

REPUBLIKA E SHQIPERISE
UNIVERSITETI POLITEKNIK I TIRANES
Fakulteti i Inxhinierisë së Ndërtimit

REPUBLIKA E SHQIPERISE

UNIVERSITETI POLITEKNIK I TIRANES

FAKULTETI I INXHINIERISE SE NDERTIMIT

DEPARTAMENTI I KONSTRUKSIONEVE DHE I INFRASTRUKTURES SE
TRANSPORTEVE

TEMA E DOKTORATES:

***PERDORIMI I FIBRAVE POLIMERE
(FIBER REINFORCED POLYMER – FRP)
PER PERFORCIMIN DHE PERSHTATJEN SIZMIKE
TE STRUKTURAVE BETONARME***

Kandidati: M.Sc. Igli KONDI

Udhëheqësi: Prof. As. Dr. Fisnik KADIU

Tiranë, 2013

TREGUESI I LENDES

PJESA E PARE: NJOHURI TE PERGJITHSHME. VETITE FIZIKO – MEKANIKE TE FRP

- 1.1 Hyrje. /4
- 1.2 Identifikimi i problemit. /4
- 1.3 Qellimi. /5
- 1.4 Permbajtja e temes. /6
- 1.5 Ku perdoren fibrat perforcuese polimere (FRP - fiber reinforced polymer)? /7
- 1.6 Ç'jane fibrat perforcuese polimere (FRP)? /8
- 1.7 Llojet e fibrave. /11
- 1.8 Thurjet prej FRP. /21
- 1.9 Matricat. /23
- 1.10 Materiali ngjites. /28
- 1.11 Klasifikimi i FRP. /31
- 1.12 Ç'probleme zgjidhen me fibrat perforcuese polimere (FRP)? /32
- 1.13 Epersite e perdorimit te FRP dhe te thurjeve prej FRP. /33

PJESA E DYTE: TEKNOLOGJIA E PRODHIMIT TE FRP DHE TEKNIKAT E REALIZIMIT TE PERFORCIMIT ME FRP

- 2.1 Teknologjia e prodhimit (fabrikimit) te FRP. /34
- 2.2 Teknikat e realizimit te perforcimit me FRP. /39

PJESA E TRETE: PERFORCIMI I ELEMENTEVE TE VEÇANTE BETONARME

- 3.1 Hyrje. /51
- 3.2 Strategjia e perforcimit. /51
- 3.3 Parime te pergjithshme baze te projektimit të perforcimit me FRP. /52
- 3.4 Duktiliteti. /53
- 3.5 Durabiliteti (jetegjatesia). /54
- 3.6 Marredheniet sforcim – deformim të FRP. /55

- 3.7 Percaktimi i parametrave fiziko-mekanike të FRP. /58
- 3.8 Metoda gjysemprobabilitare e gjendjeve kufitare. /69
- 3.9 Diagramat sforcim – deformim të betonit, armaturës dhe FRP. /72
- 3.10 Llogaritja e FRP prej momentit perkules, per perforcimin e elementeve betonarme në perkulje. /79
- 3.11 Llogaritja e FRP prej forces prerese, per perforcimin e elementeve betonarme ne perkulje. /98
- 3.12 Llogaritja e FRP prej momentit perdredhes, per perforcimin e elementeve betonarme ne perdredhje. /109
- 3.13 Llogaritja e FRP per perforcimin e elementeve betonarme ne shtypje qendrore dhe jashteqendrore. /113

PJESA E KATERT: PERSHTATJA SIZMIKE E STRUKTURAVE BETONARME NEPERMJET FRP

- 4.1 Te pergjithshme. /128
- 4.2 Normativat antisizmike ne Republiken e Shqiperise. /130
- 4.3 Normativat antisizmike europiane (Eurokodet). /137
- 4.4 Pershtatja sizmike e strukturave betonarme. /148
- 4.5 Analiza, modelimi, llogaritja, perforcimi dhe pershtatja sizmike e nje strukture betonarme ekzistuese. /153

Permbledhja, perfundime, rekomandime. /255
Literatura. /262

PJESA E PARE

NJOHURI TE PERGJITHSHME. VETITE FIZIKO - MEKANIKE TE FRP

1.1 HYRJE

Sapo u krijuan strukturat e para, nga natyra apo nga njeriu, ato iu nënshtruan veprimeve shpërbërëse dhe shkatërruese. Shpërbërja dhe shkatërrimi janë ligje të natyrës. Ato veprojnë edhe në strukturat më moderne. Këto të fundit, që nga qiellgërvishtëset e deri tek urat, janë të shtrenjta për tu ndërtuar. Kështu, është me interes të realizohen struktura durable (jetëgjata), të cilat të kenë nevojë për sa më pak shpenzime për mirëmbajtje. Mirëmbajtja nënkupton, nevojën që ka një strukturë, për të ruajtur një nivel të caktuar performance teknike. Kuptimi i performancës përfshin aftësinë mbajtëse, durabilitetin, shërbyeshmërinë dhe pamjen estetike të bukur. Mungesa e mirëmbajtjes, ose një mirëmbajtje jo e saktë, çon në përshpejtimin e procesit të degradimit të strukturës dhe në uljen e nivelit të performancës së saj. Nëse niveli i performancës bie poshtë një vlere të caktuar, atëherë është e nevojshme të bëhen riparime. Ndaj strukturave me jetë të dobishme të gjatë, siç janë në përgjithësi të gjitha veprat inxhinierike civile, në momente të caktuara kohore, mund të shtrohen kërkesa të ndryshme, nga ana e pronarëve, e përdoruesve apo e shoqërisë. Një strukturë mund të jetë në gjendje të përballojë veprimet që ushtrohen mbi të, por nga ana tjetër ajo nuk është durable (jetëgjatë), apo nuk përmbush kriteret estetike. Për të përmbushur kërkesat në ndryshim të vazhdueshëm, një strukturë duhet të përmirësohet apo të përforcohet, me qëllim që të rritet jetëgjatësia e saj dhe të rritet niveli i performancës teknike.

1.2 IDENTIFIKIMI I PROBLEMIT

Bashkë me zhvillimin e shoqërisë ndryshojnë edhe kërkesat ndaj strukturave ekzistuese. Mallrat që transportohen janë gjithnjë e më të rëndë. Trafiku bëhet gjithmonë e më i dendur. Shpejtësia e automjeteve rritet. Njohuritë në fushën e inxhinierisë së strukturave përparojnë. Strukturat dëmtohen për arsye të ndryshme. Mund të ndodhë që

strukturat të mos jenë të afta të përballojnë ngarkesat që veprojnë mbi to. Gjatë zbatimit apo projektimit mund të bëhen gabime. Mund të kërkohet të ndryshohet skema statike e strukturës, p.sh. mund të kërkohet të hiqet një mbështetje.

Të gjitha këto arsye, dhe të tjera, çojnë në domosdoshmërinë e rritjes së nivelit të performancës teknike të strukturave. Nëse niveli i performancës teknike të një strukture ekzistuese është shumë i ulët, atëherë mund të arrihet deri në prishjen e saj dhe ndërtimin e një strukture plotësisht të re. Një rrugë e mundshme për të rritur nivelin e performancës teknike dhe në mënyrë të veçantë për të rritur aftësinë mbajtëse të strukturës është përforsimi i saj. Në ditët e sotme, numri i strukturave në botë, që duhen përforsuar është shumë i madh. Sasia e parave, që nevojitet për këtë, është kolosale. Problemi i parë që ngrihet është, nëse një strukturë duhet të përforsohet apo të ribëhet nga e para. Në shumicën e rasteve, përfundimi është, që struktura duhet të përforsohet dhe jo të ribëhet nga e para. Strukturat ekzistuese janë realizuar me synimin që të jetojnë për një periudhë të caktuar kohe dhe brenda kësaj periudhe kohe (quhet jetë e dobishme e strukturës), ato duhet të kenë aftësi shërbimi. Përforsimi mund të zgjasë jetën e dobishme të strukturës. Kjo mund të realizohet duke rritur nivelin e performancës teknike të strukturës.

Ka disa mënyra për përforsimin e strukturave. P.sh shtimi i materialeve të reja strukture, shtimi i armaturës së paranderur, ndryshimi i sistemit konstruktiv, etj. Këto metoda janë përdorur me sukses. Në dekadën e fundit, gjithmonë e më shumë, po përhapen metodat e përforsimit të strukturave me ndihmën e materialeve të përbërë (kompozitë). Në literaturën teknike, këto materiale emërtohen FRP (Fiber Reinforced Polymer, Fibra Përforsuese Polimere). Janë materiale me rezistencë të lartë në tërheqje, të cilat lidhen me sipërfaqen e një elementi strukturor, duke e përforsuar atë. Më te përhapura janë FRP të përgatitura me fibra të karbonit.

1.3 QELLIMI

Qëllimi i kësaj teme është studimi i materialeve të përbërë (kompozitë) FRP, përshkrimi i vetive të tyre fiziko - mekanike, përshkrimi i teknologjisë së prodhimit të materialeve kompozitë dhe i teknikave të përforsimit të elementëve betonarme nëpërmjet tyre. Llogaritja e elementëve betonarme të përforsuar me FRP

(Fiber Reinforced Polymer), si edhe përshtatja sizmike e strukturave ekzistuese me anë të FRP.

FRP, në përgjithësi, përdoren edhe në strukturat e çelikut, të drurit, në strukturat me muraturë tulle. Në këtë punim do të përqëndrohemi vetëm në përdorimin e tyre në strukturat betonarme.



Figura 1.1 Fibrat përbërëse të FRP

1.4 PERMBAJTJA E TEMES

Punimi i temës është menduar i ndare në katër pjesë kryesore.

- Pjesa e parë: **Njohuri të përgjithshme. Vetitë fiziko - mekanike të FRP.**
- Pjesa e dytë: **Teknologjia e prodhimit të FRP dhe teknikat e realizimit të përforcimit me FRP.**
- Pjesa e tretë: **Përforcimi i elementëve të veçantë betonarme.**
- Pjesa e katërt: **Përshtatja sizmike e strukturave betonarme nëpërmjet FRP.**

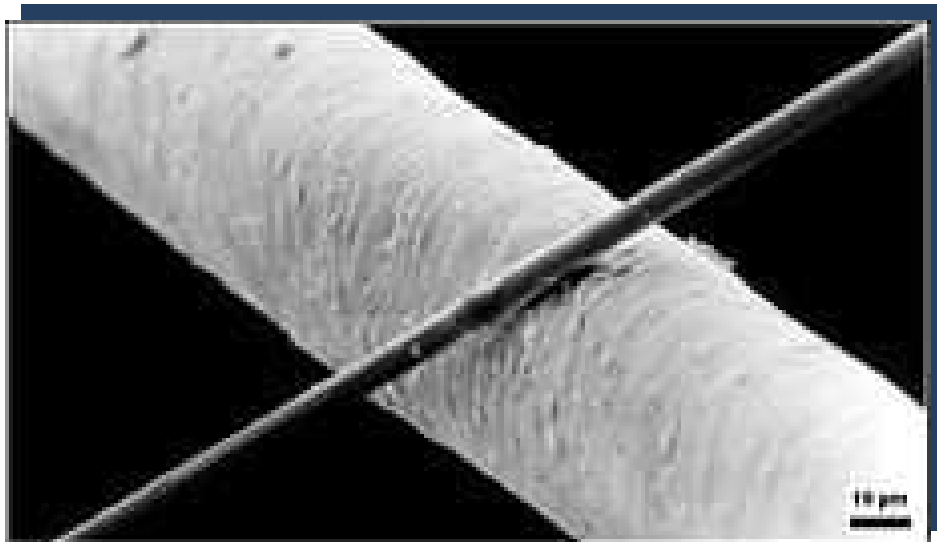


Figura 1.2 Fija e flokut (me diametër më të madh) dhe fija që formon fibrat

1.5 KU PERDOREN FIBRAT PERFORCUESE POLIMERE (FRP - FIBER REINFORCED POLYMER)?

Fibrat përforcuese polimere (FRP) përdoren në përforcimin apo riparimin e strukturave ekzistuese, si edhe në përshtatjen sizmike të tyre.

Përforcimi i strukturave ekzistuese mund të jetë i nevojshem për këto arsye:

- materialet përbërës të strukturës janë vjetëruar
- struktura është dëmtuar nga faktorë veprues aksidentalë, ku mund të përmendim zjarrin, automjetet, korrozionin, etj.
- është rritur ngarkesa e përkohshme (p.sh. mund të jenë vendosur pajisje të rënda në reparte industriale, është rritur ngarkesa e trafikut në ura, etj.)
- janë bërë ndryshime arkitektonike, të cilat detyrojnë ndryshime strukturore
- janë bërë gabime në projektim
- janë bërë gabime në zbatim
- kanë ndryshuar kodet (normat) e projektimit dhe të zbatimit, vecanërisht normat antisizmike

Fibrat përforcuese polimere (FRP) përdoren në elementë betonarme në përkulje, të zakonshëm dhe të parandëruar. Në elementët që punojnë në përkulje, roli i fibrave përforcuese polimere, është rritja e aftësisë

mbajtëse, si kundrejt momentit përkulës, ashtu edhe ndaj forcave prerëse.

Fibrat përforcuese polimere përdoren edhe për përforcimin e kolonave betonarme. Në kolonat, roli i tyre konsiston në rritjen e aftësisë mbajtëse në shtypje jashtëqendrore (shtypje me përkulje).

1.6 Ç'JANE FIBRAT PERFORCUESE POLIMERE (FRP)?

Simboli FRP (Fiber Reinforced Polymer) tregon një material të përbërë (kompozit) i formuar nga fibrat, të cilat zhyten në një material lidhës, që quhet matricë polimere. Pra, fibrat përforcuese polimere (FRP) nuk përbëhen vetëm nga fibrat. Fibrat dhe matrica polimere (materiali lidhës), formojnë së bashku të ashtuquajturin material të përbërë (kompozit), i cili emertohet FRP (Fiber Reinforced Polymer). Sa herë që do të përmendim termin FRP, do të kemi parasysh materialin e përbërë (kompozit), i cili përmban fibrat (elementi përforcues) dhe matricën (elementi lidhës).

Fibrat përbëjnë elementin rezistent ndaj ngarkesave dhe veprimeve. Janë fije apo petëza të përbëra nga karbon, xham, aramide, poliestër, çelik, etj. Ndersa matrica (elementi lidhës), ka për detyrë të përçojë sforcimet në fibra dhe ndërmjet fibrave, t'i mbrojë ato nga mjedisi përreth dhe të përçojë sforcimet nga FRP në elementin që përforcohet.

Karakteristikat mekanike të kompozitëve varen nga disa faktorë të ndryshëm:

- nga vetitë mekanike të vetë fibrave
- nga natyra e tyre
- nga teknologjia e përdorur për t'i prodhuar
- nga gjatësia e tyre
- nga sasia e tyre
- nga lloji i matricës lidhëse

Nganjëherë, optimizimi i një parametri çon në keqësimin e një tjetri. P.sh. gjatësia e fibrave është një element bazë për përcimin e saktë të sforcimeve, pasi lidhet drejtpërdrejt me ankorimin (kapjen) në matricë. Për këtë arsye është e nevojshme të mos ulet gjatësia e fibrave poshtë një gjatësie minimale. Nga ana tjetër, për t'i bërë sa më homogjene karakteristikat mekanike të materialit kompozit, duhet të realizohet një shpërndarje sa më e mirë e fibrave të shkurtra në matricë. Kjo gjë realizohet me anë të një përzierje energjike. Shpesh kjo përzierje është

aq energjike sa çon në copëtimin e fibrave duke zvogëluar gjatësinë e tyre.

Në përgjithësi FRP përbëhen nga fibra me rezistencë më të lartë por me deformime kufitare më të vogla se matrica.

Nga sa u shpjegua më sipër arrihet në përfundimin se FRP përbëhen nga dy materiale me natyrë krejtësisht të ndryshme, lehtësisht të dallueshëm nga njëri – tjetri. Vetitë fiziko – mekanike të këtyre materialeve janë krejtësisht të ndryshme nga njëra – tjetra. Megjithatë, materiali i përbërë (kompozit), që formohet, ka veti fiziko – mekanike të tjera, të ndryshme nga elementët që e përbëjnë. Figura 1.3 e pasqyron në mënyrë cilësore (logjike) atë që u përmend më lart.

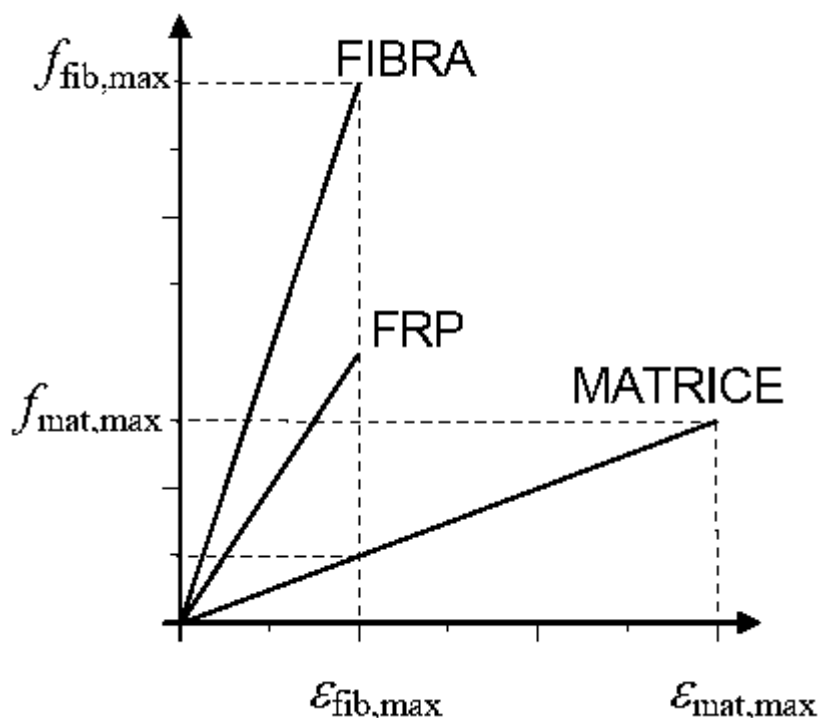


Figura 1.3 Varësia sforcim – deformim për fibrat, matricën dhe FRP

Në tabelën 1.1 tregohen, për qëllime krahasimi, vlerat mesatare të disa vetive mekanike të FRP një drejtimëshe. Janë FRP të realizuara me fibra karboni dhe matricë, prandaj marrin emërtimin CFRP. Në këtë rast simboli C tregon karbonin. Vihet re, se vlerat e modulit të elasticitetit dhe të sforcimeve shkatërruese të FRP, në drejtimin e fibrave janë më të vogla se vlerat përkatëse të fibrave. Nderkohë që vlerat e deformimeve të fundme në tërheqje të fibrave dhe FRP janë afërsisht të barabarta.

	Moduli i elasticitetit (Gpa)		Sforcimi shkatërrues në tërheqje (MPa)		Deformimi i fundëm i shkatërrimit (%)	
	FRP	Fibrat	FRP	Fibrat	FRP	Fibrat
CFRP (me veti të ulëta)	160	210-230	2800	3500- 4800	1.6	1.4-2
CFRP (me veti të larta)	300	350-500	1500	2500- 3100	0.5	0.4-0.9

Tabela 1.1 Vetitë fiziko – mekanike të CFRP dhe te fibrave të karbonit

FRP janë në përgjithësi materiale anizotropë (veti të ndryshme në drejtime të ndryshme). Kështu, vetitë fiziko - mekanike të FRP varen nga sistemi i referimit. Zakonisht akset e sistemit të referimit pranohen si në figurën 1.4.

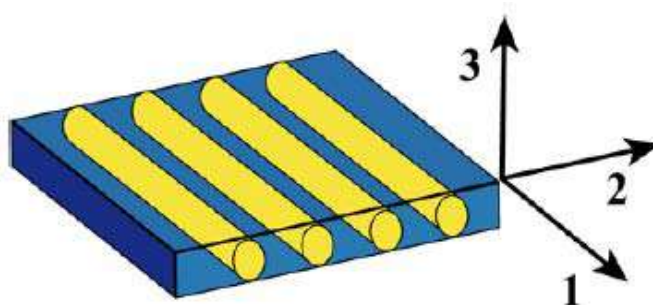


Figura 1.4 Akset e referimit të FRP

Lloji i materialeve që përbëjnë FRP, ndikon drejtpërdrejt në vetitë e tyre. Për të përfutur një FRP me rezistencë të lartë mekanike nuk është e mjaftueshme të përdoren fibra me rezistencë të lartë. Duhet të sigurohet një lidhje dhe bashkëveprim i mirë midis fibrave dhe matricës. Lidhja dhe bashkëveprimi i duhur midis fibrave dhe matricës arrihet me anë të përdorimit të një elementi të tretë përbërës të FRP, që nuk është gjë tjetër, veçse një shtresë shumë e hollë, e cila rrethon sipërfaqen e fibrave. Ky trajtim sipërfaqësor i fibrave çon në praninë e një materiali të tretë përbërës, i cili është ndërmjetësi midis fibrave dhe matricës. Shiko figurën 1.5. Ndërmjetësi është një shtresë shumë e hollë, e realizuar në sipërfaqen e fibrave. Ai nuk luan një rol të drejtpërdrejtë në vetitë fiziko – mekanike të FRP, por është shumë i rëndësishëm në përdorimin e suksesshëm të tyre.

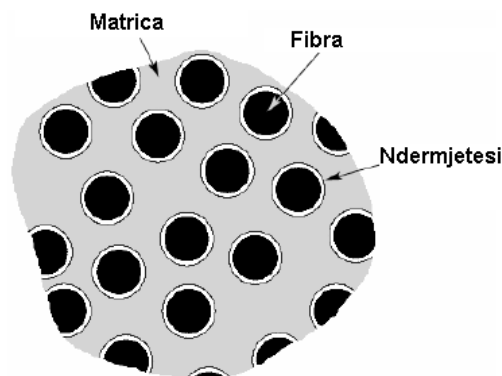


Figura 1.5 Përbërësit e FRP

1.7 LLOJET E FIBRAVE

Fibrat që përdoren më shumë janë:

- Fibrat e xhamit
- Fibrat e karbonit
- Fibrat aramide
- Fibrat polivinil alkol

Fibrat e xhamit përfaqësojnë tipin më të përhapur, për shkak të kostos së ulët të tyre. Shënohen zakonisht me simbolin GFRP. Kanë rezistence të lartë në tërheqje dhe një aftësi shumë të mirë për të përballuar agjentët kimikë. Kanë një modul elasticiteti të ulët dhe një rezistencë në lodhje relativisht të ulët. Përdoren kryesisht për FRP me performancë të mesme deri në të lartë. Xhami përbëhet kryesisht nga SiO_2 me strukturë tetraedrike SiO_4 . Shtohet gjithashtu edhe oksidi i aluminit dhe jone metalesh për të lehtësuar përpunimin dhe për të përmirësuar vetitë fiziko - mekanike.

Në treg gjenden këto lloj xhamesh për fibra:

- Xham i tipit E. Përbëhet nga silikate të kalçiumit. Ky lloj xhami mbulon 80 – 90% të prodhimit të fibrave. Nuk përmban bor. Ka rezistence të lartë ndaj sulmeve të acideve.
- Xham i tipit S. Përbëhet nga silikate të magneziumit. Zotëron rezistence të lartë edhe në temperatura të larta. Është i ndjeshëm ndaj sulmeve të bazave. Fibrat me xham të tipit S kanë një rezistencë më të lartë në tërheqje se fibrat me xham të tipit E. Shiko tabelën 1.

- Xham i tipit C. Përbëhet nga karbonat i kalçiumit. Është shumë i përdorshëm për shkak të qëndrueshmërisë ndaj korrozionit.
- Xham i tipit AR. Është i lehtë dhe shumë rezistent në mjedise alkaline.

Fibrat e xhamit, në dallim nga ato të karbonit, janë aktive vetëm në sipërfaqe dhe nuk bashkëveprojnë me ujin. Kanë nevojë vetëm për një fletë filmi mbrojtëse për t'i mbrojtur nga lagështia. Është vënë re se sipërfaqja e fibrave të xhamit përmban boshllëqe mikroskopike. Ajri i lagësht përmban dioksid karbonati, i cili vepron dhe rrit boshllëqet dhe sforcimet duke çuar në shkatërrimin e fibrës. Ekspozimi ndaj një mjedisi me pH të lartë mund të çojë në plakjen e fibrave dhe shkatërrimin e tyre me kalimin e kohës. Për të ruajtur fibrat e xhamit, ato trajtohen me substanca, që kanë si qëllim kompaktësimin e tyre. Ky trajtim është shumë i përshtatshëm për të rritur durabilitetin e tyre si edhe rezistencën në lodhje. Fibrat e xhamit kanë një sjellje elastike lineare deri në shkatërrim. Shfaqin rreshqitje të papërfillshme. Fibrat e xhamit mund të dëmtohen në një mjedis alkaline. Përdorimi i tyre nuk këshillohet në këto mjedise.

Fibrat e xhamit gjenden edhe në formën e një fletë shumë të hollë që quhet “mat”. Shiko figurën 1.6. Një “mat” mund të jetë i përbërë nga fibra të vazhdueshme të shkurtra me gjatësi 25 – 50mm, të cilat vendosen në mënyre rastësore në një plan dhe lidhen midis tyre me lidhës kimikë. Gjerësia e një “mat” është 5 – 200cm. Pesha e tyre 0.5kg/m^2 .

Fibrat e xhamit kanë modul elasticiteti më të vogël se fibrat e karbonit dhe fibrat aramide dhe një rezistencë në fërkim modeste. Kjo gjë kërkon një kujdes të veçantë gjatë manipulimit me to.

Fibrat e karbonit mund të përftohen duke u nisur nga bitumi. Ato mund të jenë një derivat i distilimit të naftës. Shënohen me simbolin CFRP. Përdoren për FRP me performancë të lartë. Karakteristikat e larta mekanike të fibrave të karbonit rrjedhin nga struktura e tyre molekulare gati e përsosur. Duhet patur parasysh se këto fibra prodhohen në temperaturë të lartë, mbi 1000°C . Kjo gjë ndikon në mënyrë të drejtpërdrejtë në strukturën e tyre kristalore.



Figura 1.6 Fibrat e xhamit

Në varësi të kesaj strukture fibrat e karbonit ndahen në fibra me modul elasticiteti të lartë dhe me rezistencë të lartë. Fibrat me modul elasticiteti të lartë kanë rezistencë më të vogël dhe anasjelltas. Këto veçori lidhen me vendosjen e shtresave gjashtëkëndore të grafitit. Shiko figurën 1.7.

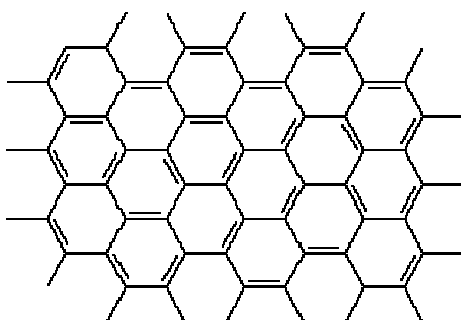


Figura 1.7 Struktura e fibrave të karbonit me modul elasticiteti të lartë

Nëse shtresat paraqesin një sjellje dhe bashkëveprim midis tyre, tre përmasor, atëherë materiali i përftuar është grafiti. Nëse lidhja midis shtresave është e dobët dhe ato paraqesin një sjellje dhe bashkëveprim midis tyre, dy përmasor, atëherë materiali i përftuar është karboni.

Fibrat e karbonit me modul elasticiteti 2100000 daN/cm^2 kërkojnë që shtresat e ngurta të grafitit të vendosen paralelisht me akset e fibrave. Në fakt orientimi i realizuar i shtresave të grafitit përcakton edhe modulën e elasticitetit të fibrës.

Edhe bitumet përdoren për prodhimin e fibrave të karbonit me modul të ulët elasticiteti (rreth 500000 daN/cm^2), i cili rritet më tej me ndihmën e një trajtimi termik në temperatura të larta 1000°C deri në 3000°C . Rezistenca më e lartë arrihet për temperatura më të ulëta se ato që duhen për të arritur modulën më të lartë të elasticitetit.

Fibrat e karbonit mund të ngopen lehtë me rezinë. Veçse, fillimisht duhet të trajtohen në sipërfaqe, për të përmirësuar lidhjen me rezinën.

Fibrat e karbonit gjenden në formën e kavove (fibra të ndërthurura në formë gërsheti), ose shiritave me fibra paralele. Numri i fijeve në një kavo lëviz rreth 1000 – 2000 copë. Petëzat e fijeve të karbonit kanë një trashësi 1.2 deri 1.4mm dhe një rezistencë në tërheqje mbi 25000 daN/cm^2 , duke punuar gjithmonë në fazën elastike dhe me një shkatërrim të tipit të thyeshëm (fragile, jo duktil). Deformimi relativ në momentin e shkatërrimit është 1.8%.

Përmasat e “paketave” me fibra janë të ndryshme në varësi të kërkesave të projektit. Gjerësia zakonisht është 50mm, 80mm, 100mm. Gjatësia nga 1 deri 250m.

Fibrat e karbonit kanë kosto të lartë.

Këto lloj fibrash janë shumë të përshtatshme për përf forcimin e elementëve betonarme. Arsyet po i paraqesim më poshtë:

- Modul elasticiteti i lartë, në varësi edhe të tipit të fibrës.
- Koeficient të byimit termik të ulët. Rreth 50 herë më të vogël se ai i çelikut.
- Rezistencë shumë të mirë në lodhje. Në Japoni janë kryer prova me sforcime tërheqëse të barabarta me 87.5% të rezistencës në tërheqje të fibrave. Janë kryer 4106 cikle të ngarkim shkarkimit të fibrave me një amplitudë deri 1 kN/mm^2 . Nuk është konstatuar asnjë shkatërrim prej lodhjes.
- Rezistencë shumë të mirë kundër sulmeve të agjentëve kimike. Fibrat e karbonit janë zhytur për tre muaj në një tretësire e cila i ngjan lengut të pranishëm në beton. Kjo tretësire ka një $\text{pH} = 10 - 13.5$. Nuk u konstatua asnjë zvogëlim i parametrave fiziko – mekanike të tyre.
- Nuk korrodohen.
- Rezistencë e lartë ndaj cikleve të ngrirje – shkrirjeve.
- Rezistencë e lartë ndaj zjarrit.

Moduli i elasticitetit është i ndryshueshem në varësi të tipit të fibrave. Kështu, për fibrat përf forcuese prej karboni kemi,

- tipi S ($E > 1600000 \text{ daN/cm}^2$)
- tipi M ($E > 2100000 \text{ daN/cm}^2$)
- tipi H ($E > 3000000 \text{ daN/cm}^2$)

Deformimi relativ i fundëm 0.3% – 1.8%.

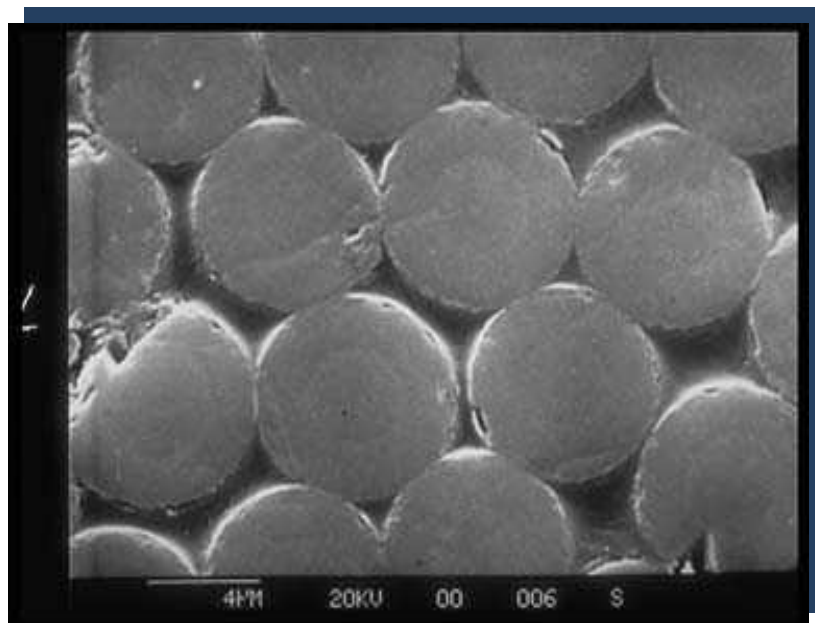


Figura 1.8 Fibra karboni

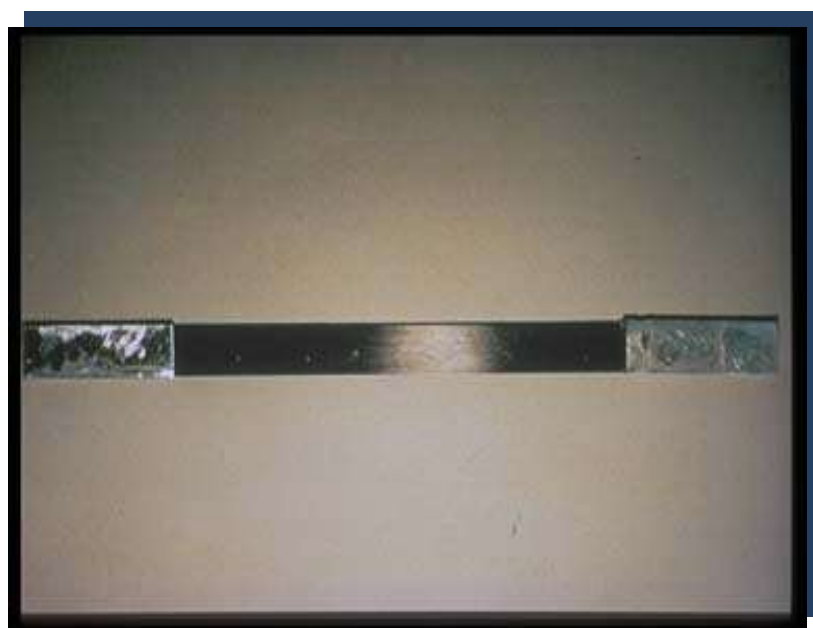


Figura 1.9 Fibra karboni



Figura 1.10 Fibra karboni

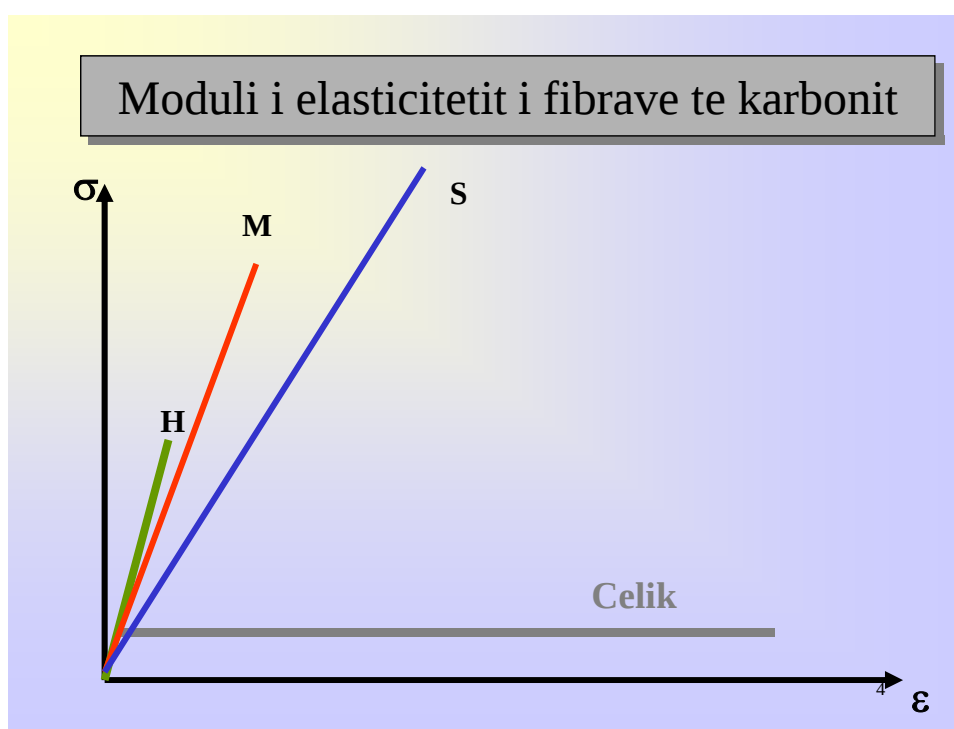


Figura 1.11 Moduli i elasticitetit të fibrave të karbonit

Sforcimi rrëshqitës që mund të çojë në shkatërrimin e fibrave të karbonit është shumë më i madh se i llojeve të tjera të fibrave. Kjo gjë provohet nga provat e shumta laboratorike. Kështu, janë provuar fibra karboni për një periudhë kohore prej 10 mijë orësh, nën veprimin e një

ngarkese statike të përhershme të barabartë me 70% të rezistencës së fibrave. Pas kësaj u vu re se nuk rezultonte asnjë humbje e vetive fiziko – mekanike të fibrave.

Koeficienti i bymimit termik tërthor nuk ka asnjë ndikim në llogaritjen strukturore. Si rrjedhojë e ndryshimit midis koeficientëve të bymimit termik gjatësor linear midis betonit dhe fibrave të karbonit, mund të priten efekte negative për lidhjen (ankorimin) e tyre, në rast se kemi ndryshime të menjëhershme të temperaturës. Në Zvicër (Cyrih) u realizuan dy grupe trarësh. Njëri grup, pas 100 cikleve të ngrirje – shkrirjeve në temperaturat -25°C deri në $+20^{\circ}\text{C}$, u provua në përkulje. Po kështu u provua dhe grupi tjetër, i cili nuk iu nënshtrua cikleve të ngrirje – shkrirjeve. U vu re se në grupin e parë plasaritjet ishin shumë të pranishme, ndërkohë që në grupin e dytë plasaritje nuk kishte fare. Njëri nga trarët u ftoh deri në temperaturën -60°C , së bashku me fibrat e karbonit të ngjitura në të. Nuk u vu re asnjë shkëputje e fibrave nga trupi i traut dhe as shthurja e fibrave në lidhje me njëra – tjetrën.

Sjellja e këtyre fibrave është e tipit “fragile” pa qenë në gjendje të absorbojnë energji, edhe pse ngarkesat e shkatërrimit janë të mëdha.

Fibrat aramide janë me natyrë organike. Shënohen me simbolin AFRP. Karakteristika mekanike kryesore e fibrave aramide është energjia e lartë e thithur në fazën e shkatërrimit.

Paraqesin këto anë të mira:

- rezistencë të mirë në këputje
- dendësi të ulët dhe një raport shumë të mirë rezistencë/peshë
- kanë një sjellje duktile të tipit jo linear me deformim rrjedhshmërie rrotull 0.3 – 0.5%
- kanë aftësi shumë të mira elektro – izoluese
- kanë rezistencë të lartë ndaj faktorëve veprues kimikë, me përjashtim të acideve dhe bazave të forta

Këto fibra bëjnë pjesë në klasën e polimereve kristalinë të lëngshëm. Struktura e tyre lejon një qëndrueshmëri të mirë për temperatura nga -100°C deri në $+100^{\circ}\text{C}$. Nuk këshillohet të përdoren në temperatura më të larta se 120°C . Fibra aramide më e njohur është PPD – T (poli – parafenil enetereftalamida).

Kujdes shumë i madh duhet të tregohet për sa i takon sjelljes në shtypje të këtyre fibrave. Shtypja mund të çojë në shkatërrimin lokal dhe në humbjen e qëndrueshmërisë (shthurjen) së fibrave. Si pasojë ulet aftësia mbajtëse në shtypje dhe në përkulje prej momentit përkulës. Për këtë arsye, fibrat aramide nuk janë të përshtatshme pa u kombinuar më

parë me fibra xhami apo karboni, për përforcimin e guaskave betonarme, tek të cilat ndjehet prania edhe e përkuljes edhe e shtypjes.

Janë të përshtatshme për përforcimin e kolonave betonarme katërkendore apo rrethore.

Vlerat e modulit të elasticitetit dhe të rezistencës në tërheqje janë në mes të vlerave përkatëse të fibrave të xhamit dhe atyre të karbonit.

Nën veprimin e rrezeve të drejtpërdrejta të diellit këto fibra mund të degradohen duke humbur rreth 50% të rezistencës së tyre në tërheqje. Sjellja e tyre në fazën elasto - plastike është e ngjashme me fibrat e xhamit, por rezistenca në shkatërrim e tyre është shumë më e madhe se fibrat e xhamit.

Janë të ndjeshme ndaj lageshtisë.

Fibrat polivinil alkohol përftohen nëpërmjet një procesi industrial shumë të thjeshtë dhe të lirë, që konsiston në sapunifikimin të acetatit të polivinilit. Shënohen me simbolin PVA. Kanë rezistencë më të ulët në krahësim me të gjitha fibrat e tjera, por janë më të pandjeshme ndaj mjediseve alkaline dhe agresorëve atmosferikë dhe fizikë.

Në tabelën 1.2 tregohen vetitë fiziko - mekanike të disa lloje fibrash përforcuese.

TIPI I FIBRES	MODULI I ELASTIC.	REZISTENCA NE TERHEQJE	DEFORMIMI I FUNDEM
	GPa	MPa	%
KARBON	240 – 760	2500 – 5700	0.3 – 1.8
ARAMIDE	62 - 180	3000 – 4000	1.5 – 4.4
XHAM (E)	72 - 80	3445	4.8
XHAM (S)	85	4585	5.4
POLIESTER	12 – 15	2000 – 3000	9.0 – 17.0
ÇELIK	210	250 – 550	20 – 30

Tabela 1.2 Vetitë fiziko – mekanike të disa lloje fibrash

Pavarësisht nga lloji i tyre fibrat mund të kenë përmasa gjeometrike të ndryshme dhe të vendosen në mënyra të ndryshme. Gjatësia e fibrave në përpjestim me përmasat e elementëve strukturorë lejon klasifikimin e materialeve kompozitë si nga pikëpamja tipologjike ashtu edhe nga

pikëpamja strukturore. Dallojmë materiale kompozitë me fibra jo të vazhdueshme dhe të vazhdueshme. Në rastin e pare gjatësia e fibrave është më e vogël se gjatësia e elementit strukturor.

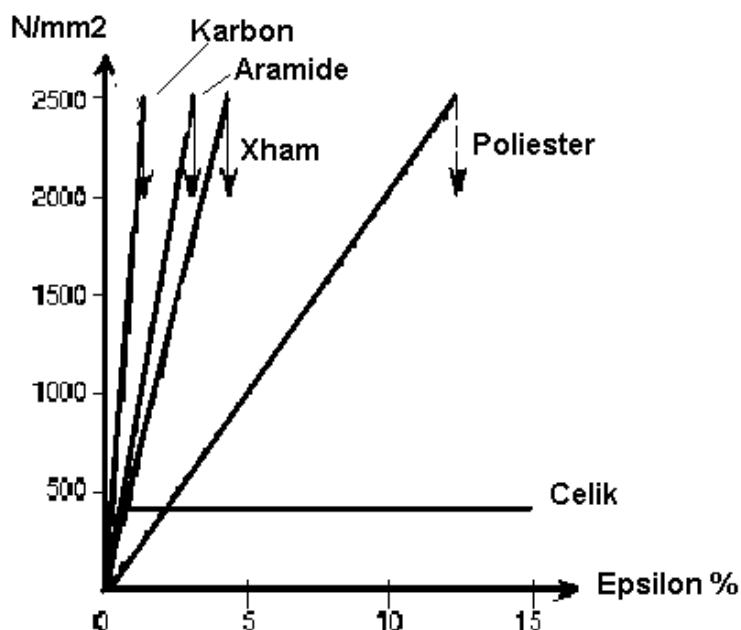


Figura 1.12 Varësia sforcim – deformim e llojeve të ndryshme të fibrave

Në rastin e dytë gjatësia e fibrave është e barabartë me gjatësinë e elementit strukturor. Gjatësia e fibrave është një element thelbësor për transmetimin e saktë, të sforcimeve në kompozit, kjo duke e lidhur edhe me gjatësinë e ankorimit në matricën polimerike. Është e nevojshme të mos zbritet poshtë disa gjatësive minimale. Vetitë e kompozitëve me fibra të shkurtra varen, përveç se nga vetitë e brendshme të vetë përbërësve (fibra dhe matrica), edhe nga sasia, gjatësia mesatare, shpërndarja dhe nga orientimi i vetë fibrave. Ndonjëhere optimizimi i një parametri sjell përkeqësimin e të tjerëve. Nga ana tjetër për të pasur karakteristika mekanike sa më homogjene të kompozitit përfundimtar, duhet patur një shpërndarje sa më e mirë e fibrave të shkurtra në matricë, nëpërmjet një përzierje të mirë, shpesh shumë energjike, e tillë që mund të thyeje vetë fibrat duke ia zvogeluar gjatësinë mesatare.

Fibrat mund të vendosen në brendësi të matricës (materialit lidhës) sipas një drejtimi (orientimi) të caktuar. Quhen fibra të orientuara. Ato mund të vendosen edhe në mënyrë rastësore. Quhen fibra të paorientuara. Fibrat e orientuara mund të jenë paralele midis tyre. Quhen

fibra një drejtimëshe. Fibrat e orientuara mund të vendosen sipas disa drejtimeve. Qohen fibra shumë drejtimëshe. Duke vendosur njëra mbi tjetrën disa shtresa materiale kompozitë realizohen të ashtuquajturat materiale kompozitë me shtresa.

Në treg fibrat mund të gjenden në këto forma:

- strand: shirit me fibra të vazhdueshme të papërdredhura (të pandërthurura) me njëra tjetrën. Në figurën 1.13 tregohet një element bazë i FRP, që përfaqësohet nga një fije me diametër $10\mu\text{m}$. Në figurën 1.14 paraqiten fibrat strand.



Figura 1.13 Një element bazë i FRP



Figura 1.14 FRP të tipit strand

- yarn: njëllonj si lart, veçse fibrat janë të përdredhura (të ndërthurura) me njëra tjetrën. Shiko figurën 1.15.



Figura 1.15 FRP të tipit yarn

- roving: bashkimi i disa strand paralel me njëri - tjetrin të përdredhura rreth një cilindri. Shiko figurën 1.16.



Figura 1.16 FRP të tipit roving

- mat: formohet nga fije të prera, të orientuara dhe të bashkuara midis tyre me një sasi të vogël ngjitësi
- fabric:thurje dypërmasore, e cila krijohet duke lidhur midis tyre fibra yarn ose strand

Fijet që përbëjnë shufrat karakterizohen nga përbërja kimike dhe nga masa për një njësi gjatësie. Sipas ISO 2974:2000(E) masa për një njësi gjatësie e fijeve shënohet me Tex, ($1\text{Tex} = 1\text{g/km}$).

1.8 THURJET PREJ FRP

Deri tani kemi diskutuar për fibra polimere njëpërmasore (njëdrejtimëshe), d.m.th. për fibra që punojnë sipas një drejtimi. Megjithatë, mund të prodhohen edhe thurje (rrjeta) me fibra polimere, të cilat mund të punojnë në dy drejtime. Në këtë rast fibrat përforcuese vendosen sipas dy drejtimeve pingul me njëri – tjetrin. Këto fibra vendosen në disa shtresa.

FRP ndahen në dy kategori:

- me një shtresë
- me shumë shtresa

FRP me një shtresë punojnë vetëm sipas një drejtimi, i cili përkon natyrisht me drejtimin e fibrave.

FRP me shumë shtresa mund të punojnë sipas një drejtimi, apo edhe sipas dy drejtimeve. Në rastin e parë FRP përbëhen vertet nga shumë shtresa, por të gjitha fibrat e të gjitha shtresave drejtohen sipas një drejtimi punues. Në rastin e dytë, fibrat vendosen sipas drejtimeve të ndryshme, zakonisht pingule me njëri – tjetrin. Përftohen në këtë mënyrë, thurjet prej materialeve kompozitë. Vetitë fiziko – mekanike të thurjeve varen edhe nga këndi i vendosjes së fibrave.

Thurjet rekomandohen në këto raste:

- për përforcimet e trarëve kundrejt forcave prerëse
- për veshjet e jashtme të kolonave me seksion katërkëndor dhe rrethor
- për përforcimet e elementëve me sipërfaqe jo të rrafshët

Ekzistojnë edhe FRP hibride, me shumë shtresa. Në këto lloje FRP, shtresat e ndryshme përbëhen nga materiale të ndryshme. P.sh. kombinohen fibrat e karbonit me fibrat aramide, apo fibrat aramide me fibrat e aluminit.

Prania e një force jashtëqëndrore, shkakton në kolonë një rritje të deformimeve rrezore dhe të sforcimeve tërheqëse, vetëm në një pjesë të faqes së kolonës. Veshja me thurjen prej fibrash polimere e “shtrëngon” kolonën, duke zvogëluar deformimet rrezore të saj.



Figura 1.17 Thurje prej FRP

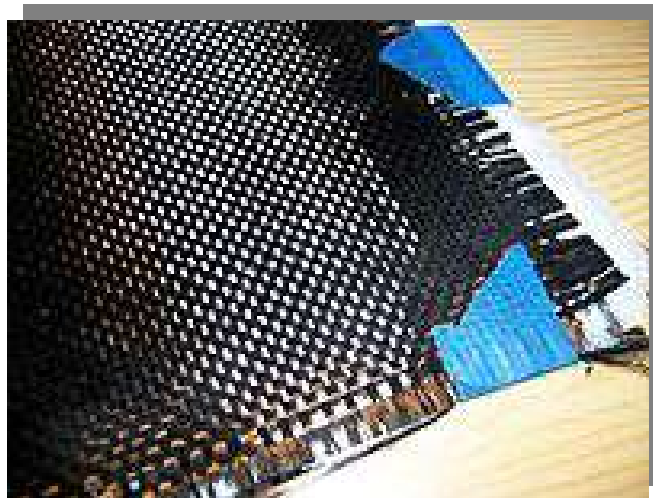


Figura 1.18 Thurje prej FRP



Figura 1.19 Përforcimi i kolonës me thurje prej FRP



Figura 1.20 Përforcimi i kolonës me thurje prej FRP

1.9 MATRICAT

Matrica, me anë rezistencës së saj në prerje, duhet të lejojë përçimin dhe shpërndarjen e sforcimeve në fibra. Ajo mbron fibrat nga sulmet fiziko – kimike, që vijnë nga mjedisi. Gjithashtu, ajo lidh fibrat me njëra – tjetrën, duke kundërshtuar shthurjen e fibrave.

Matrica (materiali lidhës) e një materiali kompozit mund të përbëhet nga polimere, metale, materiale qeramike.

Si pasojë, materialet kompozitë mund të klasifikohen:

- Materiale kompozitë me matricë polimere ose plastike (NMMC – Non Metal Matrix Composites)
- Materiale kompozitë me matricë metalike (MMC – Metal Matrix Composites)
- Materiale kompozitë me matricë qeramike (CMC – Ceramic Matrix Composites)

Secila prej tre ndarjeve të mësipërme mund të ketë kufizime në zbatim, duke marrë parasysh sidomos efektet termike në fazën e shfrytëzimit. Kompozitët plastikë mund të realizohen në një temperaturë deri në 150°C. Kompozitët metalikë dhe ata prej qeramike mund të arrijnë temperaturën 500°C deri 1000°C.

Matricat polimere janë më të përhapurat, sepse kanë rezistencë të lartë në tërheqje, rezistencë të lartë ndaj korrozionit, peshë specifike të ulët, janë të thjeshta në realizim, janë ekonomike. Në gjendjen e tyre fillestare të papërzier këto matrica kanë viskozitet të ulët duke lehtësuar procesin e manipulimit me to. Kanë aftësi shumë të mira lidhëse. Kanë aftësi të mirë rezistuese ndaj agjentëve atmosferikë. Anët negative të këtyre rezinave janë ndjeshmëria ndaj temperaturave të mjedisit, ndjeshmëria ndaj lagështisë në fazën e përgatitjes. Në vazhdim do t'i referohemi vetëm matricave polimere. Matrica polimere e përdorur gjerësisht për të prodhuar elementët strukture kompozitë (të përbërë) është një poliestër i pangopur. Këto matrica mund të jenë të lëngshme apo në formë paste. Pas përzierjes dhe tharjes këto matrica shndërrohen në materiale solide si xham.

Materialet kompozitë me fibra (të llojeve të ndryshme) dhe matrica polimere quhen ndryshe FRP (Fiber Reinforced Polymers).

Në varësi të llojit të fibrës së përdorur FRP ndahen:

- GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymers), ose edhe GRP (Glass Reinforced Polymers). Në këtë rast fibrat janë prej xhami.
- CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymers), ose edhe CRP (Carbon Reinforced Polymers). Në këtë rast fibrat janë prej karboni.

- AFRP (Aramid Fiber Reinforced Polymers), ose edhe ARP (Aramide Reinforced Polymers). Në këtë rast fibrat janë prej aramide.

Matricat polimere ndahen:

- Matrica (rezina) termongurtësuese
- Matrica (rezina) termoplastike

Matricat polimere termongurtësuese më të përhapura për përgatitjen e FRP janë matricat polimere me bazë poliestri, epokside, fenolike. Matricat termongurtësuese paraqiten në gjendje fluide, me masë molekulare të vogël dhe viskozitet të reduktuar. Këto kalojnë në gjendje të ngurtë, me anë të vënies në punë të radikaleve të lira, që veprojnë mbi lidhjet molekulare duke i shtuar dhe duke i ruajtur të tilla. Rezinat e kësaj natyre, të krahasuara me polimeret termoplastike, na japin një stabilitet më të mirë termik dhe rezistencë kimike të lartë. Shfaqin një rrjedhshmëri të pakët dhe fenomen të reduktuar të relaksacionit, në krahasim me matricat termoplastike. Përgjithësisht matricat termongurtësuese kanë kohë magazinimi të reduktuar posa të jenë shtuar katalizatorët. Kanë deformim të reduktuar në afërsi të kufirit të kolapsit (shkatërrimit) dhe rezistencë të ulët ndaj goditjeve.

Në tabelën 1.3 tregohen vetitë fiziko - mekanike të disa lloje rezinash termongurtësuese.

VETITE FIZIKO - MEKANIKE	7241 ISOPOLIEST ER	980 - 35 VINILESTER	D - 1618 VINILESTER	D - 1222 VINILESTER
Treguesi i fortësisë	50	45	45	40
Temp. e përdredhjes (shthurjes) (°C)	109	133	119	141
Rezistenca në përkulje (MPa)	125	149	149	113
Rezistenca në tërheqje (MPa)	78.6	87.6	89.6	79.4
Moduli i elasticit. (MPa)	3309	3309	3171	3241
Moduli i elast. në përkulje (MPa)	3447	3379	3379	3654
Deformimi në këputje (%)	2.9	4.2	5.2	3.9

Tabela 1.3 Vetitë fiziko - mekanike të disa lloje rezinash termongurtësuese.

Në tabelën 1.4 paraqitet një krahasim i disa lloje rezinash termongurtësuese të lidhura me fibra xhami. Fibrat e xhamit ndodhen në materialin kompozit në të njëjtën përqindje në peshë.

VETITE FIZIKO - MEKANIKE	REZINA ORTOFTALIKE	REZINA ISOFTALIKE	REZINA VINILESTER
Përmbajtja e fibrave të xhamit	40	40	40
Treguesi i fortësisë	-	45	-
Rezistenca në përkulje (MPa)	220	240	220
Rezistenca në tërheqje (MPa)	150	190	160
Rezistenca në shtypje (MPa)	-	210	120
Moduli i elasticit. (MPa)	5.5	11.7	11.0
Moduli i elast. në përkulje (MPa)	6.9	7.6	9.0
Deformimi në keputje (%)	1.7	2.0	-

Tabela 1.4 Krahasim i disa lloje rezinash termongurtësuese të lidhura me fibra xhami

Midis tyre dallohen rezinat epokside të cilat përdoren gjerësisht. Këto lloj rezinash kanë veti mekanike shumë të mira, rezistencë të lartë ndaj korrozionit, janë të thjeshta në përdorim. Tkurren më pak se materialet e tjera (1 deri në 4% të vëllimit). Kjo është shumë e rëndësishme për materialet lidhës. Rezinat epokside ndikohen më pak se të tjerat nga prania e ujit dhe ndryshimi i temperaturës. Këto janë rezina termongurtësuese më të shtrenjta se rezinat e tjera komerciale si poliesteret apo vinilesteret. Molekulat gjatë reaksionit lidhen me njëra-tjetrën duke formuar sistem tre përmasor. Procesi i kapjes (lidhjes) varet nga tipi dhe nga sasia e ngurtësuesit të përdorur. Disa veprojnë dhe në temperaturë mjedisi, disa kërkojnë temperaturë më të larta. Ndonjëherë shtohen edhe additive të ashtuquajtur akseleratore (përsheptues, nxitës) për të rritur shpejtësinë e reaksioneve dhe për të ulur kohën e kapjes së molekulave. Reagenti kryesor përbëhet nga lëngje me natyrë organike me peshë vëllimore të ulët që përmban një numër grupesh epokside. Këto

grupe janë unaza të formuara nga atome oksigjeni dhe nga dy atome karboni.

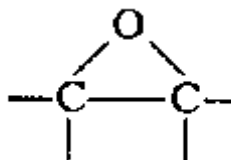


Figura 1.21 Struktura e grupeve epokside

Nëse reaksioni i ngurtësimit të rezinave epokside ngadalësohet nga faktorë të jashtëm (temperatura dhe lagështia), para se të gjitha molekulat të jenë lidhur, rezina ndodhet në të ashtuquajturën gjendje B. Në këtë gjendje rezina paraqet lidhje të pozicionuara larg njëra tjetrës të paafta për të bashkëvepruar, pra faktikisht e pangurtësuar. Fortësia dhe reagimi ndaj shkrirësve varet nga shkalla e zhvillimit të reaksionit të ngurtësimit, i cili mund të përfundojë me kalimin e kohës, duke u ndihmuar nga ngrohja. Në këtë mënyrë një produkt i përbërë nga matrica polimere në gjendjen B me fibra, mund të konsiderohet si një produkt përforcues dy përmasor.

Rezinat me bazë poliestri karakterizohen nga një viskozitet më i ulët në krahasim me rezinat epokside. Rezistenca mekanike dhe vetitë lidhëse janë më të ulëta se ato të rezinave epokside.

VETITE FIZIKO - MEKANIKE	7241 ISOPOLIESTER	980 - 35 VINILESTER	D - 1618 VINILESTER	D - 1222 VINILESTER
Rezistenca në tërheqje (MPa)	78.6	87.6	89.6	79.3
Moduli i elasticit. (MPa)	3309	3309	3171	3241
Deformimi në këputje (%)	2.9	4.2	5.2	3.9
Rezistenca në përkulje (MPa)	125	149	149	113
Moduli i elast. në përkulje (MPa)	3447	3379	3379	3654
Temp. e përdredhjes (shthurjes) (°C)	109	133	119	141

Tabela 1.5 Vetitë fiziko - mekanike të disa lloje rezinash me bazë poliesteri

Në tabelën 1.5 tregohen vetitë fiziko - mekanike të disa lloje rezinash me bazë poliesteri.

Rezinat (Matricat) termoplastike kanë rezistencë më të madhe ndaj goditjeve dhe fenomeneve të thyerjes dhe shfaqin një fushë më të gjerë të deformimeve në afersi të kufirit të kolapsit. Përdorimi i rezinave termoplastike paraqet përparësi të tjera në fazën e prodhimit si:

- kohë e magazinimit e pakufizuar (kur mbrohen nga lagështia)
- cikle të shkurtra shkrirjeje (bashkimi)
- lehtësi në realizim
- tolerancë ndaj dëmtimit

Megjithëse ka këto përparësi, zhvillimi i tyre brenda kufijve të përdorimit në struktura ka qenë i ngadaltë. Pengesa më e madhe përfaqësohet nga shkalla e lartë e viskozitetit të materialit dhe nga vështirësia e realizimit të fibrave të vazhduara me një proces prodhimi konkretisht të mundshëm.

Mbushësit dhe aditivët (shtesat), mund t'i shtohen polimereve termoplastike ose termogurtësuese për ti ulur koston rezinës, për të kontrolluar tkurrjen, për të përmirësuar vetitë mekanike dhe për të rritur rezistencën ndaj zjarrit.

Në zbatimet strukturore, mbushësit përdoren për të përmirësuar transmetimin e ngarkesave dhe për të ulur plasaritjet në zonat e paarmuara. Argjila, karbonati i kalçiumit CaCO_3 dhe fibrat e qelqit janë zakonisht më të përdorshmit në funksion të llojit të aplikimit.

1.10 MATERIALI NGJITES

Realizimi i një përforcimi me FRP kërkon përdorimin e ngjitësve. Zgjedhja e tipit të duhur të ngjitësit, si edhe trajtimi i sipërfaqës ku do të vendosen FRP, varen shumë nga lloji i FRP si edhe nga elementi ku ato do të vendosen (p.sh. elementë betonarme, metalikë, druri, etj.). Skedat teknike të FRP përmbajnë edhe llojin e materialit ngjitës që rekomandohet të përdoret. Do të quajmë material ngjitës, atë material gjithmonë (ose pothuajse) me natyrë polimere, i cili është i aftë të realizojë një lidhje midis dy sipërfaqeve dhe gjithashtu është i aftë përçojë forca me madhësi të konsiderueshme.

Suksesi i përdorimit të fibrave përforcuese polimere varet nga ngjitja e tyre në sipërfaqen e betonit. Për këtë krahas të tjerave duhet të zgjidhet edhe një material cilësor ngjitës, i cili duhet të sigurojë një lidhje të qëndrueshme dhe efikase.

Disa nga kërkesat që duhet të plotësojnë materialet lidhës janë:

- duhet të mos tkurren pas tharjes
- të lidhen me sipërfaqen e betonit
- të mos shkumosen
- të jenë të thjeshtë në përdorim
- të jenë rezistentë ndaj agentëve kimikë dhe kushteve të mjedisit
- të kenë rezistencë të lartë
- ta arrijnë këtë rezistencë shpejt, brenda 24 orëve, për të mundësuar përballimin e ngarkesave
- të jenë plotësisht të papërshkueshëm nga uji
- të mos përçojnë rrymën elektrike

Tregu ofron disa lloje materialesh ngjitës me bazë kimike të ndryshme, si p.sh. poliester, akrilik, etj. Rezinat epokside kanë veti më të mira se ngjitësit e tjerë:

- ofrojnë mundësinë e ngjitjes së materialeve të ndryshme
- i shpërndajnë ngarkesat më njëtrajtësisht
- nuk krijojnë pore
- kosto të ulët
- lidhen më mirë me betonin
- nuk bëhen si sapun (xhel)
- durojnë pa i humbur vetitë e tyre, për një kohë shumë të gjatë (disa vite)
- nuk tkurren
- ngjiten mirë edhe në sipërfaqe të lagështa
- është ngjitësi më i mirë për drurin

Rezinat epokside që përdoren si ngjitës kanë këto anë të këqija:

- janë të ndjeshëm ndaj kushteve mjedisore (temperaturë, lagështi, etj.)
- janë të ndjeshëm ndaj zjarrit

Në rastin e lidhjeve me ngjitës mund të dallojmë tre mënyra të prishjes së tyre:

- shkatërrim për shkak të mungesës së kohezionit
- shkatërrim për shkak të mungesës së ngjitjes
- shkatërrim i përzier

Në rastin e mungesës së kohezionit prishja e lidhjes ndodh për shkak të shkatërrimit të materialit lidhës. Në këtë rast mund të themi se procesi i ngjitjes së dy materialeve ka qenë ideal. Shiko figuren 1.22.

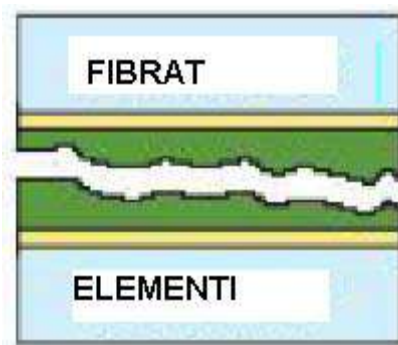


Figura 1.22 Shkatërrimi për shkak të materialit lidhës

Në rastin e mungesës së ngjitjes prishja e lidhjes ndodh për shkak të humbjes së lidhjes së njërit prej elementëve që duheshin bashkuar. Në këtë rast mund të themi se procesi i ngjitjes së dy materialeve ka dështuar. Shiko figurën 1.23.



Figura 1.23 Shkatërrimi për shkak të dështimit të ngjitjes së dy materialeve

Në rastin e shkatërrimit të përzier prishja e lidhjes ndodh për shkak të shkatërrimit të materialit lidhës si edhe për shkak të humbjes së lidhjes së njërit prej elementëve që duheshin bashkuar. Në këtë rast mund të themi se procesi i ngjitjes së dy materialeve ka dështuar. Shiko figurën 1.24.

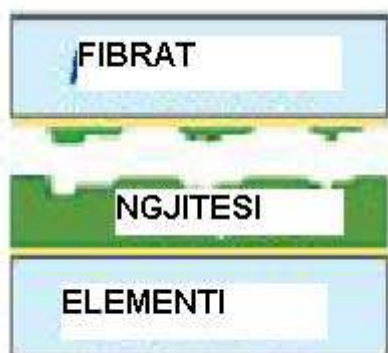


Figura 1.24 Shkatërrimi i përzier

Njihen disa lloj mekanizmash që bëjnë të mundur ngjitjen.

- Lidhje (ngjitje) të tipit fizik.

Përfshin lidhjet jonike midis molekulave të ngjitësit dhe materialit që ngjitet. Lidhjet janë të natyrës kimike dhe elektrostатike. Teoria e absorbimit mëson se lidhja e mirë sigurohet nëse ngjitësi është në gjendje të lagë sipërfaqen, pra është në gjendje të shpërndahet në të gjithë sipërfaqen e kontaktit që do të ngjitet.

- Lidhje kimike kovalente.

Përfshin lidhjet midis molekulave të ngjitësit dhe materialit që ngjitet. Kur këto lidhje humbasin atëherë edhe materialet shqiten nga njeri – tjetri.

- Lidhje difuzive dhe interdifuzive (shpërndarese dhe ndershspërndarese).

Përfshin lidhjet e atomeve ose të molekulave duke realizuar një lidhje midis dy sipërfaqeve.

- Lidhje mekanike.

Kjo lidhje shfrytëzon fërkimin e ndërsjelltë midis dy sipërfaqeve që bashkohen. Natyrisht, sa më të ashpra sipërfaqet e kontaktit aq më e mirë lidhja mekanike.

1.11 KLASIFIKIMI I FRP

FRP mund të klasifikohen në varësi të tipit të rezinës, të tipit të fibrave të përdorura, të gjeometrisë, etj. Një lloj i klasifikimit të FRP është ai që lidhet me drejtimin gjatësor të tyre. Kështu mbi këtë baze kemi këtë klasifikim:

- Tipi A, paraqet të paktën 95% të fibrave të vazhduara të vendosura në drejtimin gjatësor dhe përqindja vëllimore e fibrave më e madhe se 50%.
- Tipi B, paraqet të paktën 95% të fibrave të vazhduara të vendosura në drejtimin gjatësor dhe përqindja vëllimore e fibrave më e madhe se 30%.
- Tipi C, paraqet të paktën 40% të fibrave të vazhduara të vendosura në drejtimin gjatësor dhe përqindja vëllimore e fibrave më e madhe se 30%.

Një tjetër klasifikimi i FRP lidhet me morfologjinë e tyre. Nga kjo pikëpamje rrjedh klasifikimi i mëposhtëm:

- Sisteme të paraformuar
- Sisteme të ngopur në vend (në kantier)
- Sisteme të parangopur

Nga këndvështrimi mekanik, sistemet e përmendur më sipër janë klasifikuar në bazë të vlerës së modulit të elasticitetit dhe të sforcimit të shkatërrimit. Këto madhësi vlerësohen mbi bazën e një tërheqjeje njëboshtore në drejtimin e fibrave. Këto madhësi duhet të shprehen, në rastin e sistemeve të përforcimit të paraformuar, për një njësi të sipërfaqes së përgjithshme të FRP (fibra + matricë). Në rastin e sistemeve të realizuar në vend (në kantier) duhet të shprehen për një njësi të sipërfaqes të vetëm fibrave të thata, pa matricën. Vlerat e modulit të elasticitetit dhe të rezistencës në tërheqje duhet të rezultojnë të qëndrueshme me kalimin e kohës edhe pasi FRP t'i nënshtrohen veprimeve të agjentëve atmosferike.

Sistemet e paraformuar të krijuara nga përbërës të formave të ndryshme (petëza, shirita, shufra) përgatiten në fabrikë me anë të pultruzionit apo me procese të tjera teknologjike.

Sistemet të ngopur në vend (në kantier) përbëhen nga fletë osethurje fibrash një apo disa drejtimëshe të ngopur me rezinë. Përgatiten drejtpërdrejt në vendin e punës.

Sistemet e parangopur përbëhen nga fletë osethurje fibrash një apo disa drejtimëshe të parangopur me rezinë.

1.12 Ç'PROBLEME ZGJIDHEN ME FIBRAT PERFORCUESE POLIMERE (FRP) ?

Nga pikëpamja strukturore zgjidhen këto probleme:

- Rritja e ngarkesës që mund të përballojnë elementët betonarme (trarë, soleta, kolona, etj)
- Zvogëlimi i deformimeve
- Zvogëlimi i madhësisë së plasaritjeve
- Nuk mund të zgjidhen në mënyrë të drejtpërdrejtë problemet në shtypje, për shkak të punës së fibrave vetëm në tërheqje
- Përshtatja sizmike e strukturave

1.13 EPERSITE E PERDORIMIT TE FRP DHE TE THURJEVE PREJ FRP

Në krahasim me materialet e tjerë, përdorimi i FRP, apo i thurjeve prej FRP, në përforcimin e elementëve strukturorë, ka këto epërsi:

- durabilitet i lartë
- peshë e vogël, afërsisht 25% e peshës së çelikut
- rezistencë e lartë
- përdorim i lehtë
- transport i lehtë
- rezistencë në lodhje shumë e lartë
- impakt arkitektonik i shkëlqyer
- të padëmtueshme prej bazave
- rezistente ndaj korrozionit
- të përshtatshme edhe për elementë me sipërfaqe jo të rrafshët
- mundësi e shkëlqyer për t'i orientuar fibrat në drejtimin e duhur, sipas kërkesave të punës së materialit, në varësi të gjendjes së tij të sforcuar
- mirëmbajtje e lehtë dhe e pakët
- mund të përdoren për përforcimin e strukturave me vlera historike, estetike dhe arkitektonike, në të cilat përdorimi i metodave të tjera përforcuese do të conte në çënimin e këtyre vlerave.

Si anë negative mund të përmendim:

- kosto e lartë
- janë materiale të reja dhe ende nuk njihet mirë problematika teknike e tyre, nga ata që i përdorin
- shfaqen probleme në lidhjen midis FRP dhe elementëve betonarme tek të cilat ato vendosen

PJESA E DYTE

TEKNOLOGJIA E PRODHIMIT TE FRP DHE TEKNIKAT E REALIZIMIT TE PERFORCIMIT ME FRP

2.1 TEKNOLOGJIA E PRODHIMIT (FABRIKIMIT) TE FRP

Ekzistojnë shumë metoda për të patur një prodhim të besueshëm të FRP. Këto metoda mund të konsiderohen si procese specifike, natyra dhe pajisjet e të cilave na lejojnë të kontrollojmë gjerësisht produktin. Në vijim do radhiten proceset më të zakonshme.

1- Punime me kallëpe (forma) të hapura

a) Punime me dorë

Është një nga metodat më të thjeshta dhe më të vjetra për prodhimin FRP. Një mënyrë e tillë nënkupton shpërndarjen me dorë të materialit të pangopur mbi formë apo kallëp. Pastaj derdhet me dorë sasia e nevojshme e rezinës të përzier me katalizatorë, duke realizuar kështu paraformën. Gjatë këtij procesi duhet të shmangët ngjitja e materialit me kallëpin, me qëllim që më vonë të ndahen lehtësisht nga njeri - tjetri. Për këtë në sipërfaqen e kontaktit me kallëpin vendoset një shtresë e hollë xheli, rreth 0.35mm e trashë (një rezinë e veçantë që përmban pigmente), e cila ka si qëllim të mbrojë dhe ta bëjë shumë të lëmuar sipërfaqen. Xheli mund të jetë i ngjyrosur. Kjo gjë shmang nevojën e lyerjes së mëvonshme të FRP. Kur xheli ka arritur një gjendje të caktuar soliditeti, atëherë është e mundur të shtrohet rezina dhe shtresa e parë e fibrave, duke i ngjeshur me një rul. Një rulim i kujdesshëm shërben për të kompaktësuar materialin dhe për të eliminuar flluskat e ajrit që mund të gjenden në të. Vazhdohet me aplikimin e shtresave të rezinës dhe të fibrave derisa të arrihet trashësia e dëshiruar për materialin kompozit (të përbërë) përfundimtar.

Polimerizimi ndodh gradualisht në temperaturë mjedisi. Natyrisht që materiali kompozit i përfutur ka nevojë për një stazhonim të përshtatshëm. Në 60°C duhen rreth 8 orë ekspozim. Nëse maturimi

bëhet në temperatura më të ulta, p.sh. në temperaturën e mjedisit, atëherë do të duhen ditë (madje rreth 28 ditë për temperatura rreth 15°C) për tu kryer stazhionimi i plotë.

Rezinat më të përshtatshme janë ato epokside dhe prej poliesteri. Shpesh shtohen edhe materiale organike dhe jo organike, si p.sh. argjila, rërë, etj., me qëllim që të ulët rreziku ndaj zjarrit për këto materiale.

Përmbajtja e fibrave përforcuese në këtë mënyrë prodhimi është relativisht e ulët, rreth 30% në peshë.

Kjo metodë nuk kërkon pajisje të shtrenjta. Kallëpet (stampat) nuk u nënshtrohen sforcimeve të mëdha. Për këto arsye kallëpet mund të përgatiten prej argjile, druri apo metali. Kjo metodë jep rezultate të mira, pa patur nevojë për ndonjë përgatitje shumë të lartë profesionale të personelit që e zbaton.

Kjo teknologji prodhimi përdoret kryesisht në realizimin e skafeve detare, në aeronautikë, depozita lëngjesh, etj.

Nga përshkrimi i bërë del se fazat kryesore të procesit janë dy:

- shtresëzimi
- polimerizimi (ngurtësimi)

Faza e shtresëzimit është plotësisht manuale. Polimerizimi kryhet në temperaturë mjedisi ose në temperaturë pak më të lartë, por pa ushtruar presion.

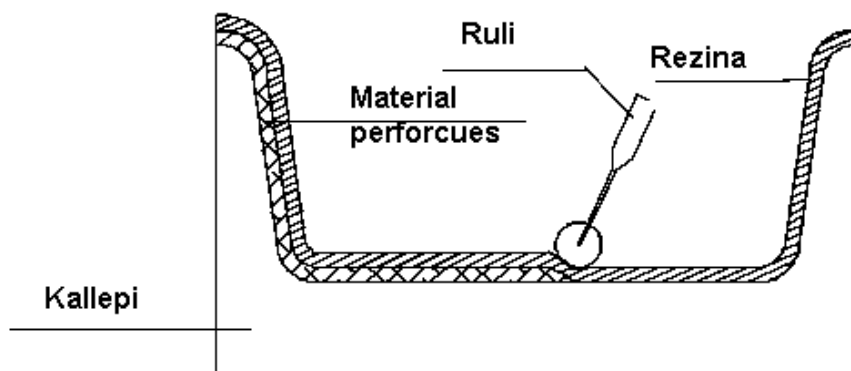


Figura 2.1 Punime me dorë

b) Punime me sprucim

Kjo teknikë konsiston në sprucimin e njëkohshëm në kallëp të rezinës dhe fibrave të shkurtra. Rezina nëpërmjet aspirimit arrin në një pistoletë dhe që aty me anë të një rryme ajri sprucohet mbi kallëp të pajisur zakonisht me një mjet rrotullues për të lehtësuar shpërndarjen

njetrajtshme të materialit që arrin. Fibrat që vijnë nga një bobinë, grimcohen nga një makineri prerëse me ajër të kompresuar. Edhe ato spruohen mbi kallëp, njëkohësisht me rezinën. Matrica dhe fibrat shtypen më pas me rula. Edhe në këtë rast është parashikuar një stazhonim prej 8 orësh në një furë përkatëse.

c) Procesi i kompaktësimit nën vakuum

Gjatë procesit, një grup fibrash të mbingopura vendosen mbi një kallëp(forme) me një ose më shumë shtresa. Këto shtresa mbulohen nga një cipë e tejshtrijshme e fiksuar në sipërfaqen e kallëpit. Krijohet boshllëk në brendësi të cipës mbrojtëse nëpërmjet një pompe vakumi. Kur eliminohet ajri, cipa sipërfaqësore ngjitet pas paketës së petave duke i kompaktësuar. Ajri që mund të ketë mbetur në brendësi hiqet nga palosja e shtresave. N.q.s. matrica rezinoze ngrohet me një nga mënyrat e mundshme, (p.sh. me një llampë me rreze infra të kuqe, me avull, etj.) viskoziteti i rezinës zvogëlohet dhe mund të ndodhë dendësimi i saj përpara se të verifikohet shtimi i viskozitetit falë procesit të ngurtësimit.

d) Mbështjellja

Procesi i mbështjelljes konsiston në ngopjen me matricën rezinoze të fibrave dhe në mbështjelljen e tyre në një cilindër rrotullues. Fibrat e ngopura përshkojnë para e mbrapa cilindrin derisa të krijojnë një shtresë me trashësinë e duhur. Këndi i pjerrësimit të fibrave kontrollohet. Fibrat ndodhen në një sasi të caktuar në njësinë e vëllimit. Materiali lihet të ngurtësohet në cilindër dhe më pas hiqet. Në këtë mënyrë prodhohen tuba, shufra në përdredhje, mbështjellat e raketave, shishe nën presion, bidona, trupi i aeroplanëve. Lëvizjet e ndërlidhjeve gjatë procesit kontrollohen me anën e sistemeve të kompjuterizuara. Mund të përdoret edhe një sistem shtesë për futjen e fibrave të përmasave të vogla dhe/ose të materialeve të veçanta për të shtuar trashësinë por me një kosto më të ulët. Si matrica do të përdoren rezinat epokside, poliesteret dhe vinilesteret.

e) Thurja (Gërshetimi)

Procesi i gërshetimit konsiston në bashkimin e dy ose më shumë fijeve derisa të formohet një strukturë e plotë. Është e mundur të merren gërshetime dy ose tre përmasore. Këto të fundit mund të përdoren për të krijuar struktura më komplekse.

2- Punime me kallëpe (forma) të mbyllura

a) Pultruzioni

Pultruzioni përfaqëson procesin më të rëndësishëm të prodhimit të materialeve kompozitë. Ai i siguron produktit përfundimtar karakteristika fiziko – mekanike të shkëlqyera dhe të njëtrajtshme dhe si pasojë, ky material rezulton shumë i përshtatshëm për zbatimet në fushën strukturore.

Pultruzioni përdor një proces shumë kompleks që varion që nga formimi i matricave të rezinës deri në zgjedhjen e tipit dhe menyrës së vendosjes së fibrave përforcuese. Që nga projektimi i fibrave deri në përcaktimin e parametrave të procesit. Të gjitha këto janë thelbësore për të përfutur një produkt me karakteristika sa më të mira.

Origjina e pultruzionit zë fill në vitet '40 të shekullit të 20-të. 15 – 20 vitet e fundit procesi është përsosur dhe zhvilluar. Produktet që përftoheshin nga procesi i pultruzionit kanë peshë specifike të ulët, veti të mira fiziko - mekanike, rezistencë të lartë ndaj korrozionit, izolim elektrik, izolim termik, etj.

Etimologjia e fjalës “pultruzion” shpjegon edhe metodën përkatëse të realizimit. Fjala anglosaksone “pultrusion” tregon që ke të bësh në fakt me një dalje jashtë (extrusion) nën veprimin e një force pozitive të materialit përforcues. Në hyrje të filierës materiali përforcues ndodhet në formën e një thurjeje. Ai tërhiqet dhe detyrohet të kalojë përmes një vaskë ngopjeje në të cilën ndodhet rezinë me katalizatorë, ose ngurtësues. Pas fazës së ngopjes përzierja e përfutur kalon në një dozues, i cili shërben për larguar rezinën e tepërt, e cila kthehet në vaskë. Me tej në kallëp (stampë) i jepet materialit forma përfundimtare. Materiali i përfutur futet në një furrë që siguron polimerizimin (ngurtësimin) e rezinës. Më tej një prerëse e pret materialin kompozit sipas gjatësisë së kërkuar.

Zakonisht përdoren fibra xhami të kombinuara me rezinë poliesteri, vinilesteri apo epokside. Fibrat më të shtrenjta prej karboni apo aramide përdoren me pak.

Produktet e një teknike të tillë janë p.sh. bjellat e pistonave të puseve të naftës, kavo për beton të parandëruar, shufrat për beton, shiritat dhe pllakat për përforcimin e strukturave (p.sh. nervatura në soleta dhe trarë betonarme), forma për prodhimin e pjesëve mekanike që përdoren për shpime në det të hapur dhe në stabilimentet kimikë, palankola dhe pjesë për kornizat e dritareve.



Figura 2.2 Zhytja e fibrave në vaskën me rezinë

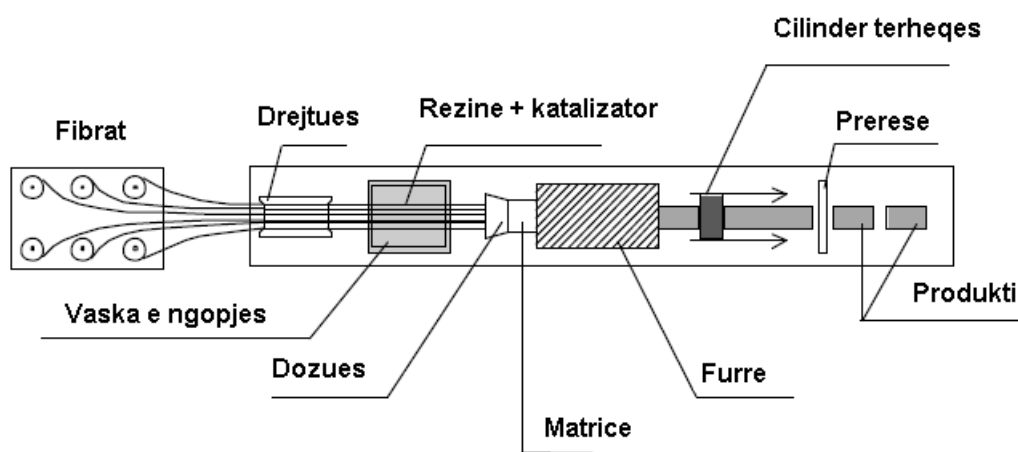


Figura 2.3 Punime me kallëpe të mbyllur

b) Stampimi me kundërforma rigjide

Procesi i stampimit ka këto karakteristika kryesore:

- Kallëpet (format) përcaktojnë formën dhe trashësinë e pjesës dhe duhet të jenë të riprodhueshëm. Në shumë raste i drejtohem përdorimit të presave (makinerive stampuese).
- Kufiri i përmasave të pjesëve përcaktohet nga përmasat e presës.

Forca që i duhet dhënë presave varet nga tipi i materialit të përdorur dhe varion nga 0.21MPa - 6.21MPa. Këto sisteme përgjithësisht përdorin fibra të shkurtra të shpërndara në grupime tre përmasore duke na rezultuar një produkt afërsisht izotrop, por me veti mekanike më të dobëta në krahasim me sistemet që përdorin paketa joizotrope prej fibrash të gjata, të vazhdueshme.

2.2 TEKNIKAT E REALIZIMIT TE PERFORCIMIT ME FRP

2.2.1. Fazat e punës për realizimin e përforcimit me FRP

Përforcimi strukturor i elementëve betonarme realizohet me anë të zbatimit të një apo disa shtresave në formë shiriti apo fletë prej fibrash të llojeve të ndryshme. Këto shtresa ngjiten drejtpërdrejt në strukturën, e cila ka nevojë të përforcohet. Ngjitja realizohet pasi të pastrohet shumë mirë vendi ku do të vendosen fibrat.

Përforcimet punojnë kryesisht sipas dy mënyrave:

- për aderencë (përkulje e prerje)
- për kontakt (rrethimi i kolonave)

Elementët thelbësorë për një funksion sa më të mirë të përforcimit janë:

- Përgatitja e nënshtresës mbi të cilin do të aplikojmë përforcimin
- Vendosja e saktë e përforcimit në vepër

Elementë të tillë, të unifikuar për të aktivizuar mekanizma rezistues të hipotezuar, duhet të verifikohen në fazën e kolaudit me prova jo shkatërruese ose pjesërisht shkatërruese, por me një monitorim gjatë kohës, të të gjithë parametrave gjeometrikë dhe mekanike ndër të cilat përmendim temperaturën e përforcimit, lagështinë e mjedisit, ecurinë e zhvendosjeve dhe të deformimeve, vazhdueshmerinë dhe nivelin e dëmtimit të fibrave, shtrirjen e difekteve dhe shkëputjeve të aplikimit.

Për një rezultat të mirë të ndërhyrjes së përforcimit me fibra, janë të nevojshme fazat e mëposhtme:

- 1) Shkatërrimi i betonit të dëmtuar të jetë i kufizuar, brenda shtresës mbrojtëse ose deri në afërsi të një shtrese solide rezistente.
- 2) Hidrolavazhi me presion të lartë i sipërfaqeve të dëmtuara ose si alternativë pastrimi me rërë apo pastrimi me furcë i sipërfaqes.
- 3) Heqja nëpërmjet një shpatulle (spatole) metalike të oksideve të mundshme nga shufrat e armaturës (veç në rast se nuk është zbatuar pastrimi me rërë) dhe trajtimi i armaturës së çelikut me llaç çimento antikorrodues, që shtrihet me penel, në dy duar.
- 4) Rindërtimi i shtresës mbrojtëse nëpërmjet përdorimit të llaçeve tiksotropike me veti të larta mekanike (me rezistencë në shtypje më të madhe se 15N/mm^2).
- 5) Rregullimi i sipërfaqes edhe atje ku nuk ka shkatërrim të shtresës mbrojtëse nëpërmjet stukos eposidike, duke pasur si

qëllim nivelimin e sipërfaqes dhe garantimin e aderencës dhe drejtimin e përforcimit në mbështetje.

- 6) Aplikim i mundshëm i një shtrese primer të përshtatshëm, me bazë rezinat eposidike, në funksion të kushteve të mbështetjes, p.sh. ka apo jo prani të lagështisë.
- 7) Shtrirje e shtresës së parë prej rezine eposidike, për ngjitjen e fibrave të përforcimit. Lyhet sipërfaqja e pastruar me rezinë deri sa të krijohet një shtresë me trashësi 1mm.
- 8) Pritet paketa e FRP në gjatësinë e dëshiruar. Paketa shtrihet në një tavolinë dhe pastrohet me një solucion të posaçëm. Fibrat duhet të kenë peshën e duhur, duke patur kujdes që e gjithë fleta e ngopur, e gatshme për tu vënë në vepër, të ketë ngjyrë homogjene, pa praninë e pjesëve të panjomura nga rezina polimerike dhe pa praninë e flluskave të ajrit. Veprimi i ngopjes me materialin ngjites, nuk duhet të modifikojë strukturën origjinale të përforcimit.
- 9) Brenda kohës së duhur (duhet shmangur tharja e ngjitesit) ngjitet paketa e FRP duke e ngjeshur me rul, deri sa ngjitesi të dalë nga të dy anët e paketës së FRP. Ngjitesi i tepërt që del gjatë ngjeshjes në të dy anët e paketës së fibrave duhet të pastrohet.
- 10) Shtrimi i një shtrese të dytë rezinë eposidike. Lyhet sipërfaqja e betonit me doren e dytë të ngjitesit deri sa të arrihet të krijohet një shtresë me trashësi 1 deri 2mm.
- 11) Përsëritja e fazave 8) dhe 9) për të gjitha shtresat e parashikuara në projekt.
- 12) Lihet në qetësi deri sa ngjitesi (rezina) të thahet dhe ngurtësohet plotësisht. Si kontroll i fundit realizohet goditja e lehtë me çekiç të posaçëm në petëzat e ngjitura për të parë se mos janë krijuar boshllëqe gjatë ngjitjes dhe ngurtësimit. Fibrat e ngjitura mund të lyhen me bojë apo të suvatohen.

Duhet patur parasysh rregullat e sigurimit teknik në punë. Kështu meqenëse punëtori do të duhet të punojë me materiale kimike ai duhet të jetë i pajisur me doreza, syze, veshje mbrojtëse, etj.

Realizimi i ngjitjes së fibrave duhet të kryhet në një element me temperaturë +5 deri +70 grade celsius. Nuk lejohet realizimi i procesit të ngjitjes jashtë ketyre kufijve.

Në rast se temperatura e mjedisit është poshtë +5°C, aplikimi realizohet vetëm me anë të një sistemi që garanton kontrollin e temperaturës së mbajtëses dhe të temperaturës së polimerizimit të

rezinës. Për këtë arsye ajo pjesë e elementit ku do të realizohet ngjitja duhet të ngrohet para ngjitjes dhe 48 orë pas saj.

Në fund të aplikimit duhet të zbatohen të gjitha metodat dhe teknikat e nevojshme, të afta për të garantuar mungesën e flluskave të ajrit, ngjitjen e përsosur dhe ndertimin e përsosur të fibrave në mbështetje, përfshirë këtu edhe cepat dhe kurbëzimet.

Në rrethimin (mbeshtjelljen) e kollonave, për përforcimet në prerje dhe në të gjitha rastet ku përforcimi duhet të mbështjellë cepat apo qoshet, duhet që paraprakisht të kryejmë rrumbullakimin e tyre me rreze kurbaturë të tillë që të shmangin përqëndrimin e sforcimeve, që mund të provokojnë prerje të fibrave.

Ndërhyrja përforcuese duhet të paraprihet nga prova të përshtatshme sklerometrike të realizuara mbi një numër të mjaftueshëm elementësh për të përcaktuar (në mënyrë të pritshme) rezistencën në shtypje të betonit.

Sipërfaqja ku do të realizohet ngjitja duhet të jetë krejtësisht e thatë.

Të gjithë shiritat kompozitë të përdorur duhet të kontrollohen, për t'i verifikuar peshën, orientimin e fibrave, pastërtinë. S'duhet të kenë pluhura në sipërfaqe dhe të ruhen në vende të përshtatshme ku të mos shtrembërohen dhe të mos shturen.



Figura 2.4 Soleta që do të përforcohen me FRP



Figura 2.5 Përgatitja e FRP në kantier



Figura 2.6 Vendosja e FRP në soletë



Figura 2.7 Soleta e përforcuar me FRP



Figura 2.8 Soleta konsol e përforcuar me FRP



Figura 2.9 Prova me ngarkesë e soletës konsol të përforcuar me FRP

2.2.2. Trajtimi i sipërfaqes ku do të vendosen FRP

Përgatitja e saktë e vendit ku do të vendosen FRP është garanci për mbarëvajtjen e punës. Është shumë e rëndësishme për këtë të realizohet procesi i kapjes (lidhjes) së FRP me elementin betonarme, ku ato vendosen. Natyrisht, që me rritjen e sipërfaqes së kontaktit FRP – element betonarme, do të rritet edhe kapja (lidhja) midis tyre. Trajtimi i sipërfaqes së kontaktit përmirëson ndjeshëm kapjen (lidhjen) FRP –

element betonarme. Për këtë, me anë të veprimeve mekanike, eliminohen nga sipërfaqja e kontaktit petëzat e çimentos, papastërtitë, gjurmët e punimeve të mëparshme, etj.

Sipërfaqja e elementit të treguar në figurën 2.10 është e papërshtatshme. Ajo nuk mund të shërbejë si nje sipërfaqe kontakti e pranueshme për lidhjen FRP – element betonarme. Ndonjëherë, në sipërfaqen e kontaktit vërehen copëza të mëdha inertesh, të cilat ndahen nga trupi i elementit me plasaritje. Në këtë rast duhet detyrimisht të hiqet plotësisht kjo pjesë e elementit.

Disa nga teknikat më të përdorshme për të përmirësuar sipërfaqen e kontaktit janë:

- Trajtimi me furçë dore
- Trajtimi me trapano
- Trajtimi me gur fleksibël
- Trajtimi me çukitje
- Trajtimi me rërë
- Trajtimi me ujë



Figura 2.10 Gjendja e sipërfaqes para vendosjes së FRP

Trajtimi me furçë dore konsiston në fërkimin e sipërfaqes me një furçë dore me fije hekuri. Kjo metodë duhet të konsiderohet si një metodë plotësuese e të tjerave. Përdoret për sipërfaqe të vogla, sepse furça largon vetëm pjesën sipërfaqësore të petëzave të çimentos dhe jo ato midis inerteve.



Figura 2.11 Furça



Figura 2.12 Trajtimi me furçë

Trajtimi me trapano ka një rendiment dhe efikasitet më të lartë se trajtimi me furçë dore. Edhe kjo metodë nuk arrin të largojë plotësisht petëzat e çimentos dhe pjesët e vogla të palidhura. Mund të konsiderohet një metodë plotësuese e të tjerave.



Figura 2.13 Trajtimi me trapano

Duhet të mbajmë parasysh se trajtimi me furçë dorë apo me trapano, në betonet me rezistencë të lartë, mund të krijojë në sipërfaqen e kontaktit pjesë të lëmuara si pasqyrë, të cilat janë shumë të papërshtatshme.

Trajtimi me gur fleksibël. Edhe kjo metodë mund të krijojë sipërfaqe të lëmuara. Përdorimi i kësaj metode shoqërohet me krijimin e një sasive të madhe pluhuri që mund të depozitohet në sipërfaqen e kontaktit. Për këtë arsye këshillohet një pastrim me furçë.



Figura 2.14 Trajtimi me gur fleksibël



Figura 2.15 Trajtimi me gur fleksibël



Figura 2.16 Trajtimi me gur fleksibël

Trajtimi me çukitje kryhet me një çekiç të posaçëm. Duke e çukitur sipërfaqen, ashpërsohet ajo dhe njekohësisht largohen pjesëzat e betonit sipërfaqësore që nuk janë të lidhura mirë me trupin e elementit. Kjo metodë është e përshtatshme për elementë jo të degraduar, pasi goditjet me çekiç mund të çojnë në shkatërrim apo përkeqësim të kushteve të elementit.



Figura 2.17 Çekiçi i posaçëm për trajtimin me çukitje



Figura 2.18 Trajtimi me çukitje

Trajtimi me rërë. Konsiston në përgatitjen e sipërfaqes së kontaktit me anë të goditjes së saj me rërë me presion. Rëra ka granulometri të ndryshme (diametri i kokrrizave 0.3 – 1mm). Është një metodë shumë e mirë dhe efikase. Pikat e dobëta të saj janë zhurma e madhe dhe pluhuri me sasi të konsiderueshme.



Figura 2.19 Trajtimi me rërë



Figura 2.20 Pompa e rërës

Trajtimi me ujë. Është një metodë shumë e mirë për të eliminuar të gjitha pjesët sipërfaqësore të betonit, të palidhura mirë me trupin e elementit. Pas këtij procesi nuk lejohet përdorimi i menjëhershëm i rezinave, por për sa i takon produkteve me çimento kushtet e krijuara janë ideale, pasi këta lidhës kërkojnë një sipërfaqe kontakti të ngopur me ujë.



Figura 2.21 Trajtimi me ujë

PJESA E TRETE

PERFORCIMI I ELEMENTEVE TE VEÇANTE **BETONARME**

3.1 HYRJE

Përforcimi i një elementi të veçantë betonarme, apo i një strukture të tërë, është nganjëherë më i vështirë se ndërtimi i saj nga e para. Shqetësimi lidhet me gjendjen aktuale të materialeve përbërës të strukturës, përballimin e ngarkesave gjatë kryerjes së punimeve, formën gjeometrike të strukturës, etj. Shpesh nga inxhinieri kërkohet që përveç përforcimit të një strukture të kryhet edhe zgjerimi apo lartësimi i saj.

Kur vendoset të kryhet përforcimi i një elementi të veçantë betonarme, apo i një strukture në tërësi, duhet të merren parasysh të gjithë faktorët, që mund të çojnë në shkatërrimin e tyre. Përforcimi i një strukture në drejtim të rritjes së aftësisë mbajtëse prej momentit përkulës, mund të çojë në shkatërrimin e saj prej forcave prerëse. Nga ana tjetër, nëse përforcojmë një element të veçantë, i cili është pjesë përbërëse e një strukture të tërë, duhet të shikojmë se ç'ndodh me elementët e tjerë të kësaj strukture, pasi mund të ndodhë që të shkatërrohen ata. Pra, mund të themi, që e gjithë struktura duhet të studiohet si një e tërë dhe jo e ndarë në pjesë të veçanta. Përforcimi duhet të konceptohet dhe të realizohet i tillë, që të kërkojë, më pas, sa më pak punime për mirëmbajtje.

Meqënëse informacioni teknik mbi strukturat e ndërtesave ekzistuese në përgjithësi është i mangët, këshillohet që struktura të riprojektohet, duke marrë parasysh, sa më mirë të jetë e mundur, kodet dhe normativat teknike, të cilat kanë qenë në fuqi, kur struktura është projektuar dhe ndërtuar. Përveç kësaj, duhet të kryhet një kontroll i gjendjes aktuale të strukturës së ndërtesës. Projektimi i përforcimit duhet të kryhet detyrësisht në përputhje të plotë me normativat në fuqi aktuale.

Kohët e fundit edhe kërkesat e respektimit të mjedisit po ndërhyjnë fort në marrjen e vendimit për ta përforcuar një ndërtesë apo për ta prishur dhe ngritur një të re.

3.2 STRATEGJIA E PERFORCIMIT

Kur vendoset që një strukturë do të perforcohet, duhet të mbahen parasysh disa faktorë. Në figurën 3.1 paraqiten skematikisht arsyet se përse duhet kryer përforcimi.

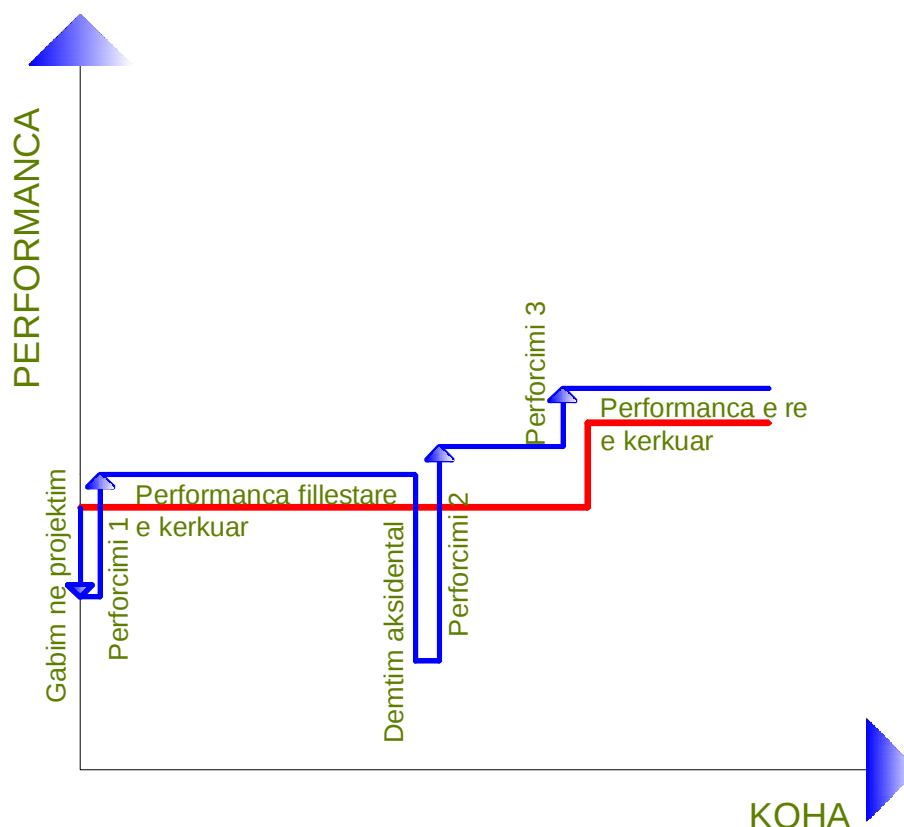


Figura 3.1 Arsyet përse duhet kryer përforcimi

3.3 PARIME TE PERGJITHSHME BAZE TE PROJEKTIMIT TË PERFORCIMIT ME FRP

Pranohet që:

- Zgjedhja e sistemit të përforcimit dhe projekti përkatës janë bërë nga inxhinierë të specializuar në këtë fushë.
- Projekti është i saktë, i qartë dhe i detajuar.
- Zbatimi praktik i këtij përforcimi do të kryhet nga punonjës të specializuar dhe me përvojë në këtë fushë.
- Gjatë zbatimit do të ketë një mbikqyrje punimesh dhe kontroll të specializuar.

- Materialet e përdorur do të përmbushin të gjitha normat dhe standartet përkatëse.
- Sistemi i përforcimit i pranuar përmbush kërkesat që lidhen me durabilitetin, shërbyeshmërinë, aftësinë mbajtëse.
- Sistemi i përforcimit përmbush normat kundër zjarrit.
- Sistemi i përforcimit vendoset në ato zona, të cilat punojnë në tërheqje. Nuk duhet tu besohet FRP për sa i takon përballimit të sforcimeve shtypëse.
- Rreziqet që mund të lindin në strukturë duhet të studiohen me shumë kujdes dhe të mënjanoen. Përforcimi me FRP duhet të mos jetë i ekspozuar ndaj këtyre rreziqeve.
- Përforcimi me FRP duhet të përballojë edhe dëmtimet lokale.
- Duhet të shmangen ato lloj përforcimesh, të cilat mund të shkatërrohen pa dhënë shenja të dukshme.

3.4 DUKTILITETI

Projektimi i përforcimit të një strukture duhet të kryhet duke marrë parasysh shkatërrimin duktil të saj. Duktiliteti mund të përkufizohet si aftësia që ka struktura për tu deformuar dhe njëkohësisht për të përballuar ngarkesat. Është e rëndësishme të dallohet duktiliteti i materialit nga duktiliteti i strukturës. Duktiliteti i materialit dhe i strukturës nuk kanë gjithmonë varësi të drejtpërdrejtë dhe materialet elastike mund të rritin duktilitetin e strukturës.

Një tra betonarme, i armuar me shufra çeliku, që punon në përkulje është një element me sjellje duktile. Megjithatë, ky tra nën veprimin e një ngarkese të përhershme, që shkakton sforcime në vlera të larta, shtypëse dhe tërheqëse, në armaturën e çelikut, mund të shkatërrohet në mënyrë të thyeshme, jo duktile. Le ta shqyrtojmë përsëri këtë tra, nën veprimin e të njëjtës ngarkese, por këtë rradhë të përforcuar me një FRP. Përforcimi do të mundësojë zvogëlimin e sforcimeve në armaturën e çelikut. Shkatërrimi nuk do të vijë si pasojë e lodhjes. Sjellja duktile do të përmirësohet.

Në shumë raste, përforcimi përqendrohet në rritjen e aftësisë mbajtëse të një strukture apo elementi kundrejt momentit përkulës. Nuk duhet harruar asnjëherë edhe veprimi i forcave prerëse. Shkatërrimi nga forca prerëse është i tipit të thyeshëm, me pak ose aspak shenja të dukshme. Kështu, krahas përforcimit që synon rritjen e aftësisë mbajtëse të një strukture apo elementi kundrejt momentit përkulës duhet

kontrolluar edhe aftësia mbajtëse e tij kundrejt forcave prerëse. Nëse është e domosdoshme duhet të kryhet edhe përforsimi që synon rritjen e aftësisë mbajtëse të një strukture apo elementi kundrejt forcave prerëse. Një përforsim i tillë përveç të tjerave do të përmirësonte edhe sjelljen duktile të elementit apo të strukturës.

3.5 DURABILITETI (JETEGJATESIA)

Një strukturë konsiderohet durable (jetëgjatë), nëse duke i kryer një mirëmbajtje të zakonshme, arrin të ruajë gjatë gjithë jetës se dobishme të strukturës, aftësinë mbajtëse, qëndrueshmërinë dhe shërbyeshmërinë (funksionalitetin). Durabiliteti apo jetëgjatësia mund të përkufizohet si ruajtja e karakteristikave fiziko mekanike të strukturës, të materialeve përbërës të saj, gjatë gjithë jetës se dobishme të strukturës. Durabiliteti është një karakteristikë shumë e rëndësishme për të ruajtur një nivel të caktuar sigurie gjatë kohës që ekziston struktura apo vepra inxhinierike.

Përforsimi me FRP duhet të projektohet dhe realizohet në mënyrë të tillë që degradimi i pritshëm gjatë jetës se dobishme të strukturës së përforsuar, të mos e ulë performancën teknike të saj poshtë një niveli të caktuar, duke marrë parasysh si kushtet mjedisore ashtu edhe mirëmbajtjet e mundshme të strukturës.

Për të siguruar durabilitetin (jetëgjatësinë) e përforsimit duhet të mbahen parasysh:

- qëllimi i përdorimit të strukturës
- kushtet mjedisore
- përbërja, vetitë dhe performanca e materialeve ekzistuese dhe materialeve të rinj
- lloji i përforsimit
- cilësia e zbatimit të tij
- masat mbrojtëse të veçanta që mund të merren për të ruajtur strukturën në përgjithësi apo përforsimin në veçanti, si p.sh. mbrojtja kundër zjarrit
- mirëmbajtja

FRP janë shumë jetëgjata në shumë aspekte. Njëra nga përparësitë më të mëdha të FRP me fibra karboni (CFRP) është që nuk korrodohen. Durabiliteti i FRP lidhet direkt me matricën e tyre. Matricat polimere epokside janë më të përshtatshmet për sa i takon durabilitetit. Matricat epokside nuk thithin ujë. Kjo lloj matrice mund të shkatërrohet nga rrezet

ultravjollcë. Megjithatë, duke i shtuar asaj aditivë (shtesa) të posaçëm, mund të shmanget edhe rreziku i shkatërrimit nga rrezet ultravjollcë. FRP duhet të mbrohet nga zjarri. Megjithatë FRP i durojnë zjarrit më mirë se pllakat e çelikut. Kjo edhe për shkak të përçueshmërisë më të ulët termike të FRP.

Në qoftë se fibrat e karbonit të parrethuara nga matrica bien në kontakt me çelikun ekziston rreziku i korrodimit. Për sa kohë që matrica rrethon fibrat e karbonit ky rrezik shmanget.

Përçueshmëria elektrike mund të jetë një rrezik për shkatërrimin e FRP. Për të shmangur këtë këshillohet tokëzimi i elementëve të përforcuar me FRP.

3.6 MARRËDHENIET SFORCIM – DEFORMIM TË FRP

FRP punojnë në fazën elastiko-lineare deri në shkatërrim. Në rastin e gjendjes së sforcur plane, si në figurën 3.2, marrëdhënia sforcim – deformim është e tipit:

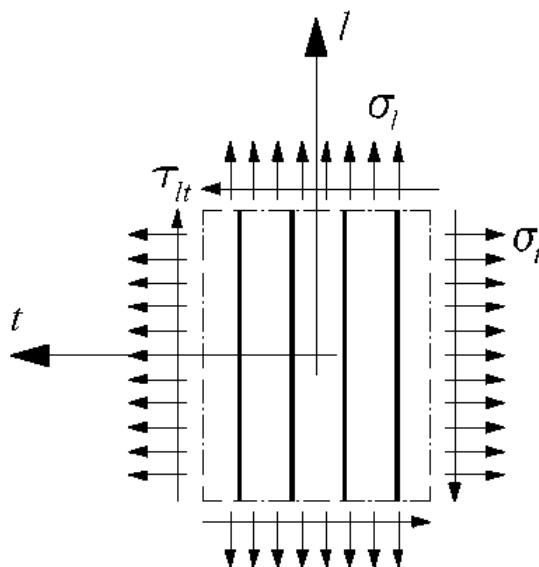


Figura 3.2 Gjendje e sforcur plane

$$\varepsilon_l = \frac{1}{E_l} \sigma_l - \frac{\nu_{lt}}{E_t} \sigma_t \quad (1)$$

$$\varepsilon_t = -\frac{\nu_{lt}}{E_l} \sigma_l + \frac{1}{E_t} \sigma_t \quad (2)$$

$$\gamma_{lt} = \frac{1}{G_{lt}} \tau_{lt} \quad (3)$$

Në këto shprehje l dhe t janë akset natyrore të materialit ortotrop (rasti i një materiali me fibra ku fibrat janë vendosur sipas dy drejtimeve pingule). Akset natyrorë përputhen me drejtimet e vendosjes së fibrave. E_l dhe E_t janë përkatësisht modulet e Jungut sipas drejtimeve l dhe t. ν_{lt} dhe ν_{tl} janë koeficientët e Puasonit, sipas drejtimeve lt dhe tl. G_{lt} është moduli i elasticitetit tangencial. Bazuar në simetrinë e matricës së fleksibilitetit rrjedh:

$$\frac{E_l}{E_t} = \frac{\nu_{lt}}{\nu_{tl}} \quad (4)$$

Mund të ndodhë që akset natyrore l dhe t të mos përputhen me akset e sistemit të referimit. Shiko figurën 3.3.

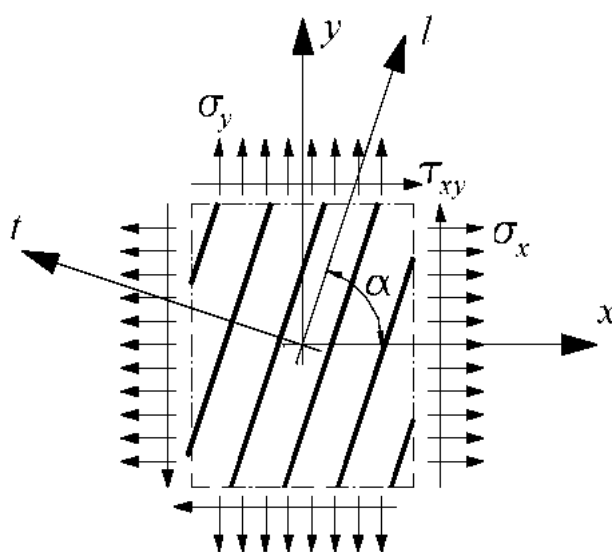


Figura 3.3 Gjendje e sforcuar plane, akset nuk përputhen me akset e referimit

Në këtë rast kemi këto shprehje të ndryshuara:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E_x} \sigma_x - \frac{\nu_{yx}}{E_y} \sigma_y + \lambda_1 \tau_{xy} \quad (5)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E_y} \sigma_y - \frac{\nu_{xy}}{E_x} \sigma_x + \lambda_2 \tau_{xy} \quad (6)$$

$$\gamma_{xy} = \lambda_1 \sigma_x + \lambda_2 \sigma_y + \frac{1}{G_{xy}} \tau_{xy} \quad (7)$$

$$\frac{1}{E_x} = \frac{\cos^4 \alpha}{E_l} + \left(\frac{1}{G_{lt}} - \frac{2\nu_{lt}}{E_l} \right) \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha + \frac{\sin^4 \alpha}{E_t} \quad (8)$$

$$\frac{1}{E_y} = \frac{\sin^4 \alpha}{E_l} + \left(\frac{1}{G_{lt}} - \frac{2\nu_{lt}}{E_l} \right) \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha + \frac{\cos^4 \alpha}{E_t} \quad (9)$$

$$\frac{1}{G_{xy}} = \frac{\cos^2 2\alpha}{G_{lt}} + \left(\frac{1 + \nu_{lt}}{E_l} - \frac{1 + \nu_{tl}}{E_t} \right) \sin^2 2\alpha \quad (10)$$

$$\frac{\nu_{xy}}{E_x} = \frac{\nu_{yx}}{E_y} = \frac{\nu_{lt}}{E_t} - \frac{1}{4} \left(\frac{1 + \nu_{lt}}{E_l} + \frac{1 + \nu_{tl}}{E_t} - \frac{1}{G_{lt}} \right) \sin^2 2\alpha \quad (11)$$

$$\lambda_1 = - \left[\frac{\sin^2 \alpha}{E_t} - \frac{\cos^2 \alpha}{E_l} + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{G_{lt}} - \frac{2\nu_{lt}}{E_l} \right) \cos 2\alpha \right] \sin 2\alpha \quad (12)$$

$$\lambda_2 = - \left[\frac{\cos^2 \alpha}{E_t} - \frac{\sin^2 \alpha}{E_l} - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{G_{lt}} - \frac{2\nu_{lt}}{E_l} \right) \cos 2\alpha \right] \sin 2\alpha \quad (13)$$

Vihet re se në lidhje me akset e referimit që nuk përputhen me akset natyrore të materialit ortotrop, koeficientët e deformimit linear ε_x dhe ε_y varen nga sforcimet normale σ_x dhe σ_y , si edhe nga sforcimet tangenciale τ_{xy} . Nga ana tjetër edhe deformimi këndor rrëshqitës γ_{xy} varet nga τ_{xy} dhe nga sforcimet normale σ_x dhe σ_y .

Në tabelën 3.1 tregohen disa parametra fiziko – mekanikë të disa materialeve kompozitë.

Materiali	Moduli i elastic. (kN/mm ²)			Rezistenca (N/mm ²)			Dendësia (g/cm ³)
	Aksial	Tërthor	Tang.	Aksiale	Tërthore	Tang.	
	E _l	E _t	G _{lt}	σ _l	σ _t	τ _{lt}	
Grafrit + epoksid (rez. e lartë)	138	6.9	4.5	1517	41	97	1.57
Xham + epoksid	55	14	3.4	1793	41	69	2.00
Çelik	207	207	79	414	414	241	7.83

Tabela 3.1 Parametra fiziko – mekanikë të disa materialeve kompozitë

Për materialin e parë të tabelës 3.1 raporti rezistencë/peshë është $\sigma_l/\rho = 1517/1.57 = 966.24$, për të dytin $\sigma_l/\rho = 1793/2 = 896.5$, për çelikut $\sigma_l/\rho = 414/7.83 = 52.87$.

3.7 PERCAKTIMI I PARAMETRAVE FIZIKO-MEKANIKE TË FRP

3.7.1 Shprehjet analitike të parametrave fiziko – mekanikë të FRP

Në këtë paragraf do të paraqesim shprehjet e përcaktimit të konstanteve elastike E_l , E_t , ν_{lt} , ν_{tl} dhe G_{lt} . Kujtojmë se E_l është moduli i elasticitetit të FRP në drejtimin paralel me drejtimin e fibrave. E_t është moduli i elasticitetit të FRP në drejtimin pingul me drejtimin e fibrave. ν_{lt} dhe ν_{tl} janë koeficientët e Puasonit, sipas drejtimeve gjatësore dhe tërthore. G_{lt} është moduli i elasticitetit tangencial (moduli i rrëshqitjes). Këto konstante karakterizojnë sjelljen mekanike të materialeve kompozitë, duke u nisur nga elementët përbërës të tyre që janë fibrat dhe matricat e llojeve të ndryshme. Këto konstante janë përfutur duke u nisur nga vlerësimi i një natyre mikromekanike të fibrave dhe matricave të llojeve të ndryshme. Këto konstante të llogaritura në këtë mënyrë bëjnë të mundur të përcaktohet një material homogjen “ekuivalent”.

Karakteristikat mekanike të një materiali kompozit (të përbërë) varen nga prania në vëllim e fibrave dhe matricës lidhëse. Raportet në vëllim të fibrave dhe të matricës përcaktohen si më poshtë:

➤ Raporti në vëllim i fibrave, V_f

$V_f = \text{vëllimi i fibrave} / \text{vëllimi i përgjithshëm i FRP}$

➤ Raporti në vëllim i matricës, V_m

V_m = vëllimi i matricës / vëllimi i përgjithshëm i FRP

Natyrisht që $V_f + V_m = 1$.

Moduli i elasticitetit në drejtim të fibrave mund të gjendet duke pranuar që deformimi i fibrave dhe i matricës në drejtimin e fibrave janë të njëjtë ($\epsilon_f = \epsilon_m = \epsilon_l$). Në këtë rast pranohet një element me një vëllim përfaqësues të materialit të përbërë (kompozit), i cili ndodhet nën veprimin e një sforcimi të njëtrajtshëm në drejtim të fibrave σ_l . Shiko figurën 3.4.

Dihet që:

$$\epsilon_l = \Delta L / L \quad (14)$$

Meqënëse fibrat dhe matrica janë elementë lineare rezulton se:

$$\sigma_f = E_f \cdot \epsilon_f = E_f \cdot \epsilon_l \quad (15)$$

$$\sigma_m = E_m \cdot \epsilon_m = E_m \cdot \epsilon_l \quad (16)$$

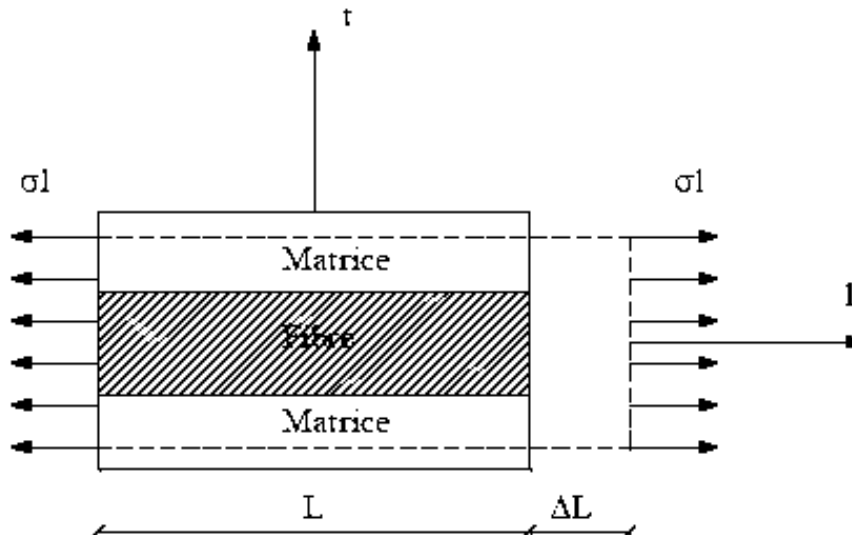


Figura 3.4 Përbërja skematike e FRP

Forca e plote që vepron në seksionin tërthor të elementit me vëllimin e marrë në konsideratë:

$$P = \sigma_l \cdot A = \sigma_l \cdot A_f + \sigma_l \cdot A_m = \sigma_f \cdot A_f + \sigma_m \cdot A_m = \epsilon_l \cdot (E_f \cdot A_f + E_m \cdot A_m) \quad (17)$$

$$A = A_f + A_m \quad (18)$$

A_f – sipërfaqja e seksionit tërthor të fibrave

A_m – sipërfaqja e seksionit tërthor të matricës

Duke patur parasysh se:

$$V_f = A_f/A \quad (19)$$

$$V_m = A_m/A \quad (20)$$

nga shprehja (17) rrjedh:

$$\sigma_l = \epsilon_l \cdot (E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m) \quad (21)$$

Duke shënuar me E_l modulin e elasticitetit normal të materialit kompozit në drejtim të fibrave, kemi:

$$\sigma_l = \epsilon_l \cdot E_l \quad (22)$$

Nga krahasimi i shprehjeve (21) dhe (22) rrjedh:

$$E_l = E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m \quad (23)$$

Moduli i elasticitetit normal në drejtimin pingul me fibrat mund të gjendet duke u nisur nga hipoteza bazë se fibrat dhe matrica ndodhen nën veprimin e të njëjtit sforcim në drejtimin pingul me fibrat ($\sigma_t = \sigma_f = \sigma_m$).

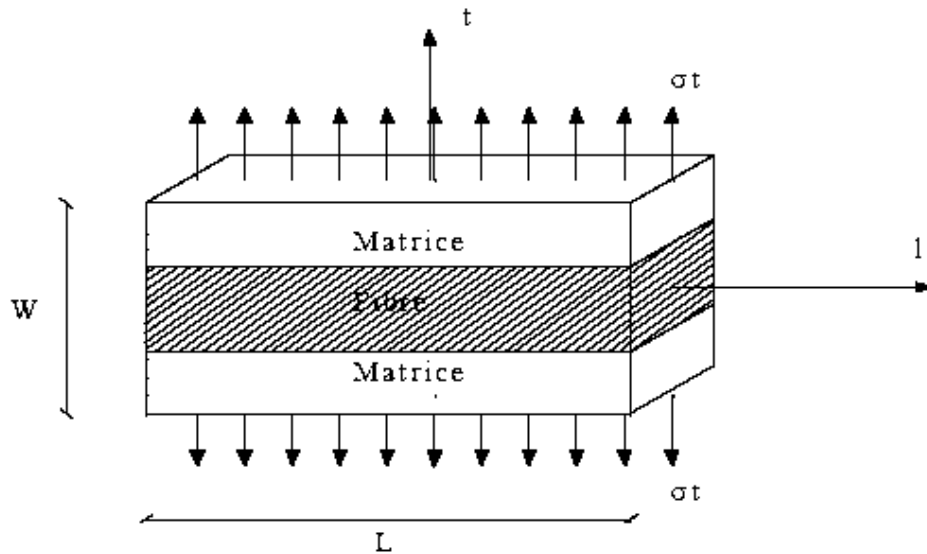


Figura 3.5 Përbërja skematike e FRP

Dihet që:

$$\sigma_t = \varepsilon_t \cdot E_t \quad (24)$$

$$\varepsilon_f = \sigma_t / E_t \quad (25)$$

$$\varepsilon_m = \sigma_t / E_m \quad (26)$$

Deformimi ε_f lidhet me pjesën $V_f \cdot W$ të elementit. Deformimi ε_m lidhet me pjesën $V_m \cdot W$ të elementit. Deformimi mesatar ε_t lidhet me të gjithë elementin.

$$\varepsilon_t \cdot W = \varepsilon_f \cdot V_f \cdot W + \varepsilon_m \cdot V_m \cdot W \quad (27)$$

$$\varepsilon_t = (\sigma_f \cdot V_f) / E_f + (\sigma_m \cdot V_m) / E_m \quad (28)$$

Nga krahasimi i formulave të mësipërme rezulton:

$$1 / E_t = V_f / E_f + V_m / E_m \quad (29)$$

Koeficienti i Puasonit në planin $l - t$ jepet nga shprehja:

$$\nu_{lt} = \nu_f \cdot V_f + \nu_m \cdot V_m \quad (30)$$

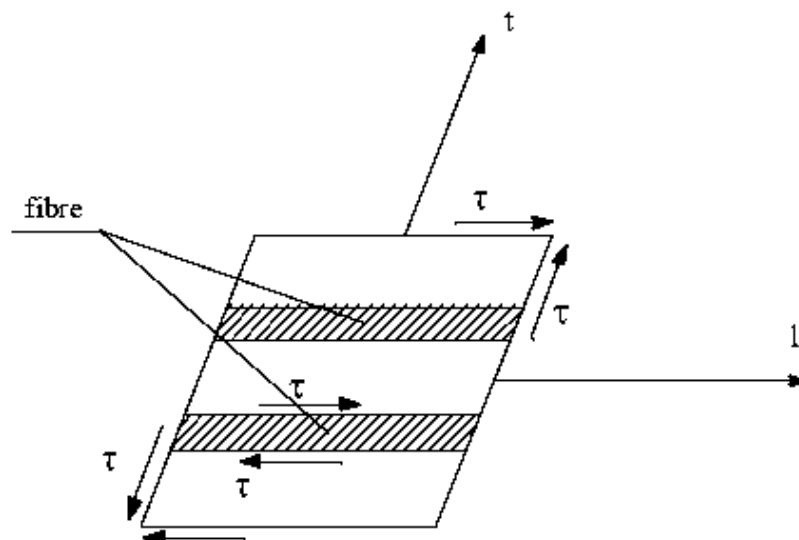


Figura 3.6 Përbërja skematike e FRP

v_f – koeficienti i Puasonit të fibrave

v_m – koeficienti i Puasonit të matricës

Moduli i elasticitetit tangencial G_{lt} i materialit kompozit në planin l – t gjendet me formulën:

$$1/G_{lt} = V_f/G_f + V_m/G_m \quad (31)$$

Gjithmonë është e këshillueshme që krahas përcaktimit teorik të vlerave të mësipërme, të kryhen edhe prova laboratorike. Prova e treguar në figurën 3.7 mund të përdoret për të përcaktuar vlerat e koeficientëve E_l , v_{lt} dhe sforcimin kufitar në tërheqje $\sigma_{x,ult}^{(+)}$.

Shënojmë me P forcën, me A sipërfaqen, ϵ_x dhe ϵ_y deformimet.

$$E_x = \sigma_x/\epsilon_x = P/(A \cdot \epsilon_x) \quad (32)$$

$$v_{xy} = - \epsilon_y/\epsilon_x \quad (33)$$

$$\sigma_{x,ult}^{(+)} = P_{ult}/A \quad (34)$$

P_{ult} – forca e shkatërrimit të kampionit laboratorik

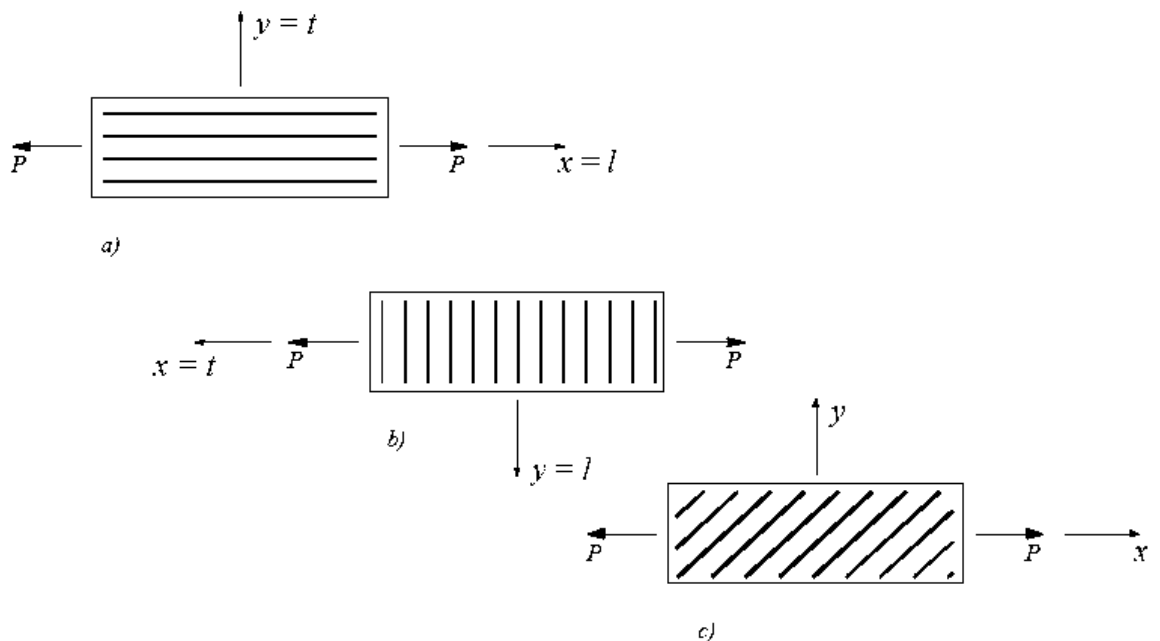


Figura 3.7 Përcaktimi i modulit të elasticitetit dhe koeficientit të Puasonit.

Në rast se $\alpha = 0^\circ$, atëherë nga shprehja (8) rrjedh:

$$1/E_x = 1/E_l \quad (35)$$

apo:

$$E_l = E_x = P/(A \cdot \epsilon_x) \quad (36)$$

$$\nu_{xy}/E_x = \nu_{xy}/E_l = \nu_{lt}/E_l \quad (37)$$

$$\nu_{lt} = \nu_{xy} = -\epsilon_y/\epsilon_x \quad (38)$$

$$\sigma_{y,ult}^{(+)} = P_{ult}/A \quad (39)$$

$$E_t = E_x = P/(A \cdot \epsilon_x) \quad (40)$$

Koeficienti G_{lt} mund të përcaktohet me provën e treguar në figurën 3.7c. Në këtë rast $\alpha = 45^\circ$.

$$\frac{1}{G_{lt}} = \frac{4}{E_x} - \frac{1}{E_l} - \frac{1}{E_t} + \frac{2v_{lt}}{E_l} \quad (41)$$

Sforcimet tangenciale kufitare $\tau_{xy,ult}$ përcaktohen me ndihmën e një prove në përdredhje të një tubi me mure të hollë, muret e të cilit janë realizuar me materialin kompozit që po studiohet. Shiko figurën 3.8.

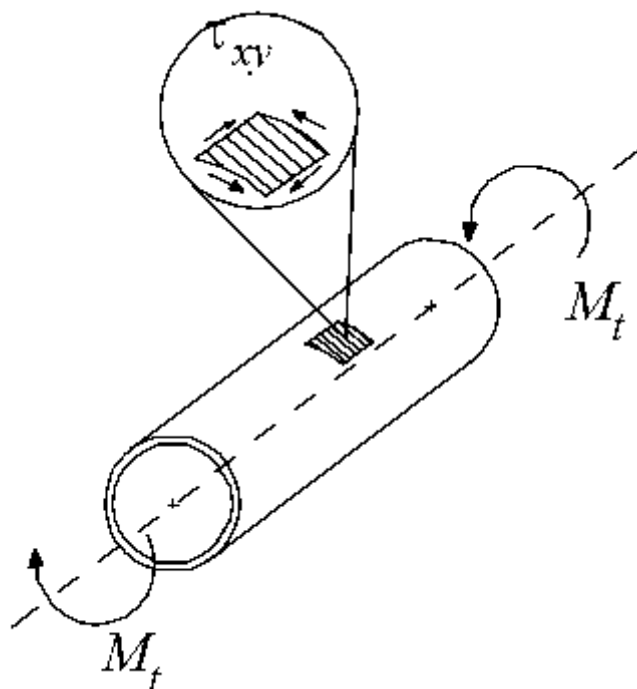


Figura 3.8 Përcaktimi i sforcimeve tangenciale kufitare

$$\tau_{xy,ult} = M_{t,ult} / (2\pi \cdot r^2 \cdot t) \quad (42)$$

$M_{t,ult}$ – vlera e momentit përdredhës që çon në shkatërrimin e tubit

r – rrezja e seksionit

t – trashësia e mureve të seksionit

Deformimet maksimale të rekomanduara për thurjet prej fibrash karboni tregohen në tabelën 3.2.

DEFORMIMI MAKS. I PROJEKTIMIT PËR THURJET PREJ FIBRASH KARBONI

Përforcim në prerje	Zgjatimi maks. i projekt. = 0.2% – 0.3%
---------------------	---

Përforcim në shtypje	Zgjatimi maks. i projekt. = 0.4% – 0.6%
Përforcim në përkulje	Zgjatimi maks. i projekt. = 0.6% – 0.8%

Tabela 3.2 Deformimet maksimale të rekomanduara në thurjet prej CFRP

Për llogaritjen e modulit të elasticitetit dhe të rezistencës të FRP sipas një drejtimi të caktuar të një sistemi të ngopur në vend (në kantier) është bërë zakon që të merret në konsideratë sipërfaqja e seksionit tërthor të fibrave të thata. Kjo gjë justifikohet me vështirësinë e përcaktimit të saktë të sasisë në vëllim të matricës dhe fibrave.

Më poshtë do të trajtojmë një shembull numerik të thjeshtë, për të treguar varësinë e vetive fiziko – mekanike të FRP nga vetitë e elementëve përbërës të tyre. Supozojmë se kemi një shirit FRP njëdrejtimësh me gjerësi 100mm (sipërfaqja e fibrave $A_f = 70\text{mm}^2$). Ky shirit është ngopur me një sasi rezine. Vetitë (moduli i elasticitetit dhe rezistenca në tërheqje) e elementëve përbërës tregohen në tabelën 3.3.

Fibra	Matrica
$E_f = 220\text{GPa}$	$E_m = 3\text{GPa}$
$f_f = 4000\text{MPa}$	$f_m = 80\text{MPa}$

Tabela 3.3 Vetitë e elementëve përbërës të FRP

Tabela 3.4 tregon ndikimin e sasisë se rezinës në vlerat e vetive mekanike të FRP.

A_f (mm^2)	A_m (mm^2)	A_{FRP} (mm^2)	V_f (%)	V_m (%)	E_{FRP} (GPa)	f_{FRP} (MPa)	ϵ_{FRP} (%)	$A_{FRP} \cdot f_{FRP}$ (kN)	$E_{FRP} \cdot A_{FRP}$ (kN)
70	0	70	100	0	220.0	4000	1.81	280.0	15400
70	30	100	70	30	154.9	2824	1.82	282.4	15490
70	70	140	50	50	111.5	2040	1.83	285.6	15610

Tabela 3.4 Ndikimi i sasisë se rezinës në vlerat e vetive mekanike të FRP

Në tabelën 3.4

$$f_{FRP} = f_f \cdot V_f + f_m \cdot V_m \quad (43)$$

Figura 3.9 shpreh grafikisht tabelën 3.4.

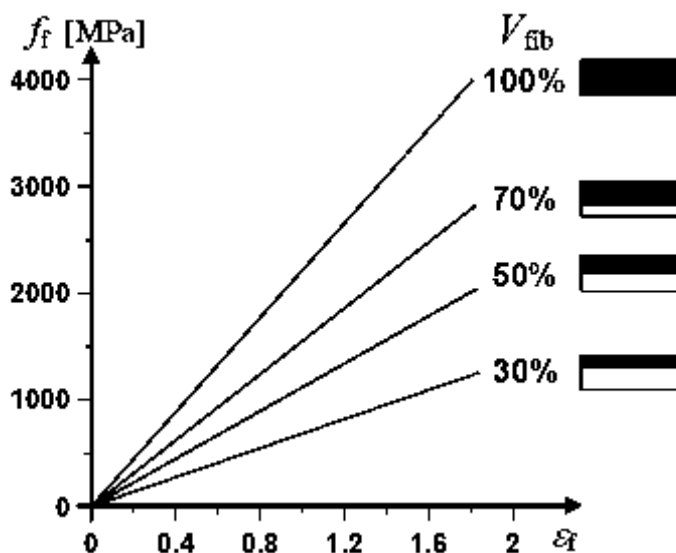


Figura 3.9 Paraqitja grafike e ndikimit të sasisë së rezinës në vlerat e vetive mekanike të FRP.

Sikurse shikohet nga tabela 3.4 dhe nga figura 3.9 del që vlerat e E_f dhe f_f ndikohen shumë nga prania në vëllim e fibrave. Për sa i takon vlerave të forcës kufitare të fundme të shkatërrimit ($A_{FRP} \cdot f_{FRP}$) dhe ngurtësisë në tërheqje ($E_{FRP} \cdot A_{FRP}$) vihet re se ato nuk ndryshojnë shumë.

3.7.2 Sistemet e paraformuar

Janë FRP të formave të ndryshme të përgatitur në fabrikë, të cilët vendosen (ngjiten) në elementin që do të përforcohet. Vetitë mekanike të materialeve kompozitë të paraformuar (moduli i elasticitetit dhe rezistenca në tërheqje) mund të përcaktohen nga shprehjet e mëposhtme:

$$f_{FRP} = F_{FRP} / A_{FRP} \quad (44)$$

$$E_{FRP} = F_{FRP} / (A_{FRP} \cdot \epsilon_{FRP}) \quad (45)$$

F_{FRP} – forca kufitare e fundme e shkatërrimit

ϵ_{FRP} – deformimi kufitar i fundëm përkatës

Të dyja vlerat janë përcaktuar eksperimentalisht.

A_{FRP} – sipërfaqja e seksionit tërthor të FRP

Këto lloj materialesh kompozitë përgjithësisht karakterizohen nga një vendosje njëdrejtimëshe e fibrave, e cila lejon të përdoret (me një përafrim të pranueshëm) rregulli i përzierjes për të gjetur vlerat e karakteristikave mekanike të ngurtësisë së materialit kompozit. Një vlerësim më i detajuar dhe më i saktë i parametrave fiziko-mekanikë kërkon kryerjen e provave të shumta laboratorike. Raporti në vëllim i fibrave në brendësi të FRP është 50% deri 70%.

3.7.3 Sistemet e ngopur në vend (në kantier)

Përbëhen nga fletë me fibra që punojnë sipas një drejtimi, apo sipas disa drejtimeve, të cilat ngopen me rezinë. Kjo e fundit luan edhe rolin e ngjitesit të FRP me elementin (p.sh elementin betonarme, profilin e çelikut, etj.)

Është e domosdoshme tu referohemi karakteristikave teknike të përbërësve të thatë (të pangopur) për të përcaktuar sipërfaqen rezistente të fibrave. Meqënëse është e vështirë të përcaktohet sasia e rezinës në FRP e ngopura në kantier, merret në konsideratë vetëm ndikimi i fibrave dhe jo i rezinës. Sipërfaqja rezistente e fibrave (shprehet zakonisht në mm^2), e cila zakonisht lidhet me drejtimet kryesore të fibrave, shprehet për një njësi gjatësie të tyre. Llogaritet me shprehjen:

$$A_{rf} = (T_x \cdot N_f \cdot b_f) / (10^4 \cdot \rho_f) \quad (46)$$

A_{rf} – sipërfaqja rezistente e fibrave në drejtimin që na intereson, e shprehur në (mm^2)

T_x – pesha e fibrës e shprehur në Tex (g/km)

N_f – numri i fijeve përbërëse të fibrës, i llogaritur për një njësi gjerësie të drejtimit të shqyrtuar, i shprehur në (nr/cm)

ρ – dendësia e fibrave, e shprehur në (g/cm^3)

b_f – gjerësia e shiritit të FRP, e shprehur në (mm)

Sipërfaqja rezistente e fibrave e llogaritur me shprehjen (46) i takon vetëm fibrave të vendosura në një drejtim. Mund të përdoren edhe fibra dydrejtimëshe. Në këtë rast për secilin nga drejtimet duhet të llogaritet sipërfaqja rezistente me anë të shprehjes (46). Në rast se në të dy drejtimet e vendosjes së fibrave kemi të njëjtin numër të tyre (FRP të

ekuilibruara), atëherë për llogaritjen e sipërfaqes rezistente të fibrave përdoret shprehja:

$$A_{rf} = (p_t \cdot b_f) / (2 \cdot \rho_f \cdot 10^3) \quad (47)$$

p_t – pesha e FRP për një njësi sipërfaqeje (g/m^2)

Për FRP njëdrejtimëshe shprehja (47) shndërrohet si më poshtë:

$$A_{rf} = (p_t \cdot b_f) / (\rho_f \cdot 10^3) \quad (48)$$

Nganjëherë, për qëllime praktike, në FRP njëdrejtimëshe ose të ekuilibruara sipërfaqja rezistente ekuivalentohet me atë të një petëze vetëm prej fibrash. Në këtë rast trashësia e petezës është e barabartë me:

$$t_f = A_f / b_f \quad (49)$$

Për konkretizim do të tregojmë mënyrën e llogaritjes së sipërfaqes rezistente të FRP me fibra karboni, të cilat kanë gjerësi $b_f = 10\text{cm}$. Një herë do të marrim një FRP jo të ekuilibruar dydrejtimëshe (rasti A), herën e dytë një FRP të ekuilibruar dydrejtimëshe (rasti B), herën e tretë një FRP njëdrejtimëshe (rasti C). Karakteristikat e këtyre FRP janë përmbledhur në tabelën 3.5.

Vetitë		Rasti A	Rasti B	Rasti C
Pesha e CFRP për njësi sipërfaqe (g/m^2)		187	240	304
Dendësia e CFRP (g/cm^3)		1.76	1.76	1.8
Nr. i fijeve/cm	Drejtimi tërthor	4	6	--
	Drejtimi gjatës.	8	6	3.8
Pesha e CFRP (Tex)	Drejtimi tërthor	67	200	--
	Drejtimi gjatës.	200	200	800

Tabela 3.5 Karakteristikat e disa lloje CFRP

Në rastin A duke përdorur shprehjen (46) gjejmë:

- për drejtimin tërthor: $A_{rf} = (67 \cdot 4 \cdot 100) / (10^4 \cdot 1.76) = 1.52 \text{ mm}^2$
- për drejtimin gjatësor: $A_{rf} = (200 \cdot 8 \cdot 100) / (10^4 \cdot 1.76) = 9.09 \text{ mm}^2$

Në rastin B duke përdorur shprehjen (46) gjejmë:

- për drejtimin tërthor dhe gjatësor: $A_{rf} = (200 \cdot 6 \cdot 100) / (10^4 \cdot 1.76) = 6.82 \text{ mm}^2$
- $t_f = 6.82 / 100 = 0.068 \text{ mm}$

Siç dihet për FRP e ekuilibruara mund të përdoret edhe shprehja (47): $A_{rf} = (240 \cdot 100) / (2 \cdot 1.76 \cdot 10^3) = 6.82 \text{ mm}^2$

Në rastin C duke përdorur shprehjen (48): $A_{rf} = (304 \cdot 100) / (1.80 \cdot 10^3) = 16.89 \text{ mm}^2$ dhe $t_f = 16.89 / 100 = 0.17 \text{ mm}$.

$$f_{FRP} = F_{FRP} / A_{FRP} \quad (50)$$

$$E_{FRP} = F_{FRP} / (A_{FRP} \cdot \epsilon_{FRP}) \quad (51)$$

Duke patur parasysh se çfarë është thënë më lart për këto lloj FRP, mund të themi se në shprehjet (50) dhe (51) kemi:

$$f_{FRP} = f_{fibrave} \quad (52)$$

$$A_{FRP} = A_{fibrave} \quad (53)$$

3.7.4 Sistemet e parangopur

Përbëhen nga fibra njëdrejtimëshe ose shumëdrejtimëshe apo nga thurje, të cilat parangopen me rezinë. Mund të ngjiten në element me ose pa rezinë shtesë. Sistemet “prepreg” janë të ngopur drejtpërdrejt në fabrike dhe pas kësaj mund të trajtohen ose jo me rezinë shtesë. Pasi përgatiten mbështillen në formë ruloni. Këto lloj FRP janë në formën e një flete të hollë me trashësi 0.15mm (afërsisht). Janë mjaft të përkulshme. Duhet të ruhen në mjedise me temperaturë dhe lagështi të kontrolluar brenda disa normave të caktuara. Çmbështjellja e rulonave duhet të bëhet vetëm në momentin kur fletët do të ngjiten në element. Për të lehtësuar çmbështjelljen duhet fillimisht që rulonët të ngrohen.

3.8 METODA GJYSEMPROBABILITARE E GJENDJEVE KUFITARE

Shumë normativa projektimi, duke përfshirë edhe Eurokodet, bazohen në metodën e gjendjeve kufitare për llogaritjen e strukturave, në përgjithësi, dhe të FRP, në veçanti.

Në kuadrin e projektimit strukturor, objektivi kryesor është të arrihet një nivel sigurie i përshtatshëm. Problemi trajtohet duke u nisur nga vlerësimi i veprimeve (aksioneve), të cilët ndikojnë në strukturë, gjatë jetës së saj të dobishme. Më tej, duke u bazuar në këto veprime, llogariten sforcimet e brendshme që ato prodhojnë në strukturë. Nga ana tjetër, përcaktohen karakteristikat gjeometrike dhe mekanike të materialeve, me qëllim që të arrihet një nivel i caktuar performance nga struktura. Kjo e fundit, duhet të jetë e aftë të plotësojë kërkesat për të cilat u projektua dhe u ndërtua.

Llojet e veprimeve janë shumë të larmishme. Si p.sh. era, veprimet dinamike, dëbora, tërmeti, pesha vehtiake, peshat e pajisjeve, peshat e makinerive, çedimet e themeleve, shpërthimet, zjarri, vërshimet e lumenjve, rrëshqitjet e trojeve, etj., etj. Veprimet (aksionet) dhe nga ana tjetër performanca e strukturës janë madhësi shumë të ndryshueshme. Për këtë arsye, vlerësimi i sigorisë strukturore bëhet duke përcaktuar probabilitetin e shkatërrimit të strukturës. Ose probabilitetin që veprimet të kapërcejnë aftësinë mbajtëse të strukturës. Sasia shumë e madhe e faktorëve dhe pamundësia për t'i përcaktuar ata saktësisht, nga pikëpamja statistikore, pengon në gjetjen e probabilitetit me formula pastërtisht matematikore. Kjo gjë çoi në krijimin e metodës gjysëm probabilitare të gjendjeve kufitare.

Veprimet prej çedimit të themeleve apo mbështetjeve të ndryshme mund të zvogëlohen, kur një strukturë përforcohet. Përforcimi me FRP nuk ndryshon peshën e strukturës, pasi FRP janë shumë të lehta. Efekti i veprimeve në një element, në sistemet statikisht të pacaktuara, mund të ndryshojë nëse ndryshon ngurtësia e të gjithë strukturës apo vetëm ngurtësia e elementit.

Metoda e gjendjeve kufitare quhet ndryshe metoda gjysëm probabilitare e koeficientëve të pjesshëm të sigurisë. Sikurse dihet gjendjet kufitare janë dy:

- Gjendje kufitare e fundme (Gj.K.F)
- Gjendje kufitare e shërbimit (Gj.K.Sh)

Në figurën 3.10 tregohen në një grafik të vetëm aftësia mbajtëse e një elementi dhe veprimet (aksionet) që ndikojnë në një strukturë. Shkatërrimi ndodh kur efekti i veprimeve S (nga frëngjishtja "Sollicitation") është më i madh se aftësia mbajtëse R ("Résistance"). Po

të shohim figurën, zona e treguar si zonë kritike ka si karakteristikë $S > R$.

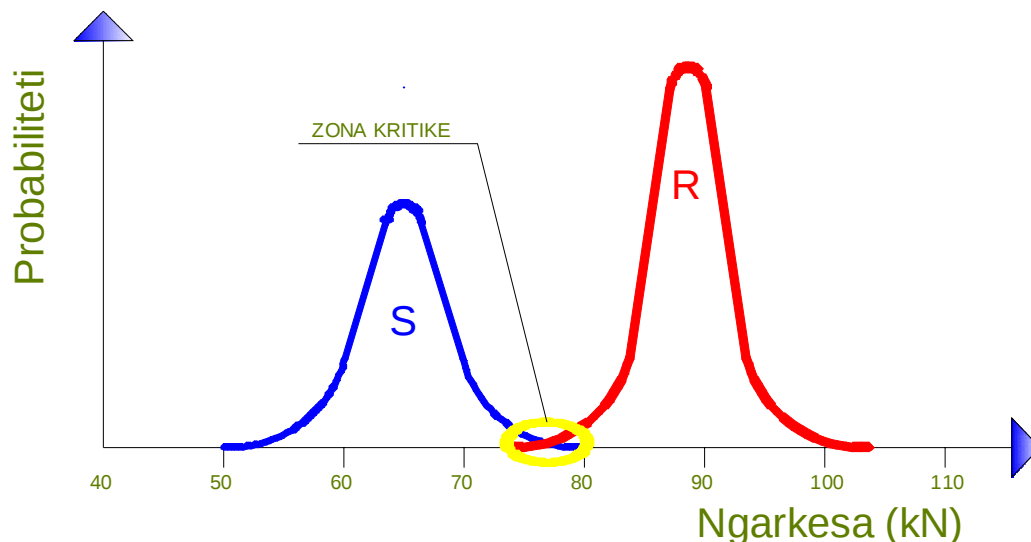


Figura 3.10 Varësia probalitare e rezistencës (R) dhe e veprimit (S)

Kjo metodë parashikon vlerësimin e vlerave karakteristike të vetive fiziko – mekanike të materialeve dhe të veprimeve, të përcaktuara në funksion të probabilitetit të pranuar, që vlera e vërtetë e madhësisë në studim të jetë më e vogël ose më e madhe, se vlera karakteristike e tij. Në veçanti, për sa i takon rezistencës së materialeve, pranohet si vlerë karakteristike ajo që i përket një shmangieje prej 5% në shpërndarjen e tij statistikore. Për sa i takon veprimeve të përhershme pranohen si vlera karakteristike ato të lidhura me shmangiet 95% dhe 5% përkatësisht për veprimet në disfavor apo në favor të sigurisë. Për veprimet e përkohshme (të ndryshueshme) për një kohë të gjatë, të cilat veprojnë për periudha kohe të gjata, që mund të krahasohen me jetën e dobishme të strukturës, pranohen si vlera karakteristike, vlerat nominale të treguara në normativa. Për veprimet e përkohshme (të ndryshueshme) për një kohë të shkurtër, të cilat veprojnë për periudha kohe të shkurtra, që nuk mund të krahasohen me jetën e dobishme të strukturës (tërmeti, era, ngarkesat e lëvizshme), pranohen si vlera karakteristike ato që i takojnë një periudhe të caktuar rikthimi. Nga vlerat karakteristike kalohet në vlerat llogaritëse (të projektimit) me ndihmën e koeficientëve të pjesshëm përkatës të sigurisë. Këta faktorë mbajnë parasysh ndryshueshmërinë e madhe të faktorëve që ndikojnë, ndryshimet që lidhen me procesin e

zbatimit të veprës, përafrimet e modeleve llogaritës, probabilitetin e veprimit të njëkohshëm të veprimeve të ndryshueshme, etj.

Në aftësinë mbajtëse të një strukture betonarme ndikojnë faktorë të ndryshëm. Si p.sh. klasa e betonit, rezistenca e armaturës, sasia e armimit, mënyra e ankorimit të armaturës së çelikut në beton, përmasat e elementëve betonarme, etj. Nëse një strukturë betonarme ekzistuese përforcohet me FRP apo CFRP mënyra e shkatërrimit të saj mund të ndryshojë në krahasim me strukturën e papërforcuar. P.sh nëse rreziku i shkatërrimit para përforcimit vnte nga momenti përkulës, pas përforcimit rreziku mund të vijë nga forcat prerëse.

Rreziku i shkatërrimit shprehet nga probabiliteti që efekti i ngarkesave vepruese në strukturë (element) të kapërcejë aftësinë mbajtëse të strukturës (elementit). Niveli i efektit të ngarkesave mund të ndryshojë si pasojë e përforcimit, por shpërndarja e efektit të ngarkesave ka pak të ngjarë të ndryshojë. Kështu efekti i ngarkesave do të konsiderohet i përcaktuar (i dhënë) dhe vetëm shpërndarja e aftësisë mbajtëse mund të ndikojë në rrezikun e shkatërrimit.

Shqyrtojmë një tra betonarme që punon në përkulje. Supozojmë se ai është i nënarmuar, d.m.th. sasia e armaturës së tërhequr është më e vogël, se ajo që nevojitet. Rreziku vjen nga shkatërrimi i armaturës në zonën e tërhequr. Në këtë rast përforcimi lidhet me shtimin e FRP në zonën e tërhequr. Ky është rasti më tipik i përdorimit të FRP në elementët në përkulje.

3.9 DIAGRAMAT SFORCIM – DEFORMIM TË BETONIT, ARMATURËS DHE FRP

3.9.1 Betoni i parrethuar (i pashtrenguar)

EC 2 përcakton për betone me $f_{ck} \leq 500 \text{ daN/cm}^2$ një diagramë sforcim – deformim të tipit parabolë – katërkëndore. Për betone me $f_{ck} > 500 \text{ daN/cm}^2$ përcakton një diagramë sforcim – deformim të tipit eksponenciale – katërkëndore, të karakterizuar nga koeficienti n më i vogël se 2 dhe në varësi të f_{ck} . Diagrama tip përbëhet nga një pjesë e kurbëzuar e përcaktuar nga koeficienti n , nga origjina ($\epsilon_c = 0$), nga abshisa ϵ_{c2} . Pjesa tjetër e diagramës është një vijë e drejtë me ordinatë konstante deri në pikën me abshisë ϵ_{cu2} . Bën përjashtim C 90/105 diagrama e të cilit përbëhet nga vetëm një pjesë eksponenciale dhe ku mungon pjesa e drejtë. Në këtë rast $\epsilon_{c2} = \epsilon_{cu2} = 0.26\%$. Vlerat e n , ϵ_{c2} ,

ϵ_{cu2} jepen në një tabelë të EC 2 dhe varen nga f_{ck} . Shiko tabelën 3.6, e cila është marrë nga EC 2.

Pjesa vijëpërkulur e diagramës sforcim – deformim përcaktohet nga shprehja:

$$\sigma_c = f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}} \right)^n \right] \quad (54)$$

Pjesa vijëdrejtë e diagramës përcaktohet nga shprehja:

$$\sigma_c = f_{cd} \quad (55)$$

Në figurën 3.11 tregohen diagramat sforcim – deformim për katër lloje betonesh.

Megjithatë një diagramë më e thjeshtuar dhe që përdoret më shpesh jepet në figurën 3.12.

$$f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c \quad (56)$$

f_{ck} – rezistenca cilindrike karakteristike në shtypje e betonit

α – koeficient që merr parasysh efektin e ngarkesave me veprim të gjatë (zakonisht $\alpha = 0.85$)

γ_c – koeficienti i pjesshëm i sigurisë, i cili pranohet 1.5

prospetto 3.1 Caratteristiche di resistenza e di deformazione del calcestruzzo

	Classi di resistenza dei calcestruzzi														Relazione analitica/Spiegazione
	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
f_k (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	
$f_{ck,0.05}$ (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
f_{cm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{cm} = 0,30 \times f_{ck}^{(2/3)} \leq C50/60$ $f_{cm} = 2,12 \times \ln [1 + (f_{cm}/10)] > C50/60$
$f_{ck,0.05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ck,0.05} = 0,7 \times f_{cm}$ frattile 5%
$f_{ck,0.95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ck,0.95} = 1,3 \times f_{cm}$ frattile 95%
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22 [(f_{cm})/10]^{0,3}$ (f_{cm} in MPa)
ε_{c1} (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	vedere figura 3.2 $\varepsilon_{c1} (‰) = 0,7 f_{cm}^{0,81} < 2,8$
$\varepsilon_{c0.01}$ (‰)					3,5					3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	vedere figura 3.2 per $f_{ck} \geq 50$ MPa $\varepsilon_{c0.01} (‰) = 2,8 + 27 [(98 - f_{cm})/100]^4$
ε_{c2} (‰)					2,0					2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	vedere figura 3.3 per $f_{ck} \geq 50$ MPa $\varepsilon_{c2} (‰) = 2,0 + 0,085 (f_{ck} - 50)^{0,53}$
ε_{cu2} (‰)					3,5					3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	vedere figura 3.3 per $f_{ck} \geq 50$ MPa $\varepsilon_{cu2} (‰) = 2,6 + 35 [(90 - f_{ck})/100]^4$
n					2,0					1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	per $f_{ck} \geq 50$ MPa $n = 1,4 + 23,4 [(90 - f_{ck})/100]^4$
ε_{c3} (‰)					1,75					1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	vedere figura 3.4 per $f_{ck} \geq 50$ MPa $\varepsilon_{c3} (‰) = 1,75 + 0,55 [(f_{ck} - 50)/40]$
ε_{cu3} (‰)					3,5					3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	vedere figura 3.4 per $f_{ck} \geq 50$ MPa $\varepsilon_{cu3} (‰) = 2,6 + 35 [(90 - f_{ck})/100]^4$

Tabela 3.6

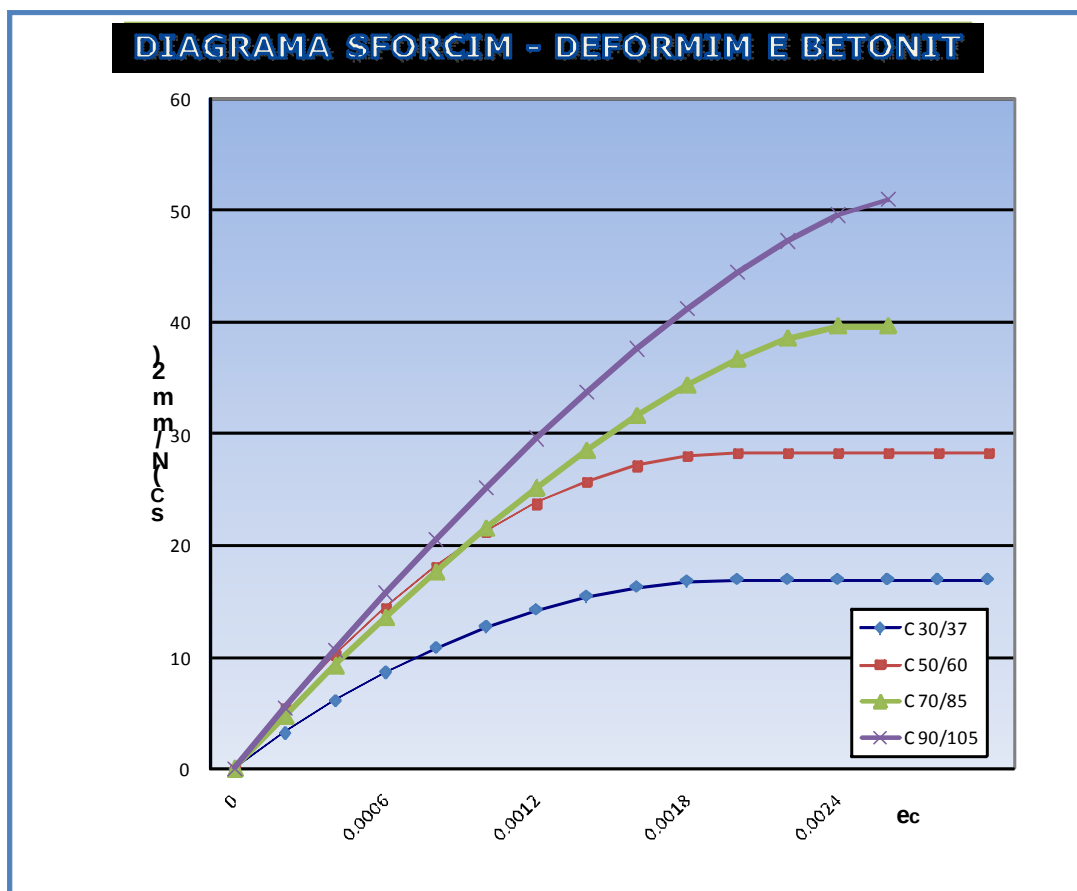


Figura 3.11 Diagrama sforcim – deformim per disa klasa betoni

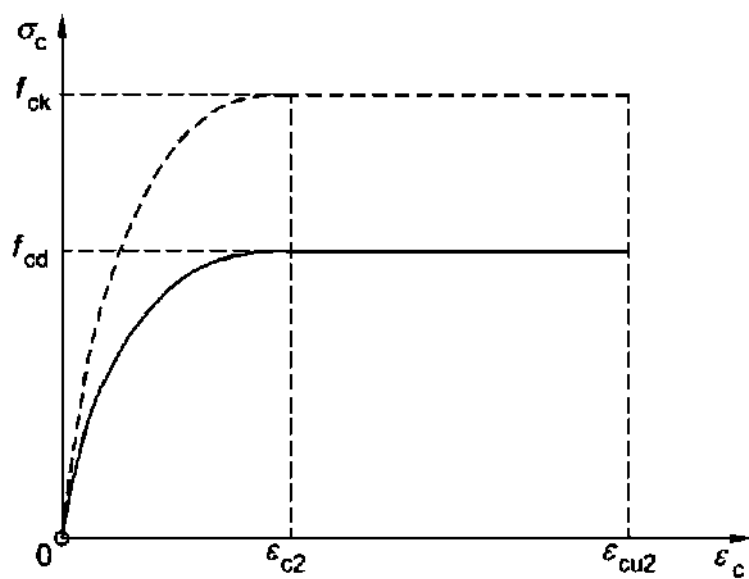


Figura 3.12 Diagrama sforcim – deformim e betonit e dhënë nga EC 2

Me një përafrim të pranueshëm në vend të diagramës të tipit parabolë – katërkëndësh mund të përdoret diagrama akoma dhe më e thjeshtëzuar e tipit trekëndësh – katërkëndësh. Shiko për këtë figurën 13.

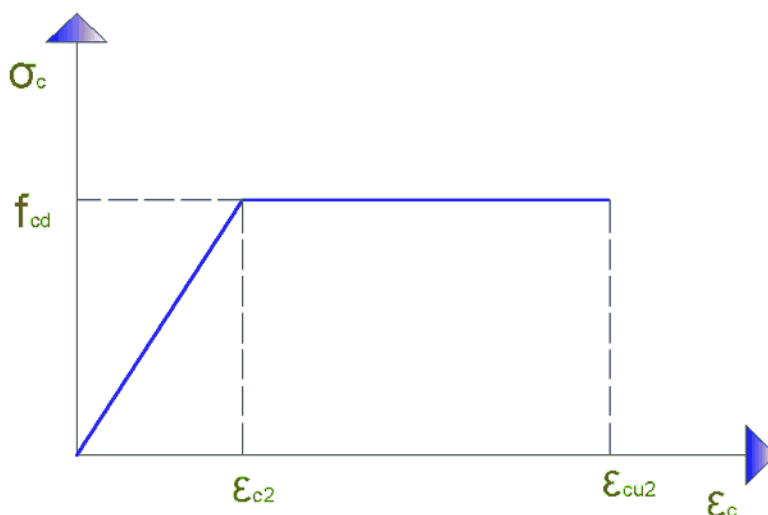


Figura 3.13 Diagrama e përafruar, sforcim – deformim, e betonit

3.9.2 Betoni i rrethuar (i shtrënguar)

Rrethimi i betonit me anë të mbështjelljes së tij me FRP përbën një sistem bashkëveprimi pasiv, i cili krijohet si rezultat i një shtypjeje aksiale. Mbështjellja me FRP kundërshton deformimin rrezor të elementit duke çuar në një përmirësim të vetive mekanike të betonit. Kjo gjë del në pah nga shumë prova eksperimentale. Efekti i rrethimit (shtrëngimit) është në përpjestim të drejtë me deformimin rrezor që mbështjellja me FRP pengon. Provat kanë treguar se për vlera të deformimeve deri në kufirin elastik kemi një sjellje pak a shumë të pandryshuar në krahasim me betonin e pashtënguar. Por, nëse deformimet kapërcejnë kufirin elastik, sjellja është e tipit linear rritës. A. Nanni dhe N. M. Bradford dhanë formulat e mëposhtme për përcaktimin e deformimeve dhe sforcimeve, të vlefshme për kolonat rrethore të veshura me FRP.

$$\varepsilon_{ccu2} = 0.002 + 0.001 \left(\frac{E_{frp} t_{frp}}{d_c f_{cd}} \right) \quad (57)$$

$$f_{ccd} = f_{cd} \left[1 + 4.1 \left(2 \frac{f_{frp} t_{frp}}{d_c f_{cd}} \right) \right] \quad (58)$$

f_{cd} – rezistenca në shtypje llogaritëse e betonit të parrethuar

f_{frp} – sforcimi maksimal i FRP që i përket shkatërrimit të betonit

t_{frp} – trashësia e FRP

E_{frp} – moduli i elasticitetit të FRP

d_c – diametri i kolonës

Normativat italiane (CNR) japin këto shprehje të përcaktimit të deformimeve dhe sforcimeve:

$$\varepsilon_{ccu} = 0.0035 + 0.015 \sqrt{\frac{f_{l,eff}}{f_{cd}}} \quad (59)$$

$$f_{ccd} = f_{cd} \left[1 + 2.6 \left(\frac{f_{l,eff}}{f_{cd}} \right)^{2/3} \right] \quad (60)$$

$f_{l,eff}$ – presioni efikas i rrethimit me FRP, i cili varet nga forma e seksionit tërthor të elementit si edhe nga tipologjia e FRP të përdorur.

3.9.3 Çeliku

Për çelikun pranohet një sjellje e tipit elasto – plastik. Shiko figurën

14.

$\varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s$ – deformimi kufitar elastik

$\varepsilon_{su} = 0.01$ – defomimi kufitar i fundëm

$E_s = 2100000 \text{ daN/cm}^2$ – moduli i elasticitetit të çelikut

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$ – rezistenca llogaritëse e çelikut

f_{yk} – sforcimi karakteristik i çelikut në kufirin elastik të tij

$\gamma_s = 1.15$ – koeficienti i pjesshëm i sigurisë

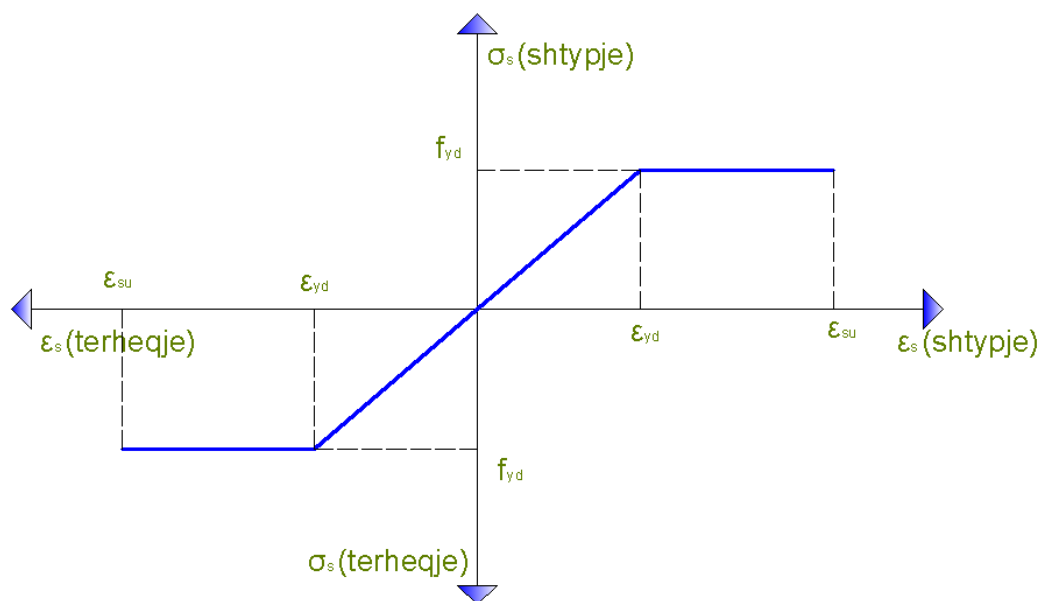


Figura 3.14 Diagrama sforcim – deformim e armaturës së çelikut

3.9.4 FRP

Pranohet një sjellje elastike e thyeshme.

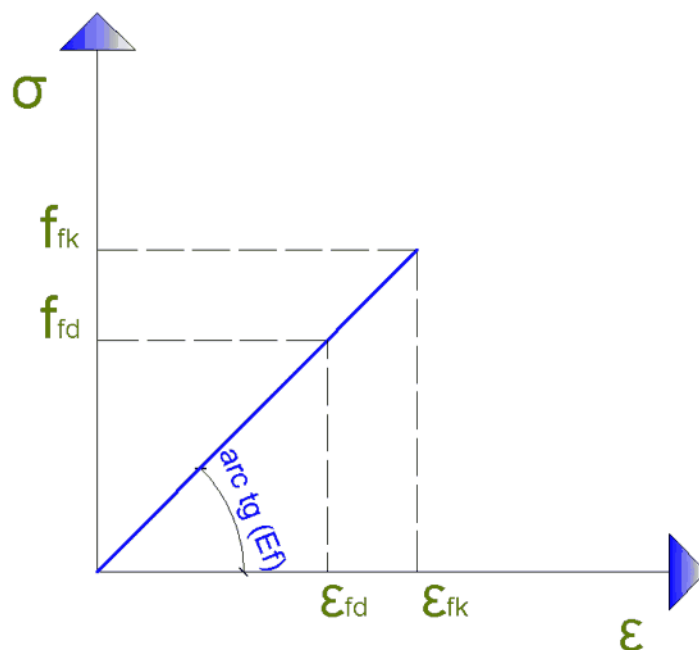


Figura 3.15 Diagrama sforcim – deformim e FRP

ϵ_{fk} – deformimi i fundëm karakteristik

ϵ_{fd} - deformimi i fundëm llogaritës

$$\epsilon_{fd} = \epsilon_{fk} / \gamma_f \quad (61)$$

γ_f – koeficienti i sigurisë, pranohet 2 deri 3

Koeficienti i sigurisë γ_f merr parasysh mundësinë e dëmtimit të përforcimit gjatë zbatimit, merr parasysh dukurinë e lodhjes, pasaktësitë e mundshme të përcaktimit të deformimeve të fibrave dhe të matricës, ndryshimin midis rezistencës së pranuar në llogaritje dhe asaj faktike të materialit të vendosur në strukturë, kushtet mjedisore dhe ndryshimin e temperaturës.

f_{fd} – rezistenca llogaritëse (e projektimit) e fibrave

f_{fk} – rezistenca karakteristika e fibrave

$$f_{fd} = f_{fk} / \gamma_f \quad (62)$$

E_f – moduli i elasticitetit

$$\epsilon_{fd} = f_{fd} / E_f \quad (63)$$

Vlera e deformimit të fundëm që pranohet merr parasysh përputhjen e deformimeve midis betonit dhe përforcimit. Kjo gjë sigurohet nga adezivët shumë të efektshëm. Moduli i elasticitetit dhe deformimet e fibrave varen nga lloji i materialit dhe nga mënyra e prodhimit. Fibrat kanë modul elasticiteti dhe deformime më të mëdha se matrica. Për këtë arsye këto vlera në rastin e FRP rezultojnë si mesatare e ponderuar e vlerave të këtyre madhësive për fibrat dhe për matricën.

3.10 LLOGARITJA E FRP PREJ MOMENTIT PERKULES, PER PERFORCIMIN E ELEMENTEVE BETONARME NË PERKULJE

3.10.1 Hipotezat bazë

Hipotezat bazë që merren parasysh gjatë llogaritjeve janë:

- Betoni punon vetëm në zonën e shtypur
- Seksionet plane para deformimit mbeten të tilla edhe pas deformimit (hipoteza e Bernulit)
- Ka vend ligji i Hukut
- FRP vendosen në zonat që punojnë në tërheqje
- Ngjitja e FRP në sipërfaqen e betonit është e përsosur

- Materiali ngjitës i posaçëm (rezina) nuk ndikon fare në punën e elementit
- Nga pikëpamja parimore një fibër karboni punon njëllë si një shufër çeliku
- Sipërfaqja e armaturës ekzistuese të çelikut mund të merret parasysh në llogaritje, por edhe mund të shpërfilllet
- Mund të shpërfilllet deformimi i elementit në prerje

3.10.2 Kushtet fillestare

Efekti i ngarkesës fillestare, para se të fillojë përforcimi duhet të merret parasysh në llogaritjen e elementit që do të përforcohet. Shënojmë me M_0 momentin që vepron në seksionin e marrë në shqyrtim përpara se të fillojë procesi i përforcimit. Duhet të përcaktojmë gjendjen e deformuar të seksionit. Zakonisht M_0 është më i madh se momenti që krijon plasaritje M_{cr} . Llogaritja kryhet duke marrë parasysh një seksion të plasaritur. Shiko figurën 3.16. Duke supozuar se momenti statik kundrejt boshtit asnjans është zero, mund të shkruajmë:

$$S = 0.5 \cdot b \cdot x^2 + n \cdot A'_s \cdot (x - d') - n \cdot A_s \cdot (d - x) = 0 \quad (64)$$

Nga kjo shprehje mund të gjejmë madhësinë e x -it. Në shprehjen (64) $n = E_s/E_c$.

n – koeficienti i ekuivalentimit të çelikut në sipërfaqe betoni

E_s – moduli i elasticitetit të çelikut

E_c – moduli i elasticitetit të betonit

Deformimi i fibrave më të shtypura është:

$$\varepsilon_c = (M_0 \cdot x) / (E_c \cdot I_c) \quad (65)$$

I_c – momenti i inercisë i seksionit reagues të ekuivalentuar, kundrejt boshtit asnjans

$$I_c = \frac{1}{3} \cdot b \cdot x^3 + n \cdot A'_s (x - d')^2 + n \cdot A_s \cdot (d - x)^2 \quad (66)$$

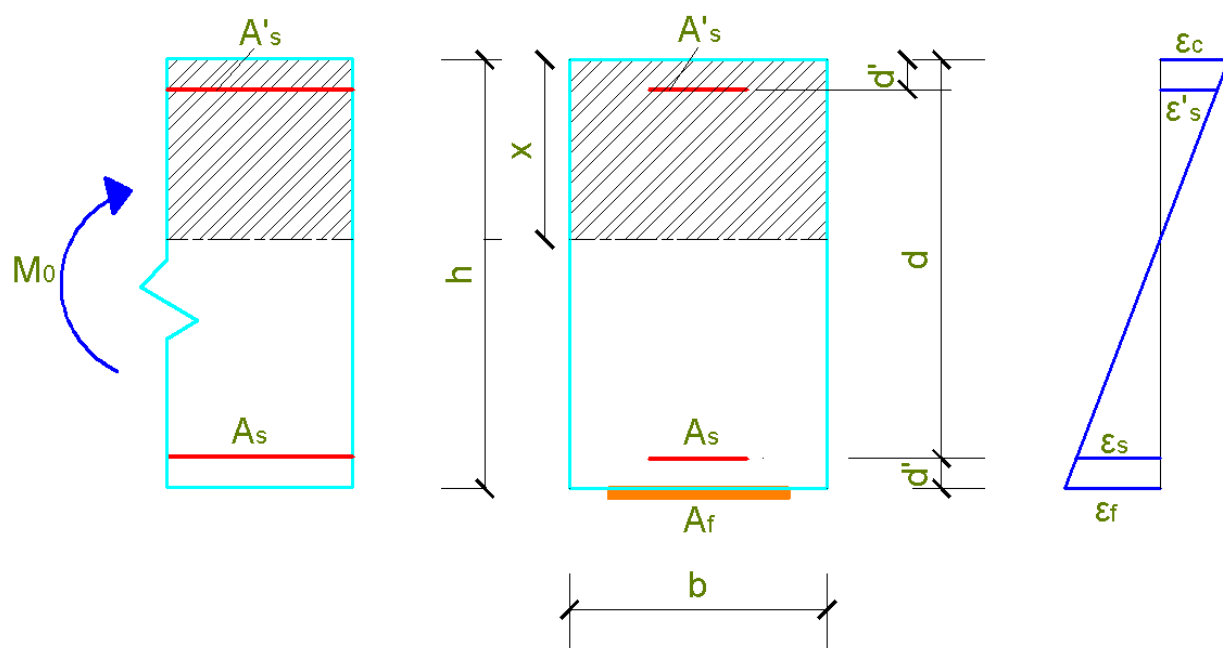


Figura 3.16 Gjendja e deformuar e seksionit

Me ngjashmëri trekëndëshash duke u nisur nga figura 3.16 mund të gjejmë deformimet e fibrave që i përkasin skajit më të tërhequr të elementit.

$$\varepsilon_f = \varepsilon_c \cdot (h-x)/x \quad (67)$$

Në shprehjen (67), vlera e x-it llogaritet me ndihmën e (64), ndërsa ε_c nga (65).

3.10.3 Mënyrat e shkatërrimit

Mënyrat e shkatërrimit të një trau betonarme, të përforcuar me FRP, në aftësi mbajtëse, kundrejt momentit përkulës, mund të ndahen në dy kategori:

- Në kategorinë e parë hyjnë ato mënyra shkatërrimi, që lidhen me shkatërrimin e njërit prej materialeve përbërës. Ose betoni në zonën e shtypur shkatërrohet (sforcimet në të kalojnë kufirin e rezistencës në shtypje), ose armatura në zonën e tërhequr këputet (sforcimet në të kalojnë rezistencën e armaturës në tërheqje), ose këputen fibrat (sforcimet në të kalojnë rezistencën përkatëse në tërheqje). Këto mënyra shkatërrimi quhen “klasike”.

- Në kategorinë e dytë hyjnë të ashtuquajturat mënyra shkatërrimi të parakohshme, të njohura në literaturë si “peeling – off” dhe “concrete ripping”. Në këto raste nuk kemi shkatërrim të materialeve, por kemi shpëputje të FRP nga elementi betonarme.

3.10.4 Mënyrat e shkatërrimit të parakohshme

Mënyrat e shkatërrimit si pasojë e shpëputjes (shqitjes) të FRP nga sipërfaqja e betonit, ose shpëputja e një cope betoni në kontakt me FRP, nga trupi i elementit, duhet të studiohen me shumë kujdes, pasi një lidhje e saktë midis dy materialeve është e domosdoshme, për të siguruar përçimin e veprimeve nga betoni në FRP dhe anasjelltas. Shpëputja mund të mos ndodhë në gjithë gjatësinë e FRP, por vetëm në një zonë të caktuar. Në këtë rast mund të themi se trau mbasë nuk shkatërrohet, por, me siguri, aftësia e tij mbajtëse zvogëlohet. Kur shpëputja ndodh gjatë gjithë sipërfaqes së kontaktit midis fibrave dhe betonit, atëherë mund të themi se përforsimi ka dështuar. FRP nuk përballon asnjë ngarkesë dhe elementi betonarme rezulton i papërforsuar dhe shkatërrohet. Kjo mënyrë shkatërrimi quhet “peeling – of”. Shkatërrimi vjen menjëherë, pa shenja të dukshme. Pra shkatërrimi është jo duktil, por i tipit të thyeshëm “fragile”. Shpëputja e FRP nga trupi i elementit mund të vijë si rezultat i përgatitjes jo të mirë të sipërfaqes së kontaktit midis tyre, nga aftësia e dobët ngjitëse e ngjitësit të përdorur, nga rezistenca e ulët e tij sidomos në temperatura të larta. Mund të vërejmë katër mënyra shkatërrimi të tipit “peeling – of”, shiko figurën 3.26:

- a) “peeling – of” në një zonë ankorimi (lidhje FRP – beton) të paplasaritur
- b) “peeling – of” të shkaktuar nga plasaritje prej momentit përkulës
- c) “peeling – of” të shkaktuar nga plasaritje prej forcës prerëse
- d) “peeling – of” të shkaktuar nga parregullsitë dhe defektet e sipërfaqes së kontaktit FRP – beton

Një tjetër mënyrë shkatërrimi është humbja e ankorimit (lidhjes) që çon në shpëputjen e betonit nga FRP dhe nga armatura gjatësore e çelikut. Quhet mënyra e shkatërrimit “concrete ripping”. Kjo gjë ndodh për shkak se përgjithësisht rezistencat në prerje dhe në tërheqje të ngjitësit (adezivit) janë më të larta se të betonit. Në këtë rast plasaritja e betonit nis nga FRP dhe përparon e pjerrësuar me një kënd 45° deri sa të arrijë armaturën gjatësore të tërhequr të çelikut.

Një tjetër mënyrë shkatërrimi lidhet me ndarjen e shtresave që përbëjnë FRP. Siç dihet materialet kompozitë (FRP) përbëhen nga fibrat

dhe rezina. Kështu mund të ndodhë që këto dy materiale të shkëputen nga njëri tjetri. Kjo ndodh për rastet e betoneve me rezistencë të lartë.

Si përfundim, mund të themi se, prania e këtyre tipeve të shkatërrimit çon në shkatërrimin e elementit në përkulje (traut) për ngarkesa shumë më të vogla se ato të parashikuara, në krahasim me mënyrat klasike.

“Peeling – of” dhe “concrete ripping” janë të dyja mënyra shkatërrimi të tipit të thyeshem “fragile”. Si të tilla janë shumë të padëshirueshme. Mënyrat e shkatërrimit klasike janë të shoqëruara me plasaritje të dukshme dhe të përhapura në të gjithë zonën qendrore të traut dhe sjellja është e tipit duktile. Del e nevojshme të parashikohet vlera e ngarkesave të jashtme që çojnë në mënyrat e shkatërrimit “peeling – of” dhe “concrete ripping”. Duhet gjithashtu të merren masat e duhura shtesë për të shmangur këtë mënyrë shkatërrimi.

3.10.5 Analiza sipas gjendjes kufitare të fundme për mënyrat e shkatërrimit klasike

Cilat janë mënyrat klasike të shkatërrimit?

- a) Shkatërrim i betonit në zonën e shtypur. Armatura e çelikut nuk e ka arritur kufirin e rrjedhshmërisë.
- b) Shkatërrim i armaturës së çelikut në zonën e tërhequr. Në këtë rast sasia e armaturës së çelikut që ndodhet në element nuk mjafton për të përballuar sforcimet tërheqëse prej momentit përkulës. Ky është rasti më tipik i përdorimit të FRP në përforcimin e elementëve në përkulje prej momentit përkulës.**
- c) Shkatërrimi i njëkohshëm i betonit të shtypur dhe i armaturës së tërhequr.

Për të shmangur shkatërrimin e zonës së shtypur të betonit, nuk duhet që sipërfaqja e seksionit tërthor të FRP të kalojë një vlerë të caktuar, e cila shënohet A_{fmax} .

EC 2 rekomandon, që lartësia maksimale e zonës së shtypur të betonit (x), nuk duhet të kalojë vlerën $0.45d$ (d – lartësia e dobishme, punuese e seksionit tërthor të elementit) për betone me $f_{ck} \leq 35\text{N/mm}^2 = 350\text{daN/cm}^2$. Për $f_{ck} > 35\text{N/mm}^2 = 350\text{daN/cm}^2$, $x = 0.35d$. Këto kufizime të lartësisë së zonës së shtypur të betonit bëhen me qëllim që seksioni të ketë një sjellje duktile, me armaturë që ka hyrë në zonën e rrjedhshmërisë. Kështu, duke respektuar këtë kufizim seksioni tërthor i elementit mund të rrotullohet në mënyrë të ndjeshme. Me rritjen e klasës së betonit vetitë e tij duktile vijnë duke u zbehur. Për këtë arsye

rekomandohet një lartësi maksimale më e vogël për betonet me $f_{ck} > 35\text{N/mm}^2$.

Në figurën 3.17 tregohet gjendja e brendshme e nderur e një elementi në përkulje me seksion tërthor drejtkëndësh. Është pranuar lartësia maksimale e zonës së shtypur të betonit $x = 0.45d$.

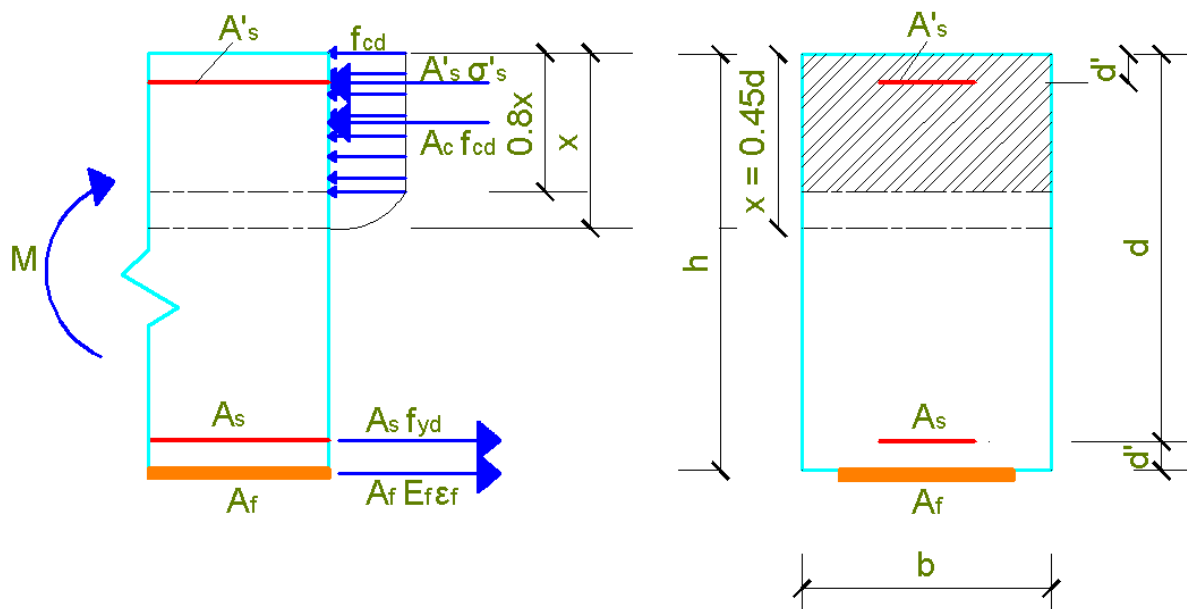


Figura 3.17 Gjendja e sforcuar e seksionit

A_s – sipërfaqja e armaturës së çelikut e vendosur në zonen e tërhequr

A'_s – sipërfaqja e armaturës së çelikut e vendosur në zonën e shtypur

A_f – sipërfaqja e seksionit tërthor të FRP

f_{cd} – rezistenca llogaritëse në shtypje e betonit

M – momenti përkules veprues prej ngarkesave të jashtme

$\sigma'_s = E'_s \cdot \epsilon'_s$ – sforcimi në armaturën A'_s

E'_s – moduli i elasticitetit të armaturës A'_s (zakonisht $E'_s = E_s$)

E_s – moduli i elasticitetit të armaturës A_s

ϵ'_s – deformimi relativ i armaturës A'_s

$A_c = 0.8 \cdot x \cdot b$ – sipërfaqja e zonës së shtypur të betonit

x – lartësia e zonës së shtypur të betonit

f_{yd} – rezistenca llogaritëse në tërheqje e armaturës

E_f – moduli i elasticitetit të FRP

ϵ_f – deformimi relativ i FRP

b – gjerësia e seksionit tërthor

h – lartësia e seksionit tërthor

d – lartësia e dobishme e seksionit tërthor

d' – shtresa mbrojtëse e betonit

Në figurën 3.18, tregohet gjendja e deformuar (shiko 3' me ngjyrë lejla) e seksionit, që i përket gjendjes së nderur të figurës 3.17.

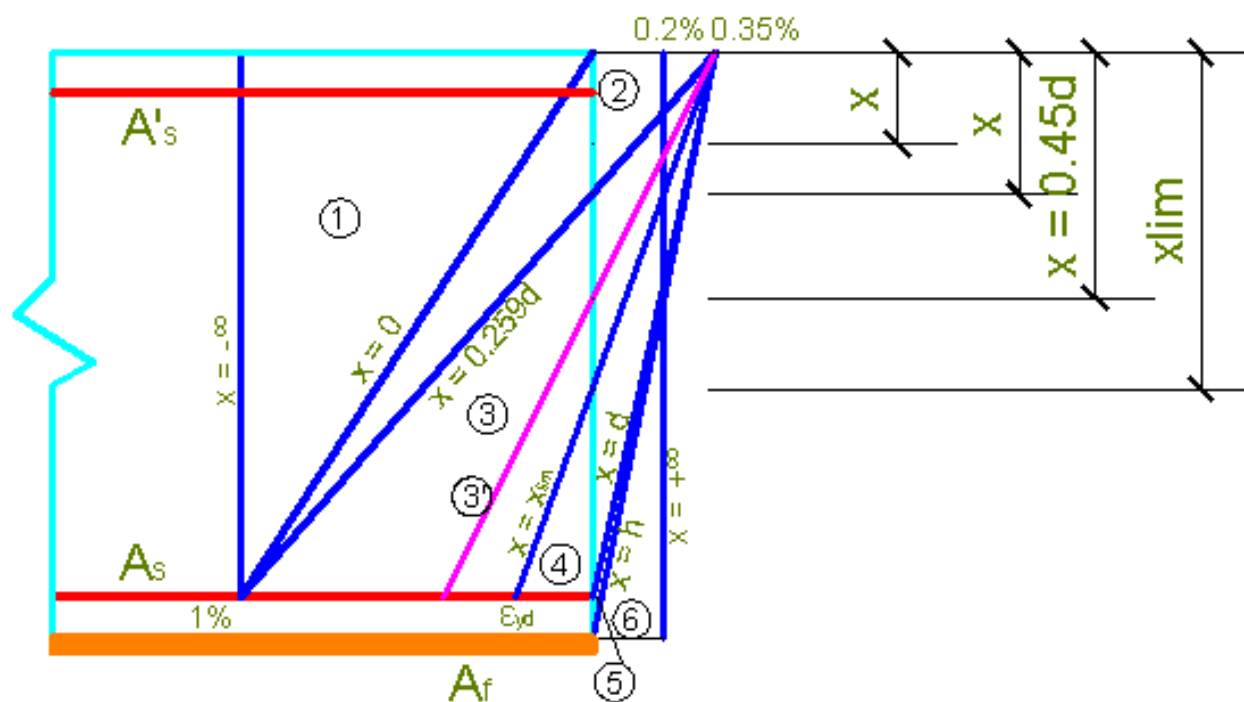


Figura 3.18 Gjendjet e deformuara të elementit në varesi të natyrës së gjendjeve të sforcuara përkatëse

Shkruajmë ekuacionin e ekuilibrit kufitar. Projektojmë sipas një boshti horizontal të gjitha forcat (shiko figurën 3.17):

$$-A'_s \cdot \sigma'_s - A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd} + A_f \cdot E_f \cdot \epsilon_f = 0 \quad (68)$$

Le të shqyrtojmë me rradhë elementët përbërës të shprehjes (68). Elementi që po shqyrtojmë është një tra real. Kështu që njihen A'_s , A_s , f_{cd} , $f_{yd} = f'_{yd}$, b , h , $E'_s = E_s$, d , d' . Gjithashtu njihet lloji i FRP që disponohet, për pasojë njihet E_f .

$$\sigma'_s = E'_s \cdot \epsilon'_s \quad (69)$$

Nga ngjashmëria e trekëndëshave në gjendjen e deformuar të seksionit kemi:

$$\frac{x}{0.35\%} = \frac{x - d'}{\epsilon'_s} \Rightarrow \epsilon'_s = \frac{x - d'}{x} 0.35\% \quad (70)$$

Në shprehjen (70) $x = 0.45d$. $\epsilon_c = 0.35\%$ është deformimi kufitar në shtypje i betonit. Duke gjetur me anë të (70) vlerën e ϵ'_s mund të përcaktojmë me anë të (69) σ'_s . Nëse vlera e $\epsilon'_s \geq \epsilon'_{yd}$ atëherë $\sigma'_s = f'_{yd} = f_{yd}$.

Nga ngjashmëria e trekëndëshave në gjendjen e deformuar të seksionit kemi:

$$\frac{x}{0.35\%} = \frac{h - x}{\epsilon_f} \Rightarrow \epsilon_f = \frac{h - x}{x} 0.35\% \quad (71)$$

Duke patur parasysh shprehjet (67) deri (71) mund të shkruajmë:

$$A_f = (A'_s \cdot \sigma'_s + A_c \cdot f_{cd} - A_s \cdot f_{yd}) / (E_f \cdot \epsilon_f) = A_{fmax} \quad (72)$$

Shprehja (72) na lejon të llogaritim sipërfaqen e seksionit tërthor të FRP për lartësi maksimale të zonës së shtypur të betonit (e pranuar në rastin tonë $0.45d$, sipas rekomandimeve të EC 2). Në qoftë se do të vendoset në element një sipërfaqe A_f më e madhe se ajo e përcaktuar me shprehjen (72) atëherë elementi rrezikon të shkatërrohet si rezultat i shkatërrimit të zonës së shtypur të betonit. Përveç kesaj, pjesa e FRP pertej vleres A_f , rezulton e vendosur kot, pasi nuk mund të shfrytëzohet.

Analizohet një tra me gjerësi $b = 30\text{cm}$ dhe lartësi $h = 50\text{cm}$. Pranojmë $d' = 3.5\text{cm}$, $d = 46.5\text{cm}$, $x = 0.45d = 0.45 \cdot 46.5 = 20.92\text{cm}$. Trau realizohet me beton C25/30 me $f_{cd} = 141.7\text{daN/cm}^2$ dhe çelik S 500c me $f_{yd} = 4348\text{daN/cm}^2$, $E_s = 2100000\text{daN/cm}^2$. $A'_s = 3\Phi 16 = 3 \cdot 2.01 = 6.03\text{cm}^2$. $A_s = 4\Phi 20 = 4 \cdot 3.14 = 12.56\text{cm}^2$. $E_f = 2350000\text{daN/cm}^2$.

$$\epsilon'_s = \frac{x - d'}{x} 0.35\% = \frac{20.92 - 3.5}{20.92} 0.35\% = 0.291\%$$

$$\epsilon'_{yd} = f'_{yd} / E_s = 4348 / 2100000 = 0.207\%$$

Megjenëse $\epsilon'_s = 0.291\% > \epsilon'_{yd} = 0.207\%$ atëherë $\sigma'_s = f'_{yd} = f_{yd} = 4348\text{daN/cm}^2$.

$$A_c = 0.8 \cdot x \cdot b = 0.8 \cdot 20.92 \cdot 30 = 502.08 \text{ cm}^2$$

$$\varepsilon_f = \frac{h - x}{x} 0.35\% = \frac{50 - 20.92}{20.92} 0.35\% = 0.486\%$$

$$A_{fmax} = (A'_s \cdot \sigma'_s + A_c \cdot f_{cd} - A_s \cdot f_{yd}) / (E_f \cdot \varepsilon_f) = (6.03 \cdot 4348 + 502.08 \cdot 141.7 - 12.56 \cdot 4348) / (2350000 \cdot 0.00486) = 3.74 \text{ cm}^2$$

Mënyra e shkatërrimit sipas të cilës këputet armatura e tërhequr e çelikut, është më e pranueshme, pasi është më duktile. Shkatërrimi (këputja) e FRP ndodh nëse sipërfaqja e seksionit tërthor të tyre është më e vogël se ajo që nevojitet. Sipas eurokodeve, deformimi relativ i fundëm, i shkatërrimit, për çelikun, pranohet 1%. Në fakt, kjo vlerë është shumë konvencionale, pasi në të vërtetë deformimet e çelikut janë shumë më të mëdha. Shumica e FRP e kanë këtë deformim më të vogël se 1%. Duke patur parasysh këtë mund të themi se, nëse shkatërrimi vjen nga zona e tërhequr e elementit, atëherë së pari do të shkatërrohet (këputet) FRP.

Momenti përkulës kufitar, mbajtës, i projektimit, i seksionit të përforcuar, gjendet duke u nisur nga parimet e betonarmesë. Së pari, lartësia e zonës së shtypur x përcaktohet mbi bazën e deformimeve të seksionit dhe të ekuilibrit të forcave. Më pas, momenti mbajtës i projektimit merret nga ekuacioni i ekuilibrit të momenteve. Shiko figurën 3.19.

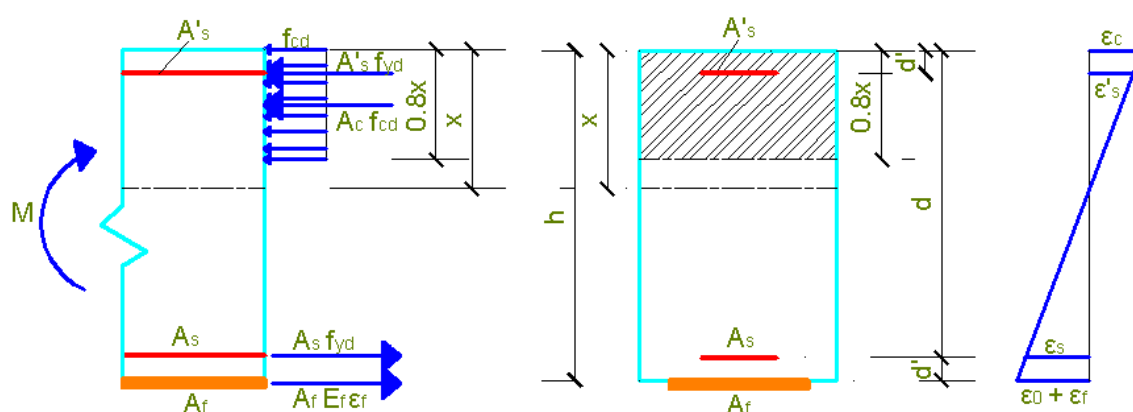


Figura 3.19 Gjendja e sforcuar dhe e deformuar

Ekuacioni i parë i ekuilibrit që shkruajmë është projekcioni i forcave sipas një boshti horizontal:

$$-0.8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} - A'_s \cdot f_{yd} + A_s \cdot f_{yd} + A_f \cdot E_f \cdot \epsilon_f = 0 \quad (73)$$

Ky barazim është i vërtetë nëse $\epsilon'_s \geq \epsilon'_{yd}$ dhe $\epsilon_s \geq \epsilon_{yd}$. Vetëm nëse plotësohen këto kushte mund të themi se $\sigma_s = \sigma'_s = f'_{yd} = f_{yd}$.

$$\epsilon'_s = \epsilon_c \frac{x - d'}{x} \geq \frac{f'_{yd}}{E_s} = \epsilon'_{yd} = \epsilon_{yd} \quad (74)$$

$$\epsilon_f = \epsilon_c \frac{h - x}{x} - \epsilon_0 \quad (75)$$

Analiza duhet të marrë parasysh faktin, se në momentin e realizimit të përforcimit, elementi betonarme ka një deformim fillestar ϵ_0 , në fibrat skajore që tërhiqen. Kur kryhet një përforcim i një elementi në përkulje, seksioni që studiohet e ka një deformim fillestar ϵ_0 . Deformimi i FRP lidhet vetëm me ngarkesat shtesë. Kjo është arsyeja pse në shprehjen (75) deformimit të plotë i hiqet deformimi fillestar ϵ_0 . Për të sqaruar më mirë këtë, shiko figurën 3.20.

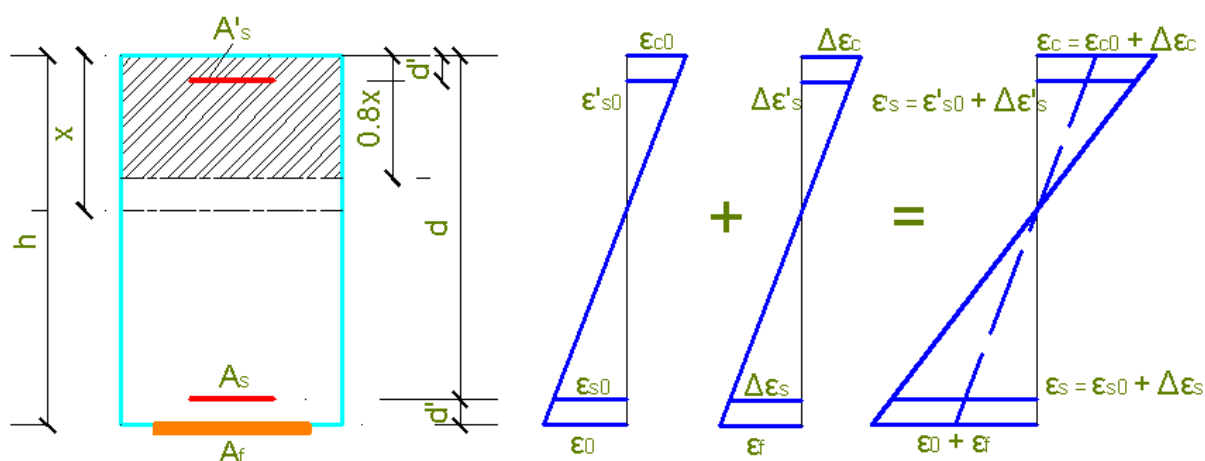


Figura 3.20 Deformimet e seksionit tërthor të elementit

Momenti përkulës kufitar, mbajtës, i projektimit, gjendet duke shkruar ekuacionin e dytë të ekuilibrit, që është një shumë momentesh kundrejt një boshti çfarëdo. Po e shkruajme këtë ekuacion si shumë momentesh kundrejt boshtit që kalon nga qendra e rëndesës së zonës së shtypur të betonit:

$$M_{Rd} = A_s f_{yd} (d - 0.4x) + A_f E_f \varepsilon_f (h - 0.4x) + A'_s E_s \varepsilon'_s (0.4x - d') \quad (76)$$

Dhe duke supozuar se $\varepsilon'_s \geq \varepsilon'_{yd}$:

$$M_{Rd} = A_s f_{yd} (d - 0.4x) + A_f E_f \varepsilon_f (h - 0.4x) + A'_s f_{yd} (0.4x - d') \quad (77)$$

Duhet që:

$$\varepsilon_f = \varepsilon_c \frac{h - x}{x} - \varepsilon_0 \leq \varepsilon_{f, \text{lim}} \quad (78)$$

$\varepsilon_{f, \text{lim}}$ nuk duhet të kalojë 50% të deformimit kufitar të FRP (ε_{fd}) dhe nuk duhet të kalojë pesëfishin e deformimit të rrjedhshmërisë së armaturës gjatësore të çelikut (ε_{yd}).

3.10.6 Shembull numerik

Analizohet një element betonarme (tra) që punon në përkulje. Momenti përkulës veprues për shkak të ngarkesave të jashtme $M_{Ed} = 15000 \text{ daNm}$; seksioni tërthor katërkëndësh kënddrejtë me gjerësi $b = 30 \text{ cm}$ dhe lartësi $h = 50 \text{ cm}$, $d' = 3.5 \text{ cm}$, $d = h - d' = 50 - 3.5 = 46.5 \text{ cm}$; betoni C25/30, $f_{cd} = 141.7 \text{ daN/cm}^2$; çeliku S-500, $f_{yd} = 4348 \text{ daN/cm}^2$, $E_s = 2100000 \text{ daN/cm}^2$, $\varepsilon_{yd} = f_{yd}/E_s = 4348/2100000 = 0.207\%$; moduli i elasticitetit të FRP $E_f = 2350000 \text{ daN/cm}^2$, deformimi i fundëm llogaritet $\varepsilon_{fd} = 1.8\%$;

Kërkohet të llogaritet sipërfaqja e nevojshme e FRP, që duhen për përforcimin e elementit, në qoftë se momenti përkulës veprues për shkak të ngarkesave të jashtme shkon në 20000 daNm .

Fillimisht llogaritim armaturën e nevojshme që duhet për të përballuar momentin përkulës veprues $M_{Ed} = 15000 \text{ daNm}$.

$$\mu = M_{Ed} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) = 1500000 / (30 \cdot 46.5^2 \cdot 141.7) = 0.163$$

$$\mu = 0.8 \cdot \frac{x}{d} \left(1 - 0.4 \frac{x}{d}\right) \quad (79)$$

Nëse në shprehjen (79) zëvendësojmë madhësinë $x/d = 0.45$ atëhere marrim vlerën e μ_{max} :

$$\mu_{\max} = 0.8 \cdot 0.45 \cdot (1 - 0.4 \cdot 0.45) = 0.295 \quad (80)$$

Megjenëse $\mu = 0.163 < \mu_{\max} = 0.295$ atëherë mund të themi se elementi nuk ka nevojë për armaturë të dyfishtë, apo nuk ka nevojë për armaturë të vendosur në zonën e shtypur të tij, pra $A'_s = 0$. Megjithatë janë vendosur $2\Phi 16 = 2 \cdot 2.01 = 4.02 \text{ cm}^2$, si armaturë konstruktive, minimale.

$$\xi = 1.25 - 1.25 \cdot (1 - 2\mu)^{1/2} = 1.25 - 1.25 \cdot (1 - 2 \cdot 0.163)^{1/2} = 0.223 \quad (81)$$

$$A_s = 0.8 \cdot \xi \cdot d \cdot b \cdot f_{cd} / f_{yd} = 0.8 \cdot 0.223 \cdot 46.5 \cdot 30 \cdot 141.7 / 4348 = 8.11 \text{ cm}^2$$

$$\text{Janë vendosur } 4\Phi 16 = 4 \cdot 2.01 = 8.04 \text{ cm}^2 \text{ } (-0.86\%).$$

$$\xi = x/d = 0.223$$

$$x = \xi \cdot d = 0.223 \cdot 46.5 = 10.36 \text{ cm}$$

Sipas EC 2 kemi të ashtuquajturin seksion të balancuar (të ekuilibruar), nëse pranojmë që deformimi i betonit të zonës së shtypur është 0.35% dhe deformimi i armaturës së zonës së tërhequr është 1%. Në mënyrë grafike kjo gjendje paraqitet në figuren 21 (vija me ngjyrë rozë). Lartësia e zonës së shtypur në këtë rast është 0.259d. Në rastin tonë:

$$x = 0.259d = 0.259 \cdot 46.5 = 12.04 \text{ cm}$$

Megjenëse në rastin tonë $x = 10.36 \text{ cm} < 0.259d = 12.04 \text{ cm}$, atëherë mund të themi se ndodhemi në gjendjen e dytë (shiko figurën 3.21). Në mënyrë më të detajuar dhe të përshtatur në rastin tonë konkret kjo gjendje e deformuar, si edhe ajo e sforcuar tregohen në figurat 3.22 dhe 3.23. Disa nga vlerat e paraqitura në figurat 3.22 dhe 3.23 gjenden si më poshtë. Kështu për të përcaktuar vlerën e deformimit të betonit ϵ_c , nisemi nga gjendja e deformuar e seksionit dhe shkruajmë:

$$\frac{x}{\epsilon_c} = \frac{d - x}{\epsilon_s} \quad (82)$$

nga ku del:

$$\varepsilon_c = \frac{x \cdot \varepsilon_s}{d - x} = \frac{10.36 \cdot 0.01}{46.5 - 10.36} = 0.00286 = 0.286\%$$

$$\varepsilon_c = 0.286\% > 0.2\% \text{ nga ku del që } \sigma_c = f_{cd}$$

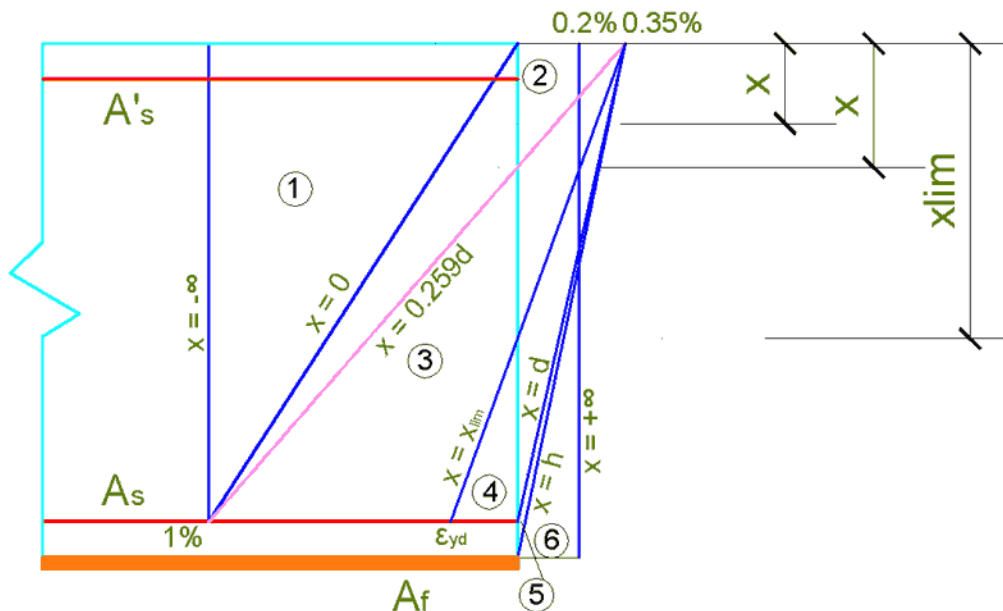


Figura 3.21 Gjendjet e deformuara të elementit në varesi të natyrës së gjendjeve të sforcuara

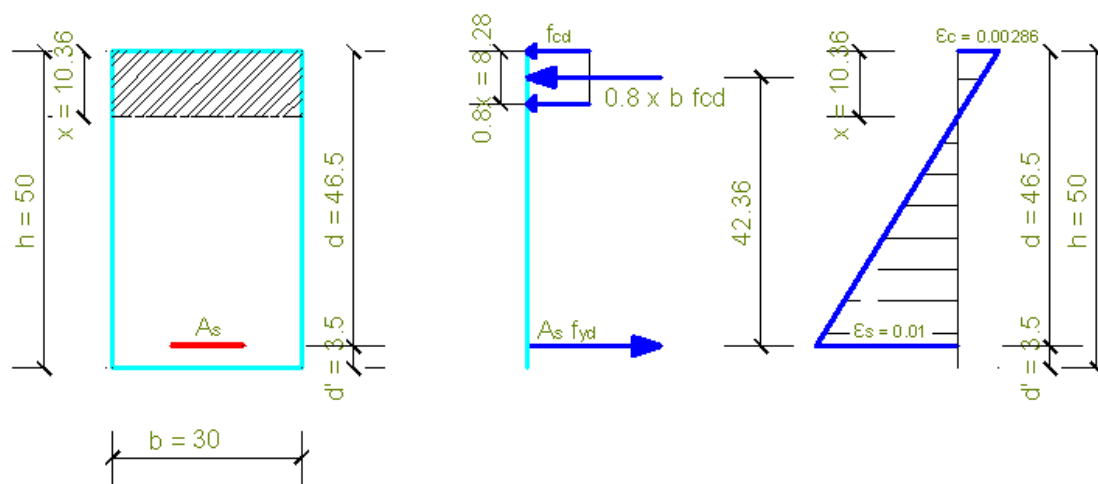


Figura 3.22 Gjendja e deformuar e elementit dhe gjendja e sforcuar

Deformimi relativ i fibrave të poshtme skajore të seksionit betonarme, që është njëkohësisht edhe deformimi fillestar ε_0 është:

$$\frac{d-x}{\epsilon_s} = \frac{h-x}{\epsilon_0} \quad (83)$$

nga ku del:

$$\epsilon_0 = \frac{(h-x)\epsilon_s}{d-x} = \frac{(50-10.36) \cdot 0.01}{46.5-10.36} = 0.0109 = 1.09\%$$

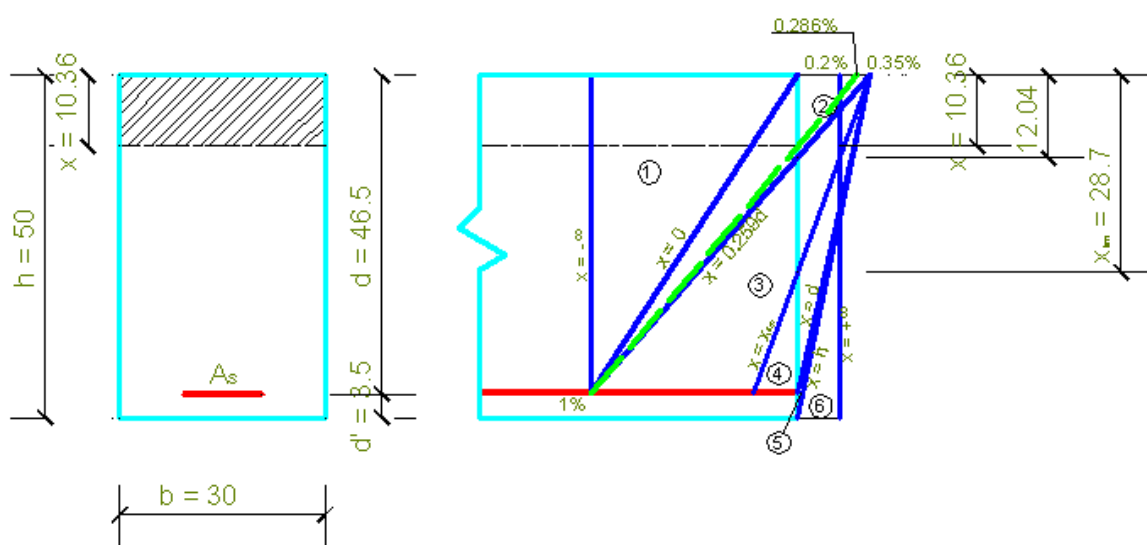


Figura 3.23 Gjendja e deformuar e elementit

Mendohet se para se të vendosen FRP në pjesën e poshtme të seksionit betonarme, struktura do të lehtësohet dhe një pjesë e deformimit do të rikuperohet. Është pranuar se 30% e deformimit të fibrave të poshtme skajore do të rikuperohet. Kështu deformimi i fibrave të poshtme skajore të seksionit betonarme, që është njëkohësisht edhe deformimi fillestar ϵ_0 faktik është:

$$\epsilon_0 \text{ (faktik)} = 0.7 \cdot \epsilon_0 = 0.7 \cdot 1.09\% = 0.763\%$$

Supozojmë se për arsye të ndryshme momenti përkulës në element shkon në vleren $M_{Ed} = 20000 \text{ daNm}$. Për këtë situatë të re na duhet të gjejmë sa është sipërfaqja e FRP që duhen vendosur në zonën e tërhequr të elementit me qëllim që të mënjanohet shkatërrimi.

Për të zgjidhur problemin i referohemi figurës 3.19. Dy ekuacionet e ekuilibrit që mund të shkruajmë janë ata të dhënë nga shprehjet (73) dhe (76) apo (77). Shqyrtojmë elementet përbërës të shprehjes (73).

$$x = ?$$

$$b = 30\text{cm}$$

$$f_{cd} = 141.7\text{daN/cm}^2$$

$$A'_s = 4.02\text{cm}^2$$

$$f_{yd} = 4348\text{daN/cm}^2$$

$$A_s = 8.04\text{cm}^2$$

$$A_f = ?$$

$$E_f = 2350000\text{daN/cm}^2$$

$$\epsilon_f = ?$$

Me anë të shprehjes (78) llogaritim deformimin relativ të FRP (ϵ_f) në funksion të x -it. Pra rezultojnë si të panjohura x dhe A_f . Shqyrtojmë elementet përbërës të shprehjes (77). Duke pranuar $M_{Ed} = M_{Rd}$ arrijmë në përfundimin se edhe në këtë shprehje të panjohura janë A_f dhe x . Pra kemi një sistem me dy ekuacione dhe dy të panjohura. Nga zgjidhja e tij rezultojnë:

$$x = 13.97\text{cm dhe } A_f = 3.83\text{cm}^2$$

Praktikisht veprohet në këtë mënyrë. Pranohet një vlerë e caktuar e A_f , më tej gjendet x , ϵ_f dhe pastaj M_{Rd} . Nëse $M_{Rd} \geq M_{Ed}$ problemi u zgjidh. Nëse $M_{Rd} < M_{Ed}$ pranohet një A_f tjetër dhe llogaritjet fillojnë nga e para.

Shprehjet (73), (77) janë të vërteta nëse $\epsilon_s \geq \epsilon_{yd}$. Për të përcaktuar ϵ_s vlen shprehja (82).

$$\epsilon_s = 0.0035 \cdot (46.5 - 13.97) / 13.97 = 0.814\% \geq \epsilon_{yd} = 0.207\%$$

Kontrollojmë zbatimin e kushtit (78) për deformimet relative kufitare të FRP.

$$\epsilon_{flim} = 0.5 \cdot \epsilon_{fd} = 0.5 \cdot 1.8\% = 0.9\%$$

$$\epsilon_{flim} = 5 \cdot \epsilon_{yd} = 5 \cdot 0.207\% = 1.035\%$$

Pranojmë $\epsilon_{flim} = 0.9\%$. Nga (78) gjendet $\epsilon_f = 0.139\% < \epsilon_{flim} = 0.9\%$, kushti plotësohet.

3.10.7 Analiza e mënyrave të shkatërrimit të parakohshme

Këto lloj mënyrash shkatërrimi lidhen kryesisht, me praninë e sforcimeve tangenciale në sipërfaqen e kontaktit midis FRP dhe betonit. Të dyja mënyrat e sipërpërmendura “peeling – off” dhe “concrete ripping” krijohen duke filluar nga skajet e FRP. Në zonat skajore vlerat e sforcimeve tangenciale janë të larta në krahasim me zonat e tjera të elementit. Kjo gjë ndodh për arsye se në afërsi të mbështetjeve forcat prerëse janë të mëdha dhe së dyti, për shkak se kemi në zonat skajore përqëndrim të sforcimeve tangenciale. Studimet teorike dhe eksperimentale kanë nxjerrë në dukje faktin që sforcimet tangenciale në zonën e kontaktit FRP – beton nuk janë konstante gjatë gjithë perimetrit. Sjellja e lidhjes (aderences) FRP – beton mund të analizohet me proven e thjeshtë të treguar në figurën 3.24.

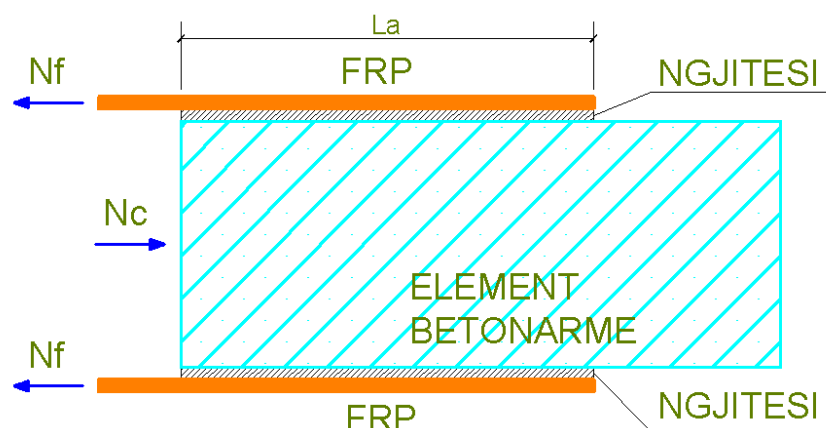


Figura 3.24 Prova e lidhjes (aderencës) FRP – beton

Sikurse kuptohet nga gjithcka që është thënë më sipër roli i lidhjes (aderencës) FRP – beton është shumë i rëndësishëm. Në kuadrin e hierarkisë së rezistencave nuk duhet në asnjë mënyrë që të lejohet humbja e lidhjes (aderencës) e FRP nga betoni para shkatërrimit të elementit të përforcuar për shkak të veprimit të momentit përkulës dhe forcave prerëse. Humbja e lidhjes (aderencës) FRP – beton mund të ndodhë si për FRP që përforcojnë elementët prej veprimit të momentit përkulës, ashtu edhe FRP që përforcojnë elementët prej veprimit të forcës prerëse. Duke patur parasysh figurën 3.25 mund të themi se shqitja (shkëputja) e FRP nga elementi betonarme mund të krijohet në brendësi të ngjitësit, ose midis betonit dhe ngjitësit, ose në brendësi të elementit betonarme, ose në brendësi të FRP. Rasti i fundit ndodh kur FRP janë me disa shtresa. Në qoftë se FRP janë vendosur në mënyre te saktë në vepër

dhe meqenëse rezistenca në prerje e ngjitësit është shumë më e lartë se ajo e betonit, atëherë shkatërrimi mund të lindë në brendësi të elementit betonarme. Në këtë rast një petëz e elementit betonarme mund të shkëputet nga trupi i elementit. Kjo petëz mund të ketë trashësi nga disa mm në disa cm dhe mund të arrijë deri në armaturën e çelikut.

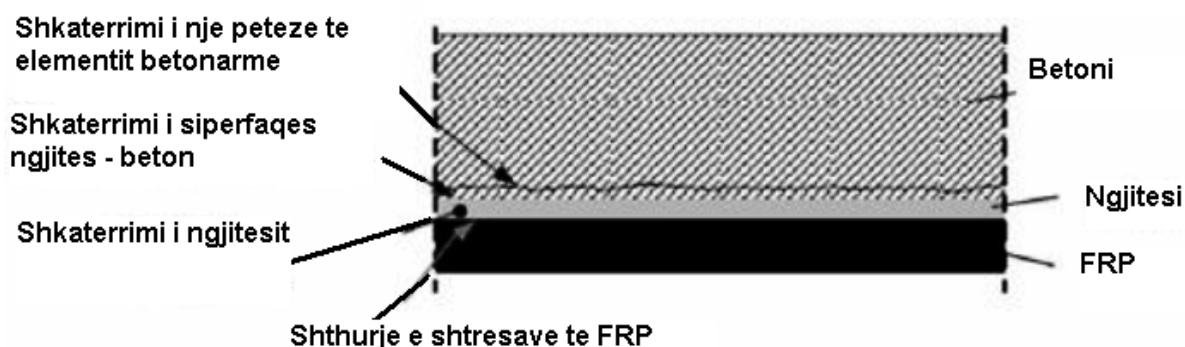


Figura 3.25 Mundësitë e shkatërrimit të lidhjes FRP – beton

Shkatërrimi për shkak të shkëputjes (shqitjes) së FRP nga elementi betonarme mund të lindë sipas njërës prej mënyrave të mëposhtme. Shiko figurën 3.26.

- Mënyra 1. Shkëputja e skajeve.
- Mënyra 2. Shkëputja e ndërmjetme e shkaktuar nga plasaritjet prej përkuljes së elementit.
- Mënyra 3. Shkëputja për shkak të plasaritjeve prej forcës prerëse.
- Mënyra 4. Shkëputja e shkaktuar nga parregullsitë dhe difektet e sipërfaqes së kontaktit midis betonit dhe FRP.

Mënyrat 1 dhe 2 janë më të shpeshtat.

Me qëllim që të shmanget shkëputja (shqitja) e FRP nga elementi betonarme duhet para së gjithash të respektohet gjatësia e lidhjes FRP – beton. Sa më e madhe kjo gjatësi aq më e mirë lidhja, deri sa të arrihet në një gjatësi lidhje optimale (l_e). Rritja e mëtejshme e gjatësisë së lidhjes FRP – beton nuk çon në rritjen e forcës që përballon lidhja FRP – beton. l_e quhet gjatësia optimale e lidhjes apo ankorimit. Ajo i përket gjatësisë minimale të ankorimit, e cila është në gjendje të transmetojë sforcimet maksimale të aderencës.

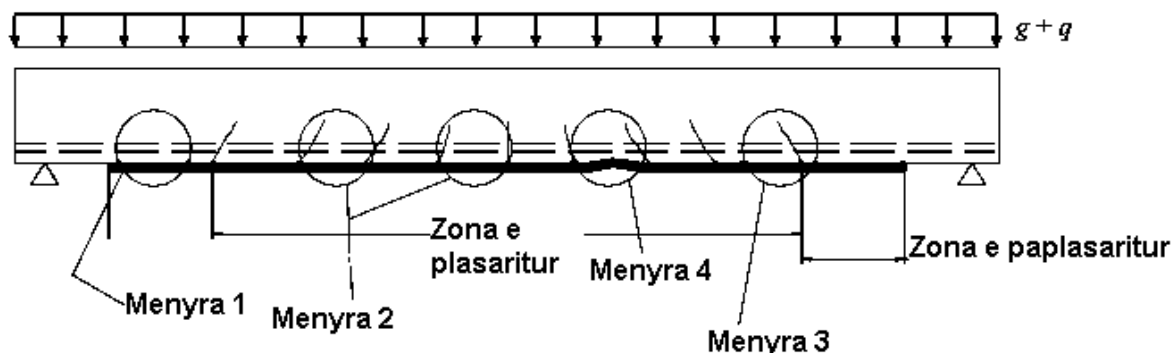


Figura 3.26 Mënyrat e shkatërrimit të lidhjes FRP – beton

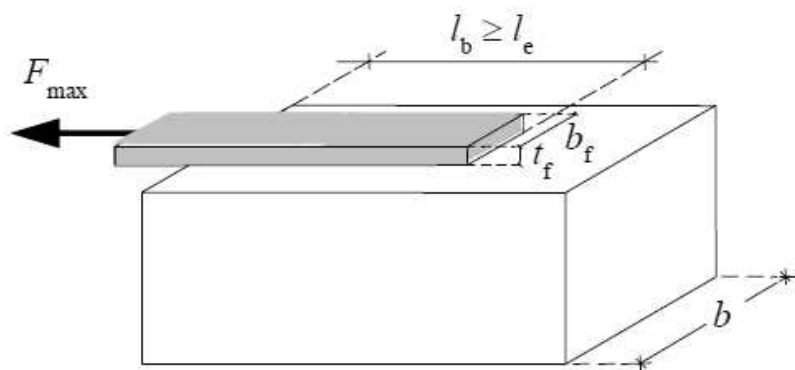


Figura 3.27 Gjatësia e lidhjes (ankorimit) të FRP në elementin betonarme

Gjatesia optimale e lidhjes (ankorimit) e projektimit (l_{ed}) mund të gjendet me shprehjen:

$$l_{ed} = \min \left\{ \frac{1}{\gamma_{Rd} \cdot f_{bd}} \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E_f \cdot t_f \cdot \Gamma_{Fd}}{2}}, 200 \text{ mm} \right\} \quad (84)$$

E_f – moduli i elasticitetit të FRP në drejtimin e veprimit të forcës

t_f – trashësia e FRP

Γ_{Fd} – vlera e energjisë specifike të shkëputjes (shqitjes)

$f_{bd} = 2 \cdot \Gamma_{Fd} / s_u$ – sforcimi tangencial i shkëputjes së FRP nga elementi betonarme

$s_u = 0.25 \text{ mm}$

$\gamma_{Rd} = 1.25$ – koeficient korigjues

Për të gjetur vleren e energjisë specifike të shkëputjes (shqitjes) përdoret shprehja:

$$\Gamma_{Fd} = \frac{k_b \cdot k_G}{F_s} \sqrt{f_{cm} \cdot f_{ctm}} \quad (85)$$

f_{cm} – rezistenca mesatare në shtypje e betonit

f_{ctm} – rezistenca mesatare në tërheqje e betonit

F_s – faktor (koeficient) sigurie

k_b – koeficient korigjues

$$k_b = \sqrt{\frac{2 - b_f / b}{1 + b_f / b}} \geq 1 \quad (86)$$

Për të qartësuar b_f dhe b shiko figurën 27.

Shprehja (86) vlen për $b_f/b \geq 0.25$. Nëse $b_f/b < 0.25$ atëherë $k_b = 1.18$, që i korespondon raportit $b_f/b = 0.25$.

k_G – koeficient korigjues i përcaktuar eksperimentalisht. Duhet të pranohet 0.023mm për FRP e paraformuara dhe 0.037mm për FRP e përgatitura në vend (në kantier).

Në rastet kur përforcohet një element me ndihmën e shumë shiritave të FRP, secila me gjerësi b_f , atëherë k_b mund të llogaritet me shprehjen (86) duke pranuar si gjerësi b interaksin midis dy shiritave fqinje.

3.10.8 Rezistenca kufitare e fundme për shkatërrimin sipas mënyrës së parë

Duke marrë të mirëqenë se është respektuar gjatësia minimale e ankorimit FRP – beton vlera maksimale e sforcimeve që FRP mund të përballojë pa u shkëputur nga elementi betonarme sipas mënyrës 1 përcaktohet me shprehjen:

$$f_{fdd} = \frac{1}{\gamma_{f,d}} \sqrt{\frac{2 \cdot E_f \cdot \Gamma_{Fd}}{t_f}} \quad (87)$$

$\gamma_{f,d}$ – koeficient, pranohet 1.2 deri 1.5

Në rast se gjatësia e ankorimit FRP – beton është $l_b < l_{ed}$ atëherë:

$$f_{fdd,red} = f_{fdd} \cdot (l_b / l_{ed}) \cdot (2 - l_b / l_{ed}) \quad (88)$$

3.10.9 Rezistenca kufitare e fundme për shkatërrimin sipas mënyrës së dytë

Duke marrë të mirëqenë se është respektuar gjatësia minimale e ankorimit FRP – beton vlera maksimale e sforcimeve që FRP mund të përballojë pa u shkëputur nga elementi betonarme sipas mënyrës 2 përcaktohet me shprehjen:

$$f_{fdd,2} = \frac{k_q}{\gamma_{f,d}} \sqrt{\left[\frac{E_f}{t_f} \cdot \frac{2 \cdot k_b \cdot k_{G,2}}{F_s} \cdot \sqrt{f_{cm} \cdot f_{ctm}} \right]} \quad (89)$$

$k_{G,2}$ – koeficient korrigjues i përcaktuar mbi bazën e provave eksperimentale. Pranohet 0.10mm pavarësisht nga lloji i FRP.

k_q – koeficient që merr parasysh kushtet e ngarkimit. Pranohet 1.25 për ngarkesa të shpërndara. Pranohet 1.0 për të gjitha rastet e tjera.

Zakonisht, vlera më e madhe e deformimit të FRP me qëllim që të shmangët shqitja (shkëputja) e FRP nga elementi betonarme, përcaktohet nga shprehja:

$$\epsilon_{fdd} = f_{fdd,2}/E_f \geq \epsilon_{sy} - \epsilon_0 \quad (90)$$

ϵ_{sy} – deformimi llogaritës i armaturës së çelikut dhe që lidhet me rrjedhshmërinë e saj.

$$\epsilon_{sy} = \epsilon_{syd} = f_{yd}/E_s \quad (91)$$

ϵ_0 – deformimi ekzistues i elementit para aplikimit të FRP.

3.11 LLOGARITJA E FRP PREJ FORCES PRERESE, PER PERFORCIMIN E ELEMENTEVE BETONARME NE PERKULJE

3.11.1 Të përgjithshme

Përforcimi nga veprimi i forcës prerëse është i nevojshëm për ata elementë, tek të cilët forca prerëse vepruese është më e madhe se forca prerëse kufitare, mbajtëse, që përballon elementi betonarme. Kjo forcë prerëse kufitare, mbajtëse, është kontribut i aftësisë mbajtëse të betonit dhe i armatures së çelikut, e cila është vendosur në element.

Përforcimi i elementeve betonarme, që punojnë në përkulje, nga veprimi i forcës prerëse, parashikon vendosjen e shiritave të FRP (FRP që

punojnë sipas një drejtimi) apothurjeve (rrjetave) (FRP që punojnë sipas dy drejtimeve). Do të ishte ideale vendosja e shiritave të FRP sipas drejtimit të veprimit të sforcimeve kryesore tërheqëse. Megjithatë është më praktike vendosja e këtyre fibrave pingul me aksin gjatësor të elementit betonarme që do të përforcohet. Në këtë rast shiritat mund të vendosen ngjitur ose në largësi nga njëri – tjetri.

Disa shembuj të vendosjes së fibrave tregohen në figurat 3.28 dhe 3.29.

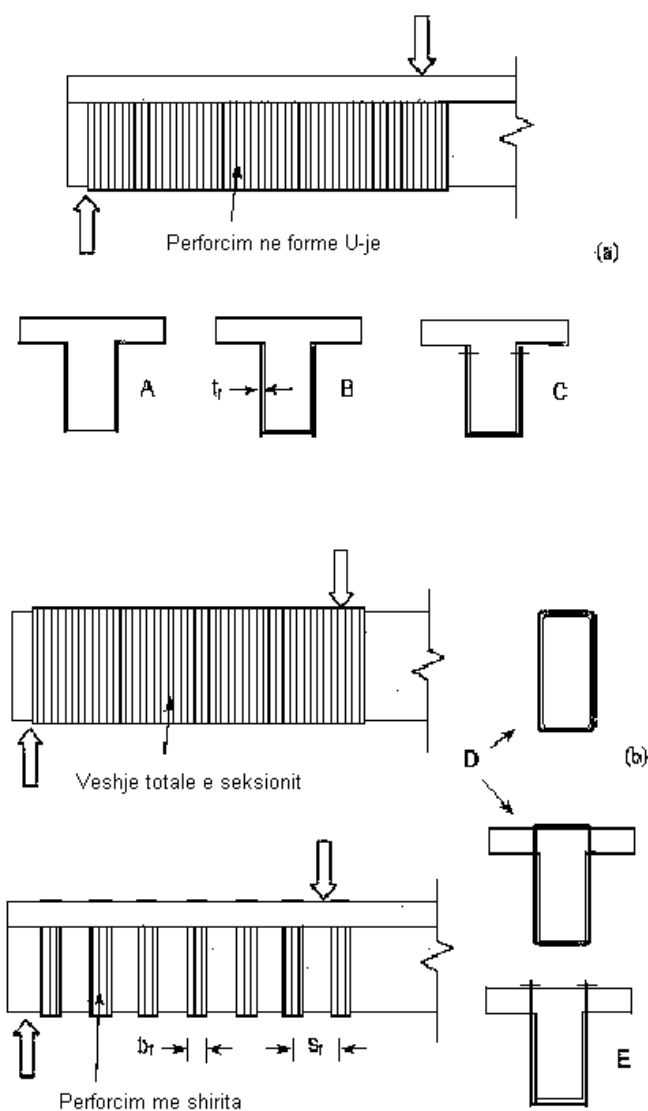


Figura 3.28 Mënyra të vendosjes së FRP

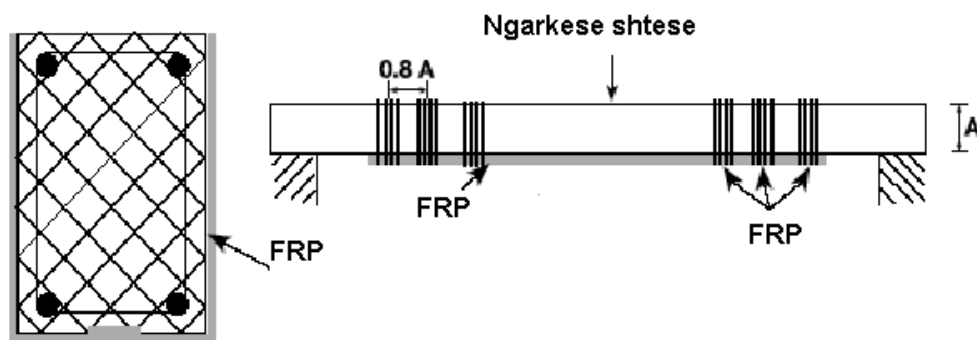


Figura 3.29 Mënyra të vendosjes së FRP

Ndihmesa e matricës (materialit ngjitës të fibrave me njëra – tjetrën) është e papërfillshme. Mund të themi se aftësia mbajtëse e FRP përfaqësohet vetëm nga aftësia mbajtëse e fibrave.

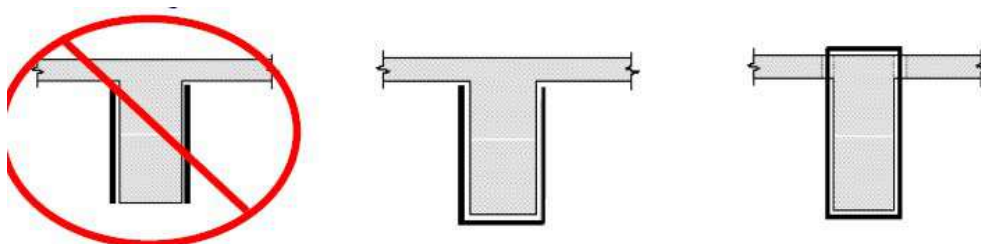


Figura 3.30 Si duhen vendosur FRP

Sikurse shikohet nga figura 3.30 nuk parapëlqehen përforcimet anësore. Mundohemi të realizojmë gjithmonë përforcime në formë U-je apo unazore.

Figura 3.31 tregon mënyrën e vendosjes së FRP në gjatësi të elementit.

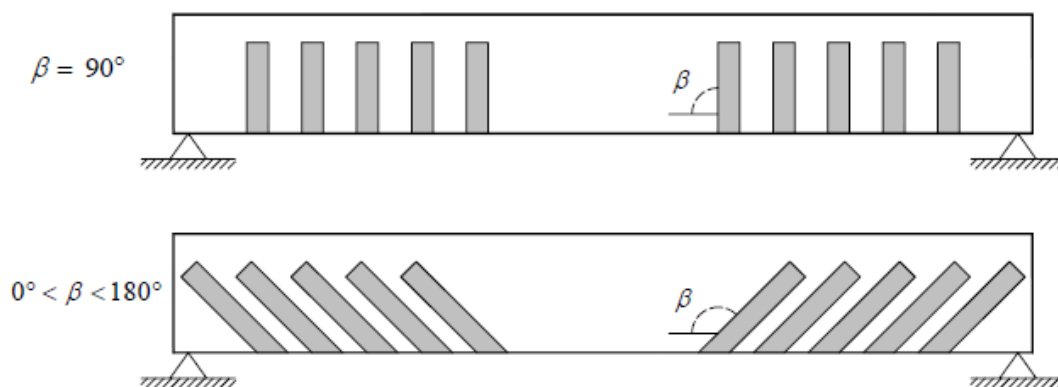


Figura 3.31 Mënyrat e vendosjes së FRP në gjatësi të elementit

Në qoftë se përforcimi me FRP është menduar me shirita, atëherë duhet patur parasysh që largësia midis shiritave të mos kalojë madhësinë 0.8A (shiko figurën 3.29). Në këtë rast A përfaqëson lartësinë e seksionit tërthor të elementit. Kështu çdo plasaritje diagonale do të përshkojë të paktën një shirit FRP. Duhet patur parasysh që të mos ketë ndryshime shumë të mëdha midis aftësisë mbajtëse kundrejt forcave prerëse të elementit të përfortuar me atë të elementit të papërfortuar.

Gjatë punës në kantier mund të ndodhin çarje të vogla të FRP, ndërkohë që ato pështjellin elementet betonarme që do të përfortohen. Për këtë arsye këshillohet të zvogëlohet moduli i elasticitetit E i FRP, duke e pjestuar atë me vleren 1.2 (për FRP njëdrejtimëshe) dhe 1.5 (për fibrat dydrejtimëshe). Gjithashtu vlerat e deformimit të pranuar gjatë projektimit duhet të jenë rreth 50% e vlerave të deformimit shkatërrues. Kjo varet edhe nga lloji i përfortimit që po kryhet (prerje, përkulje, shtypje, përdredhje, etj.)

3.11.2 Forca prerëse kufitare që përballon elementi i përfortuar me FRP

Kjo forcë përcaktohet nga shprehja:

$$V_{Rd} = \min\{V_{Rds} + V_{Rdf}, V_{Rdmax}\} \quad (92)$$

V_{Rds} - forca prerëse që është në gjendje të përballojë elementi betonarme i pajisur me armature tërthore në prerje dhe që përcaktohet nga aftësia mbajtëse e kësaj armature. Jepet nga shprehja:

$$V_{Rds} = A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha / s \quad (93)$$

V_{Rdmax} - forca prerëse që është në gjendje të përballojë elementi betonarme i pajisur me armature tërthore në prerje dhe që përcaktohet nga aftësia mbajtëse e betonit të shtypur. Jepet nga shprehja:

$$V_{Rdmax} = a_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot^2 \theta) \quad (94)$$

Shprehjet (93) dhe (94) janë marrë nga EC 2.

Në rastin e një elementi betonarme me seksion tërthor katërkëndor, apo të një elementi me seksion T dhe me FRP të tipit unazor, V_{Rdf} mund të gjendet me shprehjen:

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{fed} \cdot 2 \cdot t_f \cdot (\cot \theta + \cot \beta) \cdot \frac{b_f}{p_f} \quad (95)$$

d – lartësia punuese e dobishme e seksionit tërthor

γ_{Rd} – koeficient i pjesshëm sigurie, pranohet në këtë rast 1.2

f_{fed} – rezistenca efikase e llogaritjes së FRP

t_f – trashësi e FRP

b_f dhe p_f – janë përkatësisht gjerësia dhe hapi i shiritave të FRP, të matur në drejtimin pingul me drejtimin e fibrave. Në rast se fibrat janë të vendosura ngjitur me njëra – tjetrën, pa hapësira midis tyre, ose nëse FRP është në formën ethurjeve dy drejtimëshe, atëherë $b_f/p_f = 1$.

Duke patur parasysh figurën 3.32, në shprehjen (95) në vend të madhësisë p_f mund të përdoret madhësia $p_f \cdot \sin \beta$. Në këtë rast p_f është hapi i shiritave të FRP i matur përgjatë aksit të elementit.

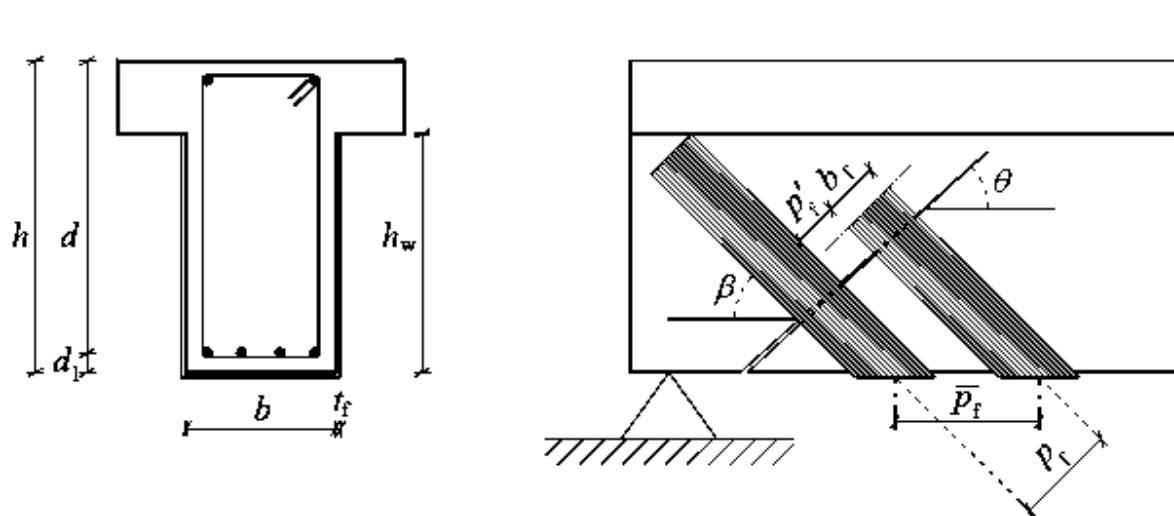


Figura 3.32 Mënyra të vendosjes së FRP

Duhet respektuar këta kufij në vendosjen e shiritave të FRP:

$$50\text{mm} \leq b_f \leq 250\text{mm} \quad (96)$$

$$b_f \leq p_f \leq \min\{0.5d, 3b_f, b_f + 200\text{mm}\} \quad (97)$$

Në qoftë se ndodh që $\min\{0.5d, 3b_f, b_f + 200\text{mm}\} < b_f$ atëherë duhet të përdoret një lloj tjetër FRP, e cila mund të ndryshojë nga gjeometria apo nga parametrat fiziko-mekanike.

Në rastin e një elementi betonarme me seksion tërthor rrethor V_{Rdf} mund të gjendet me shprehjen:

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot D \cdot f_{fed} \frac{\pi}{2} \cdot t_f \cdot \cot \theta \quad (98)$$

Në këtë rast FRP janë orientuar në drejtimin pingul me aksin e elementit ($\beta=90^\circ$) dhe ato e rrethojnë të gjithë elementin pa krijuar hapësira midis tyre, pra FRP vendosen ngjitur me njëra-tjetrën.

D – diametri i seksionit tërthor rrethor

Duke u nisur nga shprehja (92) mund të përcaktojmë madhësinë e forcës maksimale që duhet të përballojnë FRP.

$$V_{Rdf,max} = V_{Rdmax} - V_{Rds} \quad (99)$$

Sigurisht që mund të projektojmë dhe realizojmë një përforsim me FRP, të tillë që forca prerëse që ai përballon të kapërcejë vlerën e $V_{Rdf,max}$, të dhënë nga shprehja (99). Në këtë rast elementi betonarme mund të shkatërrohet si rezultat i shkatërrimit të betonit të shtypur.

3.11.3 Rezistenca efikase e FRP

Në rastin e një elementi me seksion katërkëndor dhe në rast se FRP janë vendosur në forme U-je, atëherë:

$$f_{fed} = f_{fdd} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{l_{ed} \cdot \sin \beta}{\min\{0.9d, h_w\}} \right] \quad (100)$$

f_{fdd} – shiko në pikat 3.10.8 dhe 3.10.9

l_{ed} – shiko në pikën 3.10.7

β – këndi i pjerrësimit të shiritave të FRP në lidhje me aksin gjatësor të elementit. Shiko figurën 3.31.

h_w – shiko figurën 3.32

Në rastin e një elementi me seksion katërkëndor dhe në rast se FRP e përshtjellin të gjithë elementin, atëherë:

$$f_{fed} = f_{fdd} \cdot \left[1 - \frac{1}{6} \cdot \frac{l_e \cdot \sin \beta}{\min\{0.9d, h_w\}} \right] + \frac{1}{2} (\Phi_R \cdot f_{fd} - f_{fdd}) \cdot \left[1 - \frac{l_e \cdot \sin \beta}{\min\{0.9d, h_w\}} \right] \quad (101)$$

$$\Phi_R = 0.2 + 1.6r_c/b \quad (102)$$

$$0 \leq r_c/b \leq 0.5 \quad (103)$$

r_c – rrezja e rrumbullakimit të FRP në qoshet e elementit

b – gjerësia e seksionit tërthor të elementit.

Në shprehjen (101) termi i dytë merret parasysh vetëm nëse është me vlerë pozitive.

Në rastin e një elementi me seksion rrethor (me diameter D) dhe në rast se FRP e përshtjellin të gjithë elementin në mënyrë të pandërprerë ku $\beta=90^\circ$, atëherë:

$$f_{fed} = E_f \cdot \varepsilon_{fmax} \quad (104)$$

E_f – moduli i elasticitetit të FRP

ε_{fmax} – deformimi relativ i FRP. Zakonisht pranohet në vlerën $5 \cdot 10^{-3}$.

3.11.4 Shembull llogaritës

Analizohet një element betonarme (tra) që punon në përkulje. Forca prerëse vepruese për shkak të ngarkesave të jashtme $V_{Ed} = 12000 \text{ daN}$; seksioni tërthor katërkëndësh kënddrejtë me gjerësi $b = 30 \text{ cm}$ dhe lartësi $h = 50 \text{ cm}$; betoni C25/30, $f_{cd} = 141.7 \text{ daN/cm}^2$, $f_{ctd} = 12 \text{ daN/cm}^2$; çeliku S-500, $f_{yd} = 4348 \text{ daN/cm}^2$; moduli i elasticitetit të FRP $E_f = 2350000 \text{ daN/cm}^2$; $A_s = 4.62 \text{ cm}^2$ ($3\Phi 14$); janë vendosur stafa me diametër 8mm çdo 10cm.

Kërkohet të llogaritet sipërfaqja e nevojshme e FRP, që duhen për përforsimin e elementit, në qoftë se forca prerëse vepruese për shkak të ngarkesave të jashtme dyfishohet. Armatura në zonën e shtypur A'_s merret e barabartë me zero. Në element nuk ka armaturë të kthyer ($A_{sinc} = 0$).

Fillimisht llogaritim sa është vlera e $V_{Rd,c}$, e cila është forca prerëse kufitare e projektimit (mbajtëse) që përballon elementi pa armaturë tërthore.

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100\rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b \cdot d \quad (105)$$

f_{ck} – rezistenca cilindrike në shtypje e betonit e shprehur në N/mm^2 ,
 $f_{ck} = 25 N/mm^2$

$$C_{Rd,c} = 0.18/\gamma_c = 0.18/1.5 = 0.12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \quad (106)$$

d - lartësia e dobishme punuese e seksionit tërthor, shprehet në mm

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{465}} = 1.655 < 2$$

b – gjerësia e seksionit tërthor

$$\rho_l = A_{sl}/(b \cdot d) = 4.62/(30 \cdot 46.5) = 0.00331$$

A_{sl} – sipërfaqja e armaturës gjatësore të traut, $A_{sl} = 4.62 \text{ cm}^2$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c \quad (107)$$

N_{Ed} – forca aksiale shtypëse ose tërheqëse për shkak të ngarkesave të jashtme ose prej paranderjes, $N_{Ed} = 0$, pra edhe $\sigma_{cp} = 0$.

$$k_1 = 0.15$$

$$V_{Rd,c} = [0.12 \cdot 1.655 \cdot (100 \cdot 0.00331 \cdot 25)^{1/3} + 0.15 \cdot 0] \cdot 300 \cdot 465 = 56000 \text{ N} = 5600 \text{ daN}$$

Meqenëse forca prerëse $V_{Ed} = 12000 \text{ daN} > V_{Rd,c} = 5600 \text{ daN}$, atëherë detyrimisht duhet të përdorim armaturë tërthore për të përballuar forcën prerëse. Për këtë arsye në element janë vendosur stafa $\Phi 8/10 \text{ cm}$.

Llogaritim forcën prerëse të projektimit (mbajtëse) të elementit, duke marrë parasysh edhe armaturën përkatëse tërthore. Përdorim shprehjen (93).

$$V_{Rds} = A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha / s$$

A_{sw} – sipërfaqja e seksionit tërthor të armaturës, $A_{sw} = 2 \cdot 0.5 = 1 \text{ cm}^2$

s – hapi i stafave, $s = 10 \text{ cm}$

$z = 0.9d = 0.9 \cdot 46.5 = 41.85 \text{ cm}$

f_{ywd} – rezistenca llogaritëse e çelikut kundrejt forcave prerëse, $f_{ywd} = f_{yd} = 4348 \text{ daN/cm}^2$

Rekomandohet që $1 \leq \cot\theta \leq 2.5$, pranojmë $\cot\theta = 1$.

$\alpha = 90^\circ$, $\cot\alpha = 0$, $\sin\alpha = 1$.

$$V_{Rd,s} = 1 \cdot 41.85 \cdot 4348 \cdot (1+0) \cdot 1/10 = 18196 \text{ daN}$$

$$V_{Ed} = 12000 \text{ daN} < V_{Rd,s} = 18196 \text{ daN}$$

Kontrolli tjetër lidhet me moskapërcimin e forcës prerëse maksimale të projektimit (mbajtëse) që mund të përballojë seksioni pa arritur deri në shkatërrimin e zonës së shtypur të betonit. Kjo forcë shënohet me $V_{Rd,max}$ dhe llogaritet me formulën (94):

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) / (1 + \cot^2\theta)$$

Në rastin kur $\sigma_{cp} = 0$, vlera e rekomanduar për $\alpha_{cw} = 1$.

$v_1 = 0.6 \cdot (1 - f_{ck}/250) = 0.6 \cdot (1 - 25/250) = 0.54$. Pra $v_1 = 0.54$ për $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$.

Kemi pranuar $\cot\theta = \tan\theta = 1$.

Për $\alpha = 90^\circ$, $\cot\alpha = 0$.

$$V_{Rd,max} = 1 \cdot 30 \cdot 41.85 \cdot 0.54 \cdot 141.7 \cdot (1+0) / (1+1) = 48033 \text{ daN}$$

$$V_{Ed} = 12000 \text{ daN} < V_{Rd,max} = 48033 \text{ daN}$$

Elementi është i siguruar kundrejt forcës prerëse.

Supozojmë se vlera e forcës prerëse vepruese dyfishohet, pra $V_{Ed} = 24000 \text{ daN}$. Në këtë rast:

$$V_{Ed} = 24000 \text{ daN} < V_{Rd,s} = 18196 \text{ daN}$$

Duhet të përdorim FRP, pasi elementi rrezikon të shkatërrohet. Supozojmë se është zgjedhur përforcim me shirita, siç tregohet në figurën 31. Për të llogaritur forcën prerëse që përballojnë FRP na ndihmon shprehja (95):

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{fed} \cdot 2 \cdot t_f \cdot (\cot \theta + \cot \beta) \cdot \frac{b_f}{p_f}$$

γ_{Rd} – koeficient i pjesshem sigurie, pranohet në këtë rast 1.2

$d = 46.5\text{cm}$

$t_f = 1.2\text{mm} = 0.12\text{cm}$

$\cot \theta = 1$

$\beta = 90^\circ$, $\cot \beta = 0$.

$b_f = 5\text{cm}$

$p_f = 10\text{cm}$

Për të llogaritur f_{fed} na ndihmon shprehja (100):

$$f_{fed} = f_{fdd} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{l_{ed} \cdot \sin \beta}{\min\{0.9d, h_w\}} \right]$$

$$f_{fdd} = \frac{1}{\gamma_{f,d}} \sqrt{\frac{2 \cdot E_f \cdot \Gamma_{Fd}}{t_f}}$$

$\gamma_{f,d}$ – koeficient, pranohet 1.2 deri 1.5. Po e pranojmë 1.35.

$$\Gamma_{Fd} = \frac{k_b \cdot k_G}{F_s} \sqrt{f_{cm} \cdot f_{ctm}}$$

f_{cm} – rezistenca mesatare në shtypje e betonit, $f_{cm} = 33\text{N/mm}^2$

f_{ctm} – rezistenca mesatare në tërheqje e betonit, $f_{ctm} = 2.6\text{N/mm}^2$

F_s – faktor (koeficient) sigurie, $F_s = 1.5$

k_b – koeficient korigjues

$$k_b = \sqrt{\frac{2 - b_f/b}{1 + b_f/b}} \geq 1$$

Meqenëse $b_f/b = 5/30 = 0.166 < 0.25$ atëherë për të llogaritur k_b pranohet raporti $b_f/b = 0.25$.

$$k_b = \sqrt{\frac{2 - 0.25}{1 + 0.25}} = 1.183 \geq 1$$

k_G – koeficient korigjues i përcaktuar eksperimentalisht. Duhet të pranohet 0.023mm për FRP e paraformuara dhe 0.037mm për FRP e përgatitura në vend (në kantier).

$$\Gamma_{Fd} = \frac{1.183 \cdot 0.037}{1.5} \sqrt{33 \cdot 2.6} = 0.270 \text{ N/mm}$$

$$f_{fdd} = \frac{1}{1.35} \sqrt{\frac{2 \cdot 235000 \cdot 0.270}{1.2}} = 240.8 \text{ N/mm}^2$$

$$l_{ed} = \min \left\{ \frac{1}{\gamma_{Rd} \cdot f_{bd}} \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E_f \cdot t_f \cdot \Gamma_{Fd}}{2}}, 200 \text{ mm} \right\}$$

$\gamma_{Rd} = 1.25$ – koeficient korigjues

$f_{bd} = 2 \cdot \Gamma_{Fd} / s_u$ – sforcimi tangencial i shkëputjes së FRP nga elementi betonarme

$s_u = 0.25 \text{ mm}$

$$f_{bd} = 2 \cdot 0.270 / 0.25 = 2.16 \text{ N/mm}^2$$

$$l_{ed} = \min \left\{ \frac{1}{1.25 \cdot 2.16} \sqrt{\frac{3.14^2 \cdot 235000 \cdot 1.2 \cdot 0.270}{2}}, 200 \text{ mm} \right\} = \min \{ 227 \text{ mm}, 200 \text{ mm} \}$$

Pranojmë $l_{ed} = 200 \text{ mm}$.

$$f_{fed} = 240.8 \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{200 \cdot \sin 90}{0.9 \cdot 465} \right] = 202.4 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{1.2} \cdot 0.9 \cdot 465 \cdot 202.4 \cdot 2 \cdot 1.2 \cdot (1 + 0) \cdot \frac{50}{100} = 84704 \text{ N} = 8470.4 \text{ daN}$$

Atëherë:

$$V_{Ed} = 24000 \text{ daN} < V_{Rd,s} + V_{Rd,f} = 18196 + 8470 = 26666 \text{ daN}$$

$$V_{Ed} = 24000 \text{ daN} < V_{Rd,max} = 48033 \text{ daN}$$

$$V_{Rdf,max} = V_{Rdmax} - V_{Rds} = 48033 - 18196 = 29837 \text{ daN} > V_{Rd,f} = 8470 \text{ daN}$$

Të tre kushtet plotësohen. Elementi është i siguar nga forca prerëse.

3.12 LLOGARITJA E FRP PREJ MOMENTIT PERDREDHES, PER PERFORCIMIN E ELEMENTEVE BETONARME NE PERDREDHJE

3.12.1 Llogaritja e FRP në përdredhje

Përdorimi i FRP për përforsimin e elementëve betonarme që punojnë në përdredhje është i nevojshëm në rastet kur momenti përdredhës veprues është më i madh se momenti përdredhës kufitar mbajtës. Se sa është momenti përdredhës kufitar mbajtës, kjo duhet përcaktuar duke patur parasysh të gjithë faktorët që ndikojnë në të. Si p.sh. përmasat e seksionit tërthor të elementit, klasa e betonit, sasia e armaturës së çelikut gjatësore dhe tërthore, rezistenca e armaturës, etj.

Zakonisht përdoren FRP njëdrejtimëshe apo edhe dydrejtimëshe (thurje) të përbëra nga një apo disa shtresa. Në rastin e aplikimit të shiritave njëdrejtimëshe ata mund të jenë të larguar nga njëri-tjetri ose të vendosur ngjitur me njëri-tjetrin. Drejtimi punues i FRP duhet të formojë një kënd $\beta = 90^\circ$ në lidhje me aksin gjatësor të elementit që përforskohet. Është gjithashtu e detyrueshme që FRP të përshtjellin të gjithë seksionin tërthor të elementit.

Në rastin e një elementi betonarme me seksion tërthor katërkëndor, apo të një elementi me seksion T dhe me FRP të tipit unazor, që përshtjell të gjithë seksionin tërthor të elementit, momenti përdredhës kufitar që përballon elementi jepet nga shprehja:

$$T_{Rd} = \min\{T_{Rd,s} + T_{Rd,f}, T_{Rd,l}, T_{Rd,max}\} \quad (108)$$

$$T_{Rd,max} = 2 \cdot v_1 \cdot a_{cw} \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta \quad (109)$$

Momenti përdredhës kufitar mbajtës i dhënë nga shprehja (108) lidhet drejtpërdrejt me aftësinë mbajtëse në shtypje të betonit. Nëse momenti përdredhës veprues është më i madh se ai atëherë elementi shkatërrohet si rezultat i shkatërrimit (i thërmimit) të betonit. Ky shkatërrim është jo duktil dhe duhet shmangur. Në këtë rast duhet detyrimisht të rritim përmasat e seksionit tërthor të elementit ose klasën

e betonit të tij deri sa momenti përdredhës veprues të jetë më i vogël se vlera e momentit përdredhës mbajtës e përcaktuar nga shprehja (108).

$$T_{Rd,l} = 2 \cdot A_k \cdot f_{yd} \cdot \tan \theta \cdot A_{sl} / u_k \quad (110)$$

Momenti përdredhës kufitar mbajtës i dhënë nga shprehja (109) lidhet drejtpërdrejt me aftësinë mbajtëse të armaturës gjatësore.

$$T_{Rd,s} = (2 \cdot A_k \cdot \cot \theta \cdot f_{ywd} \cdot A_{sw}) / s \quad (111)$$

Momenti përdredhës kufitar mbajtës i dhënë nga shprehja (110) lidhet drejtpërdrejt me aftësinë mbajtëse të armaturës tërthore.

Shprehjet (108), (109), (110) janë marrë nga EC 2.

Momenti përdredhës kufitar mbajtës i FRP është:

$$T_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot 2 \cdot f_{fed} \cdot t_f \cdot b \cdot h \cdot \frac{b_f}{p_f} \cdot \cot \theta \quad (112)$$

γ_{Rd} – koeficient i pjesshëm sigurie, pranohet në këtë rast 1.2
Duhet respektuar këta kufij në vendosjen e shiritave të FRP:

$$50\text{mm} \leq b_f \leq 250\text{mm} \quad (113)$$

$$b_f \leq p_f \leq \min\{0.5d, 3b_f, b_f + 200\text{mm}\} \quad (114)$$

Në qoftë se rezulton $\min\{0.5d, 3b_f, b_f + 200\text{mm}\} < b_f$ atëherë duhet të përdoren FRP me të tjera karakteristika gjeometrike dhe mekanike.

Në qoftë se në element kemi veprim të njëkohshëm të forcës prerëse dhe të momentit përdredhës atëherë:

$$T_{Ed}/T_{Rd,max} + V_{Ed}/V_{Rd,max} \leq 1 \quad (115)$$

Përcaktimi i sasisë së FRP prej momentit përdredhës duhet të jete i pavarur nga përcaktimi i sasisë prej forcës prerëse. Sasia totale e FRP është sa shuma e sasive përkatëse. Duhet patur parasysh që vlera e këndit θ (këndi i pjerrësisë së biellave të shtypura) duhet të pranohet i njëjtë gjatë dy llogaritjeve. Vlera më e përdorshme është $\theta = 45^\circ$.

Shprehja (108) na lejon të përcaktojmë momentin përdredhës maksimal që mund të përballojë përforcimi me FRP.

$$T_{Rd,f,max} = T_{Rd,max} - T_{Rd,s} \quad (116)$$

Sigurisht që mund të projektojmë dhe realizojmë një përforcim me FRP, të tillë që momenti përdredhës që ai përballon të kapërcejë vlerën e $T_{Rd,f,max}$, të dhënë nga shprehja (116). Në këtë rast elementi betonarme mund të shkatërrohet si rezultat i shkatërrimit të betonit të shtypur.

3.12.2 Shembull llogaritës

Analizohet një element betonarme (tra) që punon në përdredhje. Momenti përdredhës veprues $T_{Ed} = 25000 \text{ daNm}$; seksioni tërthor katërkëndësh kënddrejtë me gjerësi $b = 30 \text{ cm}$ dhe lartësi $h = 50 \text{ cm}$; betoni C25/30, $f_{cd} = 141.7 \text{ daN/cm}^2$, $f_{ctd} = 12 \text{ daN/cm}^2$; çeliku S-500, $f_{yd} = 4348 \text{ daN/cm}^2$; moduli i elasticitetit të FRP $E_f = 2350000 \text{ daN/cm}^2$; $A_{sl} = 6\Phi 16 = 12.06 \text{ cm}^2$; janë vendosur stafa (vetëm për përdredhjen) me diametër 8 mm çdo 15 cm .

Përdorim shprehjet (109), (110), (111) për të llogaritur vlerat e momenteve përdredhës.

$$T_{Rd,max} = 2 \cdot v_1 \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta$$

$$v_1 = 0.6 \cdot (1 - f_{ck}/250) = 0.6 \cdot (1 - 25/250) = 0.54$$

$$\alpha_{cw} = 1$$

$$A = b \cdot h = 30 \cdot 50 = 1500 \text{ cm}^2$$

$$u = 2 \cdot (b + h) = 2 \cdot (30 + 50) = 160 \text{ cm}$$

$$t = A/u = 1500/160 = 9.375 \text{ cm}$$

$$b_i = b - t = 30 - 9.375 = 20.625 \text{ cm}$$

$$h_i = h - t = 50 - 9.375 = 40.625 \text{ cm}$$

$$A_k = b_i \cdot h_i = 20.625 \cdot 40.625 = 837.9 \text{ cm}^2$$

$$u_k = 2 \cdot (b_i + h_i) = 2 \cdot (20.625 + 40.625) = 122.5 \text{ cm}$$

$$T_{Rd,max} = 2 \cdot 0.54 \cdot 1 \cdot 141.7 \cdot 837.9 \cdot 9.375 \cdot \sin 45^\circ \cdot \cos 45^\circ = 600891 \text{ daNcm}$$

$$T_{Rd,l} = 2 \cdot 837.9 \cdot 4348 \cdot 1 \cdot 12.06 / 122.5 = 717336 \text{ daNcm}$$

$$T_{Rd,s} = (2 \cdot 837.9 \cdot 1 \cdot 4348 \cdot 1) / 15 = 485758 \text{ daNcm}$$

Atëherë:

$$T_{Ed} = 250000 \text{ daNcm} < T_{Rd,max} = 600891 \text{ daNcm}$$

$$T_{Ed} = 250000 \text{ daNcm} < T_{Rd,l} = 717336 \text{ daNcm}$$

$$T_{Ed} = 250000 \text{ daNcm} < T_{Rd,s} = 485758 \text{ daNcm}$$

Pra elementi është i siguruar nga veprimi i momentit përdredhës. Supozojmë se vlera e momentit përdredhës veprues rritet dhe arrin vlerën 500000 daNcm duke kapercyer $T_{Rd,s} = 485758 \text{ daNcm}$. Duhet të përdorim FRP. Për të llogaritur momentin përdredhës që përballojnë FRP përdorim shprehjen (112).

$$T_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot 2 \cdot f_{fed} \cdot t_f \cdot b \cdot h \cdot \frac{b_f}{p_f} \cdot \cot \theta \quad (112)$$

γ_{Rd} – koeficient i pjesshëm sigurie, pranohet në këtë rast 1.2

$$t_f = 1.2 \text{ mm} = 0.12 \text{ cm}$$

$$\cot \theta = 1$$

$$\beta = 90^\circ, \cot \beta = 0.$$

$$b_f = 5 \text{ cm}$$

$$p_f = 10 \text{ cm}$$

Nga shembulli numerik i forcës prerëse kemi gjetur:

$$f_{fed} = 240.8 \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{200 \cdot \sin 90}{0.9 \cdot 465} \right] = 202.4 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{Rd,f} = \frac{1}{1.2} \cdot 2 \cdot 202.4 \cdot 1.2 \cdot 300 \cdot 500 \cdot \frac{50}{100} \cdot 1 = 303600 \text{ daNcm}$$

$$T_{Rd,s} + T_{Rd,f} = 485758 + 303600 = 789358 \text{ daNcm}$$

Pas përforcimit me FRP elementi është i siguruar përsëri pasi:

$$T_{Ed} = 500000 \text{ daNcm} < T_{Rd,max} = 600891 \text{ daNcm} \quad (117)$$

$$T_{Ed} = 500000 \text{ daNcm} < T_{Rd,l} = 717336 \text{ daNcm} \quad (118)$$

$$T_{Ed} = 500000 \text{ daNcm} < T_{Rd,s} + T_{Rd,f} = 789358 \text{ daNcm} \quad (119)$$

Nëse shtrohet pyetja se sa është vlera e momentit përdredhës maksimal që mund të përballojë elementi, atëherë përgjigjja do të ishte:
Vlera më e vogël e përcaktuar nga shprehjet (117), (118), (119).

$$T_{Rd,f,max} = T_{Rd,max} - T_{Rd,s} = 115116 \text{ daNcm} < T_{Rd,f} = 303600 \text{ daNcm}$$

C'ndodh? Kemi projektuar një përforcim me FRP, i cili na ofron një moment përdredhës kufitar mbajtës $T_{Rd,f} = 303600 \text{ daNcm}$. Në fakt $T_{Rd,f,max} = T_{Rd,max} - T_{Rd,s} = 115116 \text{ daNcm}$. Shkatërrohet elementi? Sigurisht që jo, pasi kushtet (117), (118), (119) plotësohen. Por, jemi të ndërgjegjshëm se vetëm rreth 1/3 e aftësisë mbajtëse të FRP shfrytëzohet, pra kemi projektuar një përforcim me FRP me shumë rezervë. Në këtë moment puna rifillon nga e para duke ulur vlerën e $T_{Rd,f}$. Po, si mund ta ulim vlerën e $T_{Rd,f}$? Për këtë na ndihmon shprehja (112). Duke analizuar këtë shprehje arrijmë në përfundimin se për të zvogëluar $T_{Rd,f}$ duhet të zvogëlojmë trashësinë e FRP t_f , të zvogëlojmë gjerësinë e tyre b_f , të rritim largësinë midis shiritave p_f , të përdorim FRP me karakteristika më të uleta fiziko – mekanike.

3.13 LLOGARITJA E FRP PER PERFORCIMIN E ELEMENTEVE BETONARME NE SHTYPJE QENDRORE DHE JASHTEQENDRORE

3.13.1 Të përgjithshme

Roli thelbësor i veshjeve me FRP në këta lloj elementesh është cilësisht i njëjtë me rolin e stafave prej çeliku. Në mënyre të përmbledhur ky rol i stafave dhe i FRP mund të shprehet si “shtrengim” apo “rrethim” i seksionit. Shtrëngimi apo rrethimi rrit duktilitetin, rrit aftësinë mbajtëse kundrejt forcave aksiale dhe kundrejt momentit përkulës, shmang dukurinë e humbjes së qëndrueshmërisë së shufrave gjatësore të kolonave, etj. Shtrëngimi (rrethimi) me anë të veshjeve prej FRP rrit rezistencën në shtypje të betonit, rrit deformimin kufitar të betonit e_{cu} , si rrjedhim rritet edhe duktiliteti. Hapësira në të cilën rriten së bashku edhe duktiliteti edhe rezistenca e betonit varet kryesisht nga sjellja e veshjes prej FRP kundrejt forcave aksiale. Kjo sjellje pasqyrohet në varësinë midis sforcimeve aksiale dhe deformimeve aksiale. Kjo varësi në mënyre grafike jepet në figurën 3.35.



Figura 3.33 Aplikime të përforcimit të kolonave me FRP



Figura 3.34 Aplikime të përforcimit të kolonave me FRP

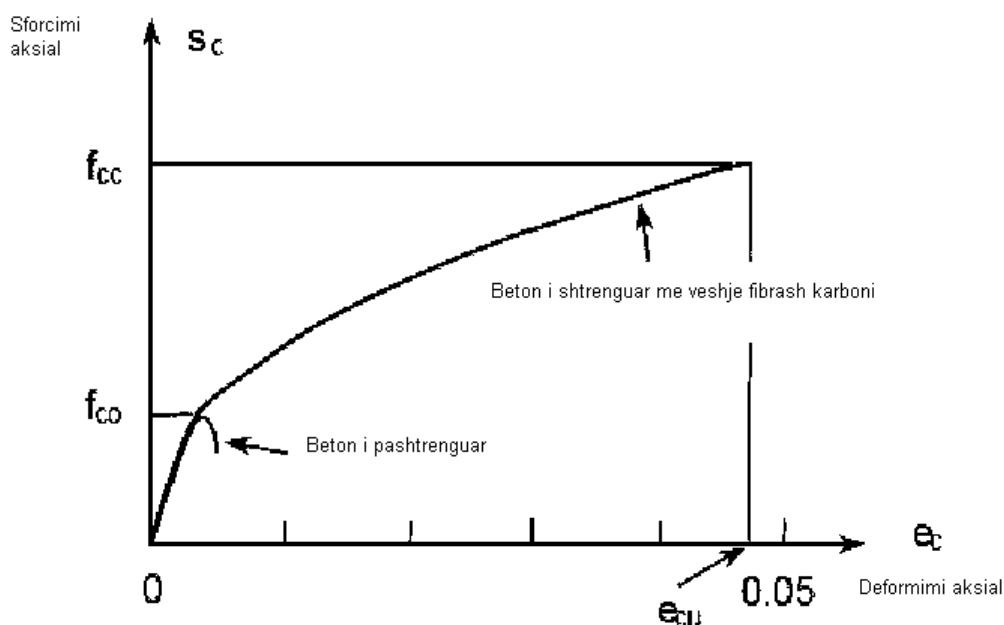


Figura 3.35 Varësia sforcim – deformim për betonin e rrethuar me CFRP dhe të parrethuar

Shtrëngimi (rrethimi) i elementeve betonarme methurje apo shirita FRP të vendosura në konturin e elementit mund të realizohet i vazhduar ose jo. Rritja e rezistencës në shtypje të betonit dhe e deformimit përkatës varet nga presioni i rrethimit apo shtrëngimit që FRP ushtron mbi element. Nga ana tjetër presioni i rrethimit të FRP varet nga ngurtësia e sistemit të përforcimit dhe nga forma e seksionit tërthor të elementit betonarme që rrethohet (shtrëngohet).



Figura 3.36 Rast i shkatërrimit të kolonës dhe përforcimit me FRP

3.13.2 Llogaritja e elementëve në shtypje qendrore dhe në shtypje jashtëqendrore me jashtëqendërsi të vogël

Për të përftuar një rrethim (shtrëngim) efikas është e këshillueshme të vendosen FRP në drejtimin pingul me aksin gjatësor të elementit. Në rastin e vendosjes së FRP në formë elikoidale duhet të vleresohet me shumë kujdes efikasiteti i tyre.

FRP ushtrojnë një presion pasiv në elementin betonarme që ato përforcojnë.

Që një element betonarme, i cili punon në shtypje qendrore apo në shtypje jashtëqendrore me jashtëqendërsi të vogël të mos shkatërrohet duhet të plotësohet kushti:

$$N_{Ed} \leq N_{Rcc,d} \quad (120)$$

N_{Ed} – forca normale shtypëse vepruese e projektimit (llogaritëse)

$N_{Rcc,d}$ – forca normale shtypëse mbajtëse kufitare

$$N_{Rcc,d} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot A_c \cdot f_{ccd} + A_s \cdot f_{yd} \quad (121)$$

γ_{Rd} – koeficienti i pjesshëm i sigurisë, $\gamma_{Rd} = 1.1$
 A_c – sipërfaqja e seksionit tërthor të elementit
 f_{ccd} – rezistenca e projektimit në shtypje e betonit të rrethuar (të shtrënguar)
 A_s – sipërfaqja e armaturës së çelikut
 f_{yd} – rezistenca e projektimit të çelikut
 Shprehja e mëposhtme na lejon të përcaktojmë f_{ccd} .

$$\frac{f_{ccd}}{f_{cd}} = 1 + 2.6 \left(\frac{f_{l,eff}}{f_{cd}} \right)^{2/3} \quad (122)$$

f_{cd} – rezistenca e projektimit në shtypje të betonit të parrethuar
 $f_{l,eff}$ – presioni efikas i rrethimit
 Rrethimi (shtrëngimi) rezulton efikas nëse plotësohet kushti:

$$\frac{f_{l,eff}}{f_{cd}} > 0.05 \quad (123)$$

Nga presioni i rrethimit (i shtrëngimit) f_l i ushtruar nga FRP, vetëm një pjesë e tij ndihmon në aftësinë mbajtëse të elementit të përforcuar. Kjo pjesë e f_l shënohet $f_{l,eff}$ dhe quhet “presioni efikas i rrethimit”, i cili varet nga forma e seksionit tërthor të elementit si edhe nga mënyra e realizimit të përforcimit.

$$f_{l,eff} = k_{eff} \cdot f_l \quad (124)$$

$k_{eff} \leq 1$ – koeficient i efektshmërisë

$$k_{eff} = V_{c,eff} / V_c \quad (125)$$

$V_{c,eff}$ – vëllimi i betonit të rrethuar
 V_c – vëllimi total i betonit të elementit të përforcuar
 Presioni i rrethimit mund të shprehet si më poshtë:

$$f_l = 0.5 \cdot \rho_f \cdot E_f \cdot \epsilon_{fd,red} \quad (126)$$

ρ_f – është përqindja gjeometrike e FRP. Varet nga forma e seksionit dhe nga mënyra e vendosjes së FRP (e vazhdueshme apo jo).

Në elementet me seksion rrethor shprehja (127) na lejon të përcaktojmë ρ_f .

$$\rho_f = (4 \cdot t_f \cdot b_f) / (D \cdot p_f) \quad (127)$$

t_f – trashësia e FRP

b_f – lartësia e shiritit të FRP

p_f – hapi i shiritave të FRP

D – diametri i seksionit

Për të kuptuar më qartë simbolet e mësipërme shiko figurën 38.

Në rastin e rrethimit të vazhduar me FRP, $b_f/p_f=1$ dhe:

$$\rho_f = 4 \cdot t_f / D \quad (128)$$

E_f – moduli i elasticitetit të FRP në drejtim të fibrave

$\epsilon_{fd,red}$ – deformimi kufitar i reduktuar i FRP

Në elementet me seksion tërthor katërkëndor shprehja (129) na lejon të përcaktojmë ρ_f .

$$\rho_f = [2 \cdot t_f \cdot (b+h) \cdot b_f] / [b \cdot h \cdot p_f] \quad (129)$$

t_f – trashësia e FRP

b_f – lartësia e shiritit të FRP

b dhe h – përmasat e seksionit tërthor

Në rastin e rrethimit të vazhduar me FRP, $b_f/p_f=1$ dhe:

$$\rho_f = [2 \cdot t_f \cdot (b+h)] / [b \cdot h] \quad (130)$$

$$k_{eff} = k_H \cdot k_v \cdot k_a \quad (131)$$

k_H – koeficienti i efikasitetit horizontal

k_v – koeficienti i efikasitetit vertikal

k_a – koeficienti i pjerrësisë së FRP

k_H – varet nga forma e seksionit tërthor të elementit. Për seksion rrethor $k_H = 1.0$. Për seksion katërkëndor:

$$k_H = 1 - \frac{b'^2 + h'^2}{3 \cdot A_g} \quad (132)$$

Për të kuptuar simbolet që bëjnë pjesë në shprehjen (132) ndihmon figura 3.37.

A_g – sipërfaqja totale e seksionit tërthor të elementit, $A_g = b \cdot h$.

k_v varet nga zhvillimi i rrethimit me FRP, përgjatë aksit gjatësor të elementit. k_v nuk varet nga forma e seksionit tërthor të elementit betonarme që përfordhet. Në rastet e rrethimit me FRP të vazhduar pranohet $k_v=1$. Në rastet e rrethimit jo të vazhduar (me shirita) siç tregohet në figuren 3.38, k_v percaktohet me shprehjen:

$$k_v = \left(1 - \frac{p'_f}{2 \cdot d_{\min}}\right)^2 \quad (133)$$

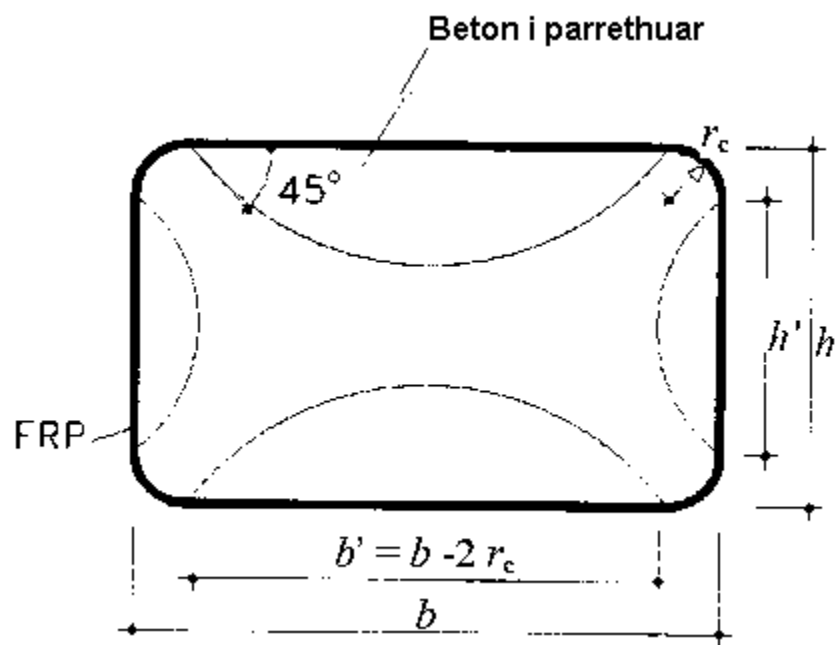


Figura 3.37 Seksioni tërthor i kolonës së përforduar me FRP

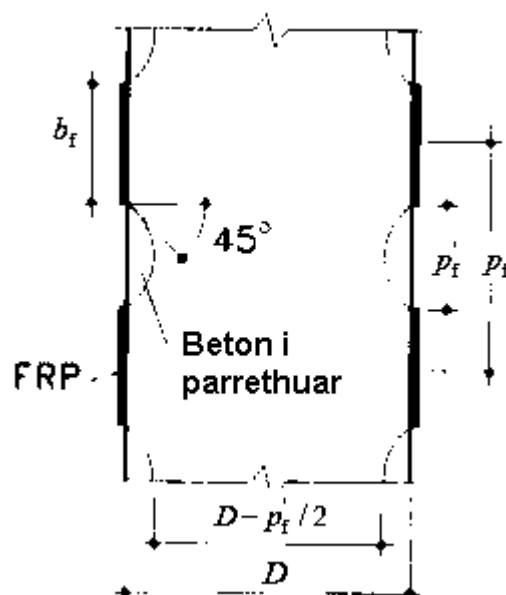


Figura 3.38 Vendosja e FRP në gjatësi të kolonës

d_{min} – përmasa minimale e seksionit tërthor. Në seksionet rrethore d_{min} është diametri.

Këshillohet $p'_f \leq d_{min}/2$.

Pavarësisht nga forma e seksionit tërthor:

$$k_a = \frac{1}{1 + (\tan \alpha_f)^2} \quad (134)$$

α_f – këndi i pjerrësimit të fibrave kundrejt planit pingul me aksin gjatësor të elementit. Kështu për një kolonë që përforcohet me FRP, nëse këto vendosen pingul me aksin gjatësor atëherë $\alpha_f = 0^\circ$.

Deformimi i reduktuar i llogaritjes së FRP përcaktohet nga shprehja:

$$\epsilon_{fd,red} = \min[\eta_a \cdot \epsilon_{fk} / \gamma_f; 0.004] \quad (135)$$

η_a – koeficienti i mjedisit

γ_f – koeficienti i pjesshëm i sigurisë së FRP

ϵ_{fk} – deformimi kufitar konvencional i FRP. Pranohet zakonisht 0.004.

Tabela 3.7 përmban vlerat e koeficientëve të pjesshëm të sigurisë të FRP.

	γ_{rd}
Përkulje/Shtypje me përkulje	1.00
Prerje/Përdredhje	1.20
Rrethimi (shtrëngimi)	1.10

Tabela 3.7 Koeficientët e pjesshëm të sigurisë të FRP

Bazuar në figurën 3.37 mund të shikohet se sipërfaqja faktike e rrethuar është vetëm një pjesë e sipërfaqes totale. Kjo për shkak të dukurisë së “harkut” që krijohet në brendësi të elementit. Kjo dukuri varet nga rrezja r_c e rrumbullakimit të cepave të seksionit.

Për seksionet katërkëndore me gjerësi apo lartësi $>90\text{cm}$ nuk ka asnjë efekt përforcimi me FRP. E njëjta gjë vlen edhe kur $b/h > 2$.

3.13.2 Llogaritja e elementeve në shtypje qendrore dhe në shtypje jashtëqendrore me jashtëqendërsi të madhe

Në këtë rast na vjen në ndihmë diagrama e ndërveprimit $M - N$. Për të sqaruar më mirë këtë le të marrim një shembull konkret.

Analizohet një element betonarme me $b = 30\text{cm}$, $h = 50\text{cm}$, $d' = 4\text{cm}$, $d = 46\text{cm}$, $A_s = 8.04\text{cm}^2$, $A'_s = 6.16\text{cm}^2$, $f_{yk} = 5000\text{daN/cm}^2$, $f_{yd} = 4348\text{daN/cm}^2$, $\gamma_s = 1.15$, $E_s = 2100000\text{daN/cm}^2$, $\epsilon_{yd} = f_{yd}/E_s = 4348/2100000 = 0.207\%$, betoni C25/30, $f_{ck} = 250\text{daN/cm}^2$, $\gamma_c = 1.5$, $f_{cd} = 141.7\text{daN/cm}^2$.

$E_f = 2350000\text{daN/cm}^2$, $p_f = 10\text{cm}$, $b_f = 5\text{cm}$, $p'_f = 5\text{cm}$, $t_f = 0.12\text{cm}$.

Diagrama e ndërveprimit do të ndërtohet dy herë. Herën e parë për rezistencë betoni të parrethuar (të pashtërnguar) $f_{cd} = 141.7\text{daN/cm}^2$. Herën e dytë për rezistencë betoni pas shtrëngimit f_{ccd} . Në figurën 3.39 tregohet diagrama e ndërveprimit për rastin e betonit të pashtërnguar $f_{cd} = 141.7\text{daN/cm}^2$.

Duhet të përcaktojmë tani vlerën e f_{ccd} me shprehjen (122).

$$\frac{f_{ccd}}{f_{cd}} = 1 + 2.6 \left(\frac{f_{l,eff}}{f_{cd}} \right)^{2/3}$$

$$f_{l,eff} = k_{eff} \cdot f_l = 0.291 \cdot 30.08 = 8.75\text{daN/cm}^2$$

$$k_{eff} = k_H \cdot k_V \cdot k_a = 0.347 \cdot 0.840 \cdot 1 = 0.291$$

$$k_H = 1 - \frac{b'^2 + h'^2}{3 \cdot A_g} = 1 - \frac{27^2 + 47^2}{3 \cdot 1500} = 0.347$$

$$A_g = b \cdot h = 30 \cdot 50 = 1500 \text{ cm}^2$$

$$b' = b - 2 \cdot r_c = 30 - 2 \cdot 1.5 = 27 \text{ cm}$$

$$h' = h - 2 \cdot r_c = 50 - 2 \cdot 1.5 = 47 \text{ cm}$$

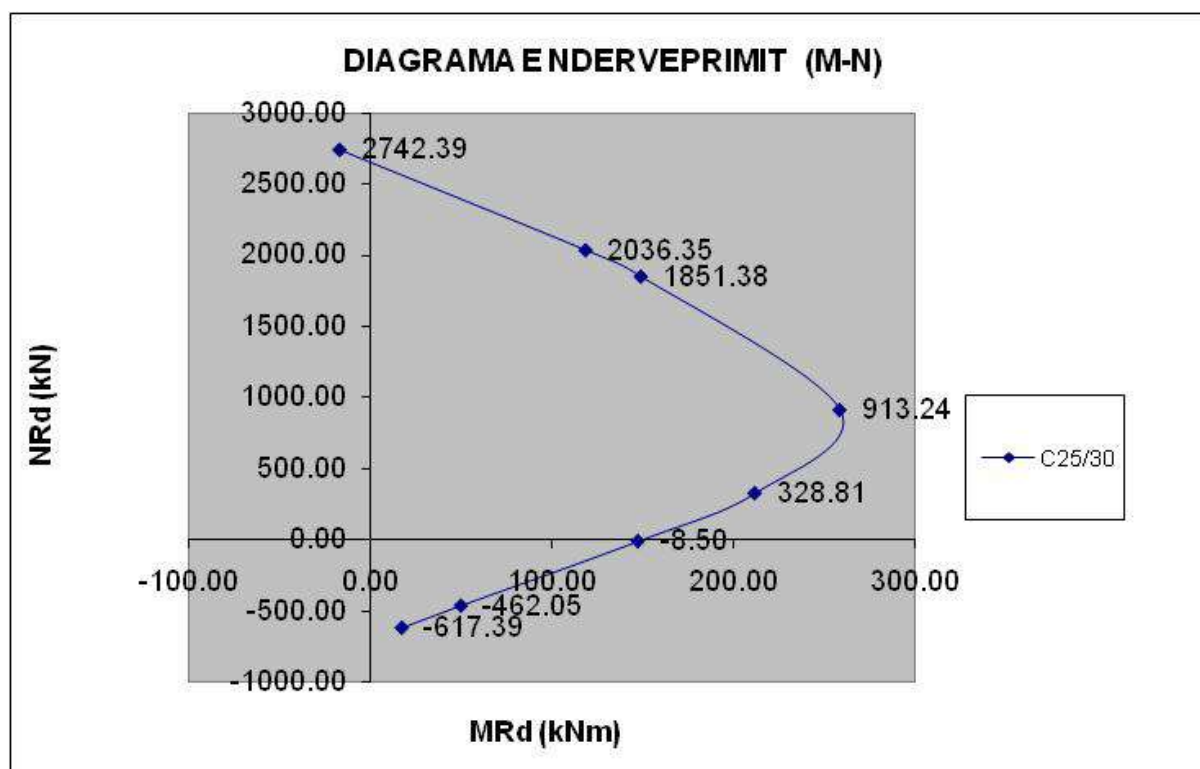


Figura 3.39 Diagrama e ndërveprimit M – N të elementit betonarme të papërforsuar me FRP

$$k_v = \left(1 - \frac{p'_f}{2 \cdot d_{\min}}\right)^2 = \left(1 - \frac{5}{2 \cdot 30}\right)^2 = 0.840$$

Këshillohet $p'_f \leq d_{\min}/2$. Vërtet $p'_f = 5 \text{ cm} \leq 30/2 = 15 \text{ cm}$.

$$k_a = \frac{1}{1 + (\text{tg} \alpha_f)^2} = \frac{1}{1 + (\text{tg} 0)^2} = 1$$

$$f_l = 0.5 \cdot \rho_f \cdot E_f \cdot \epsilon_{fd, \text{red}} = 0.5 \cdot 0.0064 \cdot 2350000 \cdot 0.004 = 30.08 \text{ daN/cm}^2$$

$$\rho_f = [2 \cdot t_f \cdot (b+h) \cdot b_f] / [b \cdot h \cdot p_f] = [2 \cdot 0.12 \cdot (30+50) \cdot 5] / [30 \cdot 50 \cdot 10] = 0.0064$$

$$\varepsilon_{fd,red} = \min[\eta_a \cdot \varepsilon_{fk} / \gamma_f; 0.004] = \min[1 \cdot 0.018 / 1.1; 0.004] = 0.004$$

$$f_{ccd} = f_{cd} \cdot \left[1 + 2.6 \left(\frac{f_{l,eff}}{f_{cd}} \right)^{2/3} \right]$$

$$f_{ccd} = 141.7 \cdot \left[1 + 2.6 \left(\frac{8.75}{141.7} \right)^{2/3} \right] = 199.27 \text{ daN/cm}^2$$

Në figurën 3.40 tregohet diagrama e ndërveprimit për rastin e betonit të rrethuar (të shtrënguar) $f_{ccd} = 161.4 \text{ daN/cm}^2$.

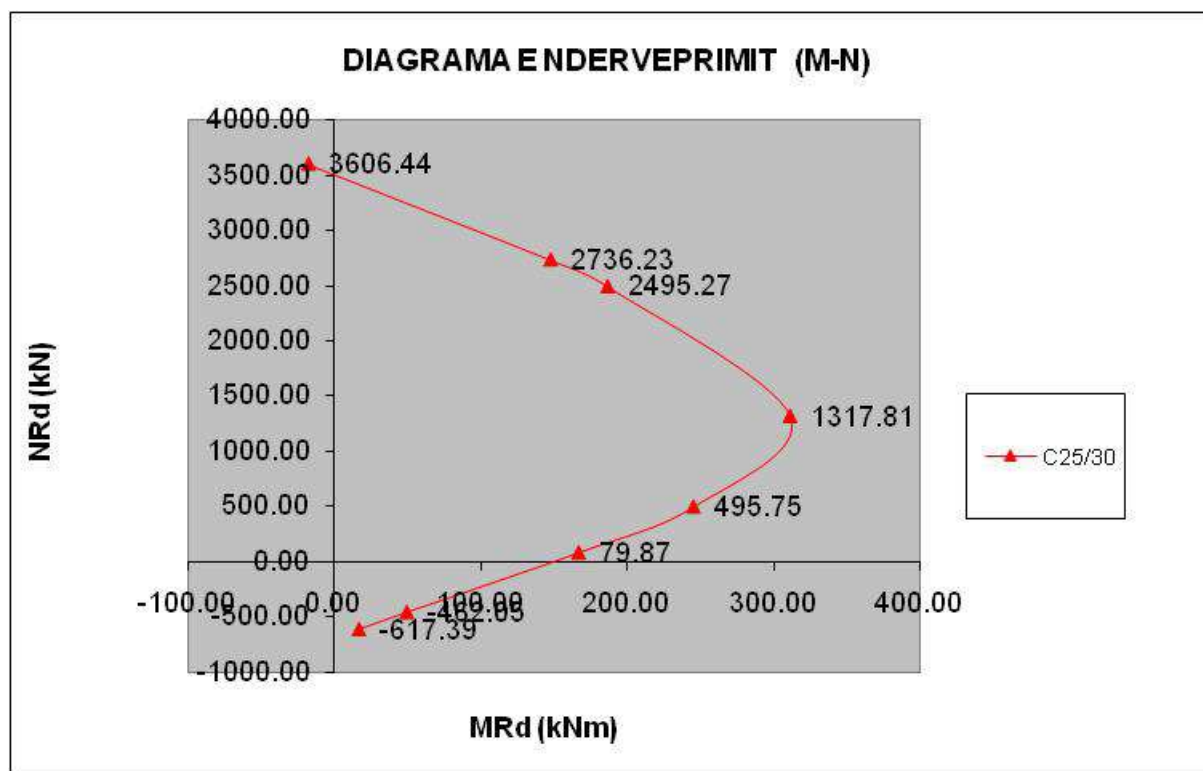


Figura 3.40 Diagrama e ndërveprimit M – N të elementit betonarme të përforcuar me FRP

Në figuren 3.41 tregohen të mbivendosura të dy diagramat. Me ngjyrë blu është treguar diagrama betonit të parrethuar. Me ngjyrë të kuqe është treguar diagrama e betonit të rrethuar.

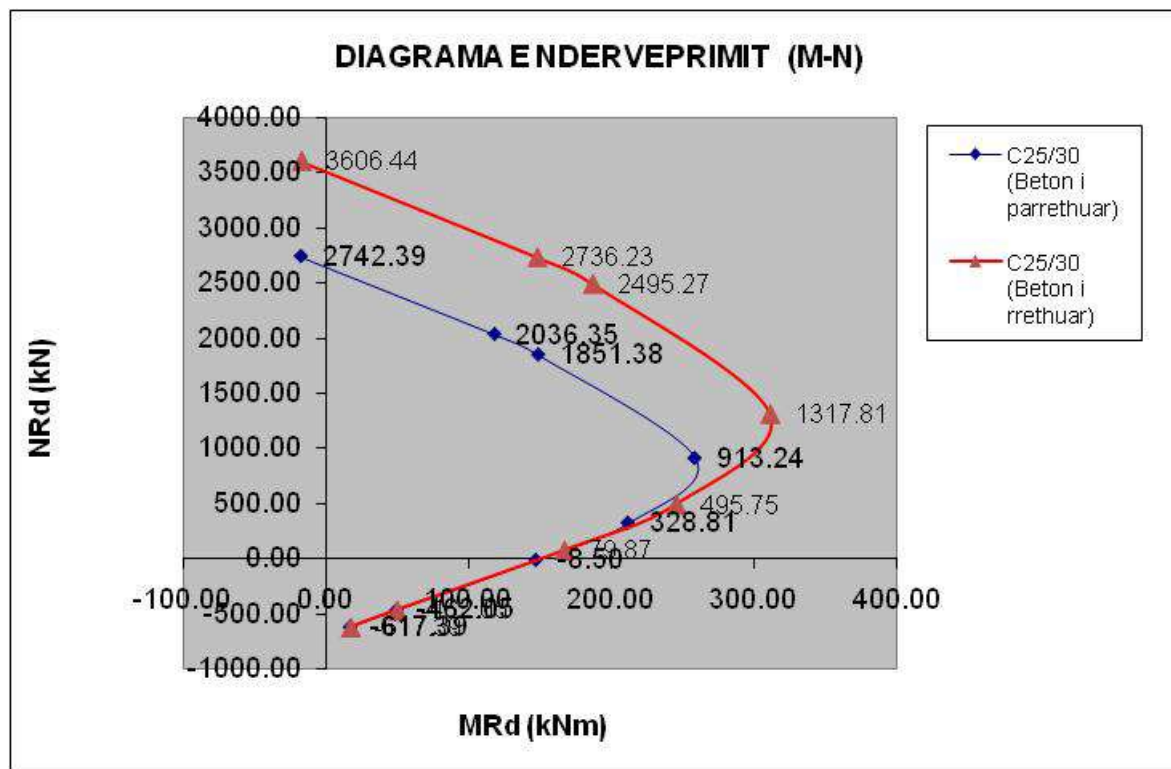


Figura 3.41 Diagramat e ndërveprimit M – N të elementit betonarme të përforcuar me FRP dhe të papërforcuar

Duke parë figurën 3.41 mund të themi se roli i FRP konsiston në rritjen rezistencës në shtypje të betonit gjë që është njëloj sikur të rritnim klasën e betonit. Kjo është arsyeja pse në zonën e shtypur (zona mbi aksin horizontal të diagramës) kemi një “fryrje” të diagramës M-N, që do të thotë rritje e aftësisë mbajtëse në shtypje. Ndërsa në zonën e tërhequr (zona nën aksin horizontal të diagramës) të dyja diagramat janë identike, pasi siç dihet kontributi i betonit në tërheqje është gati i papërfillshëm.

Në figurën 3.42 tregohet diagrama e ndërveprimit për të njëjtin element të përforcuar me FRP, por në këtë rast kemi marrë në shqyrtim tre klasa betoni, C20/25, C25/30 dhe C30/37, duke ruajtur të pandryshuar të gjitha të dhënat e tjera. Siç duket, me rritjen e klasës së betonit rritet aftësia mbajtëse e elementit, sidomos në zonën e shtypur të tij.

Nga krahasimi i grafikëve të paraqitur në figurat 3.41 dhe 3.42 del edhe një herë në dukje nga pikëpamja cilësore se si ndikon përforcimi me FRP në rritjen e aftësisë mbajtëse të një elementi betonarme në shtypje jashtëqëndrore. Pra, përforcimi me FRP rrit rezistencën në shtypje të

betonit me anë të rrethimit që përforcimi kryen. Në mënyre jo të drejtpërdrejtë kjo do të thotë “ritje e klasës së betonit”. Kjo është arsyeja pse nga pikëpamja cilësore, logjike, grafikët e figurave 3.41 dhe 3.42 janë njëloj.

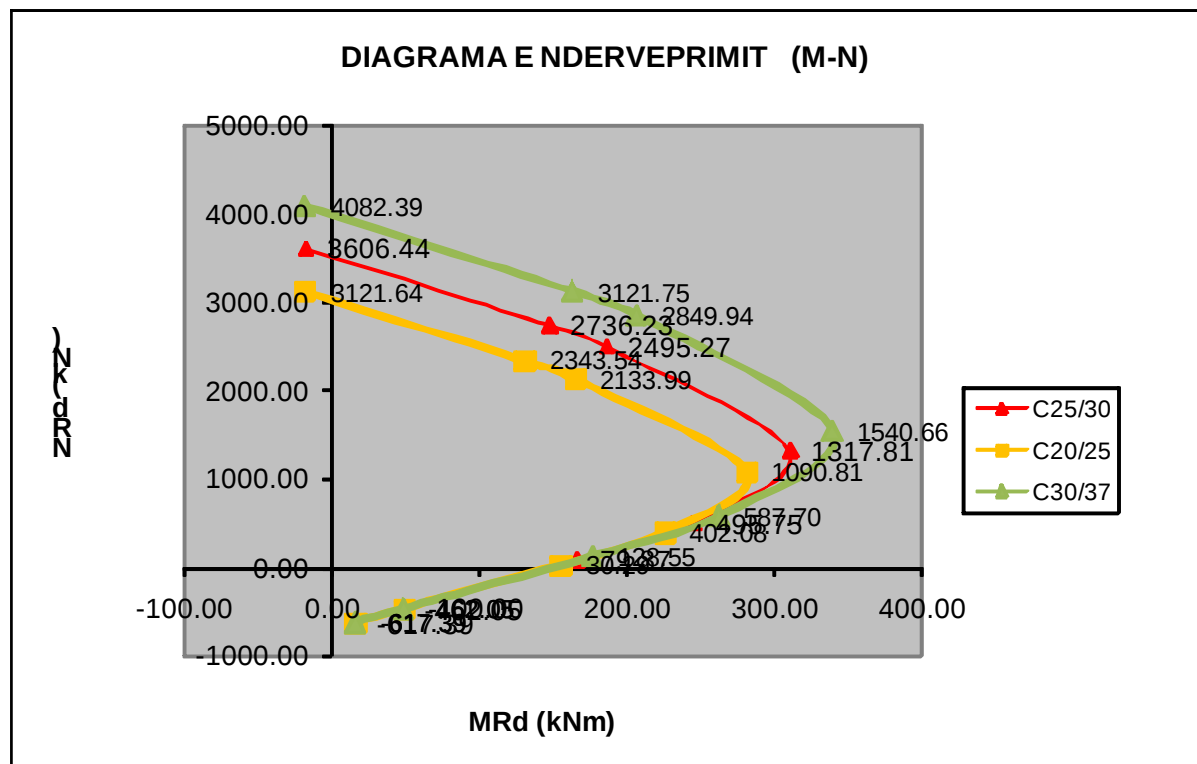


Figura 3.42 Diagramat e ndërveprimit M – N të elementit betonarme të përforcuar me FRP, për klasa të ndryshme të betonit

Në figuren 3.43 tregohet diagrama e ndërveprimit për tre raste të ndryshme të armatures së zonës së tërhequr. Sikurse shihet, ndryshe nga figurat 3.41 dhe 3.42, rritja e armaturës së zonës së tërhequr sjell rritjen në aftësi mbajtëse në tërheqje të elementit. Ndërsa pjesa e grafikut që i takon aftësisë mbajtëse në shtypje mbetet pothuajse e pandryshuar.

Në figurën 3.44 tregohet diagrama e ndërveprimit për tre raste të ndryshme të modulit të elasticitetit të FRP. Sigurisht me rritjen e modulit të elasticitetit rritet ndihmesa e përforcimit me FRP në rritjen e rezistencës në shtypje të betonit. Për pasojë rritet edhe aftësia mbajtëse përkatëse e elementit betonarme.

Rritja e ndihmesës së përforcimit me FRP mund të realizohet duke rritur modulën e elasticitetit të tyre (E_f), duke rritur trashësinë e shtresës së FRP (t_f), duke rritur gjerësinë e shiritit të FRP (b_f), duke zvogëluar largësinë midis shiritave të FRP (p_f). Të gjitha këto çojnë në rritjen e

rezistencës së betonit të rrethuar (f_{ccd}) dhe me tej çojnë në rritjen e aftësisë mbajtëse të elementit.

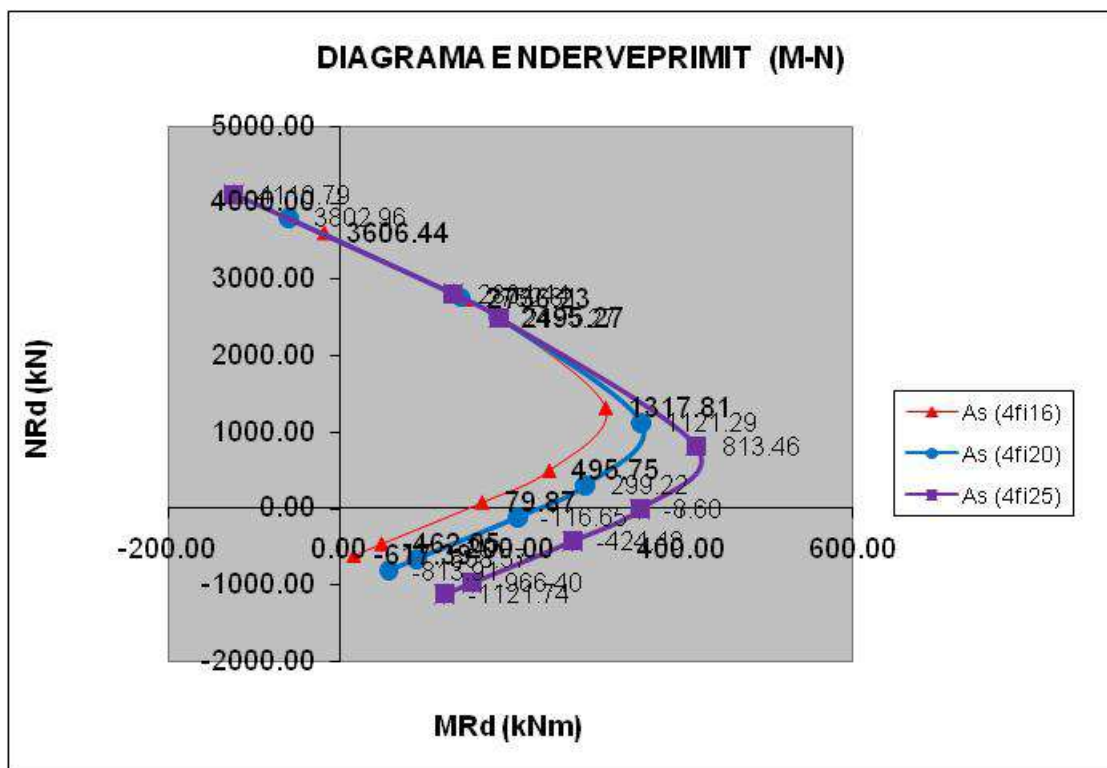


Figura 3.43 Diagramat e ndërveprimit M – N të elementit betonarme të përforcuar me FRP, për sasi të ndryshme armature çeliku

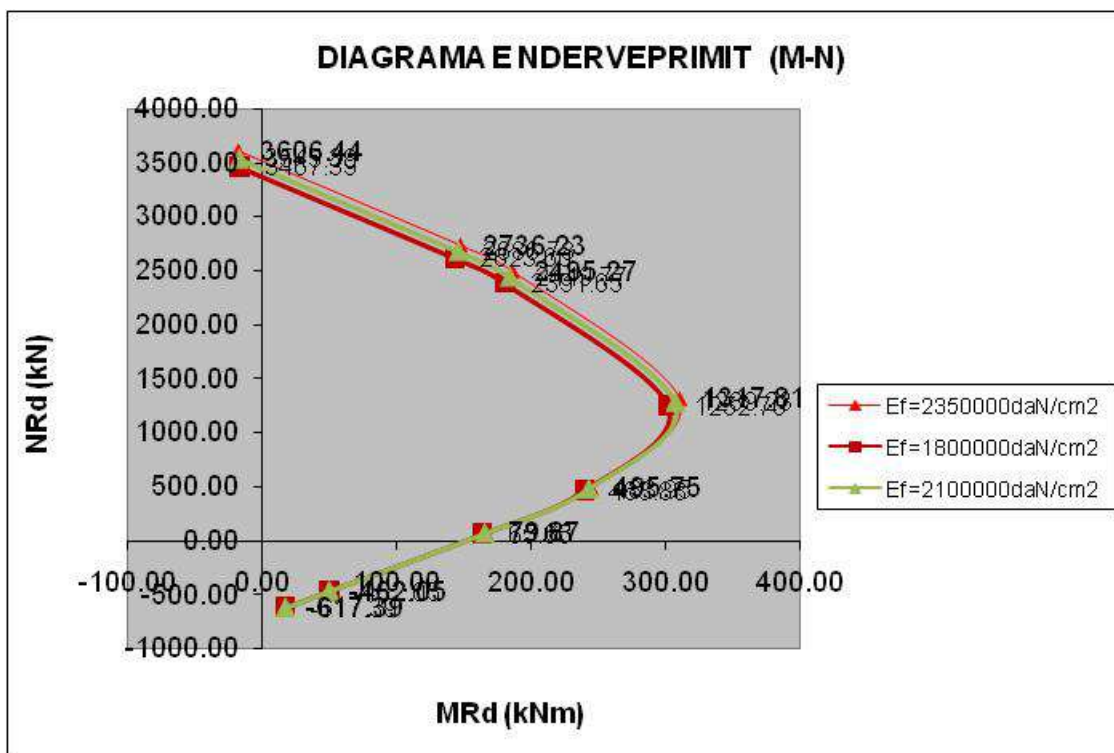


Figura 3.44 Diagramat e ndërveprimit M – N të elementit betonarme të përforcuar me FRP, për module elasticiteti të ndryshëm të FRP

Nga pikëpamja cilësore, po të ndërtonim diagramat e ndërveprimit për faktorët e mësipërm, do të përftonim disa grafikë shumë të ngjashëm me atë të figurës 3.44.

PJESA E KATERT

PERSHTATJA SIZMIKE E STRUKTURAVE **BETONARME NEPERMJET FRP**

4.1 TE PERGJITHSHME

Pjesa e katërt e këtij punimi është një lloj kurorëzimi i gjithçkaje që është shpjeguar në tre pjesët e para. Kujtojmë, që në pjesën e parë u ndalëm në identifikimin e problemit, në qëllimin e temës, përmbajtjen e saj, treguam ç'janë fibrat përforcuese polimere (FRP), ku përdoren ato, llojet e fibrave që përbëjnë FRP, materialin lidhës të tyre (matricat), materialin ngjitës (rezinat), shtesat, treguam si klasifikohen FRP, epërsitë e përdorimit të tyre, etj. Në pjesën e dytë, u ndalëm në teknologjinë e prodhimit (fabrikimit) të FRP, në teknikat e realizimit të tyre, etj. Në pjesën e tretë u ndalëm në përforcimin e elementëve të veçantë betonarme. Studiuam përforcimin e elementëve që punojnë në përkulje nga momenti përkules dhe nga forca prerëse, elementët që punojnë në përdredhje, elementët që punojnë në shtypje qëndrore dhe jashtëqëndrore (shtypje dhe përkulje).

Në këtë pjesë të katërt të punimit të temës se doktoratës, do të ndalemi në përforcimin me FRP të një strukture të tërë betonarme ekzistuese dhe përshtatjen sizmike të saj.

Siç e kemi përmendur edhe më parë një strukturë ekzistuese ka nevojë të përforcohet për shumë arsye:

- Ndaj strukturave me jetë të dobishme të gjatë, siç janë në përgjithësi të gjitha veprat inxhinierike civile, në momente të caktuara kohore mund të shtrohen kërkesa të ndryshme, nga ana e pronareve, përdoruesve apo shoqërisë.
- Një strukturë mund të jetë në gjendje të përballojë veprimet që ushtrohen mbi të, por nga ana tjetër ajo nuk është durable apo nuk përmbush kriteret estetike.
- Mallrat që transportohen janë gjithnjë e më të rënda. Trafiku bëhet gjithmonë e më i dendur. Shpejtësia e automjeteve rritet.
- Njohuritë në fushën e inxhinierisë së strukturave përparojnë.
- Strukturat dëmtohen për arsye të ndryshme. Mund të ndodhë që strukturat të mos jenë të afta të përballojnë ngarkesat që veprojnë mbi to.

- Gjatë zbatimit apo projektimit mund të bëhen gabime.
- Mund të kërkohet të ndryshohet skema statike e strukturës, p.sh. mund të kërkohet të hiqet një mbështetje.
- Materialet përbërës të strukturës janë vjetëruar
- Struktura është dëmtuar nga faktorë veprues aksidentalë, ku mund të përmendim zjarrin, automjetet, korrozionin, erën, lagështinë, etj.
- Është zmadhuar ngarkesa e përkohshme (p.sh. mund të jenë vendosur pajisje të rënda në reparte industriale, është zmadhuar ngarkesa e trafikut në ura, etj.)
- Janë bërë ndryshime arkitektonike të cilat kanë çuar në ndryshime strukturore.
- Normativat teknike në përgjithësi dhe sidomos ato antisizmike janë në ndryshim të vazhdueshëm.

Të gjitha këto arsye, dhe të tjera, çojnë në domosdoshmërinë e rritjes së nivelit të performancës teknike të strukturave. Një rrugë e mundshme për të rritur nivelin e performancës teknike dhe në menyrë të veçantë për të rritur aftësinë mbajtëse të strukturës është përforcimi i saj. Ka disa mënyra për përforcimin e strukturave. P.sh. shtimi i materialeve të reja strukturore, shtimi i armaturës së paranderur, ndryshimi i sistemit konstruktiv, etj. Këto metoda janë përdorur me sukses. Në dekadën e fundit gjithmonë e më shumë po përhapen metodat e përforcimit të strukturave me ndihmën e materialeve të përbërë (kompozitë), FRP (Fiber Reinforced Polymer, Fibra Përforcuese Polimere), të cilat kanë rezistencë shumë të lartë në tërheqje dhe lidhen me sipërfaqen e një elementi strukturor, duke e përforcuar atë.

Në këtë punim do të përqëndrohemi në përshtatjen sizmike të strukturave me anë të FRP.

Ç'është përshtatja sizmike e strukturave? Në literaturën në gjuhën angleze përdoret termi "retrofitting". Në literaturën në gjuhën italiane përdoret termi "adeguamento sismico". Me kalimin e kohës normativat antisizmike kudo në botë kanë ardhur duke u përmirësuar dhe duke u bërë gjithmonë e më të rrepta nga pikëpamja teknike. Si pasojë, një strukturë e konceptuar, modeluar, projektuar dhe ndërtuar në një periudhë kohe të caktuar, mund të mos i përmbushë rregullat apo ligjet e formuluar nga normativat e reja antisizmike. Në këtë situatë, para inxhinierit del si detyrë përshtatja (ndërhyrja në strukturën e ndërtesës), me qëllim që pas kësaj ndërhyrjeje (përshtatjeje) struktura e ndërtesës të jete në gjendje të përmbushë rregullat e normativave të reja. Ekzistojnë një mori mënyrash, formash, materialesh të cilat inxhinieri mund t'i përdorë për përshtatjen sizmike të strukturave ekzistuese. Një

nga mënyrat më moderne dhe që përdoret gjithmonë e më gjerësisht është përforsimi apo përshtatja sizmike me anë të Fibrave Përforsuese Polimere (FRP).

Nëse do të formulonim një përkufizim, do të thonim se përshtatja sizmike e strukturës së një ndërtese është tërësia e përforsimeve, ndërhyrjeve, modifikimeve strukturore që i behen asaj, me qëllim që pas kësaj kjo strukturë të përmbushë rregullat dhe ligjet e normativave antisizmike në fuqi.

Sikurse e theksuam edhe më lart, do të mundohemi të realizojmë përshtatjen sizmike të një strukture me ndihmën e FRP.

Ç'do të thotë, nga pikëpamja teknike, përshtatje sizmike e strukturave me ndihmën e FRP?

Në zonat sizmike ndërhyrja me FRP në elementet betonarme finalizohet kryesisht me arritjen e objektivave të mëposhtëm:

- Rritja e rezistencës në përkulje të thjeshtë apo të përbërë, nëpërmjet aplikimit të fibrave të vendosura sipas drejtimit të aksit të elementit. Përveç tyre mund të vendosen edhe fibra në drejtime të tjera.
- Rritja e rezistencës në prerje të elementeve, nëpërmjet aplikimit të FRP, me fibrat të vendosura pingul me aksin e elementit dhe përveç tyre, nëpërmjet vendosjes së fibrave edhe në drejtime të tjera.
- Rritja e duktilitetit të seksionit të trareve ose kolonave përmes mbështjelljes me FRP me fibra të vazhduara përgjate perimetrit.
- Përmirësimi i efikasitetit të xhuntimeve përmes mbështjelljes me FRP me fibra të vazhduara të vendosura përgjatë perimetrit.
- Ndalimi, përmes mbështjelljes me FRP me fibra të vazhduara të vendosura përgjate perimetrit, të humbjes së qëndrueshmërisë së armaturës gjatësore që i është nënshtruar shtypjes.
- Rritja e rezistencës në tërheqje të nyjeve tra – kolonë përmes aplikimit të shiritave me FRP me fibra të vendosura sipas drejtimit të sforcimeve tërheqëse.
- Rritja e aftësisë mbajtëse të kolonave me anë të rrethimit (shtrëngimit) të tyre me FRP.

4.2 NORMATIVAT ANTISIZMIKE NE REPUBLIKEN E SHQIPERISE

Në vendin tonë normativat antisizmike në fuqi përmbledhen në të ashtuquajturin “Kusht teknik projektimi për ndërtimet antisizmike, KTP –

N.2 – 89”, i miratuar me vendimin Nr.40, date 10.01.1989, nga Këshilli Shkencor i Ministrisë së Ndërtimit.

Në këtë kusht teknik përcaktohen masat e nevojshme për mbrojtjen antisizmike të ndërtesave dhe veprave inxhinierike në mënyrë që, në rast tërmetesh, të shmangen dëmtimet që rrezikojnë jetën e njerëzve, të sigurohet ruajtja e veprave, pajisjeve, të mirave materiale të çmueshme, si edhe të mos ndërpriten veprimtaritë me rëndësi jetësore për ekonominë e vendit.

Sipas KTP N.2 – 89, në zonat sizmike, trojet e shesheve të ndërtimit ndahen në tri kategori, I, II dhe III, të cilat përcaktohen në bazë të:

1. Studimeve të mikrozonimit sizmik (kur ka të tilla).
2. Në bazë të studimeve përkatëse gjeologo-inxhinierike (kur mungojnë studime të mikrozonimit sizmik).

Nga pikëpamja sizmike, në zgjedhjen e shesheve të ndërtimit duhet të mbahet parasysh:

1. Më të favorshme janë trojet e kategorisë së I dhe të II, në thellësi të ujërave nëntokësore më të madhe se 5m (matur nga sipërfaqja e tokës).
2. Nuk janë të favorshëm:
 - a) Troje të kategorisë së III të ngopura me ujë, rëra me mundësi lëngëzimi, torfë, lymra, depozitime të mbushjeve të reja të pangjeshura.
 - b) Troje me pjerrësi më të madhe se 1:3 (përfshirë këtu edhe terrene shkëmbore, në qoftë se në to ka shtresëzime, çarje, prishje tektonike) që mund të shkaktojnë rrëshqitjen e materialit dhe blloqeve shkëmbore.
 - c) Troje me zhvillim të theksuar të karstit dhe të shembjeve ose që ndodhen drejtpërdrejtë mbi galeritë e minierave.
 - d) Në zonat që, sipas studimeve inxhiniero-gjeologjike, ose të mikrozonimit sizmik, konsiderohen zona të zhvillimit të dukurisë së lëngëzimit të rërave apo të deformimeve të mëdha mbetëse në sipërfaqe, shtresat që lëngëzohen nuk duhet të përdoren si shtresa të drejtpërdrejta mbajtëse të ngarkesave. Në rast se është e domosdoshme të ndërtohet mbi këto shtresa apo në përgjithësi në troje jo të favorshëm të përcaktuar më sipër, duhen marrë masa speciale inxhinierike për forcimin e aftësisë mbajtëse të tyre.

AKADEMIA E SHKENCAVE
Qendra Sizmologjike

MINISTRIA E NDËRTIMIT
Drejtoria e Projektimeve

KUSHT TEKNIK PROJEKTIMI
PËR NDËRTIMET ANTISIZMIKE
KTP - N.2 - 89

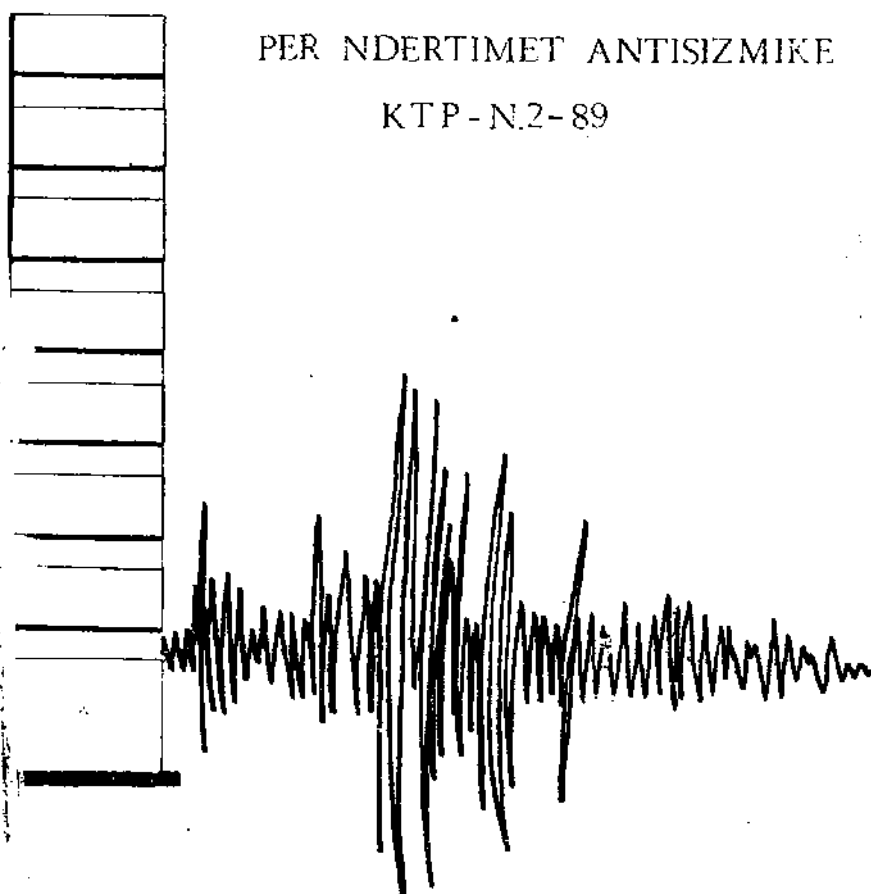


Figura 4.1 Faqja e parë e KTP – N.2 – 89

3. Troje të papërshtatshme për ndërtime janë:

- a) Troje me rrëshqitje aktive dhe rrëshqitje pasive që mund të riaktivizohen nga tërmetet.

b) Troje që ndodhen në zonat e thyerjeve tektonike aktive.

Lëvizja sizmike e truallit mund të ketë një drejtim të çfarëdoshëm në hapësirë. Ajo përbëhet nga tri përbërëset translativë ortogonale, dy horizontale dhe një vertikale.

Intensiteti i lëvizjes sizmike të truallit të sheshit të ndërtimit vlerësohet me anë të koeficientit të sizmicitetit k_E , i cili paraqet raportin mes shpejtimit llogaritës të truallit dhe shpejtimit të rënies së lirë, g . Për secilën nga përbërëset e levizjes sizmike, vlerat e koeficientit k_E , në varësi të intensitetit sizmik (në ballë) dhe kategorisë së truallit të sheshit të ndërtimit, jepen në tabelen 4.1.

Kategoria e truallit	Vlerat e koeficientit k_E për intensitetin sizmik		
	VII balle	VIII balle	IX balle
I	0.08	0.16	0.27
II	0.11	0.22	0.36
III	0.14	0.26	0.42

Tabela 4.1 Vlerat e koeficientit k_E

Në përgjithësi, llogaritjet e konstruksioneve ndaj veprimit sizmik kryhen duke marrë parasysh tri përbërëset translativë të levizjes sizmike të truallit sipas drejtimeve ortogonale x, y (horizontale) dhe z (vertikale), të caktuara në baze të karakteristikave gjeometriko – strukturore të objektit ndërtimor që projektohet.

Në llogaritjet përkatëse të respektohen kërkesat e pikave të mëposhtme:

1. Në rastin e ndërtesave dhe veprave inxhinierike me rregullsi strukturore, boshtet x dhe y zgjidhen sipas boshteve gjatësore dhe tërthore të ndërtesave (veprave), kurse në raste të tjera duhet të zgjidhen sipas drejtimeve më të rrezikshme për konstruksionin e dhënë dhe elementet e tij.
2. Në çdo element të një konstruksioni ndërtimi, vlera llogaritëse e një faktori të çfarëdoshëm S_{eq} , që lind për shkak të veprimit të tërmetit, d.m.th. vlera llogaritëse e sforcimit (momentit për kulës, momentit përdredhës, forcës prerëse, forcës normale) apo e zhvendosjes për shkak të këtij veprimi, merret sa vlera më e madhe që del nga kombinimet e mëposhtme:

$$S_{eq} = S_{eq,x} + \lambda \cdot S_{eq,y} + \lambda \cdot S_{eq,z} \quad (1)$$

$$S_{eq} = \lambda \cdot S_{eq,x} + S_{eq,y} + \lambda \cdot S_{eq,z} \quad (2)$$

$$S_{eq} = \lambda \cdot S_{eq,x} + \lambda \cdot S_{eq,y} + S_{eq,z} \quad (3)$$

$S_{eq,x}$ dhe $S_{eq,y}$ janë vlerat e faktorit që dalin nga llogaritja e konstruksionit veç e veç ndaj përbërëseve horizontale të lëvizjes sizmike të truallit, përkatesisht sipas boshteve x dhe y (të cilët zgjidhen nga projektuesi), kurse $S_{eq,z}$ është vlera e faktorit që del nga llogaritja ndaj përbërëses vertikale sizmike sipas boshtit z.

Koeficienti λ merr vlerat:

1. $\lambda = 0$, për rastin e ndërtimeve (veprave) që kanë regullsi strukturore.
2. $\lambda = 0.3$, për raste të tjera.

Të mbahet parasysh fakti që secila nga përbërëset e veprimit sizmik mund të veprojnë në të dy krahët.

Përbërësja vertikale sizmike merret parasysh vetem në:

1. Konstruksionet dhe elementet ndërtimore të tipit konsol, horizontale dhe të pjerret.
2. Ramat, harqet, kapriatat, mbulesat hapsinore të ndërtesave dhe veprave inxhinierike, hapsira dritë e të cilave është 20m e më tepër.
3. Urat me hapesirë dritë më të madhe se 18m.
4. Veprat inxhinierike që kontrollohen në qëndrueshmëri ndaj përmbysjes dhe rrëshqitjes.
5. Konstruksionet e gurit dhe të tullës.

Veprimet sizmike trajtohen si ngarkesa të veçanta dhe hyjnë në llogaritjen e konstruksioneve dhe bazamenteve të veprave inxhinierike sipas kombinimit të veçantë të ngarkesave.

Në llogaritjen e ndërtesave dhe të veprave inxhinierike sipas kombinimit të veçantë të ngarkesave, koeficienti i kombinimit për veprimin sizmik merret 1.0, kurse vlerat e ngarkesave të tjera llogaritetë duhet të shumëzohen me koeficientët e kombinimit që jepen në tabelën 4.2.

Llojet e ngarkesave	Vlerat e koeficientëve të kombinimit të veçantë
Të përhershme	0.9
Të përkohshme me veprim të gjatë	0.8

Të përkohshme me **0.4**
veprim të shkurtër

Tabela 4.2 Koeficientët e kombinimit të veçantë

Llogaritja e ndërtesave dhe veprave inxhinierike ndaj veprimeve sizmike kryhet:

1. Në bazë të analizës modale me metodën e spektrit të reagimit (ngarkesat sizmike llogaritëse të përcaktuara sipas kësaj metode pranohen si ngarkesa ekuivalente statike dhe ushtrohen në vendin e masave të përqëndruara).
2. Me anë të përdorimit të analizës dinamike të drejtpërdrejtë (nëpërmjet integritit të ekuacioneve të lëvizjes), duke i zgjedhur akselerogramat llogaritëse mbi bazën e studimeve të sizmicitetit të sheshit të ndërtimit, veçorive gjeomorfologjike e gjeoteknike të tij; ndërkaq amplitudat më të mëdha të shpejtimeve në akselerogramat e zgjedhura të merren jo më pak se $k_E \cdot g$.

k_E – koeficienti i sizmicitetit të sheshit të ndërtimit

g – shpejtimi i rënies së lirë.

Për llogaritjen e ngarkesave sizmike ndërtesat dhe veprat inxhinierike modelohen me anë të skemave të përshtatshme dinamike, që marrin parasysh veçoritë e tyre dhe kushtet konkrete të lidhjeve me tokën.

Modelet e thjeshtë llogaritëse konceptohen duke i përqëndruar masat e konstruksioneve në disa nivele (pika) në formën e sistemeve me numër të kufizuar shkallësh lirie. Zakonisht, në rastin e ndërtesave dhe veprave me rregullsi strukturore, secilës masë mund t'i jepet vetëm një shkallë lirie që korespondon me zhvendosjen në drejtimin e veprimit sizmik të konsideruar.

Për llogaritjen ndaj veprimeve horizontale sizmike ndërtesat që nuk kanë rregullsi strukturore mund të modelohen duke iu dhënë masave të çdo niveli (kati) nga tre shkallë lirie: dy zhvendosje horizontale dhe një rrotullim, të gjitha në planin horizontal.

Në mungesë të të dhënave të veçanta mbi karakteristikat elastike dinamike të materialeve të elementeve konstruktive mbajtës dhe themeleve (modulet e elasticitetit), vlerat e tyre të merren sa ato që përdoren në llogaritjet statike.

Për llogaritjen e ndërtesave dhe veprave inxhinierike të ndryshme me metoden e spektrit të reagimit, në rastin e veprimeve sizmike

horizontale, vlerat llogaritëse (të projektimit) të spektrit të reagimit të shpejttimeve S_a të merren nga shprehja:

$$S_a = k_E \cdot k_r \cdot \psi \cdot \beta \cdot g \quad (4)$$

k_E – koeficienti i sizmicitetit

k_r – koeficienti i rëndësisë së objektit ndërtimor

ψ – koeficienti i reagimit të strukturave nën veprimin sizmik

β – koeficienti dinamik, vlerat e të cilit varen nga periodat vetjake të lëkundjeve të lira

g – shpejtimi i rënies së lirë.

Kur për llogaritjen e ndërtesave dhe veprave inxhinierike ndaj veprimit sizmik horizontal skema e llogaritjes pranohet në formën e shufrës vertikale me masa të përqëndruara, forca sizmike horizontale, që ushtrohet në pikën (nivelein) “k” dhe që i përgjigjet tonit “i” të lëkundjeve vetjake, llogaritet me formulën:

$$E_{ki} = k_E \cdot k_r \cdot \psi \cdot \beta_i \cdot \eta_{ki} \cdot Q_k \quad (5)$$

β_i – është koeficienti dinamik që i përgjigjet periodës T_i të tonit “i” të lëkundjeve vetjake.

1. Për troje të kategorisë I: $0.65 \leq \beta_i = 0.7/T_i \leq 2.3$.

2. Për troje të kategorisë II: $0.65 \leq \beta_i = 0.8/T_i \leq 2.0$.

3. Për troje të kategorisë III: $0.65 \leq \beta_i = 1.1/T_i \leq 1.7$.

η_{ki} – është koeficienti i shpërndarjes së ngarkesës sizmike të llogaritjes, që i përgjigjet formës “i” të lëkundjeve vetjake të konstruksionit në pikën (nivelein) “k”.

$$\eta_{ki} = \Phi_{ki} \frac{\sum_{j=1}^n Q_j \cdot \Phi_{ji}}{\sum_{j=1}^n Q_j \cdot \Phi_{ji}^2} \quad (6)$$

Φ_{ki} dhe Φ_{ji} – janë zhvendosjet e konstruksionit të ndërtesës ose veprës inxhinierike gjatë lëkundjeve vetjake sipas tonit “i”, të llogaritura për pikën “k”, që shqyrtohet për të gjitha pikat “j”, ku në përputhje me skemën llogaritëse, bëhet përqëndrimi i peshave përkatëse.

Q_k – është pesha e pjesës së ndërtesës ose veprës inxhinierike që përqendrohet në pikën (nivelein) “k” dhe që përcaktohet në bazë të ngarkesave llogaritëse (të përhershme dhe të përkohshme) të reduktuara me koeficientet e kombinimit të tabelës 4.2.

4.3 NORMATIVAT ANTISIZMIKE EUROPIANE (EUROKODET)

4.3.1 Zonat sizmike

Në bazë të Eurokodeve territori kombëtar ndahet në zona sizmike, dhe secila prej tyre vlerësohet me një vlerë të ndryshme të parametrin a_g , që është shpejtimi horizontal maksimal në terren të kategorisë A. Vlerat e a_g të shprehura si fraksion i shpejtimit gravitacional g , të përshtatura për çdo zonë sizmike të territorit kombëtar tregohen në tabelën 4.3.

Zona	Vlera e a_g
1	0.35 g
2	0.25 g
3	0.15 g
4	0.05 g

Tabela 4.3 Vlerat e shpejtimit a_g për truall të kategorisë A

4.3.2 Përshkrimi i veprimit sizmik

Modeli të cilit i referohemi për përshkrimin e lëkundjes sizmike në një pike të sipërfaqes së trualli bazohet në spektrin e reagimit elastik. Lëvizja horizontale konsiderohet e përbërë nga dy komponente pingule të pavarura dhe karakterizohet nga i njëjti spektër reagimi. Përbërësja vertikale e lëkundjes sizmike përfaqësohet nga një spektër reagimi elastik i ndryshëm nga përbërëset horizontale.

4.3.3 Spektri i reagimit elastik

Spektri i reagimit elastik është i përbërë nga një formë spektrale (spektër i normalizur), e cila konsiderohet e pavarur nga shkalla e sizmicitetit, e shumëzuar kjo me vlerën e shpejtimit maksimal të terrenit ($a_g \cdot S$). Spektri i reagimit elastik të përbërësës horizontale përcaktohet nga shprehjet e mëposhtme:

$$0 \leq T \leq T_B: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} (\eta \cdot 2.5 - 1) \right] \quad (7)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \frac{T_C}{T}$$

$$T_D \leq T \leq 4 \text{ sek.}: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2}$$

S – faktor që merr parasysh profilin gjatësor të terrenit ku mbështeten themelet.

η – koeficient korigjues i shuarjes, merr parasysh një shuarje të tipit viskoz të barazvlefshëm me $\xi\%$ (për $\xi = 5\%$ $\eta = 1$). Në formë të përgjithësuar:

$$\eta = [10/(5 + \xi)] \geq 0.55 \quad (8)$$

T - perioda e lëkundjeve të lira

T_B, T_C, T_D – perioda që ndajnë degë të ndryshme të spektrit, të varura nga profili gjatësor gjeologjik i truallit ku mbështeten themelet. Vlerat e T_B, T_C, T_D , për përbërëset horizontale të lëkundjeve, në varësi të kategorisë së truallit ku mbështeten themelet, jepen në tabelën 4.4:

Kategoria e truallit	S	T_B (sek)	T_C (sek)	T_D (sek)
A	1.00	0.15	0.4	2.0
B	1.20	0.15	0.5	2.0
C	1.15	0.20	0.6	2.0
D	1.35	0.20	0.8	2.0
E	1.40	0.15	0.5	2.0

Tabela 4.4 Vlerat e disa faktorëve përbërës të shprehjeve (7)

Spektri i reagimit elastik të përbërëses vertikale përcaktohet nga shprehjet e mëposhtme:

$$0 \leq T \leq T_B: \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} (\eta \cdot 3.0 - 1) \right] \quad (9)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3.0$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3.0 \cdot \frac{T_C}{T}$$

$$T_D \leq T \leq 4\text{sek.}: S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3.0 \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2}$$

Vlerat e parametrave që përcaktojnë formën spektrale tregohen në tabelën 4.5:

Kategoria e truallit	S	T_B (sek)	T_C (sek)	T_D (sek)
A,B,C,D,E	0.9	0.05	0.15	1

Tabela 4.5 Vlerat e parametrave të spektrit vertikal

Spektri i reagimit elastik të zhvendosjes mund të merret nga transformimi direkt i spektrit të reagimit elastik të shpejtimit, duke përdorur shprehjen (10):

$$S_{De}(T) = S_e(T) \cdot [T/2]^2 \quad (10)$$

Spektrat e sipërpërmendur mund të aplikohen për perioda lëkundjeje që nuk kalojnë 4 sek. Për perioda më të mëdha spektri duhet të përcaktohet nga studime të mëtejshme.

Në rastet kur nuk mund të vlerësohet në mënyrë të përshtatshme nëse profili gjeologjik i përket ndonjëres prej kategorive të truallit ku mbështeten themelet, do të pranohet në përgjithësi kategoria D, ose në rast se kemi dyshime mes dy kategorive do të zgjedhim rastin më të disfavorshëm.

4.3.4 Zhvendosja dhe shpejtësia e terrenit

Madhësitë e zhvendosjes dhe të shpejtësisë horizontale maksimale të truallit (d_g) e (v_g) vlerësohen nga shprehjet e mëposhtme:

$$d_g = 0.025 \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \cdot a_g \quad (11)$$

$$v_g = 0.16 \cdot S \cdot T_C \cdot a_g \quad (12)$$

4.3.5 Spektri i projektimit për gjendjen e fundme kufitare

Në përfundim të projektit, aftësitë e strukturës për të shndërruar energjinë mund të merren parasysh përmes një faktori reduktues për forcat elastike, i ashtuquajtur faktori struktural q . Veprimi sizmik i projektimit $S_d(T)$ në këtë rast jepet nga spektri i reagimit elastik me koordinata të reduktuara duke përdorur faktorin q . Vlerat numerike të faktorit q përcaktohen në funksion të materialeve dhe tipit të strukturës. Spektri i projektimit për komponentet horizontale përcaktohet nga shprehjet e mëposhtme:

$$0 \leq T \leq T_B: \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (13)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C}{T} \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}$$

$$T_D \leq T: \quad S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T} \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}$$

Do të pranohet gjithashtu $\beta = 0.2$.

Përveç rasteve të analizave të justifikuara, spektri i projektimit i komponentes vertikale të veprimit sizmik përftohet nga shprehjet (13), duke pranuar $q=1.5$, $a_{vg} = 0.9a_g$, $S = 1.0$, për çdo lloj materiali e tip strukture. Të gjitha madhësitë mbajnë vlerat numerike që u përcaktuan në rastin e spektrit elastik të reagimit.

4.3.6 Spektri i projektimit për gjendjen kufitare të shërbimit

Spektri i projektimit që duhet adaptuar për të kufizuar dëmtimet mund të merret duke reduktuar spektrin elastik sipas një faktori të barabartë me 2.5.

4.3.7 Kombinimi i veprimit sizmik me veprimet e tjera

Në përputhje me EN 1998-1:2004, pika 3.2.4.2(P) ndikimi i tërmetit në projektim duhet të vlerësohet duke marrë parasysh masat lëkundëse të ngarkesave gravitacionale sipas shprehjes (14).

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i} \quad (14)$$

$\psi_{E,i}$ është koeficienti i kombinimit të veprimit variabël $Q_{k,i}$ që merr parasysh probabilitetin që të gjithë ngarkesat $\psi_{0i} \cdot Q_{ki}$ apo $\psi_{2i} \cdot Q_{ki}$ të jenë të pranishme në strukturë në momentin e goditjes sizmike, dhe përftohet nga shprehja (15):

$$\psi_{E,i} = \varphi \cdot \psi_{2i} \quad (15)$$

Formula që tregon thelbin e kombinimit sizmik është:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (16)$$

Simbolet e përdorura kanë këtë kuptim:

$G_{k,j}$ – veprimet e përhershme karakteristike

$\gamma_{G,j}$ – koeficientët e pjesshëm përkatës

P – forca e parandërjes

γ_P – koeficienti i pjesshëm përkatës

$Q_{k,i}$ – veprimet e ndryshueshme karakteristike

$\gamma_{Q,i}$ – koeficientët e pjesshëm përkatës

A_d – veprimi i veçantë (i jashtëzakonshëm) në vlerën e tij llogaritëse (të projektimit)

A_{Ed} – veprimi sizmik në vlerën e tij llogaritëse (të projektimit)

ψ_{2i} – koeficient që jep vlerën e kombinimit gati të përhershme të $Q_{k,i}$

Vlerat e madhësive ψ_{0i} , ψ_{2i} , φ jepen në tabelat 4.6 dhe 4.7:

Qëllimi i përdorimit	ψ_{0i}	ψ_{2i}
Godina banimi, zyra	0.7	0.3
Shkolla, dyqane	0.7	0.6
Garazhe	0.7	0.6
Cati e mbulesa me dëborë	1.0	0.8
Magazina, shkallë, arkiva	0	0

Tabela 4.6 Vlerat e koeficienteve ψ_{0i} , ψ_{2i}

NGARKESAT NE KATE

φ

Ngarkesa të pavarura	Mbulesa	1.0
	Katet e tjera	0.5
Arkiva		1.0
Ngarkesa të lidhura me disa kate	Mbulesa	1.0
	Kate të lidhura me disa ngarkesa	0.8
	Kate të tjera	0.5

Tabela 4.7 Vlerat e koeficientit φ

4.3.8 Analiza statike lineare

Analiza statike lineare mund të kryhet për struktura të rregullta në lartësi me kusht që perioda e parë e lëkundjes së strukturës, në drejtimin e marrë në konsideratë, të mos kalojë $2.5 \cdot T_C$. Për godina që nuk i kalojnë 40m në lartësi, në mungesë të llogaritjeve më të detajuara, T_1 mund të vlerësohet duke përdorur shprehjen (17):

$$T = C \cdot H^{3/4} \quad (17)$$

H – është lartësia e godinës në metra, e matur nga niveli i themeleve

C - ka vlerë 0.085 për struktura me rama çeliku, 0.075 për struktura me rama betoni dhe 0.050 për të gjitha llojet e tjera të strukturave.

Analiza statike qëndron në aplikimin e një sistemi forcash të shpërndara përgjatë lartësisë së godinës duke konsideruar një shpërndarje lineare të spostimeve.

Forca që do të aplikohet për çdo kat do të jepet nga shprehja (18):

$$F_i = F_h \cdot (z_i \cdot W_i) / \sum (z_j \cdot W_j) \quad (18)$$

$$F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda \quad (19)$$

F_i – forca që do të aplikohet në katin e i -të

W_i dhe W_j – peshat e masave lëkundese në nivelet i dhe j

z_i dhe z_j – lartësitë e niveleve i dhe j të matura nga niveli i themeleve

$S_d(T_1)$ – spektri i reagimit i projektimit

W – është pesha e përgjithshme e ndërtesës, e llogaritur sipas çdo tipi strukture

λ – është një koeficient i barabartë me 0.85 nëse godina ka të paktën tre kate dhe nëse $T_1 \leq 2T_C$. $\lambda = 1$ në të gjitha rastet e tjera.

g – nxitimi i rënies së lirë

Efektet e përdredhjes aksidentale, për godina që kanë masë e ngurtësi të shpërndarë simetrikisht në plan, mund të konsiderohen duke shumëzuar forcat që do të aplikohen në çdo element vertikal me faktorin (δ) që rezulton nga shprehja (20):

$$\delta = 1 + 0.6x/L_e \quad (21)$$

x – largësia e elementit vertikal mbajtës nga qendra gjeometrike e godines, e matur pingul me drejtimin e veprimit sizmik dhe L_e është largësia mes dy elementeve më të largët mbajtës, e matur në të njëjtën mënyrë.

4.3.9 Analiza dinamike lineare

Analiza modale lidhur me spektrin e reagimit të projektimit, konsiderohet si metoda normale për përcaktimin e forcave të brendshme të projektimit dhe aplikohet për një model tripërmator të strukturës së ndërtesës. Dy modele plane të ndara mund të përdoren me kusht që të respektohen kriteret e rregullsisë në plan. Duhet të merren në konsideratë të gjithë modelet me masë pjesëmarrëse mbi 5% ose një numër modesh ku masa pjesëmarrëse totale duhet të jetë $\geq 85\%$. Kombinimi i modeve në përfundim të llogaritjeve të forcave të brendshme e spostimeve të përgjithshme, mund të përftohet duke llogaritur rrënjën katrore të shumës së katrorëve të rezultateve të marra nga çdo mod, sipas shprehjes (22), me kusht që perioda e lëkundjes së secilit mod të ndryshojë me të paktën 10% nga të tjerat. Në rast të kundërt, duhet të përdoret shprehja (23):

$$E = (\sum E_i^2)^{1/2} \quad (22)$$

$$E = (\sum_i \sum_j \rho_{ij} \cdot E_i \cdot E_j)^{1/2} \quad (23)$$

E – vlera e plotë e përbërëses së reagimit sizmik që po marrim në konsideratë

E_i – vlera e të njëjtës përbërëse për shkak të modit i-të

E_j – vlera e të njëjtës përbërëse për shkak të modit j-të

ρ_{ij} – koeficient korelues midis modeve i dhe j

$$\rho_{ij} = \frac{8\xi^2(1 + \beta_{ij}) \cdot \beta_{ij}^{3/2}}{(1 - \beta_{ij}^2)^2 + 4\xi^2 \cdot \beta_{ij} \cdot (1 + \beta_{ij})^2} \quad (24)$$

ξ – koeficienti ekuivalent i shuarjes viskoze

β_{ij} – raporti midis frekuencave të secilit çift i-j të modeve

$$\beta_{ij} = \omega_i / \omega_j \quad (25)$$

Efektet e përdredhjes aksidentale mund të konsiderohen në mënyrë analoge me atë që u tregua në rastin e analizës statike lineare.

4.3.10 Analiza statike jolineare (Push – Over)

Analiza statike jolineare kryhet përmes zbatimit (veprimit) në ndërtesë të ngarkesave gravitacionale dhe të një sistemi forcash horizontale që, duke mbajtur të pandryshuara raportet e vetë forcave, shkallëzohen të gjitha në mënyrë të tillë që spostimet horizontale të një “pike kontrolli” të strukturës të rriten në mënyrë graduale, deri sa të arrihen kushtet kufitare.

Kushtet e përcaktuara në normat aktuale aplikohen për ndërtesat të cilat janë të rregullta në plan dhe në lartësi. Metoda mund të përdoret edhe në godinat që nuk janë të rregullta, me kusht që të mbahet parasysh ndryshimi i rigjeditetit dhe në mënyrë respektive edhe formave të lëkundjeve që janë pasojë e zhvillimit të deformacioneve joelastike. Këto modele, që varen nga konfigurimi gjeometrik dhe mekanik specifik i strukturës së ndërtesës që po analizohet, duhet të dokumentohen në mënyrë të përshatshme.

Kjo lloj analize mund të përdoret për qëllimet dhe rastet e mëposhtme:

- Për të vlerësuar raportin e mbirezistencës a_u/a_l .
 - Për të verifikuar efektivitetin e shpërndarjes së kërkesës joelastike në ndërtesat e projektuara me faktorin reduktues q .
 - Si metodë për projektimin e ndërtesave të reja duke zëvendësuar kështu metodat e analizës lineare.
 - Si metodë për të vlerësuar kapacitetin e ndërtesave ekzistuese.
- Metoda ndalet në hapat e mëposhtëm:
- Përcaktimi i një lidhjeje forcë – zhvendosje e përgjithësuar me anë të rezultantes së forcave të aplikuar (“forca prerëse në bazë” F_b)

dhe zhvendosjes d të një “pikë kontrolli”, që zakonisht zgjidhet qendra e rëndesës së katit të fundit.

- Përcaktimi i karakteristikave të një sistemi me një shkallë lirie me sjellje bi-lineare ekuivalente.
- Përcaktimi i zhvendosjes maksimale të këtij sistemi me përdorimin e spektrit të reagimit elastik.
- Shndërrimi i zhvendosjes së sistemit ekuivalent të përcaktuar në konfigurimin e deformuar të ndërtesës dhe verifikimi i përputhshmërisë të zhvendosjeve (elemente/mekanizma duktile) dhe të rezistencave (elemente/mekanizma të thyeshëm).

Për përcaktimin e një lidhje forcë – zhvendosje duhet të zbatohen në strukturë të pakten dy shpërndarje forcash horizontale, të cilat veprojnë në qendrën e rëndesës (qendra e masës) së secilit kat:

- Një shpërndarje forcash në përpjestim me masën
- Një shpërndarje forcash proporcionale me prodhimin e masave me deformimet korresponduese të formës së parë të lëkundjes.

Të gjithë hapat e mësipërm duhet të kryhen për të dyja shpërndarjet e forcave duke bërë verifikimet e duktilitetit e të rezistencës për çdo element/mekanizëm për shpërndarjen më të disfavorshme.

Analiza duhet të vazhdojë deri sa “pika e kontrollit” të arrijë një zhvendosje të barabartë me 150% të zhvendosjes së reagimit. Diagrama rezultante do të ketë në boshtin e abshisave zhvendosjen e “nyjes së kontrollit” dhe në boshtin e ordinatave prerjen në bazë. Në rastin e analizës së ndryshueshme aplikohet shpërndarja e forcave modale, për rrjedhim merret në konsideratë efekti i më shumë formave të lëkundjeve.

Nëpërmjet vektorit $\{\Phi\}$, që përfaqëson formën e parë të lëkundjes së strukturës, i normalizuar sipas përbërëses relative në “pikën e kontrollit”, përcaktohet koeficienti i pjesëmarrjes:

$$\Gamma = \frac{\sum m_i \cdot \Phi_i}{\sum m_i \cdot \Phi_i^2} \quad (26)$$

Forca F^* dhe zhvendosja d^* të sistemit ekuivalent me një shkallë lirie janë të lidhura, në zonën elastike, me madhësitë përkatëse të ndërtesës sipas shprehjeve:

$$F^* = F_b/T \quad (27)$$

$$d^* = d/\Gamma \quad (28)$$

Pra, koordinatat e pikës së rrjedhshmërisë së sistemit bi-linear ekuivalent merren nga:

$$F_y^* = F_{bu}/\Gamma \quad (29)$$

F_{bu} – aftësia mbajtëse maksimale e strukturës së ndërtësës

$$d_y^* = F_y^*/k^* \quad (30)$$

k^* - ngurtësia sekante e sistemit ekuivalent e përftuar nga barazimi i sipërfaqeve siç tregohet në figurën 4.2.

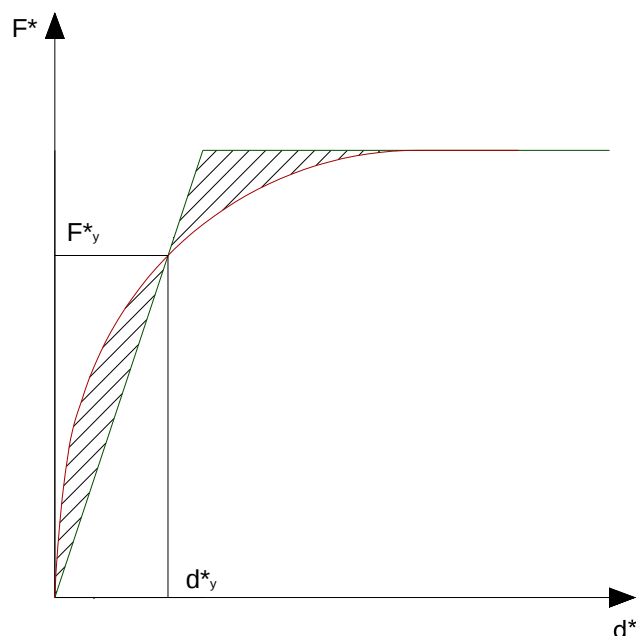


Figura 4.2 Grafiku forcë – zhvendosje

Perioda elastike e sistemit bi-linear jepet nga shprehja (31):

$$T^* = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m^*}{k^*}} \quad (31)$$

$$m^* = \sum m_i \cdot \Phi_i \quad (32)$$

Në rastin kur $T^* \geq T_c$ zhvendosja e sistemit joelastik pranohet e njëjtë me atë të sistemit elastik me të njëjtën periodë:

$$d^* = d_{e,max}^* = S_{De}(T^*) \quad (33)$$

Në rastin kur $T^* < T_c$ zhvendosja e sistemit joelastik është më e madhe se ajo e sistemit elastik me të njëjtën periodë dhe përftohet nga shprehja (34):

$$d_{\max}^* = \frac{d_{e,\max}^*}{q} \cdot \left[1 + (q^* - 1) \frac{T_c}{T^*} \right] \geq d_{e,\max}^* \quad (34)$$

$$q^* = [S_e(T^*) \cdot m^*] / F_y^* \quad (35)$$

q^* - përfaqëson raportin midis forcës të reagimit elastik dhe forcës së rrjedhshmërisë të sistemit ekuivalent. Nëse rezulton $q^* = 1$, atëherë kemi $d_{\max}^* = d_{e,\max}^*$. Zhvendosja efektive e reagimit të strukturës rezulton e barabartë me $\Gamma \cdot d_{\max}^*$.

Po shpjegojmë më poshtë me fjalë të thjeshta, se çfarë është, në thelb, analiza push – over. Kjo analizë tregon në një mënyrë të saktë se çfarë ndodh me strukturën e një ndërtese kur bie tërmeti. Tregon se si sillet kjo strukturë kur toka dridhet. Po të shprehemi në mënyrë figurative, analiza push – over vendos pranë ndërtesës një gjigand që fillon ta shtyjë (“push” në anglisht do të thotë “shtyj”) atë, gjithmonë e më fort, deri në shkatërrim. Në fillim ndërtesa plasaritet, pastaj anohet frikshëm, deri sa në fund shkatërrohet, sikur të ishte prej kartoni. Në fillim plasaritet në mënyrë të dukshme skaji i një trau, pastaj një tjetër, pastaj skaji i një kolone, pastaj një tjetër, deri në shkatërrimin e tërë ndërtesës. Analiza push – over në mënyrë virtuale e çon ndërtesën deri në shkatërrimin e saj, për të kuptuar se çfarë ndodh. Kjo është pak a shumë, me fjalë të thjeshta ideja bazë e analizës. Le të vazhdojmë arsyetimin. Supozojmë se e gjithë struktura është prej kristali. Që në goditjen e parë të gjigandit tonë (tërmetit) ndërtesa do të bëhej thërrime. Është e vërtetë që kristali është i fortë, por është i thyeshëm. Për këtë arsye nuk është i përshtatshëm për të ndërtuar një shtëpi. Ndërkohë që betonarmeja është një material duktil, i aftë të thithë dhe të transmetojë energjinë kinetike të tërmetit. Në fillim betonarmeja plasaritet, pastaj shufrat e çelikut zgjaten, kalojnë në rrjedhshmëri dhe si rezultat struktura është deformuar shumë dhe një pjesë e energjisë së tërmetit është thithur dhe transformuar, ndërkohë që shkatërrimi nuk ka ndodhur. Duhet të jemi shumë të kujdesshëm, pasi e gjithë struktura duhet të jetë duktile. Mjafton një kolonë të mos jetë e tillë (pra të jetë prej “kristali”), dhe në rast tërmeti ajo do të shkatërrohet e para. Pas shkatërrimit të

kolonës së parë do të niste një reaksion zinxhir që do të çonte në shkatërrimin përfundimtar të tërë ndërtesës.

4.3.11 Analiza dinamike jolineare

Reagimi sizmik i strukturës mund të llogaritet përmes integritetit të ekuacioneve të lëvizjes, duke përdorur një model tripërmator të strukturës dhe të akselerogramave. Modeli i përdorur për të treguar sjelljen jo lineare të strukturës duhet të justifikohet, kjo edhe në raport me dhënien e saktë të energjisë së shndërruar në ciklet histerezis. Në rastin kur përdoren të paktën shtatë grupe të ndryshme akselerogramash veprimet mund të jepen përmes vlerave mesatare të përfutuara nga analizat, në rastin kur përdoren më pak grupe do t'i referohemi vlerave më të disfavorshme. Faktori i rëndësisë duhet të aplikohet në koordinatat e akselerogramave.

4.3.12 Kombinimi i përbërësve të veprimit sizmik

Përbërësit horizontalë dhe vertikalë të veprimit sizmik do të konsiderohen në përgjithësi sikur veprojnë njëherësh. Vlerat maksimale të reagimit të përfutur nga secila prej dy veprimeve horizontale të aplikuar veças mund të kombinohen duke përlogaritur rrënjën katrore të shumës së katrorëve, për komponenten e madhësisë që duam të vlerësojmë, ose duke mbledhur maksimumet e arritura për një veprim të aplikuar në një drejtim me 30% të maksimumeve të arritura për veprimin e aplikuar në drejtimin tjetër. Veprimi sizmik vertikal duhet marrë në konsideratë në mënyrë të detyruar në rastet e mëposhtme: për prani të elementeve pothuajse horizontalë me hapsirë dritë mbi 20m, për prani të elementeve kryesorë të parandëruar, në rastin e mureve mbajtës të tipit konsol. Analiza nën veprimin sizmik vertikal mund të kufizohet në modele të pjesshme duke përfshirë elementet e treguar. Sakaq për elementet të në të cilët veprimi horizontal jep efekte 30% më shumë se veprimi vertikal në ndonjë seksion, do të konsiderohen efektet maksimale rezultante nga aplikimi i secilës prej veprimeve në tre drejtime të mbledhura me 30% të maksimumit të produkteve të veprimit në secilen prej dy drejtimeve të tjera.

4.4 PERSHTATJA SIZMIKE E STRUKTURAVE BETONARME

Praktikisht përshtatja sizmike e një strukture me ndihmën e FRP, sikurse u sqarua më sipër, është tërësia e përforcimeve të elementeve të

saj përbërës, si p.sh. kolona, trarë, mure betonarme, soleta, etj. Me qëllim që të përforcohen elementët strukturorë, për të cilët nuk kënaqen verifikimet sipas gjendjeve kufitare, përdoren materialet kompozite FRP, që përfaqësojnë një alternative të vlefshme në krahasim me teknikat tradicionale të vendosjes së pllakave të çelikut, etj. Përforcimi në përkulje i trareve si për moment pozitiv dhe për moment negativ realizohet duke i veshur me shtresa në formë pllakash prej FRP, të vendosura në drejtimin e aksit të traut. Përforcimi në pjesën e poshtme të traut bëhet në të gjithë gjatësinë e traut në mënyrë që ankorimi të bëhet në zonë të shtypur dhe të garantohet edhe nga prania e përforcimit në prerje. Ndërkaq, në nyjet tra-kolonë, atje ku momentet përkulës tërheqin fibrat e sipërme të traut, duke dashur të sigurojmë që përforcimi me FRP të jetë efikas në këtë zonë, përdoren profile këndore çeliku të paoksidueshëm. Në skajin tjetër të FRP përdoren piastra çeliku për të fiksuar FRP në trupin e traut.

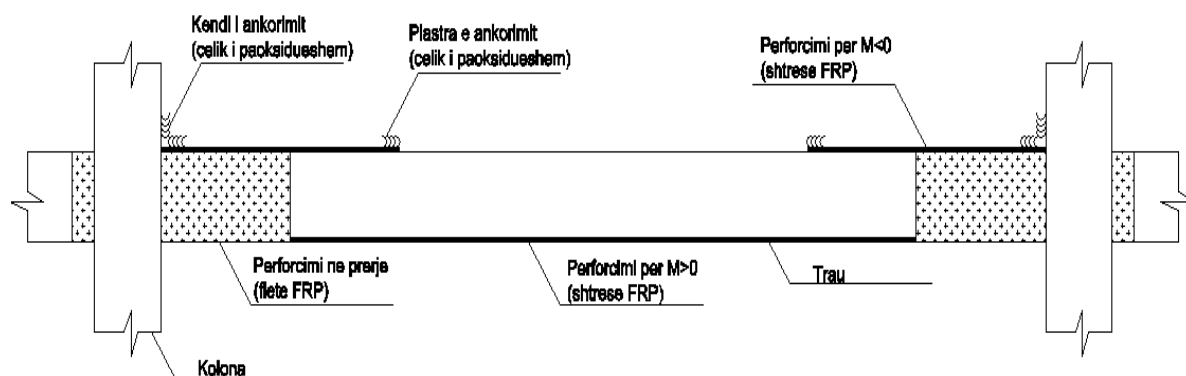


Figura 4.3 Përforcimi në përkulje me FRP i trarëve

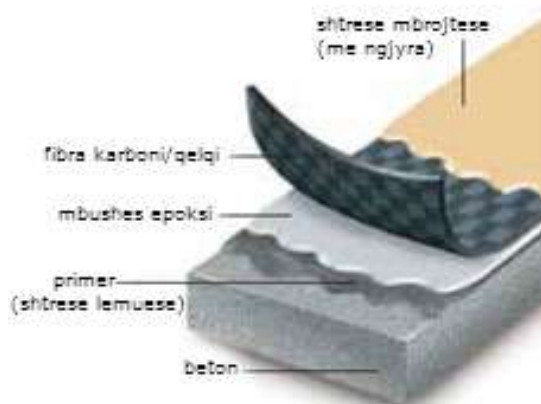


Figura 4.4 Paraqitje skematike e shtresave të FRP

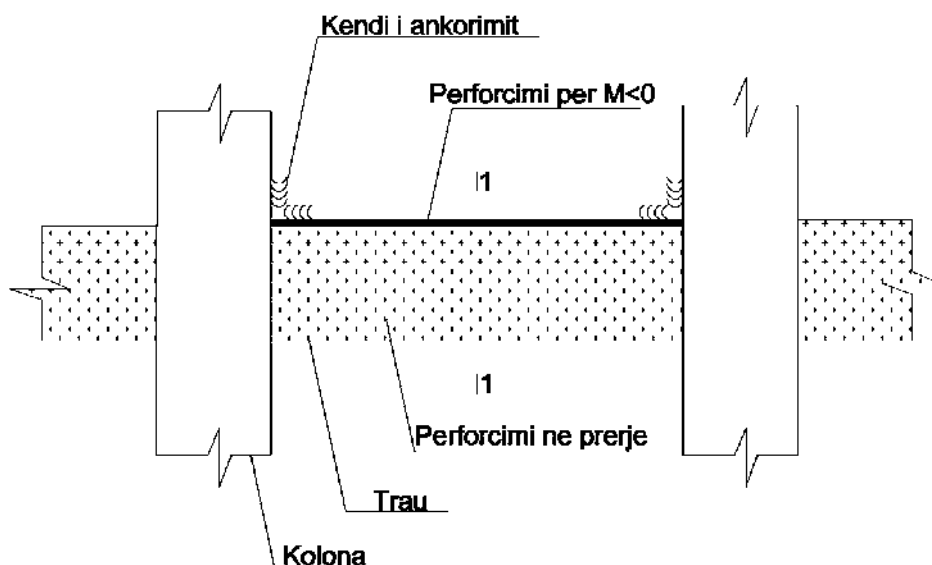


Figura 4.5 Përforcimi në prerje me FRP i trarëve

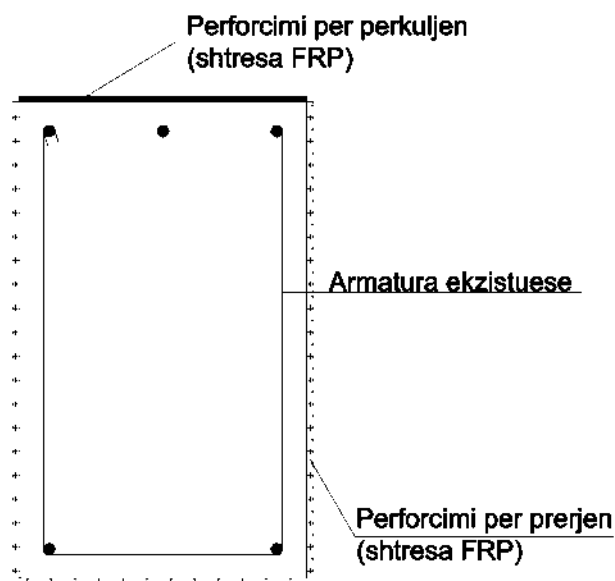


Figura 4.6 Përforcimi në prerje me FRP i seksionit tërthor

Për përforcimin e kolonave përdoren FRP njëdrejtimëshe ose dydrejtimëshe, të vendosura perpendikular aksit të kolonës. Ndërhyrja do të përfshijë kolonën në të gjithë gjatësinë, ose pjesë të saj.

Në fund do të ndërhyhet me mbështjellje me FRP edhe në disa nyje tra – kolone duke qenë se keto të fundit përfaqësojnë pikat më delikate të gjithë strukturës për pamjaftueshmërinë apo mungesën totale të armaturës.



Figura 4.7 Përforcimi me FRP i kolonave



Figura 4.8 Përforcimi me FRP i kolonave



Figura 4.9 Kolona para përforcimit



Figura 4.10 Kolona gjatë përforcimit



Figura 4.11 Kolona e përforcuar



Figura 4.12 Kolona e përfunduar

4.5 ANALIZA, MODELIMI, LLOGARITJA, PERFORCIMI DHE PERSHTATJA SIZMIKE E NJE STRUKTURE BETONARME EKZISTUESE

4.5.1 Analiza e një strukture ekzistuese

Analizohet një strukturë ekzistuese betonarme e konceptuar, llogaritur, konstruuar, pra e projektuar, sipas normativave antisizmike në fuqi në Republikën e Shqipërisë (KTP – N.2 – 89).

Struktura i përket një banese me dy kate, e cila ndodhet në Tiranë dhe është projektuar nga Inxh. I. Kondi. Për të modeluar dhe llogaritur strukturën është përdorur software CDS, i përgatitur nga kompania italiane STS srl me qender në Katania, Itali.

Betoni i përdorur për realizimin e strukturës është i markës 250 dhe çeliku FeB 44 me kufi rrjedhshmërie 440MPa.

Në figurën 4.13 tregohet struktura (skeleti) betonarme i ndërtesës. Në të dallojmë plintat, trarët e themelit, kolonat, trarët.

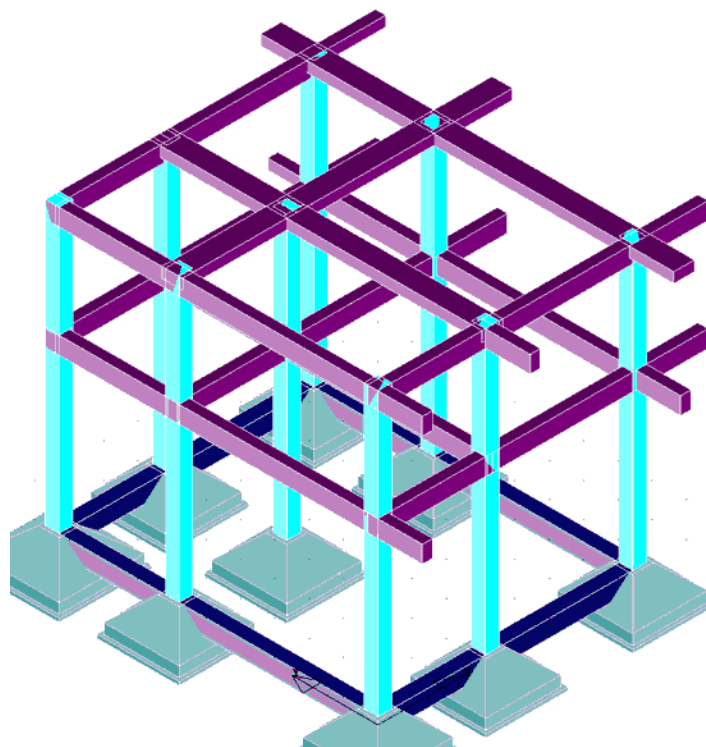


Figura 4.13 Struktura e ndërtesës

Më poshtë tregohen planet e strukturave, armimet e trarëve, kolonave, themeleve, soletave. Këto armime tregohen për dy arsye:

- për të pasqyruar në mënyrë të detajuar strukturën ekzistuese që po analizohet
- për të realizuar analizën push – over, duhet të modelohet struktura e ndërtesës ashtu si ajo është realizuar

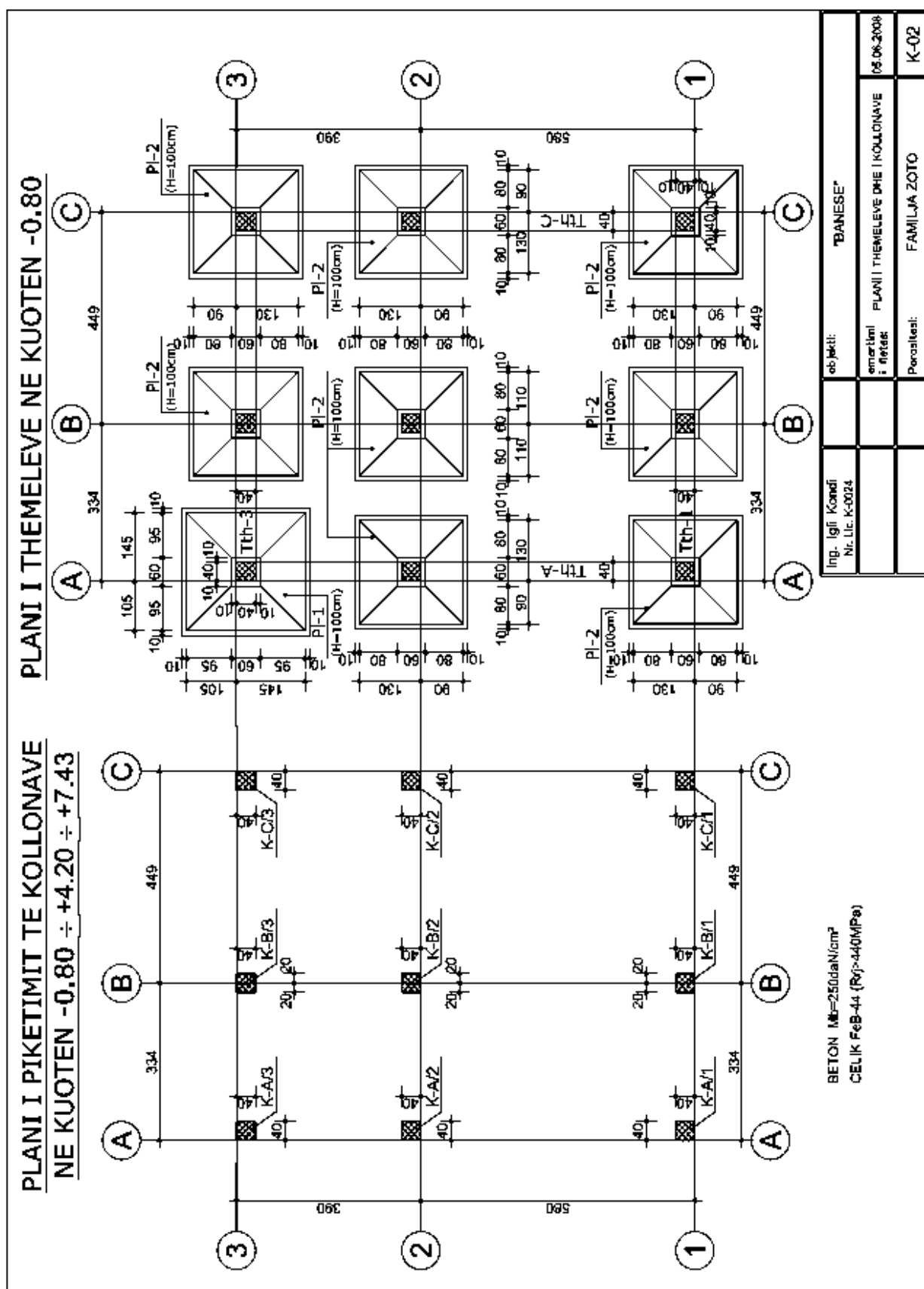


Figura 4.14 Plani i kolonave dhe i themeleve

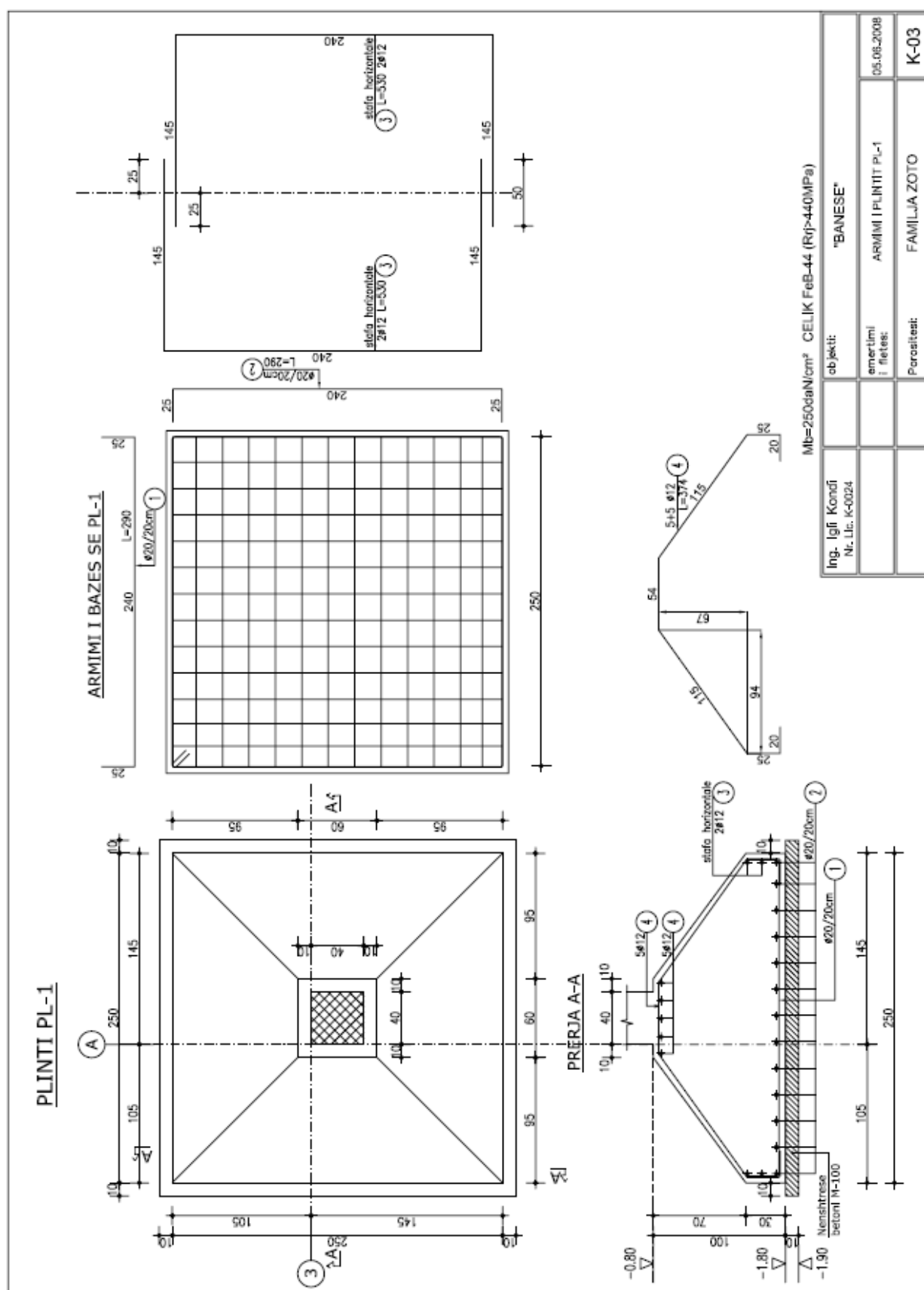


Figura 4.15 Armimi i themeleve

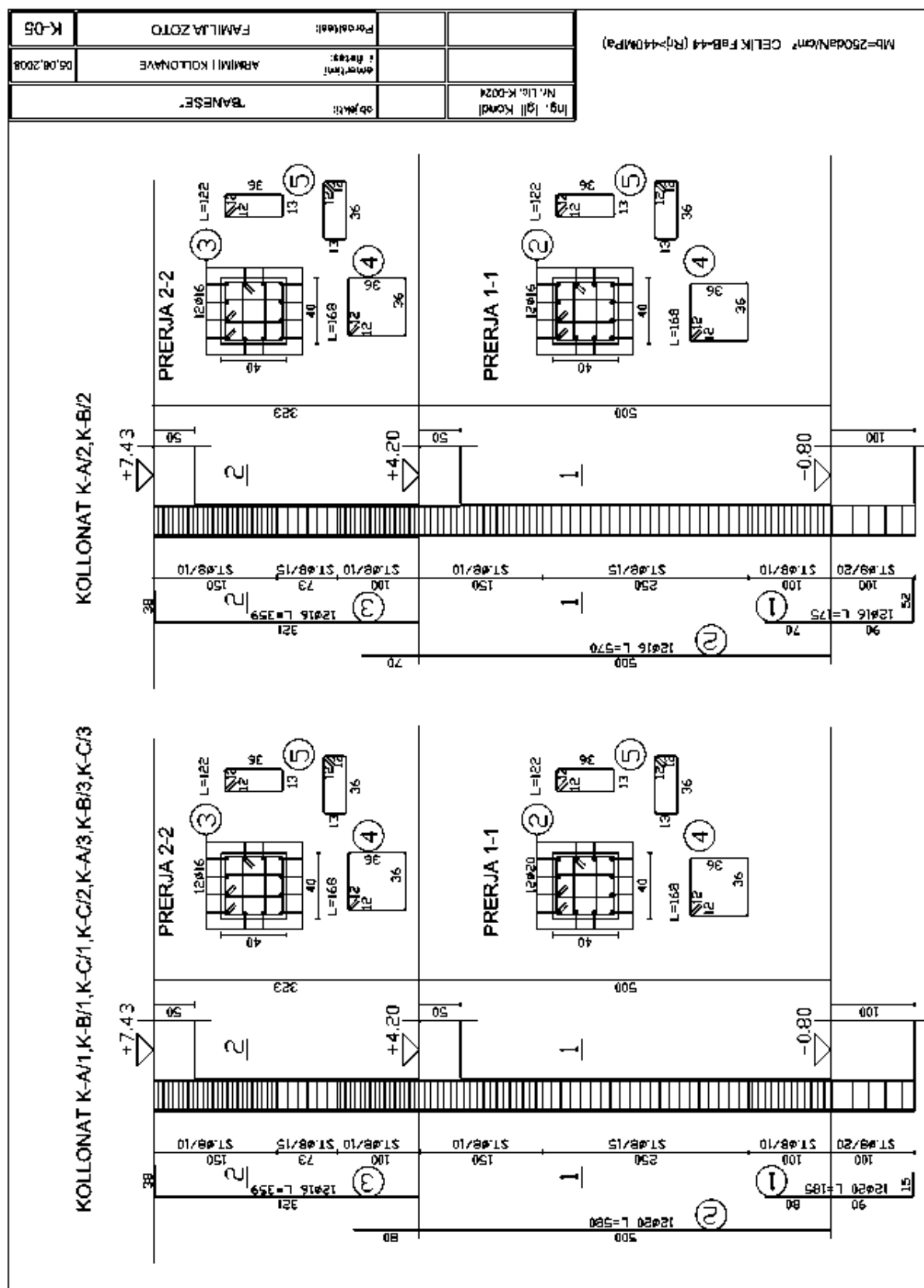


Figura 4.16 Armimi i kolonave

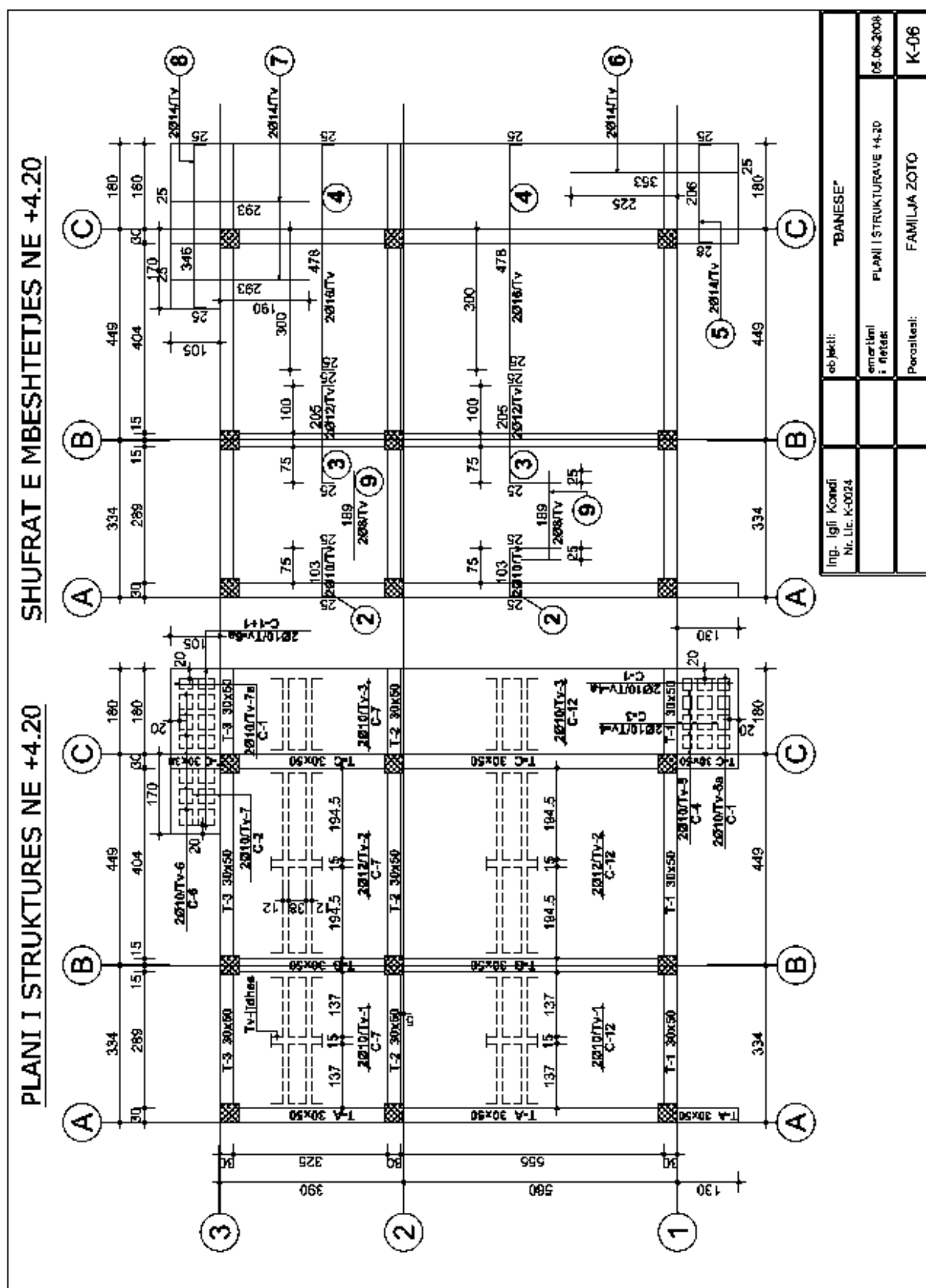


Figura 4.17 Armimi i soletave

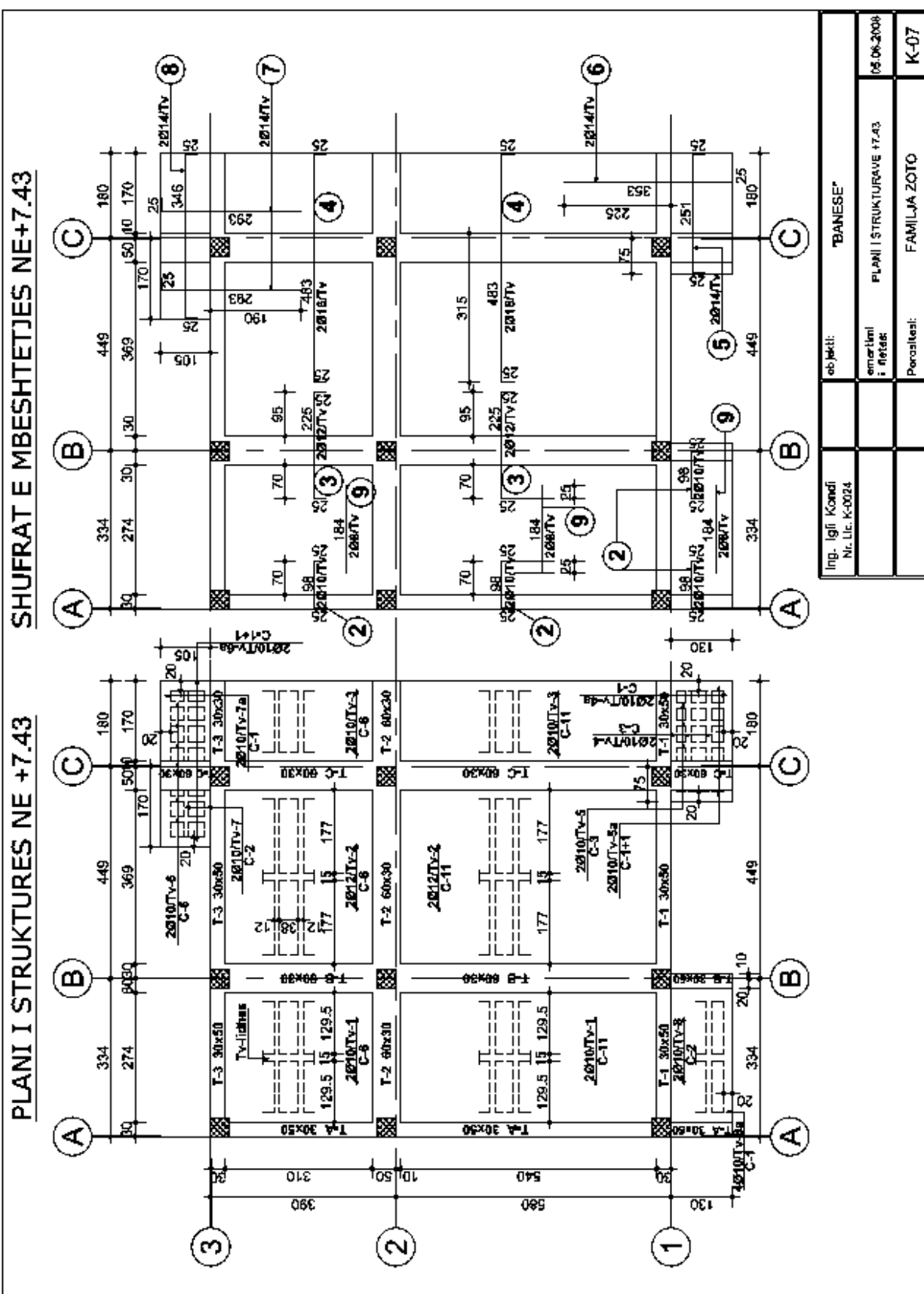


Figura 4.18 Armimi i soletave

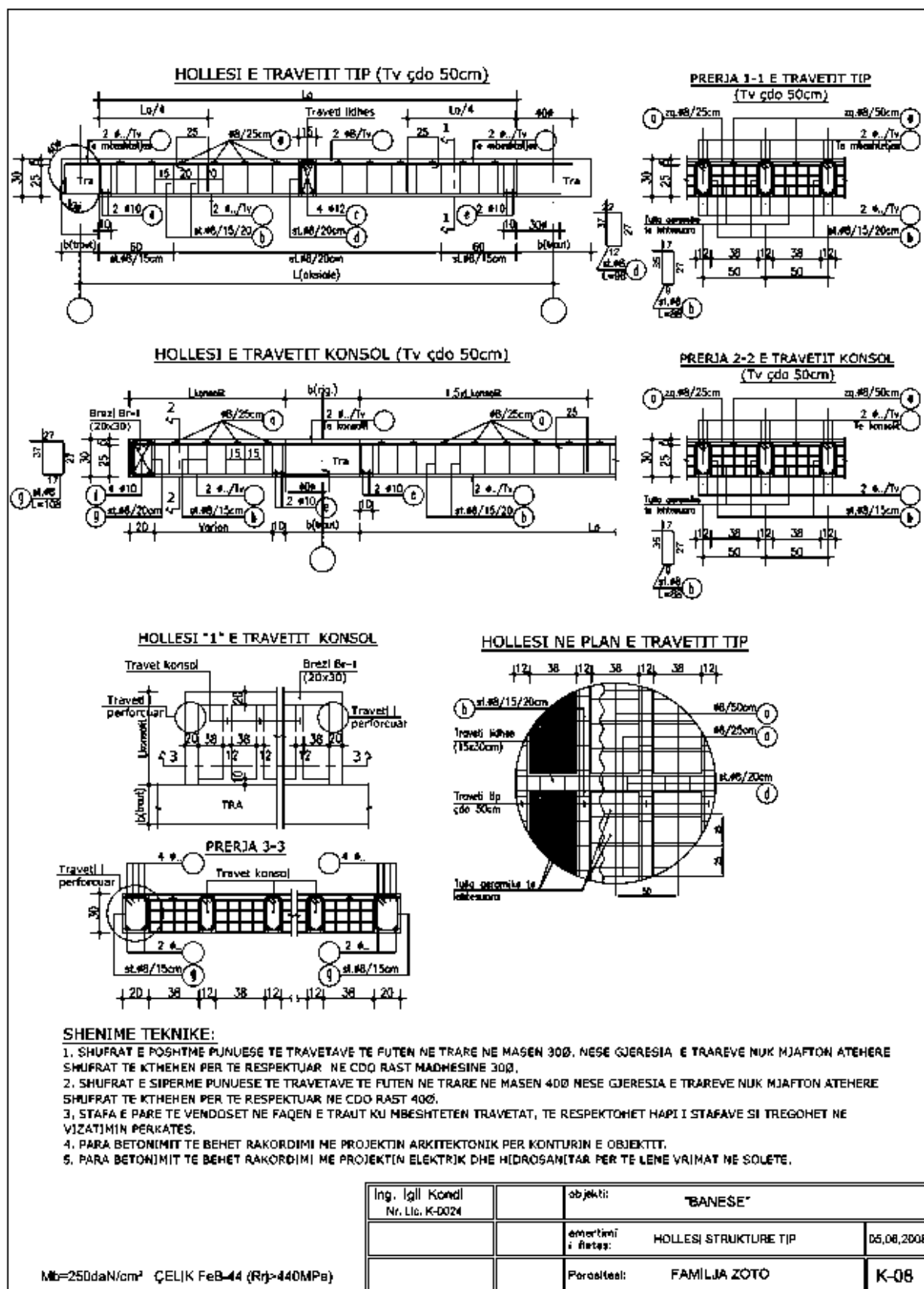


Figura 4.19 Hollësi të armimit të soletave

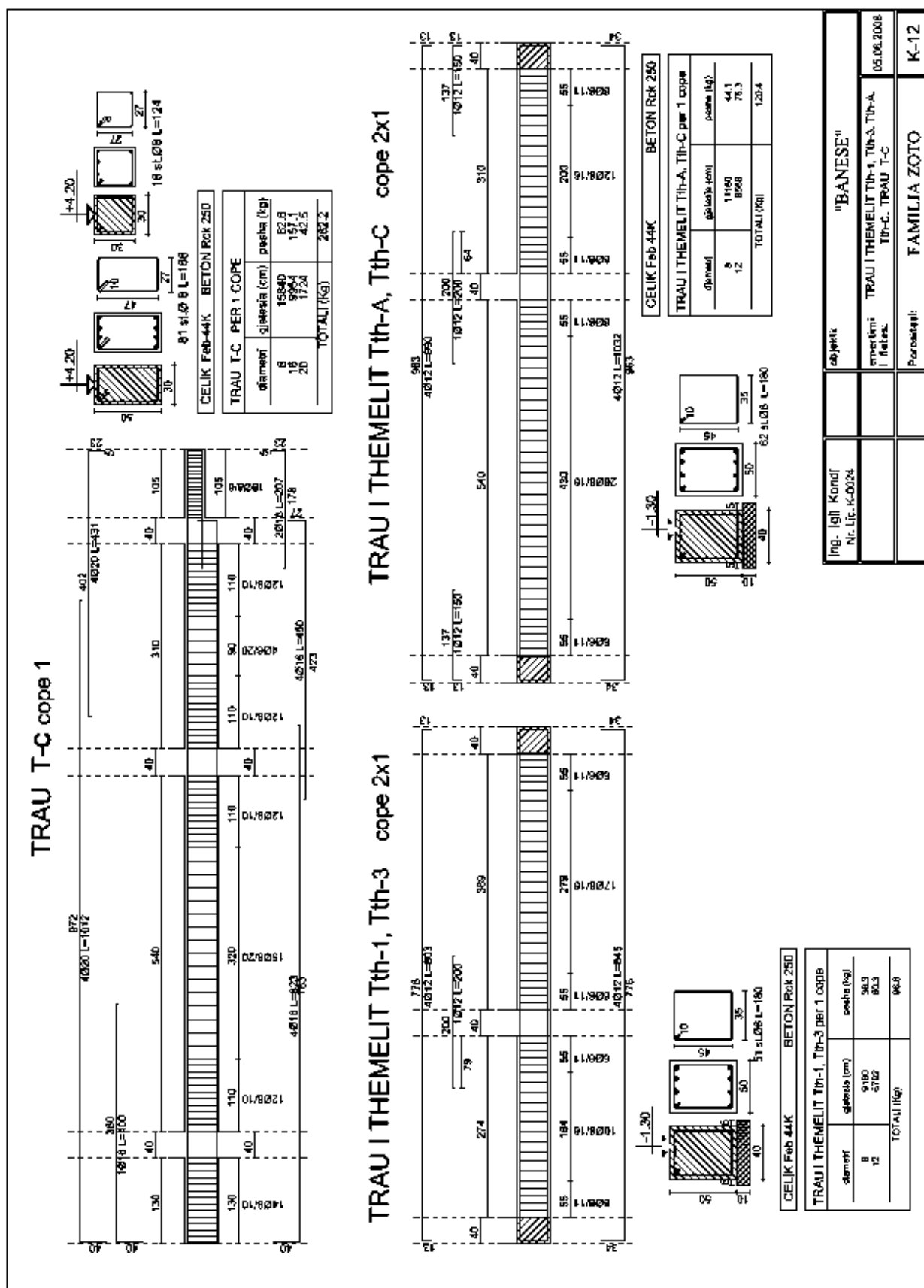


Figura 4.20 Armimi i trarëve

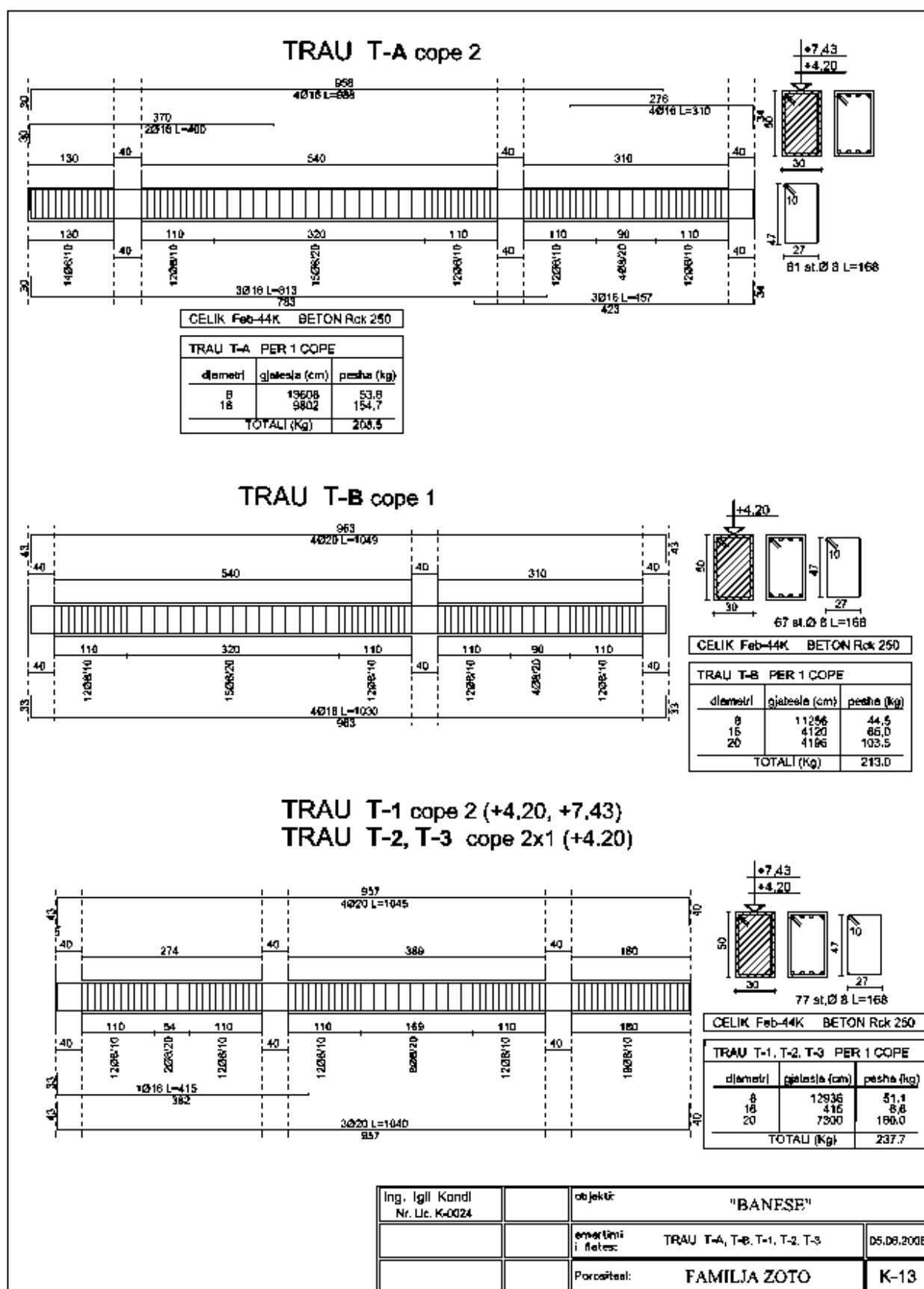


Figura 4.21 Armimi i trarëve

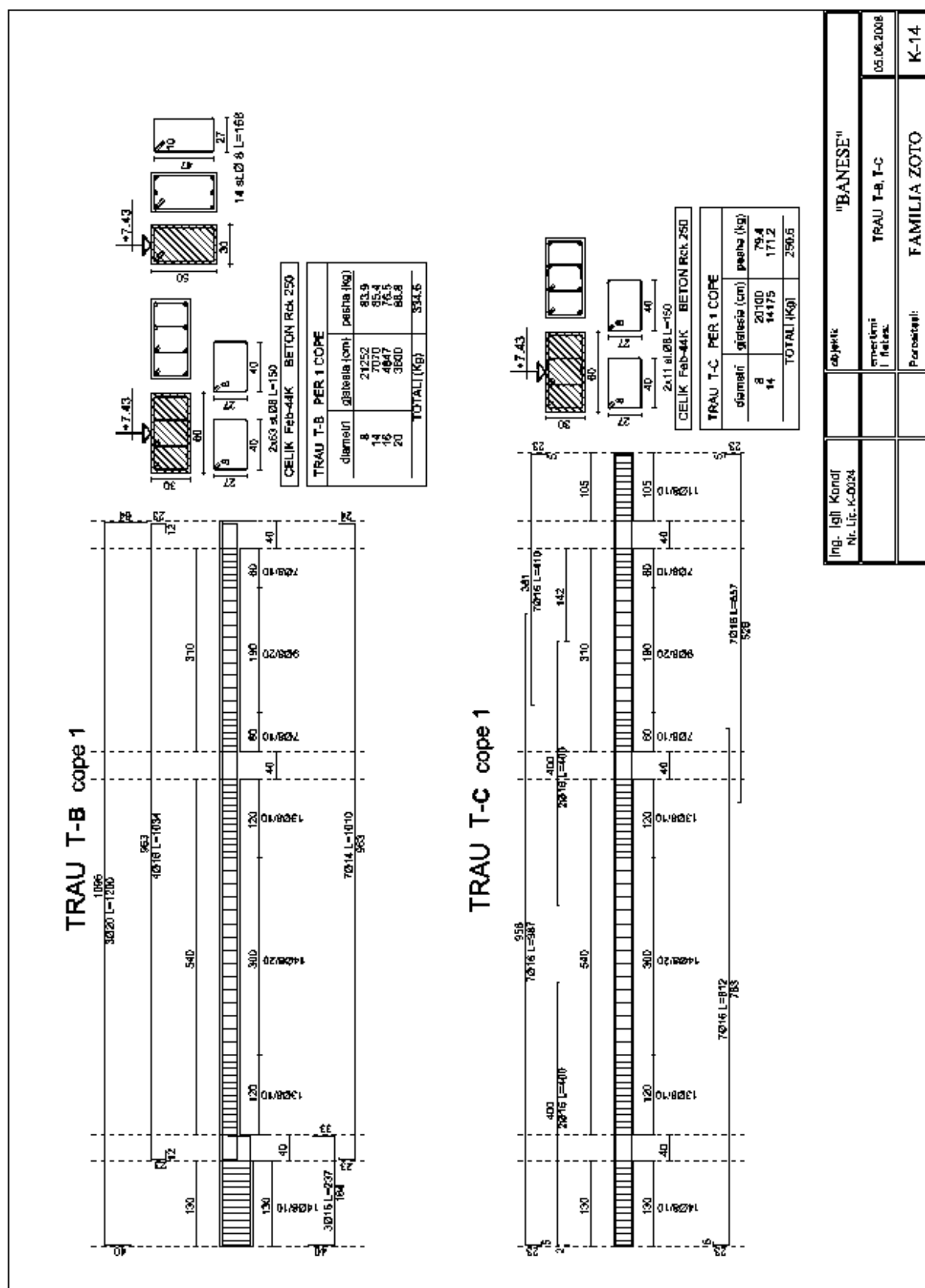


Figura 4.22 Armimi i trarëve

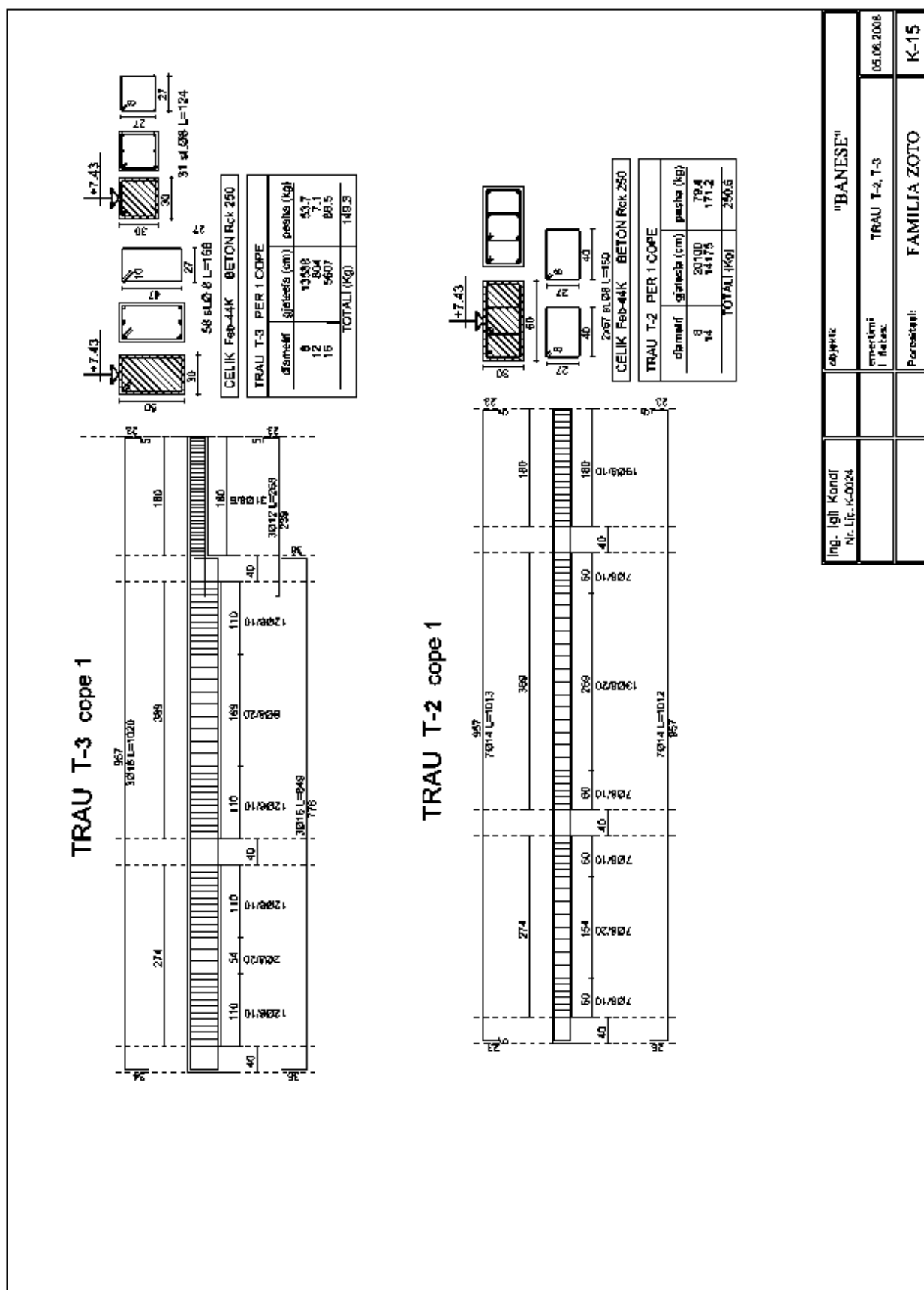


Figura 4.23 Armimi i trarëve

Me anë të figurave 4.24 deri 4.39 kemi treguar **rezultatet e llogaritjeve të strukturës në përputhje me KTP – N.2 – 89.**

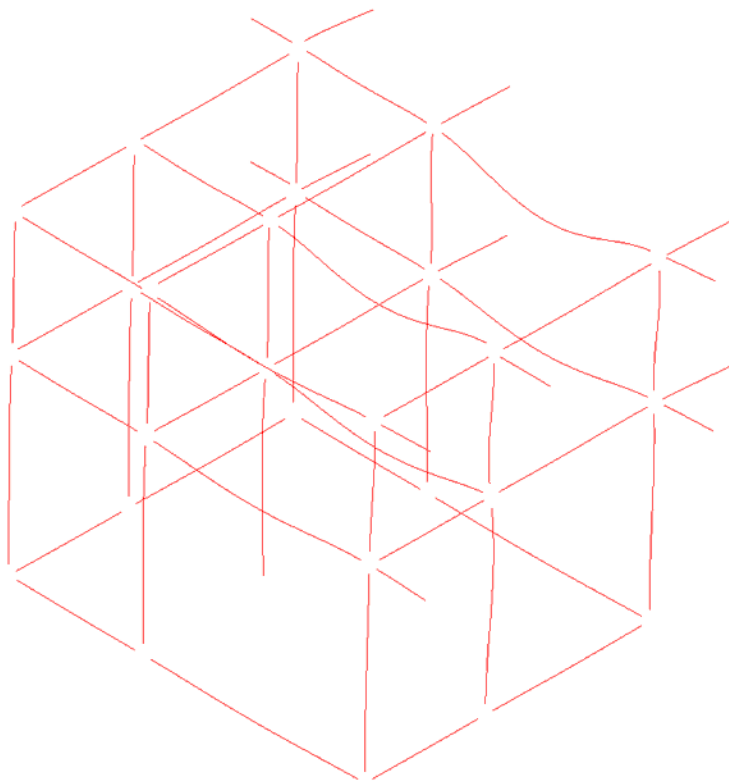


Figura 4.24 Gjendja e deformuar e strukturës nën veprimin e ngarkesave statike vertikale, të përhershme dhe të përkohshme

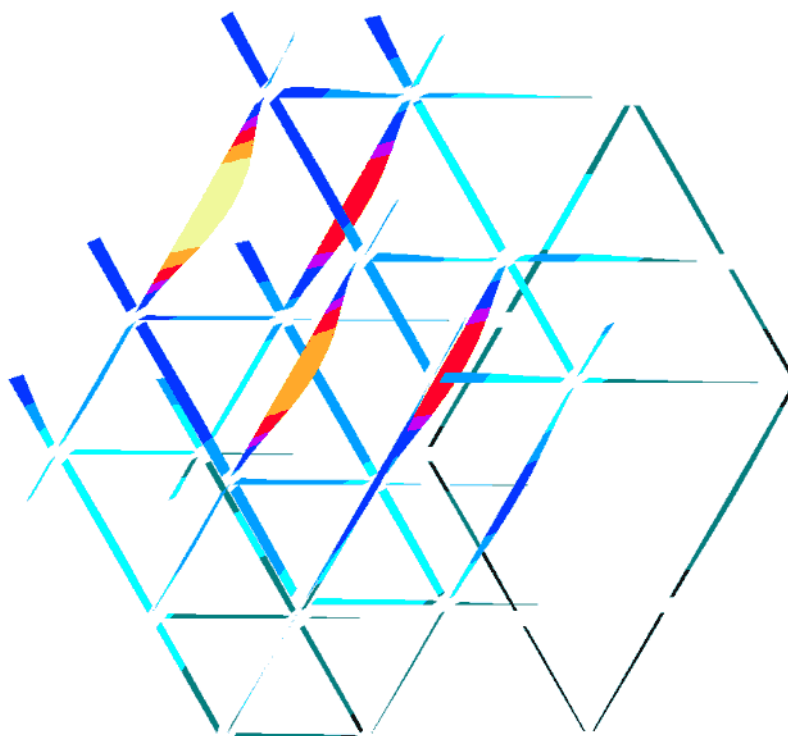


Figura 4.25 Vlerat numerike të deformimeve të strukturës nën veprimin e ngarkesave statike vertikale, të përhershme dhe të përkohshme

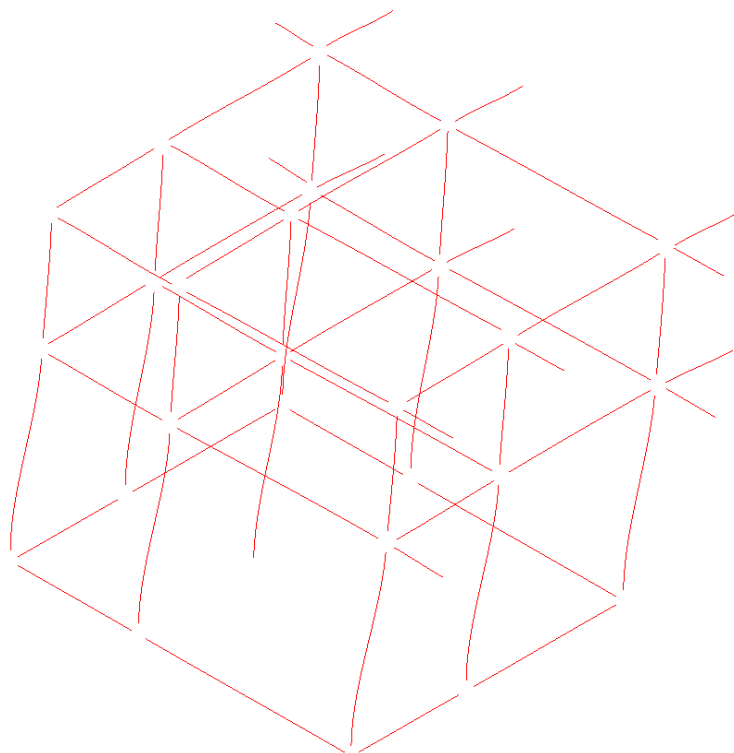


Figura 4.26 Gjendja e deformuar e strukturës nën veprimin e tërmetit sipas drejtimit gjatësor

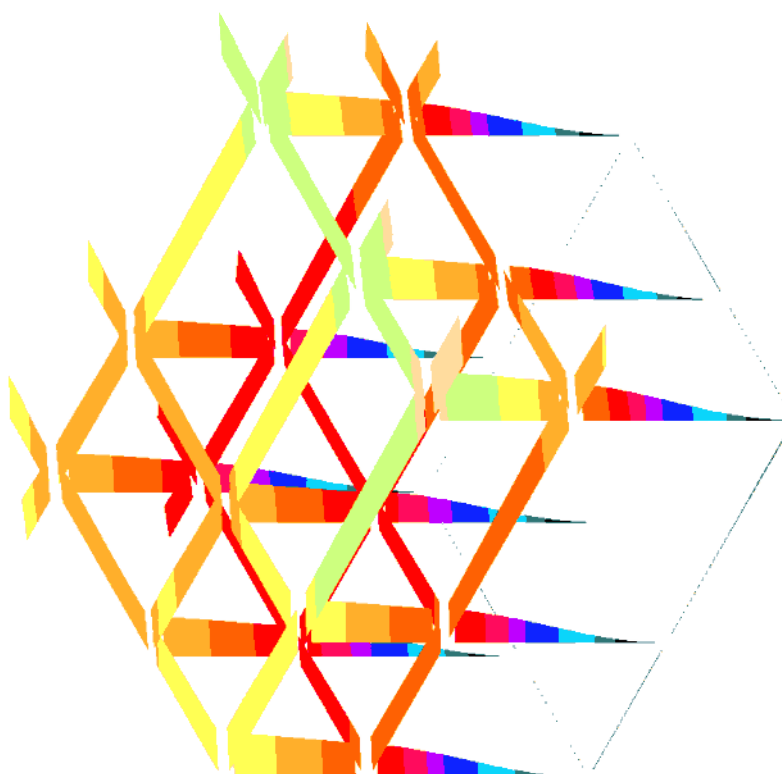


Figura 4.27 Vlerat numerike të deformimeve të strukturës nën veprimin e tërmetit sipas drejtimit gjatësor

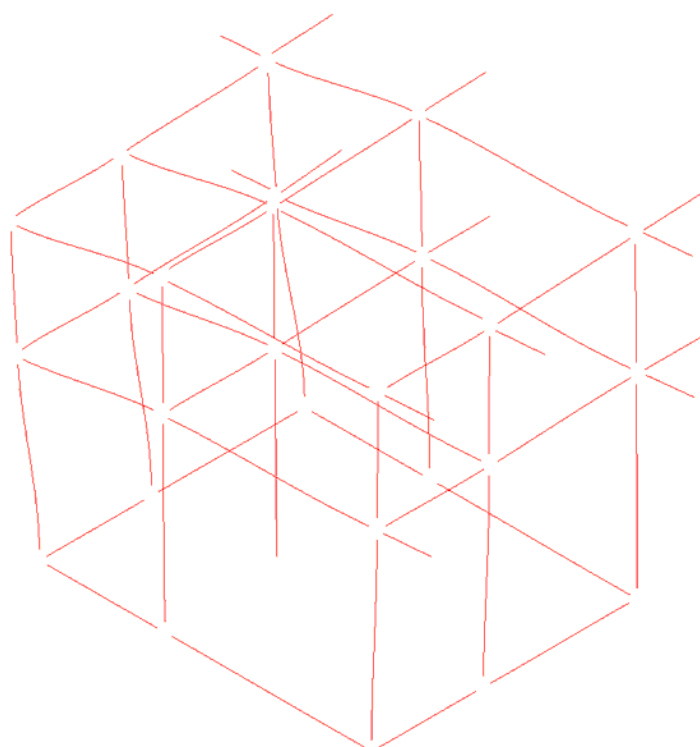


Figura 4.28 Gjendja e deformuar e strukturës nën veprimin e tërmetit sipas drejtimit tërthor

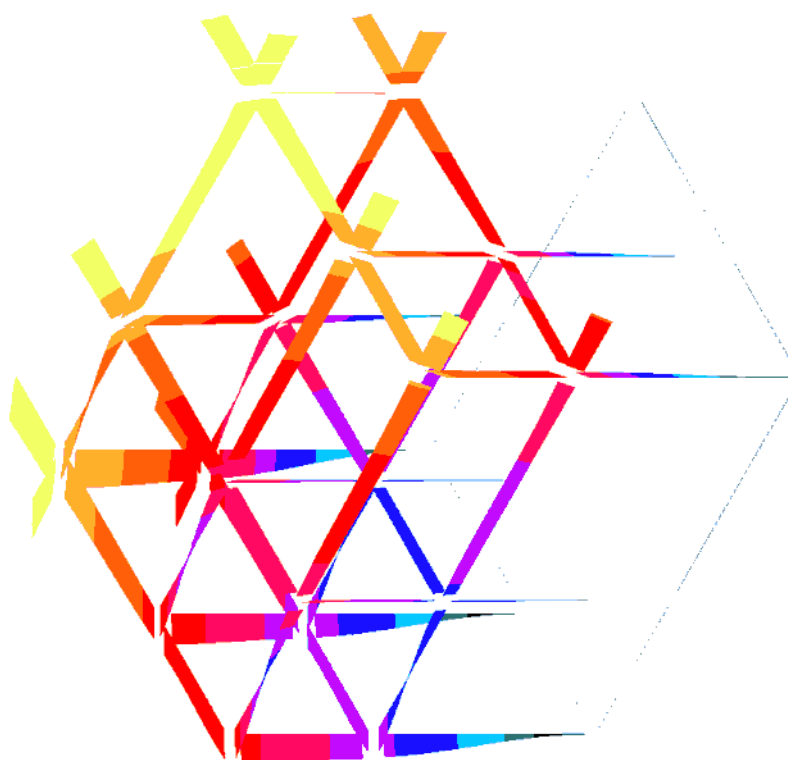


Figura 4.29 Vlerat numerike të deformimeve të strukturës nën veprimin e tërmetit sipas drejtimit tërthor

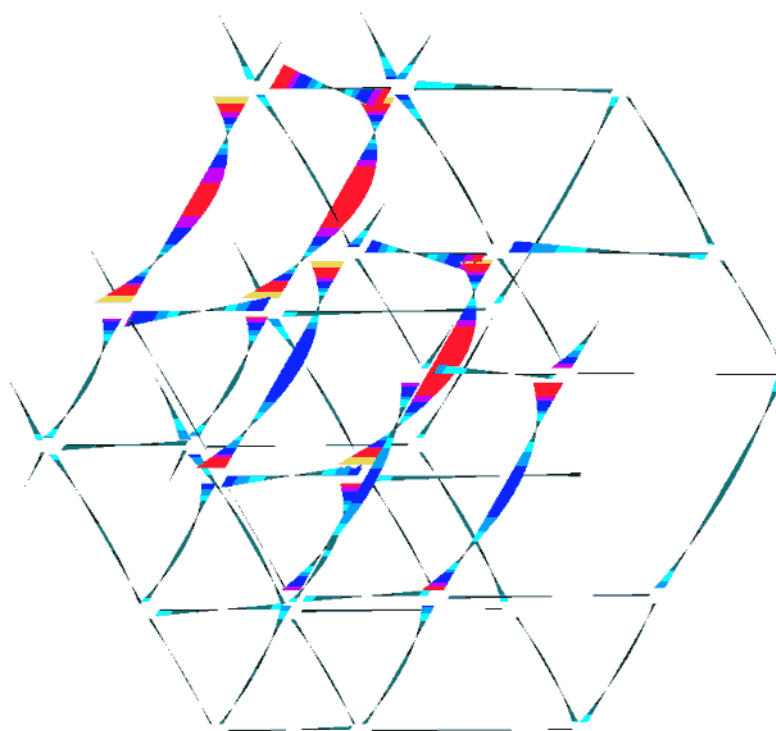


Figura 4.30 Vlerat numerike të momenteve përkulës prej ngarkesave statike vertikale, të përhershme dhe të përkohshme

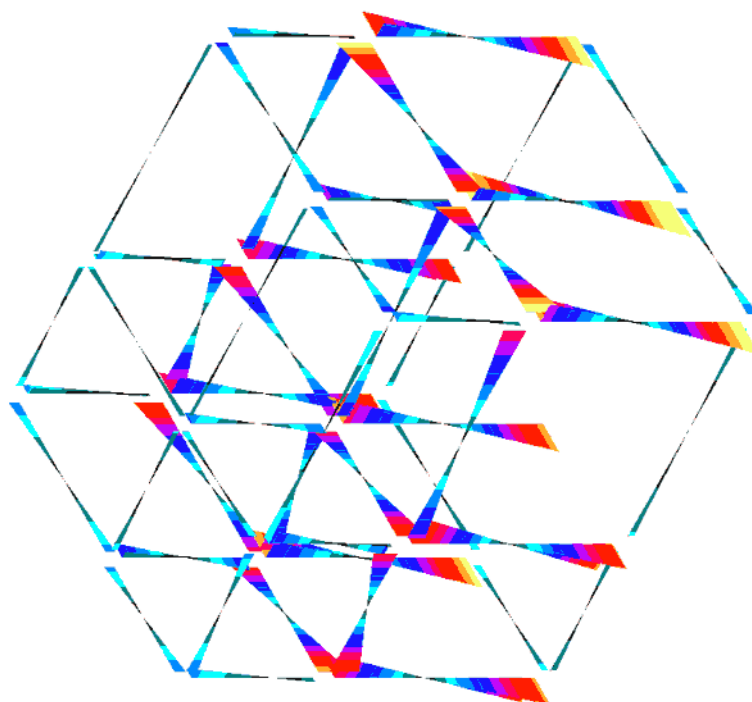
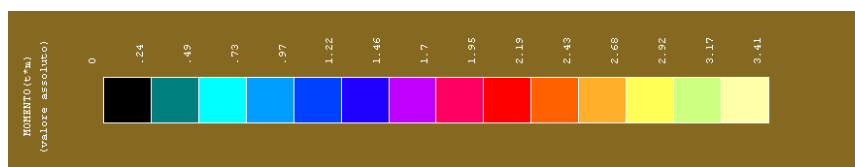


Figura 4.31 Vlerat numerike të momenteve përkulës prej veprimit të tërmetit sipas drejtimit gjatësor

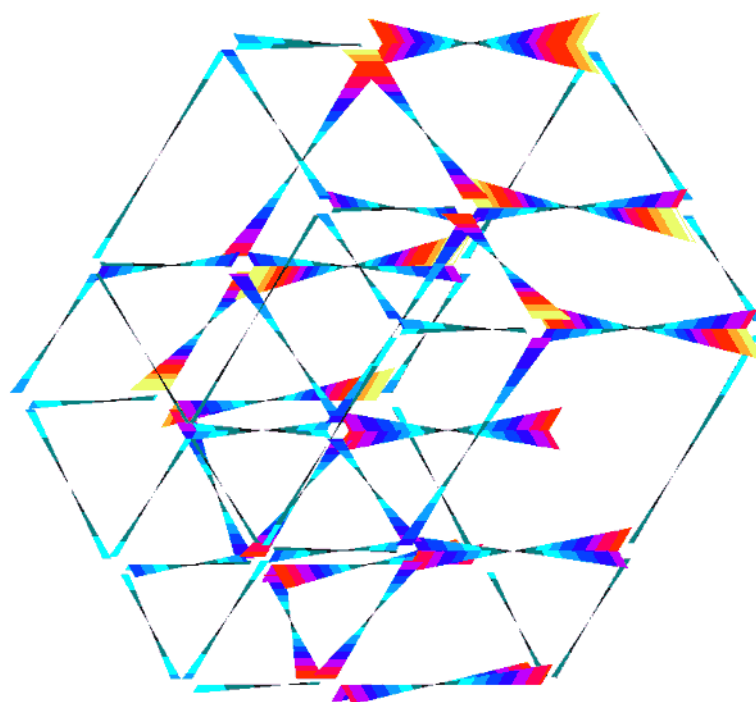


Figura 4.32 Vlerat numerike të momenteve përkulës prej veprimit të tërmetit sipas drejtimit tërthor

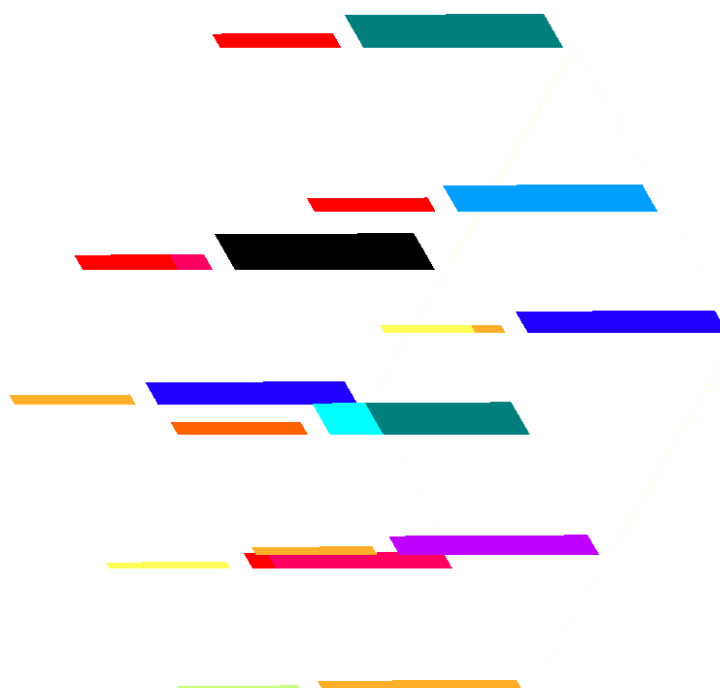


Figura 4.33 Vlerat numerike të forcave normale në kolona prej ngarkesave statike vertikale, të përhershme dhe të përkohshme

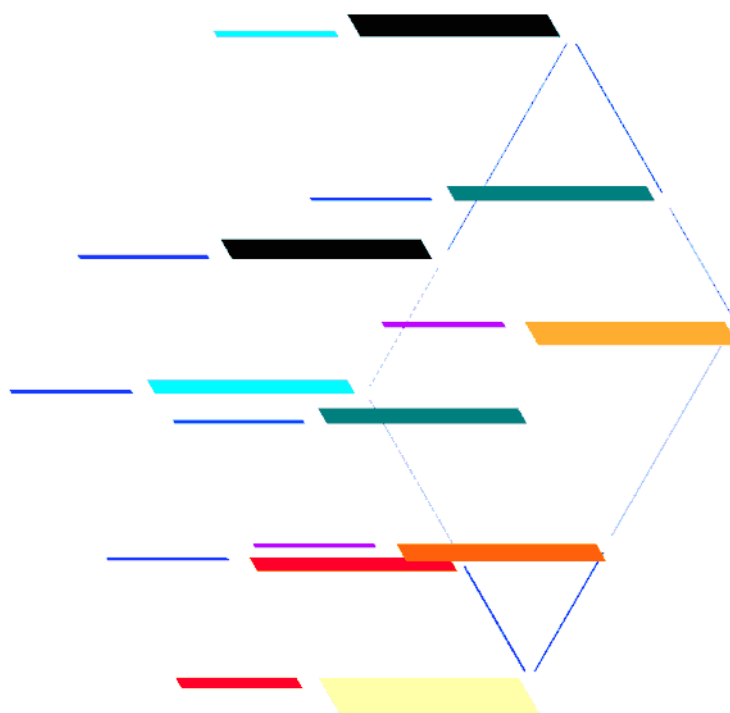


Figura 4.34 Vlerat numerike të forcave normale në kolona prej veprimit të tërmetit sipas drejtimit gjatësor

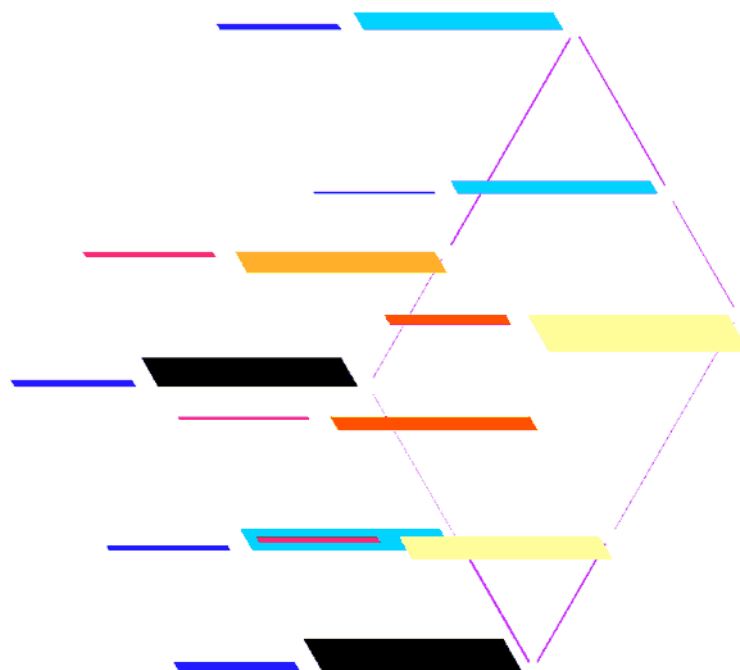


Figura 4.35 Vlerat numerike të forcave normale në kolona prej veprimit të tërmetit sipas drejtimit tërthor

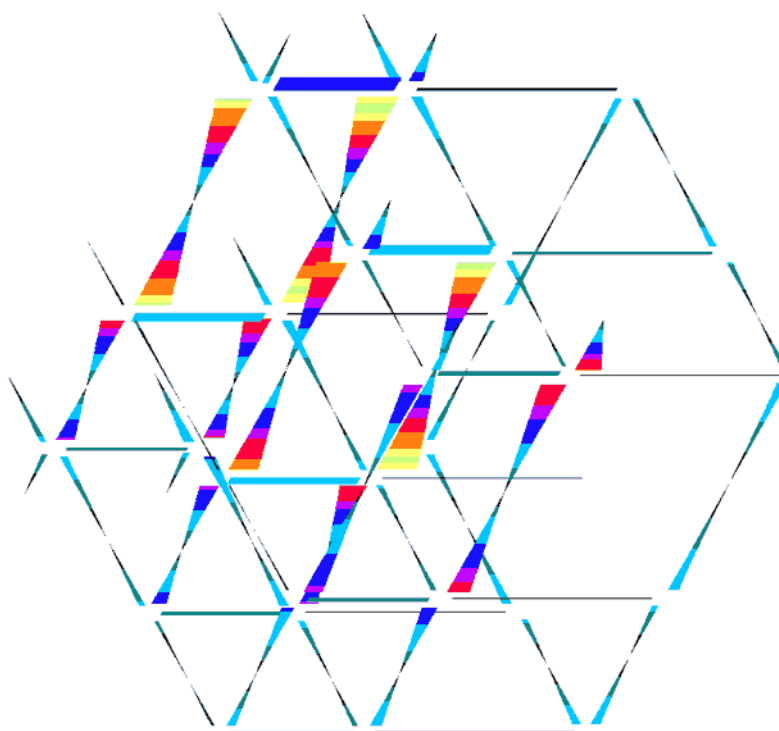


Figura 4.36 Vlerat numerike të forcave prerëse prej ngarkesave statike vertikale, të përhershme dhe të përkohshme

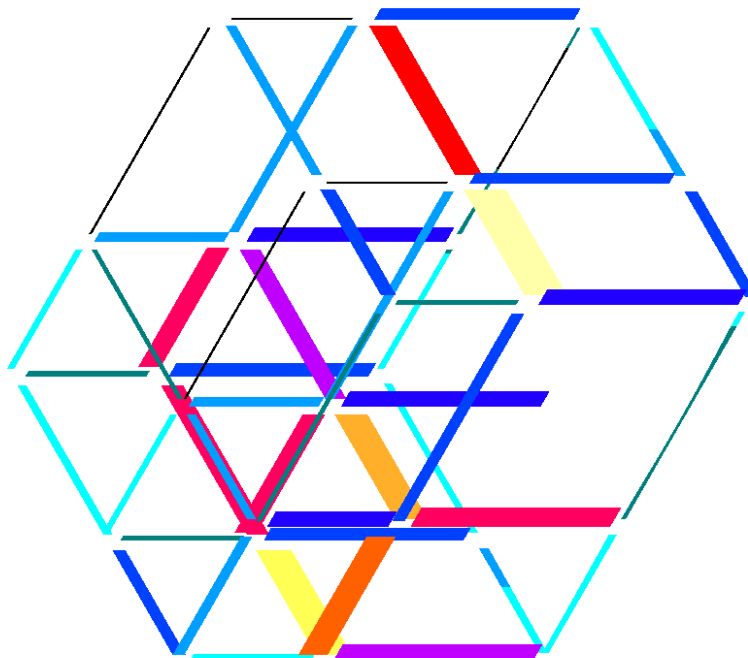
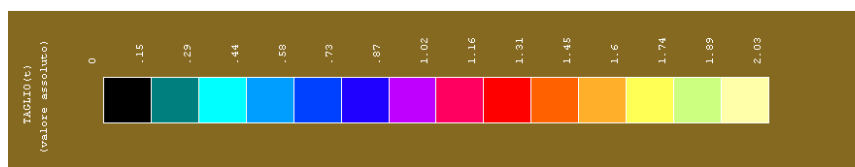


Figura 4.37 Vlerat numerike të forcave prerëse prej veprimit të tërmetit sipas drejtimit gjatësor

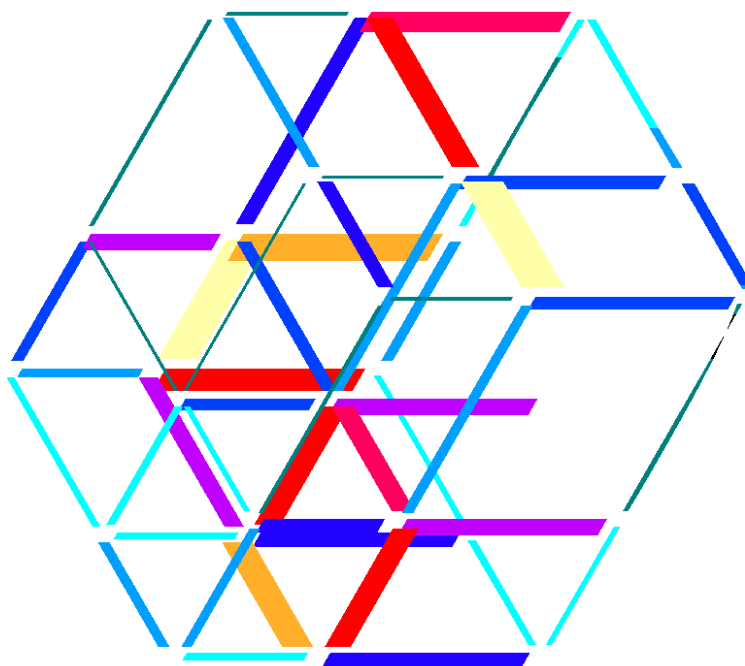
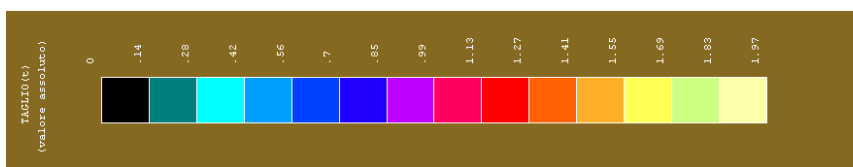


Figura 4.38 Vlerat numerike të forcave prerëse prej veprimit të tërmetit sipas drejtimit tërthor

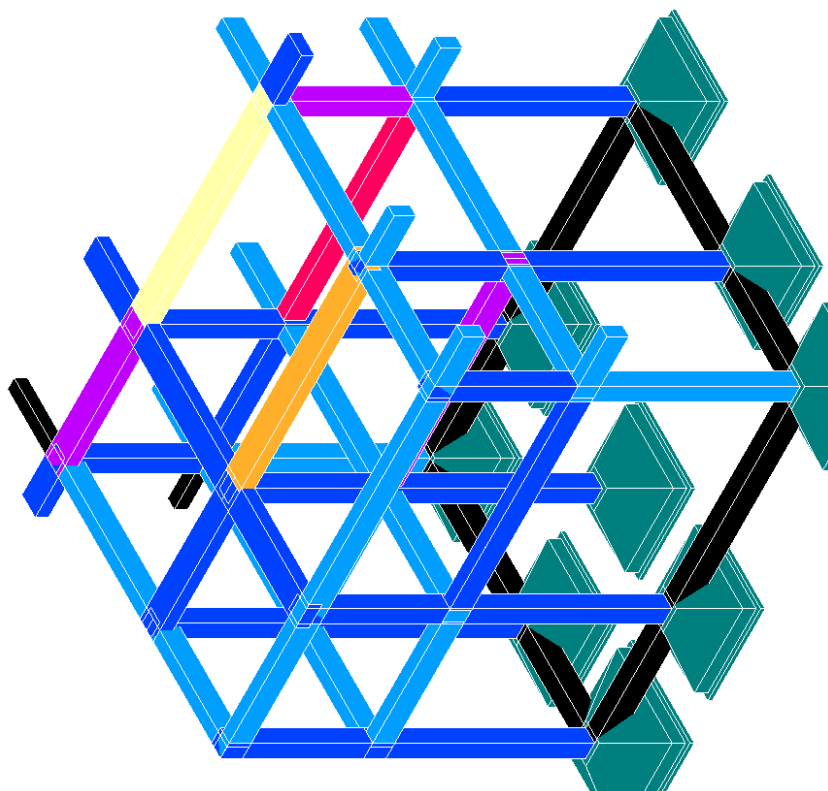
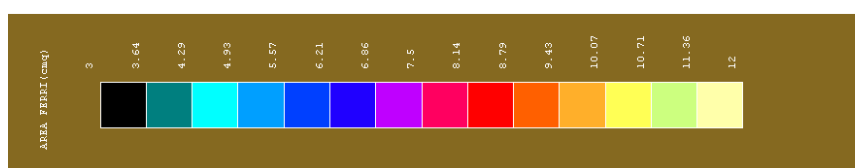


Figura 4.33 Vlerat numerike të armaturave të çelikut në trarë dhe kolona

Nga studimi i figurave 4.24 deri në 4.39 veçojmë keto rezultate:

- deformimi maksimal nën veprimin e ngarkesave statike vertikale, të përhershme dhe të përkohshme është 4.57mm
- deformimi maksimal nën veprimin e tërmetit sipas drejtimit gjatësor është 3.82mm
- deformimi maksimal nën veprimin e tërmetit sipas drejtimit tërthor është 4.60mm
- momenti përkulës maksimal prej ngarkesave statike vertikale, të përhershme dhe të përkohshme është 11.2Tm
- momenti përkulës maksimal prej veprimit të tërmetit në drejtimin gjatësor është 3.41Tm
- momenti përkulës maksimal prej veprimit të tërmetit në drejtimin tërthor është 3.36Tm
- forca normale maksimale prej ngarkesave statike vertikale, të përhershme dhe të përkohshme është -54.3T (shtypje)
- forca normale maksimale prej veprimit të tërmetit në drejtimin gjatësor është 3.46T (tërheqje)
- forca normale maksimale prej veprimit të tërmetit në drejtimin tërthor është 2.72T (tërheqje)
- forca prerëse maksimale prej ngarkesave statike vertikale, të përhershme dhe të përkohshme është 13.6T
- forca prerëse maksimale prej veprimit të tërmetit në drejtimin gjatësor është 2.03T
- forca prerëse maksimale prej veprimit të tërmetit në drejtimin tërthor është 1.97T
- armatura maksimale 12.0cm²

Me anë të figurave 4.40 deri 4.52 kemi treguar **rezultatet përkatëse të llogaritjeve të strukturës në përputhje me Eurokodet.**

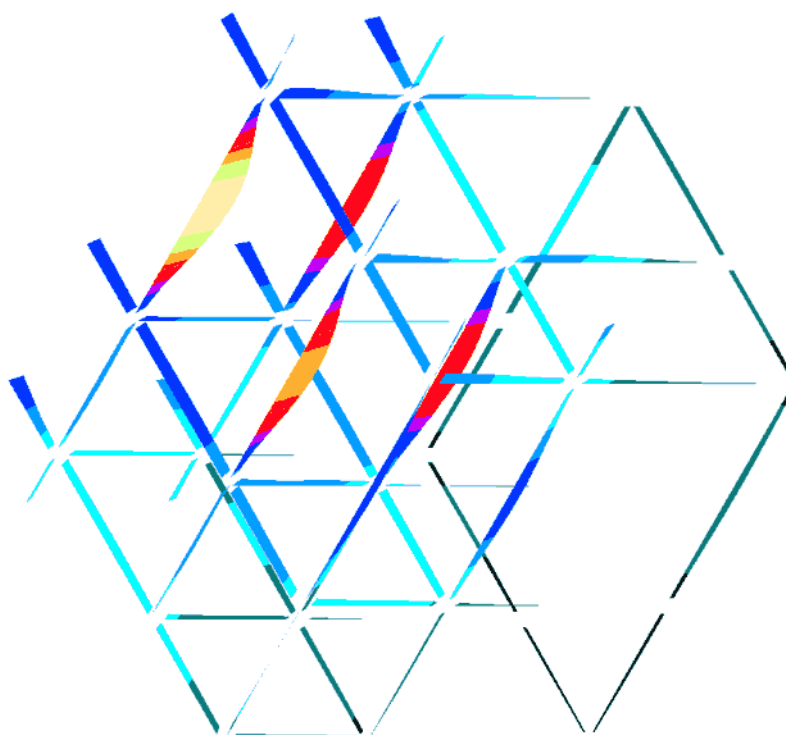


Figura 4.40 Vlerat numerike të deformimeve të strukturës nën veprimin e ngarkesave statike vertikale, të përhershme dhe të përkohshme

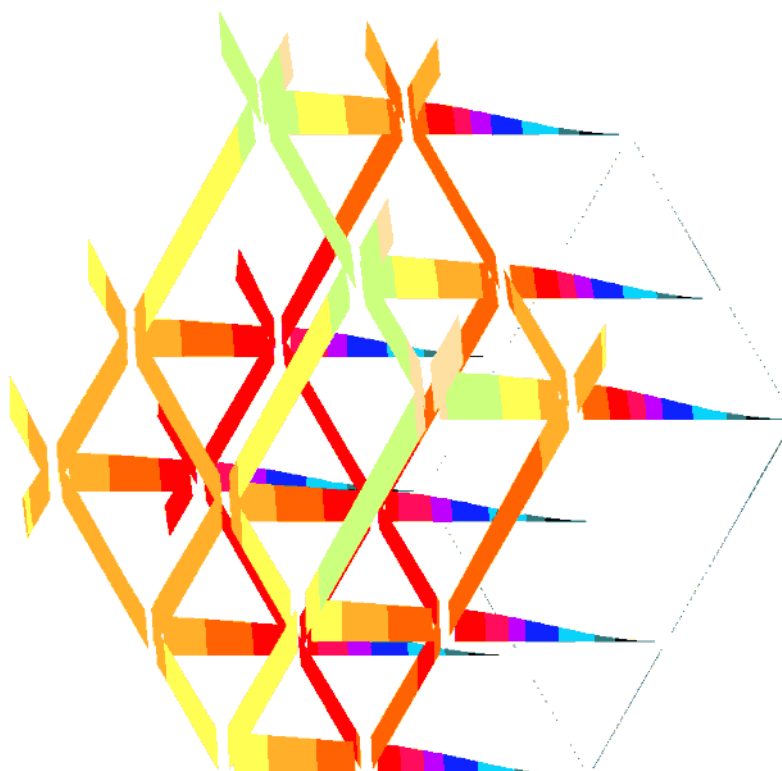


Figura 4.41 Vlerat numerike të deformimeve të strukturës nën veprimin e tërmetit sipas drejtimit gjatësor

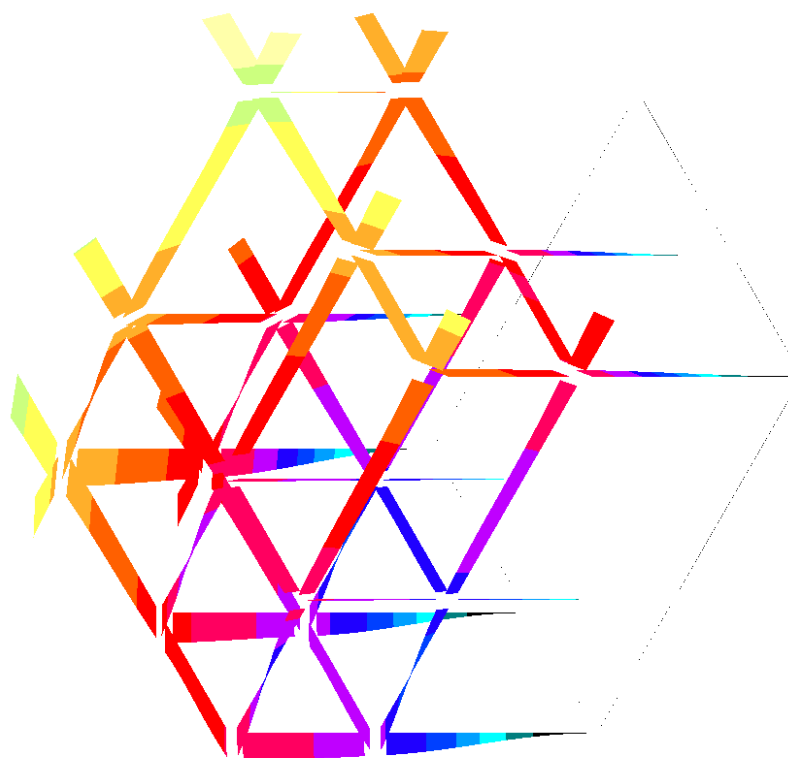
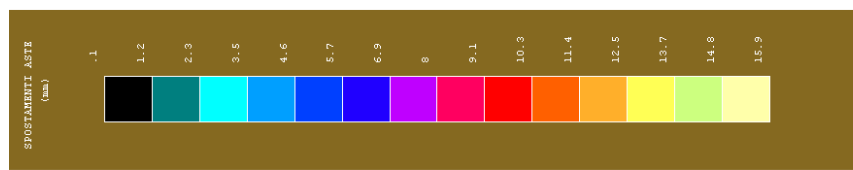


Figura 4.42 Vlerat numerike të deformimeve të strukturës nën veprimin e tërmetit sipas drejtimit tërthor

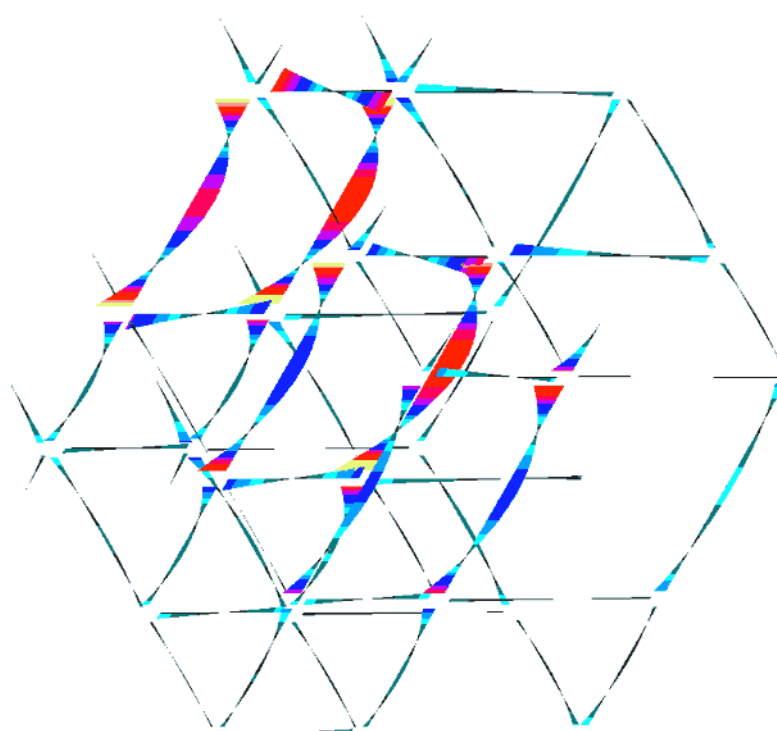


Figura 4.43 Vlerat numerike të momenteve përkulës prej ngarkesave statike vertikale, të përhershme dhe të përkohshme

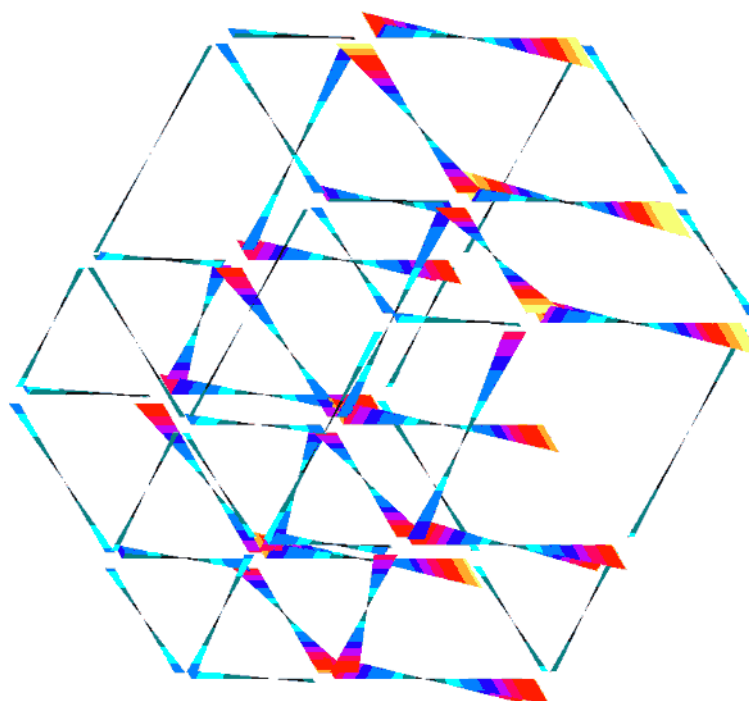
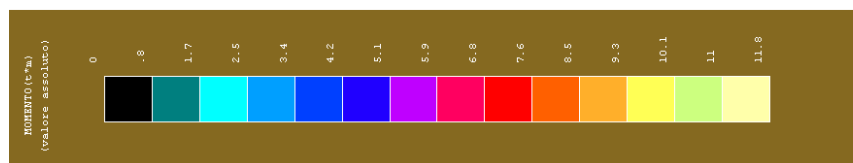


Figura 4.44 Vlerat numerike të momenteve përkulës prej veprimet të tërmetit sipas drejtimit gjatësor

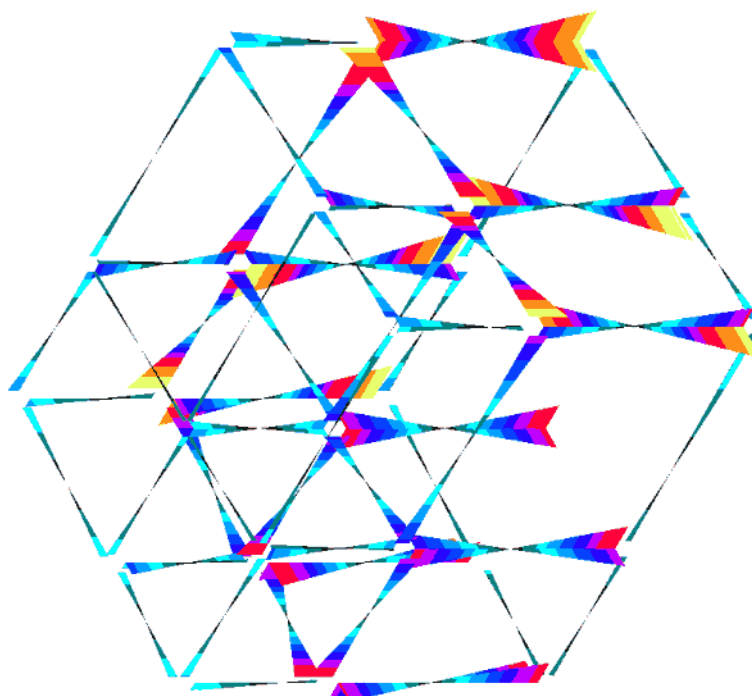
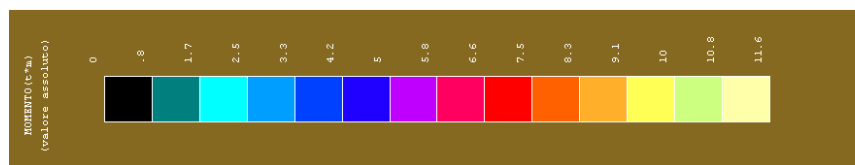


Figura 4.45 Vlerat numerike të momenteve përkulës prej veprimet të tërmetit sipas drejtimit tërthor

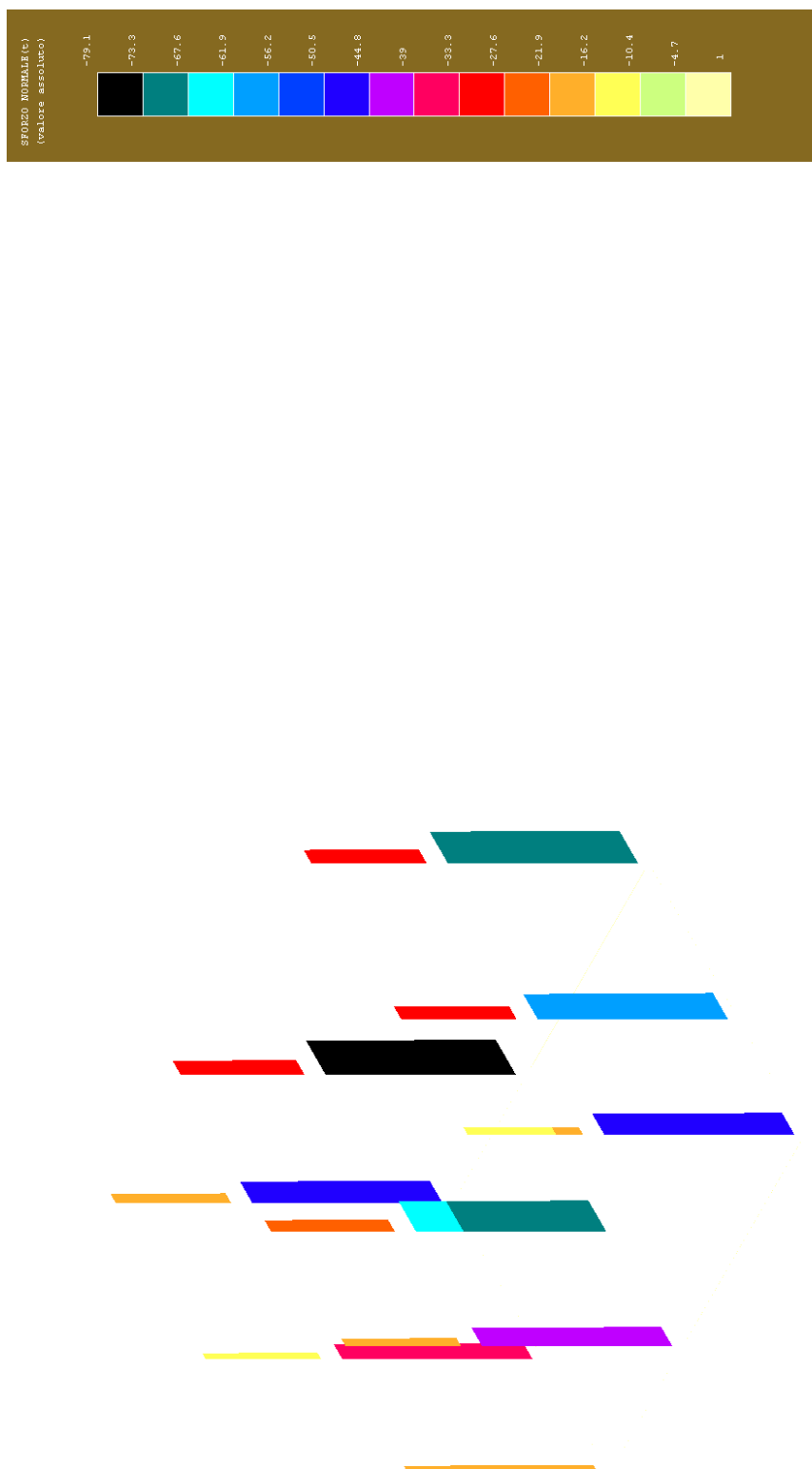


Figura 4.46 Vlerat numerike të forcave normale në kolona prej ngarkesave statike vertikale, të përhershme dhe të përkohshme

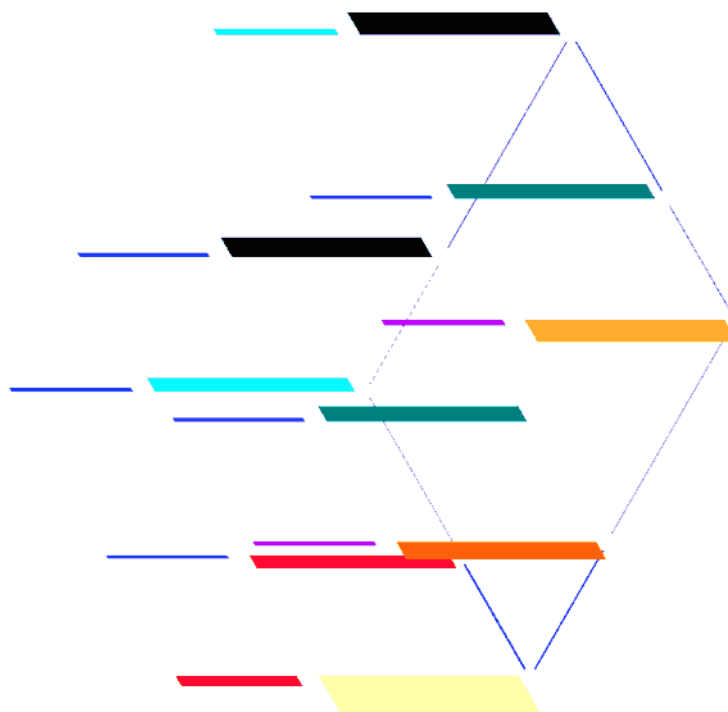


Figura 4.47 Vlerat numerike të forcave normale në kolona prej veprimi të tërmetit sipas drejtimit gjatësor

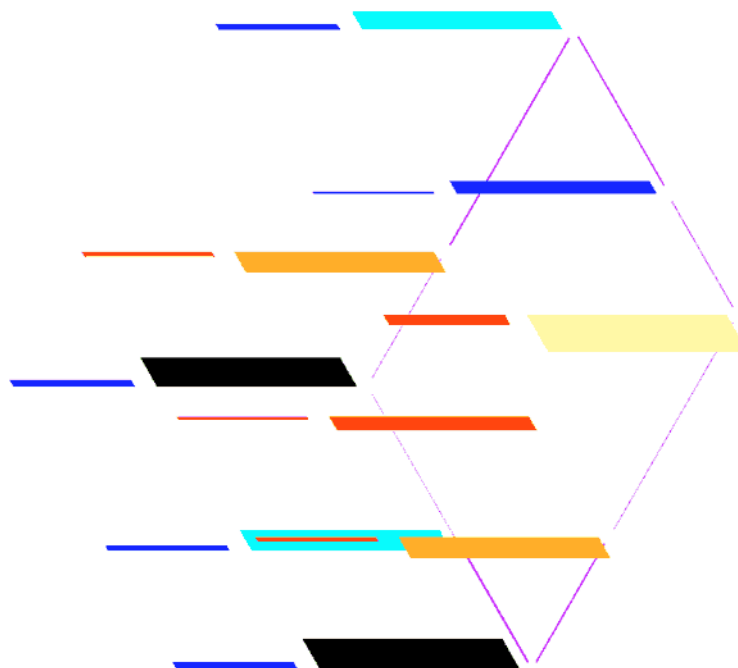
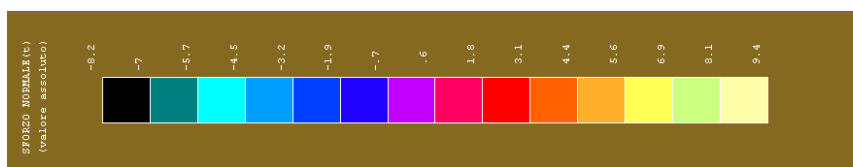


Figura 4.48 Vlerat numerike të forcave normale në kolona prej veprimit të tërmetit sipas drejtimit tërthor

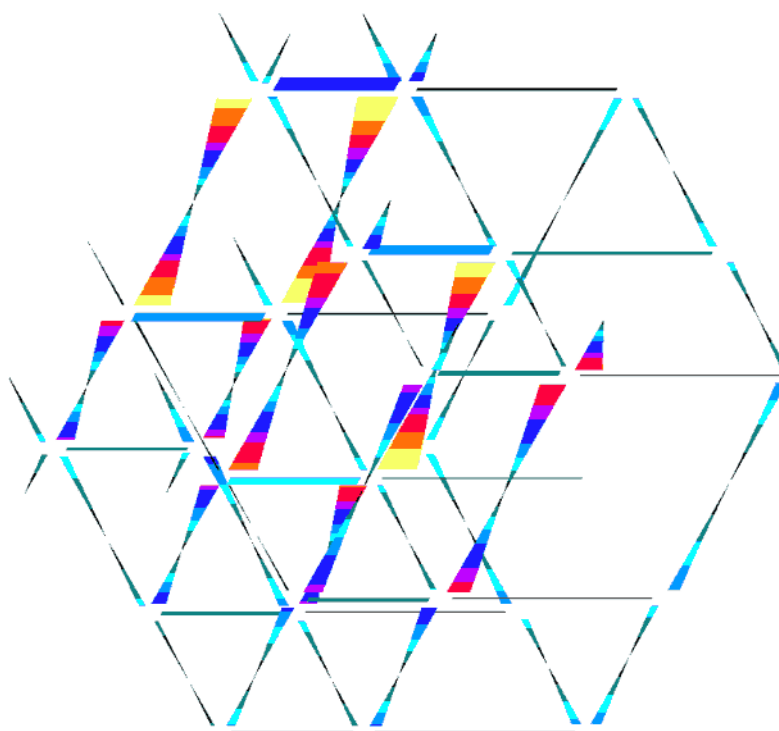


Figura 4.49 Vlerat numerike të forcave prerëse prej ngarkesave statike vertikale, të përhershme dhe të përkohshme

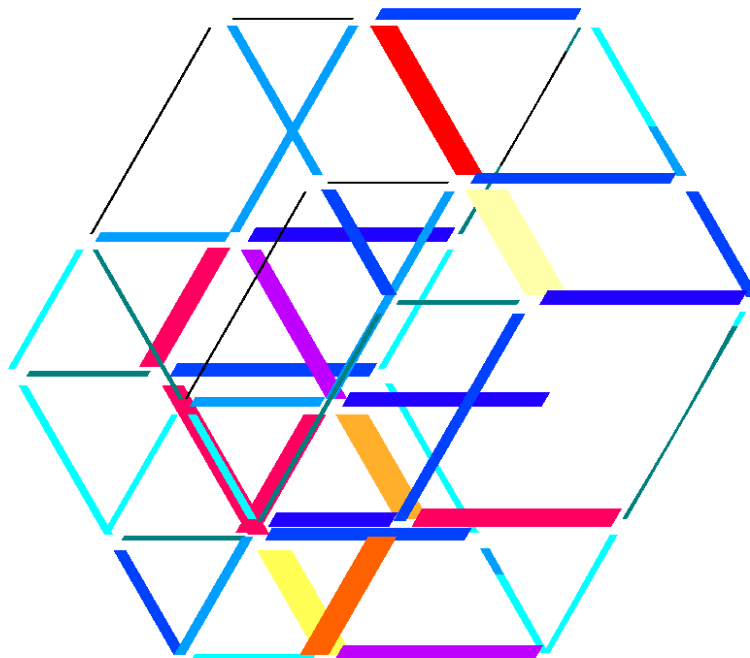
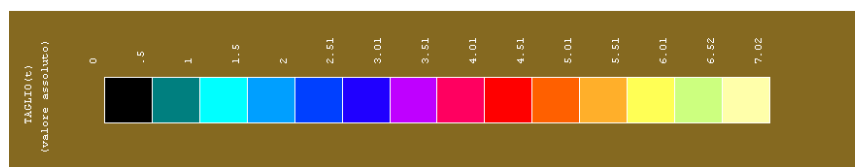


Figura 4.50 Vlerat numerike të forcave prerëse prej veprimit të tërmetit sipas drejtimit gjatësor

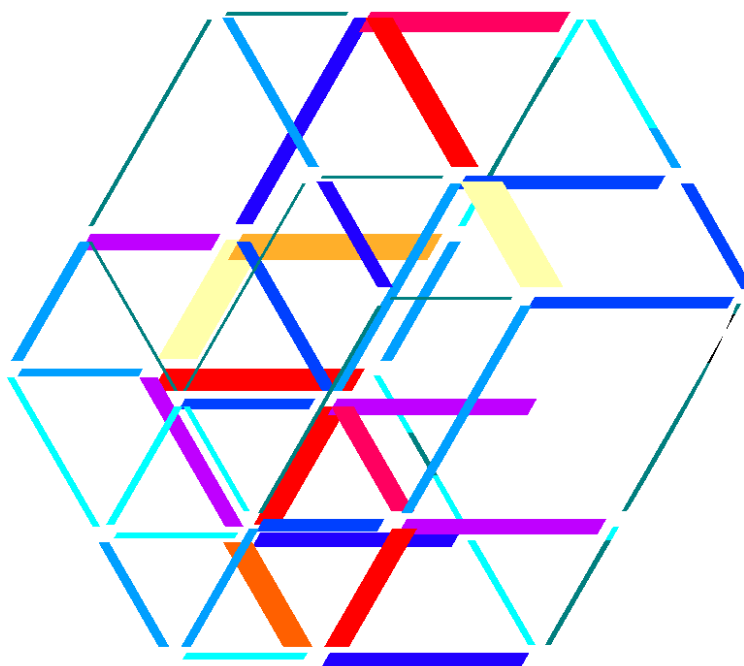


Figura 4.51 Vlerat numerike të forcave prerëse prej veprimit të tërmetit sipas drejtimit tërthor

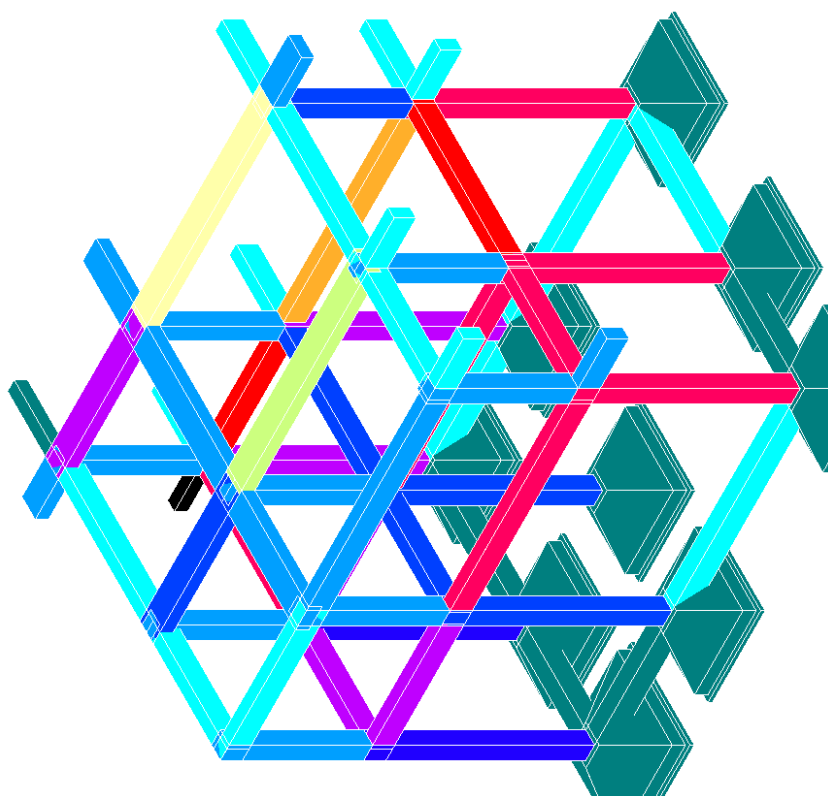


Figura 4.52 Vlerat numerike të armaturave të çelikut në trarë dhe kolona

Nga studimi i figurave 4.40 deri në 4.52 veçojmë këto rezultate:

- deformimi maksimal nën veprimin e ngarkesave statike vertikale, të përhershme dhe të përkohshme është 6.61mm
- deformimi maksimal nën veprimin e tërmetit sipas drejtimit gjatësor është 13.1mm
- deformimi maksimal nën veprimin e tërmetit sipas drejtimit tërthor është 15.9mm
- momenti përkulës maksimal prej ngarkesave statike vertikale, të përhershme dhe të përkohshme është 16.3Tm
- momenti përkulës maksimal prej veprimit të tërmetit në drejtimin gjatësor është 11.8Tm
- momenti përkulës maksimal prej veprimit të tërmetit në drejtimin tërthor është 11.6Tm
- forca normale maksimale prej ngarkesave statike vertikale, të përhershme dhe të përkohshme është -79.1T (shtypje)
- forca normale maksimale prej veprimit të tërmetit në drejtimin gjatësor është 11.9T (tërheqje)
- forca normale maksimale prej veprimit të tërmetit në drejtimin tërthor është 9.4T (tërheqje)
- forca prerëse maksimale prej ngarkesave statike vertikale, të përhershme dhe të përkohshme është 19.7T
- forca prerëse maksimale prej veprimit të tërmetit në drejtimin gjatësor është 7.02T
- forca prerëse maksimale prej veprimit të tërmetit në drejtimin tërthor është 6.85T
- armatura maksimale 16.0cm²

Krahasimi i rezultateve pasqyrohet në tabelën 4.8.

	Sipas KTP – N.2 - 89	Sipas Eurokodeve
Deformimet prej g+p (mm)	4.57	6.61
Deformimet prej tërmetit gjatësor (mm)	3.82	13.1
Deformimet prej tërmetit tërthor (mm)	4.60	15.9
Momentet përkulës prej g+p (Tm)	11.2	16.3

Momentet përkulës prej tërmetit gjatësor (Tm)	3.41	11.8
Momentet përkulës prej tërmetit tërthor (Tm)	3.36	11.6
Forcat normale prej g+p (T)	-54.3	-79.1
Forcat normale prej tërmetit gjatësor (T)	3.46	11.9
Forcat normale prej tërmetit tërthor (T)	2.72	9.4
Forcat prerëse prej g+p (T)	13.6	19.7
Forcat normale prej tërmetit gjatësor (T)	2.03	7.02
Forcat normale prej tërmetit tërthor (T)	1.97	6.85
Armatura maksimale (cm²)	12.0	16.0

Tabela 4.8 Krahësimi i rezultateve të llogaritjeve sipas normativave të Shqipërisë dhe Eurokodeve

Sikurse shikohet nga tabela 4.8, të gjitha rezultatet e llogaritjeve të kryera mbi bazën e Eurokodeve janë të ndryshme nga rezultatet përkatëse të llogaritjeve të kryera mbi bazën e normativave të vendit tonë. E keqja është, se vlerat e deformimeve, momenteve përkulës, forcave prerëse, forcave normale në kolona, armaturës, të gjetura sipas Eurokodeve janë më të mëdha se vlerat përkatëse të gjetura mbi bazën e normativave të Shqipërisë. Me keto rezultate të dy llogaritjeve që kemi deri tani në dispozicion, mund të themi se struktura nuk i përmbush rregullat apo kërkesat e Eurokodeve. Megjithatë për të bërë një analizë të detajuar dhe për të arritur në një përfundim të saktë duhet që të kryhet analiza push – over.

Janë kryer gjashtëmbëdhjetë analiza push – over. Në tetë prej tyre forcat sizmike janë në përpjestim me modin kryesor të lëkundjeve. Në tetë të tjerat forcat sizmike janë në përpjestim me masat. Në tetë

analizat e para (ku forcat sizmike janë në përpjestim me modin kryesor të lëkundjeve), katër i takojnë tërmetit sipas aksit X (aksi gjatësor) dhe katër i takojnë tërmetit sipas aksit Y (aksi tërthor). Po e njëjta gjë edhe për tetë analizat e dyta (ku forcat sizmike janë në përpjestim me masat). Në katër analizat që i takojnë tërmetit sipas aksit X dy i takojnë jashtëqendërsisë shtesë +5% dhe dy i takojnë jashtëqendërsisë shtesë -5%. Po e njëjta gjë edhe për dymbëdhjetë analizat e tjera. Në mënyrë të përmblodhur analizat mund të renditen si më poshtë:

1. drejtimi i tërmetit sipas +X, forcat në përpjestim me modin kryesor të lëkundjeve, jashtëqendërsia shtesë +5%
2. drejtimi i tërmetit sipas -X, forcat në përpjestim me modin kryesor të lëkundjeve, jashtëqendërsia shtesë +5%
3. drejtimi i tërmetit sipas +Y, forcat në përpjestim me modin kryesor të lëkundjeve, jashtëqendërsia shtesë +5%
4. drejtimi i tërmetit sipas -Y, forcat në përpjestim me modin kryesor të lëkundjeve, jashtëqendërsia shtesë +5%
5. drejtimi i tërmetit sipas +X, forcat në përpjestim me masën, jashtëqendërsia shtesë +5%
6. drejtimi i tërmetit sipas -X, forcat në përpjestim me masën, jashtëqendërsia shtesë +5%
7. drejtimi i tërmetit sipas +Y, forcat në përpjestim me masën, jashtëqendërsia shtesë +5%
8. drejtimi i tërmetit sipas -Y, forcat në përpjestim me masën, jashtëqendërsia shtesë +5%
9. drejtimi i tërmetit sipas +X, forcat në përpjestim me modin kryesor të lëkundjeve, jashtëqendërsia shtesë -5%
10. drejtimi i tërmetit sipas -X, forcat në përpjestim me modin kryesor të lëkundjeve, jashtëqendërsia shtesë -5%
11. drejtimi i tërmetit sipas +Y, forcat në përpjestim me modin kryesor të lëkundjeve, jashtëqendërsia shtesë -5%
12. drejtimi i tërmetit sipas -Y, forcat në përpjestim me modin kryesor të lëkundjeve, jashtëqendërsia shtesë -5%
13. drejtimi i tërmetit sipas +X, forcat në përpjestim me masën, jashtëqendërsia shtesë -5%
14. drejtimi i tërmetit sipas -X, forcat në përpjestim me masën, jashtëqendërsia shtesë -5%
15. drejtimi i tërmetit sipas +Y, forcat në përpjestim me masën, jashtëqendërsia shtesë -5%
16. drejtimi i tërmetit sipas -Y, forcat në përpjestim me masën, jashtëqendërsia shtesë -5%

Në figurat 4.53 deri 4.62 tregohen dhjetë grafikë që përfaqësojnë dhjetë kurbat e kapacitetit. Në fakt janë gjashtëmbëdhjetë grafikë të tillë. Për të mos u zgjatur shumë janë zgjedhur dhjetë prej tyre. Këta grafikë tregojnë se si sillet struktura nën veprimin e forcave horizontale sizmike që vijnë duke u rritur, deri sa çojnë në shkatërrimin e strukturës.

Push-Over Nro: 1



Figura 4.53 Kurba e kapacitetit për analizën push – over 1, struktura e papërforsuar

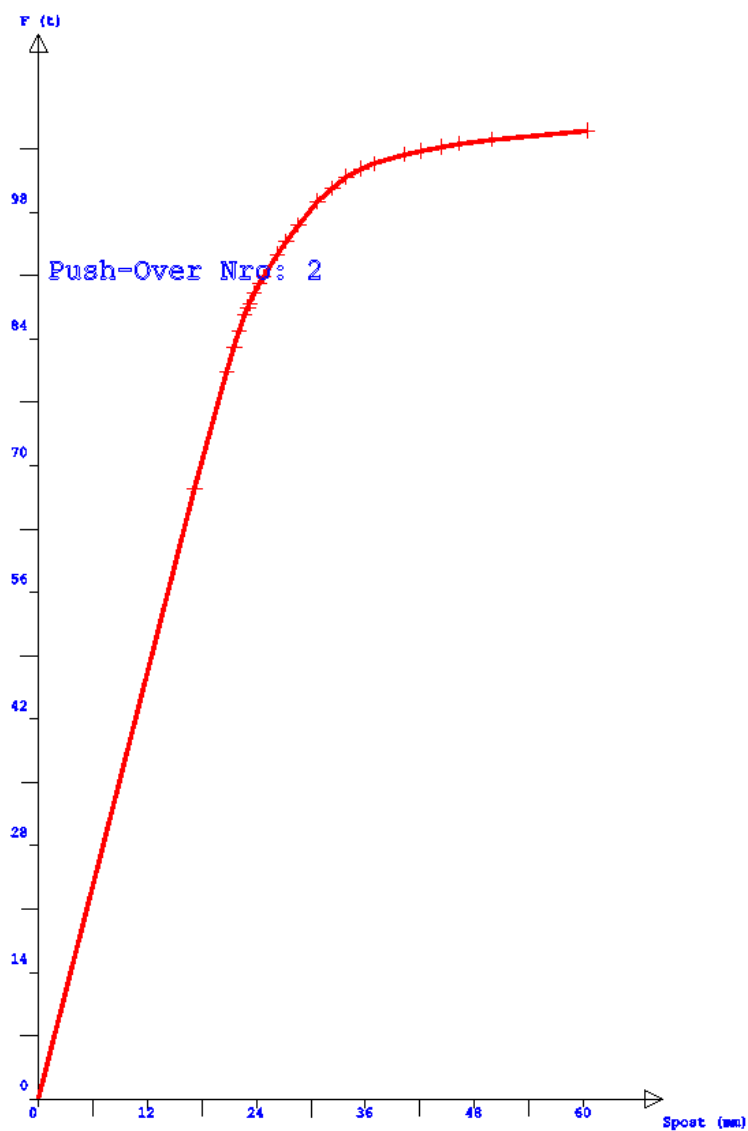


Figura 4.54 Kurba e kapacitetit për analizën push – over 2, struktura e papërforcuar

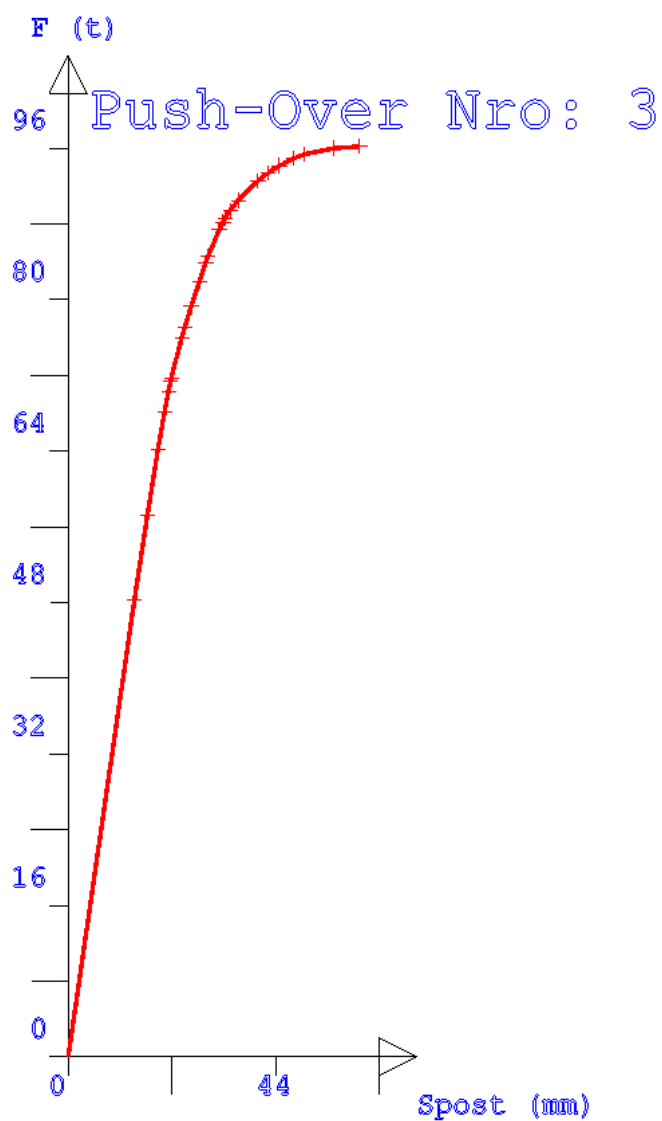


Figura 4.55 Kurba e kapacitetit për analizën push – over 3, struktura e papërforcuar

Push-Over Nro: 4

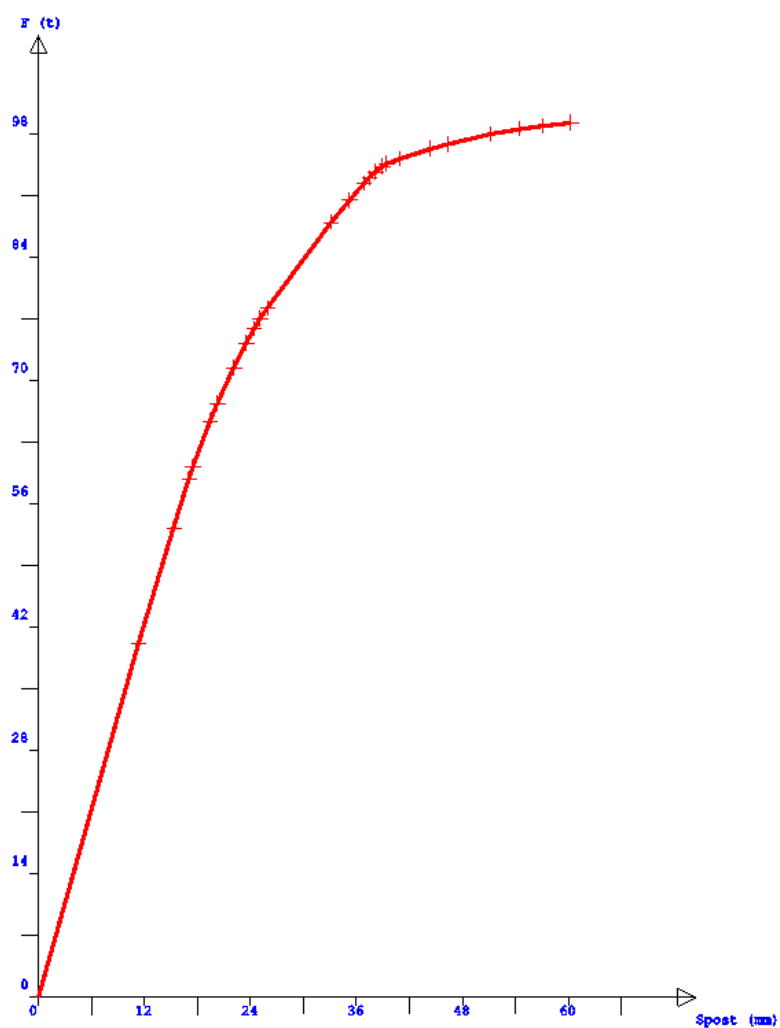


Figura 4.56 Kurba e kapacitetit për analizën push – over 4, struktura e papërforcuar

Push-Over Nro: 5

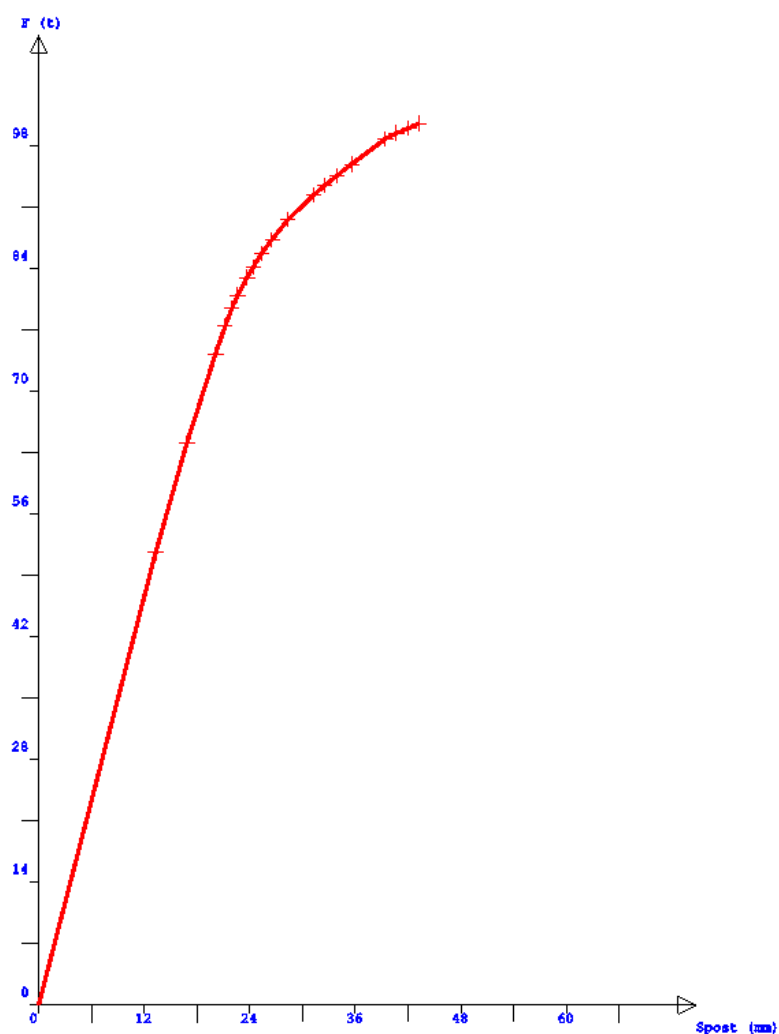


Figura 4.57 Kurba e kapacitetit për analizën push – over 5, struktura e papërforcuar

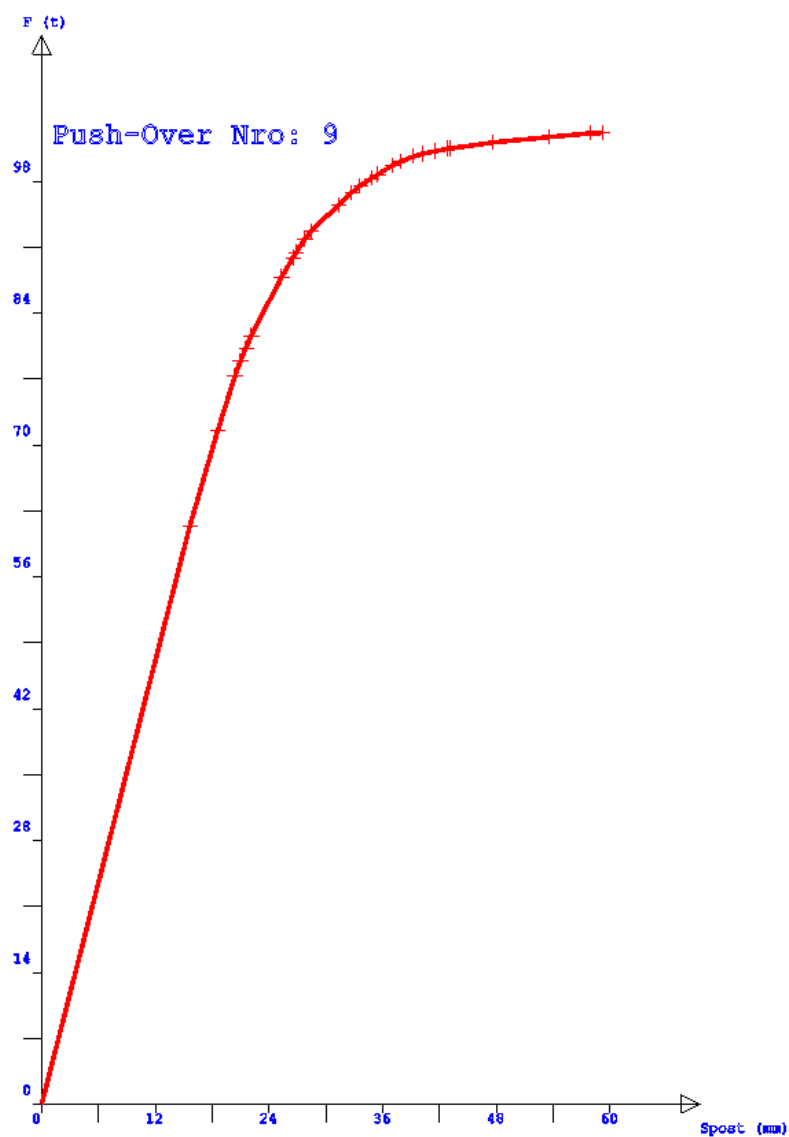


Figura 4.58 Kurba e kapacitetit për analizën push – over 9, struktura e papërforcuar

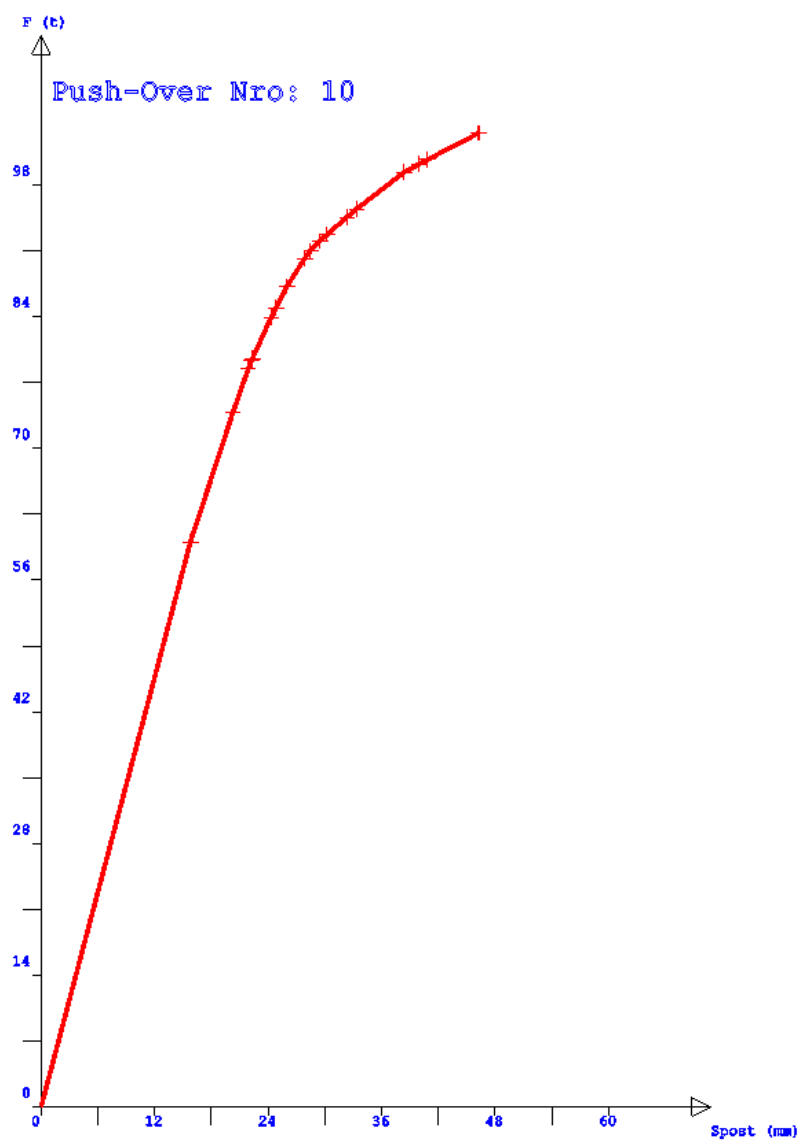


Figura 4.59 Kurba e kapacitetit për analizën push – over 10, struktura e papërforcuar

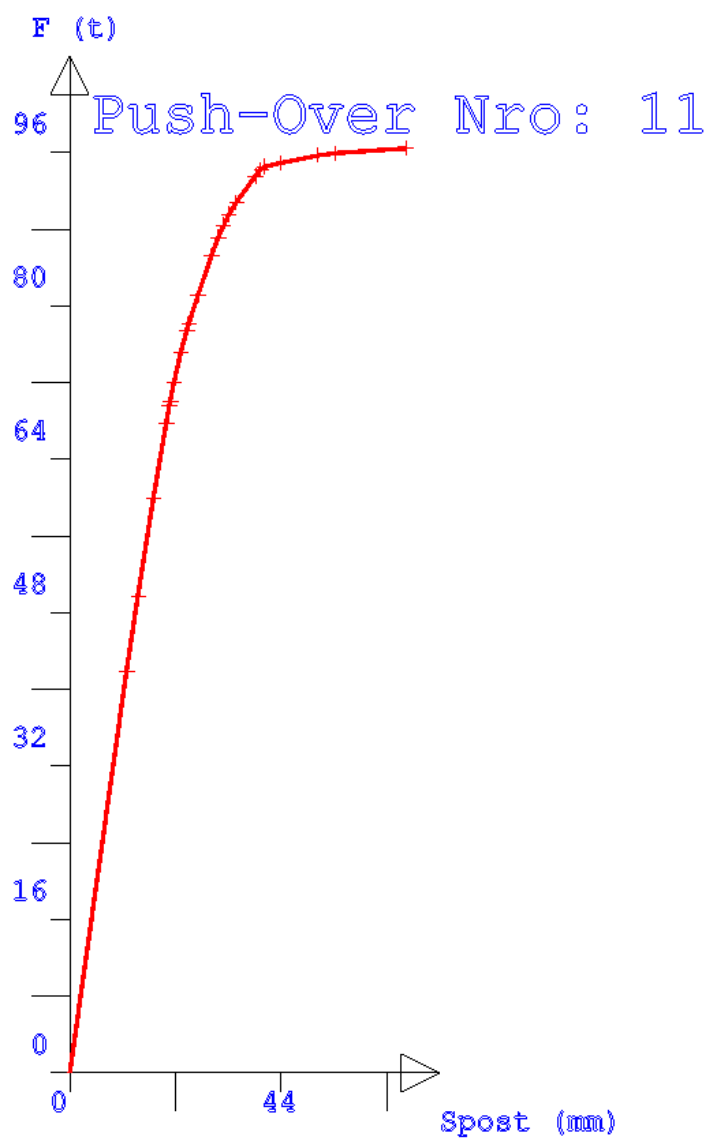


Figura 4.60 Kurba e kapacitetit për analizën push – over 11, struktura e papërforsuar

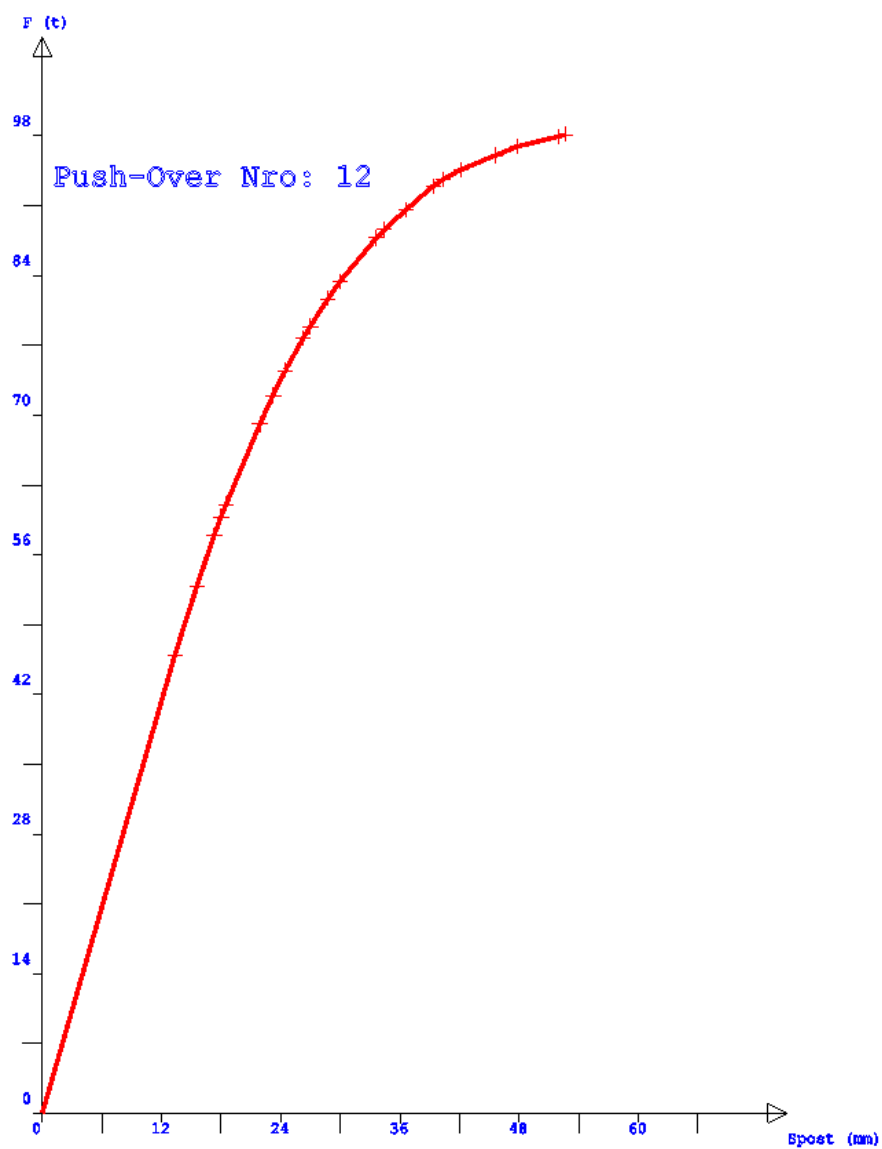


Figura 4.61 Kurba e kapacitetit për analizen push – over 12, struktura e papërforsuar

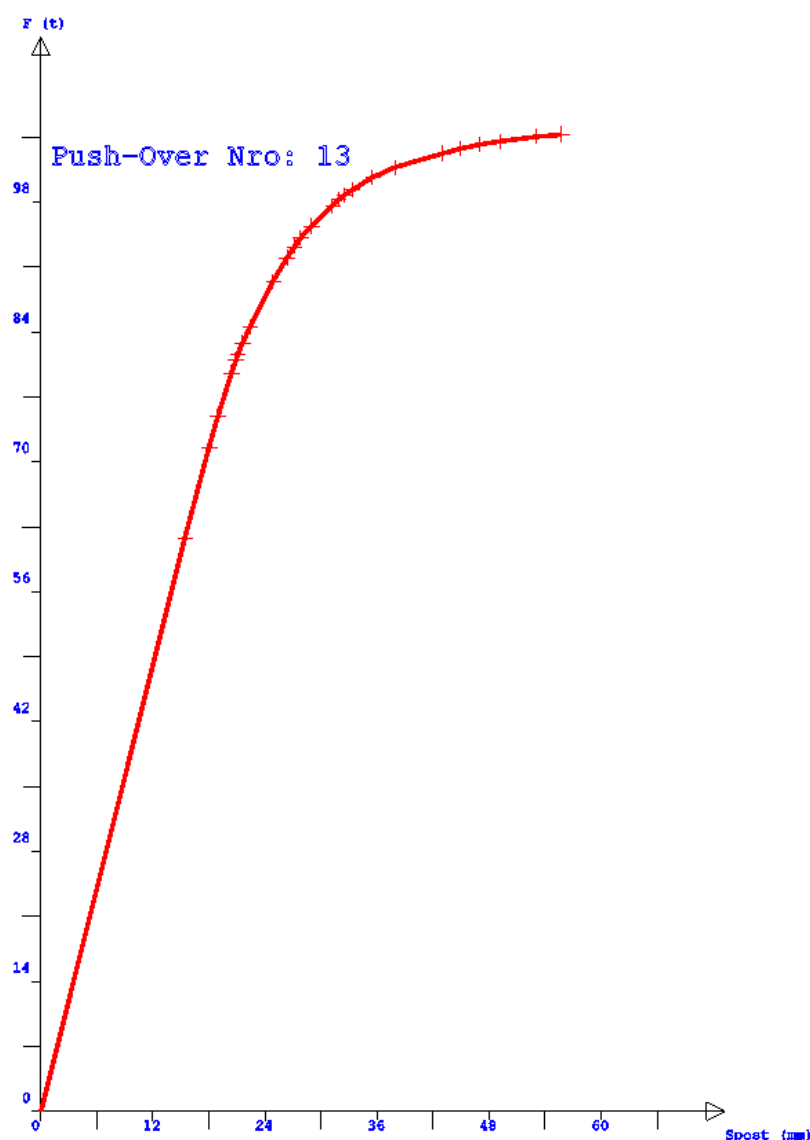


Figura 4.62 Kurba e kapacitetit për analizën push – over 13, struktura e papërforsuar

Si duhen kuptuar grafikët e mësipërm?

Në boshtin e abshisave të grafikëve të mësipërm janë vendosur zhvendosjet që pëson qendra e rëndesës së katit të sipërm të ndërtesës. Në boshtin e ordinatave janë vendosur forcat horizontale sizmike.

Nëse struktura është e tipit të thyeshëm (“fragile”), ose pjesërisht e tillë (kujtojmë analogjinë figurative që kemi bërë më sipër për shtëpinë prej kristali), pra nëse struktura është e thyeshme si të ishte prej kristali atëherë grafiku është një vijë e drejtë (ose pak a shumë e tillë) e pjerrët kundrejt boshtit të abshisave. Në rastin më të mirë të strukturave të thyeshme, grafiku është një vijë e drejtë me një pjesë pak të kurbëzuar

në majë. Po si duhet të jenë këta grafikë që të jemi të kënaqur? Grafiku në këtë rast duhet të ketë një pjesë vijëdrejtë të pjerrësuar kundrejt boshtit të abshisave dhe pastaj duhet të pasohet nga një vijë e drejtë (sa më të gjatë) paralele me këtë bosht. Kjo do të thotë se struktura është duktile. Nën veprimin e forcave të tërmetit ajo deformohet dhe zhvendoset shumë pa u shkatërruar. Sigurisht që synojmë që struktura të jetë sa më duktile.

Pyetja që shtrohet tani është nëse struktura që po studiojmë është e verifikuar apo jo. I reziston ajo forcave sizmike të llogaritura sipas Eurokodeve, apo jo?! I përmbush ajo rregullat dhe kriteret e kërkuara nga Eurokodet? Për kete do të shohim dhjetë grafikë të tjerë, të paraqitur në figurat 4.63 deri në 4.72. Quhen grafikë të spektrave. Këta grafikë i takojnë dhjetë analizave push – over që ne kemi marrë në studim. Në boshtin e abshisave janë vendosur zhvendosjet dhe në atë të ordinatave është vendosur raporti spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë. Secili nga këta grafikë është i pajisur me një tabelë. Në këtë tabelë janë paraqitur (në gjuhën italiane të programit) disa të dhëna. Konkretisht:

- DANNO LEGGERO – DEMENTIM I LEHTE
Domanda di spostamento – Zhvendosja e kërkuar
Capacita' di spostamento – Zhvendosja e mundshme
PgaDL – Shpejtimi për dëmtim të lehtë
- DANNO SEVERO – DEMENTIM I RENDE
Domanda di spostamento – Zhvendosja e kërkuar
Capacita' di spostamento – Zhvendosja e mundshme
PgaDS – Shpejtimi për dëmtim të rëndë
- COLLASSO – SHKATERRIMI (KOLAPSI)
Domanda di spostamento – Zhvendosja e kërkuar
Capacita' di spostamento – Zhvendosja e mundshme
PgaCO – Shpejtimi i kolapsit
- VERIFICATO – I VERIFIKUAR
- NON VERIFICATO – I PAVERIFIKUAR

Tre verifikime për të sqaruar gjithcka në lidhje me strukturën e ndërtesës që po analizohet. Natyrisht që ajo ç'ka kërkohet të plotësohet është që zhvendosjet e mundshme, që ofron struktura, të jenë më të mëdha se ato të kërkuara. Në këtë rast në tabele shfaqet shënimi “i verifikuar”. Po të shikojmë me kujdes tabelat e dhjetë analizave të marra në studim vëmë re se në të gjitha shfaqet shënimi “i paverifikuar”. Gjë që përfundimisht do të thotë se struktura nuk i përmbush kërkesat e

Eurokodeve dhe duhet të përforcohet. Më poshtë po tregojmë grafikët e spektrave, për dhjetë analizat push – over të marra në studim.

Push-Over Nro: 1

DAMNO LEGGERO:	
■	Domanda di spostamento : 10.32 mm
◆	Capacita' di spostamento : 19.52 mm
	PgADL : .151 Ag/g
DAMNO SEVERO: NON VERIFICATO	
■	Domanda di spostamento : 43.01 mm
◆	Capacita' di spostamento : 30.57 mm
	PgADS : .142 Ag/g
COLLASSO: NON VERIFICATO	
■	Domanda di spostamento : 64.52 mm
◆	Capacita' di spostamento : 39.24 mm
	PgACO : .182 Ag/g

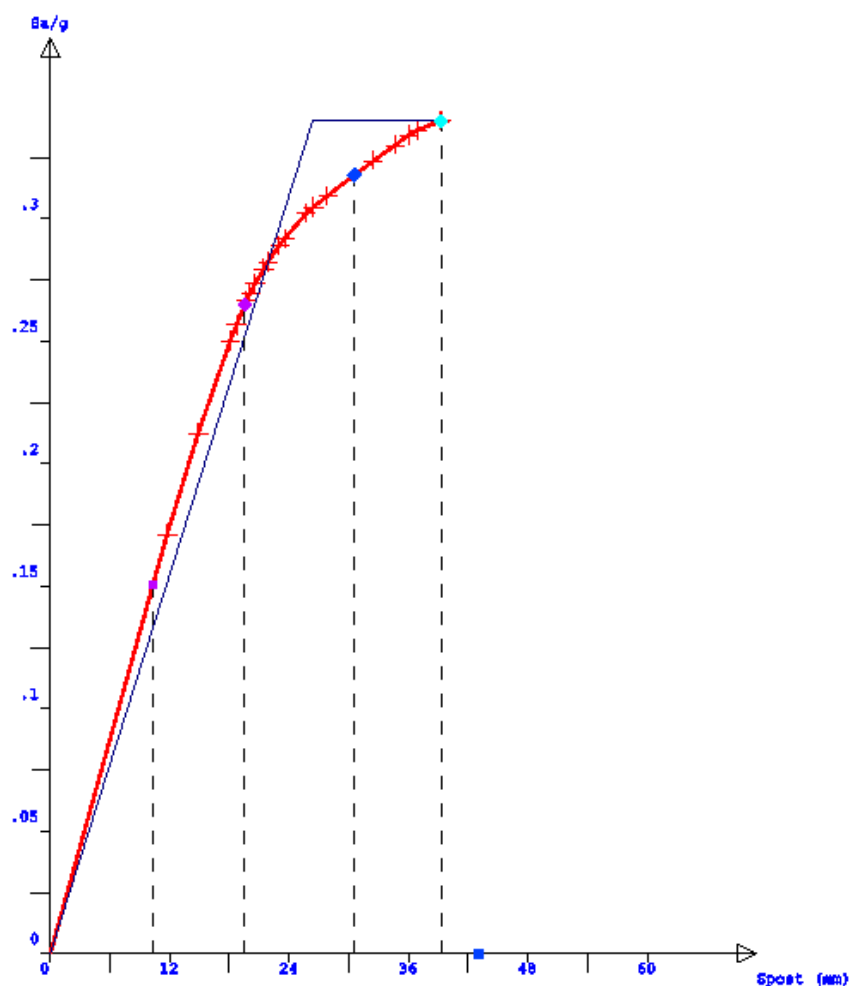


Figura 4.63 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 1, struktura e papërforcuar

Push-Over Nro: 2

DAMNO LEGGERO:	
■	Domanda di spostamento : 9.99 mm
◆	Capacita' di spostamento : 27.19 mm
	PgaDL : .218 Ag/g
DAMNO SEVERO: NON VERIFICATO	
■	Domanda di spostamento : 41.64 mm
◆	Capacita' di spostamento : 39.4 mm
	PgaDS : .189 Ag/g
COLLASSO: NON VERIFICATO	
■	Domanda di spostamento : 62.46 mm
◆	Capacita' di spostamento : 53.65 mm
	PgaCO : .258 Ag/g

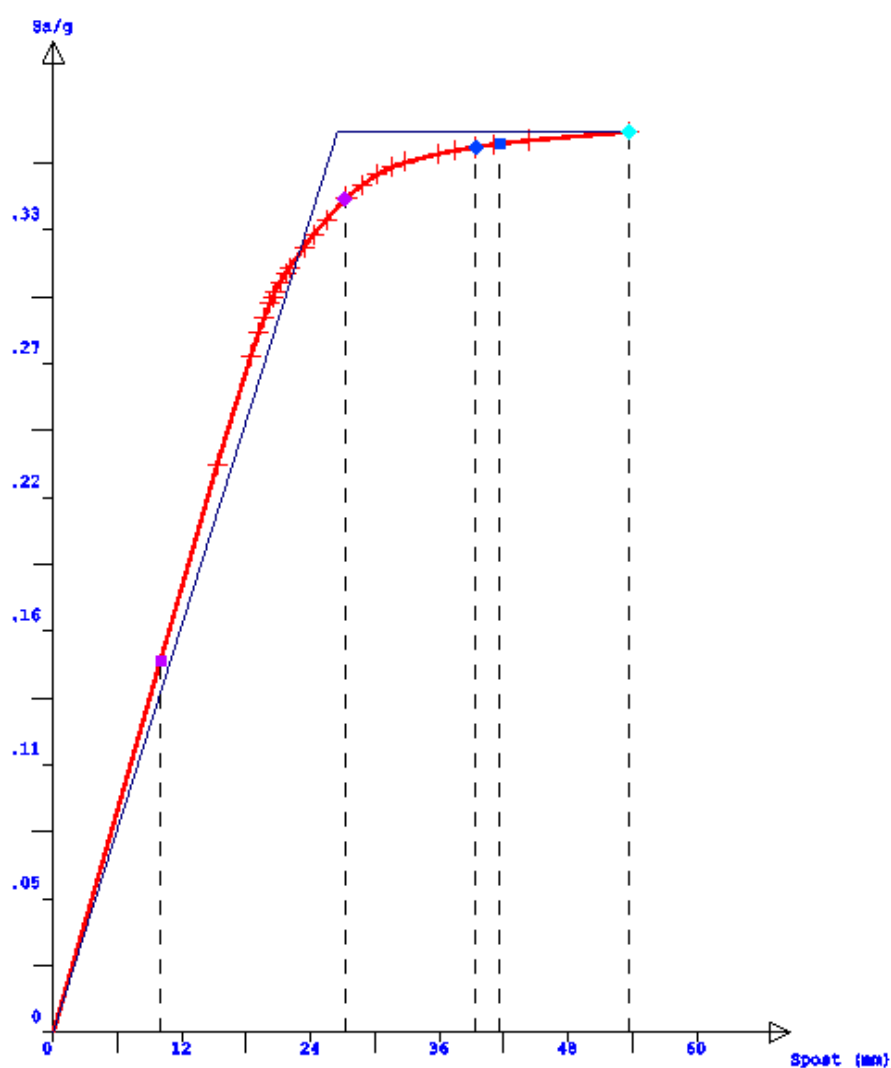


Figura 4.64 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 2, struktura e papërforsuar

Push-Over Nro: 3

DANNO LEGGERO:	
■	Domanda di spostamento : 10.74 mm
◆	Capacita' di spostamento : 25.58 mm
	PgaDL : .19 Ag/g
DANNO SEVERO: NON VERIFICATO	
■	Domanda di spostamento : 44.76 mm
◆	Capacita' di spostamento : 39.61 mm
	PgaDS : .177 Ag/g
COLLASSO: NON VERIFICATO	
■	Domanda di spostamento : 67.14 mm
◆	Capacita' di spostamento : 53.98 mm
	PgaCO : .241 Ag/g

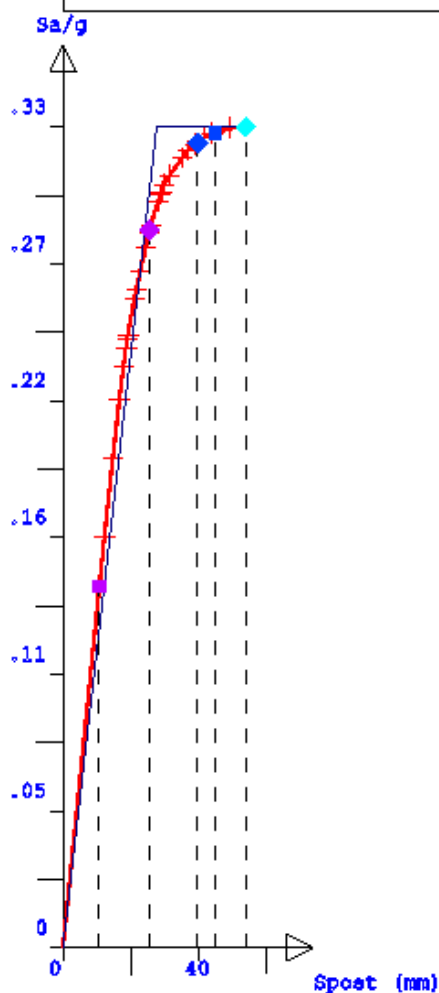


Figura 4.65 Varësia e raportit spektër i shpejtimit të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 3, struktura e papërforsuar

Push-Over Nro: 4

DAMNO LEGGERO:	
■	Domanda di spostamento : 10.82 mm
◆	Capacita' di spostamento : 24.55 mm
	$P_{yADL} : .181 \text{ Kg/g}$
DAMNO SEVERO: NON VERIFICATO	
■	Domanda di spostamento : 45.09 mm
◆	Capacita' di spostamento : 39.58 mm
	$P_{yADS} : .176 \text{ Kg/g}$
COLLASSO: NON VERIFICATO	
■	Domanda di spostamento : 67.63 mm
◆	Capacita' di spostamento : 52.6 mm
	$P_{yACO} : .233 \text{ Kg/g}$

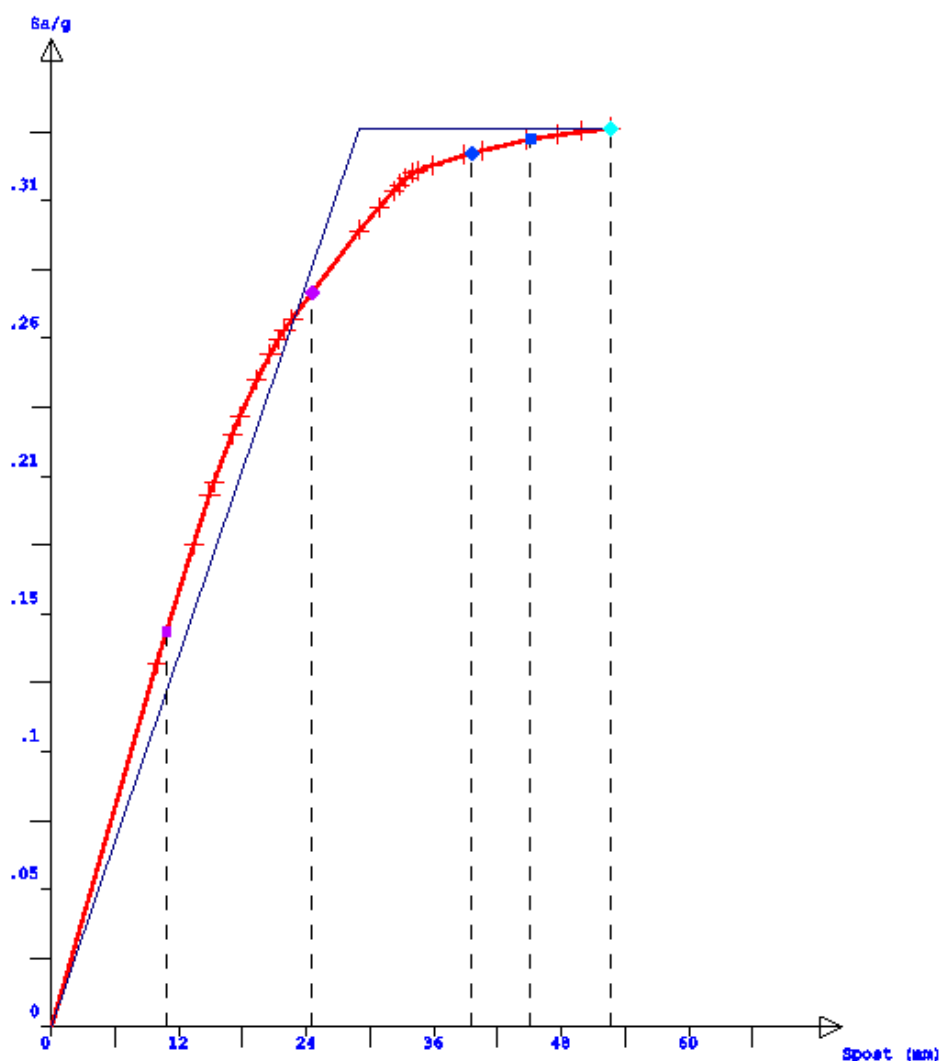


Figura 4.66 Varësia e raportit spektër i shpejttimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 4, struktura e papërforsuar

Push-Over Nro: 5

DAMNO LEGGERO:	
■	Domanda di spostamento : 10.86 mm
◆	Capacita' di spostamento : 22.14 mm
	PgaDL : .163 Ag/g
DAMNO SEVERO: NON VERIFICATO	
■	Domanda di spostamento : 45.28 mm
◆	Capacita' di spostamento : 33.55 mm
	PgaDS : .148 Ag/g
COLLASSO: NON VERIFICATO	
■	Domanda di spostamento : 67.92 mm
◆	Capacita' di spostamento : 43.22 mm
	PgaCO : .191 Ag/g

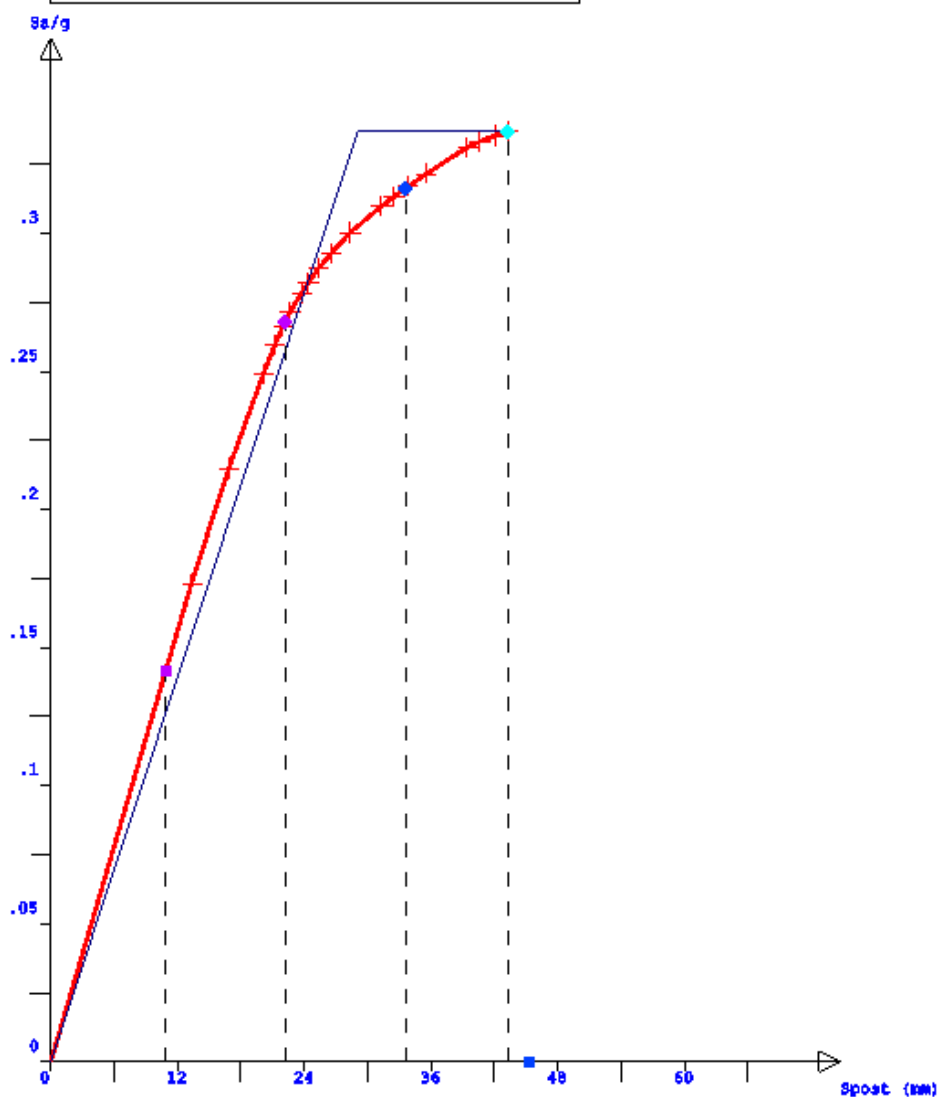


Figura 4.67 Varësia e raportit spektër i shpejttimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 5, struktura e papërforsuar

Push-Over Nro: 9

DAMNO LEGGERO:	
■	Domanda di spostamento : 10.1 mm
◆	Capacita' di spostamento : 23.45 mm
	P_{yADL} : .186 Ag/g
DAMNO SEVERO: NON VERIFICATO	
■	Domanda di spostamento : 42.09 mm
◆	Capacita' di spostamento : 37.8 mm
	P_{yADS} : .18 Ag/g
COLLASSO: NON VERIFICATO	
■	Domanda di spostamento : 63.14 mm
◆	Capacita' di spostamento : 52.57 mm
	P_{yACO} : .25 Ag/g

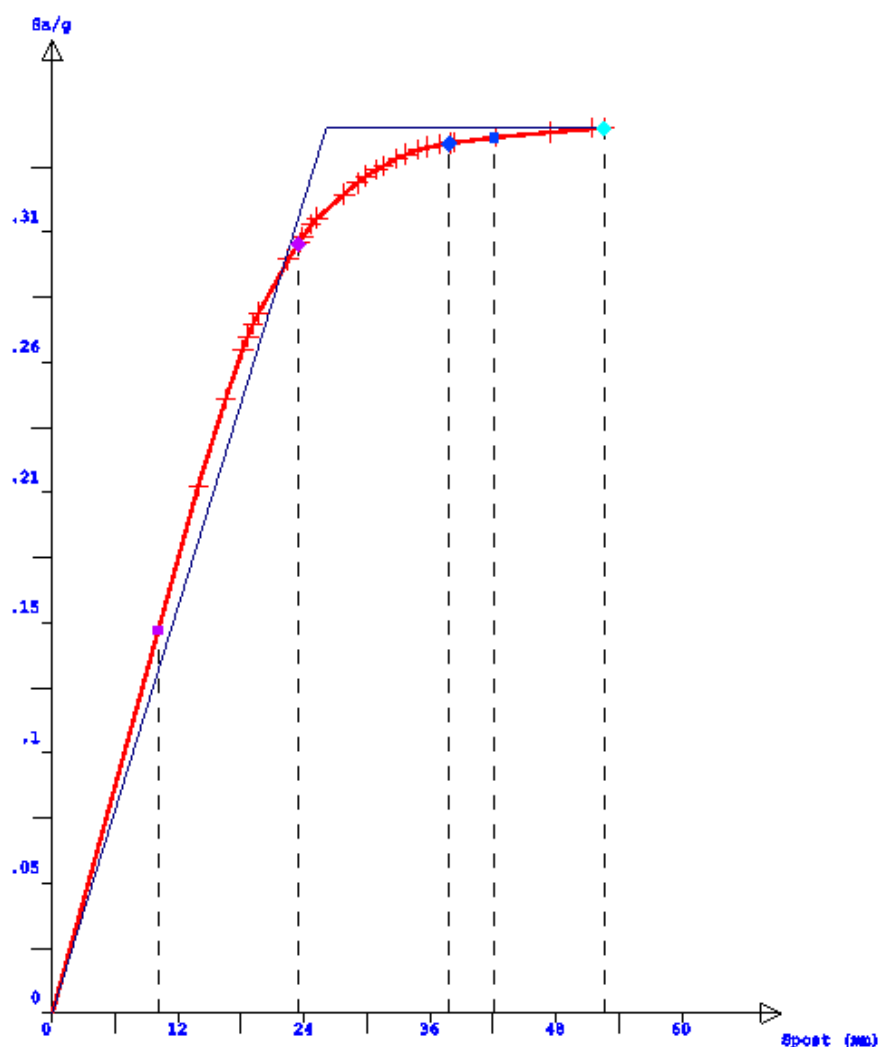


Figura 4.68 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 9, struktura e papërforsuar

Push-Over Nro: 10

DAMNO LEGGERO:	
■	Domanda di spostamento : 10.29 mm
◆	Capacita' di spostamento : 21.82 mm
	$P_{yDL} : .17 \text{ kg/g}$
DAMNO SEVERO: NON VERIFICATO	
■	Domanda di spostamento : 42.9 mm
◆	Capacita' di spostamento : 31.36 mm
	$P_{yDS} : .146 \text{ kg/g}$
COLLASSO: NON VERIFICATO	
■	Domanda di spostamento : 64.35 mm
◆	Capacita' di spostamento : 41.09 mm
	$P_{yCO} : .192 \text{ kg/g}$

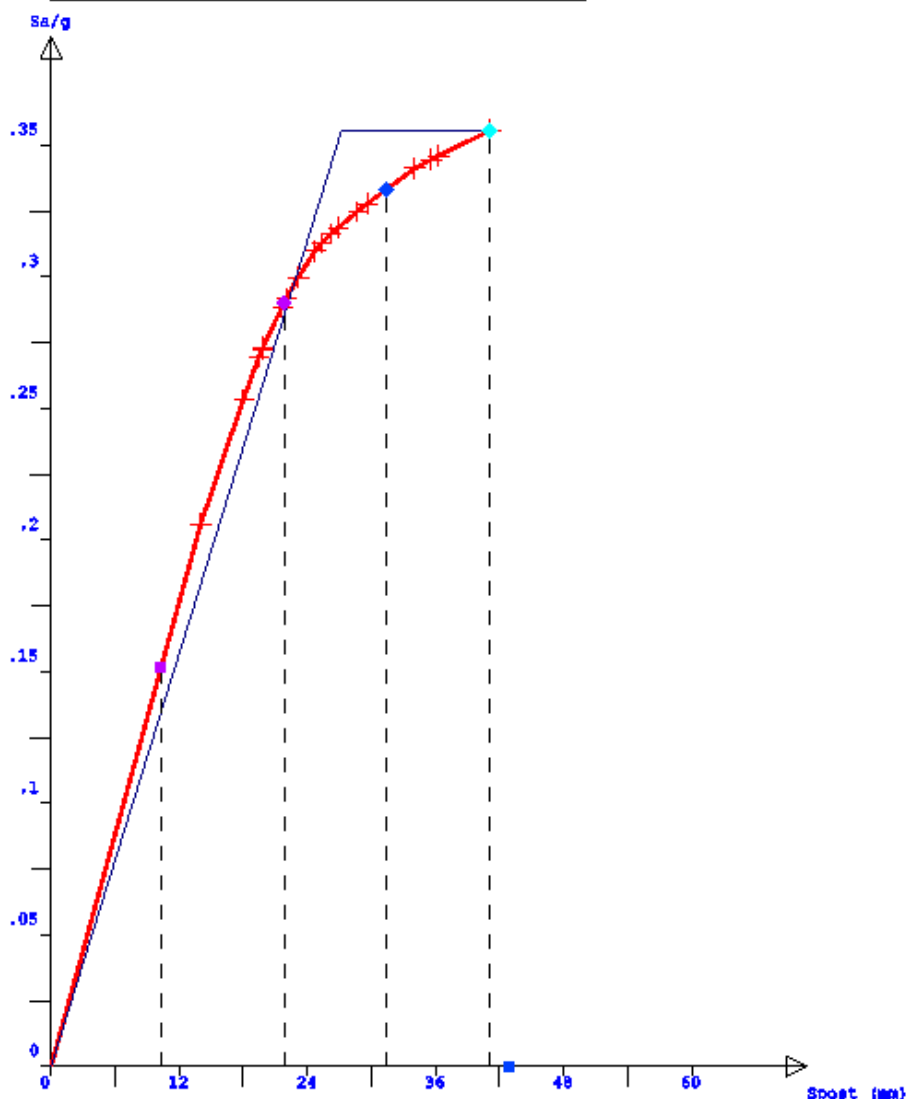


Figura 4.69 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 10, struktura e papërforsuar

Push-Over Nro: 11

DANNO LEGGERO:	
■	Domanda di spostamento : 10.61 mm
◆	Capacita' di spostamento : 25.25 mm
	$P_{gaDL} : .19 \text{ kg/g}$
DANNO SEVERO:	
■	Domanda di spostamento : 44.23 mm
◆	Capacita' di spostamento : 45.25 mm
	$P_{gaDS} : .205 \text{ kg/g}$
COLLASSO: NON VERIFICATO	
■	Domanda di spostamento : 66.34 mm
◆	Capacita' di spostamento : 61.17 mm
	$P_{gaCO} : .277 \text{ kg/g}$

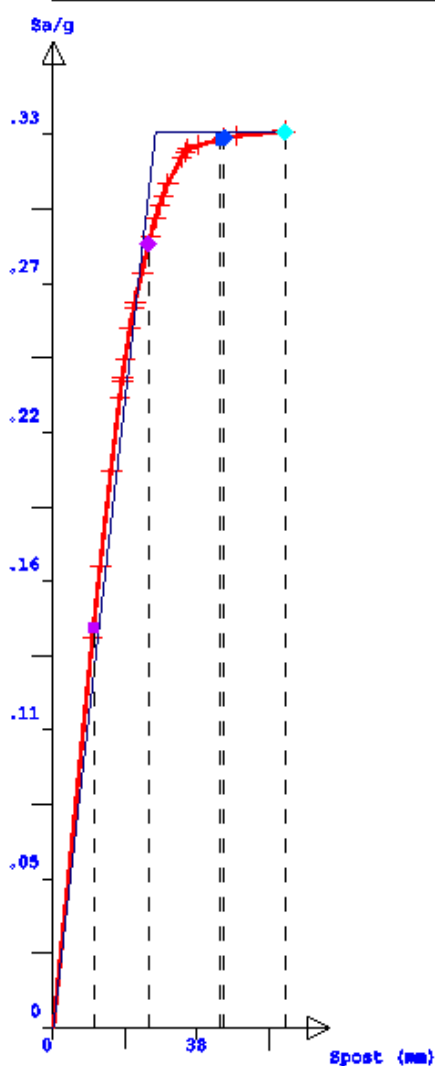


Figura 4.70 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 11, struktura e papërforsuar

Push-Over Nro: 12

DAMNO LEGGERO:	
■	Domanda di spostamento : 10.9 mm
◆	Capacita' di spostamento : 20.67 mm
	PgaDL : .152 Ag/g
DAMNO SEVERO: NON VERIFICATO	
■	Domanda di spostamento : 45.45 mm
◆	Capacita' di spostamento : 35.47 mm
	PgaDS : .156 Ag/g
COLLASSO: NON VERIFICATO	
■	Domanda di spostamento : 66.18 mm
◆	Capacita' di spostamento : 46.04 mm
	PgaCO : .202 Ag/g

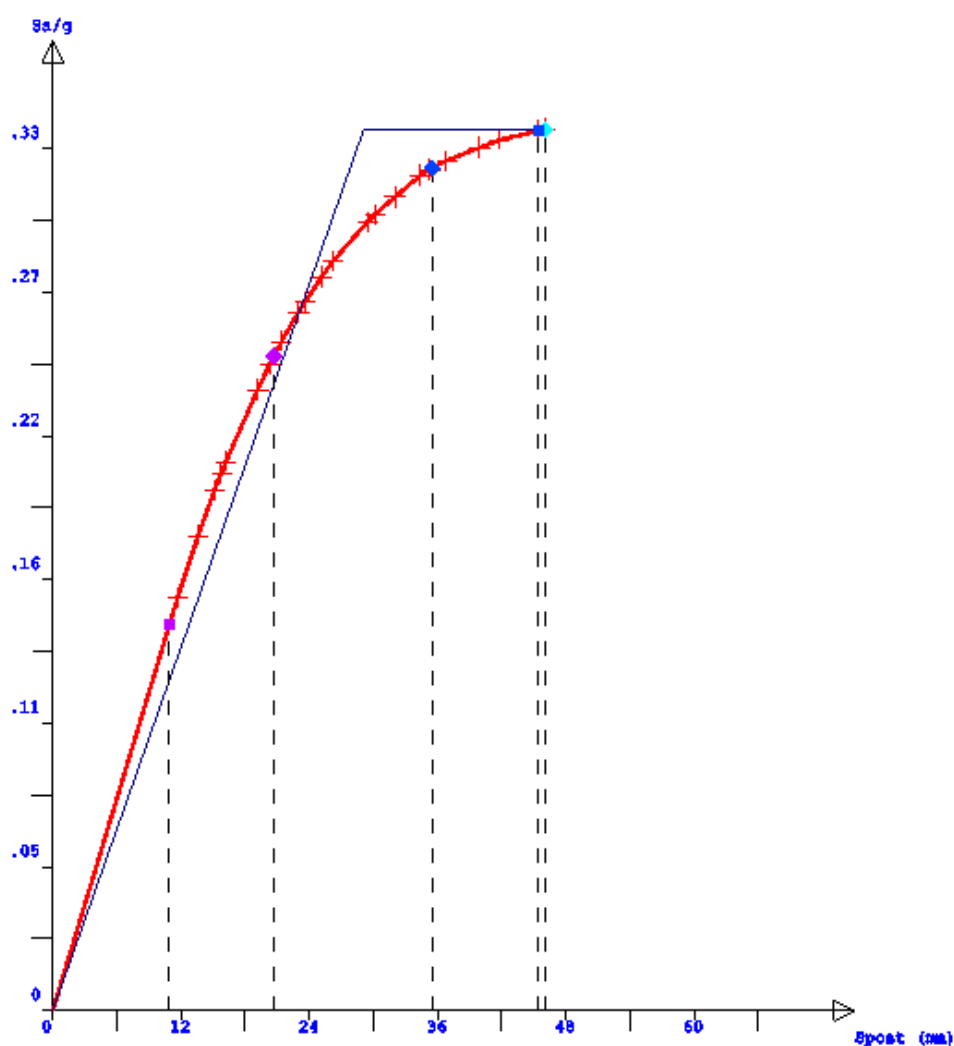


Figura 4.71 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 12, struktura e papërforsuar

Push-Over Nro: 13

DAMNO LEGGERO:	
■	Domanda di spostamento : 10.66 mm
◆	Capacità di spostamento : 27.97 mm
	$F_{y,DL} : .21 \text{ kg/g}$
DAMNO SEVERO: NON VERIFICATO	
■	Domanda di spostamento : 44.42 mm
◆	Capacità di spostamento : 41.02 mm
	$F_{y,DS} : .185 \text{ kg/g}$
COLLASSO: NON VERIFICATO	
■	Domanda di spostamento : 66.63 mm
◆	Capacità di spostamento : 55.72 mm
	$F_{y,CO} : .251 \text{ kg/g}$

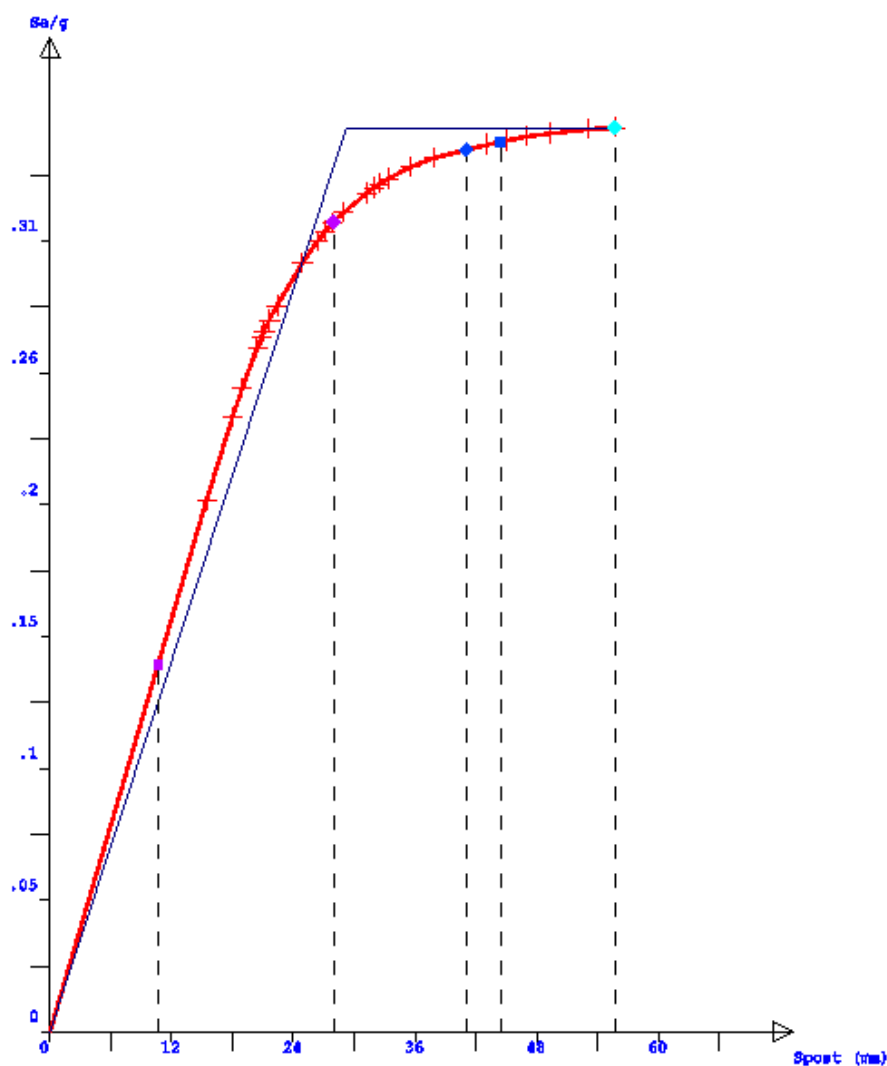


Figura 4.72 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 13, struktura e papërforsuar

Struktura është përforcuar me FRP. Për arsye studimi fillimisht janë përforcuar vetëm trarët. Në variantin tjetër janë përforcuar vetëm kolonat. Në variantin përfundimtar janë përforcuar trarët dhe kolonat. Janë përdorur FRP me fibra karboni të kompanisë Mapei, FRP Mapei Carboplate, $\epsilon_{fd} = 0.009$; $t_f = 1.2\text{mm}$; $b_f = 150\text{mm}$; $A_f = 210\text{mm}^2$; $E_f = 230\text{GPa}$. Mënyra e përforcimit është treguar në pjesën përkatëse të këtij punimi. Në figurat 4.73 deri 4.75 tregohen kurbat e kapacitetit për tre (nga dhjetë) analizat push – over, të marra në studim, që i takojnë rastit kur janë përforcuar vetëm trarët. Në figurat 4.76 deri 4.85 tregohen grafikët e spektrave për dhjetë analizat e marra në studim, që i takojnë rastit kur janë përforcuar vetëm trarët.

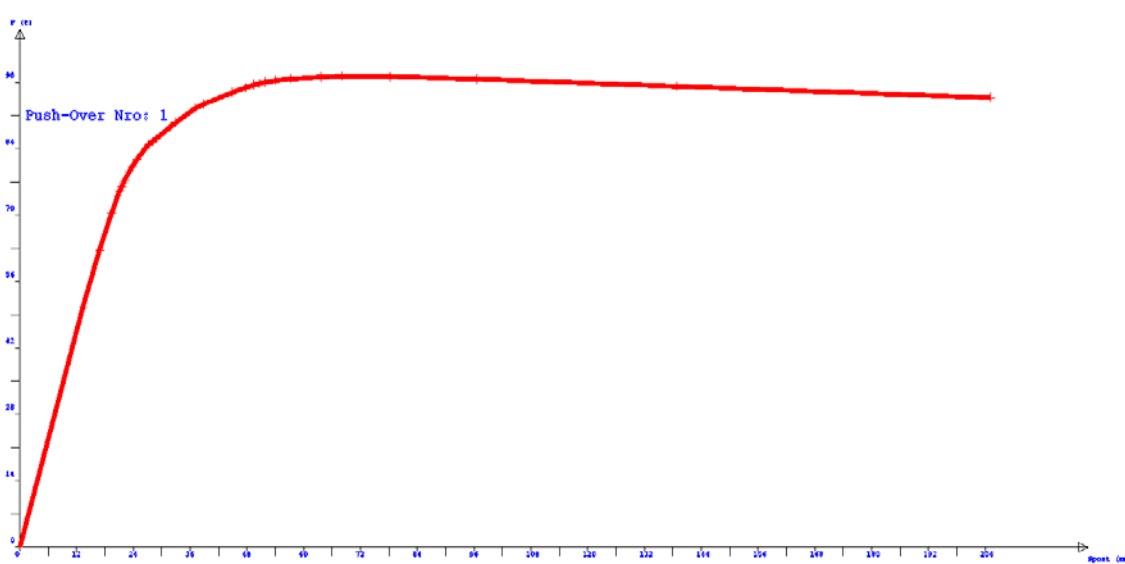


Figura 4.73 Kurba e kapacitetit për analizën push – over 1, rasti kur janë përforcuar vetëm trarët

Sikurse shihet nga figurat 4.73 deri 4.75 kurbat e kapacitetit janë mjaft të përmirësuara dhe vetitë duktile të strukturës janë theksuar ndjeshëm.

Në tabelat e figurave 4.76 deri 4.85 vihet re se është zhdukur termi “i paverifikuar”. Në të gjitha rastet zhvendosjet e mundshme të ofruara nga struktura i kapërcejnë ato të kërkuara. Pra do të mjaftonte vetëm përforcimi i trarëve për të realizuar përshtatjen sizmike të strukture që po analizohet.

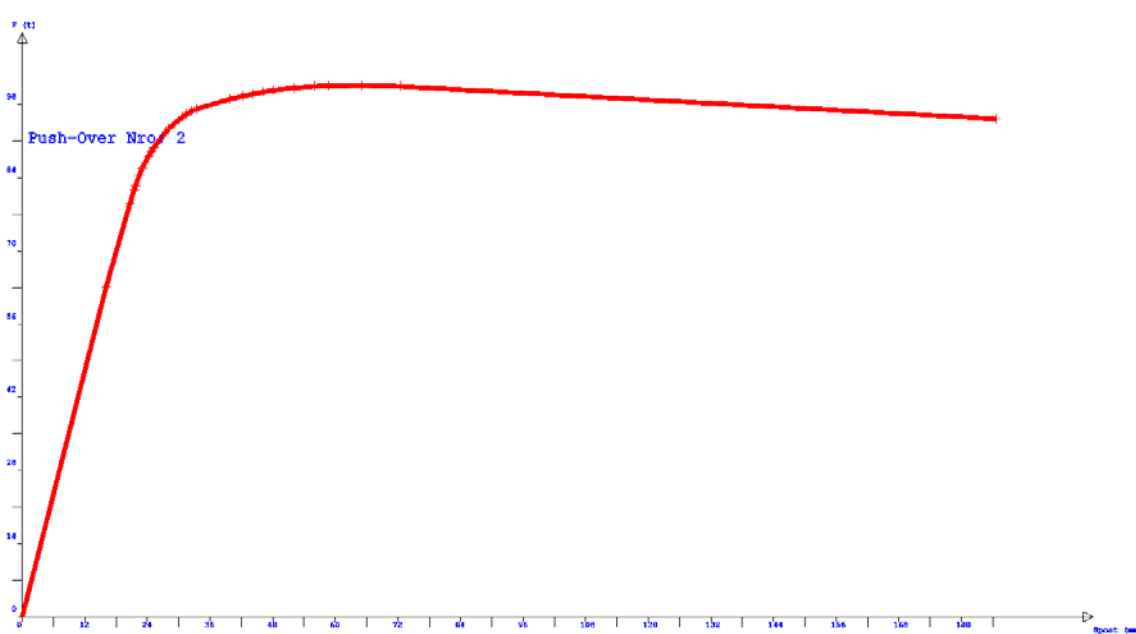


Figura 4.74 Kurba e kapacitetit për analizën push – over 2, rasti kur janë përforcuar vetëm trarët

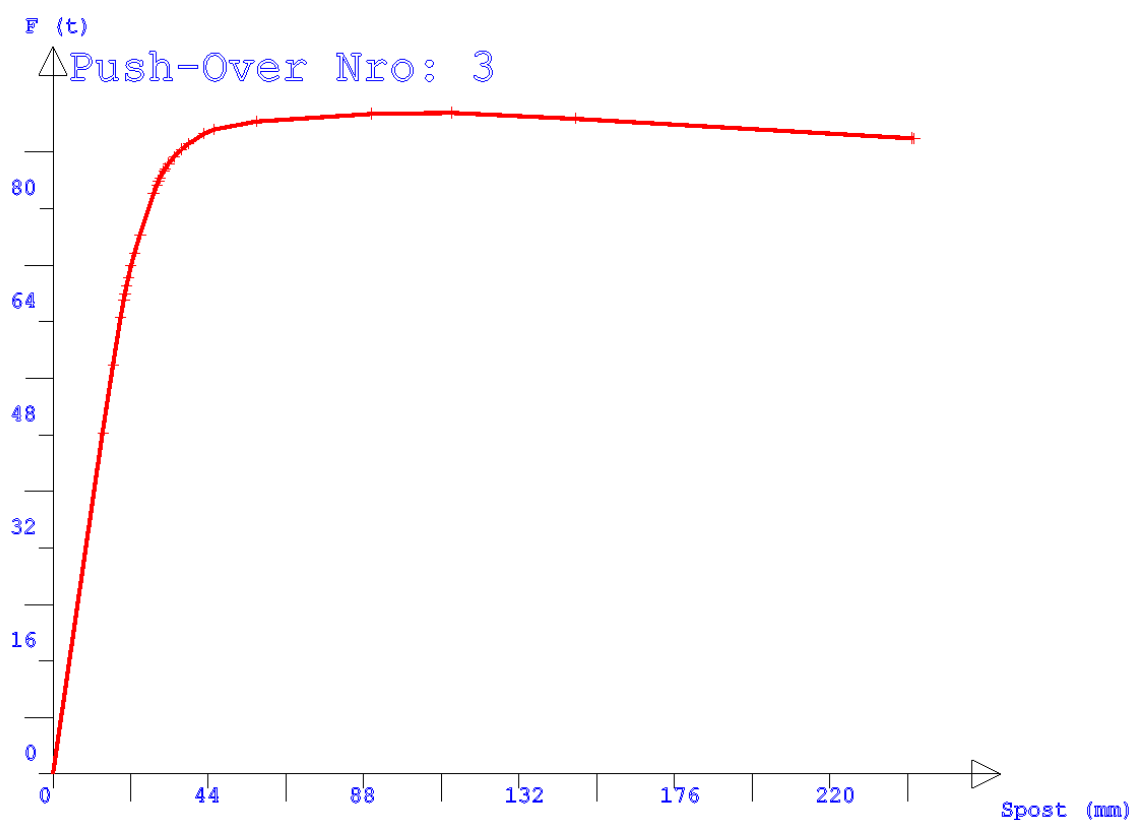


Figura 4.75 Kurba e kapacitetit për analizen push – over 3, rasti kur janë përforcuar vetëm trarët

Push-Over Nro: 1

DANRO ELGZIERO:
Domanda di spostamento : 9.91 mm
Capacità di spostamento : 22.02 mm
Punto : -178 Kg/g
DANRO SEVERO:
Domanda di spostamento : 41.31 mm
Capacità di spostamento : 130.04 mm
Punto : -829 Kg/g
COLLASSO:
Domanda di spostamento : 61.97 mm
Capacità di spostamento : 182.25 mm
Punto : -882 Kg/g

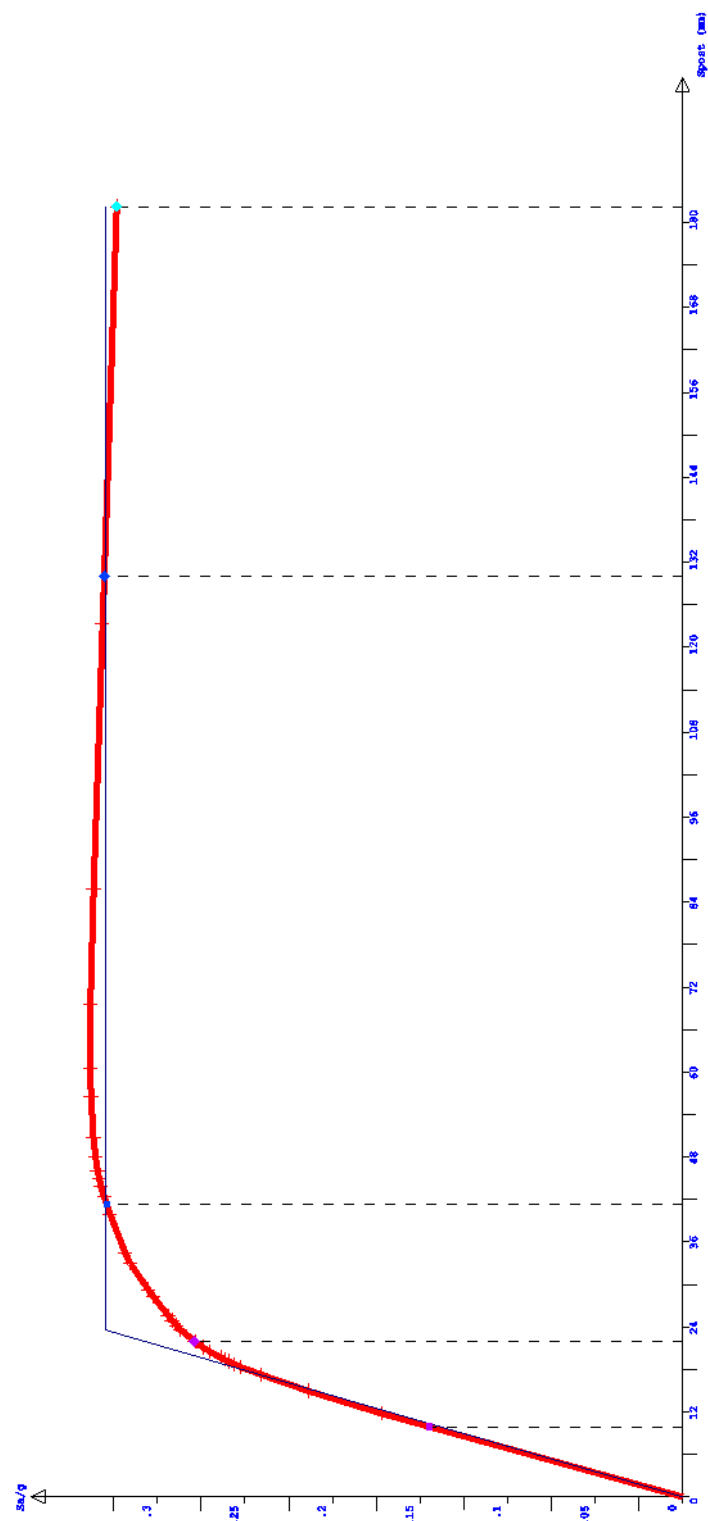


Figura 4.76 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 1, rasti kur janë përforcuar vetëm trarët

Push-Over Nro: 2

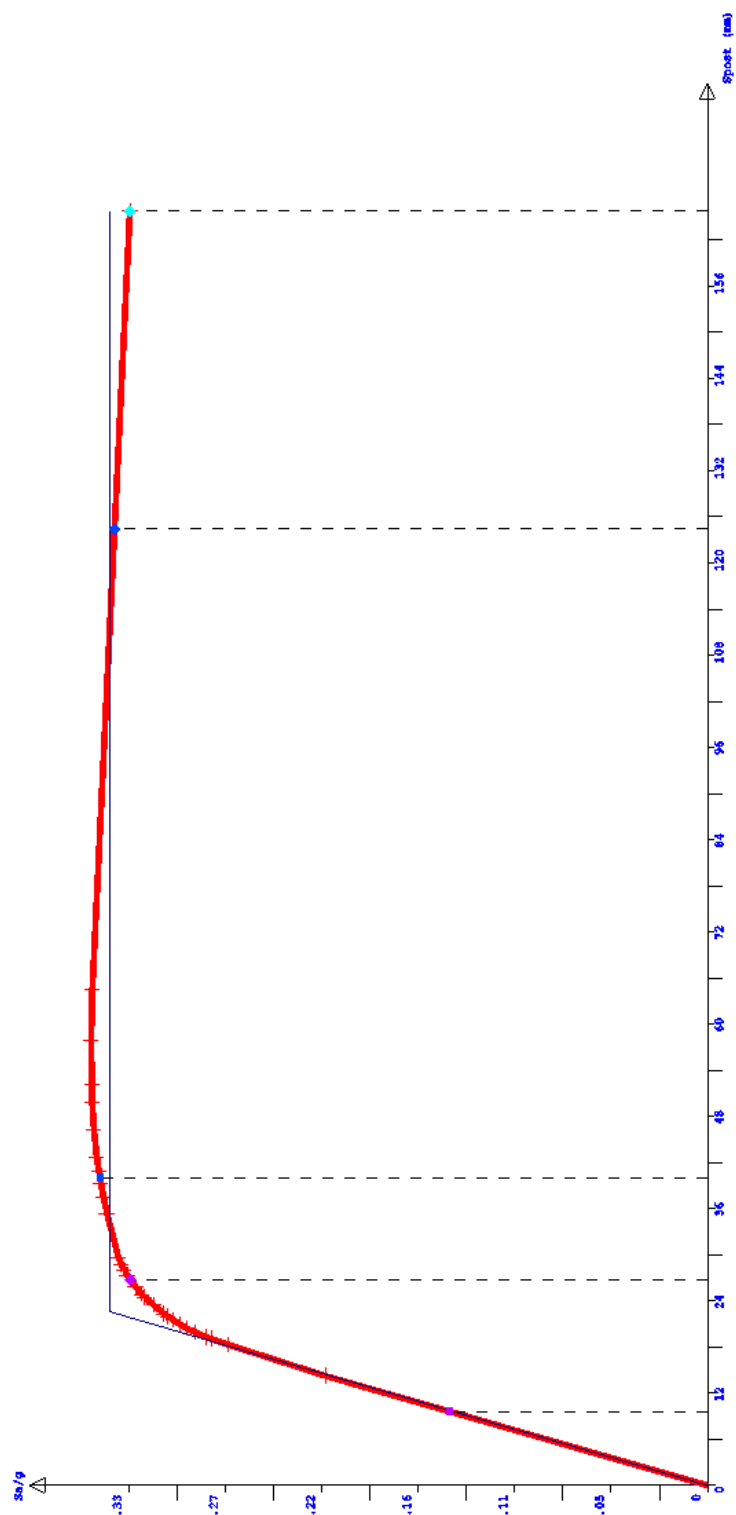
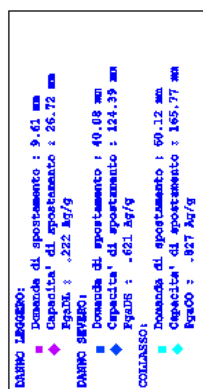


Figura 4.77 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të trullit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 2, rasti kur janë përforcuar vetëm trarët

Push-Over Nro: 3

DANNO LEGGERO:	
■	Domanda di spostamento : 10.2 mm
◆	Capacita' di spostamento : 25.49 mm
	PgaDL : .2 Ag/g
DANNO SEVERO:	
■	Domanda di spostamento : 42.53 mm
◆	Capacita' di spostamento : 163.56 mm
	PgaDS : .769 Ag/g
COLLASSO:	
■	Domanda di spostamento : 63.8 mm
◆	Capacita' di spostamento : 213.17 mm
	PgaCO : 1.002 Ag/g

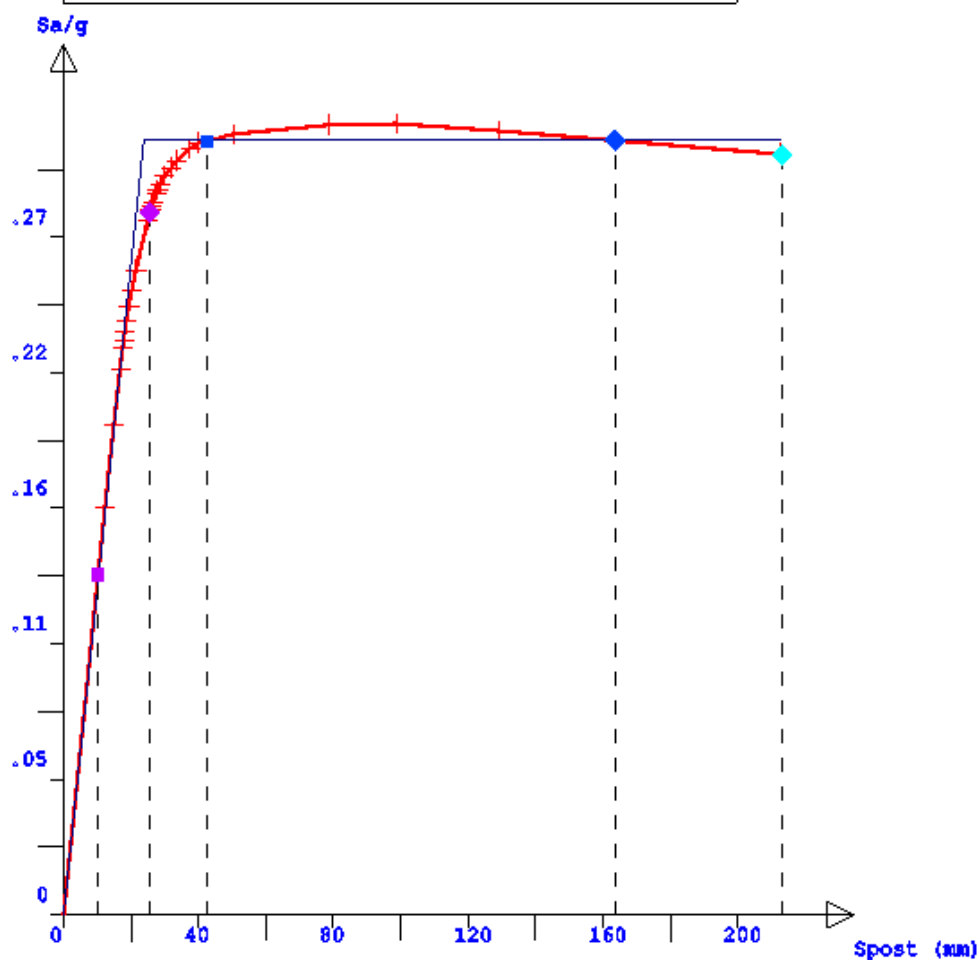


Figura 4.78 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 3, rasti kur janë përforcuar vetëm trarët

Push-Over Nro: 4

DANNO INIZIO:
 ■ Domanda di spostamento : 10.24 mm
 ■ Capacita' di spostamento : 25.32 mm
 ■ Peak : .188 kg/g
 DANNO INTERM.
 ■ Domanda di spostamento : 42.68 mm
 ■ Capacita' di spostamento : 155.03 mm
 ■ Peak : .726 kg/g
 COLLASSO:
 ■ Domanda di spostamento : 84.02 mm
 ■ Capacita' di spostamento : 159.54 mm
 ■ Peak : .837 kg/g

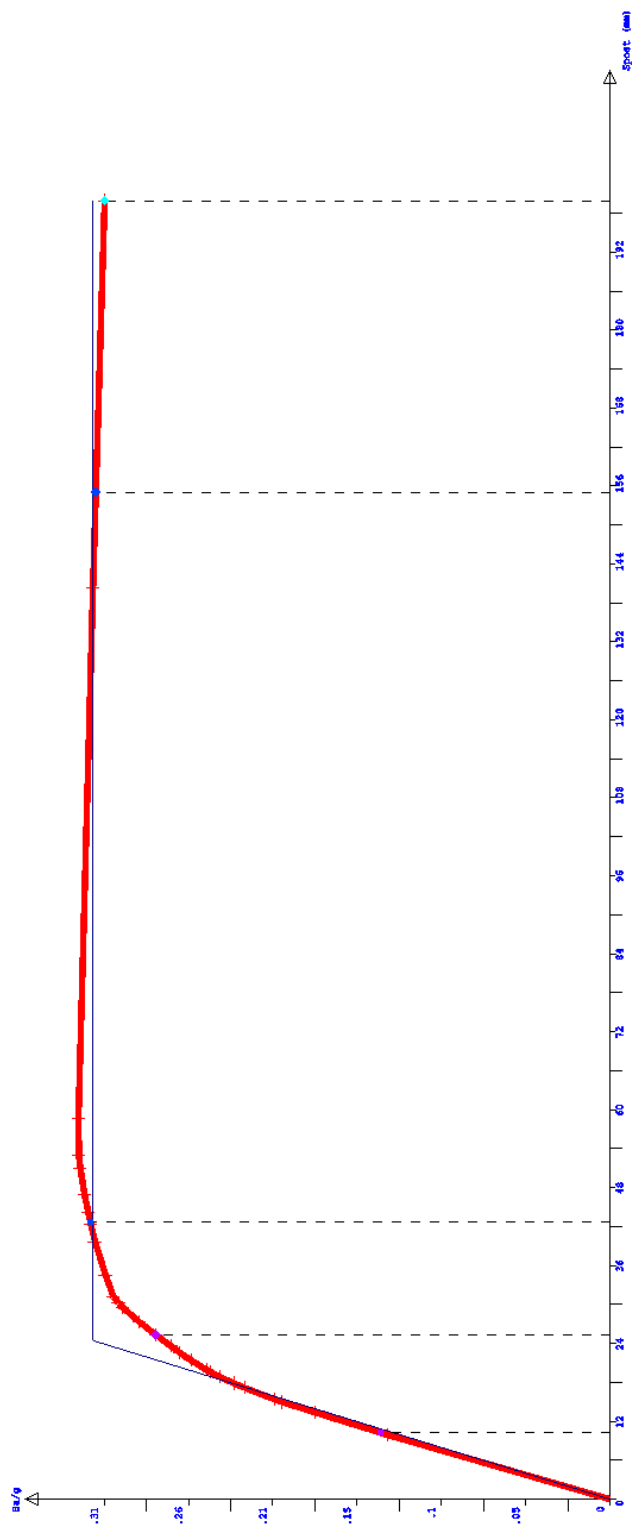


Figura 4.79 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 4, rasti kur janë përforcuar vetëm trarët

Push-Over Nro: 5

DATUMI I LEGJESËS:	
■ Demanda di spostamento : 10.45 mm	
◆ Capacita' di spostamento : 24.52 mm	
◆ Syado : .188 kg/g	
DATUMI I SEVERO:	
■ Demanda di spostamento : 43.57 mm	
◆ Capacita' di spostamento : 103.56 mm	
◆ Syado : .476 kg/g	
COLLASSO:	
■ Demanda di spostamento : 65.35 mm	
◆ Capacita' di spostamento : 141.56 mm	
◆ Syado : .95 kg/g	

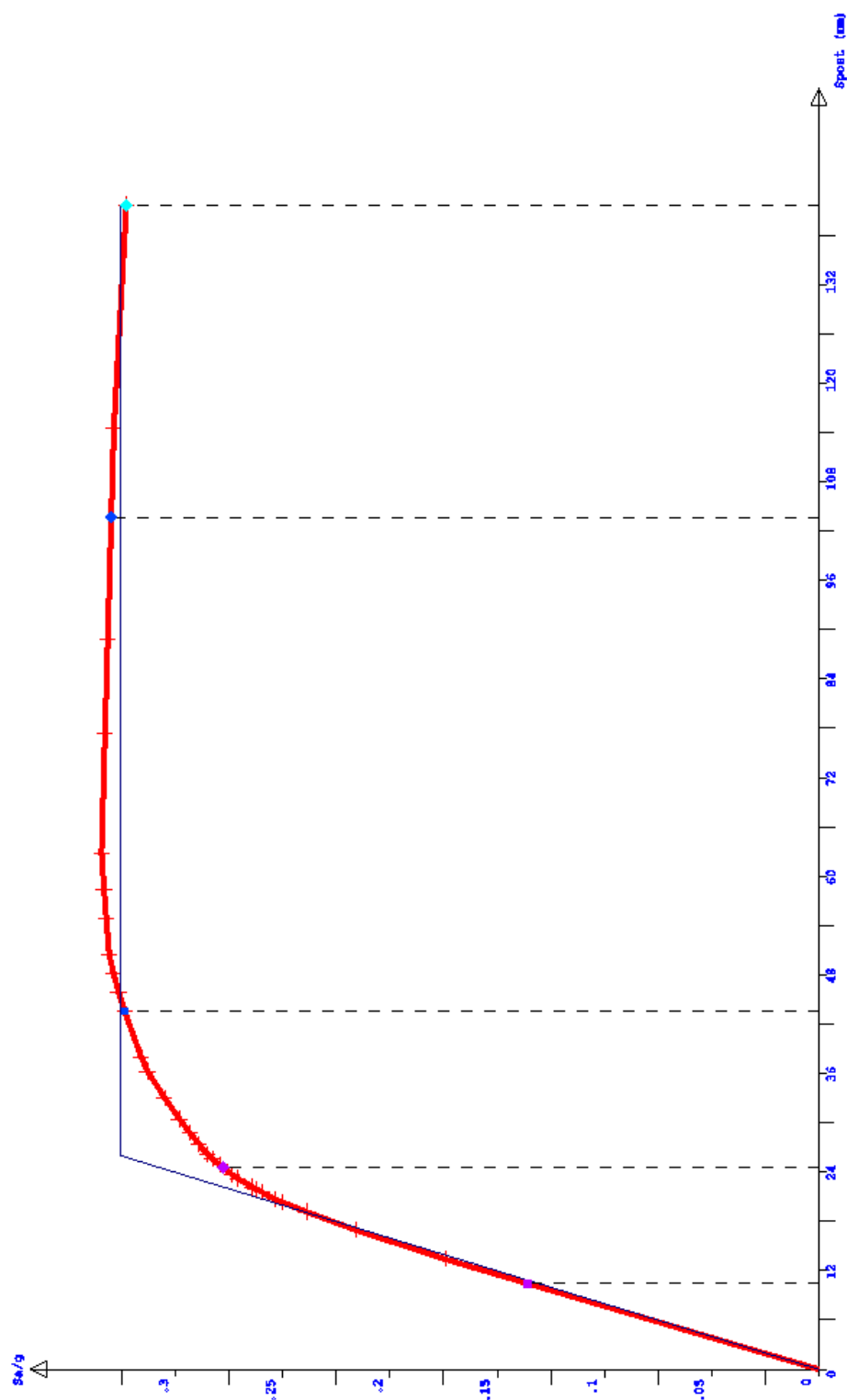


Figura 4.80 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 5, rasti kur janë përforcuar vetëm trarët

Push-Over Nro: 9

DAMNO IZZERATO:	
Domanda di spostamento : 5.6 mm	
Spigolo di spostamento : 26.125 mm	
Spigolo : .221 kg/g	
DAMNO SOSTENUTO:	
Domanda di spostamento : 40.01 mm	
Spigolo di spostamento : 160.156 mm	
Spigolo : .804 kg/g	
COLLASSO:	
Domanda di spostamento : 60.02 mm	
Spigolo di spostamento : 231.712 mm	
Spigolo : 1.653 kg/g	

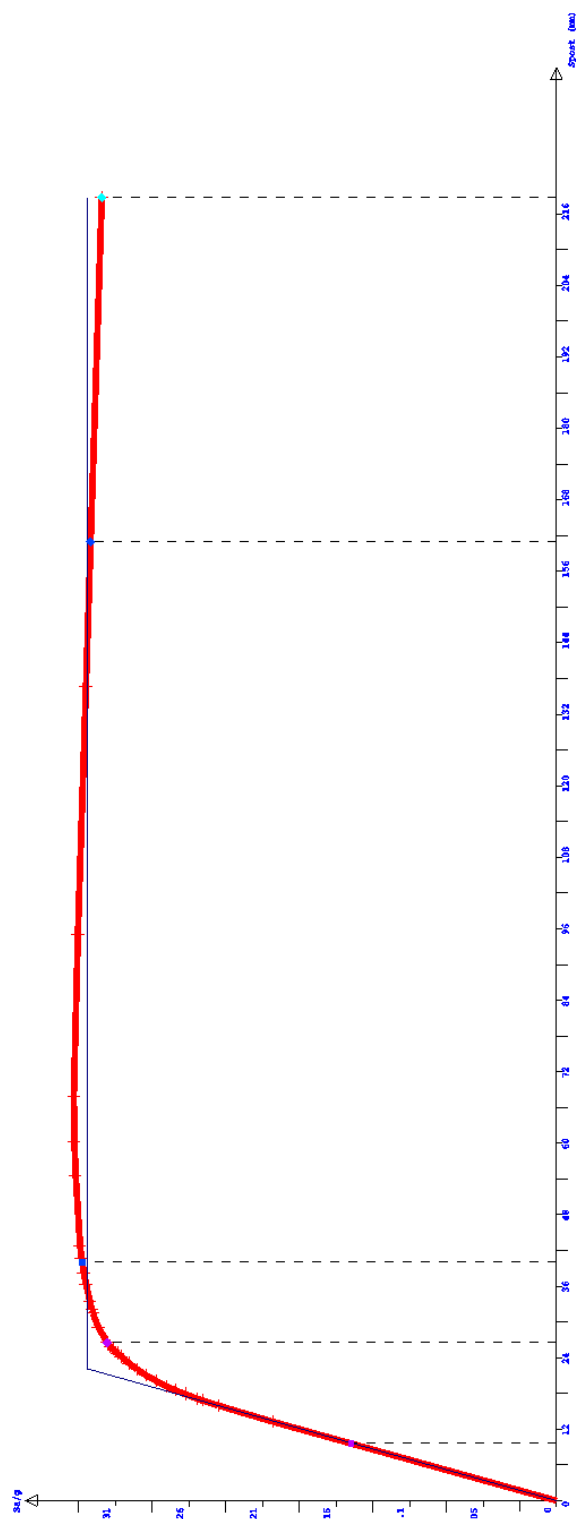


Figura 4.81 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të trullit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 9, rasti kur janë përforcuar vetëm trarët

Push-Over Nro: 10

DANNO LARGHERO:	
Domanda di spostamento :	9.88 mm
Capacità di spostamento :	22.69 mm
FyALL :	.194 kg/g
DANNO SEVERO:	
Domanda di spostamento :	41.2 mm
Capacità di spostamento :	107.94 mm
FyALL :	.524 kg/g
COLLASSO:	
Domanda di spostamento :	61.8 mm
Capacità di spostamento :	148.08 mm
FyALL :	.719 kg/g

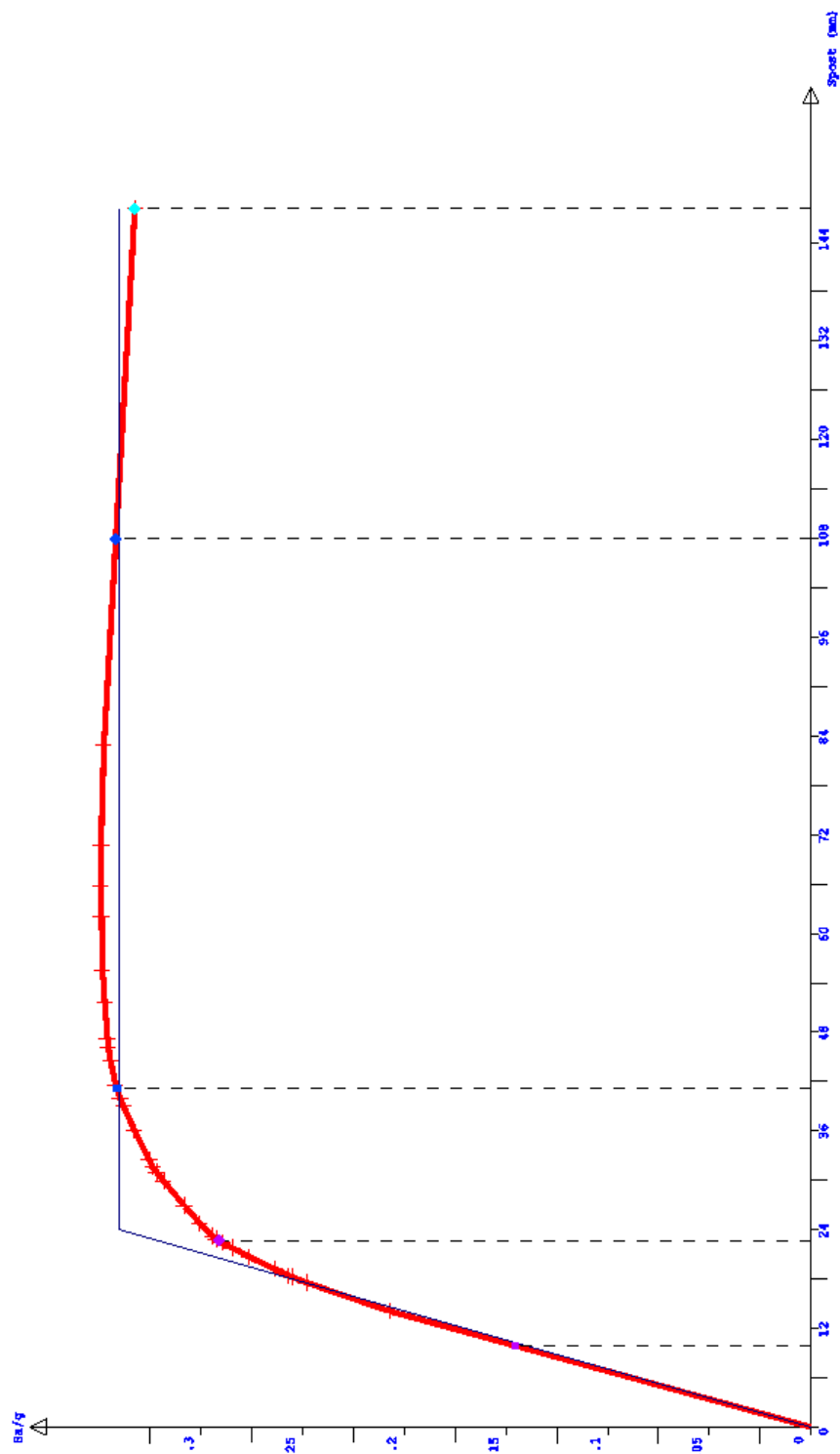


Figura 4.82 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizen push – over 10, rasti kur janë përforcuar vetëm trarët

Push-Over Nro: 11

DANNO LEGGERO:	
■	Domanda di spostamento : 10.17 mm
◆	Capacita' di spostamento : 25.29 mm
	PgaDL : .199 Ag/g
DANNO SEVERO:	
■	Domanda di spostamento : 42.4 mm
◆	Capacita' di spostamento : 155.1 mm
	PgaDS : .731 Ag/g
COLLASSO:	
■	Domanda di spostamento : 63.6 mm
◆	Capacita' di spostamento : 203.19 mm
	PgaCO : .958 Ag/g

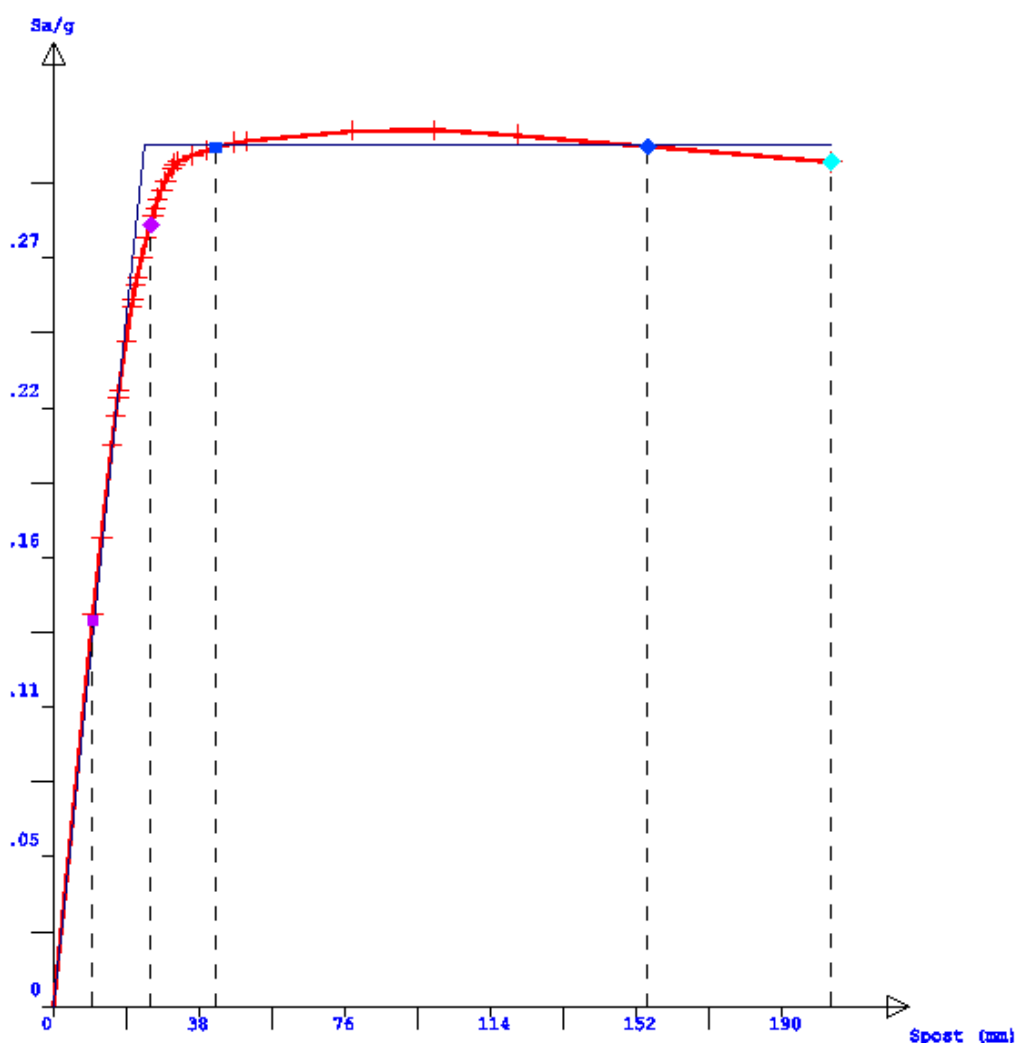


Figura 4.83 Varësia e raportit spektër i shpejttimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 11, rasti kur janë përforcuar vetëm trarët

Push-Over Nro: 12

DANNO LINEARE:
 ■ Domanda di spostamento : 10.33 mm
 ■ Capacità di spostamento : 24 mm
 ■ Puntata : -122 kN/g
DANNO ESTERNO:
 ■ Domanda di spostamento : 43.98 mm
 ■ Capacità di spostamento : 133.17 mm
 ■ Puntata : -125 kN/g
COLLASSO:
 ■ Domanda di spostamento : 65.63 mm
 ■ Capacità di spostamento : 203.05 mm
 ■ Puntata : -123 kN/g

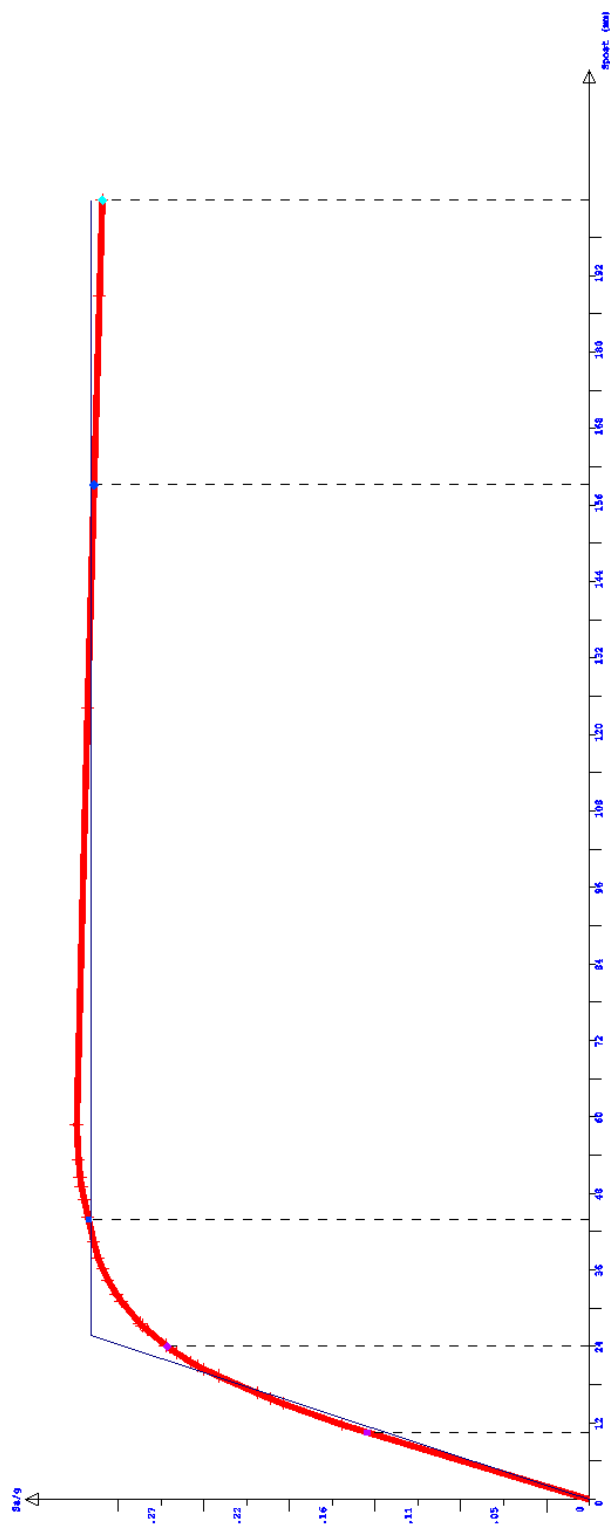


Figura 4.84 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të trullit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 12, rasti kur janë përforcuar vetëm trarët

Push-Over Nro: 13

DAMNO LËNDËRO:	
Domanda di spostamento :	10.15 mm
Capacita' di spostamento :	29.14 mm
PaydL :	.23 Kg/g
DAMNO STRUTTO:	
Domanda di spostamento :	42.31 mm
Capacita' di spostamento :	124.28 mm
PaydR :	.587 Kg/g
COLLASSO:	
Domanda di spostamento :	62.47 mm
Capacita' di spostamento :	169.25 mm
PaydO :	.8 Kg/g

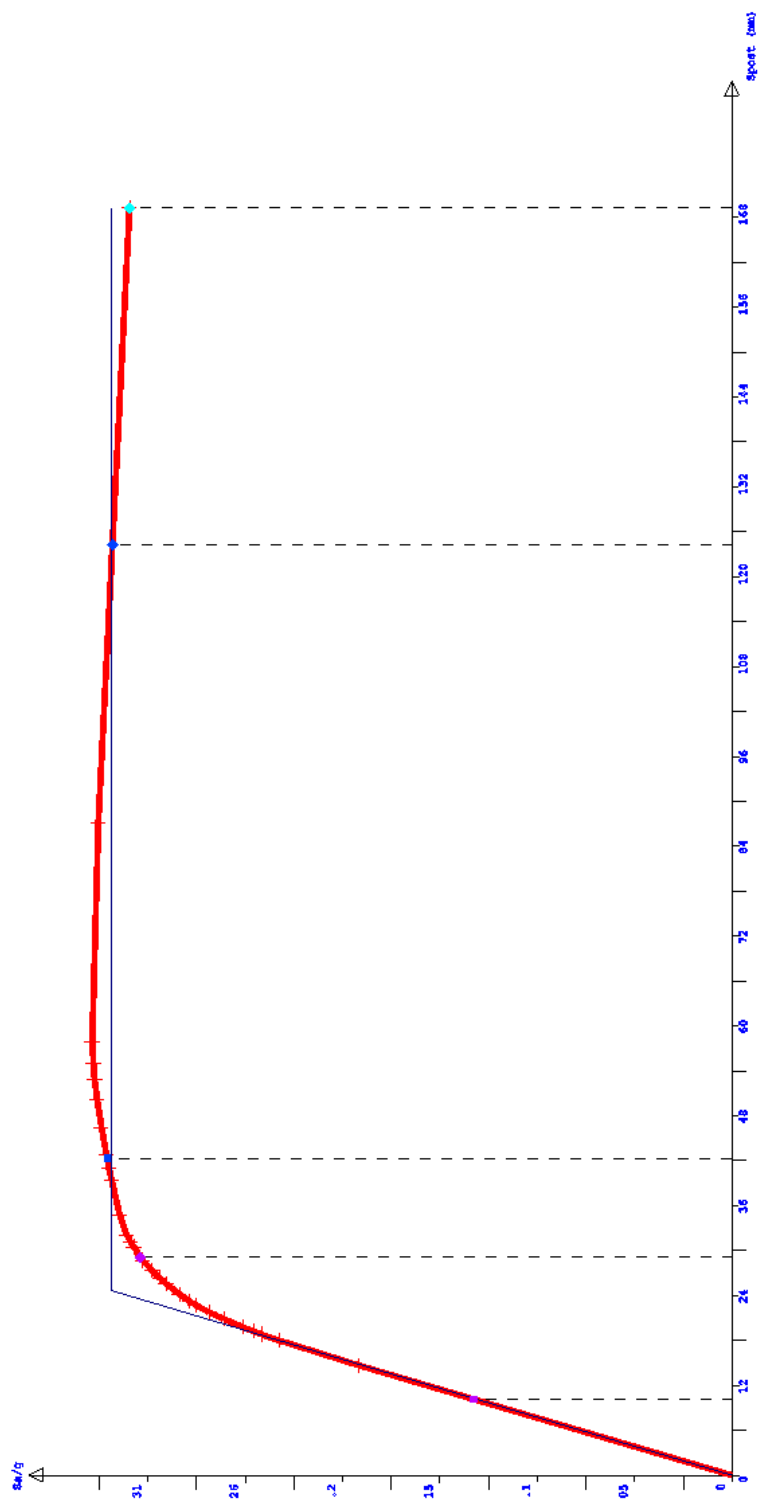


Figura 4.85 Varësia e raportit spektër i shpejttimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 13, rasti kur janë përforcuar vetëm trarët

Siç e përmendëm edhe më lart, mjafton vetëm perforcimi me FRP i trarëve për të realizuar përshtatjen sizmike të strukturës në përputhje me Eurokodet. Megjithatë, për të plotësuar studimin, po tregojmë më poshtë dhjetë grafikët e spektrave të analizave push – over, që ne kemi pranuar që në fillim. Këta grafikë i takojnë rastit kur janë përforcuar vetëm kolonat.

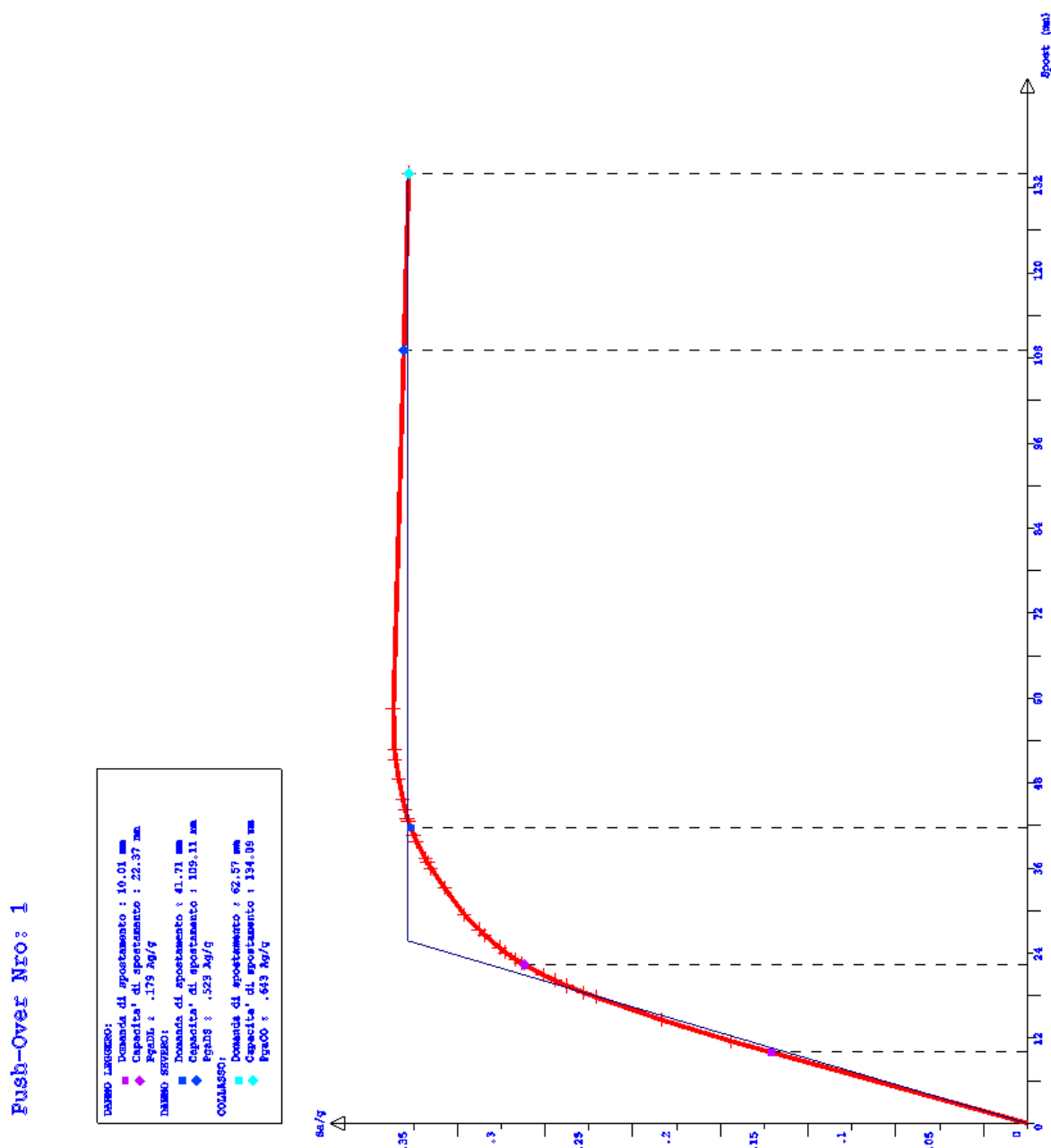


Figura 4.86 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 1, rasti kur janë përforcuar vetëm kolonat

Push-Over Nro: 2

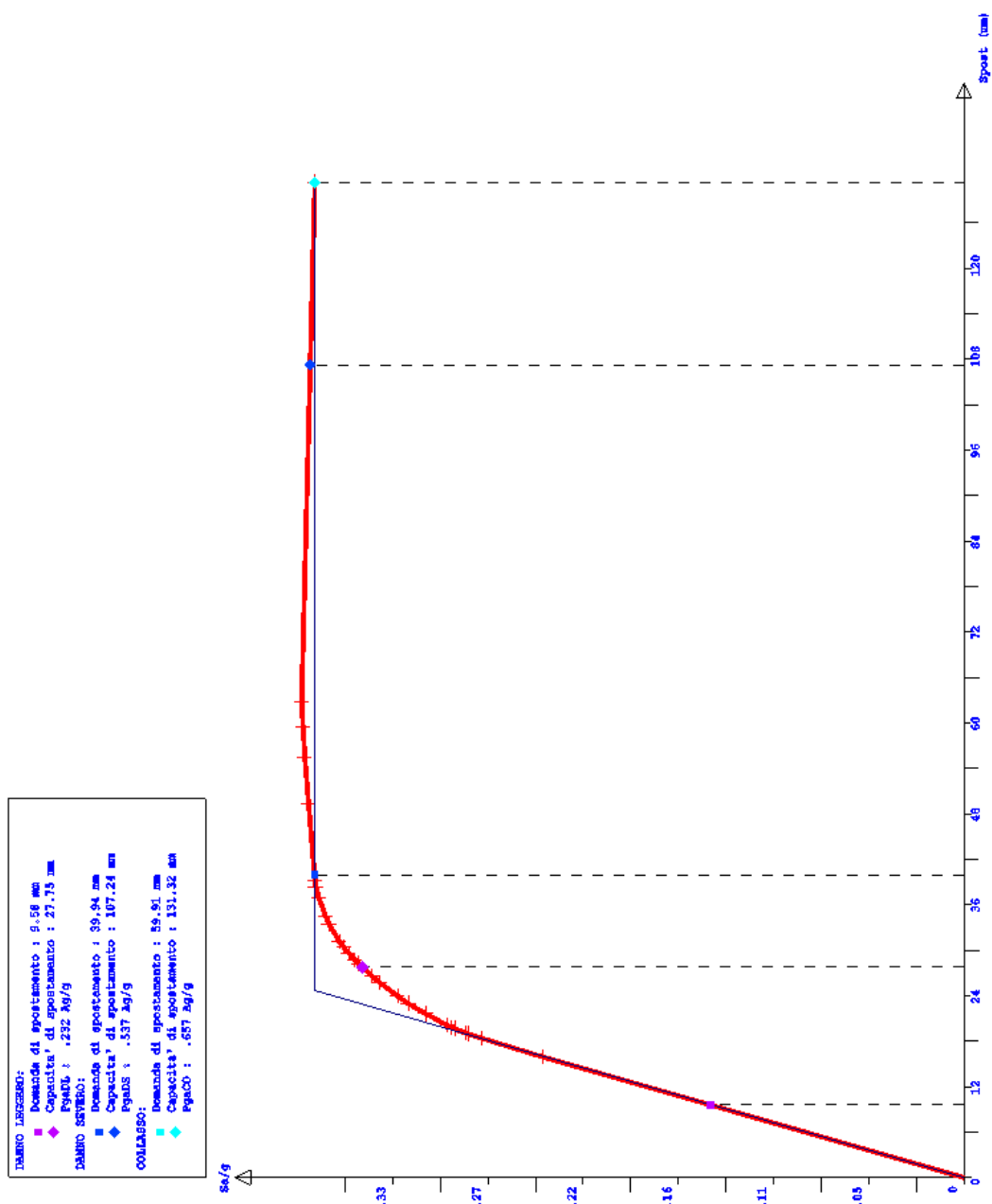


Figura 4.87 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 2, rasti kur janë përforcuar vetëm kolonat

Push-Over Nro: 3

DANNO LEGGERO:	
■	Domanda di spostamento : 10.42 mm
◆	Capacita' di spostamento : 25.79 mm
	PgaDL : .198 Ag/g
DANNO SEVERO:	
■	Domanda di spostamento : 43.42 mm
◆	Capacita' di spostamento : 108.62 mm
	PgaDS : .5 Ag/g
COLLASSO:	
■	Domanda di spostamento : 65.14 mm
◆	Capacita' di spostamento : 133.74 mm
	PgaCO : .616 Ag/g

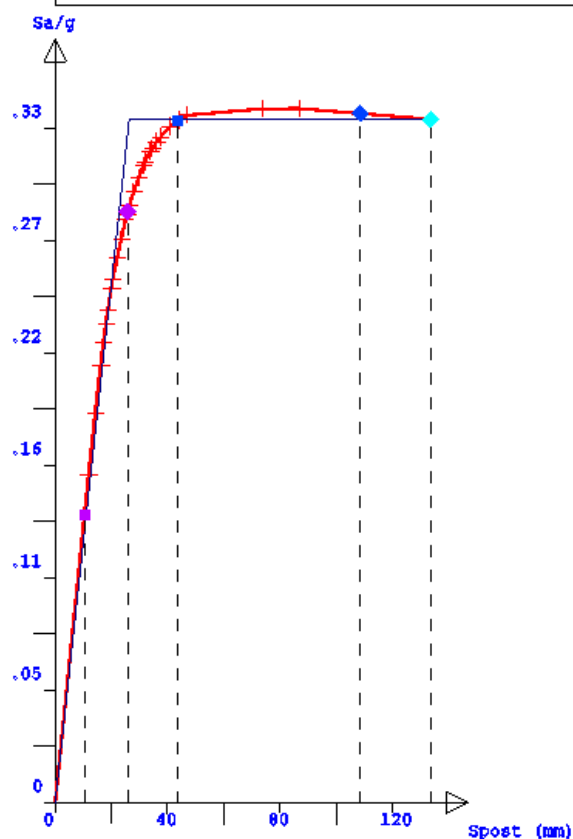


Figura 4.88 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 3, rasti kur janë përforcuar vetëm kolonat

Push-Over Nro: 4

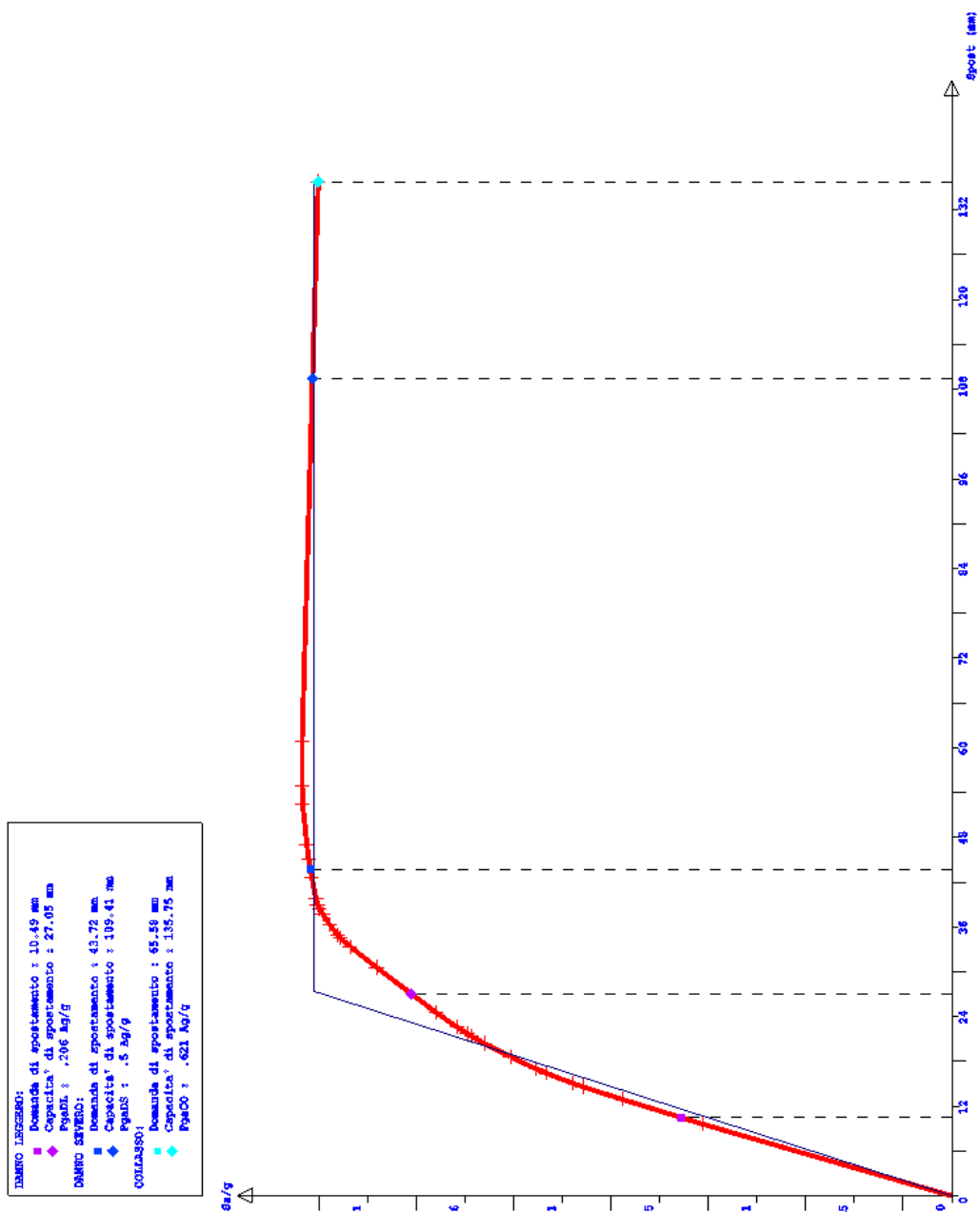


Figura 4.89 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 4, rasti kur janë përforcuar vetëm kolonat

Push-Over Nro: 5

DAMNO INCIPERO:
 Demanda di spostamento : 10.88 mm
 Capacita' di spostamento : 24.94 mm
 Rigido : .189 kN/g
 DAMNO SVILUPPO:
 Demanda di spostamento : 44.09 mm
 Capacita' di spostamento : 127.41 mm
 Rigido : .578 kN/g
 COLLASSO:
 Demanda di spostamento : 55.14 mm
 Capacita' di spostamento : 133.5 mm
 Rigido : .705 kN/g

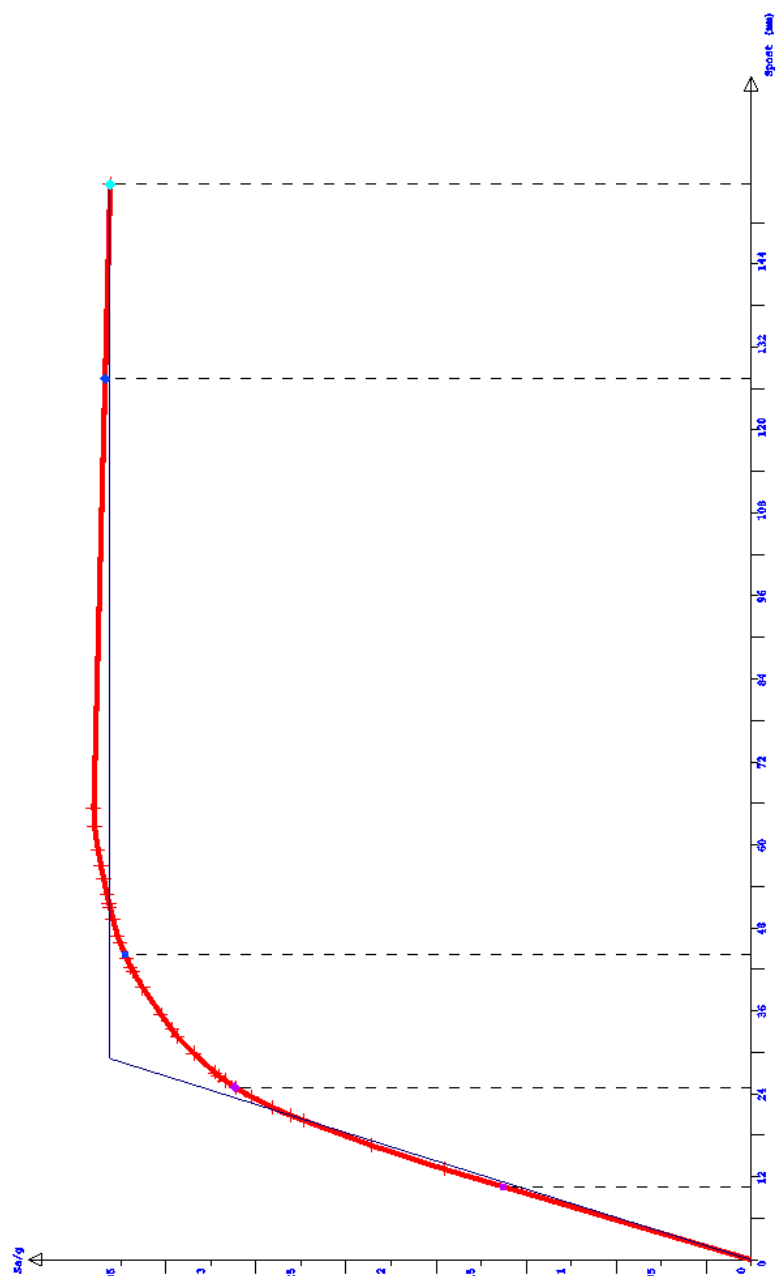


Figura 4.90 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 5, rasti kur janë përforcuar vetëm kolonat

Push-Over Nro: 9

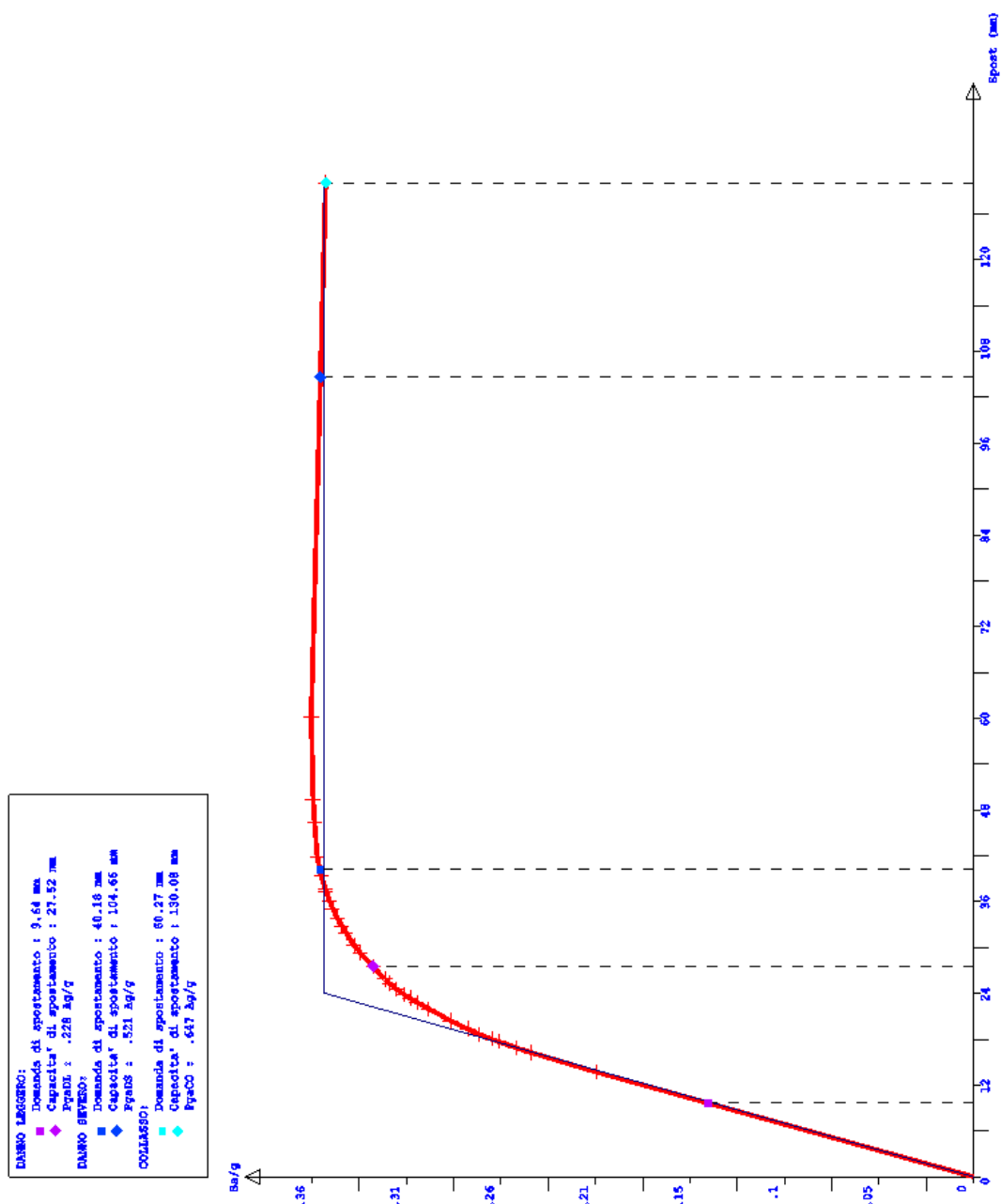


Figura 4.91 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 9, rasti kur janë përforcuar vetëm kolonat

Push-Over Nro: 10

DATIRO LACUQUR:	
□ Demanda di spostamento : 10.61 mm	
◆ Capacita' di spostamento : 22.58 mm	
◆ Pmax : -184 kg/g	
DATIRO SPOSTATO:	
■ Demanda di spostamento : 43.72 mm	
◆ Capacita' di spostamento : 111.58 mm	
◆ Pmax : -438 kg/g	
COLLASSO:	
■ Demanda di spostamento : 62.59 mm	
◆ Capacita' di spostamento : 136.2 mm	
◆ PmaxCO : -533 kg/g	

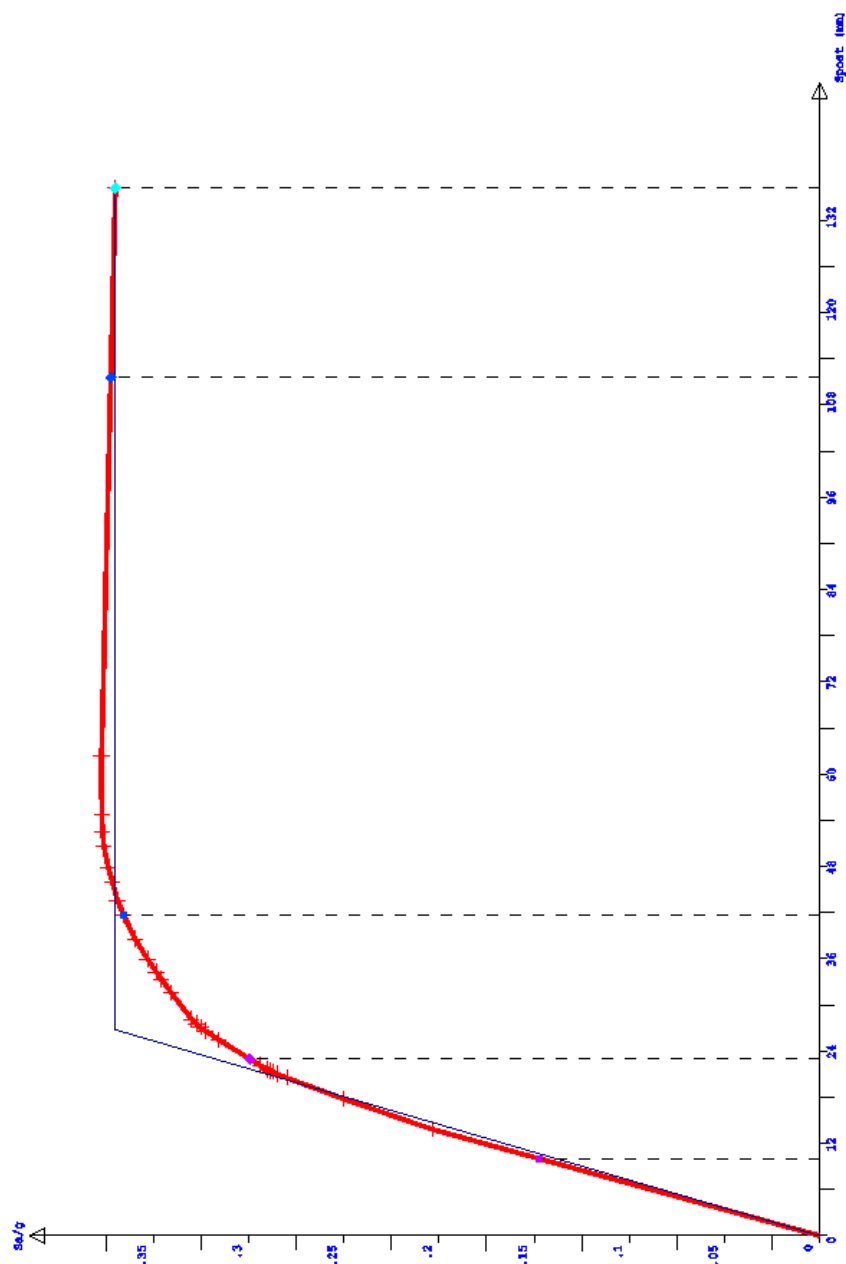


Figura 4.92 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 10, rasti kur janë përforcuar vetëm kolonat

Push-Over Nro: 11

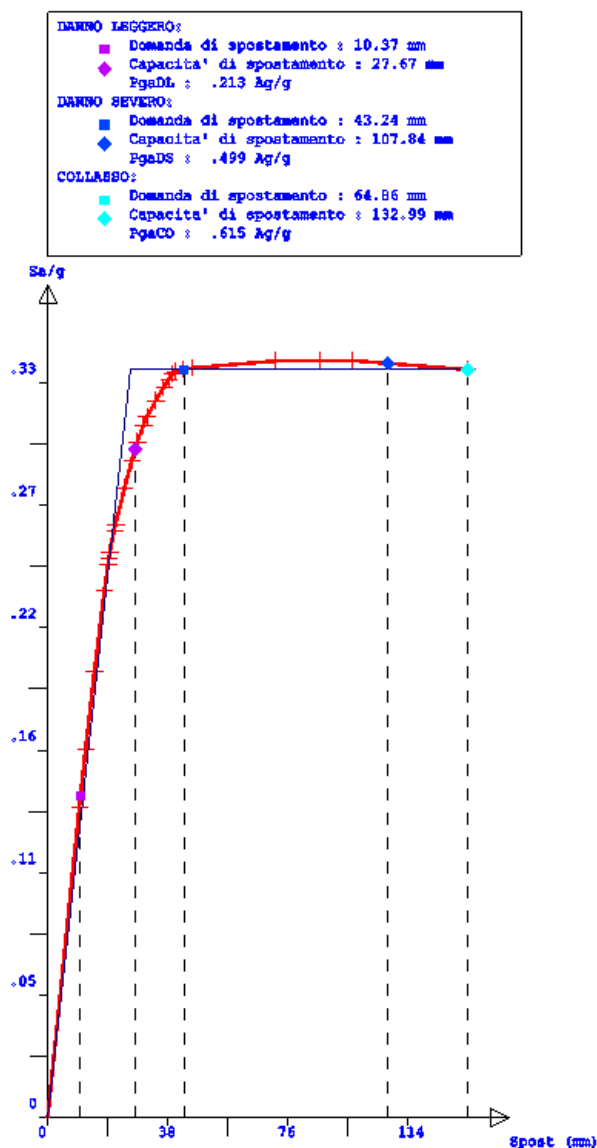


Figura 4.93 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 11, rasti kur janë përforcuar vetëm kolonat

Push-Over Nro: 12

DAMNO LAZZERO:	
■	Domanda di spostamento : 10.72 mm
◆	Capacità di spostamento : 25.56 mm
	Peak : .191 kg/g
DAMNO SEVERO:	
■	Domanda di spostamento : 44.7 mm
◆	Capacità di spostamento : 108.58 mm
	Peak : .486 kg/g
COLLASSO:	
■	Domanda di spostamento : 67.05 mm
◆	Capacità di spostamento : 135.44 mm
	Peak : .606 kg/g

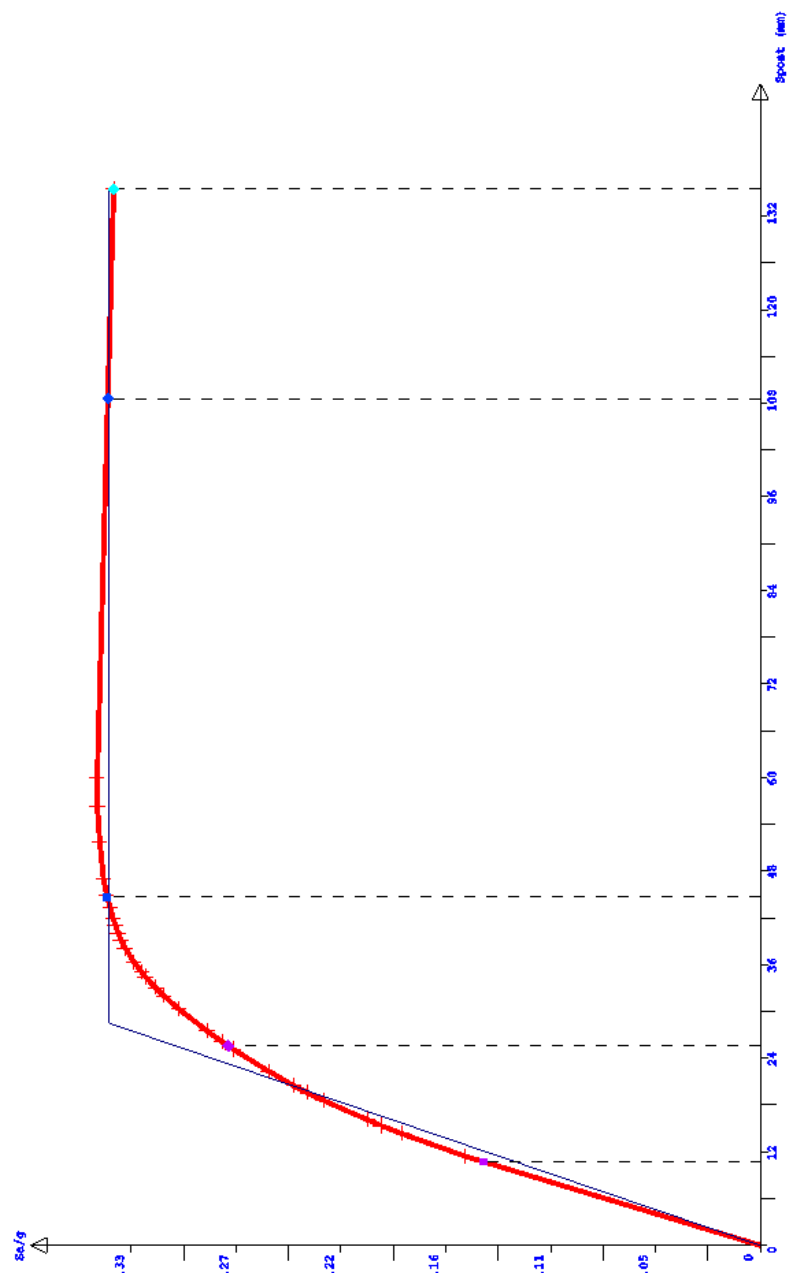


Figura 4.94 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizen push – over 12, rasti kur janë përforcuar vetëm kolonat

Push-Over Nro: 13

PARAMETRIKAT:	
Demanda di spostamento :	10.19 mm
Capacita' di spostamento :	30.23 mm
Spazio :	.239 kg/g
PARAMETRIKAT:	
Demanda di spostamento :	42.47 mm
Capacita' di spostamento :	121.36 mm
Spazio :	.571 kg/g
PARAMETRIKAT:	
Demanda di spostamento :	63.71 mm
Capacita' di spostamento :	149.59 mm
Spazio :	.704 kg/g

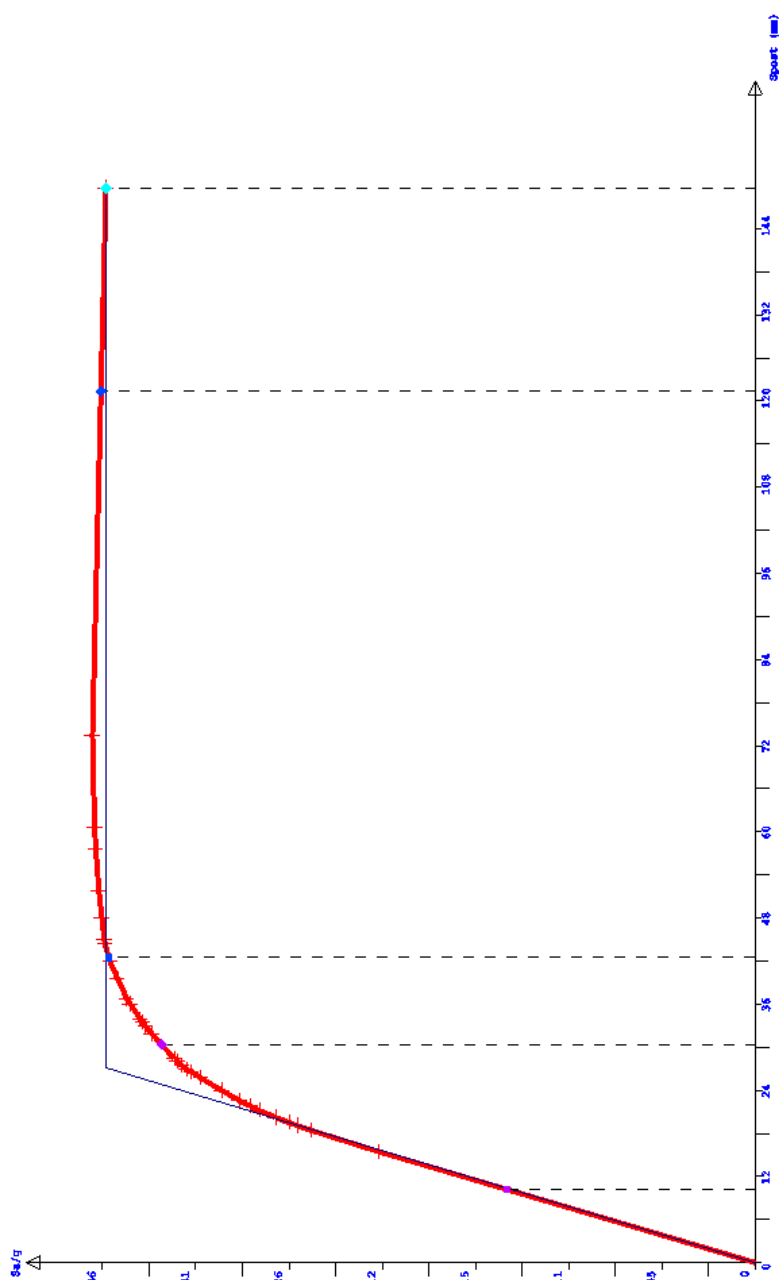


Figura 4.95 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 13, rasti kur janë përforcuar vetëm kolonat

Po tregojmë më poshtë dhjetë grafikët e spektrave të analizave push – over, që ne kemi pranuar që në fillim. Këta grafikë i takojnë rastit kur janë përforcuar trarët dhe kolonat.

Push-Over Nro: 1

MAXIMO DEFORMAZIONE:
 ■ Deformata di spostamento : 0.99 mm
 ■ Capacita' di spostamento : 22.32 mm
 ■ Rigido : -179 kN/g
 MAXIMO STRAIN:
 ■ Deformata di spostamento : 41.66 mm
 ■ Capacita' di spostamento : 144.24 mm
 ■ Rigido : -692 kN/g
 COLLASO:
 ■ Deformata di spostamento : 62.46 mm
 ■ Capacita' di spostamento : 195.65 mm
 ■ Rigido : -94 kN/g

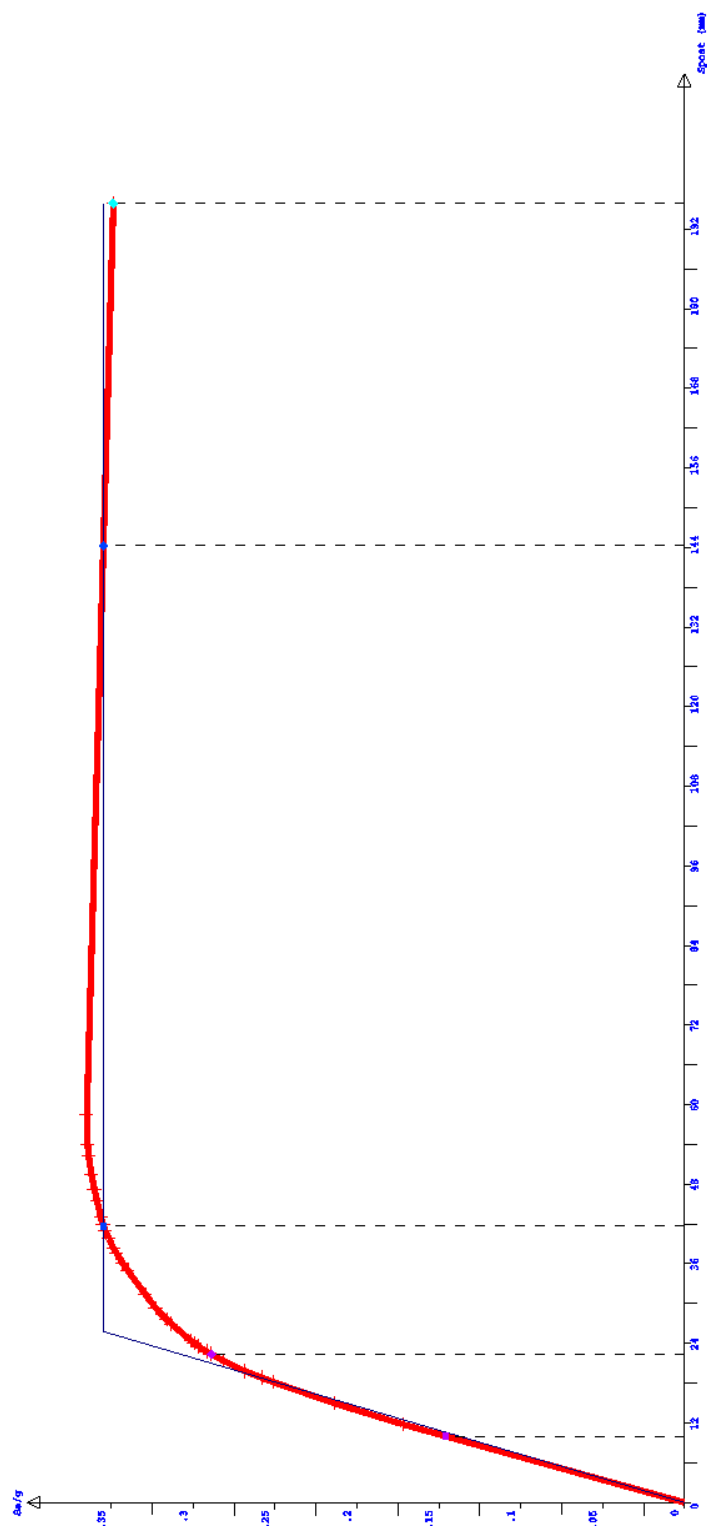


Figura 4.96 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 1, rasti kur janë përforcuar trarët dhe kolonat

Push-Over Nro: 2

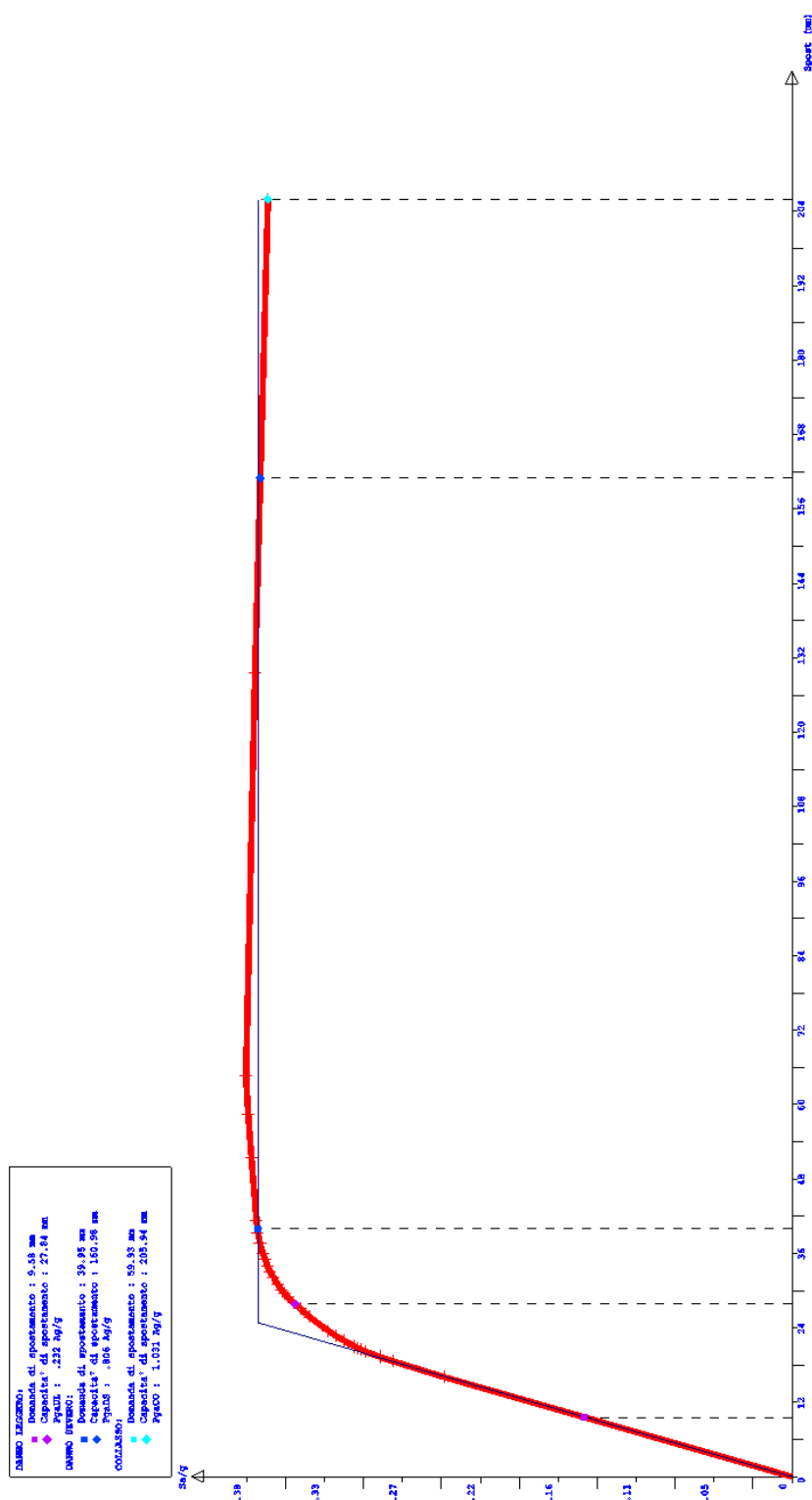


Figura 4.97 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 2, rasti kur janë përforcuar trarët dhe kolonat

Push-Over Nro: 3

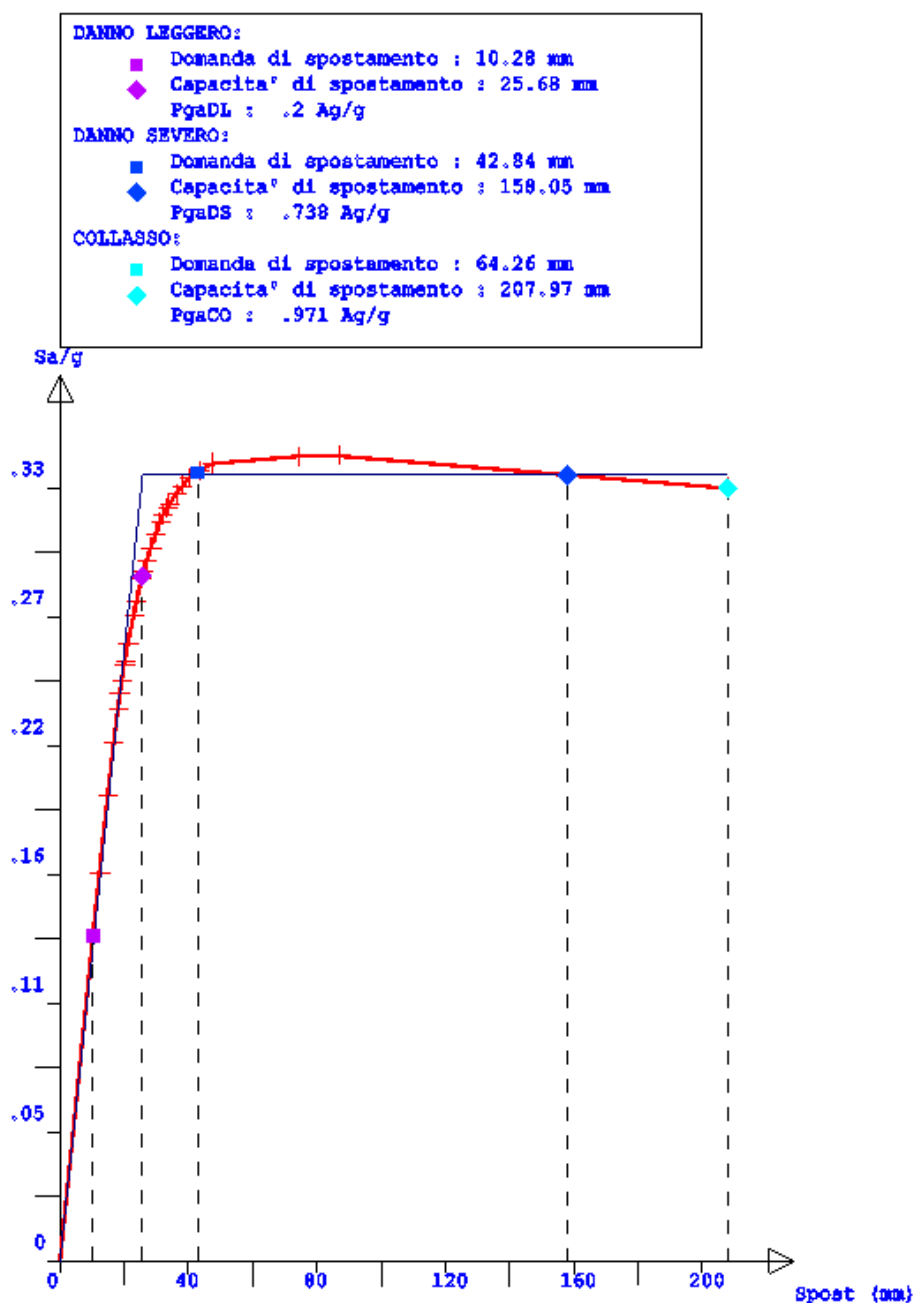


Figura 4.98 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 3, rasti kur janë përforcuar trarët dhe kolonat

Push-Over Nro: 4



Figura 4.99 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 4, rasti kur janë përforcuar trarët dhe kolonat

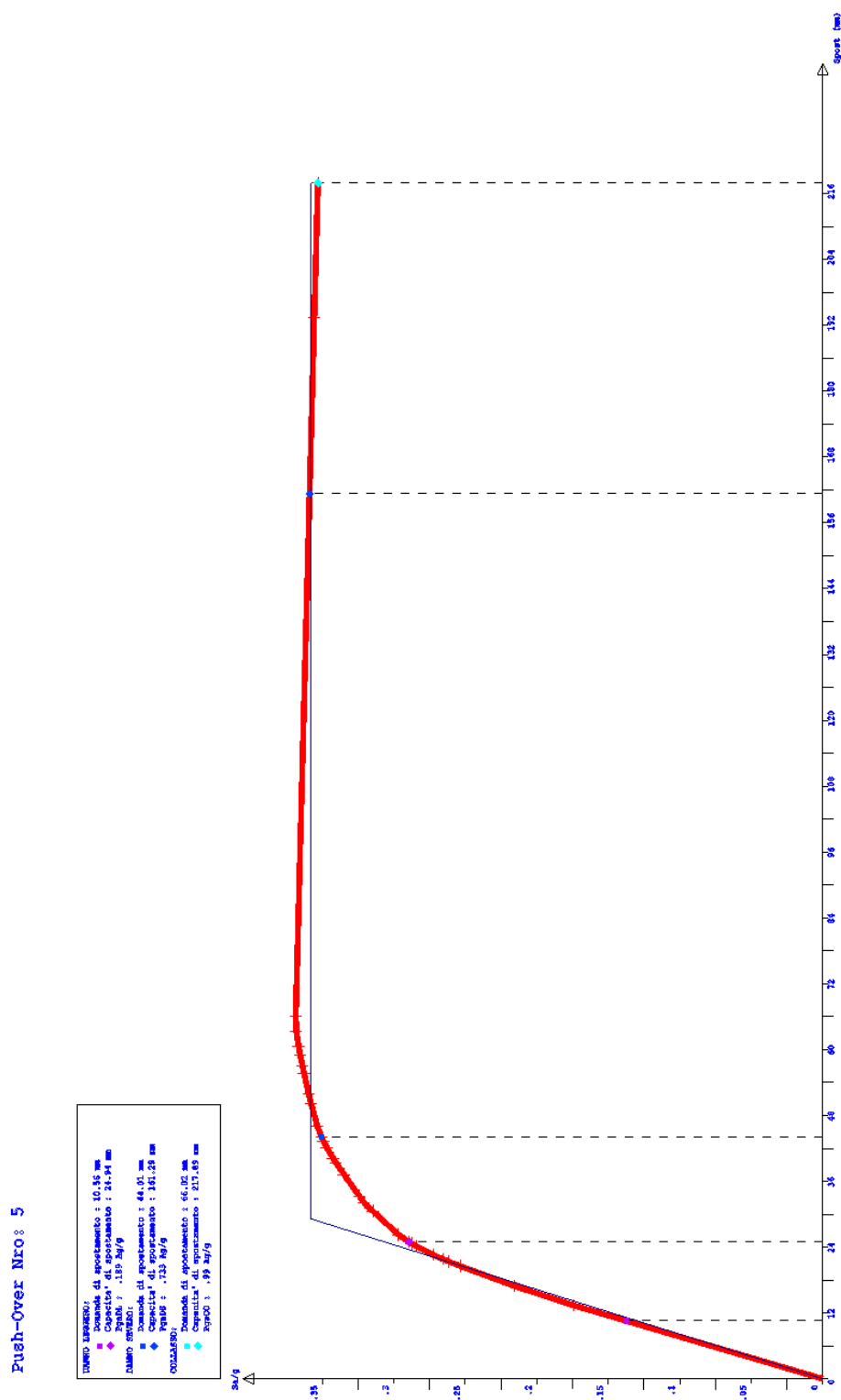


Figura 4.100 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim
i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 5, rasti kur janë
përforcuar trarët dhe kolonat

Push-Over Nro: 9

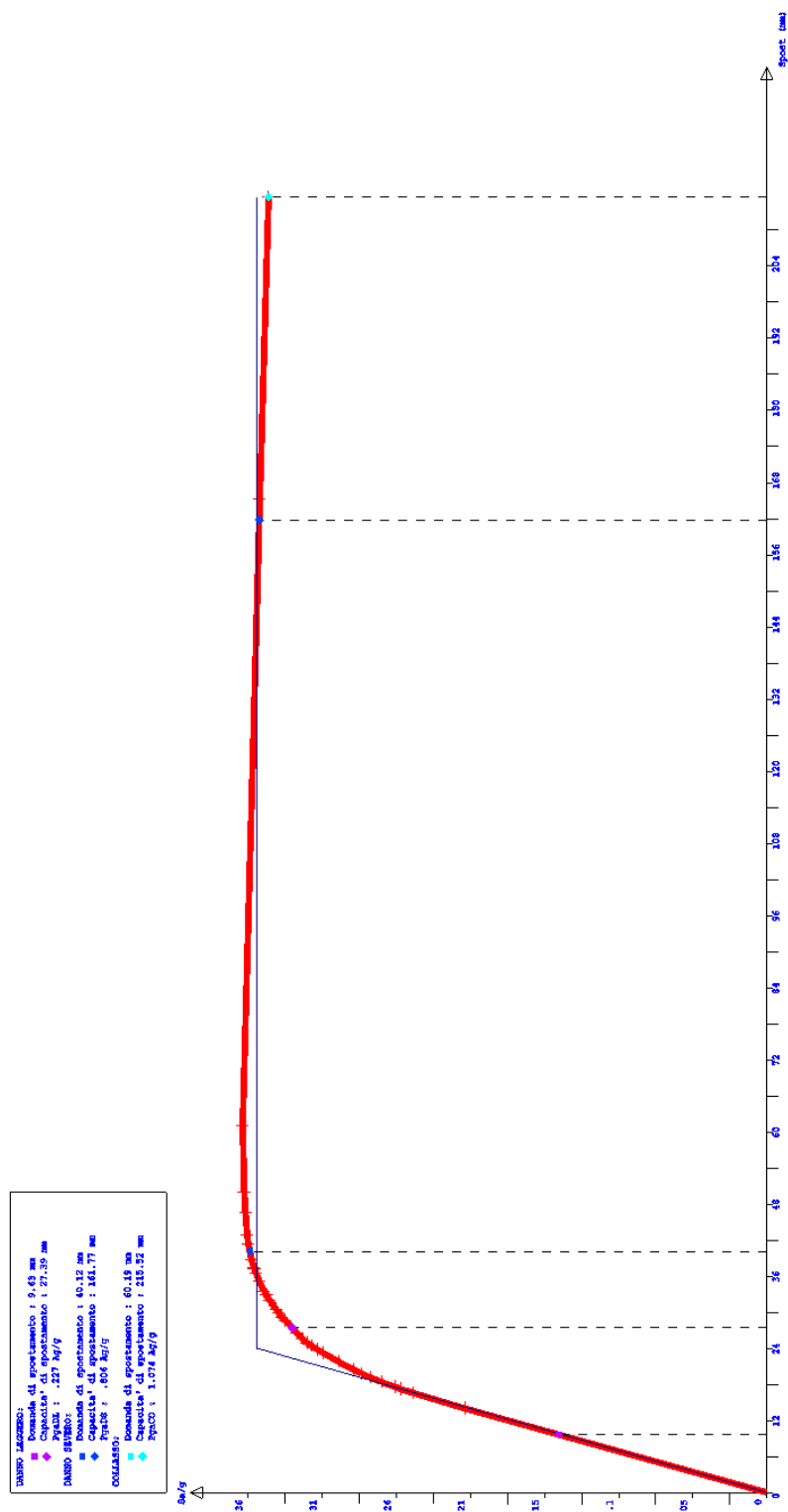


Figura 4.101 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 9, rasti kur janë përforcuar trarët dhe kolonat

Push-Over Nro: 10

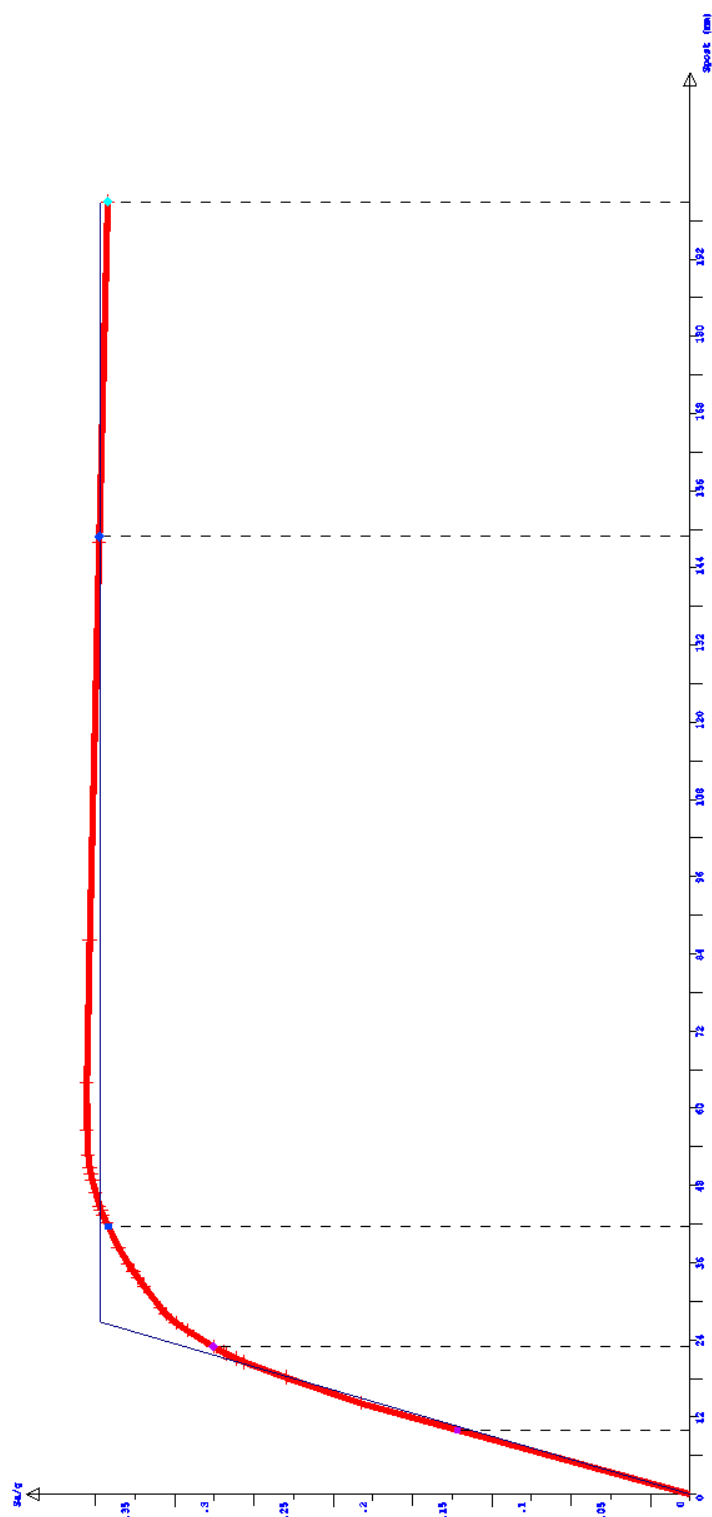
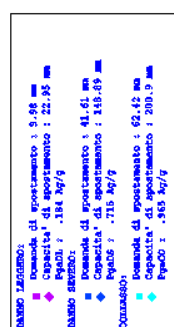


Figura 4.102 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 10, rasti kur janë përforcuar trarët dhe kolonat

Push-Over Nro: 11

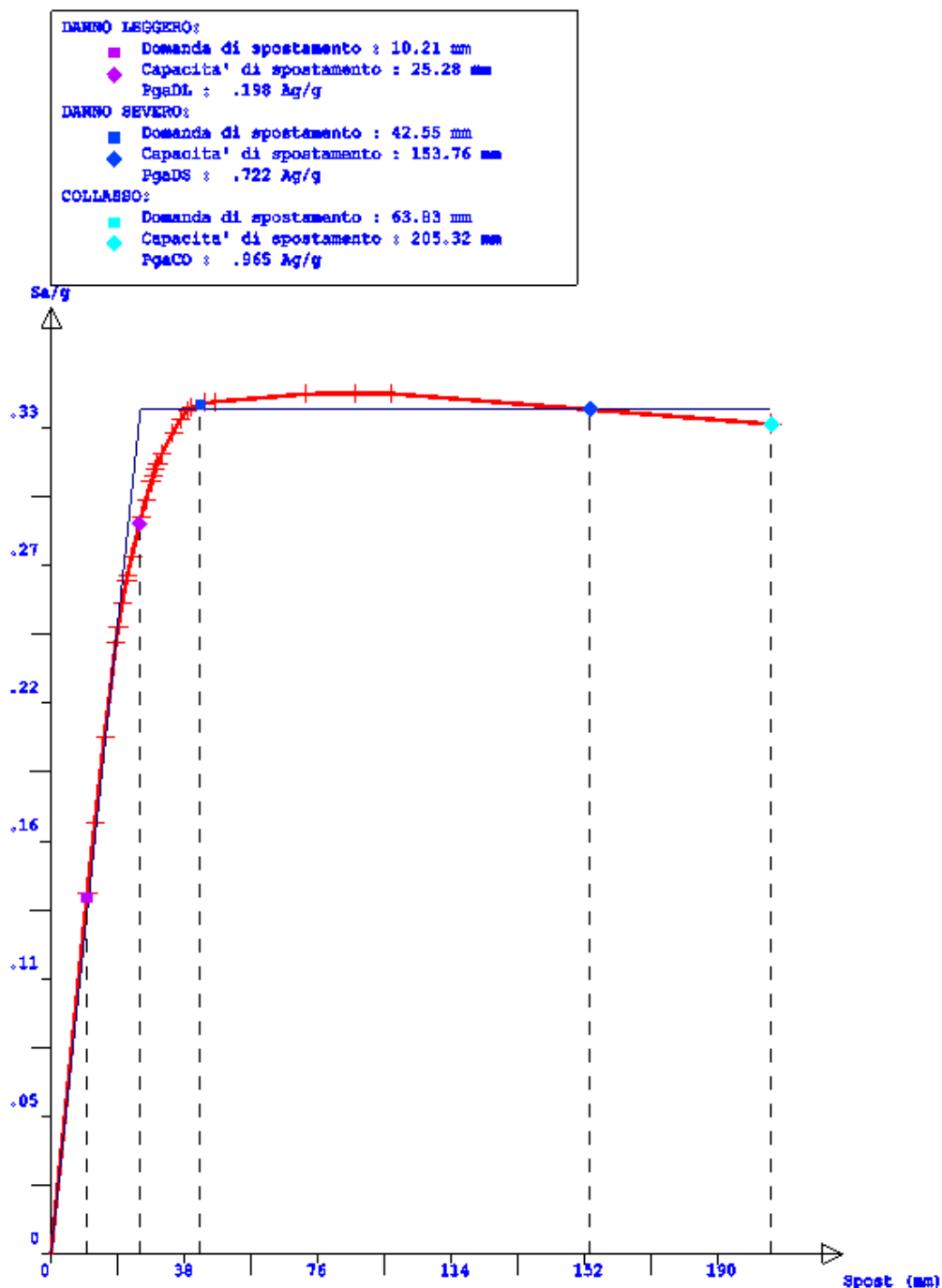


Figura 4.103 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 11, rasti kur janë përforcuar trarët dhe kolonat

Push-Over Nro: 12

DUEJO LAVORO:
 ■ Domanda di spostamento : 10.66 mm
 ■ Capacita' di spostamento : 21.94 mm
 ■ Rigidità : .13 kg/g
 DUEJO ROTTURE:
 ■ Domanda di spostamento : 4.42 mm
 ■ Capacita' di spostamento : 156.37 mm
 ■ Rigidità : .112 kg/g
 OTTASSE:
 ■ Domanda di spostamento : 66.63 mm
 ■ Capacita' di spostamento : 208.7 mm
 ■ Rigidità : .359 kg/g

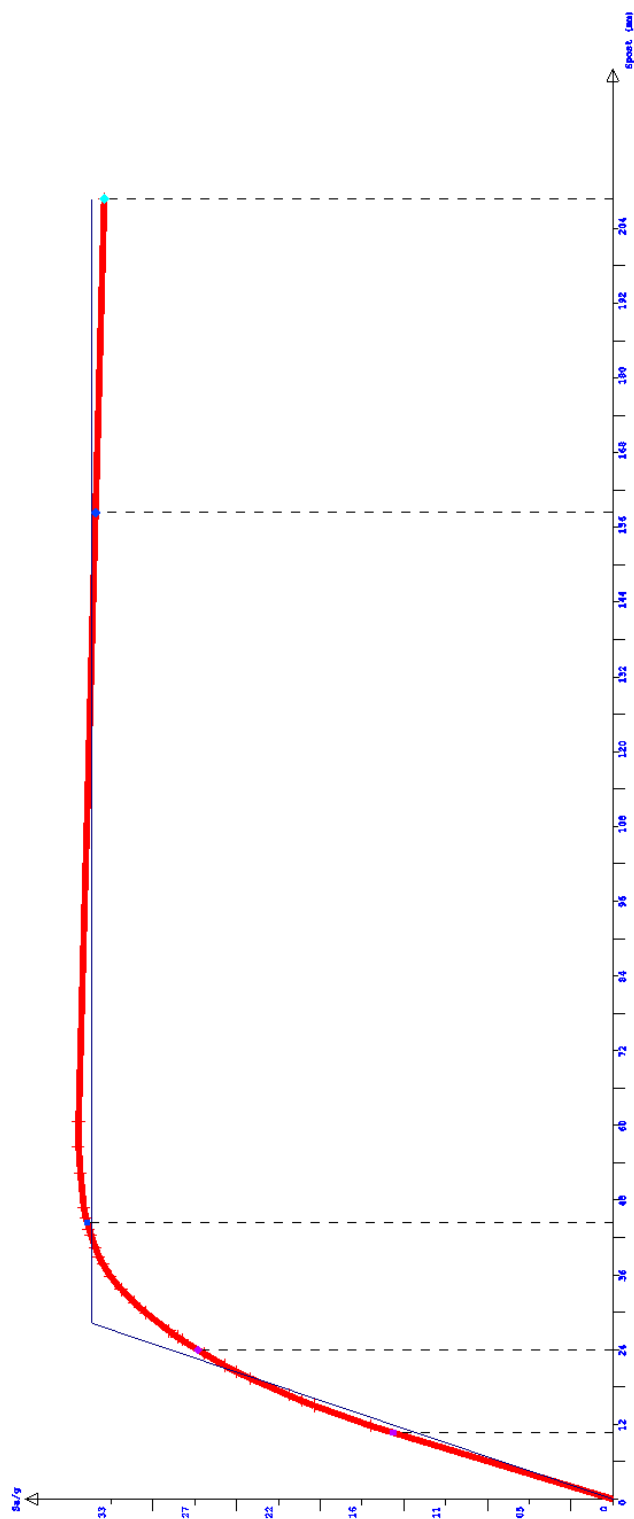


Figura 4.104 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 12, rasti kur janë përforcuar trarët dhe kolonat



Figura 4.105 Varësia e raportit spektër i shpejtimeve të truallit/shpejtim
i rënies së lirë – zhvendosje, për analizën push – over 13, rasti kur janë
përforcuar trarët dhe kolonat

Në tabelat 4.9, 4.10 dhe 4.11 pasqyrohen të përmblëdhura disa nga rezultatet e llogaritjeve të cilat u treguan edhe në grafikët e mësipërm.

Struktura e papërfurcuar					
Analiza push – over 1					
Shkatërrimi, kolapsi (Shk)	Dëmtim i rëndë (DR)	Dëmtim i lehtë (DL)	Zhvend. e kërkuar (mm)	10.32	OK
			Zhvend. e mundshme (mm)	19.52	
			Shpejtimi i DL/g	0.151	
	Dëmtim i rëndë (DR)	Dëmtim i lehtë (DL)	Zhvend. e kërkuar (mm)	43.01	KO
			Zhvend. e mundshme (mm)	30.57	
			Shpejtimi i DR/g	0.142	
Shkatërrimi, kolapsi (Shk)	Dëmtim i rëndë (DR)	Dëmtim i lehtë (DL)	Zhvend. e kërkuar (mm)	64.52	KO
			Zhvend.e mundshme (mm)	39.24	
			Shpejtimi i Shk/g	0.182	
Struktura e përfurcuar, vetëm trarët					
Analiza push – over 1					
Shkatërrimi, kolapsi (Shk)	Dëmtim i rëndë (DR)	Dëmtim i lehtë (DL)	Zhvend. e kërkuar (mm)	9.91	OK
			Zhvend. e mundshme (mm)	22.02	
			Shpejtimi i DL/g	0.176	
	Dëmtim i rëndë (DR)	Dëmtim i lehtë (DL)	Zhvend. e kërkuar (mm)	41.31	OK
			Zhvend. e mundshme (mm)	130.06	
			Shpejtimi i DR/g	0.629	
Shkatërrimi, kolapsi (Shk)	Dëmtim i rëndë (DR)	Dëmtim i lehtë (DL)	Zhvend. e kërkuar (mm)	61.97	OK
			Zhvend.e mundshme (mm)	182.25	
			Shpejtimi i Shk/g	0.802	

Struktura e përfuruar, vetëm kolonat							
Analiza push – over 1							
Struktura e përfuruar, trarët + kolonat	Analiza push – over 1	Shkatërrimi, kolapsi (Shk)	Dëmtim i rëndë (DR)	Dëmtim i lehtë (DL)	Zhvend. e kërkuar (mm)	10.01	OK
					Zhvend. e mundshme (mm)	22.37	
					Shpejtimi i DL/g	0.179	
		Shkatërrimi, kolapsi (Shk)	Dëmtim i rëndë (DR)	Dëmtim i lehtë (DL)	Zhvend. e kërkuar (mm)	41.71	OK
					Zhvend. e mundshme (mm)	109.11	
					Shpejtimi i DR/g	0.523	
		Shkatërrimi, kolapsi (Shk)	Dëmtim i rëndë (DR)	Dëmtim i lehtë (DL)	Zhvend. e kërkuar (mm)	62.57	OK
					Zhvend.e mundshme (mm)	134.09	
					Shpejtimi i Shk/g	0.643	

Tabela 4.9 Rezultatet e analizës push – over 1 për strukturën e papërfuruar me FRP, të përfuruar vetëm trarët, të përfuruar vetëm kolonat, të përfuruar trarët dhe kolonat

Struktura e papërforcuar					
Analiza push – over 3					
Shkatërrimi, kolapsi (Shk)	Dëmtim i rëndë (DR)	Dëmtim i lehtë (DL)	Zhvend. e kërkuar (mm)	10.74	OK
			Zhvend. e mundshme (mm)	25.58	
			Shpejtimi i DL/g	0.190	
			Zhvend. e kërkuar (mm)	44.76	KO
			Zhvend. e mundshme (mm)	39.61	
			Shpejtimi i DR/g	0.177	
Shkatërrimi, kolapsi (Shk)			Zhvend. e kërkuar (mm)	67.14	KO
			Zhvend.e mundshme (mm)	53.98	
			Shpejtimi i Shk/g	0.241	
Struktura e përforcuar, vetëm trarët					
Analiza push – over 3					
Shkatërrimi, kolapsi (Shk)	Dëmtim i rëndë (DR)	Dëmtim i lehtë (DL)	Zhvend. e kërkuar (mm)	10.20	OK
			Zhvend. e mundshme (mm)	25.49	
			Shpejtimi i DL/g	0.20	
			Zhvend. e kërkuar (mm)	42.53	OK
			Zhvend. e mundshme (mm)	163.56	
			Shpejtimi i DR/g	0.769	
Shkatërrimi, kolapsi (Shk)			Zhvend. e kërkuar (mm)	63.80	OK
			Zhvend.e mundshme (mm)	213.17	
			Shpejtimi i Shk/g	1.002	

Struktura e përforcuar, vetëm kolonat					
Analiza push – over 3					
Shkatërrimi, kolapsi (Shk)	Dëmtim i rëndë (DR)	Dëmtim i lehtë (DL)	Zhvend. e kërkuar (mm)	10.42	OK
			Zhvend. e mundshme (mm)	25.79	
			Shpejtimi i DL/g	0.198	
			Zhvend. e kërkuar (mm)	43.42	OK
		Zhvend. e mundshme (mm)	108.62		
		Shpejtimi i DR/g	0.50		
		Zhvend. e kërkuar (mm)	65.14	OK	
		Zhvend.e mundshme (mm)	133.74		
		Shpejtimi i Shk/g	0.616		
Struktura e përforcuar, trarët + kolonat					
Analiza push – over 3					
Shkatërrimi, kolapsi (Shk)	Dëmtim i rëndë (DR)	Dëmtim i lehtë (DL)	Zhvend. e kërkuar (mm)	10.28	OK
			Zhvend. e mundshme (mm)	25.68	
			Shpejtimi i DL/g	0.200	
			Zhvend. e kërkuar (mm)	42.84	OK
		Zhvend. e mundshme (mm)	158.05		
		Shpejtimi i DR/g	0.738		
		Zhvend. e kërkuar (mm)	64.26	OK	
		Zhvend.e mundshme (mm)	207.97		
		Shpejtimi i Shk/g	0.971		

Tabela 4.10 Rezultatet e analizës push – over 3 për strukturën e papërforcuar me FRP, të përforcuar vetëm trarët, të përforcuar vetëm kolonat, të përforcuar trarët dhe kolonat

Struktura e papërforcuar					
Analiza push – over 9					
Shkatërrimi, kolapsi (Shk)	Dëmtim i rëndë (DR)	Dëmtim i lehtë (DL)	Zhvend. e kërkuar (mm)	10.10	OK
			Zhvend. e mundshme (mm)	23.45	
			Shpejtimi i DL/g	0.186	
			Zhvend. e kërkuar (mm)	42.09	KO
		Zhvend. e mundshme (mm)	37.80		
		Shpejtimi i DR/g	0.180		
Shkatërrimi, kolapsi (Shk)			Zhvend. e kërkuar (mm)	63.14	KO
			Zhvend.e mundshme (mm)	52.57	
			Shpejtimi i Shk/g	0.250	
Struktura e përforcuar, vetëm trarët					
Analiza push – over 9					
Shkatërrimi, kolapsi (Shk)	Dëmtim i rëndë (DR)	Dëmtim i lehtë (DL)	Zhvend. e kërkuar (mm)	9.60	OK
			Zhvend. e mundshme (mm)	26.53	
			Shpejtimi i DL/g	0.221	
			Zhvend. e kërkuar (mm)	40.01	OK
		Zhvend. e mundshme (mm)	160.98		
		Shpejtimi i DR/g	0.804		
Shkatërrimi, kolapsi (Shk)			Zhvend. e kërkuar (mm)	60.02	OK
			Zhvend.e mundshme (mm)	218.72	
			Shpejtimi i Shk/g	1.093	

Struktura e përforcuar, vetëm kolonat					
Analiza push – over 9					
Shkatërrimi, kolapsi (Shk)	Dëmtim i rëndë (DR)	Dëmtim i lehtë (DL)	Zhvend. e kërkuar (mm)	9.64	OK
			Zhvend. e mundshme (mm)	27.52	
			Shpejtimi i DL/g	0.228	
			Zhvend. e kërkuar (mm)	40.18	OK
		Zhvend. e mundshme (mm)	104.66		
		Shpejtimi i DR/g	0.521		
Shkatërrimi, kolapsi (Shk)			Zhvend. e kërkuar (mm)	60.27	OK
			Zhvend.e mundshme (mm)	130.08	
			Shpejtimi i Shk/g	0.647	
Struktura e përforcuar, trarët + kolonat					
Analiza push – over 9					
Shkatërrimi, kolapsi (Shk)	Dëmtim i rëndë (DR)	Dëmtim i lehtë (DL)	Zhvend. e kërkuar (mm)	9.69	OK
			Zhvend. e mundshme (mm)	27.39	
			Shpejtimi i DL/g	0.227	
			Zhvend. e kërkuar (mm)	40.12	OK
		Zhvend. e mundshme (mm)	161.77		
		Shpejtimi i DR/g	0.806		
Shkatërrimi, kolapsi (Shk)			Zhvend. e kërkuar (mm)	60.19	OK
			Zhvend.e mundshme (mm)	215.52	
			Shpejtimi i Shk/g	1.074	

Tabela 4.11 Rezultatet e analizës push – over 9 për strukturën e papërforcuar me FRP, të përforcuar vetëm trarët, të përforcuar vetëm kolonat, të përforcuar trarët dhe kolonat

Nga studimi i grafikëve dhe i të dhënave nëpër tabela të ndryshme arrijmë në përfundimin se janë përforcimet në trarë që ndikojnë me shumë në përshtatjen sizmike të strukturës. Kjo për faktin se gjatë projektimit janë përdorur trarë “petashuq”, pra trarë me lartësi sa lartësia e soletës (në rastin tonë 30cm). Kështu që vërtetohet edhe një herë fakti se trarë të tillë duhet të përdoren sa më pak dhe se prania e tyre keqëson performancën e strukturës nën veprimin e forcave sizmike. Gjithsesi mbetemi të mendimit se fillimisht në përshtatjen sizmike të një strukture duhet të fillohet me përforcimin e kolonave. Parimi “tra i dobët, kolonë e fortë” duhet të respektohet në çdo rast. Vihet re gjithashtu se, përforcimi i trarëve dhe i kolonave, së bashku, përmirëson ndjeshëm reagimin e strukturës nën veprimin e forcave sizmike.

Si përfundim, përdorimi i FRP, përmirësoi jashtëzakonisht shumë reagimin e strukturës ndaj veprimit të tërmetit. Në këtë përfundim u arrit duke kryer analizën push – over të strukturës së përforcuar me FRP. Grafikët e shumtë dhe tabelat përkatëse treguan më së miri se struktura e përforcuar i përmbush plotësisht kërkesat e Eurokodeve. Kështu përshtatja sizmike e saj, me ndihmën e FRP, u realizua me sukses.

PERMBLEDHJE, PERFUNDIME, REKOMANDIME

Qëllimi i punimit të paraqitur është studimi i materialeve të përbërë (kompozitë) FRP (Fiber Reinforced Polymer), përshkrimi i vetive të tyre fiziko – mekanike, përshkrimi i teknologjisë së prodhimit të materialeve kompozitë dhe i teknikave të përforcimit të elementëve betonarme, nëpërmjet tyre. Llogaritja e elementëve betonarme të përforcuar me FRP (Fiber Reinforced Polymer), si edhe përshtatja sizmike e strukturave ekzistuese me anë të FRP.

Punimi i temës është paraqitur i ndare në katër pjesë kryesore:

1. Njohuri të përgjithshme. Vetitë fiziko – mekanike të FRP.
2. Teknologjia e prodhimit të FRP dhe teknikat e realizimit të përforcimit me FRP.
3. Përforcimi i elementëve të veçantë betonarme.
4. Përshtatja sizmike e strukturave betonarme nëpërmjet FRP.

Fibrat përforcuese polimere (FRP) përdoren në përforcimin e strukturave ekzistuese, si edhe në përshtatjen sizmike të tyre.

Fibrat përforcuese polimere (FRP) përdoren në elementë betonarme në përkulje, të zakonshem dhe të paranderur. Në elementët që punojnë në përkulje, roli i fibrave përforcuese polimere është rritja e aftësisë mbajtëse, si kundrejt momentit përkulës, ashtu edhe ndaj forcave prerëse.

Fibrat përforcuese polimere përdoren edhe për përforcimin e kolonave betonarme. Në kolonat, roli i tyre qëndron në rritjen e aftësisë mbajtëse në shtypje jashtëqëndrore (shtypje me përkulje).

Fibrat përforcuese polimere përdoren për përforcimin e elementeve betonarme në përdredhje. Roli i tyre në këta elementë është rritja e aftësisë mbajtëse kundrejt momentit përdredhës veprues.

Simboli FRP (Fiber Reinforced Polymer) tregon një material të përbërë (kompozit) i formuar nga fibrat, të cilat zhyten në një material lidhës, që quhet matricë polimere. Fibrat (elementi mbajtes) dhe matrica polimere (materiali lidhës) formojnë së bashku të ashtuquajturin material të përbërë (kompozit), i cili emertohet FRP (Fiber Reinforced Polymer, Fibra Perforcuese Polimere).

Fibrat përbëjnë elementin rezistent ndaj ngarkesave dhe veprimeve. Janë fije apo petëza të përbëra nga karbon, xham, aramide, poliestër, çelik, etj. Ndersa matrica ka për detyrë të përçojë sforcimet në fibra dhe ndërmjet fibrave, t'i mbrojë ato nga mjedisi përreth dhe të përçojë sforcimet nga FRP në elementin që përforcohet.

Fibrat që përdoren më shumë janë:

- Fibrat e xhamit
- Fibrat e karbonit
- Fibrat aramide
- Fibrat polivinil alkol

FRP mund të klasifikohen në varësi të tipit të rezinës, të tipit të fibrave të përdorura, të gjeometrisë, etj. Një lloj i klasifikimit të FRP është ai që lidhet me drejtimin gjatësor të tyre. Kështu mbi këtë baze kemi këtë klasifikim:

- Tipi A, paraqet të paktën 95% të fibrave të vazhduara të vendosura në drejtimin gjatësor dhe përqindja vëllimore e fibrave më e madhe se 50%.
- Tipi B, paraqet të paktën 95% të fibrave të vazhduara të vendosura në drejtimin gjatësor dhe përqindja vëllimore e fibrave më e madhe se 30%.
- Tipi C, paraqet të paktën 40% të fibrave të vazhduara të vendosura në drejtimin gjatësor dhe përqindja vëllimore e fibrave më e madhe se 30%.

Një tjetër klasifikimi i FRP lidhet me morfologjinë e tyre. Nga kjo pikëpamje rrjedh klasifikimi i mëposhtëm:

- Sisteme të paraformuar
- Sisteme të ngopur në vend (në kantier)
- Sisteme të parangopur

Nga pikëpamja strukturore zgjidhen këto probleme:

- Rritja e ngarkesës që mund të përballojnë elementët betonarme (trarë, soleta, kolona, etj)
- Zvogëlimi i deformimeve
- Zvogëlimi i madhësisë së plasaritjeve
- Nuk mund të zgjidhen në mënyrë të drejtpërdrejtë problemet në shtypje, për shkak të punës së fibrave vetëm në tërheqje
- Përshtatja sizmike e strukturave

Në krahasim me materialet e tjerë, përdorimi i FRP, apo i thurjeve prej FRP, në përforcimin e elementëve strukturorë, ka këto epërsi:

- durabilitet i lartë
- peshë e vogël, afërsisht 25% e peshës së çelikut
- rezistencë e lartë
- përdorim i lehtë
- transport i lehtë
- rezistencë në lodhje shumë e lartë
- impakt arkitektonik i shkëlqyer

- të padëmtueshme prej alkaleve
- rezistente ndaj korrozionit
- të përshtatshme edhe për elementë me sipërfaqe jo të rrafshët
- mundësi e shkëlqyer për t'i orientuar fibrat në drejtimin e duhur, sipas kërkesave të punës së materialit, në varësi të gjendjes së tij të sforcuar
- mirëmbajtje e lehtë dhe e pakët
- mund të përdoren për përforcimin e strukturave me vlera historike, estetike dhe arkitektonike, në të cilat përdorimi i metodave të tjera përforcuese do të çonte në cënimin e këtyre vlerave.

Si anë negative mund të përmendim:

- kosto e lartë
- janë materiale të reja dhe ende nuk njihet mirë problematika teknike e tyre, nga ata që i përdorin
- shfaqen probleme në lidhjen midis FRP dhe elementëve betonarme tek të cilat ato vendosen

Ekzistojnë shumë metoda për të patur një prodhim të besueshëm të FRP. Më kryesoret janë:

- Punime me kallëpe (forma) të hapura
- Punime me kallëpe (forma) të mbyllura

Parimet e përgjithshme, baze, të projektimit të përforcimit me FRP janë:

- Zgjedhja e sistemit të përforcimit dhe projekti përkatës janë bërë nga inxhinierë të specializuar në këtë fushë.
- Projekti duhet të jetë i saktë, i qartë dhe i detajuar.
- Zbatimi praktik i këtij përforcimi do të kryhet nga punonjës të specializuar dhe me përvojë në këtë fushë.
- Gjatë zbatimit do të ketë një mbikqyrje punimesh dhe kontroll të specializuar.
- Materialet e përdorur do të përmbushin të gjitha normat dhe standartet përkatëse.
- Sistemi i përforcimit i pranuar përmbush kërkesat që lidhen me durabilitetin, shërbyeshmërinë, aftësinë mbajtëse.
- Sistemi i përforcimit përmbush normat e kundër zjarrit.
- Sistemi i përforcimit vendoset në ato zona të cilat punojnë në tërheqje.
- Nuk duhet tu besohet FRP për sa i takon përballimit të sforcimeve shtypëse.
- Përforcimi me FRP duhet të përballojë edhe dëmtimet lokale.

Llogaritja e FRP prej momentit perkules, per perforcimin e elementeve betonarme në përkulje bazohet ne keto hipoteza:

- Betoni punon vetëm në zonën e shtypur.
- Seksionet plane para deformimit mbeten të tilla edhe pas deformimit (hipoteza e Bernulit)
- Ka vend ligji i Hukut
- FRP vendosen në zonat që punojnë në tërheqje
- Ngjitja e FRP në sipërfaqen e betonit është e përsosur
- Materiali ngjitës i posaçëm (rezina) nuk ndikon fare në punën e elementit
- Nga pikëpamja parimore një fibër karboni punon njëllë si një shufër çeliku
- Sipërfaqja e armaturës ekzistuese të çelikut mund të merret parasysh në llogaritje, por edhe mund të shpërfillet
- Mund të shpërfillet deformimi i elementit në prerje

Mënyrat e shkatërrimit të një trau betonarme të përforcuar me FRP në aftësi mbajtëse kundrejt momentit përkulës mund të ndahen në dy kategori:

- Në kategorinë e parë hyjnë ato mënyra shkatërrimi që lidhen me shkatërrimin e njërit prej materialeve përbërës. Ose betoni në zonën e shtypur shkatërrohet (sforcimet në të kalojnë kufirin e rezistencës në shtypje), ose armatura në zonën e tërhequr këputet (sforcimet në të kalojnë rezistencën e armaturës në tërheqje), ose këputen fibrat (sforcimet në to kalojnë rezistencën përkatëse në tërheqje). Këto mënyra shkatërrimi quhen “klasike”.
- Në kategorinë e dytë hyjnë të ashtuquajtuarat mënyra shkatërrimi të parakohshme apo “peeling – off” dhe “concrete ripping”. Në këto raste nuk kemi shkatërrim të materialeve por kemi shkëputje të FRP nga elementi betonarme.

Nga pikëpamja logjike, si natyrë pune, në rastin e përforcimit të elementëve në përkulje, prej momentit përkulës, FRP nuk janë gjë tjetër, veçse disa “shufra” shtesë (jo prej çeliku), që vendosen në zonën e tërhequr të elementit. Këto “shufra shtesë prej FRP” shërbejnë për të përballuar atë moment përkulës shtesë, të cilin nuk janë në gjendje ta përballojnë shufrat e çelikut (armatura gjatesore), që janë vendosur në element, në zonën e tërhequr të tij.

Përforcimi i elementeve betonarme, që punojnë në përkulje, nga veprimi i forcës prerëse, parashikon vendosjen e shiritave të FRP (FRP që punojnë sipas një drejtimi) apo thurjeve (rrjetave) (FRP që punojnë sipas

dy drejtimeve). Do të ishte ideale vendosja e shiritave të FRP sipas drejtimit të veprimit të sforcimeve kryesore tërheqese. Megjithatë është më praktike vendosja e këtyre fibrave pingul me aksin gjatësor të elementit betonarme që do të përforcohet. Në këtë rast shiritat mund të vendosen ngjitur ose në largësi nga njëri – tjetri.

Nga pikëpamja logjike, si natyrë pune, në rastin e përforcimit të elementëve në përkulje, prej forcës prerëse, FRP nuk janë gjë tjetër, veçse disa “stafa” shtesë (jo prej çeliku), që vendosen në atë zonë të elementit (zakonisht pranë mbështetjeve), ku aftësia mbajtëse e elementit kundrejt forcës prerëse është më e vogël se forca prerëse vepruese. Këto “stafa shtesë prej FRP” shërbejnë për të përballuar atë forcë prerëse shtesë, të cilën nuk janë në gjendje ta përballojnë stafat e çelikut (armatura tërthore), armatura e kthyer (nëse ekziston), që janë vendosur në element, se edhe betoni.

Përdorimi i FRP për përforcimin e elementëve betonarme që punojnë në përdredhje është i nevojshëm në rastet kur momenti përdredhës veprues është më i madh se momenti përdredhës kufitar mbajtës. Zakonisht përdoren FRP njëdrejtimëshe apo edhe dydrejtimëshe (thurje) të përbëra nga një apo disa shtresa. Në rastin e aplikimit të shiritave njëdrejtimëshe ata mund të jenë të larguar nga njëri-tjetri ose të vendosur ngjitur me njëri-tjetrin. Drejtimi punues i FRP duhet të formojë një kënd $\beta = 90^\circ$ në lidhje me aksin gjatësor të elementit që përforcohet. Është gjithashtu e detyrueshme që FRP të pësjtjellin të gjithë seksionin tërthor të elementit.

Nga pikëpamja logjike, si natyrë pune, në rastin e përforcimit të elementëve në përdredhje, prej momentit përdredhës, FRP nuk janë gjë tjetër, veçse disa “stafa” shtesë (jo prej çeliku) dhe disa “shufra” gjatësore shtesë (jo prej çeliku), që vendosen në atë zonë të elementit (zakonisht pranë mbështetjeve), ku aftësia mbajtëse e elementit kundrejt momentit përdredhës është më e vogël se momenti përdredhës veprues. Këto “stafa shtesë prej FRP” dhe këto “shufra gjatësore shtesë prej FRP” shërbejnë për të përballuar atë moment përdredhës shtesë, të cilin nuk janë në gjendje ta përballojnë stafat e çelikut (armatura tërthore), armatura gjatësore, që janë vendosur në element, si edhe betoni.

Roli thelbësor i veshjeve me FRP në elementët ne shtypje jashtëqendrore është shtrëngimi (rrethimi) i elementëve betonarme me thurje apo shirita FRP të vendosura në konturin e elementit. Rrethimi

mund të realizohet i vazhduar ose jo. Rritja e rezistencës në shtypje të betonit dhe e deformimit përkatës varet nga presioni i rrethimit apo shtrëngimit që FRP ushtron mbi element. Nga ana tjetër presioni i rrethimit të FRP varet nga ngurtësia e sistemit të përforcimit dhe nga forma e seksionit tërthor të elementit betonarme që rrethohet (shtrëngohet).

Roli i FRP, është cilësisht i njëjtë me rolin e stafave prej çeliku. Në mënyre të përmblodhur ky rol i stafave dhe i FRP mund të shprehet si “shtrengim” apo “rrethim” i seksionit. Shtrëngimi apo rrethimi rrit duktilitetin, rrit aftësinë mbajtëse kundrejt forcave aksiale dhe kundrejt momentit përkulës, shmang dukurinë e humbjes së qëndrueshmërisë së shufrave gjatësore të kolonave, etj. Shtrëngimi (rrethimi) me anë të veshjeve prej FRP rrit rezistencën në shtypje të betonit, rrit deformimin kufitar të betonit e_{cu} , si rrjedhim rritet edhe duktiliteti. Hapësira në të cilën rriten së bashku edhe duktiliteti edhe rezistenca e betonit varet kryesisht nga sjellja e veshjes prej FRP kundrejt forcave aksiale.

Nëse do të formulonim një përkufizim, do të thonim se përshtatja sizmike e strukturës së një ndërtese është tërësia e përforcimeve, ndërhyrjeve, modifikimeve strukturore, etj., që i behen asaj, me qëllim që, pas kësaj, kjo strukturë të përmbushë rregullat dhe ligjet e normativave antisizmike në fuqi.

Në zonat sizmike ndërhyrja me FRP në strukturat betonarme finalizohet kryesisht me arritjen e objektivave të mëposhtëm:

- Rritja e rezistencës në përkulje të thjeshtë apo të përbërë, nëpërmjet aplikimit të fibrave të vendosura sipas drejtimit të aksit të elementit. Përveç tyre mund të vendosen edhe fibra në drejtime të tjera.
- Rritja e rezistencës në prerje të elementeve, nëpërmjet aplikimit të FRP, me fibrat të vendosura pingul me aksin e elementit dhe përveç tyre, nëpërmjet vendosjes së fibrave edhe në drejtime të tjera.
- Rritja e duktilitetit të seksionit të trareve ose kolonave përmes mbështjelljes me FRP me fibra të vazhduara përgjate perimetrit.
- Përmirësimi i efikasitetit të xhuntimeve përmes mbështjelljes me FRP me fibra të vazhduara të vendosura përgjatë perimetrit.
- Ndalimi, përmes mbështjelljes me FRP me fibra të vazhduara të vendosura përgjate perimetrit, të humbjes së qëndrueshmërisë së armaturës gjatësore që i është nënshtruar shtypjes.

- Rritja e rezistencës në tërheqje të nyjeve tra – kolonë përmes aplikimit të shiritave me FRP me fibra të vendosura sipas drejtimit të sforcimeve tërheqëse.
- Rritja e aftësisë mbajtëse të kolonave me anë të rrethimit (shtrëngimit) të tyre me FRP.

Siç dihet shumë mirë nga të gjithë, Shqipëria dëshiron të jetë pjesë e Bashkimit European. Kjo do të thotë, përveç shumë të tjerave, edhe implementim i Eurokodeve, si normativa në fuqi për projektimin strukturor dhe gjeoteknik të veprave të ndryshme inxhinierike, në Republikën e Shqipërisë. Në këtë kuadër, para inxhinierëve del si detyrë e menjëhershme analizimi, modelimi, kontrolli, përforcimi dhe përshtatja sizmike e strukturave ekzistuese betonarme, në veçanti, në përpunime me Eurokodet. Pa dyshim, që një nga mënyrat më moderne dhe efikase të përforcimit dhe përshtatjes sizmike të strukturave betonarme, në veçanti, është përdorimi i FRP. Hapi i parë në këtë rrugë të gjatë është përgatitja e kushteve teknike përkatëse, të projektimit, që lidhen me FRP. Së bashku me udhëheqësin shkencor të doktoratës Prof. As. Dr. Fisnik Kadiu, për herë të parë në Shqipëri, mbi bazën e studimit të një literature të gjerë europiane, amerikane, kanadeze, etj., kemi menduar, që ky punim të shërbejë si fillesë e këtyre kushteve teknike, në vendin tonë. Për këtë arsye, në punimin e përgatitur, jemi përpjekur që të paraqesim (në mënyrë sa më të plotë) të gjithë fushën e problemeve që lidhen me përdorimin e FRP, duke u nisur nga përshkrimi i tyre, vetitë fiziko – mekanike, epërsitë e tyre, klasifikimi, fushat e përdorimit dhe duke vazhduar me përforcimin e elementëve të veçantë, për të përfunduar me përshtatjen sizmike të një strukture të tërë, betonarme. Nëse, duke u bazuar në punimin tonë, ndonjë nga kolegët e interesuar do të arrinte të zgjidhte të gjithë gamën e problemeve, që lidhen me përforcimin dhe përshtatjen sizmike të strukturave betonarme me FRP, atëherë do të thonim me siguri, se qëllimi i punimit të doktoratës është përmbushur me sukses.

LITERATURA

1. Eurocode 2, November 2005.
2. CNR (COMMISSIONE NAZIONALE DELLE RICERCHE) – Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati, Marzo 2012.
3. TRIANTAFILLOU T.C – Guidelines for the dimensioning of reinforced concrete elements strengthened with CFRP (carbon fibre reinforced polymers), 1999.
4. RUBINO C., PINI D., IANELLI P. – Rinforzo di strutture in cemento armato, 2005.
5. AICAP – Guida all'uso dell'Eurocodice 2, 2006.
6. BARBATO S. – Adeguamento sismico di edifici in c.a. mediante l'impiego di materiali compositi fibrorinforzati (FRP), 2003.
7. KADIU F. – Teknologjia e materialeve te ndertimit, 2004.
8. KADIU F. – Shkenca dhe teknologjia e materialeve te ndertimit, 2013.
9. POJANI N. – Inxhinieria Sizmike, 2003.
10. BIONDI A. – Cemento armato, 2006.
11. CAROLIN A. – Carbon fibre reinforced polymers for strengthening of structural elements, 2003.
12. BILOTA A. – Behaviour of FRP to concrete interface, theoretical models and experimental results.
13. MANFREDEI G. – Interventi in zona sismica, 2005.
14. DIPARTIMENTO PROTEZIONE CIVILE – Linee guida per la riparazione ed il rafforzamento di elementi strutturali, tamponature e partizioni, 2010.
15. CERONI F. – Esempi di rinforzo a flessione con FRP, 2005.
16. BALAGURU P., NANNI A., GIANCASPRO J. – FRP Composites for reinforced and prestressed concrete structures, 2009.
17. SERACINO R. – FRP Composites in civil engineering, 2004.
18. GANGARAO H., TALY N., VIJAY P. – Reinforced concrete design with FRP composites, 2007.
19. HOLLAWAY L., TENG J.G. – Strengthening and rehabilitation of civil infrastructures using polymer (FRP) composites, 2008.
20. SIKA – Sistema di rinforzo ad alta resistenza con FRP, 2009.
21. SIKA – Tecniche di rinforzo con materiali innovativi, 2009.
22. ALEXANDER M., BEUSHAUSEN H.D., DEHN F., MOYO O. – Concrete repair, rehabilitation and retrofitting, 2008.

23. FARDIS M. – Seismic design, assessment and retrofitting of concrete buildings, 2009
24. IOVINELLA I. – Influenza dei trattamenti superficiali sull'efficacia del rinforzo esterno in FRP.
25. ALVARO V. – Materiali compositi a matrice cementizia per rinforzi strutturali, 2007.
26. VONA M. – Edifici in c.a esistenti, metodi di adeguamento sismico.
27. TIROTTA G. – Problemi di danneggiamento di travi in cemento armato.
28. MANFREDI G. – Metodi di adeguamento innovativo, 2007.
29. TENG J.G., CHEN J.F., SMITH S.T., LAM L. – FRP strengthened r.c. structures, 2002.
30. WIGHT J.K., MACGREGOR J.G. – Reinforced concrete, mechanics and design, 2009.