

Modul de cedare/ Tipul acțiunii	Coeficient	Valoare coeficient	
		Normală	Redusă
Cedare prin pierderea echilibrului static			
- Acțiuni permanente defavorabile	$\gamma_{G.sup}$	1.10	1.10
- Acțiuni permanente favorabile	$\gamma_{G.inf}$	0.90	0.90
- Acțiuni variabile defavorabile	γ_Q	1.50	1.35
Cedare prin atingerea rezistenței materialului			
- Acțiuni permanente defavorabile	$\gamma_{G.sup}$	1.35	1.20
- Acțiuni permanente favorabile	$\gamma_{G.inf}$	1.00	1.00
- Acțiuni variabile defavorabile	γ_Q	1.50	1.35

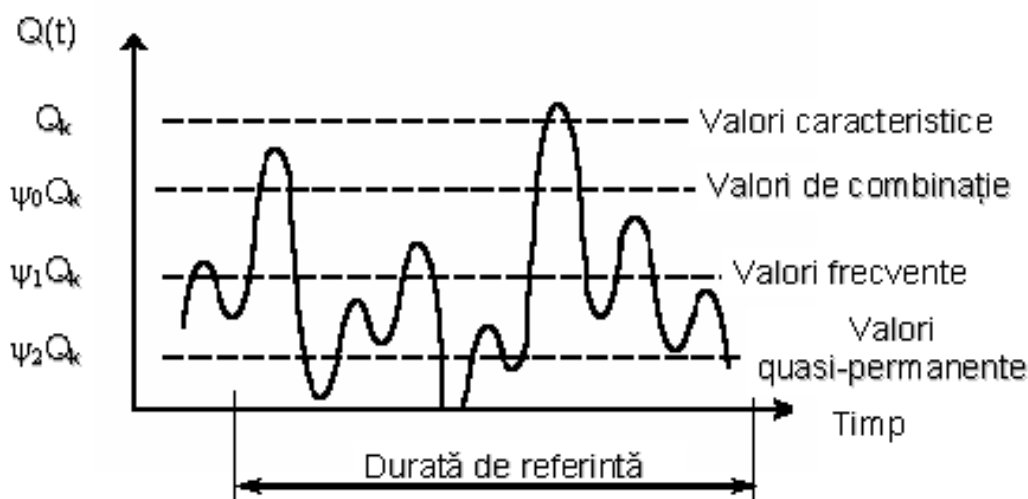


Fig.2.1 - Acțiuni: Valori caracteristice; Valori de combinație; Valori frecvente; Valori cvasi-permanente

Formula de calcul pentru calculul la starea limită a capacității portante este:

$$\Sigma \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} Q_{k,i} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

unde avem :

- $G_{k,j}$, valorile caracteristice pentru acțiunile permanente;
- $Q_{k,1}$, valoarea caracteristică a acțiunii variabile predominante;
- $Q_{k,i}$, valorile caracteristice pentru celelalte acțiuni variabile.

Pentru calculul la starea limită de exploatare normală se folosesc următoarele combinații:

- Combinația de bază:

$$\Sigma G_{k,j} + Q_{k,1} + \Sigma Y_{1,i} Q_{k,i} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

- Combinația cvasi-permanentă:

$$\Sigma G_{k,j} + \Sigma Y_{2,i} Q_{k,i} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

La stările limită de exploatare se vor efectua următoarele verificări:

$$E_d \leq C_d \quad \text{sau} \quad E_d \leq R_d$$

unde:

C_d – valoarea nominală sau o funcție de anumite proprietăți de calcul ale materialelor, relativ la efectul acțiunilor care au fost luate în considerare;

R_d – rezistența de calcul;

E_d – efectul de calcul al acțiunilor determinat pe baza unei combinații, după cum urmează:

c) Combinația rară:

$$\sum_j G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

d) Combinația frecventă:

$$\sum_j G_{k,j} + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

e) Combinația cvasi-permanentă:

$$\sum_j G_{k,j} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (\text{Ec. 2.8})$$

În toate aceste cazuri de calcul la starea limită de exploatare, coeficienții parțiali de siguranță ai materialelor sunt unitari ($\gamma_M = 1$).

2.2 Proiectarea elementelor din lemn conform normelor Eurocode 5

Elementele din lemn sunt reprezentate pe trei axe iar direcția fibrei este reprezentată conform figurii următoare.

2.2.1 Starile limită de serviciu (SLS)

Conform Eurocode 5 se va verifica deformația unui element în două situații distincte :

- Imediat după aplicarea încărcării (u_{inst} – deformația instantanee);
- Deformația finală obținută după ce deplasările dependente de durata încărcării nu se mai modifică (u_{fin}).

Aceste deplasări sunt reprezentate grafic în figura ce urmează [8]:

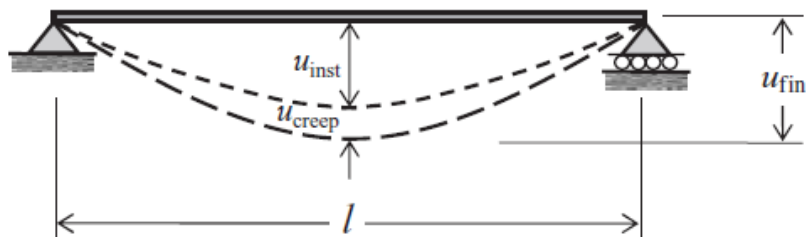


Fig.2.2 – Deplasările unei grinzi din lemn simplu rezemate [8]

Aceste deformații finale se calculează în două moduri distincte, în funcție de deformațiile de fluaj ce apar în urma încărcărilor de lungă durată în cadrul elementelor, după cum urmează:

- a) *Structuri care conțin elemente componente care au același comportament la fluaj sub încărcări de lungă durată*

Fenomenul de fluaj la elementele din lemn este rezultatul acțiunii mai multor factori, dar pentru simplificarea calculului, conform EC5, relația dintre deformația instantanee și deformația cauzată de fluaj este scrisă simplificat cu următoarea formulă:

$$u_{\text{creep}} = k_{\text{def}} u_{\text{inst}} \quad (\text{Ec. 2.9})$$

unde: u_{creep} este deformația cauzată de fluaj;

u_{inst} este deformația instantanee;

k_{def} este factorul de deformare,

Acest factor k_{def} este direct dependent de material și de umiditatea acestuia, iar valorile acestuia au fost calculate pentru comportarea pe întreaga durată de viață a construcției pentru starea limită de serviciu și se găsesc în cadrul EC5 după cum urmează:

Tab. 2.3 – Valorile k_{def} pentru clasele de serviciu 1,2 și 3 conform EC5 [9]

Material - standard	Valoare k_{def}		
	clasa 1 de serviciu	clasa 2 de serviciu	clasa 3 de serviciu
Lemn masiv- EN 14081-1[11]	0.60	0.80	2.00
Lemn lamelat încleiat- EN 14080 [12]	0.60	0.80	2.00
Placaj –EN 636-1 [15]	0.80	-	-
EN 636-1 [15]	0.80	1.00	-
EN 636-1 [15]	0.80	1.00	2.50
OSB – EN 300–tip OSB/2	2.25	-	-
EN 300- tip OSB/3	1.50	-	-
EN 300- tip OSB/4	1.50	2.25	-

Astfel ecuația pentru deformația totală pentru elementele care se înscriu în această categorie, notată cu u_{fin} se poate scrie în felul următor :

$$\mathbf{u}_{\text{fin}} = \mathbf{u}_{\text{inst}} + \mathbf{u}_{\text{creep}} = \mathbf{u}_{\text{inst}} (1 + k_{\text{def}}) \quad (\text{Ec. 2.10})$$

Dacă încărcările nu sunt permanente, pentru determinarea fluajului acestea trebuie convertite în încărcări permanente prin utilizarea valorilor cvasi-permanente ale acelei acțiuni.

Pentru dimensionarea în cazul SLS, deformațiile finale în funcție de tipul acțiunilor care se vor aplica sunt următoarele:

- Pentru acțiuni permanente, G, pentru un element sau o îmbinare:

$$\mathbf{u}_{\text{fin.G}} = \mathbf{u}_{\text{inst.G}} + \mathbf{u}_{\text{creep.G}} = \mathbf{u}_{\text{inst.G}} (1 + k_{\text{def}}) \quad (\text{Ec. 2.11})$$

- Pentru încărcarea variabilă dominantă, Q1, pentru un element sau o îmbinare:

$$\mathbf{u}_{\text{fin.Q.1}} = \mathbf{u}_{\text{inst.Q.1}} + \mathbf{u}_{\text{creep.Q.1}} = \mathbf{u}_{\text{inst.Q.1}} (1 + Y_2 k_{\text{def}}) \quad (\text{Ec. 2.12})$$

- Pentru încărcări variabile, Q, pentru un element sau o îmbinare:

$$\mathbf{u}_{\text{fin.Q}} = \mathbf{u}_{\text{inst.Q}} + \mathbf{u}_{\text{creep.Q}} = \mathbf{u}_{\text{inst.Q}} (Y_{0.i} + Y_2 k_{\text{def}}) \quad (\text{Ec. 2.13})$$

- Ecuația generală finală:

$$\mathbf{u}_{\text{fin}} = \mathbf{u}_{\text{fin.G}} + \mathbf{u}_{\text{fin.Q.1}} + \sum \mathbf{u}_{\text{fin.Q.i}}, \text{ pentru } i = 2..n \quad (\text{Ec. 2.14})$$

b) Structuri care conțin elemente componente care au comportament diferit la fluaj sub încărcări de lungă durată

În aceste situații, fluajul va afecta rigiditatea și distribuția eforturilor precum și relația de liniaritate dintre deformația instantanee și cea datorată fluajului. Deformația totală se va calcula cu formula (Ec. 2.14) dar cu precizarea că deformația datorată fluajului se va calcula fără luarea în seamă a combinațiilor de încărcări cvasi-permanente, doar din încărcări instantanee și se ține seama de valorile reduse ale proprietăților cu privire la rigiditatea elementului [8].

Ecuația finală obținută este următoarea:

$$\mathbf{u}_{\text{fin}} = \mathbf{u}_{(\text{inst+creep})} \quad (\text{Ec. 2.15})$$

unde:

$\mathbf{u}_{(\text{inst+creep})}$ este deformația derivată din analiza linear-elastică a structurii supuse unei încercări instantanee la care s-a ținut seama de reducerea rigidității.

Pentru ambele cazuri, când lemnul folosit este montat cu umiditatea în apropierea umidității de saturație a fibrelor, iar uscarea va avea loc sub acțiunea încărcărilor, valorile k_{def} se vor mări cu 1,00.

În cazul îmbinărilor, dacă elementele îmbinate au același tip de comportare la fluaj, valoarea k_{def} se va dubla, iar în cazul în care aceste elemente nu au același mod de comportare la fluaj se va face o valoare medie după următoarea formulă de calcul [8]:

$$k_{def} = 2 \sqrt{k_{def.1} k_{def.2}} \quad (\text{Ec. 2.16})$$

2.2.2 Influența umidității și a duratei încărcărilor asupra rezistenței elementelor din lemn, în conformitate cu EC5

Pentru a lua în considerare influența umidității și a duratei încărcărilor asupra rezistențelor mecanice, Eurocode 5 folosește un factor de modificare k_{mod} . Valorile acestuia pentru diferite tipuri de acțiuni sunt prezentate în tabelul următor:

Tab. 2.4 – Factori de modificare pentru clasa 1 de serviciu în funcție de tipul acțiunilor [9]

Tipul acțiunii (clasa 1 de serviciu)	Valoare k_{mod}
Încărcări permanente	$k_{mod,perm} = 0.60$
Încărcări de durată medie	$k_{mod,med} = 0.80$
Încărcări instantanee	$k_{mod,inst} = 1.10$

Dacă în cazul unei îmbinări a două elemente care au factori de modificare diferiți, $k_{mod.1}$ respectiv $k_{mod.2}$, normativul spune că factorul de modificare global care va fi folosit la dimensionarea capacității portante a îmbinării se va calcula cu formula:

$$k_{mod} = \sqrt{k_{mod.1} k_{mod.2}} \quad (\text{Ec. 2.17})$$

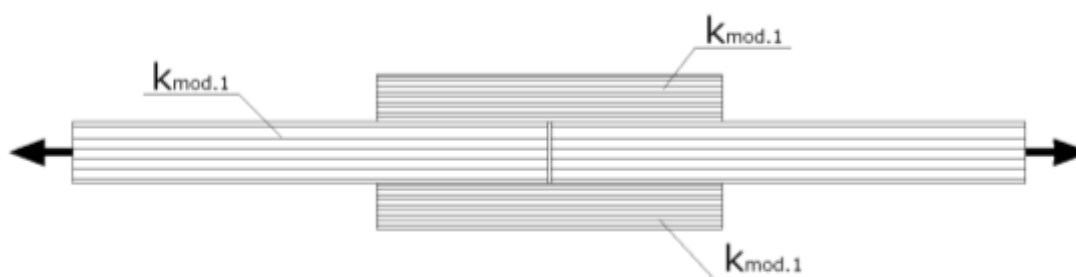


Fig.2.3 – Îmbinare a două elemente care au o comportare diferită în timp

2.2.2.1 Analiza la starea limită de serviciu (SLS)

Pentru starea limită de serviciu se vor analiza deplasările, se vor analiza separat deplasarea instantanee de cea finală, iar în cazul îmbinărilor de elemente care au comportări diferite în timp se va ține cont de efectul fluajului asupra rigidității elementelor.

- a) Pentru condiția de încărcare instantanee, analiza se va face folosind valoarea de bază a combinației de acțiuni folosite la determinarea stării limită de serviciu, folosind formula pentru combinații rare sau frecvente, după caz. Dat fiind faptul ca fluajul nu influențează condiția de încărcare instantanee, valoarea proprietăților mecanice care țin de rigiditatea elementului se vor calcula utilizând valorile medii ale modului de elasticitate și ale modului de elasticitate transversal;
- b) Pentru analiza în cazul deformației finale, deformație atinsă la limita până la care structura se comportă linear-elastic și este alcătuită din elemente care au același tip de comportament la fluaj sub încărcări de lungă durată la ecuațiile din punctul precedent se vor adăuga valorile date de combinațiile cvasi-permanente, iar fluajul nu va influența proprietățile mecanice, asemenea condiției de încărcare instantanee;
- c) În cazul în care structura este alcătuită din elemente ce au o comportare diferită sub încărcări de lungă durată, comportamentul deplasărilor este influențat de fluaj și se va lua în calcul prin reducerea proprietăților de rigiditate a fiecărui element, aceste valori finale se obțin utilizând ecuațiile următoare:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1 + k_{def})} \quad (\text{Ec. 2.18})$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{(1 + k_{def})} \quad (\text{Ec. 2.19})$$

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{(1 + k_{def})} \quad (\text{Ec. 2.20})$$

unde : $E_{\text{mean.fin}}$ este valoarea finală medie a modului de elasticitate, E_{mean} este valoarea medie a modului de elasticitate, $G_{\text{mean.fin}}$ este valoarea finală medie a modului de elasticitate transversal, G_{mean} este valoarea medie a modului de elasticitate transversal, $K_{\text{ser.fin}}$ este valoarea finală medie a modului de lunecare, K_{ser} este valoarea medie a modului de lunecare, și k_{def} coeficientul de deformație din fluaj.

Rezultă că pentru calculul la starea limită de serviciu ecuațiile finale de calcul vor fi:

$$E_{d,SLS} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1 + k_{\text{def}})} \quad (\text{Ec. 2.21})$$

$$G_{d,SLS} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1 + k_{\text{def}})} \quad (\text{Ec. 2.22})$$

$$K_{d,SLS} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1 + k_{\text{def}})} \quad (\text{Ec. 2.23})$$

2.2.2.2 Analiza la starea limită ultimă (ULS)

Analiza făcută în starea limită ultimă este făcută cu scopul de a verifica comportarea și stabilitatea sub încărcarea cea mai defavorabilă, conform cu combinațiile de acțiuni prezentate în EC 0. Analiza se poate face pentru următoarele trei cazuri distincte, după cum urmează:

- a) Pentru analiza de ordinul I linear-elastică, la o structură la care distribuția rigidității în elementele structurale nu influențează distribuția eforturilor unitare, conform normelor EC 5 2.2.2(1).P, se vor folosi valorile medii ale modului de elasticitate, modului de elasticitate transversala și modului de lunecare : E_{mean} , G_{mean} , K_{ser} .

Aceste valori se folosesc doar dacă comportarea sub încărcări de lungă durată este aceeași pentru toate elementele structurii.

- b) Pentru analiza de ordinul I linear-elastică, la o structura la care distribuția rigidității în elemente influențează în mod direct distribuția tensiunilor interne, se pot menține valorile de la punctul a) doar pentru încărcări instantanee;

În cazul comportării diferite în timp sub acțiunea încărcărilor ale elementelor și imbinărilor din structură, valorile finale de calcul trebuie ajustate în funcție de componenta încărcărilor care are efectul cel mai defavorabil asupra structurii:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1 + \psi_2 k_{def})} \quad (\text{EC5, equation(2.10)}) \quad (\text{Ec. 2.24})$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{(1 + \psi_2 k_{def})} \quad (\text{EC5, equation (2.11)}) \quad (\text{Ec. 2.25})$$

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{(1 + \psi_2 k_{def})} \quad (\text{EC5, equation (2.12)}) \quad (\text{Ec. 2.26})$$

unde ψ_2 este factorul de variație pentru încărcarea cvasi-permanentă care are efectul cel mai defavorabil asupra structurii.

În cazul în care încărcarea cea mai defavorabilă este una permanent, se va lua valoarea lui ψ_2 egală cu 1.

- c) Pentru analiza de ordinul II linear-elastică, conform EC5, 2.2.2(1)P, valorile de calcul finale ale rigidității se vor lua ajustând valorile medii în funcție de un coeficient parțial ce ține cont de tipul de material utilizat în element sau îmbinare γ_M .

Astfel valorile de calcul pentru cele trei cazuri devin:

$$\text{a) } E_{d,ULS} = E_{mean}, \quad G_{d,ULS} = G_{mean}, \quad K_{d,ULS} = E_{ser};$$

$$\text{b) } E_{d,ULS} = \frac{E_{mean}}{(1 + \psi_2 k_{def})}, \quad G_{d,ULS} = \frac{G_{mean}}{(1 + \psi_2 k_{def})}, \quad K_{d,ULS} = \frac{K_{ser}}{(1 + \psi_2 k_{def})};$$

$$\text{c) } E_{d,ULS} = \frac{E_{mean}}{\gamma_M}, \quad G_{d,ULS} = \frac{G_{mean}}{\gamma_M}, \quad K_{d,ULS} = K_u \quad ;$$

Unde k_u este valoarea modului de lunecare conform EC5 2.2.2(2) .

2.2.3 Relații efort-deformație după normele EC5

Comportarea elementelor din lemn încărcate până la cedare nu este una liniară, rezistențele caracteristice fiind obiținute ținând cont de existența unei linearități în relația efort-deformație.

Această linearitate cu comportare elastică se admite a fi valabilă până la cedare în cazul dimensionărilor la elementele solicitate la compresiune, întindere, încovoiere forță tăietoare sau torsiune.

Există anumite cazuri în care se va ține cont de comportarea plastică, după caz. [9]

2.2.4 Distribuția eforturilor secționale în funcție de dimensiunea elementelor

Datorită neomogenității materialului lemnos și a defectelor naturale ale acestuia, rezistențele mecanice variază în lungul precum și în latul elementului din lemn. Studii experimentale și teoretice încearcă să realizeze niște legi de variație a rezistențelor în funcție de variația mărimii elementului și a distribuției defectelor în lungul elementului.

Normele europene folosesc teoria conform căreia veriga cea mai slabă dă rezistența elementului, conform unei distribuții de tip Weibull [10], dar are dezavantajul că nu se aplică eficient tuturor speciilor de lemn.

Acest tip de distribuție consideră că defectele și alte elemente care scad rezistența lemnului sunt distribuite aleator, au o mărime variabilă, astfel elementul studiat este considerat ca fiind un element de tip lanț alcătuit dintr-o serie de volume înlănțuite care au valori diferite ale rezistenței, în acest caz veriga cea mai slabă va dicta rezistența totală a elementului supus la încercări mecanice.

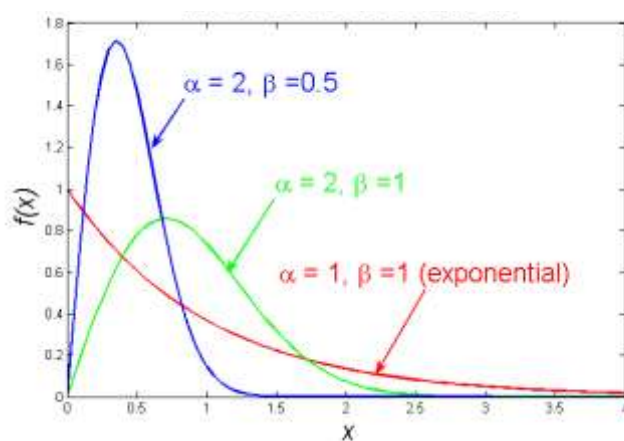


Fig.2.4 – Distribuție tip Weibull

Pentru două elemente care au volumele V_1 respectiv V_2 iar distribuția rezistențelor este de tip Weibull atunci relația între eforturile unitare și volum este:

$$\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right) = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1/k} \quad (\text{Ec. 2.27})$$

Unde k este factorul de forma al distribuției Weibull iar σ_1, σ_2 eforturile unitare ale elementelor respective. Această ecuație ar trebui dezvoltată pentru a lua în considerare și variația în distribuția eforturilor pe lungimea elementului pentru încercările la încovoiere, dezvoltare inexistentă momentan în normele EC5.

Prin descompunerea volumului V într-un produs între dimensiunile geometrice ale elementului ($V_1 = b_1 \times h_1 \times l_1$ etc.) ecuația (Ec. 2.27) devine :

$$\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right) = \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^{1/kb} \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^{1/kh} \left(\frac{L_1}{L_2}\right)^{1/kL} \quad (\text{Ec. 2.28})$$

Exponenții sunt factorii de formă ai funcției de distribuție pentru fiecare dimensiune în parte.

Mergând mai departe, ținând cont de faptul că lățimea elementelor nu variază semnificativ și de faptul că în general pentru încercări se folosesc elemente care satisfac un anumit raport între înălțimea secțiunii și deschiderea de calcul, relația se poate simplifica folosind un singur raport și un coeficient de formă a distribuției în funcție de raportul h/L :

$$\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right) = \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^{1/khL} \quad (\text{Ec. 2.29})$$

Aceasta este abordarea folosită de eurocode pentru determinarea rezistenței la încovoire, încercarea făcându-se pe un element încărcat în două puncte având un raport între deschidere și înălțimea secțiunii de 18 plus/minus toleranța [11]

2.2.5 Conlucrarea elementelor structurale

În cazul mai multor elemente similare dispuse la distanțe egale care sunt supuse unei încărcări uniform distribuite, acestea vor conlucra și vor prelua încărcările într-un mod mai eficient. Astfel la o parte din rezistențele de calcul se poate crește valoarea acestora prin utilizarea unui factor de conlucrare k_{sys} (system strength factor). Acesta se folosește acolo unde sistemul structural poate duce la redistribuirea încărcărilor, astfel elementele mai rigide vor prelua o parte mai mare a încărcării față de cele mai slabe.

Acest sistem trebuie să fie capabil să transfere încărcări de la un element la elementele adiacente acestuia, astfel valoarea k_{sys} se va lua egală cu 1,1 în următoarele cazuri:

- a) Podele structurale conectate la o rețea de grinzi, dacă podeaua este continuă pe cel puțin două deschideri; pentru un sistem de minim patru grinzi la care îmbinările sunt dispuse decalat;
- b) Pereți realizați din cadre;
- c) Șarpante, astereli realizate din scânduri sau panouri dispuse pe căpriori, unde elementul care distribuie încărcarea este continuu pe cel puțin două deschideri, îmbinările sunt dispuse decalat iar distanța maximă dintre căpriori este de 1,2 m.

Pentru dimensionarea unui astfel de sistem structural, încărcarea distribuită se va considera ca fiind de scurtă durată.

2.3 Acțiuni la podurile rutiere

Acțiunile la podurile rutiere se vor lua în conformitate cu EN 1991-2 “Actions on structures - Part 2: Traffic loads on bridges”, secțiunea 4, respectiv SR EN 1991-2:2005.

Acțiunile din trafic se definesc prin diferite modele de încărcări. Aceste modele sunt astfel alese încât prin efectele lor să acopere toate situațiile normale de trafic previzibile precum și efectele traficului de perspectivă.

2.3.1 Împărțirea carosabilului în benzi teoretice de circulație

Divizarea părții carosabile în benzi teoretice de circulație ține seama de posibile modificări ulterioare ale benzilor de circulație în perioada de exploatare a podului. Lățimea părții carosabile trebuie considerată între borduri sau limitele interioare ale sistemelor de restricție pentru vehicule.

Tab. 2.5 – Numărul și lățimea benzilor teoretice de circulație

Lățimea părții carosabile w	Numărul benzilor teoretice n_1	Lățimea unei benzi teoretice	Lățimea zonei rămase
$w < 5,4$ m	1	3 m	$w - 3$ m
$5,4$ m $\leq w < 6$ m	2	$w/2$	0
6 m $\leq w$	$\text{int}(w/3)$	3 m	$w - 3n_1$

Pentru fiecare verificare, numărul benzilor încărcate, poziția lor pe partea carosabilă, numerotarea lor, trebuie astfel alese încât efectele să fie cele mai defavorabile. Poziția benzii nu este necesar să fie asociată cu numerotarea lor, numerotarea se face după efectul defavorabil pe care îl produce.

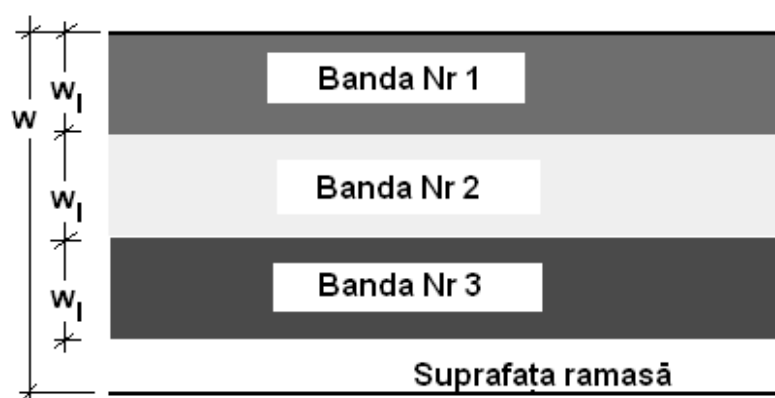


Fig.2.5 – Numerotarea benzilor teoretice de circulație

2.3.2 Modele de încărcare

În cele ce urmează se vor prezenta pe scurt modelele de calcul utilizate la dimensionarea podurilor rutiere.

2.3.2.1 Modelul 1 de încărcare (Load Model 1 – LM1)

Acest model este acoperitor pentru un trafic aglomerat cu un procent mare de vehicule grele și se împarte în două sisteme parțiale după cum urmează:

- Sistem tandem(două axe) de forțe concentrate $\alpha_Q Q_{ik}$, $\alpha_Q \leq 1$ (sistem tandem - TS), câte un singur sistem per bandă, sistem care circulă centrat în lungul axei acesteia;
- Încărcare uniform distribuită (sistem UDL) având o intensitate de $\alpha_q q_{ik}$ ($\alpha_q q_{rk}$ pe suprafața zonelor rămase), $\alpha_q \leq 1$ pe metru pătrat. Valoarea coeficienților α_Q și α_q se recomandă a fi luată 1 (trafic industrial greu).

În cazul unui trafic obișnuit se pot reduce factorii α cu 10% sau chiar 20% după caz, iar în cazul aplicării a două sisteme tandem pe benzi adiacente, distanța între axele celor două sisteme se poate micșora la minim 2,5 m.

Tab. 2.6 – Încărcări conform LM 1

Poziția	TS	UDL
	Încărcare pe osie Q_{ik}	q_{ik} sau q_{rk}
Banda Nr. 1	300 kN	9 kN/m ²
Banda Nr. 2	200 kN	2,5 kN/m ²
Banda Nr. 3	100 kN	2,5 kN/m ²
Alte benzi	0	2,5 kN/m ²
Suprafața rămasă	0	2,5 kN/m ²

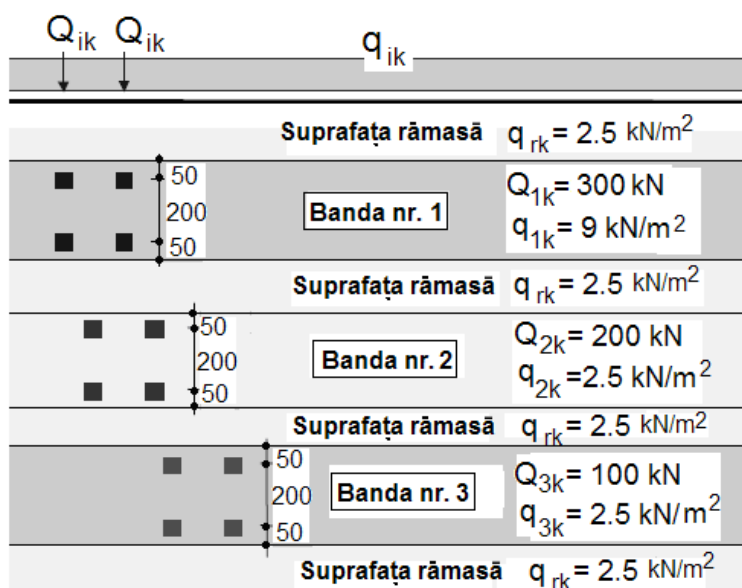


Fig.2.6 – Convoi LM 1

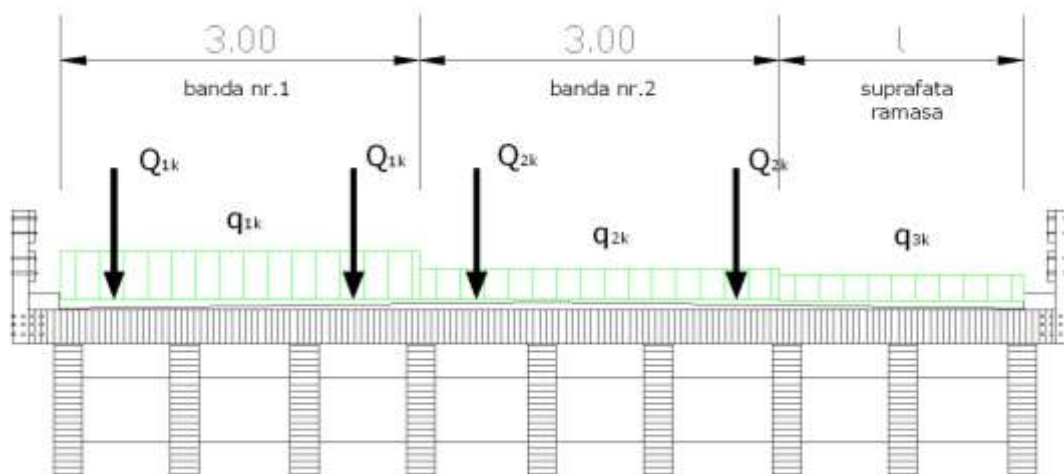


Fig.2.7 – Convoi LM1 în secțiune transversală pe pod

2.3.2.2 Modelul 2 de încărcare (Load model 2 - LM2)

Se folosește la elemente structurale cu deschideri mici și acoperă efectele traficului uzual. Convoiul constă dintr-o singură încărcare dispusă pe o osie simplă, încărcare egală cu 400 kN, încărcare ce se poate aplica în orice poziție pe partea carosabilă a podului.

Se va amplasa astfel încât rezultatul să fie cât mai defavorabil asupra structurii.

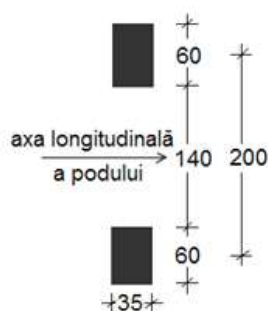


Fig.2.8- Convoi LM2

2.3.2.3 Modelul de încărcare 3 (Load model 3 – LM3)

Se referă la transport agabaritic, reprezentând modele standardizate de vehicule speciale. Se limitează doar la cazuri speciale, la cerința beneficiarului.

2.3.2.4 Modelul de încărcare 5 (Load model 5 – LM5)

Definiște aglomerările de oameni pe partea carosabilă și se compune dintr-o încărcare uniform distribuită de 5 kN/m² în care este inclusă amplificarea dinamică.

2.3.3 Grupuri de încărcări din trafic la podurile de șosea

Acțiunea simultană a sistemelor de încărcare se consideră cu ajutorul grupelor de încărcări definite în tabelul următor:

Tab. 2.7 – Grupuri de încărcări la podurile rutiere în conformitate cu normele Eurocode

		Partea carosabilă					Trotuare și piste	
Tipul încărcării		Forțe verticale			Forțe orizontale		Forțe verticale	
Referință EC 1-2		4.3.2	4.3.3	4.3.4	4.3.5	4.4.1	4.4.2	5.3.2-(1)
Sistemul de încărcare		LM1	LM2	LM3	LM4	Frânare/tracțiune	Forța centrifugă	Forța uniform distribuită
Grupuri de încărcări	gr1a	Valori caracteristice				(a)	(b)	Valoarea comb. (b)
	gr1b		Valoarea k(*)					
	gr2	Valori frecvente				Valoarea k	Valoarea k	
	gr3.d							Valoarea k(c)
	gr4				Valoarea k			Valoarea k(b)
	gr5	Anexa A, EC1-2		Valoarea k				

unde:

(*) – K = caracteristică

(a) – se definește în anexa națională

(b) – se definește în anexa națională; valoarea recomandată de 3kN/m²

(c) – numai un trotuar poate fi încărcat dacă efectul este mai defavorabil în acest caz

(d) – grupul nu este relevant dacă se consideră grupul 4

2.3.4 Acțiuni pentru situații de proiectare accidentale

În normele EC1-2 sunt definite următoarele situații de proiectare accidentale:

- Forțe din izbirea de către vehicule care circulă sub pod;
- Acțiuni de la vehiculele de pe pod:
 - Vehicule pe trotuare;
 - Forțe din izbirea de borduri;
 - Forțe din izbirea de barierele de securitate;
 - Forțe din izbirea de elementele structurale.

2.4 Acțiuni la trotuare, piste de bicicliști și pasarele

Aceste încărcări rezultă din traficul pietonal și al bicicliștilor, precum și încărcări provenite din acțiunea de întreținere a structurilor, datorită construcțiilor minore și a situațiilor accidentale.

2.4.1 Convoaie de calcul static pentru încărcări verticale

Aceste încărcări se folosesc pentru a determina efectele statice asupra structurii și pentru a face verificările necesare la stările limită impuse și verificări particulare în exploatare.

Acestea se utilizează atât în situațiile permanente cât și în cele tranzitorii.

Sunt considerate trei convoaie distincte care se exclud reciproc, după cum urmează:

- O forță uniform distribuită q_{fk} ;
- O forță concentrată Q_{fvk} ;
- încărcare reprezentând vehiculele de serviciu Q_{serv} .

2.4.1.1 Încărcarea uniform distribuită q_{fk}

În cazul trotuarelor pietonale sau piste de bicicliști se aplică forța uniform distribuită q_{fk} .

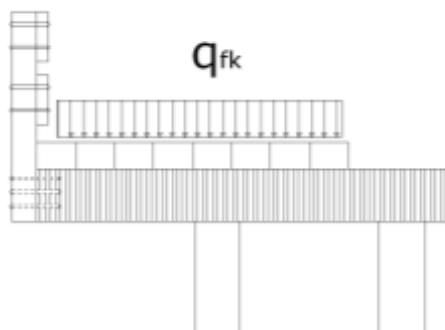


Fig.2.9 – Încărcare uniform distribuită pe trotuare, din pietoni

Valoarea recomandată este de 5 kN/m^2 identic cu încărcarea uniformă din LM4, și se poate reduce la 3 kN/m^2 când acționează concomitent cu LM1.

În cazul în care nu este necesară aplicarea încărcării maxime, pentru calculul trotuarelor se va lua valoarea :

$$q_{fk} = 2 + \frac{120}{L + 30} \text{ [kN / m}^2\text{]} \quad (\text{Ec. 2.30})$$

$$\text{Unde: } 2,5 \text{ kN/m}^2 \leq q_{fk} \leq 5 \text{ kN/m}^2$$

2.4.1.2 Încărcarea concentrată Q_{fvk}

Această forță va acționa pe o suprafață pătrată cu latura de 0,10 m, și se recomandă utilizarea ei pentru a determina efectele locale din încărcare.

În cazul în care se prevede utilizarea unui vehicul de serviciu ca încărcare, aceasta nu se va mai lua în considerare.

Valoarea caracteristică este de 10 kN.

2.4.1.3 Vehicul de serviciu Q_{serv}

Pentru calculul pasarelelor sau a trotuarelor se consideră un singur vehicul de întreținere Q_{serv} ; acesta poate fi un vehicul pentru lucrări de întreținere, ambulanță, pompieri sau pentru alte servicii și urgențe.

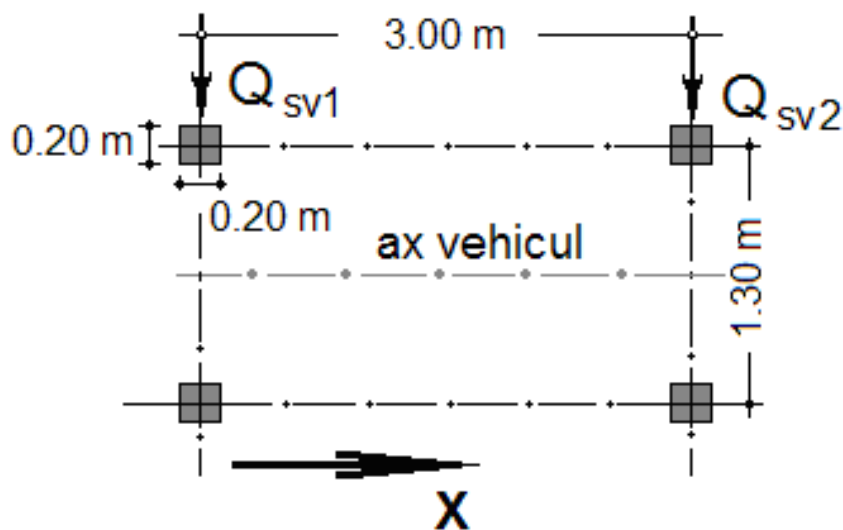


Fig.2.10 – Vehicul de serviciu Q_{serv}

În cazul în care nu există elemente de blocare a accesului pe pasarele sau trotuare sau alte prescripții, în proiect se va utiliza vehiculul definit în figura de mai sus, nemaifiind necesară considerarea aceluiași vehicul și la încărcări accidentale.

Valorile caracteristice ale încărcărilor sunt:

- $Q_{sv1} = 80$ kN;
- $Q_{sv2} = 40$ kN.

2.4.2 Convoaie de calcul statice pentru forțe orizontale

La pasarele se consideră o forță orizontală de-a lungul axei suprastructurii, la nivelul carosabilului, notată cu Q_{flk1} .

Aceasta se consideră că acționează simultan cu celelalte încărcări din plan vertical în în afară de forța concentrată Q_{fwk} .

Valoarea caracteristică se alege ca fiind cea mai mare dintre următoarele:

- 10% din încărcarea totală din forțe uniform distribuite;
- 60% din greutatea totală a vehiculului de serviciu(după caz).

2.4.3 Grupuri de încărcări la pasarele

La fel ca și la poduri, există și în acest caz niște grupuri aplicabile de încărcări, grupuri care se exclud reciproc și se consideră că definesc acțiuni caracteristice pentru combinații de încărcări ce nu provin din trafic.

Tab. 2.8 – Grupuri de acțiuni la pasarele

Tipul încărcării		Forțe verticale		Forțe orizontale
Sistemul de încărcare		Forță uniform distribuită	Vehicul de serviciu	
<i>Grupe de încărcare</i>	<i>gr1</i>	q_{fk}	0	Q_{flk}
	<i>gr2</i>	0	Q_{serv}	Q_{flk}

2.4.4 Acțiuni pentru situații de proiectare accidentale

Conform normelor europene, aceste acțiuni se împart în patru categorii distincte:

- Forțe din izbirea de către vehicule rutiere care circulă sub pod;
- Forțe din izbirea de pile;
- Forțe din izbirea de tablier;
- Prezența accidentală a vehiculelor pe pasarelă.

2.5 Acțiunea vântului

Evaluarea acțiunii vântului se face în conformitate cu EC 1 – part 1-4, iar presiunea echivalentă exercitată se calculează cu relația:

$$q_p(z_e) = C_e(z_e) \frac{\rho}{2} V_b^2 \quad (\text{Ec. 2.31})$$

unde :

- $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$ – densitatea aerului;
- V_b – viteza vântului;

- $C_e(z_e)$ – coeficient de expunere ce se calculeaza în funcție de altitudinea mijlocului tablierului față de linia terenului și se calculeaza astfel:

$$C_e(z_e) = C_r^2(z_e)C_0^2(z_e)[1 + 7l_V(z_e)] \quad (\text{Ec. 2.32})$$

- C_r - coeficient de rugozitate;
- C_0 – coeficient topografic;
- l_V – intensitatea turbulentei.

Terenul pe care este amplasat podul se împarte în cinci categorii după cum urmează:

Tab. 2.9 – Categoriile ale terenului de amplasament (tabelul 4.1 din EC1-Part 1-4)

NATURA TERENULUI DE AMPLASARE	CATEGORIA
zonă de litoral expusă deschis	0
zone plate cu vegetație redusă și fără obstacole	I
zone cu vegetație redusă și obstacole izolate	II
zone cu vegetație uniformă și obstacole la max. $20 \cdot H_{\text{obstacol}}$ (sate, suburbii)	III
zone în care cel puțin 15% din suprafață e acoperită cu clădiri cu $H > 15\text{m}$	IV

În funcție de această clasificare se poate determina valoarea coeficientului de expunere C_e pentru o anumită altitudine de referință Z_e care are o valoarea cunoscută, folosind diagrama următoare:

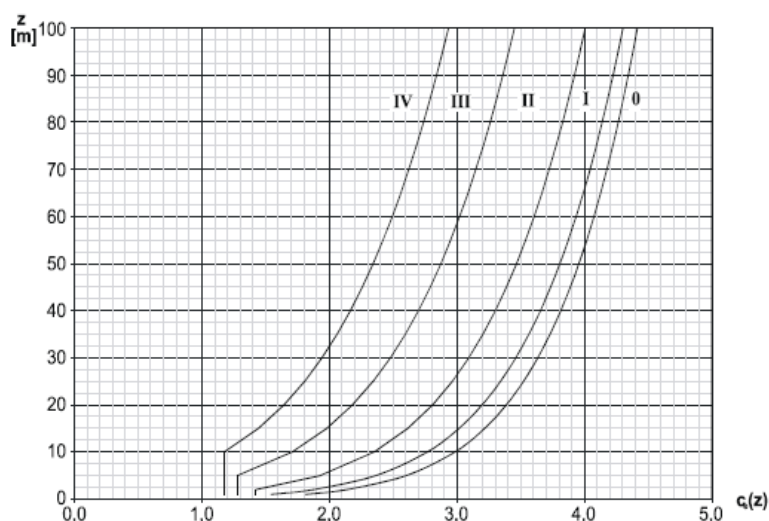


Fig.2.11 – Diagramă de determinare C_e (fig. 4.2 din EC1-Part 1-4)

Forța ce acționează asupra podului din acțiunea vântului se calculează cu formula următoare:

$$F_{W,x} = q_p(z_e)C_{f,x}A_{ref,x} \quad (\text{Ec. 2.33})$$

unde:

- $C_{f,x}$ – este coeficient în funcție de raportul dintre înălțimea expusă acțiunii vântului și lățimea efectivă a tablierului, conform figurii următoare:

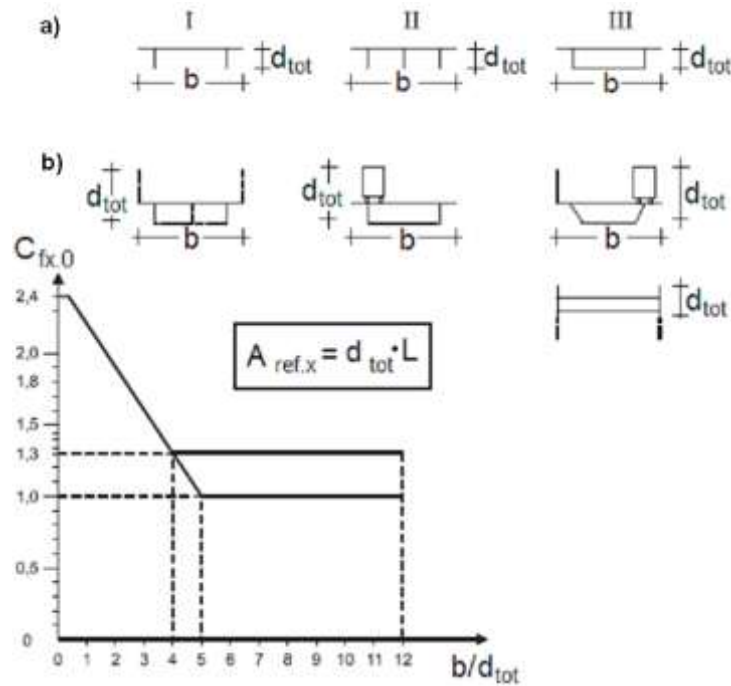


Fig.2.12 – Calculul coeficientului $C_{f,x}$ (fig. 8.3 din EC1-Part 1-4)

Evaluarea suprafeței bătute de vânt se face cu ajutorul coeficientului $\alpha=A_w/A$ și se determină astfel:

- Pentru grinzi cu inimă plină $\alpha=1$;
- Pentru grinzi cu zăbrele cu $L < 60$ m, $\alpha=0,4$;
- Pentru grinzi cu zăbrele cu $L \geq 60$ m , α se calculează pentru $A_w = 1.75 (A_t+A_z)$

unde:

A_t - aria expusă la vânt din talpă;

A_z - aria expusă la vânt din zăbrele;

2.6 Combinarea acțiunilor

În combinarea acțiunilor pentru proiectarea prin metoda stărilor limită intervin următorii coeficienți, conform EN 1990. Anexa A2 :

- γ - coeficienți parțiali ai acțiunilor;
- ψ_i - factori de combinație ai acțiunilor, care se împart în trei categorii:
 - ψ_0 - factor de combinare pentru acțiuni variabile persistente (permanente) sau tranzitorii \Rightarrow combinații fundamentale;
 - ψ_1 - factor pentru valori frecvente ale acțiunilor variabile;
 - ψ_2 - factor pentru valori accidentale ale acțiunilor variabile.

Combinarea acțiunilor se face cu relațiile:

- *Combinarea fundamentală din acțiuni persistente (permanente) și tranzitorii:*

$$\gamma_G \cdot G + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (\text{Ec. 2.34})$$

- *Combinarea acțiunilor pentru situații accidentale:*

$$\gamma_G \cdot G + \gamma_{Q,1} \cdot (\Psi_{1,1} \text{ sau } \Psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (\text{Ec. 2.35})$$

- *Combinarea acțiunilor pentru calcul seismic:*

$$G + A_{Ed} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (\text{Ec. 2.36})$$

$Q_{k,1}$ reprezintă acțiunea variabilă principală, în cazul podurilor cu încărcările din convoi.

Poduri de șosea:

Coefficienții care intervin la combinarea acțiunilor în cazul podurilor de șosea, pentru verificări în starea limită ultimă (ULS), au următoarele valori:

- $\gamma_G = 1.35$

Convoi:

- $\gamma_{Q,i} = 1.35$

$$- \psi_0 = \psi_1 = \begin{cases} 0.75 & \text{– gr.1a – TS (tamdem)} \\ 0.40 & \text{– gr.1a – UDL (uniform distr.)} \end{cases}$$

- $\psi_2 = 0$

Acțiunea vântului:

persistente: $\psi_0 = 0.6; \quad \psi_1 = 0.2; \quad \psi_2 = 0;$

execuție: $\psi_0 = 0.8; \quad - \quad \psi_2 = 0;$

acțiuni compatibile: $\psi_0 = 1.0; \quad \psi_1 = 0; \quad \psi_2 = 0$

Pasarele:

- $\gamma_G = 1.35; \quad \gamma_{Q,i} = 1.35$

Gr. I: $\psi_0 = \psi_1 = 0.40; \quad \psi_2 = 0$

Acțiunea vântului: $\psi_0 = 0.3; \quad \psi_1 = 0.2; \quad \psi_2 = 0$

Capitolul 3 – Studiul teoretic cu privire la calculul tensiunilor și deformațiilor în grinzile realizate din lemn lamelat încleiat

3.1 Pregătirea probelor care urmează a fi încercate

În conformitate cu Normele Europene EN 408-2010, elementele ce urmează a fi testate trebuie să îndeplinească anumite standarde de calitate, astfel se vor respecta următoarele prevederi cu privire la:

3.1.1 Dimensiunea epruvetelor

Eroarea în urma măsurărilor trebuie să fie sub 1%, iar dacă lățimea sau grosimea probei variază atunci se va nota și calcula media aritmetică a trei măsurători separate efectuate pe diferite poziții ale elementului.

Nu se vor face măsurători la o distanță mai mică de 150 mm de capete.

Specimenele testate la încercări perpendiculare pe fibre se vor verifica pentru planeitate.

3.1.2 Umiditatea epruvetelor

Umiditatea pentru probele testate se va determina conform EN 13183-1 pe o secțiune a epruvetei.

Pentru elementele structurale se va prelua pentru determinarea umidității o secțiune transversală completă, iar pentru teste perpendiculare pe fibre umiditatea se va determina pe proba întregă.

În cazul determinărilor pentru încovoiere sau întindere, sau compresiune paralelă cu fibra, secțiunea pe care se va face determinarea trebuie aleasă cât mai aproape de zona ruperii.

3.1.3 Determinarea densității

Pentru determinarea densității se va prelua o probă fara noduri sau pungi de rășină, iar în cazul elementelor structurale această secțiune trebuie să fie o secțiune transversală completă.

Pentru a corela densitatea cu rezultatele obținute în urma testelor de rezistență, aceasta secțiune se va alege cât mai aproape de zona ruperii.

În cazul testelor perpendiculare pe fibră, densitatea se determină înaintea testării efective.

3.1.4 Aclimatizarea probelor

Toate epruvetele se vor aclimatiza la mediul ambiant de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ și $65\pm 5\%$ umiditate relativă. Aclimatizarea se consideră completă atunci când masa epruvetelor nu mai variază, adică două cântăriri succesive, efectuate la 6h distanță, să nu aibă o diferență mai mare de 0,1% din masa epruvetei.

Epruvetele de dimensiuni reduse se vor scoate din mediul ambiant controlat doar cu maxim o oră înainte de efectuarea testelor.

3.2 Raportarea rezultatelor

Rapoartele obținute în urma testărilor trebuie să includă detalii cu privire la epruveta de test, la metoda utilizată pentru testare precum și rezultatele obținute.

Aceste date se vor detalia după cum urmează [12]:

3.2.1 Epruveta de test

- Descrierea probei din punct de vedere al specificațiilor, al speciei folosite, al clasei, al densității, ale prezentelor defecte sau altor elemente care reduc caracteristicile mecanice;
- Forma și dimensiunile probei, tipul îmbinărilor, adezivul folosit, orientarea și numărul laminărilor folosite;
- Catalogarea materialului folosit după proveniență, date despre fabricant;
- Metoda selectării probelor;
- Metoda folosită pentru aclimatizare;
- Orice altă informație care ar avea legătură cu rezultatele care urmează a fi obținute.

3.2.2 Metoda de testare

- Referințe la metoda aleasă;
- Temperatura și umiditatea relativă a mediului la momentul testării;
- Descrierea aparaturii folosite;
- Orice altă informație care ar avea legătură cu rezultatele care urmează a fi obținute.

3.2.3 Rezultatele

- Umiditatea probei la momentul testării;
- Dimensiunile geometrice;
- Valorile rezistențelor obținute;
- Localizarea și forma cedărilor;
- Timpul până la atingerea încărcării maxime;
- Orice altă informație care ar avea legătură cu rezultatele care urmează a fi obținute.

3.3 Analiza grinzilor realizate din lemn supuse la încovoiere conform EC 5

În conformitatea cu norma EUROCODE 5 cu privire la calculul și dimensionarea elementelor de construcții din lemn, se va utiliza metoda stărilor limită și se iau în considerare cele două tipuri :

- stări limită ultime – corespund pierderii capacității portante sau alte pierderi ireversibile a posibilității exploatarei structurii;
- stări limită de exploatare normală – are în vedere stoparea exploatarei normale a elementelor.

Ca parametri de calcul avem acțiunile, proprietățile materialului și elementele geometrice ale probei folosite. Pentru dimensionarea elementelor se pot utiliza două metode: prima ar fi impunerea unei secțiuni și verificarea eforturilor și a deformațiilor și verificarea acestora iar a doua constă în determinarea dimensiunilor minime ale secțiunii necesare calculate pentru eforturile și deformațiile admisibile și alegerea unei secțiuni sporite față de aceasta.

Datorită neomogenității lemnului și a dispersiei valorilor rezultate în urma încercărilor se recomandă utilizarea unui număr cât mai mare de epruvete.

3.3.1 Calculul la starea limită ultimă

Se face verificarea ca efortul unitar din momentul de calcul să fie mai mic ca valoare decât rezistența de calcul la încovoiere:

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

$$f_{m,d} = k_{mod} k_{crit} k_{ls} k_h f_{m,k} / \gamma_M \quad (\text{Ec. 3.2})$$

unde:

$\sigma_{m,d}$ – efortul unitar din momentul de calcul;

$f_{m,d}$ – rezistența de calcul la încovoiere;

k_{mod} – coeficient care ține seama de variația rezistenței cu durata de încărcare și umiditatea elementului;

γ_M – coeficient parțial de siguranță pentru material;

$f_{m,k}$ – rezistența caracteristică la încovoiere;

k_{crit} – coeficient care ia în considerare fenomenul de instabilitate;

k_{ls} – coeficient care ia în considerare efectul sistemului asupra capacității portante;

k_h – coeficient de înălțime.

Folosirea acestor coeficienți precum și valorile acestora sunt prezentate detaliat în capitolul al doilea.

3.3.2 Calculul la starea limită de deformație

Calculul în această ipostază se face comparând valorile săgeții finale care trebuie comparate cu valorile limită impuse prezentate în Tab. 3.5 – Săgeți admisibile pentru diferite elemente de construcție Tab. 3.5.

Săgețile se calculează cu formulele:

$$u_{fin} = u_{inst}(1 + k_{def}) \quad (\text{Ec. 3.3})$$

$$u_{fin} = u_{inst,G}(1 + k_{def}) + u_{inst,Q1}(1 + \Psi_{2,1}k_{def}) + \sum u_{inst,Qi}(\Psi_{0,i} + \Psi_{2,i}k_{def}) \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Normele EUROCODE 5 recomandă utilizarea valorilor maxime admisibile pentru deformații instantanee din încărcările variabile $u_{2,inst}$, pentru deformațiile finale datorită încărcărilor variabile $u_{2,fin}$ și pentru deformațiile nete finale la care se ia în calcul și contrasăgeata u_0 .

$$u_{net} = u_1 + u_2 - u_0 \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Pentru valorile instantanee se recomandă limitarea săgeții astfel:

- $u_{2,inst} \leq l/300$ la grinzi și $l/150$ la console ;

Pentru cele finale :

- $u_{2,fin} \leq l/200$ la grinzi și $l/100$ la console ;
- $u_{net,fin} \leq l/200$ la grinzi și $l/100$ la console.

3.3.3 Natura ruperilor, factori care influențează rezistența la încovoiere

3.3.3.1 Comportarea și natura ruperilor

În timpul solicitării la încovoiere proba va suferi un complex de solicitări atât de întindere (la partea inferioară) cât și de compresiune (la partea superioară). Variația acestor eforturi unitare nu este una liniară deoarece capacitatea de deformare elastică a lemnului este inferioară față de cea de întindere astfel, partea comprimată intră în curgere iar repartiția eforturilor unitare de compresiune va fi sub forma unei curbe iar axa neutră se deplasează spre partea întinsă, fapt prezentat în Fig.3.1

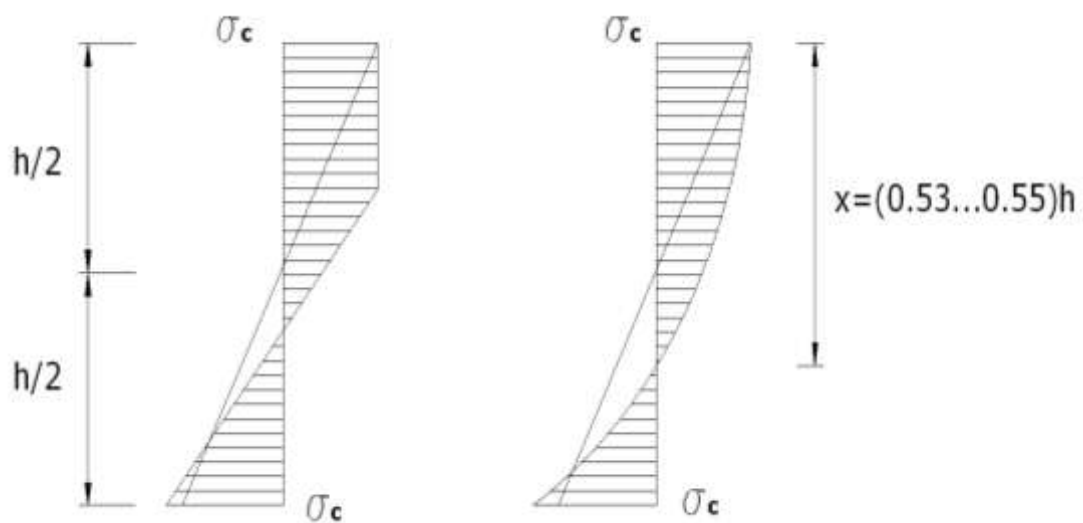


Fig.3.1 – Repartizarea eforturilor unitare într-o grindă din lemn înleiat supusă la încovoiere [13]

unde rezistența la încovoiere este dată de maximumul obținut din relația:

$$\sigma_i = \pm \max M/W \quad (\text{Ec. 3.6})$$

unde:

- σ_i – rezistența la încovoiere;
- M – momentul încovoiitor de rupere;
- W – modulul de rezistență al secțiunii.

3.3.3.2 Influența densității

Densitatea influențează direct proporțional rezistența la încovoiere statică; astfel o densitate crescută în cadrul aceleiași specii este un lucru pozitiv. Pus în forma unei relații această influență se calculează cu următoarea formulă:

$$\sigma_i = 2100\rho_0 - 420 \quad (\text{Ec. 3.7})$$

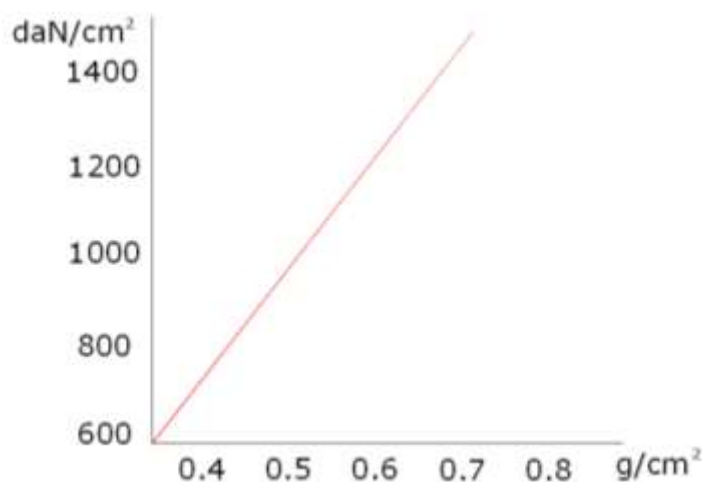


Fig.3.2 – Influența densității lemnului de molid asupra rezistenței la încovoiere [12]

3.3.3.3 Influența nodurilor și a structurii

Defectele naturale ale materialului lemnos influențează negativ în mod direct și destul de puternic rezistențele la încovoiere, dezavantaj mare în cazul elementelor de mari dimensiuni realizate din lemn masiv unde defectele nu sunt distribuite uniform.

În schimb, la elementele realizate din lemn încleiat, dispunerea scândurilor este astfel aleasă încât defectele naturale să fie uniform distribuite în lungul elementului, pentru a nu favoriza cedarea în anumite secțiuni.

Această influență este mai problematică dacă defectul se află în zona întinsă, în zona comprimată nefiind o problemă majoră.

3.3.3.4 Influența umidității și a temperaturii

Umiditatea este alt factor care influențează negativ rezistențele mecanice ale lemnului, indiferent de specie. Peste punctul de saturație al fibrelor, aceasta nu mai influențează major aceste rezistențe. Astfel variația caracteristicilor lemnului în funcție de umiditate diferă după caracteristica mecanică vizată și direcția de acționare a forței, după cum urmează:

Tab. 3.1 – Variația caracteristicilor mecanice ale lemnului în funcție de umiditate [13]

Caracteristica mecanică	Variația maxima (%)
Compresiune paralelă cu fibra	5
Compresiune perpendiculară pe fibre	5
Încovoiere	4
Întindere paralelă cu fibra	2.5
Întindere perpendiculară pe fibre	2
Forfecare perpendiculară pe fibre	2.5
Modul de elasticitate paralel cu fibrele	1.5

Pentru calculul elementelor se vor utiliza valorile rezistențelor pentru o umiditate standard de 12%, valori corectate ulterior în funcție de condițiile de exploatare a elementelor.

Temperatura are o influență invers proporțională asupra rezistenței la încovoiere, aceasta din urmă scăzând în medie cu 5-6 daN/cm² pentru fiecare creștere cu un grad Celsius peste valoarea de 0° C. Rezistența la încovoiere este maximă pentru lemnul înghețat.

3.3.4 Calculul teoretic al grinzilor realizate din lemn lamelat încleiat; modelul de calcul Karlsruhe

Pentru calculul grinzilor realizate din elemente încleiate se folosesc modele speciale care țin cont de efectul acestor laminări asupra elementului structural.

Cel mai folosit este *modelul de calcul Karlsruhe*, model elaborat de Ehlbeck, Górlacher și Colling [14]. Acest model descompune elementul încleiat în subdiviziuni numite celule, celule ce corespund unei porțiuni de 150 mm dintr-o laminare, iar fiecare laminare este compusă din două tipuri de “materiale”: lemn sau îmbinare în dinți.

Calculul este efectuat de două programe de calcul computerizate independente, unul care simulează dispunerea lamelelor utilizate la încleiere și unul care face calculul prin metoda elementului finit. Primul program discretizează elementele laminate, poziționând îmbinările în dinți în conformitate cu măsurătorile efectuate și atribuie proprietățile fizico-mecanice fiecărei celule de-a lungul elementului.

Parametrii de calcul în această etapă sunt:

- Knot Area Ratio (KAR) – aria nodurilor dintr-o celulă proiectate pe un plan perpendicular pe laminări, arie raportată la aria secțiunii transversale;
- Densitatea elementului;

Fiecărui element separat de două îmbinări cap la cap în dinți i se va atribui o densitate și un coeficient KAR specific acelei laminări. Acest coeficient urmează a fi utilizat pe secțiunile lamelei cu scopul de a da valoarea unitară a coeficienților KAR pentru fiecare celulă în parte, prin înmulțirea coeficientului global cu un factor care ține seama de distribuția nodurilor pe fiecare celulă în parte.

Acești doi parametri sunt mai apoi utilizați pentru a calcula modulul de elasticitate și rezistențele fiecărei celule în urma unor ecuații de regresie care folosesc elemente aleatorii, astfel două celule care au același coeficient KAR nu vor avea aceleași valori ale modulului de elasticitate și ale rezistenței. Această rezistență se măsoară prin opunerea acesteia la deflexiune pe probe cu lungimea de 150 mm.

Îmbinările cap la cap, în dinți, a lamelelor sunt simulate în același mod ca cel prezentat anterior, cu precizarea că la proprietățile celulei se vor introduce proprietățile specifice îmbinării, spre deosebire de restul celulelor unde se introduc proprietățile fizico-mecanice ale lemnului.

Punctul slab al acestui model este strâns relaționat de modelul de cedare al grinzii. Acest model include patru tipuri de cedări întâlnite în timpul calibrării modelului de calcul. Se consideră că grinda a cedat dacă avem următoarele ipostaze, după cum urmează:

1. O îmbinare cap la cap aflată în laminările exterioare a cedat (fapt considerat deoarece îmbinarea, respectiv cedarea, are loc pe toată lățimea laminării);
2. Două celule vecine cedează la același nivel al eforturilor unitare;
3. Dacă cedează în urma eforturilor unitare și se află în apropierea unei regiuni predefinite, regiune situată în jurul unei celule ce a cedat anterior vezi Fig.3.3;
4. În caz că nici una din ipostazele precedente nu este îndeplinită, se consideră ca grinda a cedat odată cu cedarea celulei cu numărul cinci [15].

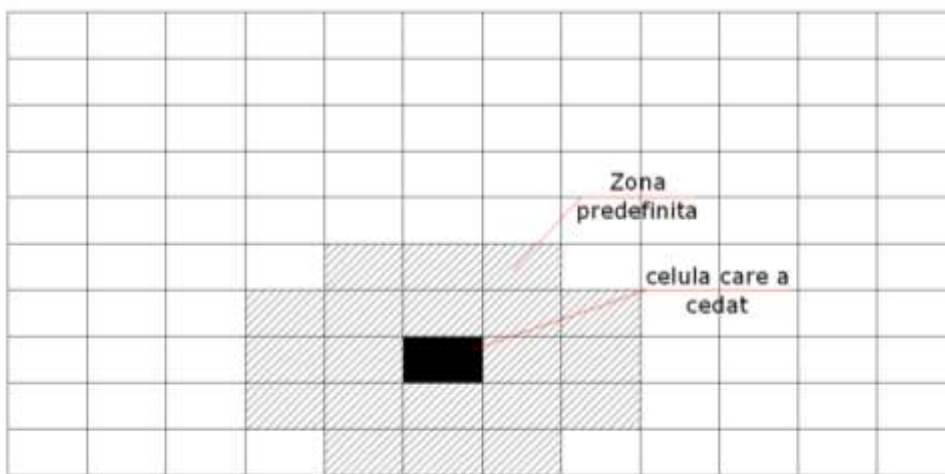


Fig.3.3- Zona predefinită în jurul unei celule ce a cedat în prealabil

Conform modelului de calcul există minim patru celule consecutive ce nu conțin o îmbinare cap la cap; astfel acele zone cu o rigiditate redusă vor fi supuse la eforturi mai mici direct proporționale cu reducerea rigidității în zona respectivă. Se poate admite astfel că o zonă relativ mică reportată la lungimea totală a grinzii căreia îi corespund rezistențe reduse nu va avea o influență semnificativă la nivelul capacității portante globale a elementului structural [16].

Acest model nu a fost folosit direct pentru metodele de proiectare în conformitate cu Normele Europene (EN), în mare parte datorită faptului că este un procedeu complicat. Spre deosebire de acest model, în EN este folosit un model simplu de calcul care ține cont strict de efortul unitar de întindere din lamela exterioară.

În conformitate cu acest model, rezistențele mecanice se vor calcula în funcție de rezistența caracteristică la întindere și modulul de elasticitate mediu $E_{1,mean}$ al laminărilor utilizate. Aceste formule de calcul sunt prezentate în tabelul următor:

Tab. 3.2 – Caracteristici mecanice pentru elementele realizate din lemn lamelat încleiat

Caracteristică	Paralel cu fibra ()/ perpendicular pe fibre(⊥)	Formula de calcul	Detalii obținere formule de calcul
Încovoiere		$f_{m,k}=7+1.15 f_{t,0,1,k}$	În urma studiilor teoretice
Întindere	()	$f_{t,0,k}=5+0.8 f_{t,0,1,k}$	În urma studiilor teoretice
	(⊥)	$f_{t,90,k}=0.2+0.015 f_{t,0,1,k}$	Empiric
Compresiune	()	$f_{c,o,k}=7.2 f_{t,0,1,k}^{0.45}$	Empiric
	(⊥)	$f_{c,0,g,k}=0.7 f_{t,0,1,k}^{0.5}$	Empiric
Forța tăietoare		$f_{v,k}=0.32 f_{t,0,1,k}^{0.8}$	Empiric
Modul de elasticitate mediu		$E_{mean}=1.05 E_{l,mean}$	În urma studiilor teoretice
Modul de elasticitate (5%)		$E_{0,5}=0.85 E_{l,mean}$	În urma studiilor teoretice
Modul de elasticitate trasnversal (G)		$G=0.065 E_{l,mean}$	În urma studiilor teoretice

Îmbinările cap la cap, în dinți, trebuie să satisfacă următoarea condiție :

$$f_{t,fj,k} \geq f_{t,0,1,k} + 5 \text{ MPa} \quad (\text{Ec. 3.8})$$

Această condiție de rezistență sporită a îmbinării elimină riscul apariției unei zone slăbite, susceptibilă cedării.

3.4 Calculul elementelor din lemn solicitate la încovoiere simplă, în conformitate cu norma NP 005-03

Calculul acestor elemente se face în două ipostaze, după cum urmează:

3.4.1 Calculul la starea limită de rezistență

În această ipostază se va compara solicitarea maximă din încovoiere, notată cu M , cu valoarea capacității portante a elementelor M_r , determinată cu relația de mai jos:

$$M_r = R_c^i * W_{calc} * m_{T,i} \quad (\text{Ec. 3.9})$$

unde:

R_c^i - rezistența de calcul a lemnului la încovoiere;

W_{calc} - este modulul de rezistență axial în secțiunea în care se face verificarea și va lua valoarea W_{brut} sau W_{net} în cazul în care nu există slăbiri în secțiune, respectiv când acestea există;

$m_{T,i}$ - coeficient de influență al tratării lemnului

acest coeficient $m_{T,i}$ se ia conform tabelului următor:

Tab. 3.3 – Valorile coeficientului de tratare $m_{T,i}$

Procedeu de tratare	Clasa de exploatare a construcției	
	1 și 2	3
Lemnul netratat	1.0	1.0
Lemn tratat pe suprafață	1.0	1.0
Lemn tratat în masă, având max. 100mm grosime	0.9	0.95
-calculul modului de elasticitate	0.7	0.85
-alte caracteristici		
Lemn ignifugat	0.9	0.9

Flambajul elementului nu se ia în considerare dacă se respectă reglementările cu privire la raportul maxim h/b pentru secțiunea elementului încovoiat, în funcție de condițiile de exploatare ale acestuia.

Tab. 3.4 – Condiții de asigurare la flambaj lateral

Condiții de asigurare la flambaj lateral	Raport maxim h/b pentru secțiune
Când nu există reazeme intermediare pe latura comprimată	4/1
Când se asigură rigidizarea laturii comprimate cu pene sau tiranți	5/1
Când se asigură rigidizarea laturii comprimate prin platelajul elementului de planșeu	6/1
Când se asigură rigidizarea elementului în planul de flambaj atât în zona comprimată cât și în cea întinsă	9/1

3.4.2 Calculul la starea limită de deformație

Datorită valorii relativ reduse a modului de elasticitate al lemnului, grinzile încovoiate suferă deformații mari care cresc de-a lungul timpului sub acțiunea încărcărilor de lungă durată.

Condiția de verificare la starea limită de deformație este:

$$f_{max,final} \leq f_{adm} \quad (\text{Fig. 3.4})$$

unde:

$f_{max,final}$ – este deformația maximă finală din încovoiere;

f_{adm} – este deformația admisibilă

Săgețile admisibile se determină în funcție de deschiderea de calcul, tipul și forma elementului și a caracterului construcției.

Tab. 3.5 – Săgeți admisibile pentru diferite elemente de construcție

Elementul de construcție	Valorile f_{adm} pentru construcții cu caracter	
	Permanent	Provizoriu
ferme din lemn, cu grinzi cu inimă plină:		
- Cu îmbinări cu tije	$l_c/400$	$l_c/350$
- Cu alte tipuri de îmbinări	$l_c/500$	$l_c/400$
grinzi realizate prin încliere	$l_c/500$	$l_c/500$

Săgeata maximă $f_{max,final}$ se determină ca fiind suma deformațiilor datorate solicitărilor din care se scade contrasăgeata inițială, dacă este cazul.

$$f_{max,final} = f_1 + f_2 + f_i - f_c \quad (\text{Ec. 3.10})$$

unde :

f_1 – este săgeata din încărcări permanente;

f_2 – este săgeata din încărcări temporare;

f_i - este săgeata din curgerea lentă a îmbinărilor;

f_c – contrasăgeata inițială a grinzii neîncărcate.

Tab. 3.6 – valorile săgeților maxime datorate curgerii lente a îmbinărilor

Tipul îmbinării	Deformația maximă (mm)
îmbinări prin chertare	1.5mm
Îmbinări cu tije cilindrice:	$0.5 d (L/L_{cap}) > 2.0 \text{ mm}$
-cuie	$0.1 d + 1\text{mm} > 2.0 \text{ mm}$
-buloane	$0.1 d > 2 \text{ mm}$
-șuruburi	
Îmbinări cu pene	3.0 mm

unde:

d – diametrul tije , L – efortul care revine tije , L_{cap} – capacitatea portantă minimă a tije

Deformațiile din încărcări permanente și temporare se determină considerând încărcările ca fiind normate și se va lua în considerare săgeata elastică instantanee f_{inst} și săgeata dezvoltată în timp datorită fluajului și a modului de exploatare (umiditatea de echilibru).

$$f = f_{inst} \cdot (1 + k_{def}) \quad (\text{Ec. 3.11})$$

Valorile coeficientului k_{def} se aleg în funcție de clasa de exploatare a construcției și de clasa de durată a încărcării, după cum urmează:

Tab. 3.7 – Valorile coeficientului k_{def}

Clasa de durată a încărcării	Valorile coeficientului k_{def} pentru clasa de exploatare:	
	1 și 2	3
Permanente	0.50	1.00
Lungă durată	0.25	0.50
Scurtă durată	0.00	0.00

Contrasăgețile au de obicei valoarea egală cu deformațiile ce pot apărea din încărcările permanente și eventual jumătate din cele provenite din încărcări cvasi-permanente.

3.5 Analiza elementelor realizate din lemn supuse la forfecare, conform normelor Eurocode 5

Solicitarea elementelor din lemn la forfecare poate apărea în două ipostaze: perpendicular sau paralel cu fibrele lemnului. La elementele încovoiate forfecarea perpendiculară pe fibre este asociată cu forfecarea echivalentă paralelă cu fibrele, fapt datorat rezistenței la forfecare paralel cu fibra, mult inferioară celei perpendiculare pe fibre.

3.5.1 Calculul la forfecare la elemente cu secțiune constantă

Verificarea impusă de normele Eurocode 5 este ca efortul tangențial de calcul să fie mai mic sau egal cu rezistența de calcul a lemnului la forfecare determinată în funcție de rezistența caracteristică la forfecare.

Efortul de tăiere maxim, notat cu τ_{dm} , se calculează ca fiind $1,5V/A$ și $4V/3A$ la elemente cu secțiune dreptunghiulară, respectiv circulară, unde V este forța tăietoare din reazem și A suprafața secțiunii.

$$\tau_d = (\gamma_G T_G + \gamma_Q T_Q) S_x / b I_x \leq f_{v,d} \quad (\text{Ec. 3.12})$$

$$f_{v,d} = k_{mod} f_{v,k} / \gamma_M \quad (\text{Ec. 3.13})$$

unde:

T_G – sunt forțele tăietoare din încărcări permanente ;

T_Q – sunt forțele tăietoare din încărcări variabile;

S_x – momentul static al secțiunii transversale;

I_x – momentul de inerție al secțiunii transversale;

B – lățimea secțiunii transversale;

$f_{v,d}$ – rezistența de calcul la forfecare;

$f_{v,k}$ – rezistența caracteristică la forfecare;

γ_G – coeficient parțial de siguranță pentru acțiuni permanente;

γ_Q – coeficient parțial de siguranță pentru acțiuni variabile;

γ_M – coeficient parțial de siguranță pentru material;

k_{mod} – coeficient care ține seama de variația rezistenței cu durata de încărcare și umiditatea elementului.

Norma Eurocode 5 prevede o reducere a contribuției forțelor tăietoare concentrate la efortul tangențial atunci când acestea se află la o distanța mai mică cu de două ori înălțimea secțiunii de reazem. Linia de influență utilizată în acest caz va arăta în felul următor:

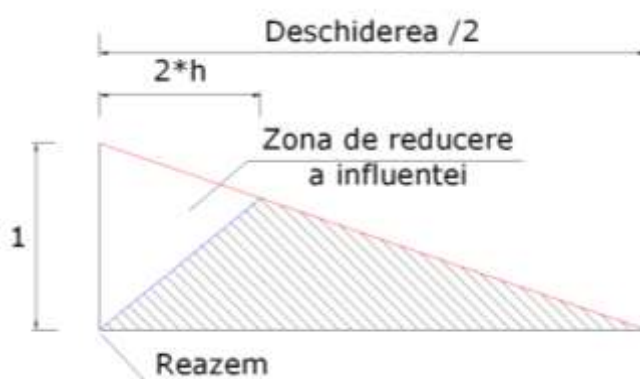


Fig.3.5 – Reducerea influenței forțelor tăietoare concentrate în funcție de punctul de încărcare în zona reazemului

3.5.2 Calculul la forfecare pentru elemente cu secțiune variabilă

În cazul elementelor care prezintă slăbiri secționale în zona reazemelor, calculul efortului tangențial se va face cu formula:

$$\tau_d = 1,5 * \frac{V}{bh_e} \leq k_v f_{v,d} \quad (\text{Ec. 3.14})$$

unde : V este forța tăietoare din reazem, H_e înălțimea redusă a secțiunii transversale în zona reazemului și k_v coeficient subunitar de influență al slăbirii asupra rezistenței de forfecare.

Acest coeficient are valoarea maximă 1,00 când slăbirea este la extradospel elementului, iar în cazul în care slăbirea este la intrados va lua valoarea minimă dintre 1,00 și rezultatul ecuației(Ec. 3.15).

$$k_v = \left[k_n \left(1 + \frac{1,1i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right) \right] / \sqrt{h} [\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8\beta\sqrt{1/\alpha - \alpha^2}] \quad (\text{Ec. 3.15})$$

unde :

i – panta prelucrării în zona reazemului;

k_n – coeficient care ține cont de material; are valoarea 5 pentru lemn masiv și 6,5 pentru lemn înleiat

α, β – coeficienți de secțiune; se calculează cu formulele de mai jos:

$$\alpha = h_e/h \quad (\text{Ec. 3.16})$$

$$\beta = x/h \quad (\text{Ec. 3.17})$$

unde:

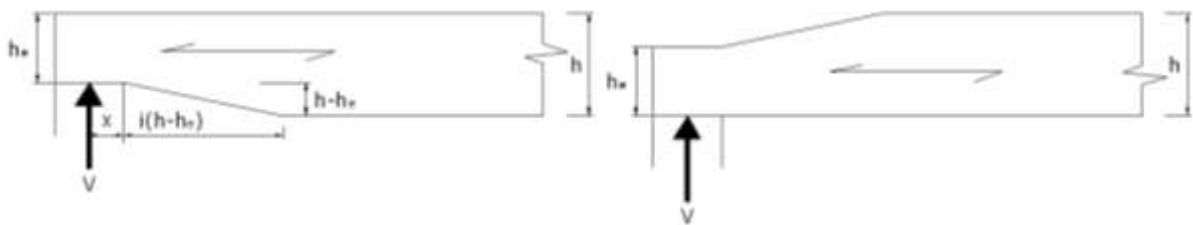


Fig.3.6 – Caracteristicile geometrice ale elementelor prelucrate în zona reazemelor la intrados respectiv extrados

Dacă elementele realizate din lemn lamelat înleiat prezintă slăbiri de secțiune în cadrul inimii, prin decupare de formă circulară sau rectangulară efortul tangențial se calculează cu relația:

$$\tau_d = 1,5V/bah \leq k_{hol}f_{v,d} \quad (\text{Ec. 3.18})$$

În acest caz ah reprezintă înălțimea redusă a secțiunii transversale și k_{hol} factorul de reducere a cărui valoare este influențată de raportul D/h , diametrul sau lungimea diagonale golului raportat la înălțimea secțiunii întregi.

Tab. 3.8 – Valorile coeficientului de reducere k_{hol}

Valoarea raportului D/h	Formula de calcul
$\leq 1,00$	$k_{hol} = 1 - 555(D/h)^3$
$>1,00$	$k_{hol} = 1,62(1,8 + D/h)^3$

3.6 Analiza elementelor din lemn solicitate la forfecare conform normei NP 005-03

Această normă împărțește solicitarea de forfecare în două cazuri distincte, în funcție de direcția de aplicare a forței raportată la direcția fibrelor.

3.6.1 Calculul elementelor solicitate la forfecare perpendicular pe direcția fibrelor

Aceste verificări se fac obligatoriu la grinzile cu deschideri mici supuse la încovoiere care suportă încărcări mari, precum și la elementele pe care acționează forțe concentrate mari în apropierea reazemelor.

Valoarea forței tăietoare se compară cu valoarea capacității portante la forfecare a secțiunii care se calculează astfel:

$$V_r = R_{f\perp}^c A_f m_{Tf} \quad (\text{Ec. 3.19})$$

unde:

V_r – capacitatea portantă la forfecare perpendiculară pe fibre;

$R_{f\perp}^c$ – rezistența de calcul a lemnului la forfecare perpendiculară pe fibre;

A_f – aria secțiunii transversale care este supusă forfecării;

m_{Tf} – coeficient de tratare a lemnului, conform Tab. 3.3 .

3.6.2 Calculul elementelor solicitate la forfecare paralelă cu direcția fibrelor

Se calculează capacitatea portantă la forfecare în lungul fibrelor, verificarea făcându-se ca și în cazul anterior.

$$F_r = R_{f\parallel}^c A_f m_{Tf} / m_f \quad (\text{Ec. 3.20})$$

$$m_f = 1 + \beta l_f / e \quad (\text{Ec. 3.21})$$

unde:

F_r – capacitatea portantă la forfecare paralelă cu fibrele;

$R_{f\parallel}^c$ – rezistența de calcul a lemnului la forfecare paralelă cu fibrele;

A_f – aria secțiunii transversale care este supusă forfecării;

m_{Tf} – coeficient de tratare a lemnului, conform Tab. 3.3 ;

m_f – coeficient de forfecare ;

b – coeficient care ține cont de tipul forfecării:

- este egal cu 0,25 pentru forfecare unilaterală;

- este egal cu 0,125 pentru forfecare bilaterală;

l_f – lungimea pragului de forfecare cuprins între $10h_c$ și $20h_c$;

h_c – adâncimea de chertare;

e – excentricitatea forței față de planul de forfecare.

Pentru elementele încovoiate, în apropierea reazemelor, capacitatea portantă la forfecare față de planul axei neutre se determină cu relația:

$$L_r = R_{fII}^c b I m_{Tf} / S \quad (\text{Ec. 3.22})$$

Se recomandă evitarea subțierilor secțiunii în zona reazemelor grinzilor încovoiate sau unde acționează forțe concentrate mari. Aceste recomandări au fost date pentru a evita slăbirile cu efect periculos atât prin scăderea modului de rezistență cât și prin prevenirea apariției fenomenului de despicare a fibrelor în zona prelucrată.

În cazul necesității execuției acestor prelucrări, se recomandă respectarea următoarelor condiții de siguranță:

- lungimea prelucrării să fie mai mare decât înălțimea efectivă a elementului;
- adâncimea de prelucrare să respecte valorile prezentate în **Tab.4.9**

Tab. 3.9 – Condiții cu privire la adâncimea prelucrării prin chertare în zona reazemelor

Adâncimea maximă de prelucrare	Condiția
a = 0,10 h	$R / bh \geq 0,5 \text{ N/mm}^2$
a = 0,25 h	$R / bh = 0,3 \text{ N/mm}^2$
a = 0,50 h	$R / bh \leq 0,2 \text{ N/mm}^2$
a = 0,30 h	$h \geq 180 \text{ mm}$
a = 0,40 h	$120 \text{ mm} < h < 180 \text{ mm}$
a = 0,50 h	$h \leq 120 \text{ mm}$

Se recomandă o oblicitate a prelucrării pentru care $c_1 \geq 4a$, conform figurii de mai jos:

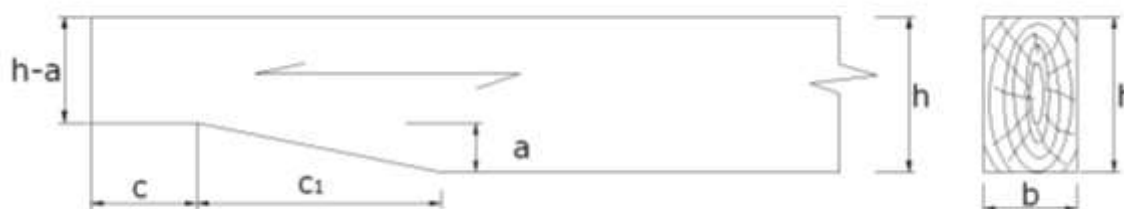


Fig.3.7 – Schema caracteristicilor geometrice de prelucrare la reazem a grinzilor supuse la încovoiere

Capitolul IV Studii experimentale

4.1 Comportarea la smulgere a benzilor de tip cordstrap utilizate la ranforsarea lemnului lamelat încleiat

Pentru determinarea comportării s-au folosit trei tipuri de bandă tip cordstrap: PET texturat, fibre de poliester laminate și nelaminate.



Fig. 4.1- Benzi sintetice tip cordstrap
a)PET b) fibre de poliester c) fibre de poliester laminate

4.1.1 Pregătirea probelor și realizarea încercărilor

Pentru fiecare din probe s-au folosit câte două scânduri de molid clasa C18 de secțiune 14x2 cm având o lungime 30 cm, iar dispunerea benzilor de armare s-a făcut central, pe toată lungimea scândurilor.

S-au încercat două tipuri de solidarizări între benzile de armare și materialul lemnos astfel:

- tip A – prin încleiere și presare;
- tip B – prin capsare în zona de capăt, urmată de încleiere și presare.

Prin studierea celor două tipuri de probe s-a urmărit găsirea soluției optime astfel încât să se obțină o comportare cât mai bună la interfața lemn/bandă în urma solicitării la smulgere.



Fig.4.2 – Dispunerea benzilor de armare la Probe tip A (stânga), tip B (dreapta)

Pentru încercări s-a folosit un aparat de testare de tip *LLOYD Instruments LS100 Plus*, aflat în dotarea facultății de construcții, care oferă date în timp real despre comportarea materialului. Viteza de testare a fost de 10 mm/min setată digital din meniul de operare

Pentru prinderea probelor s-au folosit hamuri realizate din platbandă de inox, pretensionate la fața locului. Alungirea acestora s-a considerat neglijabilă.



Fig.4.3 – Prinderea probelor, partea superioară respectiv cea inferioară

4.1.2 Rezultate

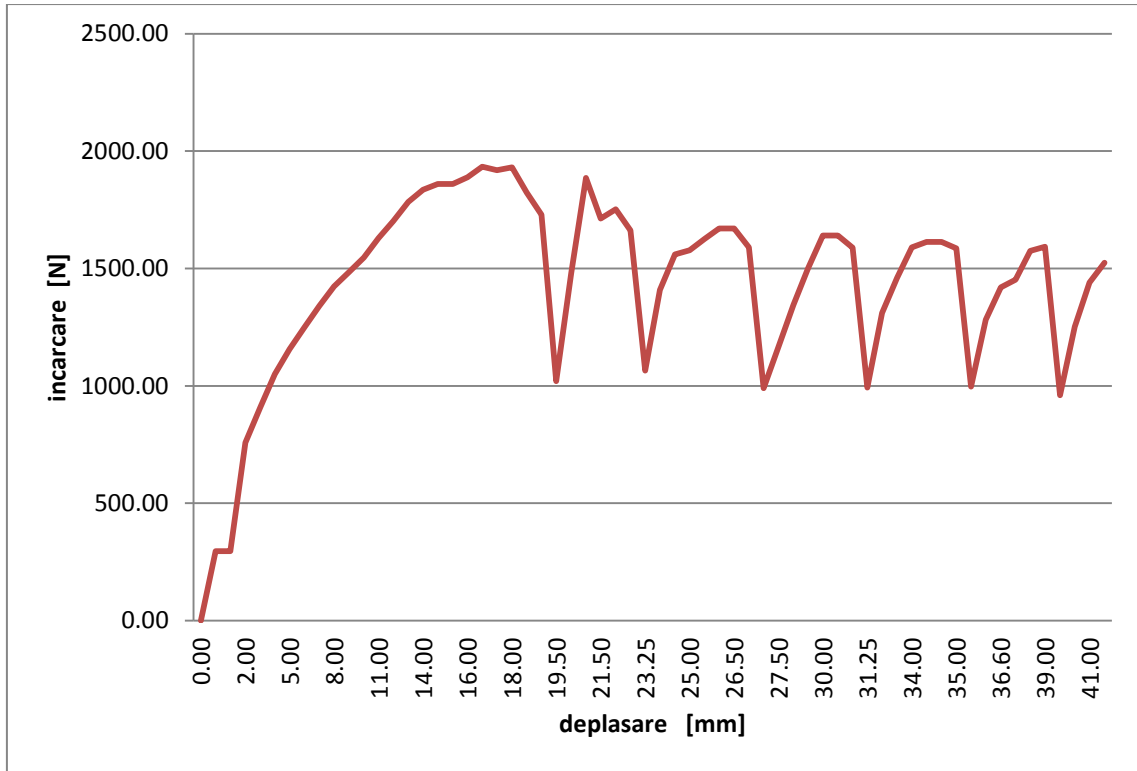


Fig.4.4 - Comportarea probei armate cu bandă PET necapsată

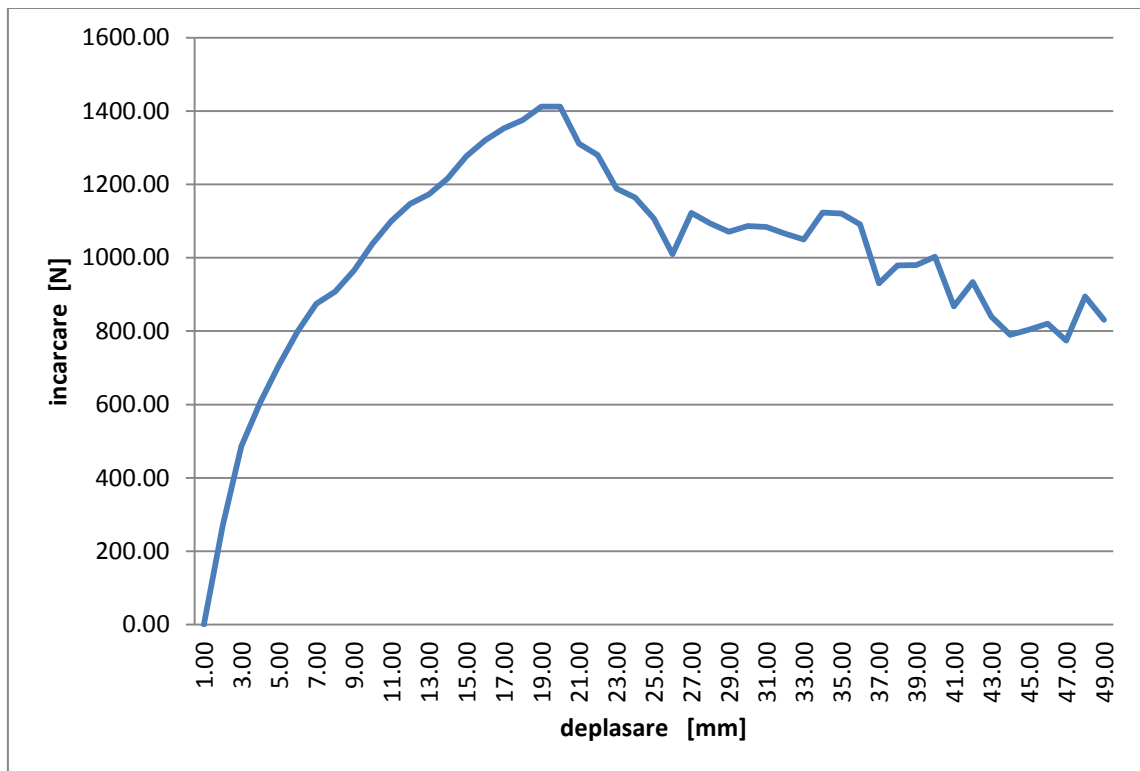


Fig.4.5 - Comportarea probei armate cu bandă PET capsată

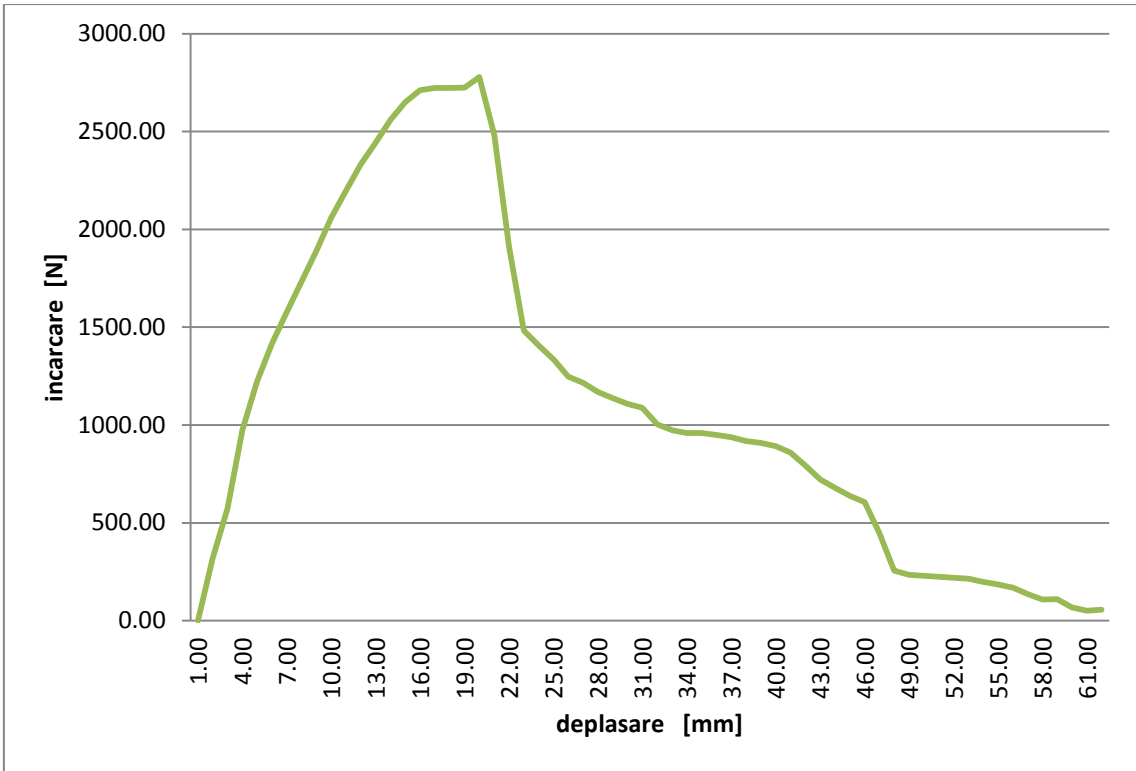


Fig.4.6 - Comportarea probei armate din fibre de poliester necapsate

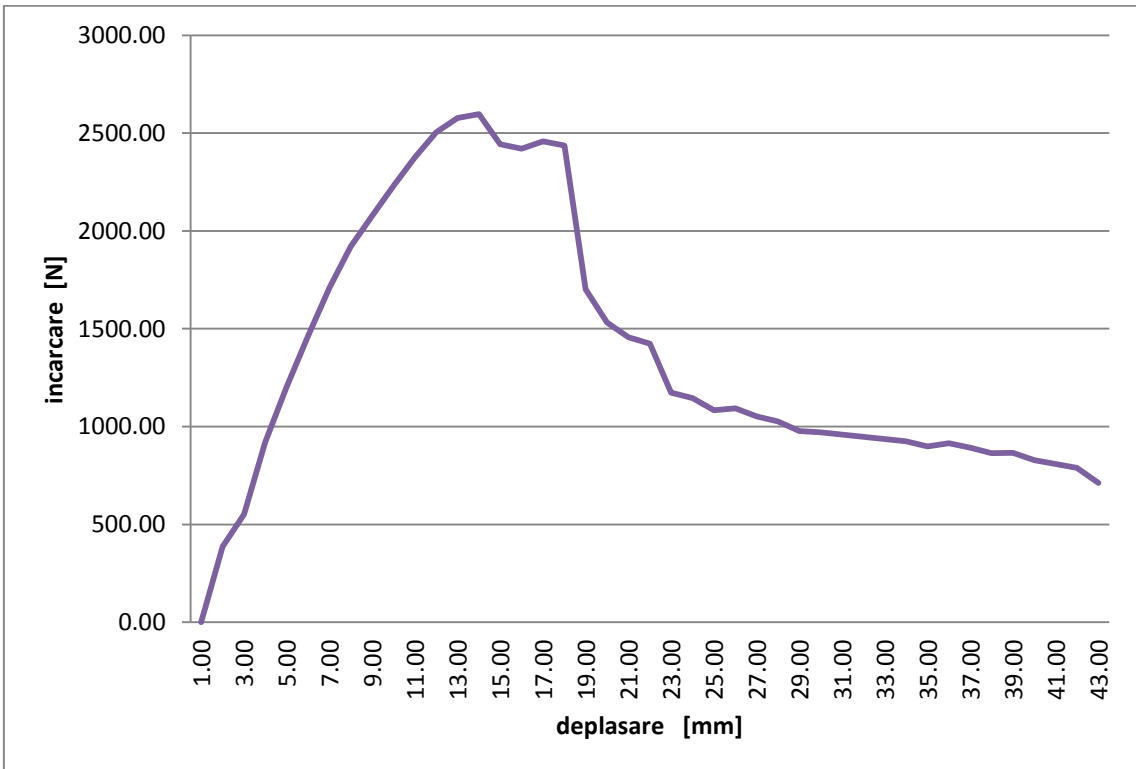


Fig.4.7 - Comportarea probei armate din fibre de poliester capsate

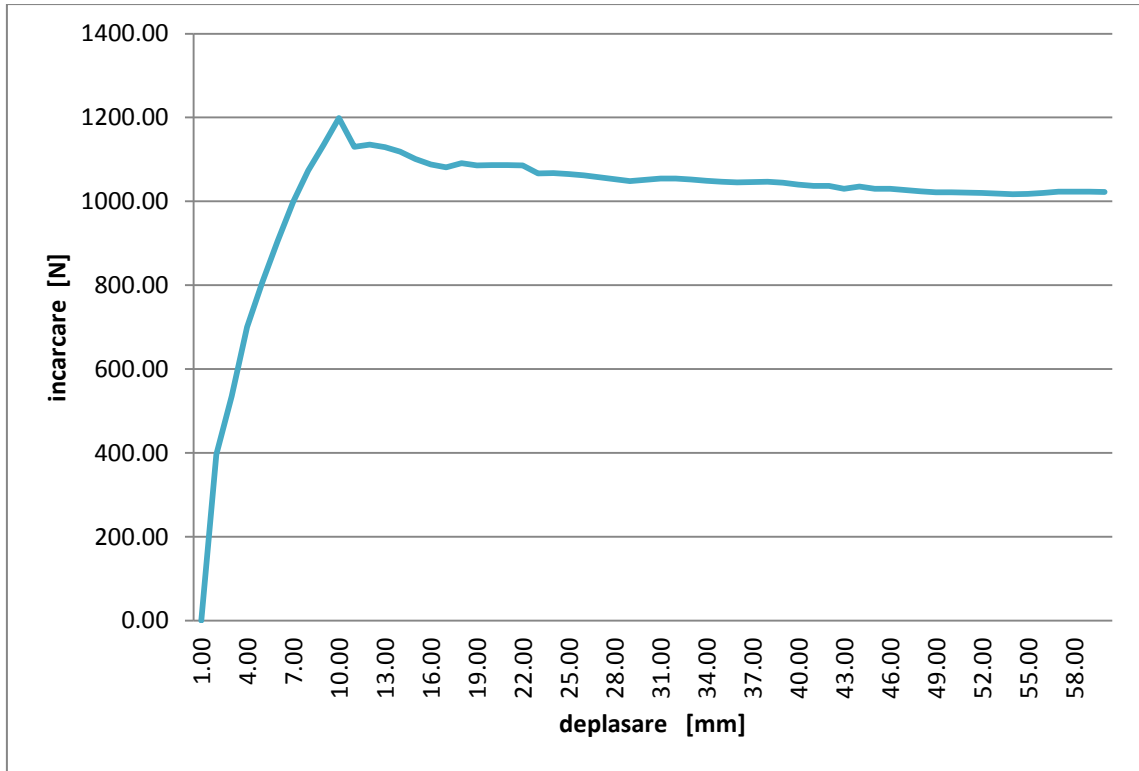


Fig.4.8 - Comportarea probelor armate cu fibre de poliester laminate necapsate

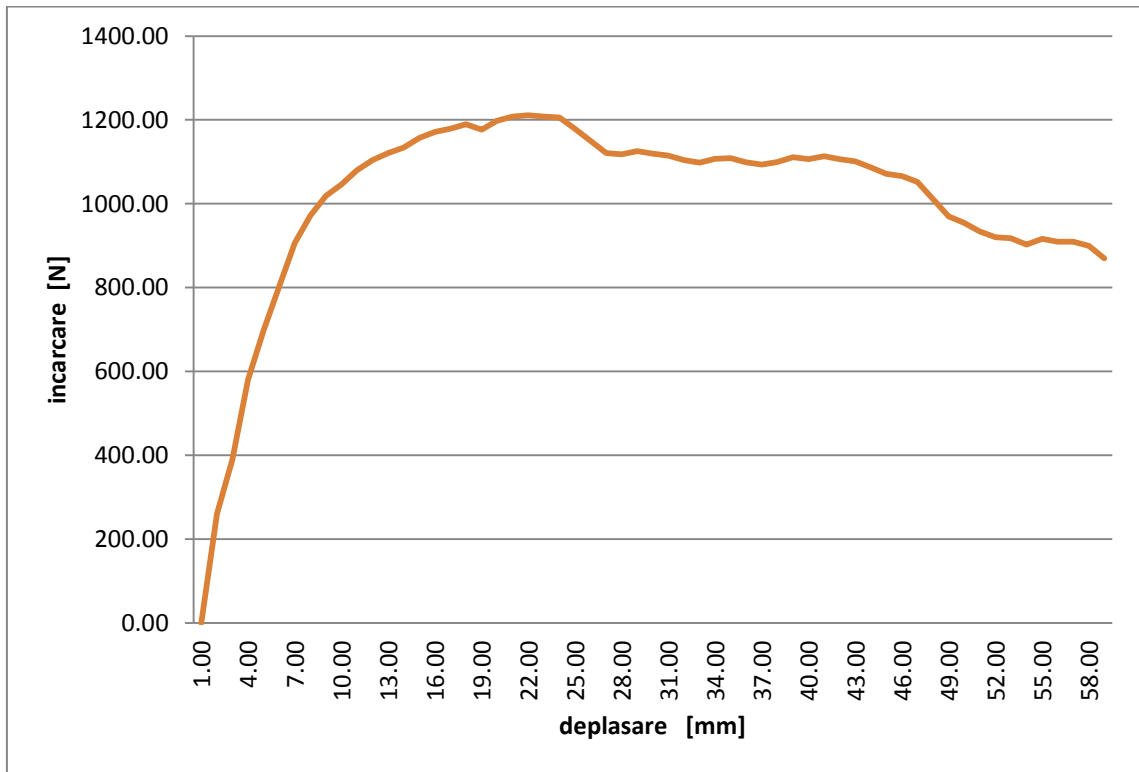


Fig.4.9 - Comportarea probelor armate cu fibre de poliester laminate capsate

4.1.3 Concluzii

Benzile din PET precum și cele din fibre de poliester nelaminate au o comportare bună și se pretează la utilizarea ca material ranforsant, spre deosebire de cele din fibre de poliester laminate.

Acestea din urmă nu aderă la suprafața lemnoasă, astfel smulgerea realizându-se cu ușurință, prin alunecare între cele două lamele din lemn presate, banda nefiind solicitată prea mult la întindere (Fig.4.10).

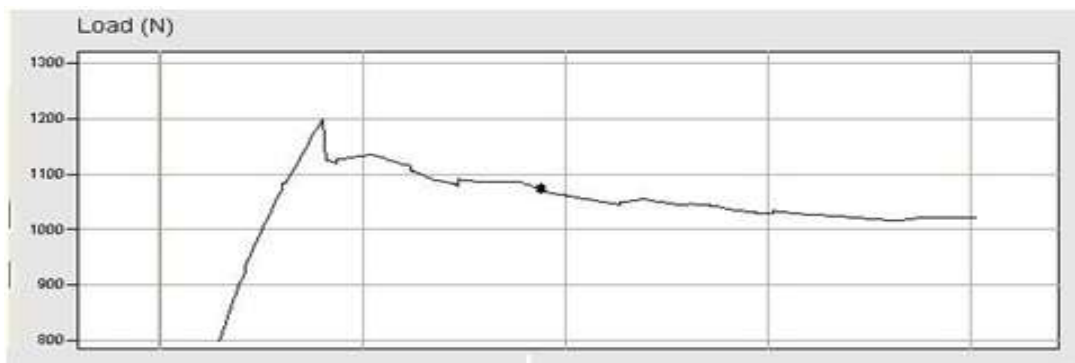


Fig.4.10- Cedarea probei din fibre de poliester laminate

De asemenea observăm că cedarea s-a făcut la o încărcare de aprox 1,2 kN care este sub rezistența admisibilă a materialului.

În toate cazurile probele capsate cedează mai ușor decât cele necapsate, fapt datorat cel mai probabil slăbirii secțiunii benzii, precum și adezivității slabe în acea zonă datorate grosimii capsei; efectul cel mai defavorabil înregistrându-se la probele din PET (o reducere a rezistenței cu aproape 30%).

Tab. 4.1 – Forța de tracțiune maximă la care se produce cedarea pentru probele studiate

Tip probă	N _{max} probă necapsată (N1) [kN]	N _{max} probă capsată (N2) [kN]
PET	1.957	1.388 (≈71% * N1)
Fibre poliester	2.762	2.596 (≈94% * N1)
Fibre poliester laminate	1.213	1.201 (≈99% * N1)

În cazul benzilor din PET, suprafața texturată duce la un plus de adezivitate la suprafața lamelor, precum și la o cedare “în salturi” în urma solicitării la smulgere.

Curbele efort-deformație la toate cele șase probe sunt prezentate detaliat în figurile din ANEXA 2 , alături de detalii cu privire la zona de comportare elastică și zona de cedare.

4.2 Comportarea la încovoiere a grinzilor realizate din lemn lamelat încleiat

4.2.1 Reglementări cu privire la scară, în conformitate cu EN 408-2010

Pentru a respecta indicațiile oferite de Euronormele în vigoare, grinzile se vor încadra în anumite proporții în funcție de secțiunea probelor, după cum urmează:

- Lungimea între reazeme a elementului supus încercării la încovoiere să fie cuprins între un minim de $15h$ și un maxim de $21h$, unde h este înălțimea secțiunii;
- Punctele în care se aplică încărcările să fie situate la o distanță fixă egală cu de șase ori înălțimea secțiunii.

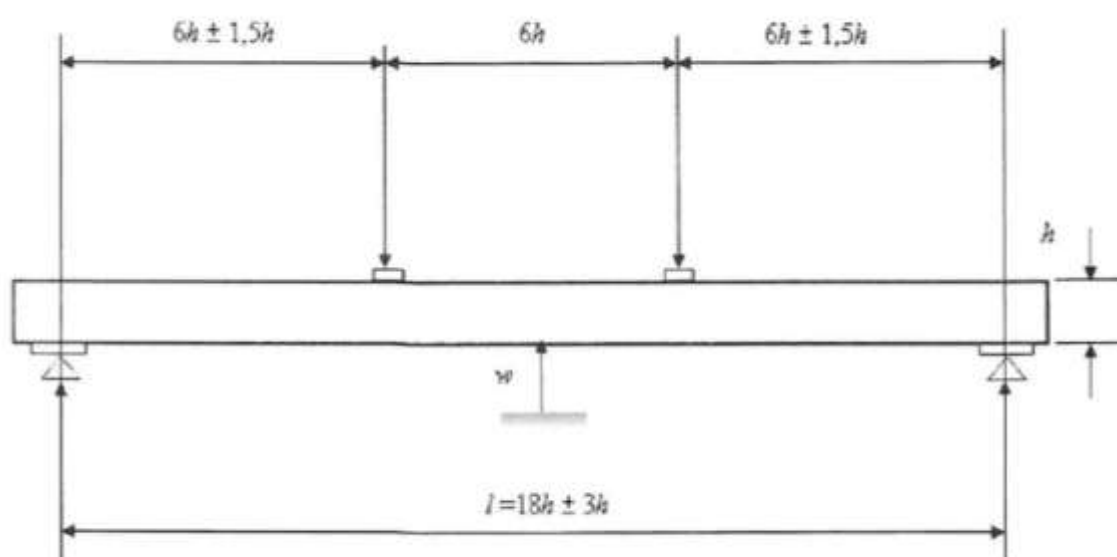


Fig.4.11 – Dimensionarea grinzilor de probă conform EN 408-2010

Astfel, pentru o deschidere $l = 3.00$ m, avem o secțiune transversală dreptunghiulară variabilă cu h între 14 și 20 cm și o lățime b între 7 și 10 cm. Se aleg dimensiunile maxime și se va păstra o secțiune constantă de 10x20cm pe toată lungimea elementelor.

Disponerea încărcărilor se va face central, cu o distanță de 1.20 m între punctele de aplicare ale acestora.

Două din probe, respectiv grinzile nearmate realizate din două clase de lemn, C24 și C18, nu corespund în totalitate cu dimensiunile descrise mai sus, acestea fiind realizate în prealabil pentru aceeași deschidere dar cu secțiunea de 12 x 36 cm.

4.2.2 Alcătuirea și realizarea epruvetelor pentru testare

În conformitate cu secțiunea aleasă anterior, grinzile vor fi alcătuite din câte 10 lamele continue pe toată deschiderea, cu o secțiune de 10 x 2 cm.

Ranforsările se vor dispune la partea întinsă, în două straturi, între lamela 1 și 2 respectiv 2 și 3, conform figurii următoare:

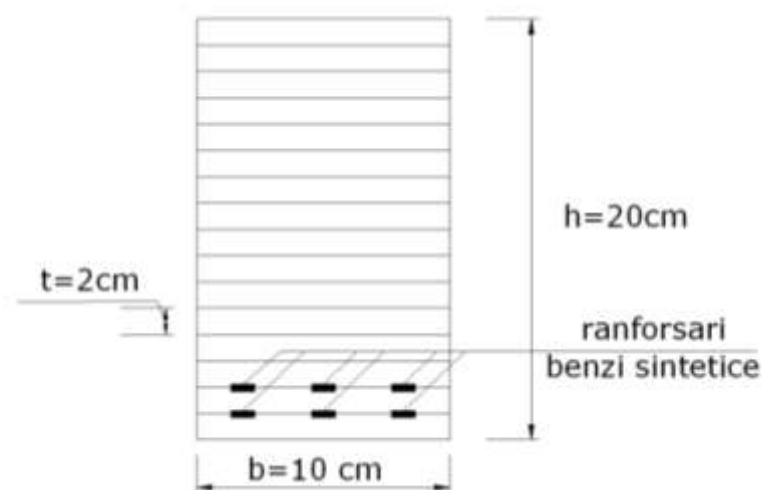


Fig.4.12 – Dispunerea benzilor de tip cordstrap

4.2.3 Codificarea și numerotarea probelor

Epruvetele încercate la încovoiere se împart în mai multe categorii, în funcție de materialele utilizate la construcția acestora.

Astfel avem:

- Grinzi încleiate simple clasa GL24, cu lamele clasa C24;
- Grinzi încleiate cu distribuție diferită a lamelor pe clase de calitate C24 la partea inferioară și superioară iar inima realizată din lemn de clasă C18;
- Grinzi încleiate ranforsate cu două rânduri de benzi PET la partea întinsă;
- Grinzi încleiate ranforsate cu două rânduri de benzi din fibre de Polyester la partea întinsă;

Pentru identificarea și urmărirea epruvetelor s-a folosit următoarea codificare R(NR)-XXX-NR.

unde:

R-ranforsat;

NR-neranforsat;

XXX- tipul elementului;

NR- numărul probei din categoria respectivă, conform Tab. 4.2 .

Tab. 4.2 – Codificarea epruvetelor

Nr	COD Grindă	Tip Grindă	Clasa lemnului lamelat	Materialul folosit la renforsare	Clasa elementului încleiat
1	NR-AAA-1	neranforsată	C24/C24	-----	GL24
2	NR-ABA-1		C16/C24	-----	GL20
3	NR-AA-1		C24	-----	GL24
4	NR-AA-2		C24	-----	GL24
5	R-PET-1	ranforsată	C24	PET	GL24
6	R-PET-2		C24	PET	GL24
7	R-FIBP-1		C24	Fibre poliester	GL24
8	R-FIBP-2		C24	Fibre poliester	GL24

Execuția efectivă s-a făcut în condiții controlate, folosindu-se următoarea schemă bloc:

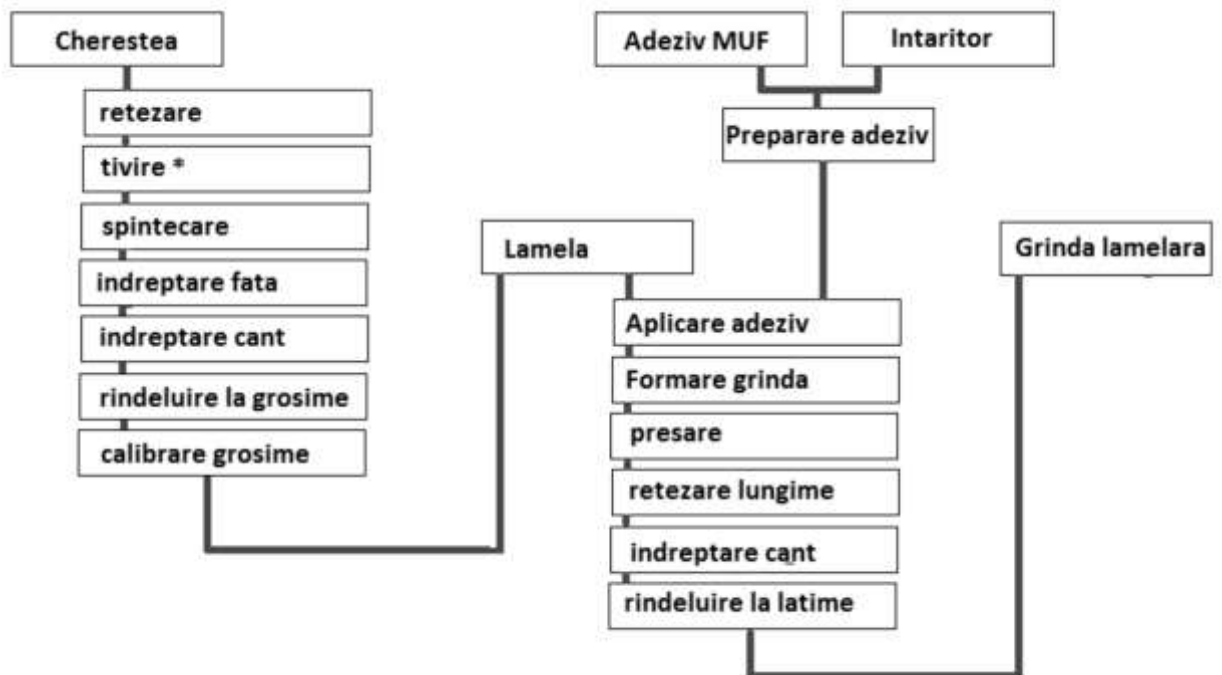


Fig.4.13 – Schema bloc de realizare a grinzilor lamelat încleiate

Pentru realizarea lamelelor s-a folosit cherestea de molid (*Picea abies*) provenită din aceeași zonă (Măguri Răcățâu), debitată la 15 x 2,5 x 400 cm uscată folosind o camera de uscare de tip kiln și adusă la o umiditate constantă de 12% .

A urmat o calibrare a lamelelor prin prelucrare la patru fețe pentru a ajunge la dimensiunile necesare pentru realizarea probelor.

Ca și adeziv se va folosi pentru toate epruvetele un adeziv de tip Melamin-ureoformaldehidici (MUF) cu următoarele caracteristici de aplicare, conform fișei tehnice :

- Timp de presare la rece (20 °C): 80 minute
- Presiune specifica: 12kgF/cm²
- Consum specific: 350g/m²
- Vâscozitate: 80 s (cupa FORD Ø8)
- Densitate amestec: 1280kg/m³

Aplicarea se va face cu ajutorul unor role, pe ambele fețe ale lamelelor intermediare și pe o singură față a lamelelor exterioare.

Presarea grinzilor s-a realizat cu ajutorul unei prese hidraulice Stromab SL-1 3000 la o presiune de 110 bari timp de 24 de ore, conform instrucțiunilor prevăzute în manualul de utilizare a acesteia.

A urmat o prelucrare pe cele patru fețe pentru ajustarea finală a grinzilor precum și măsurarea și verificarea deviațiilor de la dimensiunile urmărite, pentru fiecare grindă în parte.

Epruvetele s-au condiționat 72 ore înainte efectuării încercărilor la încovoiere statică, pentru stabilizarea tensiunilor interne din presare și stabilizarea umidității.

Înainte efectuării măsurătorilor, toate epruvetele vor fi supuse următoarelor măsurători:

- Dimensiuni de gabarit (Tab. 4.3)
- Masa probelor (tabelul 4.3)
- Umiditate (tabelul 4.3)

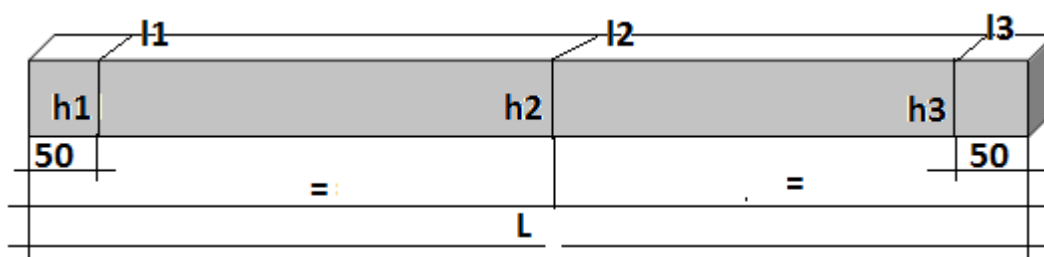


Fig.4.14- Schema de măsurare a epruvetelor

Rezultatele măsurătorilor se vor înscrie și într-o fișă de măsurători anexă, conform tabelului următor:

Tab. 4.3 – Exemplu de fișă de măsurători ale epruvetelor

Epruvet a	L [mm]	l ₁ [mm]	l ₂ [mm]	l ₃ [mm]	media l _i [mm]	h ₁ [mm]	h ₂ [mm]	h ₃ [mm]	media h _i [mm]	Volu m [m ³]
NR-AB-1	3000	120	120.5	120	120.1 7	360	359.5	360	199.8 4	0.129
NR-AB-2	3001	120	120	119.5	119.8 4	360.5	360.5	360.5	360.5	0.129
NR-AA-1	3000. 5	100.5	100.5	100.5	100.5	200	200	200	200	0.06
NR-AA-2	3000	100	100	100	100	200.5	200.5	200	200.3 4	0.06
R-PET-1	2999. 5	100	99.5	99.5	99.67	200	200	200	200	0.06
R-PET-2	3000. 5	100	100	100	100	200	200.5	200.5	200.3 4	0.06
R-FIBP- 1	3000	100.5	100	100	100.1 7	200	200	200	200	0.06
R-FIBP- 2	3000	100.5	100.5	100.5	100.5	200.5	200.5	200.5	200.5	0.06

Tab. 4.4 – Masa epruvetelor

Epruveta	L [mm]	lățime medie [mm]	înălțime medie [mm]	Volu m [m ³]	Masă [kg]	Umiditate [%]
NR-AB-1	3000	120.17	199.84	0.129	48.50	11.70
NR-AB-2	3001	119.84	360.5	0.129	48.75	11.20
NR-AA-1	3000.5	100.5	200	0.06	22.50	11.50
NR-AA-2	3000	100	200.34	0.06	22.00	11.50
R-PET-1	2999.5	99.67	200	0.06	23.00	11.50
R-PET-2	3000.5	100	200.34	0.06	22.85	11.00
R-FIBP-1	3000	100.17	200	0.06	23.10	11.50
R-FIBP-2	3000	100.5	200.5	0.06	23.25	11.00

Realizarea efectivă a încheierii și presării lamelelor este prezentată detaliat în figurile ce urmează:



Fig. 4.15- Sistem tip rolă folosit la aplicarea adezivului pe lamele



Fig. 4.16- Aplicarea adezivului pe lamelele din lemn



Fig. 4.17- Lamellele din lemn pregătite de încleiere



Fig. 4.18- Începerea dispunerii lamellelor în presa hidraulică



Fig. 4.19- Așezarea și prinderea benzilor de PET prin capsare la capete



Fig. 4.20- Verificarea dispunerii benzilor de armare



Fig. 4.21- Dispunerea armăturilor din bandă PET, câte trei



Fig. 4.22- În cazul în care există înnădiri, acestea se dispun decalat



Fig. 4.23- Dispunerea benzilor din fibre de poliester



Fig. 4.24- Benzile de armare din fibre de poliester dispuse câte două pe strat



Fig. 4.25- Pregătirea probelor pentru presare



Fig. 4.26- Asigurarea planeității în plan vertical, înainte de presare

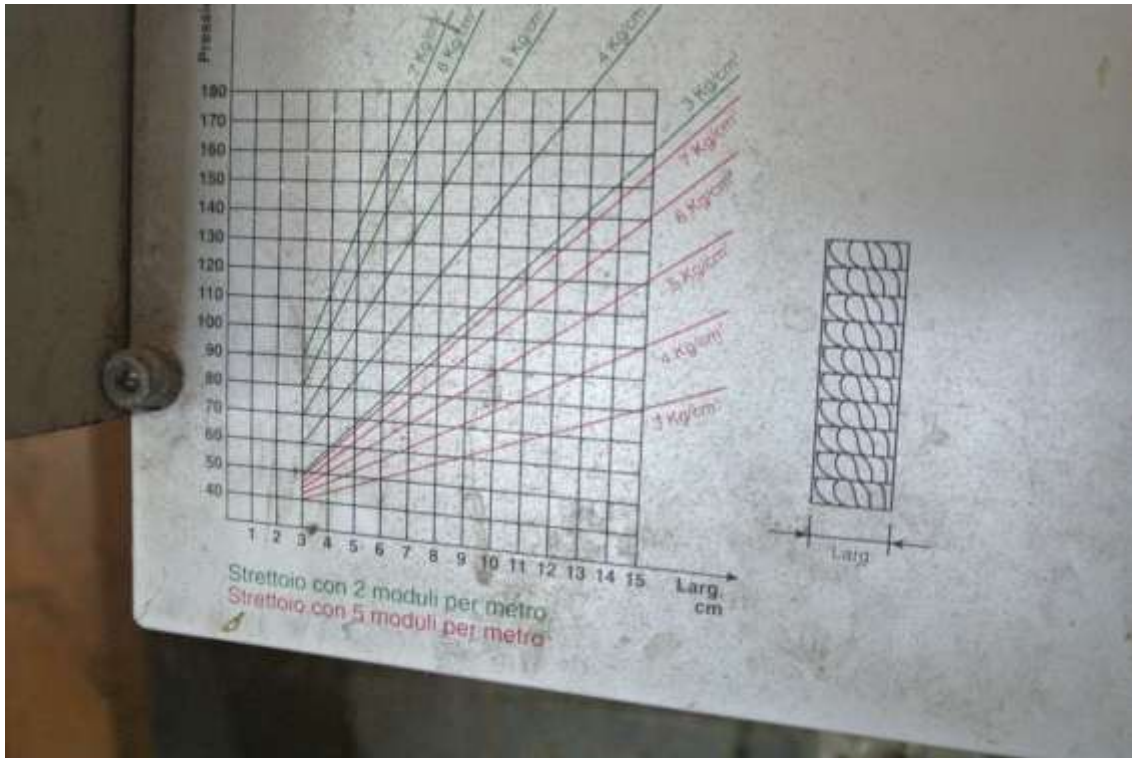


Fig. 4.27- Graficul de aplicare a presiunii în funcție de lățimea probelor



Fig. 4.28- Desprinderea probelor după 24 de ore



Fig. 4.29- Probele armate vedere în secțiune, înainte de prelucrare la cotele finale

Prelucrarea la cotele finale a fost efectuată prin frezare mecanică cu ajutorul unui utilaj de prelucrare la patru fețe, de precizie.

Pentru un mai bun contrast în urma încercărilor, probele au fost colorate cu ajutorul unui baiț de culoare închisă, vezi Fig. 4.30 .



Fig. 4.30- Probele vopsite pentru contrast, pregătite pentru testare

4.2.4 Pregătirea pentru testare

Pentru realizarea încercărilor la încovoiere s-a folosit o presă hidraulică cu pas reglabil de încărcare aflată în dotarea departamentului de Construcții de Beton Armat (CBA) din cadrul Facultății de Construcții.

Aceasta, împreună cu senzorii de deplasare pe verticală, s-au conectat la un PC pentru colectarea datelor în format digital cu ajutorul software-ului HBM CatmanEasy.

Microdeformațiile de pe ceasurile comparatoare au fost notate manual și mai apoi corelate cu datele salvate digital.



Fig. 4.31- Presa hidraulică folosită la încercarea la încovoiere

Cu ajutorul încercărilor la încovoiere pe probele prezentate mai sus, s-au urmărit în detaliu atât compararea rezistențelor la încovoiere precum și capacitatea elementelor de a reveni la forma inițială de la o deformație anume.

Experimentul efectiv s-a realizat pe trei tipuri de grinzi: neranforsate, ranforsate cu benzi PET și ranforsate cu benzi din fibre de poliester și a avut următorii cinci pași:

1. încărcarea elementului sub presa hidraulică până la atingerea unei săgeți de 10 mm;
2. descărcarea elementului și a capacității de revenire la forma inițială, precum și măsurarea timpului necesar revenirii și de eventualelor săgeți remanente;
3. încărcarea elementului sub presa hidraulică până la atingerea unei săgeți de 20 mm;
4. descărcarea elementului și a capacității de revenire la forma inițială, precum și măsurarea timpului necesar revenirii și de eventualelor săgeți remanente;
5. încărcarea elementului până la rupere și determinarea rezistenței la încovoiere ;

Săgețile și încărcările au fost monitorizate și salvate digital cu ajutorul senzorilor montați pe grindă, respectiv pe presa hidraulică.

Suplimentar s-au dispus cate trei ceasuri microcomparatoare pe fiecare probă: unul central iar celelalte la 2 cm de margini, conform figurii următoare. S-a urmărit o corelare între microdeformațiile longitudinale și săgeata obținută precum și studierea variației axei neutre în timpul experimentului.



Fig. 4.32- Dispunerea ceasurilor microcomparatoare



Fig. 4.33- Dispunerea probei pentru efectuarea încercării



Fig. 4.34- Sistemul de rezemare folosit



Fig. 4.35- Dispozitivul folosit pentru aplicarea încărcării în două puncte

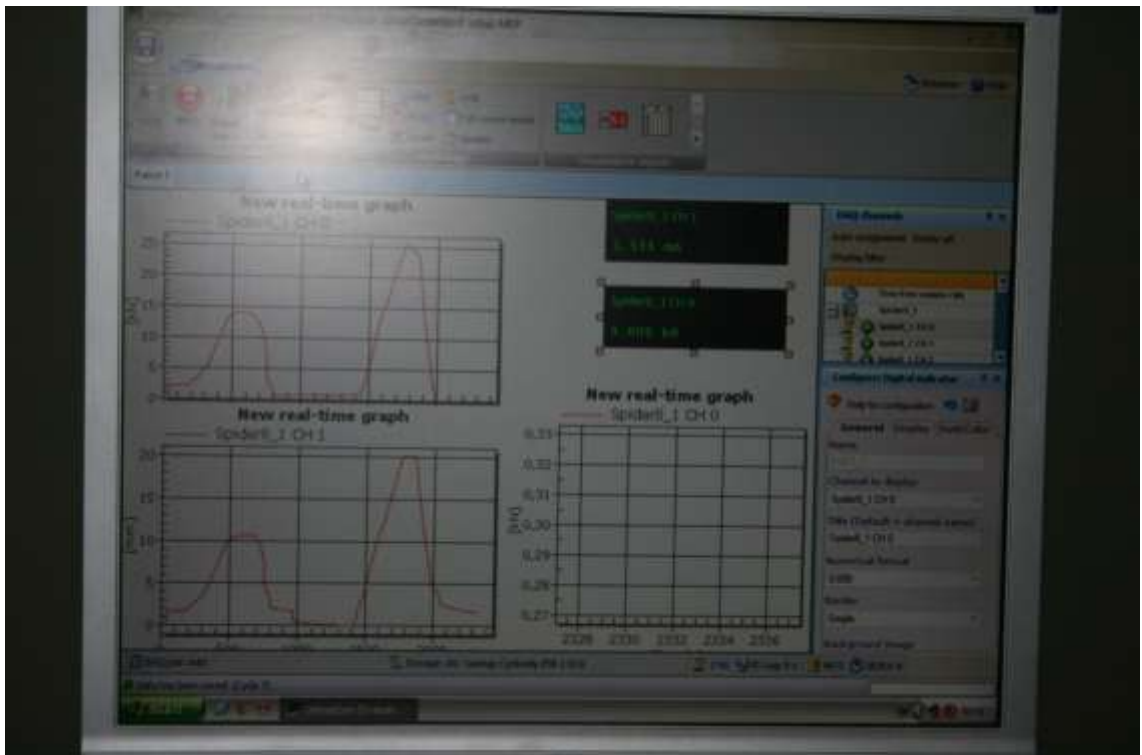


Fig. 4.36- Înregistrarea digitală a datelor cu programul HBM CatmanEasy

4.2.5 Comportarea la încovoiere a grinzilor din lemn lamelat încleiat realizate în totalitate din lamele de clasă superioară

Cele două probe încercate, numerotate NR-AA-1 respectiv NR-AA-2, au fost supuse la încovoiere conform criteriilor prezentate anterior.

4.2.5.1 Ciclul unu de încărcare-descărcare, revenire de la săgeata de 10 mm

S-a început cu primul pas, care constă în încărcarea probelor pâna la atingerea unei săgeți de 10 mm, lucru obținut sub o încărcare de 15.6 kN respectiv 15.3 kN , urmată de descărcarea totală a probei.

Tab. 4.5- Comportarea probelor ne-armate la primul ciclu de încărcare-descărcare

NR-AA-1	Încărcare [kN]	0.3	2.1	3.9	5.4	7.2	9	10.8	12.3	14.1	15.6
	Deformație[mm]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NR-AA-2	Încărcare[kN]	0.2	1.2	3	4.8	6.6	8.4	10.2	12	13.5	15.3
	Deformație[mm]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

S-a constatat că revenirea nu s-a realizat complet, rămânând niște săgeți remanente stabile de 0.563 mm respectiv 1.15 mm , după aproximativ 120 de minute.

Comportarea sub acest ciclu de încărcare-descărcare este prezentat în Fig. 4.37 și Fig. 4.38, unde pe axa verticală sunt reprezentate deplasările iar pe axa orizontală forța aplicată :

Fig. 4.37- Comportarea la ciclul 1 de încărcare-descărcare al probei NR-AA-1

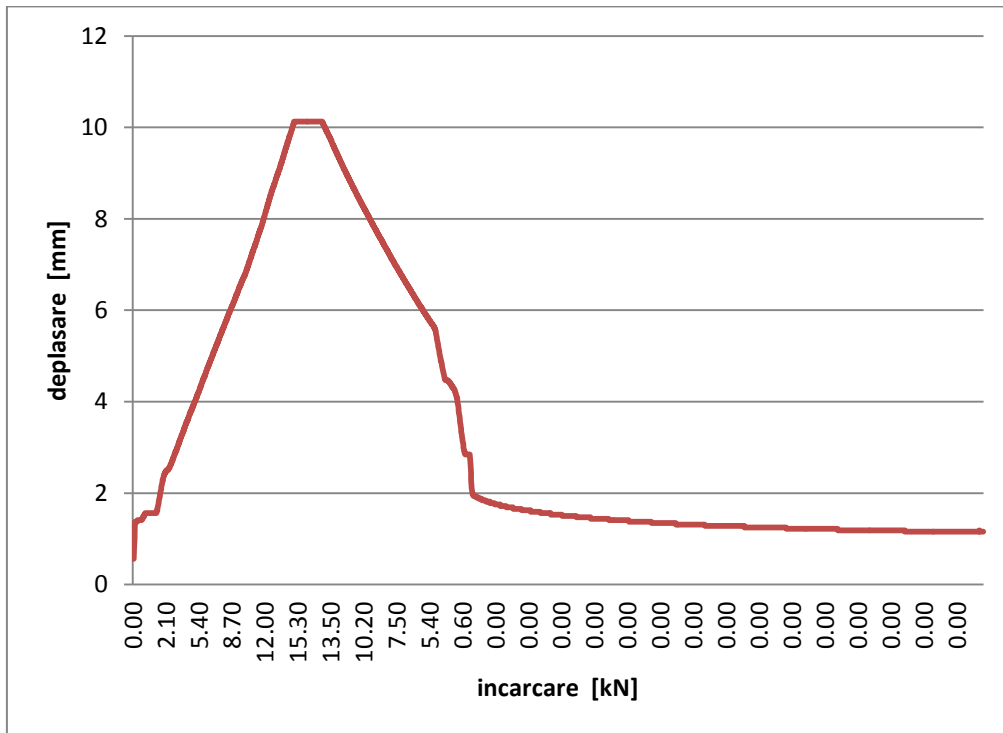


Fig. 4.38- Comportarea la ciclul 1 de încărcare-descărcare al probei NR-AA-2

Variația deplasării raportate la încărcare comparativ pe cele două probe este prezentată în figura Fig. 4.39 :

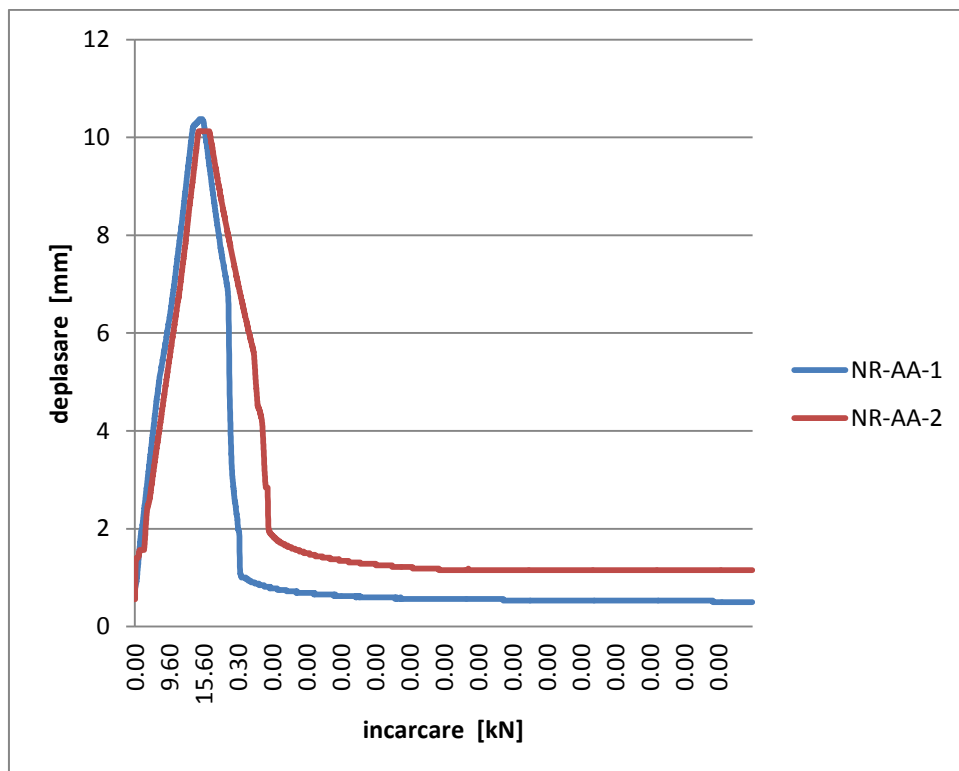


Fig. 4.39- Grafice comparative încărcare-deformație la ciclul unu pentru probele NR-AA-1 și NR-AA-1

4.2.5.2 Ciclul doi de încărcare-descărcare, revenire de la săgeata de 20 mm

Al doilea ciclu a fost realizat în aceeași manieră ca primul încărcând probele până la atingerea unei săgeți de 20 mm, lucru obținut sub o încărcare de 30.3 kN respectiv 29.4 kN , urmată de descărcarea totală a probei.

Tab. 4.6- Comportarea probelor ne-armate la al doilea ciclu de încărcare-descărcare

NR-AA-1	Încărcare [kN]	1.5	5.1	8.7	12	15.6	18.3	21.6	24.6	27.6	30.3
	Deformație[mm]	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
NR-AA-2	Încărcare [kN]	0.6	3.6	7.2	11.1	14.4	17.4	20.7	23.7	26.4	29.4
	Deformație[mm]	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20

S-a constatat că și în acest caz revenirea nu s-a realizat în totalitate: deformațiile remanente s-au stabilizat la 1.18 mm respectiv 2.218 mm , după 120 de minute de așteptare.

În figurile Fig. 4.40 și Fig. 4.41, sunt prezentate comportările celor două probe nearmate supuse la ciclul doi de încărcare-descărcare; pe axa verticală sunt reprezentate deplasările iar pe axa orizontală forța aplicată de către presa hidraulică.

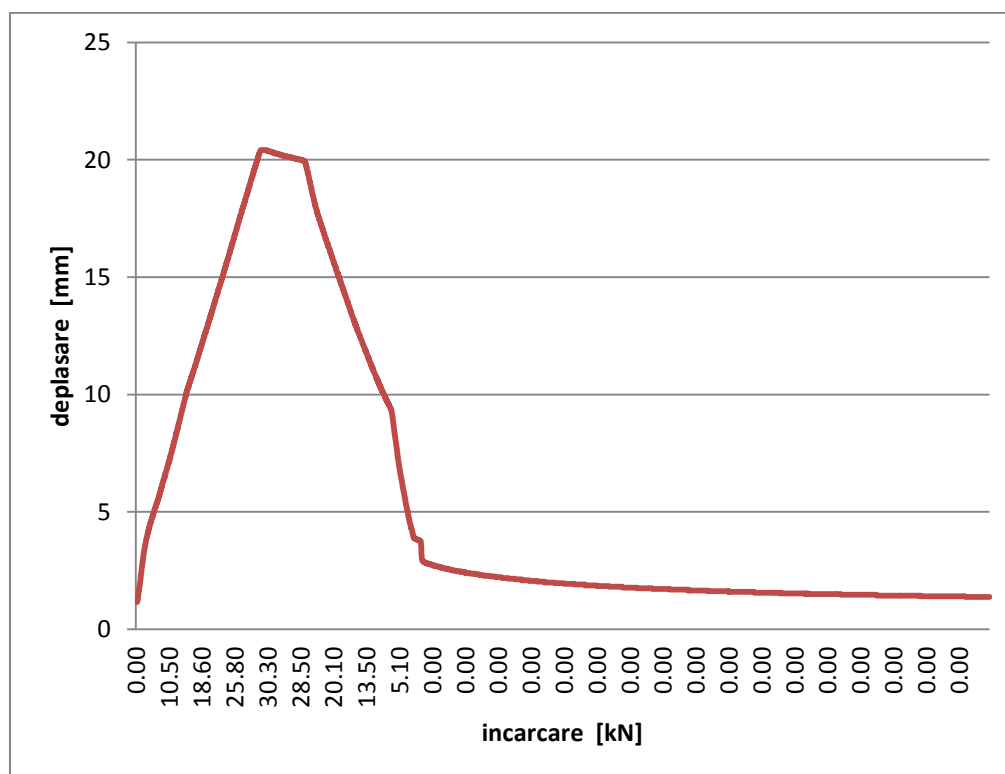


Fig. 4.40- Comportarea la ciclul 2 de încărcare-descărcare al probei NR-AA-1

4.2.5.3 Încercarea la rupere prin încovoiere

Ultimul pas al încercărilor pe probele nearmate a fost încercarea la încovoiere până la apariția cedării în cadrul probei. Forța aplicată a fost setată la o creștere constantă de 0.05kN/s și a fost oprită după cedare, deoarece s-a observat o pierdere semnificativă a capacității protante.

În graficele următoare se pot observa curbele încărcare/deformație pentru cele două probe:

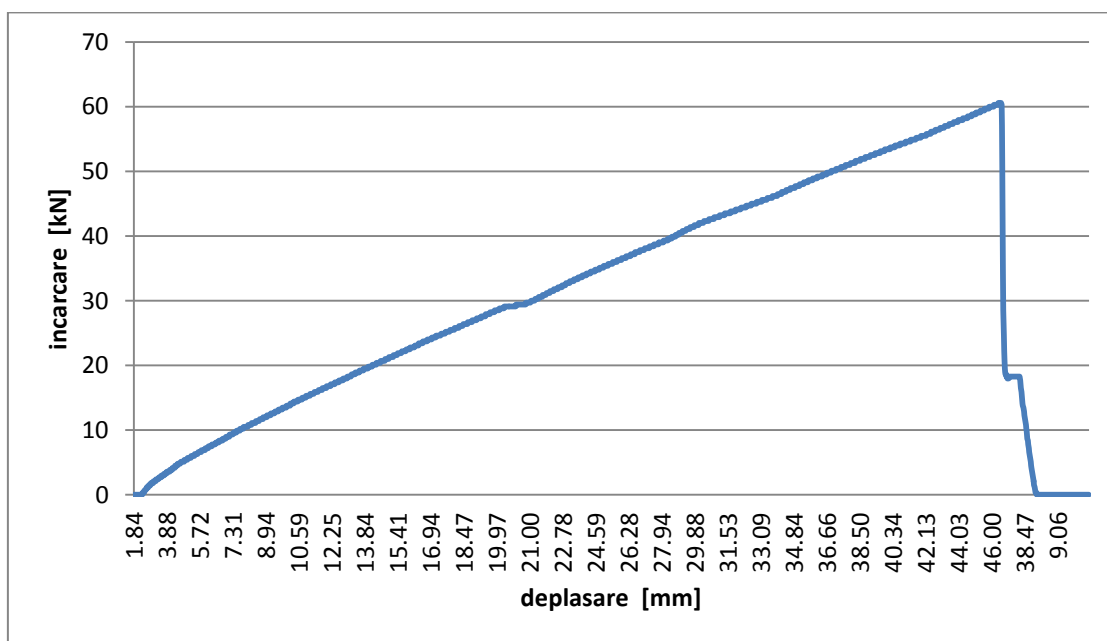


Fig. 4.43- Curba încărcare/deformație pentru proba NR-AA-1 solicitată la încovoiere

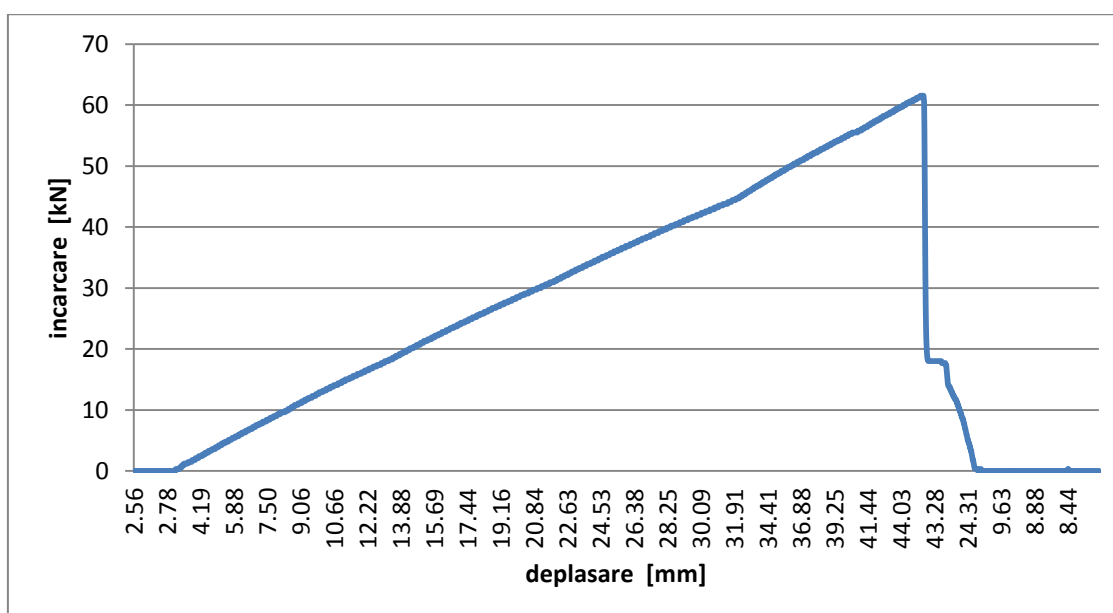


Fig. 4.44- Curba încărcare/deformație pentru proba NR-AA-2 solicitată la încovoiere

Se observă cedarea bruscă sub o deformare maximă de 46.2 mm, de unde se poate deduce că elementul înțeliat este destul de rigid și nu prezintă semne premergătoare cedării.

Citirile pe ceasurile microcomparatoare sunt prezentate în raport cu deplasarea verticală la mijlocul deschiderii în Fig. 4.45 și raportat la forța aplicată în Fig. 4.46 respectiv Fig. 4.47 și Fig. 4.48 .

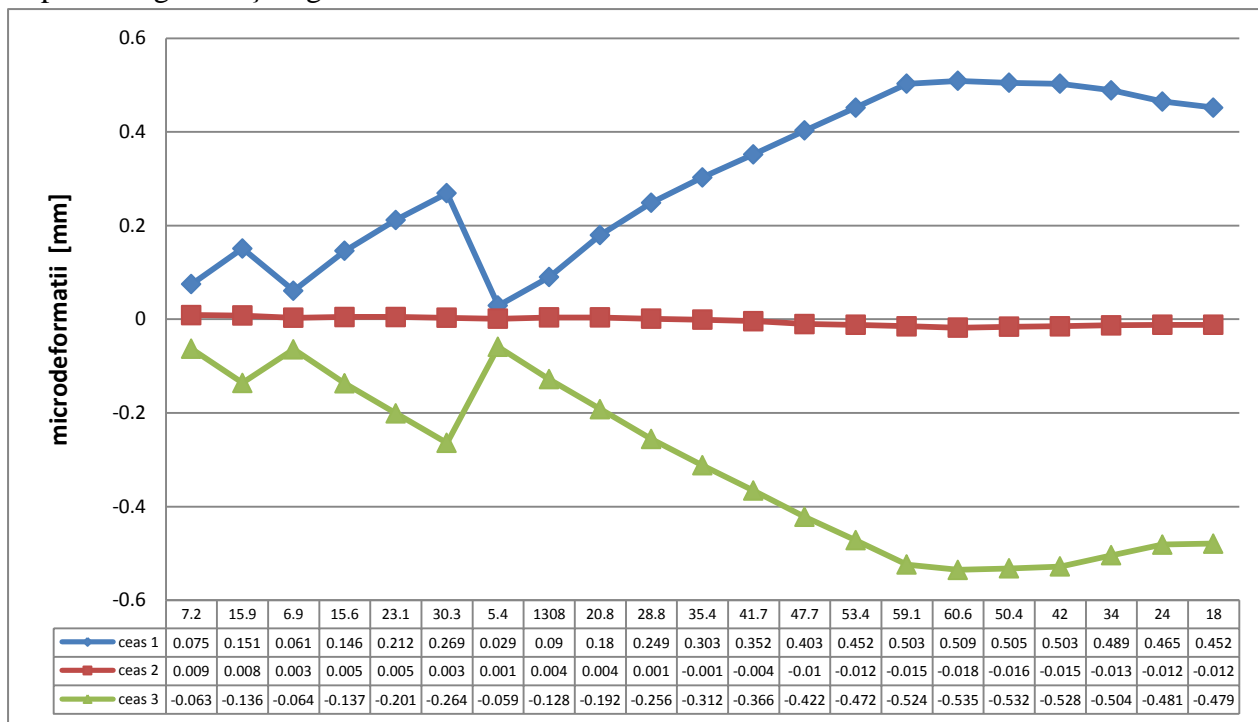


Fig. 4.45- Microdeformații în funcție de săgeată pentru proba NR-AA-1

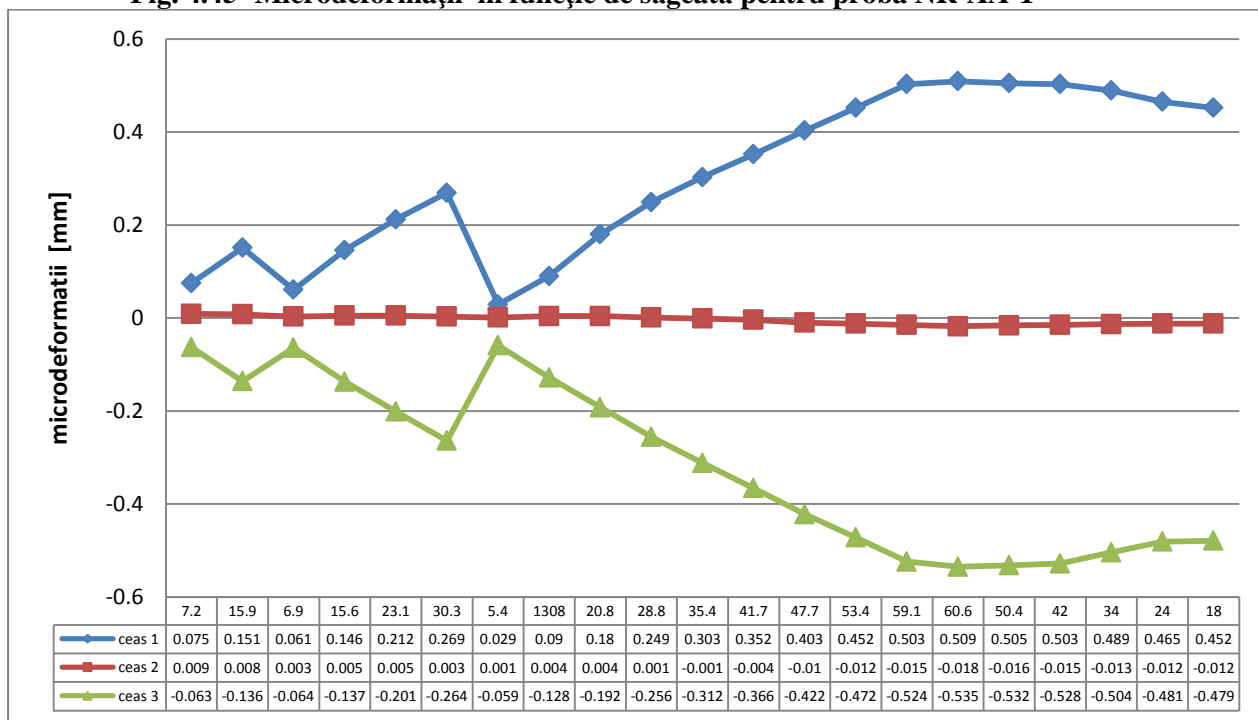


Fig. 4.46- Microdeformații în funcție de încărcare pentru proba NR-AA-1

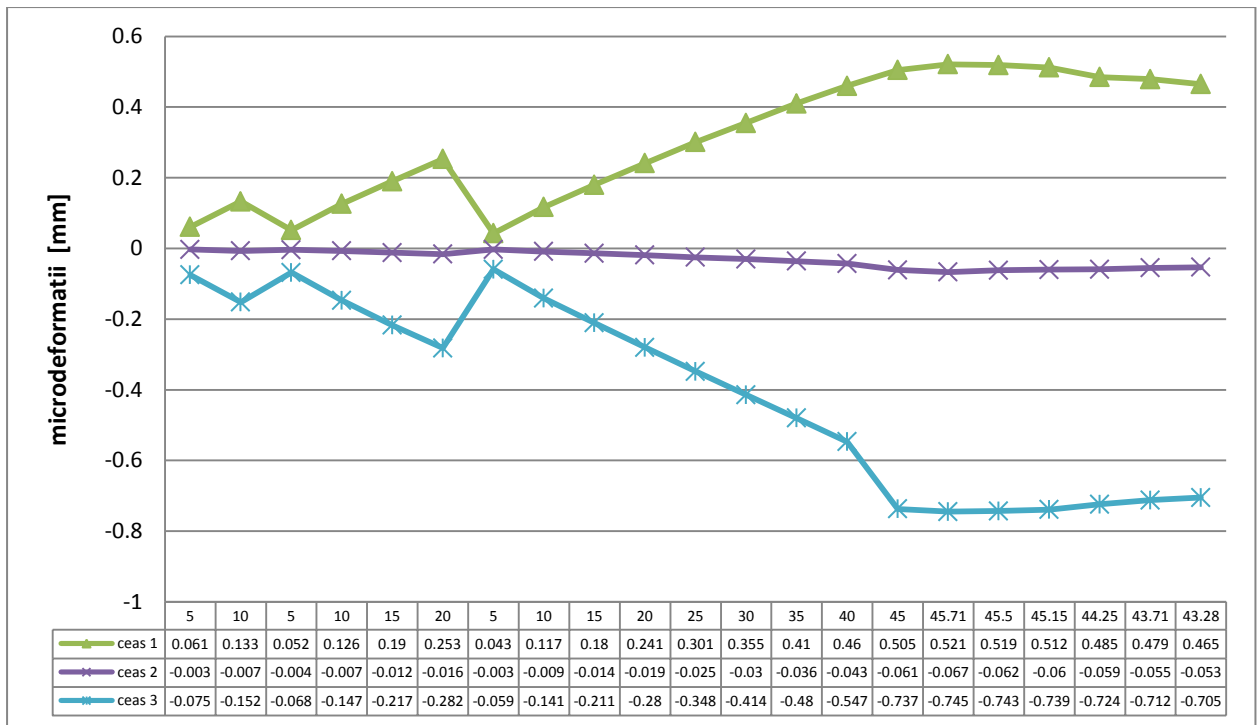


Fig. 4.47- Microdeformații în funcție de săgeată pentru proba NR-AA-2

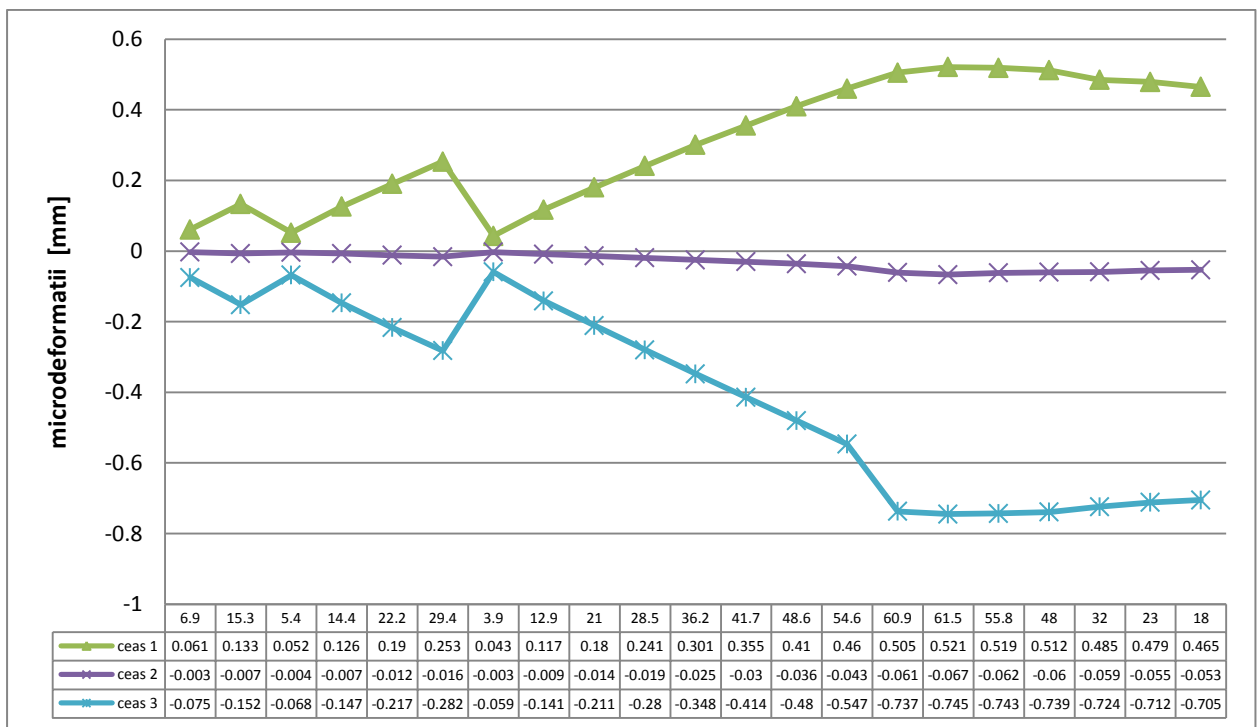


Fig. 4.48- Microdeformații în funcție de încărcare pentru proba NR-AA-2



Fig. 4.49- Cedarea probei NR-AA-1



Fig. 4.50- Cedarea probei NR-AA-2

4.2.6.2 Ciclul doi de încărcare-descărcare, revenire de la săgeata de 20 mm

Al doilea ciclu a fost realizat în aceeași manieră ca primul, încărcând probele până la atingerea unei săgeți de 20 mm, lucru obținut sub o încărcare de 27.9 kN respectiv 26.4 kN, urmată de descărcarea totală a probei.

Tab. 4.8- Comportarea probelor armate cu benzi PET la primul ciclu de încărcare-descărcare

R-PET-1	Încărcare [kN]	1.2	4.8	8.1	11.1	14.1	17.1	19.8	22.5	25.2	27.9
	Deformație[mm]	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
R-PET-2	Încărcare [kN]	2.1	5.4	8.7	11.4	14.1	16.8	19.5	21.6	24.3	26.4
	Deformație[mm]	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20

S-a constatat că și în acest caz revenirea nu s-a realizat în totalitate: deformațiile remanente s-au stabilizat la 2.46 mm respectiv 0.968 mm, după 120 de minute de așteptare.

În figurile Fig. 4.54 și Fig. 4.55 sunt prezentate comportările celor două elemente supuse la ciclul doi de încărcare-descărcare; pe axa verticală sunt reprezentate forțele iar pe axa orizontală săgețile :

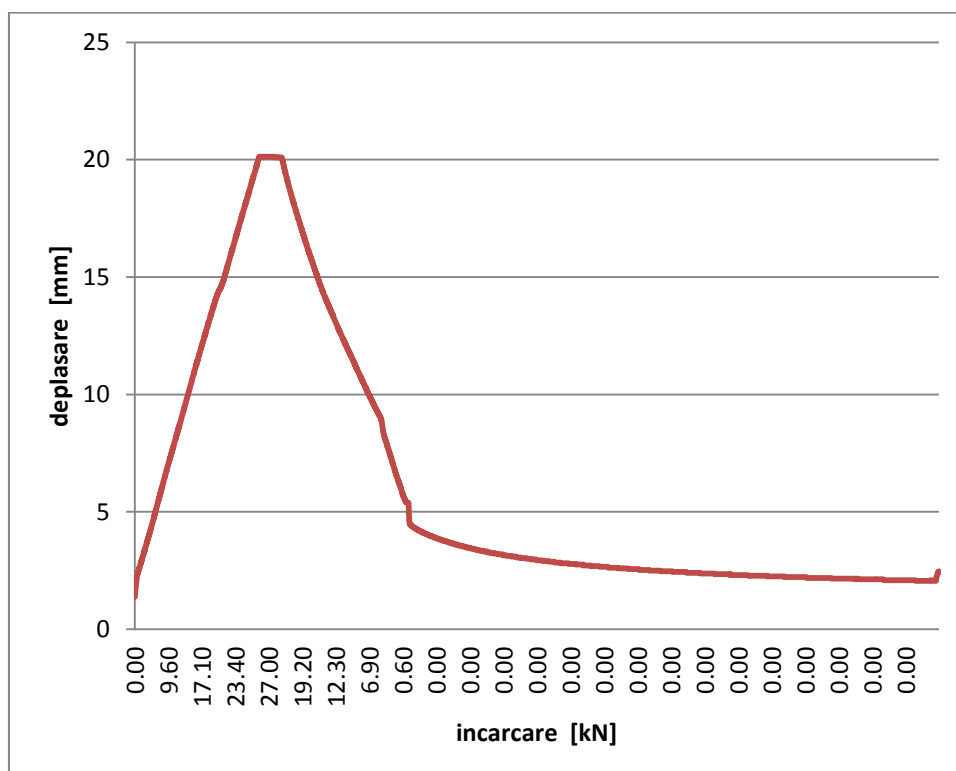


Fig. 4.54- Comportarea la ciclul 2 de încărcare-descărcare al probei R-PET-1

4.2.6.3 Încercarea la rupere prin încovoiere

Încercarea la rupere prin încovoiere s-a realizat identic: forța aplicată a fost setată la o creștere constantă de 0.05kN/s și a fost oprită după cedare.

În graficele următoare se pot observa curbele încărcare/deformație pentru cele două probe:

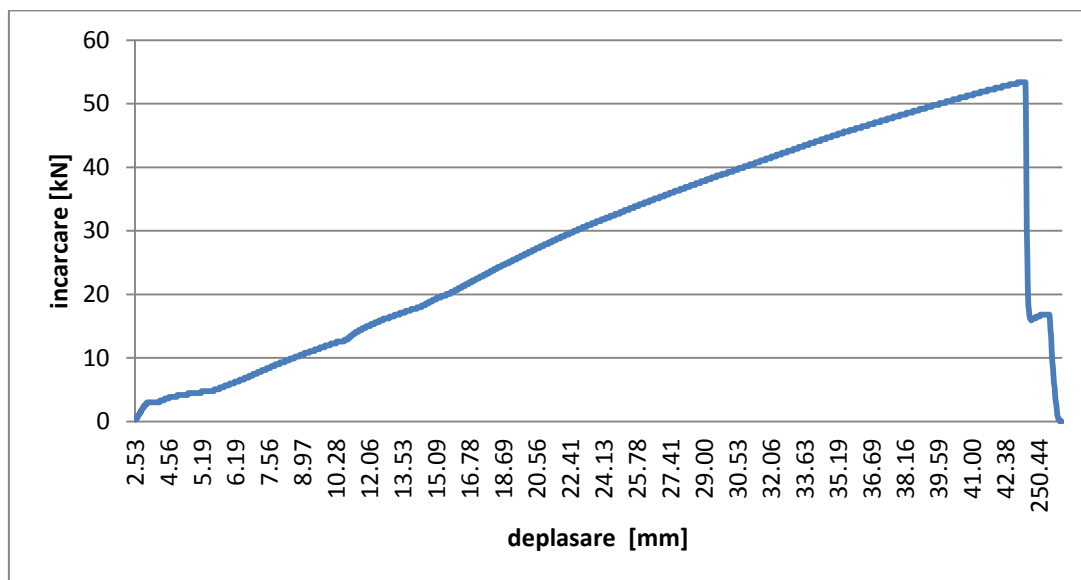


Fig. 4.57- Curba încărcare/deformație pentru proba R-PET-1 solicitată la încovoiere

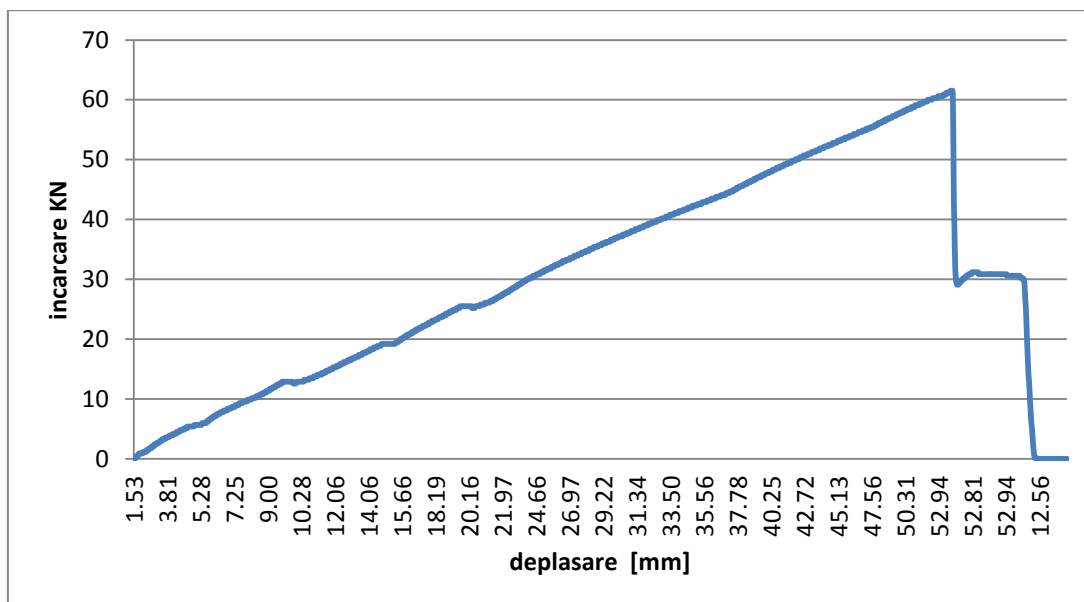


Fig. 4.58- Curba încărcare/deformație pentru proba R-PET-2 solicitată la încovoiere

Se observă cedarea bruscă sub o deformație maximă de 43.28 mm respectiv 54.12 mm, urmată de o revenire scurtă și un palier de curgere după care urmează cedarea totală a probei.

La fel ca în cazul probelor precedente, acestea nu prezintă semne premergătoare cedării.

Citirile pe ceasurile microcomparatoare sunt prezentate în raport cu deplasarea verticală la mijlocul deschiderii în Fig. 4.59 și raportat la forța aplicată în Fig. 4.60 respectiv Fig. 4.61 și Fig. 4.62 .

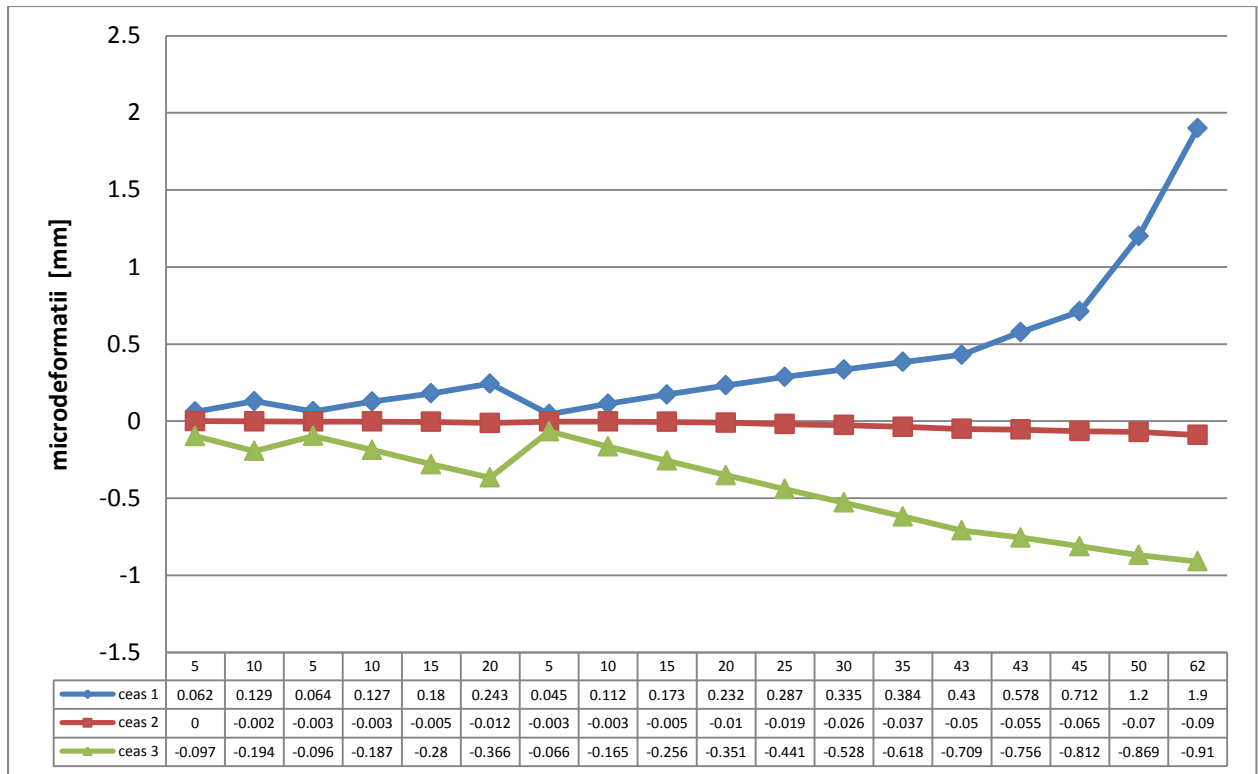


Fig. 4.59- Microdeformații în funcție de săgeată pentru proba R-PET-1

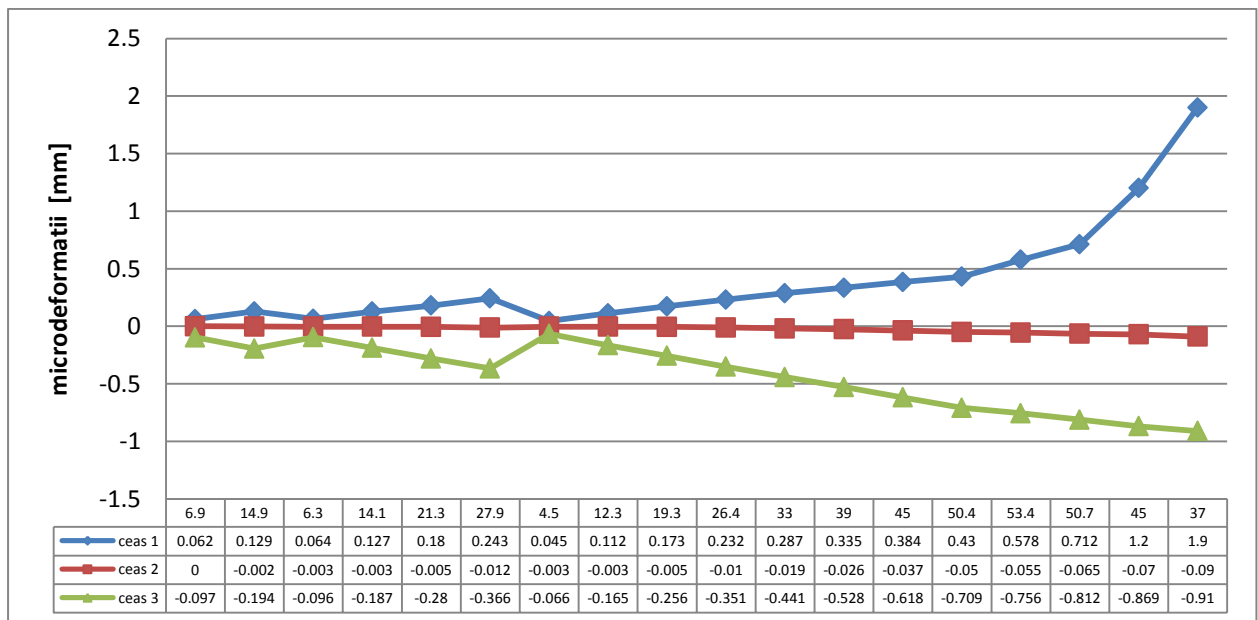


Fig. 4.60- Microdeformații în funcție de încărcare pentru proba R-PET-2

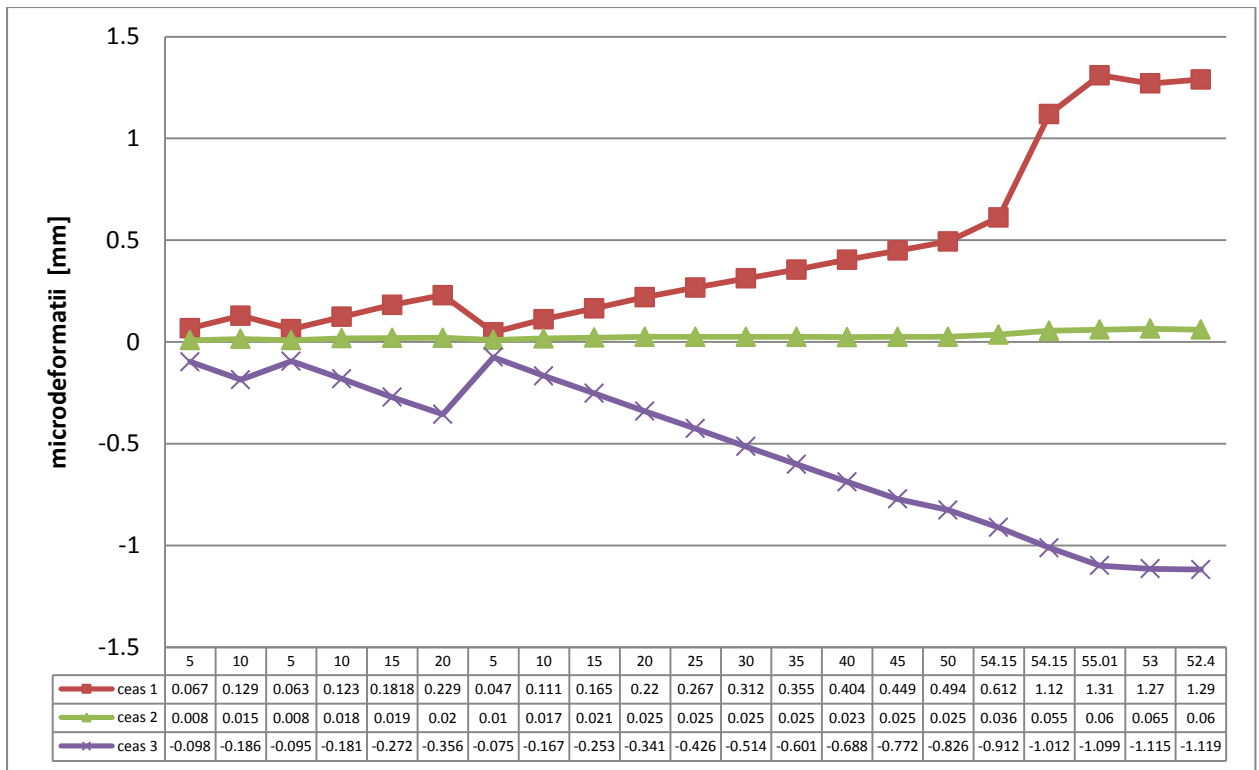


Fig. 4.61- Microdeformații în funcție de săgeată pentru proba R-PET-1

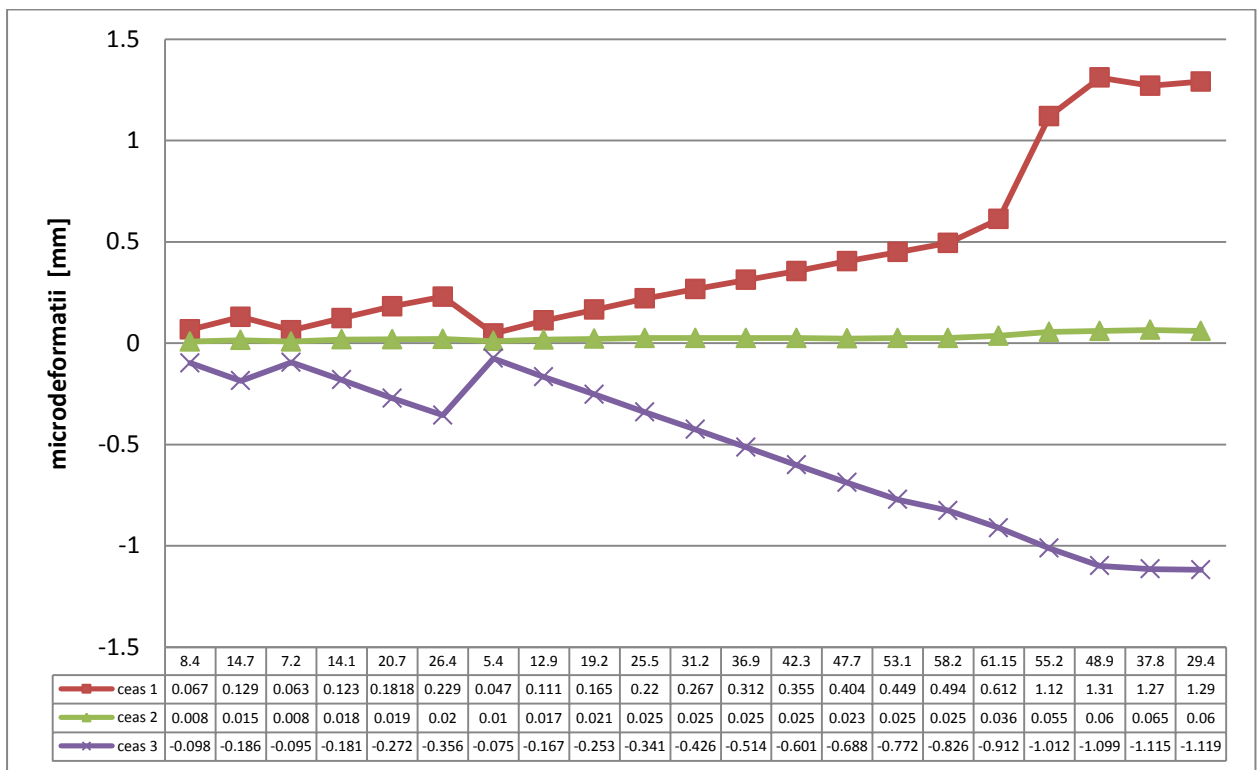


Fig. 4.62- Microdeformații în funcție de încărcare pentru proba R-PET-2



Fig. 4.63- Cedarea probei R-PET-1



Fig. 4.64- Cedarea probei R-PET-2

4.2.7 Comportarea la încovoiere a grinzilor din lemn lamelat încleiat armate cu benzi din fibre de poliester

Cele două probe încercate, numerotate R-FIBP-1 respectiv R-FIBP-2 au fost supuse la încovoiere conform criteriilor prezentate anterior.

4.2.7.1 Ciclul unu de încărcare-descărcare, revenire de la săgeata de 10 mm

S-a început cu primul pas care constă în încărcarea probelor pâna la atingerea unei săgeți de 10 mm, lucru obținut sub o încărcare de 15.3 kN respectiv 13.8 kN , urmată de descărcarea totală a probei.

Tab. 4.9- Comportarea probelor armate cu benzi PET la primul ciclu de încărcare-descărcare

R-FIBP-1	Încărcare [kN]	0.3	1.5	3.3	5.1	6.9	8.7	10.2	12	13.5	15.3
	Deformație[mm]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R-FIBP-2	Încărcare[kN]	1.2	2.4	3.9	5.4	6.9	8.1	9.6	11.1	12.3	13.8
	Deformație[mm]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

S-a constatat că revenirea nu s-a realizat complet, rămânând niște săgeți remanente stabile de 0.56 mm respectiv 0.00 mm , după aproximativ 120 de minute.

Comportarea sub acest ciclu de încărcare-descărcare este prezentat în Fig. 4.57 și Fig. 4.58, unde pe axa verticală sunt reprezentate deplasările iar pe axa orizontală forța aplicată :

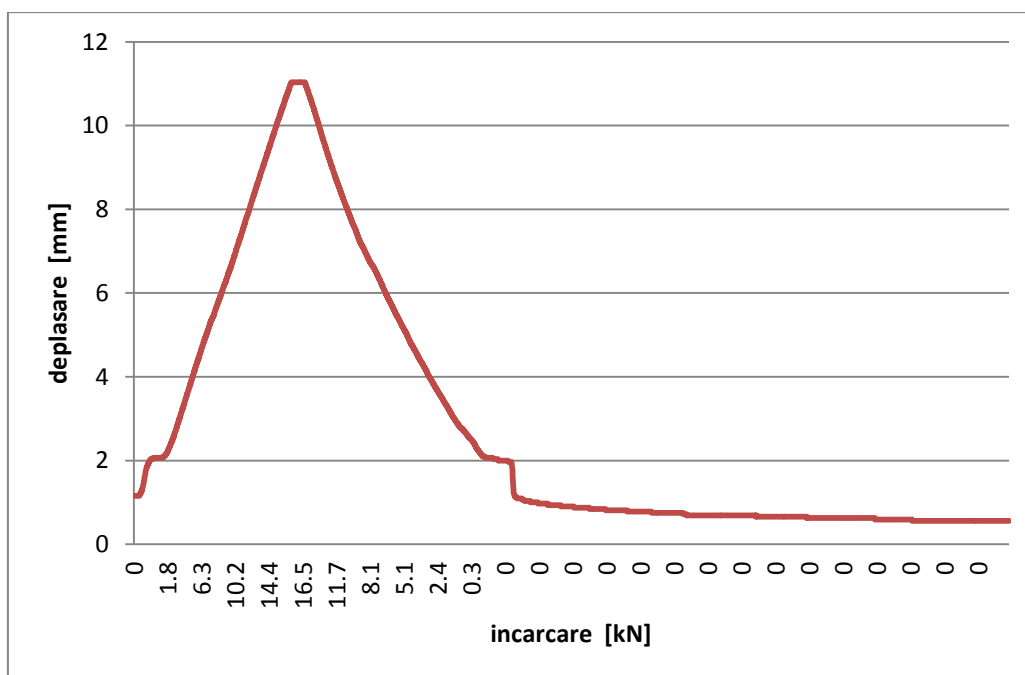


Fig. 4.65- Comportarea la ciclul 1 de încărcare-descărcare al probei R-FIBP-1

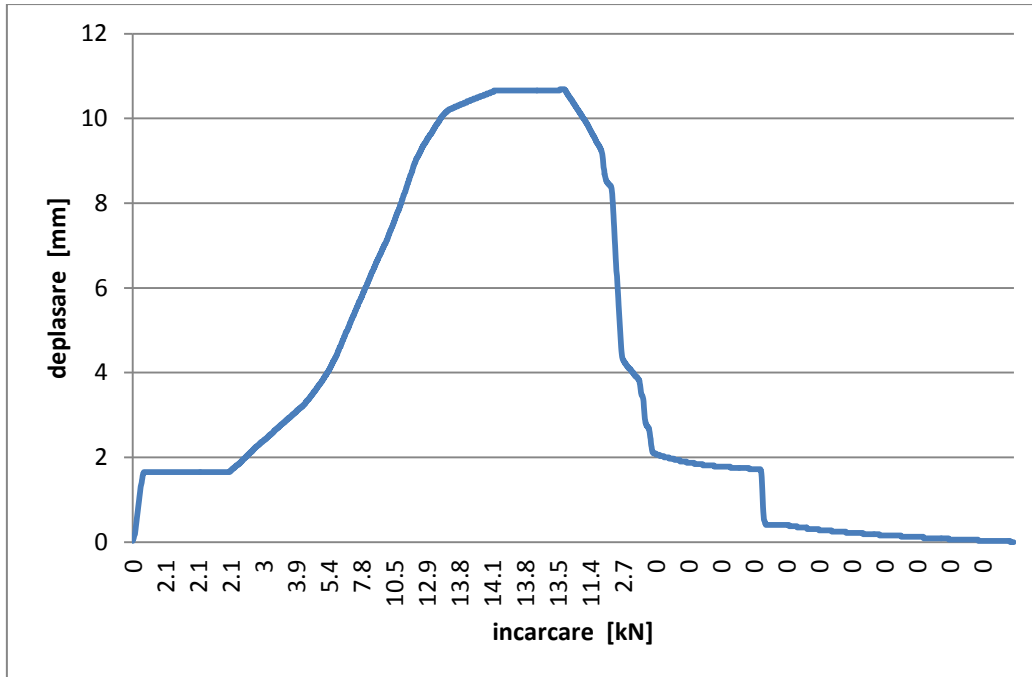


Fig. 4.66- Comportarea la ciclul 1 de încărcare-descărcare al probei R-FIBP-2

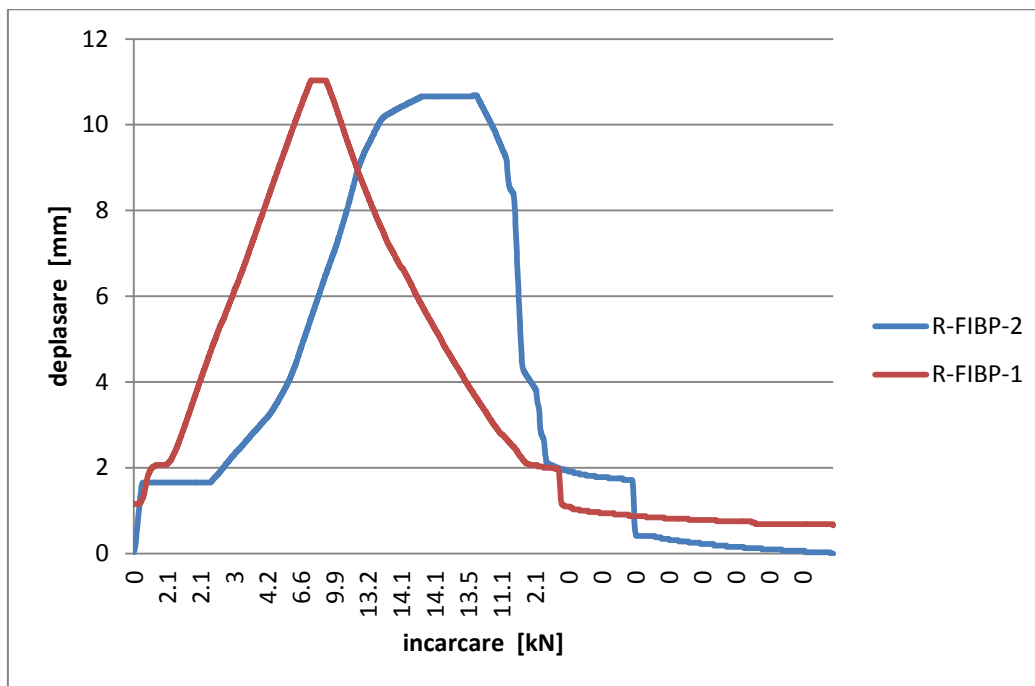


Fig. 4.67- Grafice comparative încărcare-deformație la ciclul unu pentru probele armate cu benzi din fibre de poliester

4.2.7.3 Încercarea la rupere prin încovoiere

Încercarea la rupere prin încovoiere s-a realizat identic, forța aplicată a fost setată la o creștere constantă de aproximativ 0.05kN/s și a fost oprită aplicarea ei imediat după cedarea elementului.

În graficele următoare se pot observa curbele încărcare/deformație pentru cele două probe:

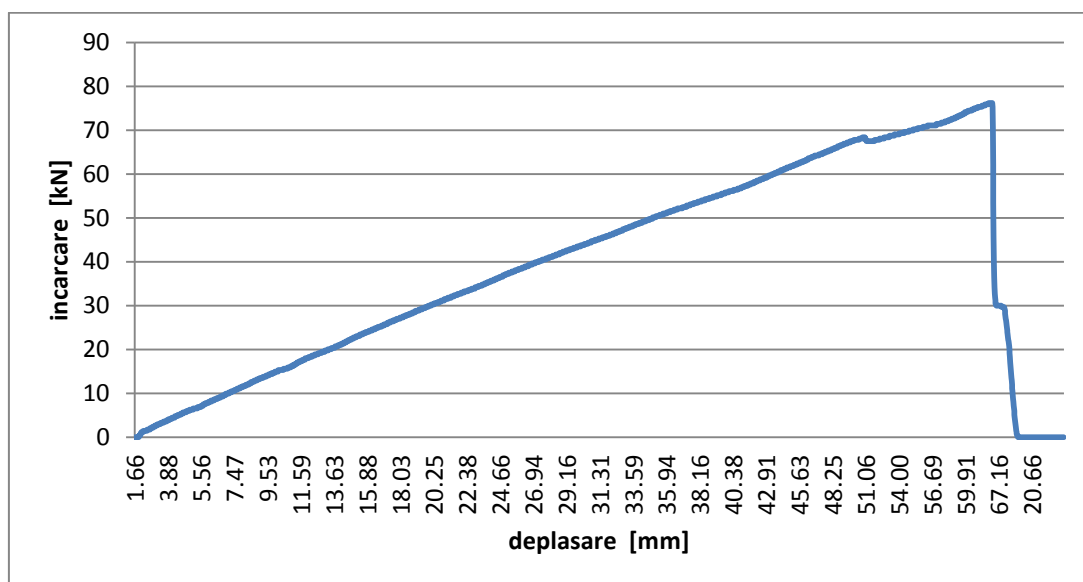


Fig. 4.71- Curba încărcare/deformație pentru proba R-FIBP-1 solicitată la încovoiere

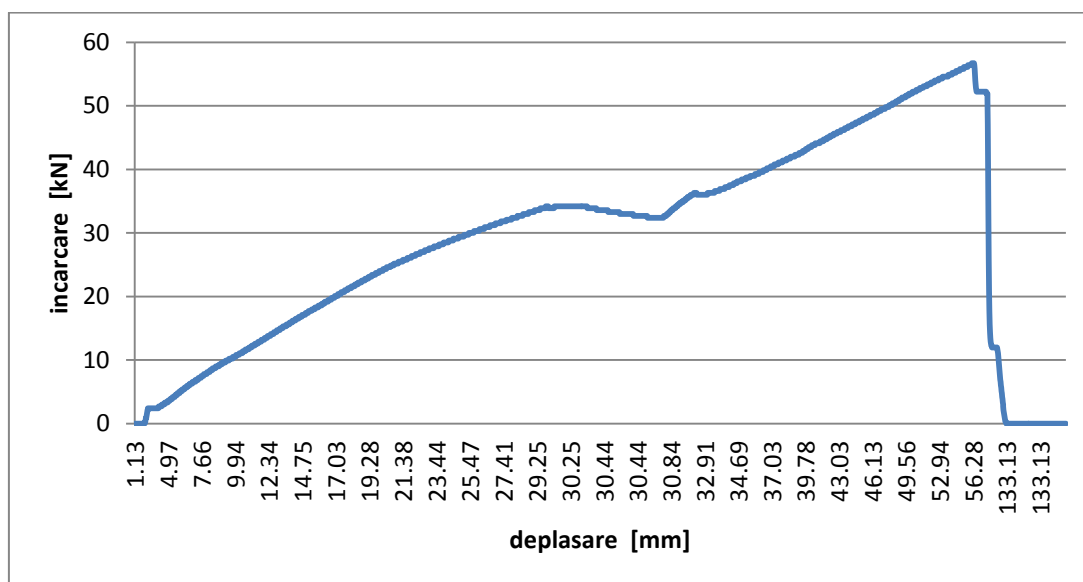


Fig. 4.72- Curba încărcare/deformație pentru proba R-FIBP-2 solicitată la încovoiere

Se observă că deși cedarea se produce brusc, asemenea celorlalte probe, aici capacitatea portantă este net superioară iar săgeata maximă de asemenea este mai mare cu peste 20%.

Citirile pe ceasurile microcomparatoare sunt prezentate în raport cu deplasarea verticală la mijlocul deschiderii în Fig. 4.73 și Fig. 4.74 și raportat la forța aplicată în Fig. 4.75 respectiv și Fig. 4.76.

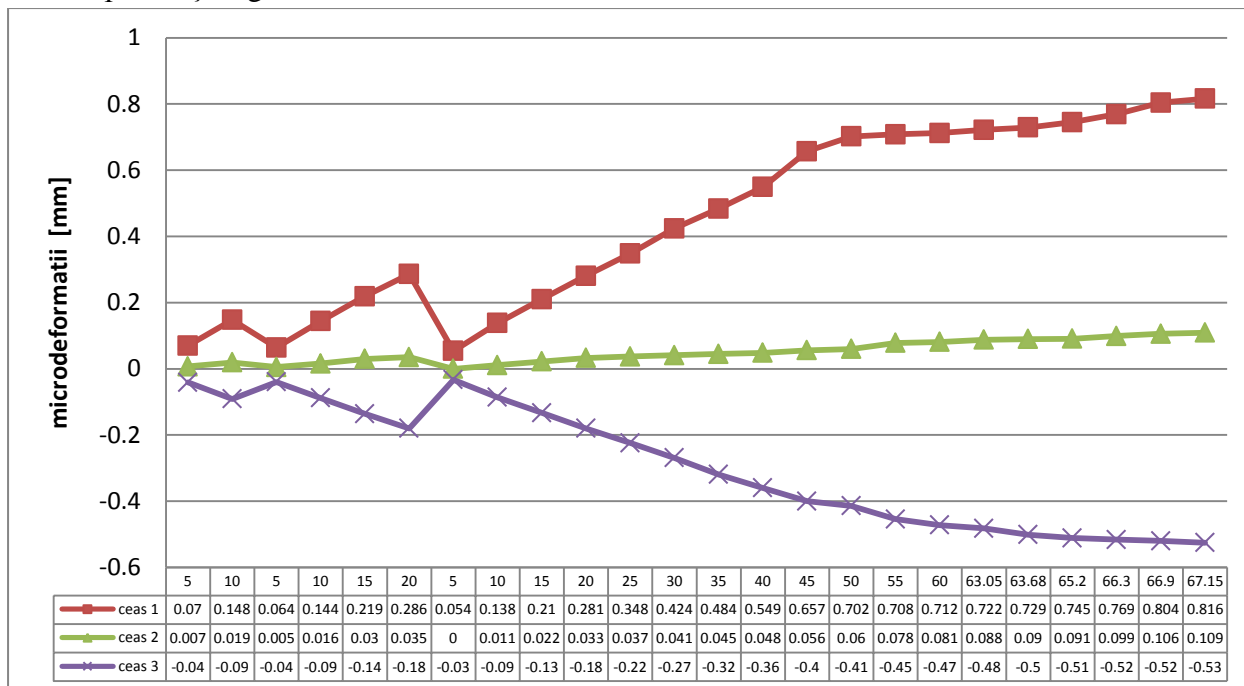


Fig. 4.73- Microdeformații în funcție de săgeată pentru proba R-FIBP-1

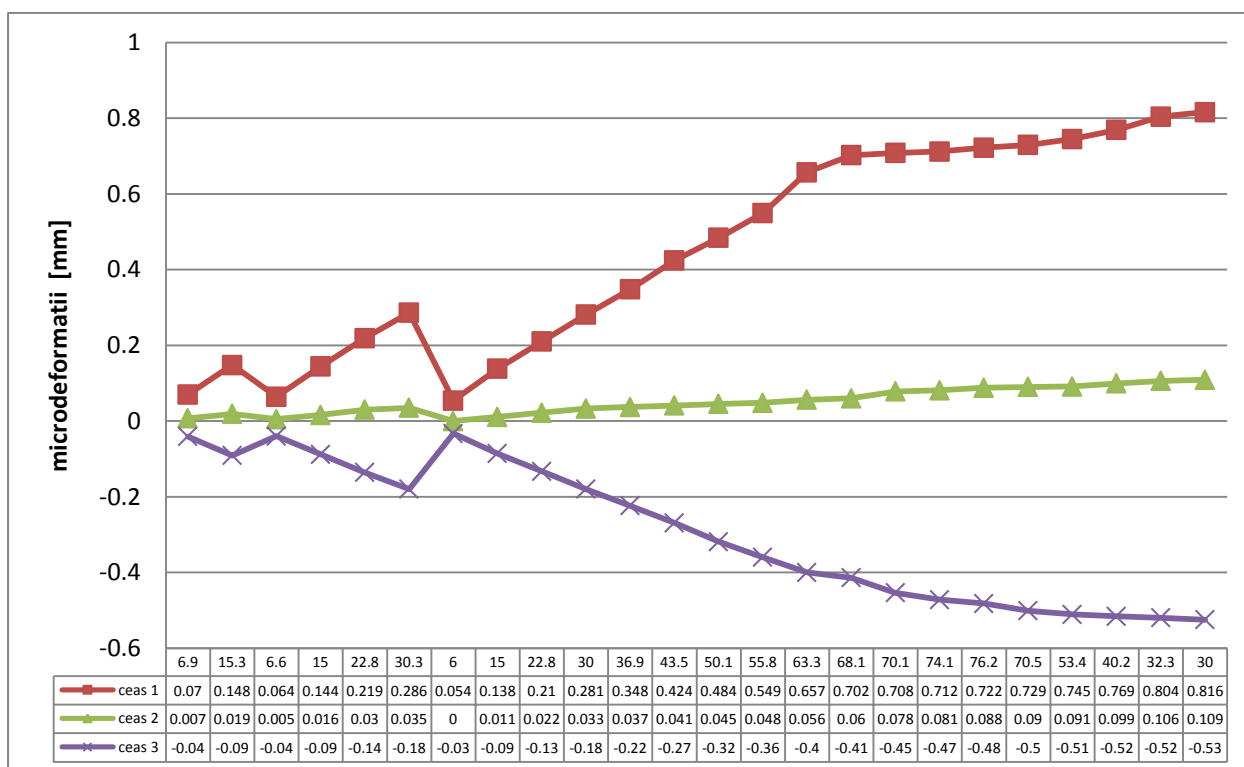


Fig. 4.74- Microdeformații în funcție de încărcare pentru proba R-FIBP-2

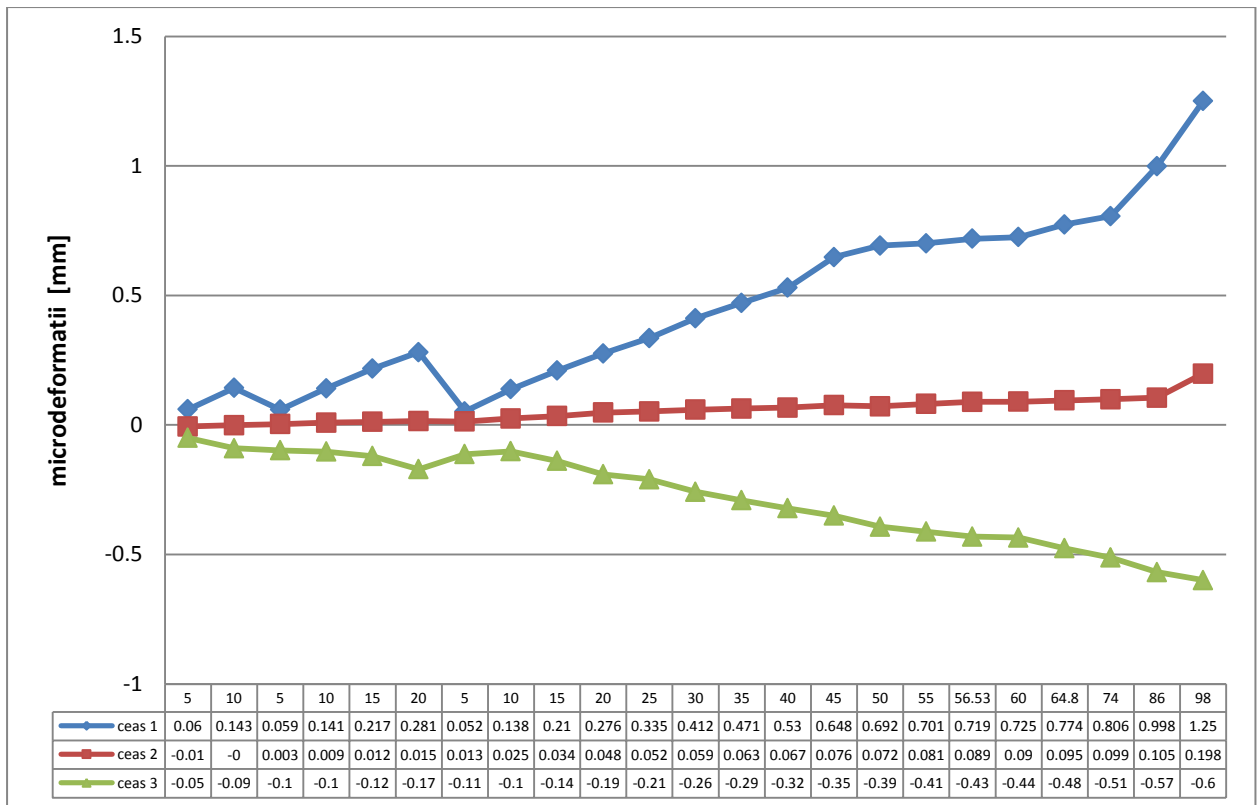


Fig. 4.75- Microdeformații în funcție de săgeată pentru proba R-FIBP-1



Fig. 4.76- Microdeformații în funcție de încărcare pentru proba R-FIBP-2



Fig. 4.77- Proba R-FIBP-1 în timpul încercării



Fig. 4.78- Cedarea prematură a probei R-FIBP-2 datorită unei erori de execuție



Fig. 4.79- Cedarea probei R-FIBP-1



Fig. 4.80- Cedarea probei R-FIBP-2

4.2.8 Studiu comparativ cu privire la comportarea la smulgere a benzilor studiate

În concluzie, se pretează spre a fi folosite ca elemente de armare doar benzile PET și cele din fibre de poliester nelaminate, deoarece fibrele de poliester laminate cu o peliculă de polipropilenă nu prezintă o bună adezivitate la lamelele din lemn și alunecă fără efort din elementul încleiat dacă sunt supuse la tracțiune.

Benzile PET prezintă cel mai interesant comportament de cedare: acestea supuse la tracțiune cedează din adeziv și se reancorează, fapt datorat texturii lor.

Benzile din fibre de poliester simple au rezistența cea mai mare și nu alunecă dintre lamelele din lemn încleiate, cedarea făcându-se prin intermediul ruperii fibrelor.

Toate datele relevante cercetării care au fost obținute sunt trecute în cadrul tabelului centralizator **Tab.4.11**.

Tab. 4.11- Tabel centralizator cu rezultate privind comportarea la smulgere

Tipul benzilor	Forța maximă aplicată [kN]	Cedare din adeziv	Rezistența la întindere a materialului conform fabricantului [N/mm ²]	Utilizare ca element de ranforsare la lemn încleiat
PET straps	1.91	da	300	da
Bonded Polyester yarns	2.79	nu	200	da
Composite polypropylene coated polyester yarns	1.2	da	350	nu

În cele ce urmează vor fi prezentate grafice comparative cu rezultatele testelor la smulgere cu scopul de a evidenția diferitele tipuri de comportări precum și o vizualizare în paralel a caracteristicilor mecanice ale benzilor studiate.

Se observă ca în fiecare caz probele capsate se comportă mai slab decât cele necapsate, datorită scăderii adezivității în acea zonă prin micșorarea suprafeței de frecare dintre cele două materiale, precum și prin slăbirea efectivă a benzii datorită perforării.

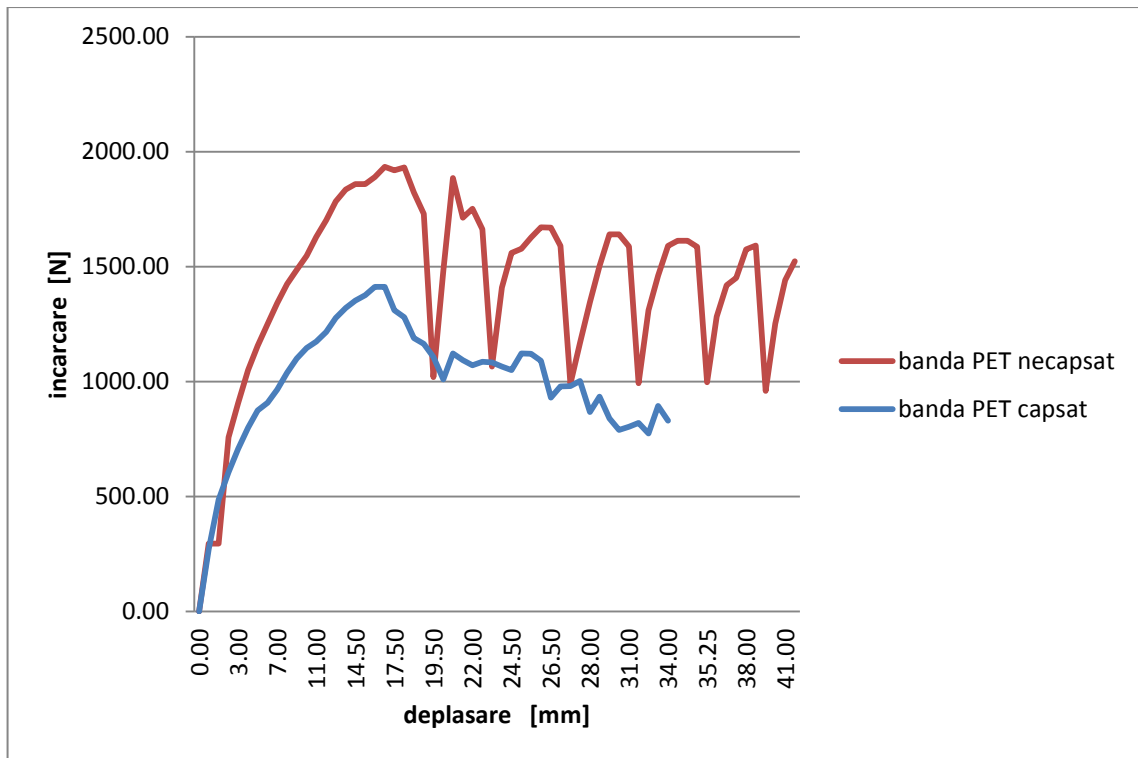


Fig. 4.81- Curbe încărcare/deformație comparative între cele două probe cu benzi PET

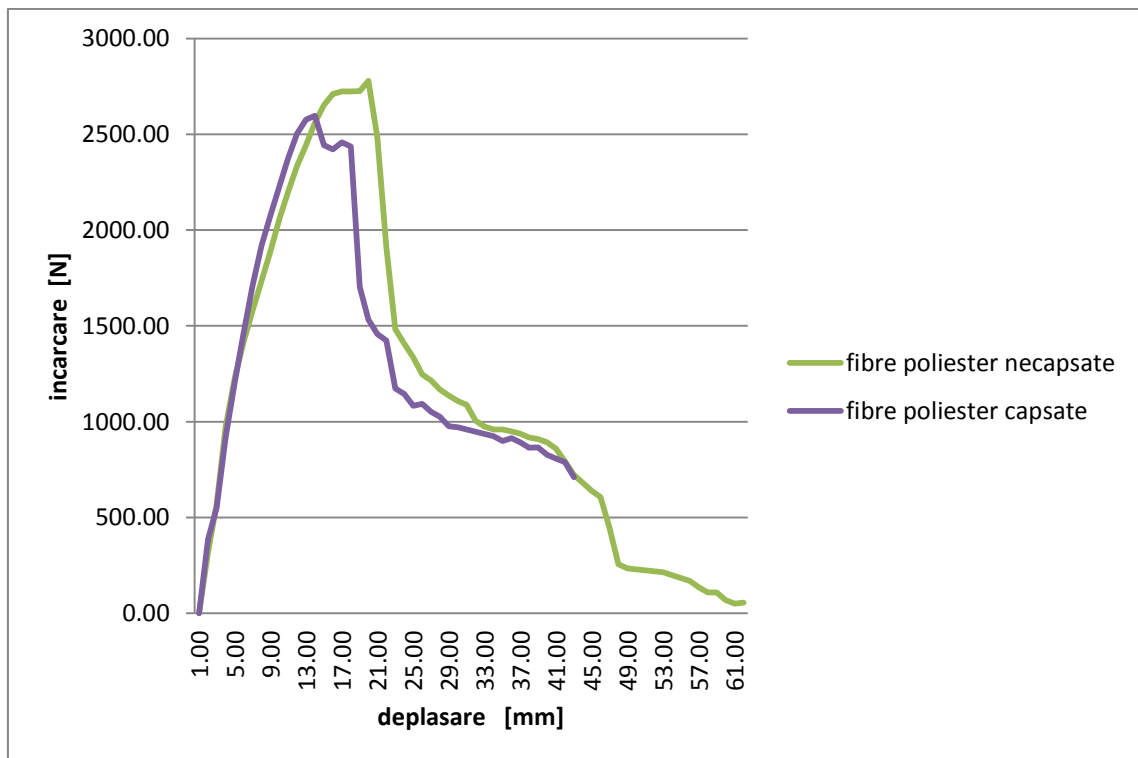


Fig. 4.82- Curbe încărcare/deformație comparative între cele două probe armate cu benzi din fibre de poliester simple

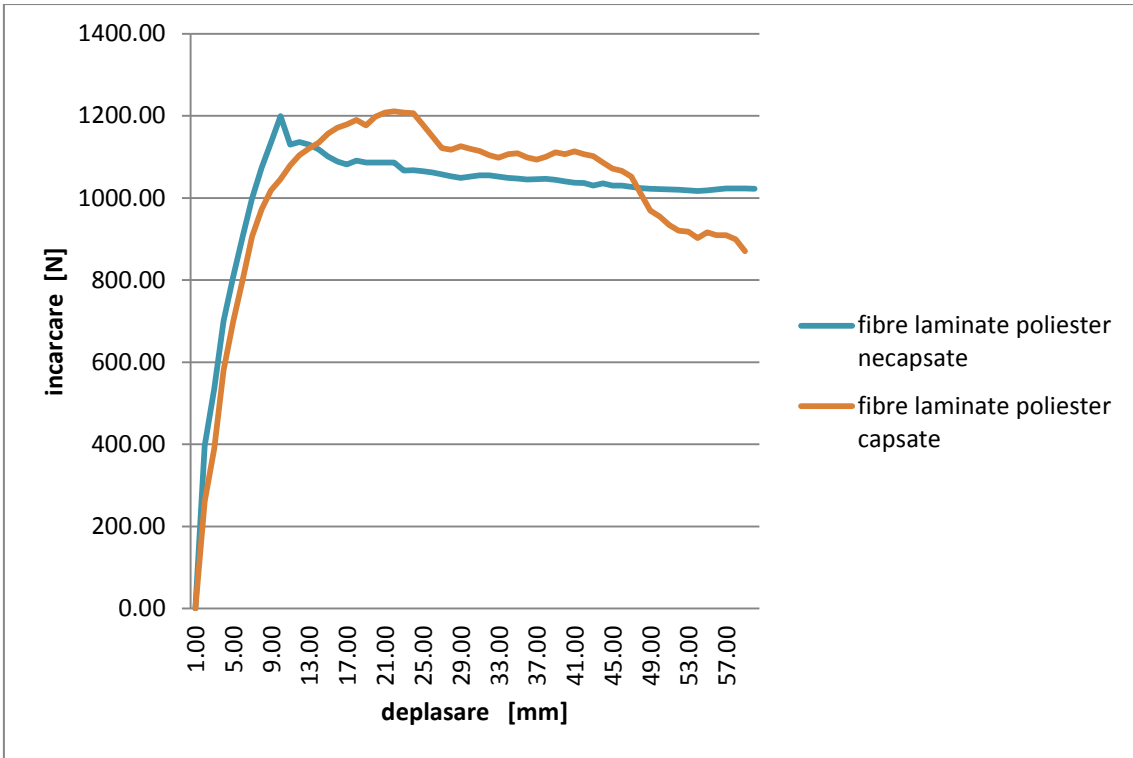


Fig. 4.83- Curbe încărcare/deformație comparative între cele două probe armate cu benzi din fibre de poliester laminate

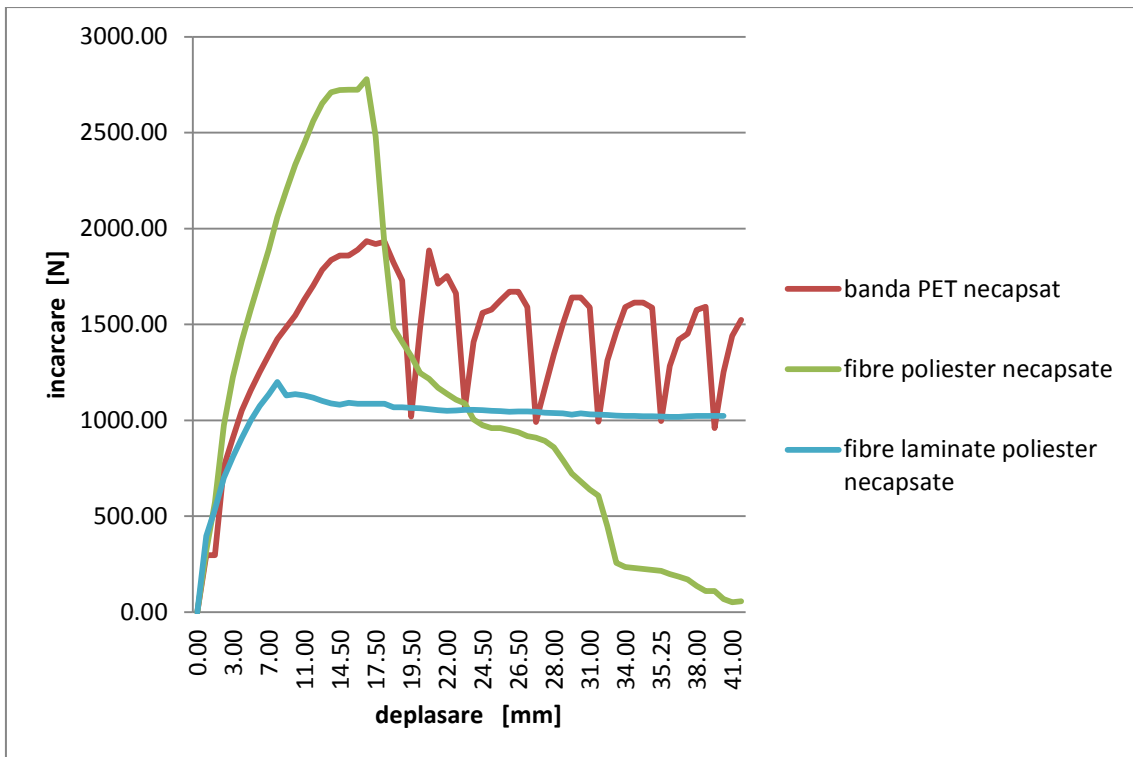


Fig. 4.84- Curbe încărcare/deformație comparative între cele trei tipuri de probe necapsate

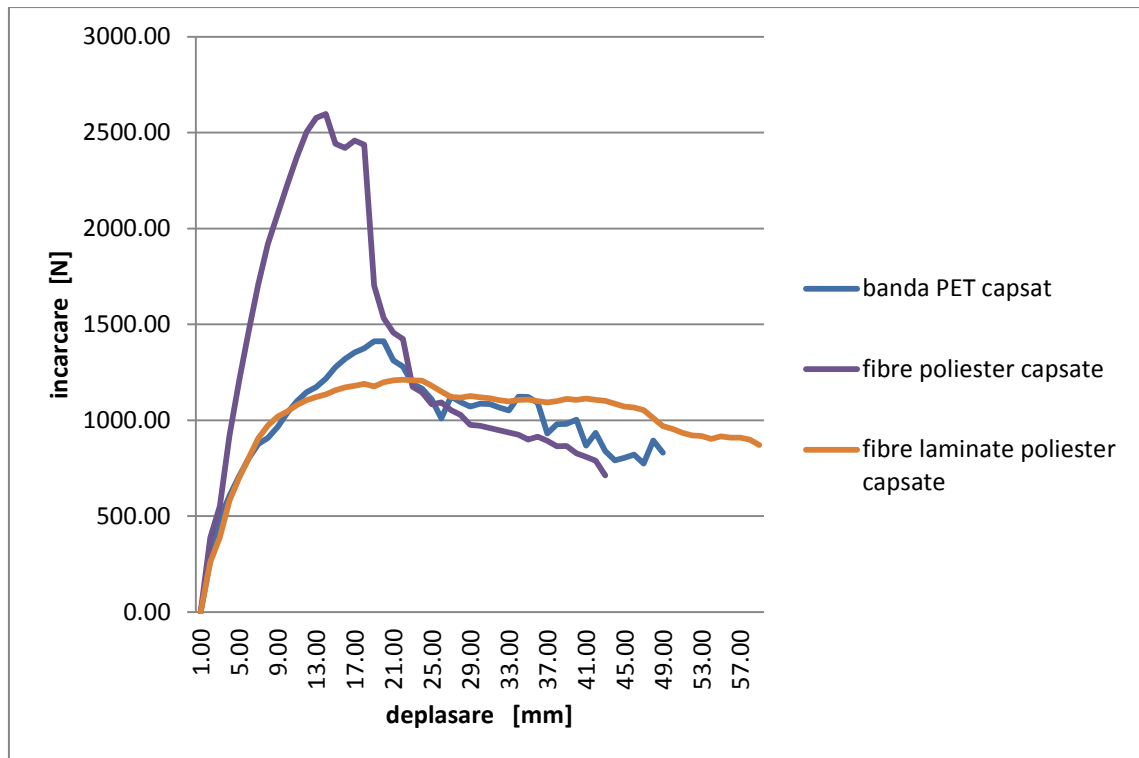


Fig. 4.85- Curbe încărcare/deformație comparative între cele trei tipuri de probe capsate

Observăm din aceste grafice comparative comportarea net superioară a benzilor din fibre de poliester simple, probe care au prezentat cea mai bună adezivitate la lamelele din lemn și de asemenea singurele probe la care cedarea s-a realizat prin ruperea benzilor și nu prin lunecare.

Benzile din fibre de poliester laminate cu un strat de polipropilenă care, deși au rezistența la întindere cea mai mare, s-au comportat cel mai slab, cedarea realizându-se prin lunecarea benzilor la o încărcare cu puțin peste 1 kN.

La ambele tipuri de prindere a benzilor realizate prin lipire, cu sau fără ajutorul capselor, ordinea rezultatelor a fost aceeași.

Se mai observă la proba PET capsată o cedare prin sfâșiere, în salturi, mult mai bruscă deoarece aceste benzi sunt realizate dintr-o rețea de fibre PET dispuse pe mai multe direcții și presate la cald, pe când cele din fibre de poliester sunt formate din fibre dispuse pe lungime.

4.2.9 Studii comparative cu privire la comportarea probelor supuse la încovoiere

4.2.9.1 Comportarea sub ciclurile unu și doi de încărcare-descărcare

Ciclurile unu și doi de încărcare/descărcare au avut ca scop cercetarea capacității de revenire la forma inițială de sub o deformație de 10mm respectiv 20 mm, studiind timpul necesar revenirii precum și eventualele deformații remanente.

În figurile prezentate mai jos se vor observa în paralel aceste curbe pentru fiecare ciclu în parte.

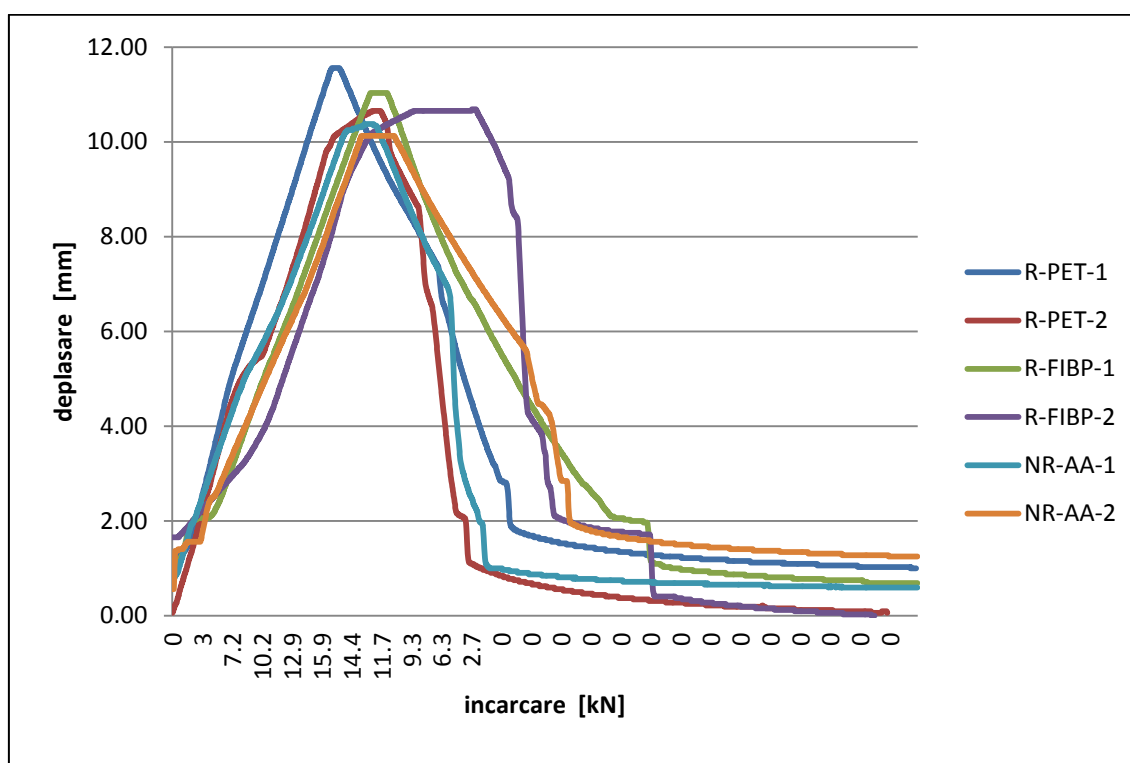


Fig. 4.86- Ciclul unu de încărcare/descărcare, revenire de la săgeata de 10 mm

Se observă o comportare relativ asemănătoare pe partea de încărcare a probelor, iar pe partea de revenire proba din lemn nearmat NR-AA-2 are cea mai slabă revenire, respectiv cea mai mare deformație remanentă după 120 de minute.

Cealaltă probă nearmată are o revenire rapidă până la o săgeată de aproximativ 1 mm după care stagnează.

Cele mai bune comportări au fost ale probelor armate R-PET-2 și R-FIBP-2 la care deformația rămasă tinde spre zero.

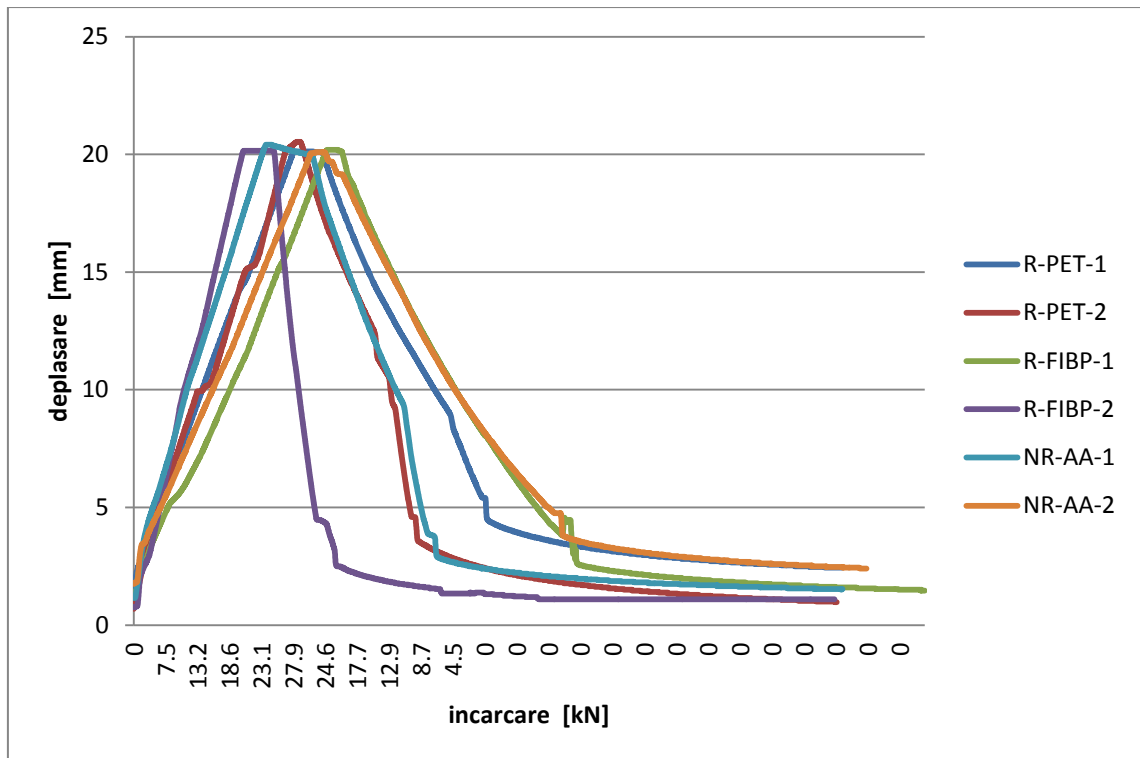


Fig. 4.87- Ciclul doi de încărcare/descărcare, revenire de la săgeata de 20 mm

Comportarea în ciclul doi este asemănătoare cu cea din primul ciclu, probele armate R-PET-2 și R-FIBP-2 având cea mai bună revenire după 120 de minute, respectiv cea mai mică deformație remanentă precum și cea mai rapidă revenire până la o săgeată de 2mm.

Proba nearmată NR-AA-1 are, la fel ca la primul ciclu, o revenire rapidă inițială după care stagnează.

Cea mai slabă revenire o are și de această dată proba nearmată NR-AA-2.

În concluzie putem spune că dispunerea de benzi sintetice pentru armarea probelor realizate din lemn lamelar încleiat aduce beneficii cu privire la elasticitatea elementelor și la comportarea sub cicluri de încărcare/descărcare.

4.2.9.2 Încercarea la rupere prin încovoiere

După ciclurile unde s-a studiat revenirea probelor ranforsate și neranforsate a urmat încărcarea probelor pâna la cedare și s-au observat următoarele:

- în fiecare caz variația încărcare/deplasare a fost una lineară cu o excepție în cazul probei ranforsate cu fibre de poliester R-FIBP-2 unde a avut loc o mică cedare intermediară cauzată de un defect al materialului lemnos;
- ruperea s-a produs brusc, fără semne premergătoare;
- după cedare a urmat o pierdere totală a capacității portante a elementului;
- folosirea benzilor PET ca element de ranforsare nu aduce un spor vizibil al capacității portante;
- probele ranforsate cu benzi PET au avut o cedare mai violentă, cu fisuri orizontale de dimensiuni mai mari pe lungimea elementului;
- folosirea benzilor din fibre de poliester aduce un spor semnificativ de peste 20 % la capacitatea portantă și se prezintă ca fiind net superioare celorlalte probe studiate;
- înafară de cedarea prematură a probei R-FIBP-2, celelalte probe au avut o comportare similară.

În figurile următoare se pot observa grafice comparative privind la solicitarea la încovoiere a probelor.

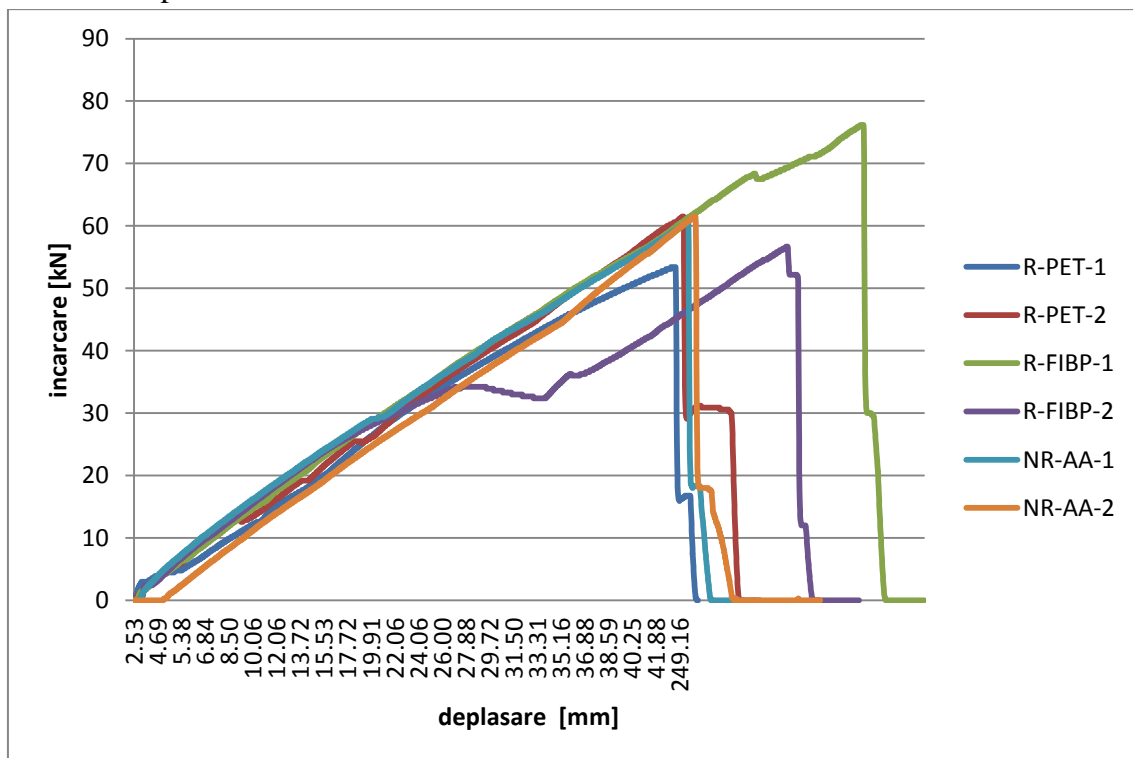


Fig. 4.88- Comportarea la încovoiere, grafic comparativ

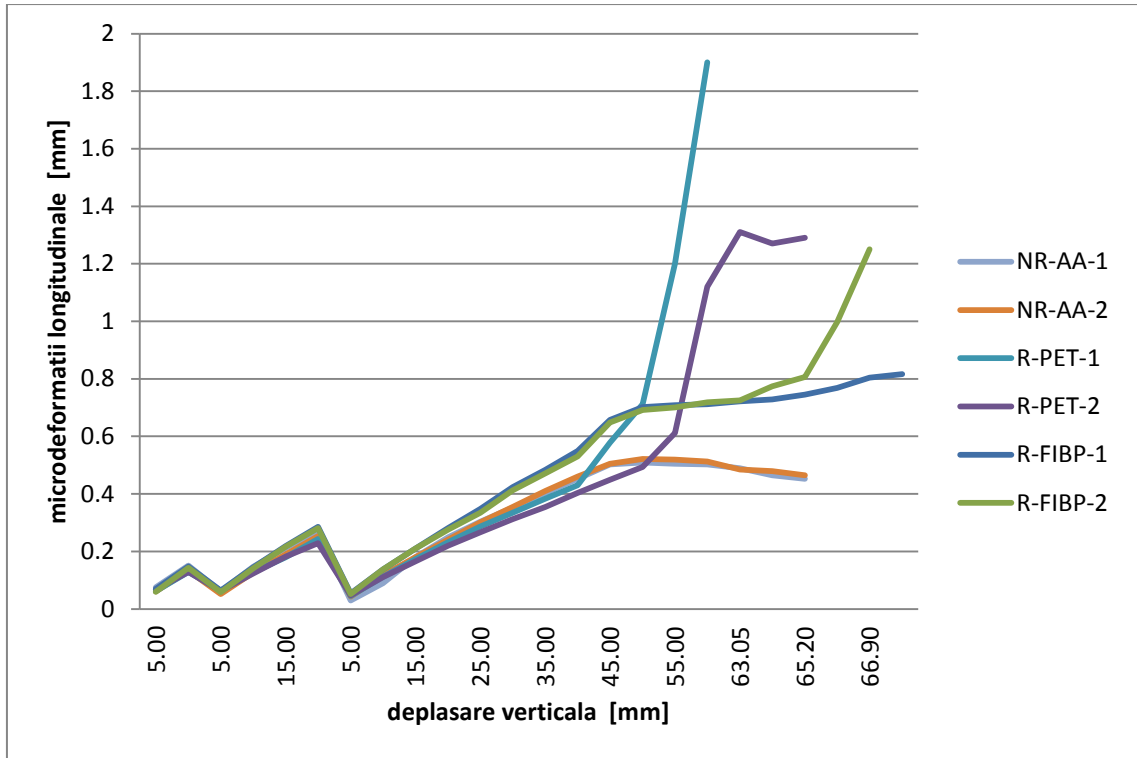


Fig. 4.89 – Citiri pe ceasul 1 microcomparator

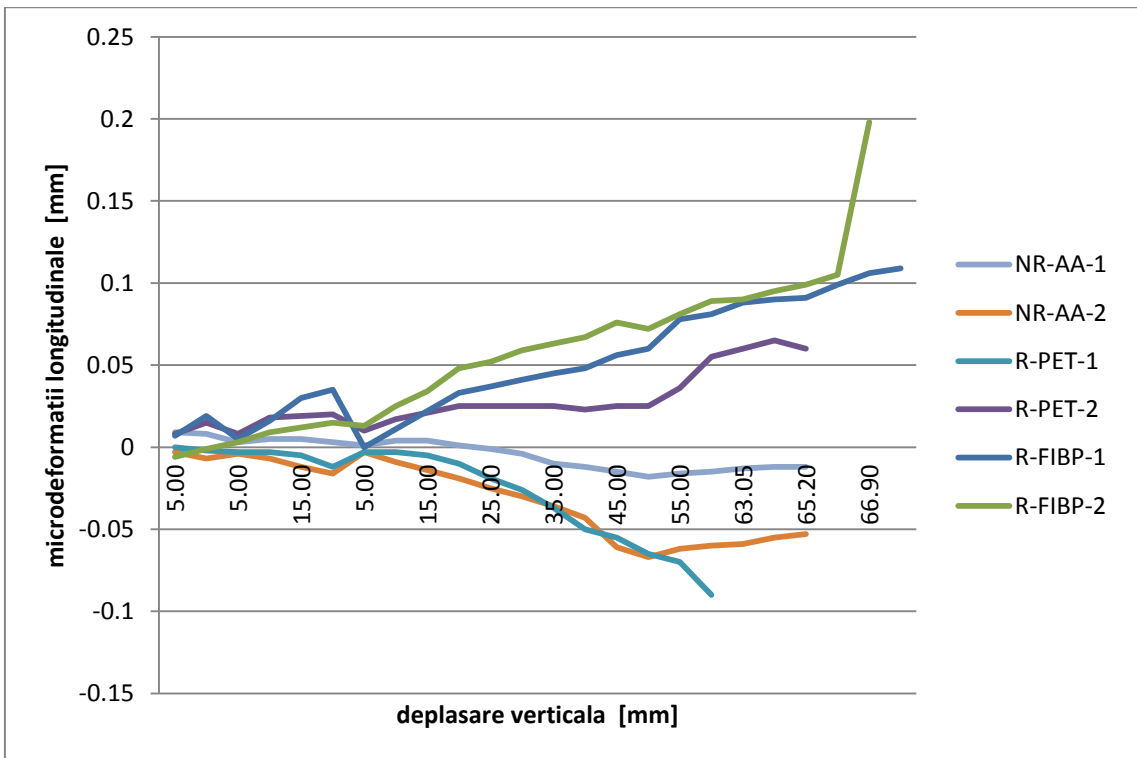


Fig. 4.90- Citiri pe ceasul 2 microcomparator

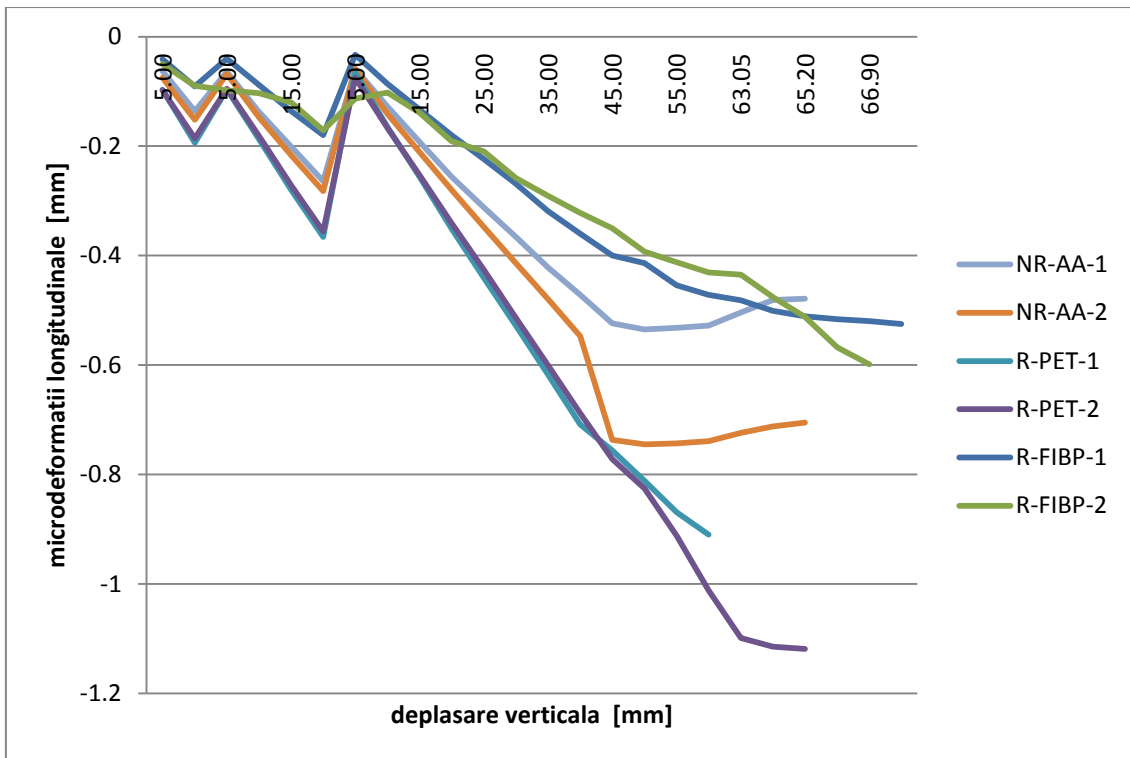


Fig. 4.91- Citiri pe ceasul 3 microcomparator

4.2.10 Studiu comparativ cu privire la scăderea capacității portante a grinzilor din lemn lamelat înleiat cauzate de folosirea lemnului de clasă inferioară pentru realizarea inimii

Pentru acest studiu au fost realizate două grinzi de 3 m lungime și secțiune 12 cm x 36 cm realizate din lamele de 2 cm grosime care au următoarea alcătuire în funcție de clasa lamelilor:

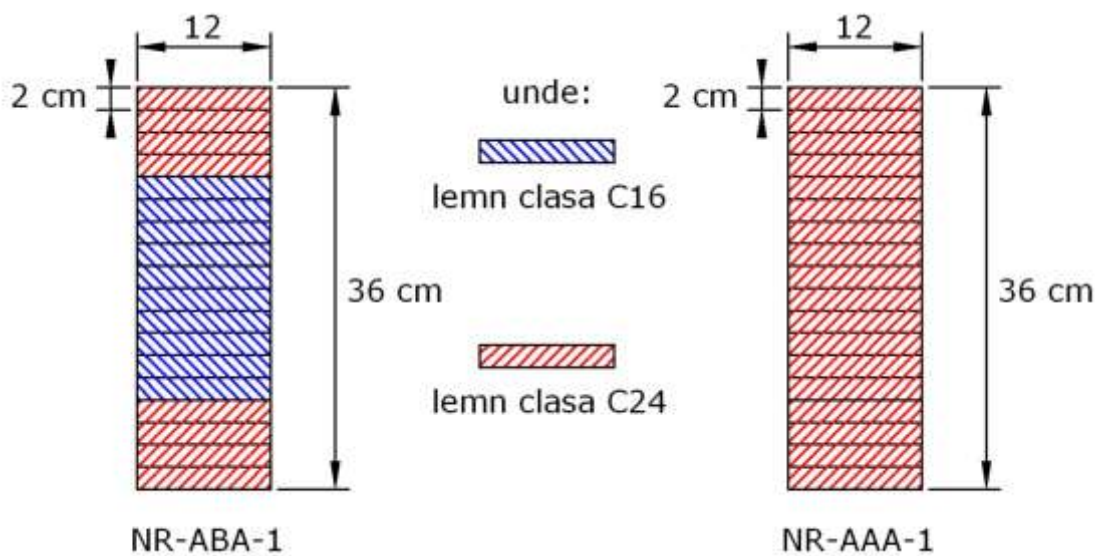


Fig. 4.92- Alcătuiră probelor NR-ABA-1 și NR-AAA-1

Scopul acestor încercări a fost de a compara pierderea capacității portante raportate la costul execuției prin folosirea lemnului de clasă inferioară pentru realizarea inimii. În acest mod se urmărește eficientizarea consumului de material lemnos prin utilizarea lui într-un procent cât mai mare la realizarea de elemente structurale încleiate.

Metoda de testare a fost identică cu cele precedente cu precizarea că ciclurile de încărcare/descărcare lipsesc la acestea două.

Rezultatele arată o scădere a capacității portante relativ mică, de sub 10% și o comportare similară a celor două probe.

Este interesant de studiat curba încărcare/deformație a celor două probe care prezintă cedări în trepte urmate de o revenire a capacității portante. Acest lucru s-a realizat prin apariția unor fisuri longitudinale atât la nivelul adezivului cât și la nivelul lamelor care separau elementul unitar în mai multe elemente care urmau să lucreze independent unu de celălalt.

Prima revenire a fost de aproximativ 90% din capacitatea portantă inițială, iar apoi revenirile au fost sub 30%.

În concluzie se justifică folosirea materialului de clasă inferioară pentru realizarea inimilor elementelor încleiate, pierderea capacității portante nefiind semnificativă.

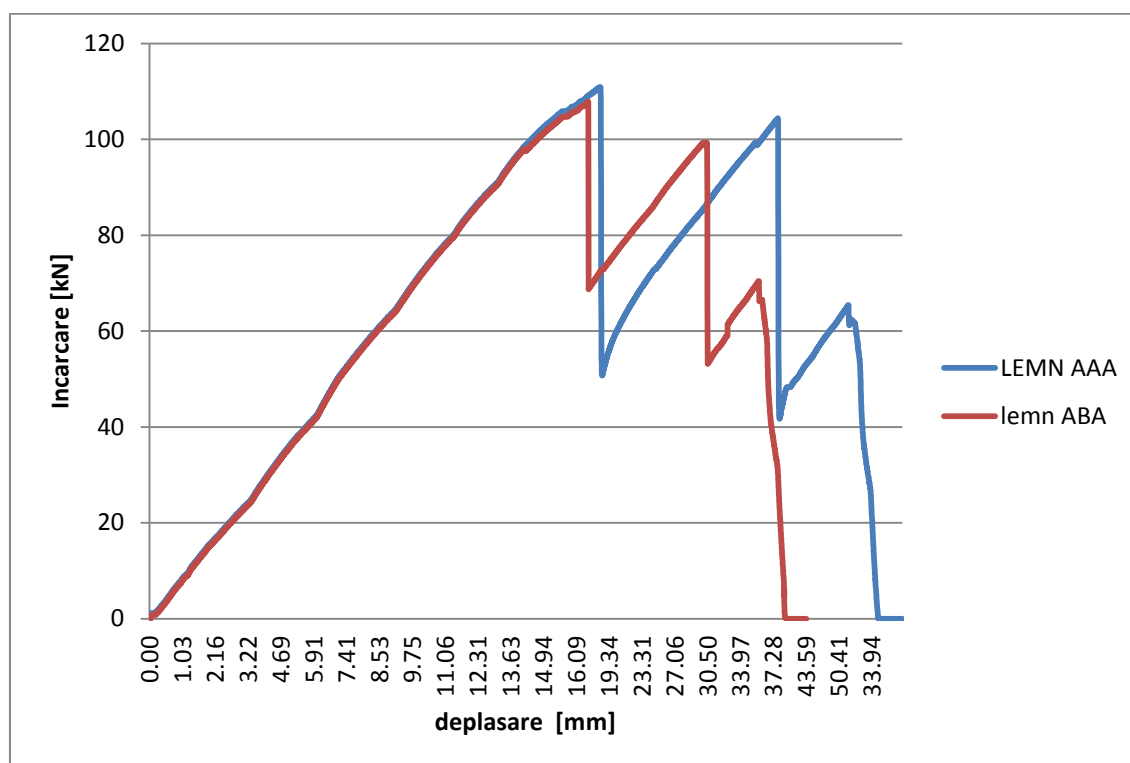


Fig. 4.93- Curbe încărcare/deplasare comparative pentru cele două probe



Fig. 4.94- Testarea probei NR-AAA-1



Fig. 4.95- Prima cedare a probei NR-AAA-1



Fig. 4.96- A doua cedare a probei NR-AAA-1



Fig. 4.97- Cedarea probei NR-ABA-1

Capitolul V - Concluzii și contribuții personale

Utilizarea lemnului lamelat încleiat în realizarea elementelor structurale și a materialelor compozite sunt două direcții de cercetare de mare actualitate datorită insuficienței datelor la nivel mondial pentru prima categorie și datorită multitudinii de posibilități de realizare pentru cea de-a doua.

În urma încercărilor efectuate s-au concluzionat următoarele:

- benzile de tip PET precum și cele din fibre de poliester pot fi folosite ca elemente de ranforsare în cadrul structurilor din lemn lamelat încleiat;
- benzile din fibre de poliester laminate nu prezintă adezivitate față de lamelele din lemn, drept urmare folosirea lor ca elemente de ranforsare nu este practică;
- elementele ranforsate se comportă mai bine la încovoiere decât cele neranforsate;
- probele ranforsate cu benzi PET au o mai bună revenire sub cicluri de încărcare/descărcare dar nu aduc un spor semnificativ la capacitatea portantă a elementului;
- probele ranforsate cu benzi din fibre de poliester de asemenea au o mai bună revenire sub cicluri de încărcare/descărcare și aduc un spor de peste 20% capacității portante a elementului;
- greșelile din cadrul realizării elementelor încleiate pot aduce probleme majore în exploatare;
- folosirea lemnului de clasă inferioară pentru realizarea inimii elementelor realizate din lemn lamelat încleiat supuse la încovoiere nu scade semnificativ capacitatea portantă și este justificată în majoritatea cazurilor.

Contribuții personale:

- studiu cu privire la posibilitatea utilizării elementelor de tip cordstrap ca ranforsări în cadrul realizării elementelor din lemn lamelat încleiat;
- studiu experimental cu privire la comportarea elementelor de tip cordstrap din cadrul elementelor încleiate supuse la smulgere;
- studiu experimental cu privire la comportarea elementelor încleiate simple sau armate cu benzi sintetice supuse la diferite cicluri de încărcare/descărcare;
- studiu comparativ între comportările elementelor încleiate armate și nearmate supuse la cicluri de încărcare/descărcare;
- studiu experimental cu privire la comportarea la încovoiere a elementelor încleiate simple sau armate cu benzi sintetice;
- studiu comparativ între comportările elementelor încleiate armate și nearmate supuse la încovoiere;
- studiu experimental cu privire la scăderea capacității portante prin utilizarea lamelelor de clasă inferioară pentru realizarea inimii la grinzile din lemn lamelat încleiat;

Direcții viitoare de cercetare:

- continuarea studierii comportării elementelor ranforsate cu benzi sintetice la diferite tipuri de solicitări;
- studierea altor tipuri de materiale care pot fi utilizate ca elemente de ranforsare în cadrul structurilor din lemn lamelat încleiat;
- dezvoltarea altor tipuri de structuri compozite pe bază de lemn lamelat încleiat;
- dezvoltarea unor sisteme modulare din lemn lamelat încleiat, cu utilizare directă în realizarea suprastructurilor de poduri și podețe pentru deschideri mici și medii;
- realizarea unor modele de calcul pentru elementele din lemn lamelat încleiat ranforsate cu benzi sintetice pe bază experimentală.

BIBLIOGRAFIE

- [1] **Hammond G, Jones C** - *Inventory of Carbon & Energy (ICE)*, University of Bath, 2008.
- [2] **Freedman G, Mettem C, Larsen P, Edwards S, Reynolds T, Enjily V** - *Timber Bridges and Foundations*, 2002.
- [3] **Riberholt Hilmer** - *Performance of old glulam structures in Europe*, Denmark's Tekniske Universitet, 2007.
- [4] **Fischetti David C**- *Structural Investigation of Historic Buildings*, John Wiley & Sons., 2009.
- [5] *** - Situația pădurilor, Mediului Ministerul, 2010.
- [6] ***, www.dynea.com , Dynea resins Romania.
- [7] ***, www.cordstrap.net, properties of cordstrap.
- [8] **Porteous Jack, Kermani Abdy** -*Structural Timber design to Eurocode 5*, Blackwell publishing, 2007.
- [9] *** **EN 1995 -1 -1, Eurocode 5: Design of Timber Structures. Part 1-1: General-Common Rules and Rules for Buildings**, 2004.
- [10] **W Mendenhall, Sincich T** - *Statistics for Engineering and the Sciences*, 4th edition , Englewood Cliffs, NJ, USA ,1995.
- [11] *** **EN 408:2003 Timber Structures, Structural timber and Glued Laminated timber - Determination of Some Physical and Mechanical Properties** , 2003
- [12] **Giurgiu Marius** - *Studiul privind optimizarea structurilor lamelar compuse, din lemn, utilizate în construcții*, Universitatea Transilvania din Brașov, 2011.
- [13] **Furdui Cornel** - *Construcții din Lemn- Materiale si Elemente de Calcul*, Editura Politehnica Timisoara, 2007.
- [14] **Ehlbeck J., Colling F. R.** - *The strenght of glued laminated timber (Glulam) - Influence of laminations qualities and strenght of finger joints*, Proceedings from CIB Meeting 21, CIB-W18/21-12-3 , 1988.
- [15] **Serrano Erik** - *COST E24 Probabilistic Model Code for Timber - Glued Laminated Timber*, Lund University, 2004 , HJL/Draft 2004-09-28.
- [16] **Serrano E, Larsen H J** - *Numerical investigations of the laminating effect in laminated beams*, J.Structural Engineering, 1999 , 125(7), 740-745.
- [17] **Lopez-Anido Roberto**- *FRP- Blulam Panels for Highway Bridge Deck*.
- [18] *** **EN 1995 -1 -2, Eurocode 5: Design of Timber Structures. Part1-2: Structural Fire Design**, 2004.
- [19] *** **EN 1995 - 2, Eurocode 5 : Design of timber Structures. Part 2: General Rules: Supplementary Rules for Bridges**, 2005.
- [20] **Aasheim E, Colling F, Ehlbeck J, Falk R H, Gorlacher R, K Solli** -*Norwegian bending tests with glued laminated beams- Comparative Calculations with the "karlsruhe calculation model"*, CIB-W18 , 1993.

- [21] **Brandner Reinhard, Schickhofer Gerhard** - *Bearing model for glued laminated timber in bending-new aspects concerning modelling*, World conference on timber engineering, 2010.
- [22] **Douglas Rammer R, Lawrence Soltis A** - *Experimental Shear Strength of Glued-Laminated Beams*, United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest products Laboratory, 1994.
- [23] **Dragoslav Stojic, Radovan Cvetkovic, Nikola Stojic** - *The design of glued laminated timber footbridge structure according to eurocodes*, FACTA UNIVERSITATIS, 2006.
- [24] **Eriksson Merv, Wheeler Homer, Kosmalski Sharon** - *Asphalt paving of treated timber bridge decks*, USDA Forest Service, 2003.
- [25] **Fleseriu Ionel P** - *Curs de Constructii de lemn Vol.I*, Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 1962.
- [26] **Frese Mathias, Blas Hans Joachim** - *Bending strength of spruce glulam*, Eur. J. Wood Prod., 2009.
- [27] **Frese Mathias, Enders-Comberg Markus, Blas Hans Joachim, Glos Peter** - *Compressive strength of spruce glulam*, Eur. J. Wood Prod., 2012.
- [28] **Frese Mathias, Chen Yue, Blas Hans Joachim** - *Tensile strength of spruce glulam*, Eur. J. Wood Prod., 2010.
- [29] **Lehmann Martin, Brunner Maurice, Kraft Sebastian** - *Higher Load Bearing Capabilities with elastic glue lines for glulam*, WCTE, 2010.
- [30] **Marusceac Vladimir, Kollo Gavril** - *Reabilitarea podurilor dalate din beton prin inlocuirea dalelor cu dale din lemn*.
- [31] **Marusceac V, Kollo G**, *Utilizarea lemnului pentru suprastructuri moderne de poduri*, Simpozionul național de materiale și tehnologii noi în construcția și întreținerea drumurilor și podurilor, mai 2010, ISSN 2068-2727.
- [32] **Marusceac V**, *Comportarea benzilor din PVC și fibre de poliester folosite la ranforsarea elementelor realizate din lemn încleiat*, Simpozionul național de materiale și tehnologii noi în construcția și întreținerea drumurilor și podurilor, 24-25 mai 2012, ISSN 2068-2727.
- [33] **Marusceac V, Kollo G**, *Reinforcing glued-laminated elements using reclaimed synthetic materials*, 2nd Conference for PhD students in Civil Engineering CE-PhD 2014, Cluj-Napoca, 10-13 December 2014
- [34] **Marusceac V**, *Materiale utilizate la realizarea structurilor din lemn lamelat încleiat*, Raportul 1 de cercetare științifică, marite 2013.
- [35] **Marusceac V**, *Alcătuirea elementelor din lemn lamelat încleiat*, Raportul 1 de cercetare științifică, octombrie 2013.
- [36] **Marusceac V**, *Studiul comportării elementelor din lemn lamelat încleiat*, Raportul 1 de cercetare științifică, marite 2014.
- [37] **Marusciac Dumitru** - *Constructii moderne din lemn*, Editura Tehnica Bucuresti, 1985.
- [38] **Marusciac Dumitru** - *Constructii moderne din lemn*, Editura Tehnica Bucuresti, 1997.

- [39] **Marusciac Dumitru** - *Curs de constructii de lemn*, Institutul Politehnic din Cluj-Napoca , 1973.
- [40] **Maurice Brunner, Martin Lehmann, Sebastian Kraft, Urs Frankhauser, Richter Klaus** - *Super Glulam: A Flexible Adhesive Layer Boosts The Bending Resistance Of Glulam*, WCTE , 2010.
- [41] **Robinson Peter** - *Innovations in Engineered Wood Product Bridge*.
- [42] **Sterian Dodu, Buiu Edgar** - *Poduri de lemn* , Editura de Stat Didactica si Pedagogica Bucuresti, 1962.
- [43] **Glos P, Denzler JK, Linsenmann P** - *Strength and stiffness behaviour of beech laminations for high strength glulam* ,CIB-W18/37-6-3. Edinburgh, Scotland, 2004
- [44] **Aicher S, Hofflin L, Behrens W** – *A study on tension strength of finger joints in beech wood laminations*, Otto-Graf-Journal 12 , 2001.
- [45] **Falk RH, Colling F** – *Laminating effects in glued-laminated timber beams*, Journal of Structural Engineering, 1995.
- [46] **Colling F, Galk RH** – *Investigation of laminating effects in glued-laminated timber*, CIB-W18/26-12-1, 1993.
- [47] **Brigit A-L Ostman , Esko Mikkola** – *European classes for the reaction to fire performance of wood products*, Springer Verlag, 2006.
- [48] **Andreas C, Monica L R** – *Influence of butt joints on stress laminated timber bridge decks*, Chalmers University of Technology. Goteborg , 2010.
- [49] **Srpcic S, Srpcic J, Saje M, Turk G** – *Mechanical analysis of glulam beams exposed to changing humidity* , Wood Sci Technol, 2009.
- [50] **Srpcic J, Srpcic S, Turk G** – *Deflections of glulam beams in changing humidity*, Proc of World Conference on Timber Engineering, Canada, 2000.
- [51] **Broughton J G , Hutchinson A R** – *Pull-out behaviour of steel rods bonded into timber*, Materials and Structures Vol. 34 , 2001
- [52] **Steiger R, Gheri E, Widmann R** – *Pull-out strength of axially loaded steel rods bonded in glulam parallel to the grain*, Materials and Structures , 2006.
- [53] **Steiger R, Gheri E, Richter K** – *Quality control of glulam: shear testing bondlines*, Eur. Journ. Wood. Prod. , 2010.
- [54] *** www.glulam.ro – *solutii structurale glulam*.
- [55] ***www.apawood.org –*proiectarea și executarea structurilor din lemn*.
- [56] ***www.woodsolutions.com.au – *solutii structurale din lemn încleiat*.
- [57] ***www.unalam.com – *soluții structurale glulam pentru poduri*.
- [58] ***www.techlam.nz - *soluții structurale glulam pentru poduri*.
- [59] ***www.woodcenter.org – *soluții pentru poduri din lemn*.
- [60] ***www.aipc-glulam.org - *solutii structurale din lemn încleiat*.
- [61] ***www.enwood.com/bridges - *Soluții structurale glulam pentru poduri*
- [62] ***www.lilleheden.dk - *solutii structurale din lemn încleiat*.
- [63] ***www.martisons.se - *solutii structurale din lemn încleiat*.
- [64] ***www.timberlabsolutions.com - *oluții structurale glulam pentru poduri*.

Lista lucrărilor publicate:

- [1] Lucrarea Științifică: *Modelarea unei suprastructuri pe grinzi cu arc de rigidizare, tip Langer, in vederea efectuării calculului static* in cadrul Sesiunii de comunicări științifice studențești-2009, **Marusceac V** ,sub îndrumarea prof.dr.ing.**Gabriela Viorel** si Asist.ing.**Mircea Suci**;
- [2] **Marusceac V**, *Tratarea unei zone cu risc mare de producere a accidentelor de circulație in municipiul Cluj-Napoca*, Simpozionul național de siguranța circulației, Cluj-Napoca, noiembrie 2009, ISSN 2068-749X, pg.109-115.
- [3] **Marusceac V**, **Boitor M R**, *Utilizarea deșeurilor în infrastructura drumurilor*, Simpozionul național de materiale și tehnologii noi în construcția și întreținerea drumurilor și podurilor, mai 2010, ISSN 2068-2727, pg.78-85.
- [4] **Marusceac V**, **Kollo G**, *Utilizarea lemnului pentru suprastructuri moderne de poduri*, Simpozionul național de materiale și tehnologii noi în construcția și întreținerea drumurilor și podurilor, mai 2010, ISSN 2068-2727, pg.168-180.
- [5] **Marusceac V**, **Oltean C**, *Sistem de avertizare pentru trecerile de pietoni*, Simpozionul național de siguranța circulației, Cluj-Napoca, noiembrie 2010, ISSN 2068-749X, pg.117-125.
- [6] Lucrarea Științifică: *Studiu economic comparativ între realizarea unei structuri rutiere suplă clasice și una care folosește ca strat de bază materiale reciclate din pietruiri existente* in cadrul Sesiunii de comunicări științifice studențești- aprilie 2011, autor ing. Timar.C., pe post de îndrumator **Marusceac V**;
- [7] Lucrarea Științifică: *Studiu comparativ asupra comportării unei suprastructuri de pod sub încărcare cu convoaie conform STAS 3221-86 și Eurocode*, lucrare premiată cu locul 1 in cadrul Sesiunii de comunicări științifice studențești- aprilie 2011, autor ing. Vlad. M., pe post de îndrumator **Marusceac V** și Șef.L. ing. **Mircea Suci**;
- [8] **Marusceac V**, **Oltean C.**, *Utilizarea sistemelor safespan pentru reabilitarea podurilor din România*, Simpozionul național de materiale și tehnologii noi în construcția și întreținerea drumurilor și podurilor, mai 2011, ISSN 2068-2727, pg.288-295.
- [9] **Marusceac V**, **Oltean C**, *Sistem contravențional în trepte*, Simpozionul național de siguranța circulației, Cluj-Napoca, noiembrie 2011, ISSN 2068-749X, pg.36-41.
- [10] **Dragomir M L**, **Marusceac V**, *Amenajări stradale modern pentru semnalizarea trecerilor de pietoni*, Simpozionul național de siguranța circulației, Cluj-Napoca, noiembrie 2011, ISSN 2068-749X, pg.41-50.

- [11] **Marusceac V, Dragomir M L, *Amenajări speciale pentru pistele de ciclism***, Simpozionul național de siguranța circulației, Cluj-Napoca, noiembrie 2011, ISSN 2068-749X, pg.27-35.
- [12] **Dragomir M L, Marusceac V, *Alternative constructive aplicabile în construcția drumurilor***, Simpozionul național de materiale și tehnologii noi în construcția și întreținerea drumurilor și podurilor, 24-25 mai 2012, ISSN 2068-2727, pg.89-99
- [13] **Marusceac V, Dragomir M L, *Materiale sustenabile în construcția drumurilor moderne***, Simpozionul național de materiale și tehnologii noi în construcția și întreținerea drumurilor și podurilor, 24-25 mai 2012, ISSN 2068-2727, pg.174-182
- [14] **Marusceac V, *Comportarea benzilor din PVC și fibre de poliester folosite la ranforsarea elementelor realizate din lemn încleiat***, Simpozionul național de materiale și tehnologii noi în construcția și întreținerea drumurilor și podurilor, 24-25 mai 2012, ISSN 2068-2727, pg.200-212
- [15] **Marusceac V, Olean C, Dragomir M L, *Probleme de acces și vizibilitate în intersecții, generate de parcările neregulate***, Simpozionul național de siguranța circulației, Cluj-Napoca, mai 2013, ISSN 2068-749X, pg.66-72.
- [16] **Marusceac V, Gavril K, *Reinforcing glued-laminated elements using reclaimed synthetic materials***, 2nd Conference for PhD students in Civil Engineering CE-PhD 2014, Cluj-Napoca, 10-13 December 2014,

Lista lucrărilor în curs de publicare:

- [1] **Marusceac V, *Study of Load-Based Bending Strength Variation for GLT Beams Using High and Low Graded Timber Laminations***
- [2] **Marusceac V, *Study of Load-Based Bending Strength for reinforced GLT Beams Using PET straps bonded polyester yarns***
- [3] **Marusceac V, *Study of Load-Based Bending Strength for reinforced GLT Beams Using bonded polyester yarns***
- [4] **Marusceac V, *Improvements in Bending Strength characteristics for glued laminated timber beams by using synthetic straps***
- [5] **Marusceac V, *Comparative study of bending characteristics variations between reinforced and non-reinforced GLT beams***
- [6] **Marusceac V, *Building superior composite GLT beams with bonded polyester yarns***