

UNIVERSITETI POLITEKNIK I TIRANËS

FAKULTETI I INXHINIERISË SË NDËRTIMIT

DISERTACION

Paraqitur në kërkim të gradës shkencore “DOKTOR”

**“STUDIM EKSPERIMENTAL PËR MARRËDHËNIEN
MES REZISTENCËS SË RRJEDHSHMËRISË DHE ASAJ
NË TËRHEQJE PËR ÇELIQET ME PERFORMANCË TË
LARTË DHE CFRP, GFRP”**

Doktorant:
MSc. Drilona DISHA (KARAJ)

Udhëheqës shkencor:
Prof. Asoc. Hektor CULLUFI

PËRMBAJTJA

MIRËNJOHJE	iii
SHKURTESAT	xiii
LISTA E FIGURAVE	xxiii
LISTA E TABELAVE	xxv
ABSTRAKT.....	xxvii
ABSTRACT.....	xxix

KAPITULLI I-rë

1. Të përgjithshme	30
1.1 Objektivi i kërkimi.....	31
1.2 Organizimi i punimit të disertacionit.....	31

KAPITULLI I II-të

2. Rishikim i literaturës	33
2.1. Historiku dhe eksperiencia botërore për projektimin, prodhimin dhe aplikimin e Strukturave të përforcuara me shufrave polimere FRP	33
2.2. Shufra polimere të përforcuara me fibra GFRP & CFRP. Aplikime të FRP në praktikën botërore.....	36
2.2.1 Përdorimi i shufrave polimere të përforcuara me fibra qelqi GFRP dhe CFRP.....	38
2.3. Karakteristikat teknike të shufrave polimere FRP	41
2.3.1. Karakteristikat gjeometrike	42
2.3.2. Karakteristikat fizike.....	44
2.3.2.1. Densiteti.....	44
2.3.2.2 Koeficienti i zgjerimit termik dhe tkurrja	44

2.3.3.	Karakteristikat mekanike	46
2.3.3.1	Rezistenca mekanike në tërheqje	46
2.3.3.2.	Rezistenca mekanike në shtypje	48
2.3.3.3.	Rezistenca mekanike në përkuqje	48
2.3.3.4.	Rezistenca mekanike në prerje	49
2.3.3.5.	Rezistenca mekanike në lodhje	49
2.3.3.6.	Deformkoha	50
2.4.	Durabiliteti	52
2.4.1.	Durabiliteti në mjedis me klorure	53
2.4.2.	Durabiliteti në mjedis alkalin	54
2.4.3.	Durabiliteti në mjedise me temperatura të larta	55
2.4.4.	Durabiliteti në mjedise me ujë të zakonshëm.....	55
2.4.5	Durabiliteti ndaj veprimt të rrezeve ultraviolet	55
2.4.6	Durabiliteti në mjedis agresiv acid dhe karbonatimi	56
2.5.	Vlerësimi i cilësisë së shufrave FRP	56
2.6.	Teknologjia e prodhimit e shufrave polimere FRP.....	57
2.6.1	Të përgjithshme	57
2.6.2	Llojet kryesore të materialeve lidhëse.....	58
2.6.2.1	Rrëshira epokside	58
2.6.2.2	Rrëshira poliestere	59
2.6.2.3	Rrëshira Vinilestere.....	59
2.6.3	Fibrat polimere.	60
2.6.3.1	Fibra polimere prej qelqi	60
2.6.3.2	Fibra polimere prej karboni.....	61
2.6.3.3	Fibra polimere prej aramidi.....	61
2.6.4	Teknologjia e prodhimit të shufrave polimere të përforcuara me fibra FRP	62
2.6.4.1	Gel Time dhe karakteristika ekzotermike nga temperatura	64

KAPITULLI I III-të

Teoria e projektimit të strukturave të betonit të armuar me shufra të përforcuara me fibra polimere GFRP dhe CFRP

3.1.	Të përgjithshme	65
3.2.	Vështrime, koncepte dhe përvoja historike mbi kode, udhëzues e metoda për projektimin e strukturave të përforcuara me shufra GFRP dhe CFRP	66
3.2.1	Udhëzime dhe standarte Japoneze.....	68
3.2.2	Udhëzime dhe kode Europiane.....	68
3.2.3.	Udhëzime dhe kode Amerikane.....	69
3.3	Projektimi i strukturave të përforcuara me shufra GFRP dhe CFRP.....	69
3.3.1.	Llogaritja e armaturës për prerjet me armim të balancuar.....	72
3.3.2.	Momenti llogaritës i seksionit tërthorë të mbiarmuara me shufra FRP.....	72
3.4.	Dimensionimi i strukturave B/A sipas normativave dhe kodeve të projektimit	77
3.4.1.	Dimensionimi i elementeve të përforcuara me shufra FRP.....	77
3.4.2	Vetitë e materialeve dhe ndikimi në dimensionimin e prerjes tërthore.....	77
3.4.3.	Dimensionimi i strukturave në përkulje.....	79
3.4.3.1.	Momenti i rezistencës në seksionin tërthor.....	81
3.4.3.2.	Koeficienti i reduktimit të rezistencës në përkulje (Ø)	82
3.4.4	Kontrolli seksionit tërthorë për armim minimal me shufra FRP.....	83
3.4.5.	Gjendja kufitare e shfrytëzimit, sipas ACI 318.....	84
3.4.5.1.	Uljet sipas ACI 318.....	84
3.4.5.2.	Plasaritjet.....	85
3.4.5.3.	Kontrolli i plasaritjeve sipas kodit Amerikan ACI 318.....	85

3.4.5.4.Kontrolli i plasaritjeve sipas kodit Kanadez CSA, 1996.....	86
3.4.5.5.Llogaritja e gjerësisë së hapjes së të plasurave sipas ACI 318.....	86
3.4.5.6. Koeficienti i aderencës ose lidhshmërisë të shufrave FRP me betonin "kb ".....	87
3.5. Momenti efektiv i inercisë.....	88
3.5.1. Deformimet afatgjata në strukturat me shufra të përforcuara me fibra FRP.....	89
3.5.2. Nderjet e lejuara nga deformkoha.....	90
3.5.3 Nderjet e lejuara nga lodhja.....	90
3.5.4. Rezistenca në prerje e prerjes tërthore.....	91
3.5.5. Plasaritjet sipas Eurocode 2 të adaptuara për shufra FRP.....	92
3.5.6. Fillimi i lindjes të plasaritjeve në beton.....	93
3.5.7. Uljet sipas Eurocode 2 të adaptuara për shufra FRP.....	97
3.6. Llogaritja e uljeve sipas Eurocode 2, nëse nuk plotësohet kushti i uljeve.....	98
3.6.1. Standardet Kanadeze për dimensionim CSA (ISIS).....	102
3.6.1.1.Format e thyerjes.....	103
3.6.1.2.Rezistenca në përkulje.....	104
3.6.1.3.Thyerja nga tërheqja.....	107
3.6.1.4.Rezistenca minimale në përkulje.....	109
3.6.1.5 Gjendja kufitare e shfrytëzimit.....	111
3.6.1.6.Plasaritjet.....	111
3.6.1.7. Momenti efektiv i inercisë.....	111
3.6.1.8.Lartësia minimale e pozicionit të aksit neutral.....	112
3.6.1.9. Deformimet e strukturave sipas ISIS Canada.....	113
3.6.1.10.Shtresa mbrojtëse për elementë me shufra FRP.....	113
3.6.1.11.Hapësira ndërmjet shufrave të me fibra FRP.....	114
3.7. Aplikimi i kodeve dhe kufizimi i gjendjes SLS.....	114

3.7.1. Kufizimi i uljeve sipas kodeve të ndryshme.....	116
3.7.2. Kufizimi i plasaritjeve sipas kodeve të ndryshme.....	116
3.7.3. Reagimi Jolinear i strukturave të përforcuara me shufra FRP.....	118

KAPITULLI IV

Projektimi dhe puna eksperimentale ne traret prej betoni te perforcuar me shufra FRP.

4.1. Puna eksperimentale.....	121
4.1.1. Përgatitja e mostrave dhe testimi i shufrave FRP në tërheqje në laborator.....	121
4.1.1.1 Të përgjithshme.....	121
4.1.2. Metoda për llogaritjen dhe përcaktimin e vetive gjeometrike të shufrave FRP.....	122
4.1.3. Metoda për llogaritjen dhe përcaktimin e vetive mekanike të shufrave FRP.....	123
4.1.4. Realizimi i trarëve të armuar me shufra polimere GFRP & CFRP.....	124
4.1.4.1 Përgatitja e kallëpëve prej druri dhe betonimi i trarëve eksperimental.....	141
4.1.4.2 Armimi i trarëve me shufra GFRP & CFRP dhe armaturë konvencionale.....	141
4.1.4.3. Projektimi i përzierjes së betonit (Mix-design).....	143
4.2. Metodrat, pajisjet ngarkuese dhe aparatrat rregjistruese për provat me ngarkesë të trarëve në përkulje prej betoni të armuar me shufra të përforcuara me fibra FRP dhe çeliku të zakonshëm	
4.2.1 Matjet nën veprimin e ngarkesave statike.....	148
4.2.2. Matja e zhvendosjeve dhe deformimeve.....	148
4.2.3. Pajisja për realizimin e ngarkesave në përkulje të trarëve.....	149
4.2.4. Deflektometri.....	151
4.2.5. Pajisje për matjen e deformimeve. Estensometri.....	151
4.2.6. Estensometra të matjeve të deformimeve në beton (Deformetër).....	153
4.3. Tipologjitë e trarëve për eksperimentim. Llogaritja analitike e trarëve me armaturë mbajtëse shufra të përforcuara me fibra GFRP me diametër 8 & 10mm	

dhe shufra konstruktive e stafa prej çeliku.....	154
4.3.1. Llogaritja e setit të trarëve T-2 të armuar me 2 shufra Ø8 mm të përforcuara me fibra qelqi GFRP.....	158
4.3.2. Llogaritja e stit të trarëve T3 të armuar me 2 shufra Ø10 mm të përforcuara me fibra GFRP.....	163
4.3.3. Llogaritja e setit të trarëve T-4 të armuar me 2 shufra Ø8 mm të përforcuara me fibra CFRP.....	168
4.3.4. Llogaritja analitike e setit të trarëve T5 të armuar me 2 Ø10 shufra të përforcuara me fibra CFRP.....	174
4.3.5. Llogaritja analitike e setit të trarëve T6 me armaturë konvencionale me 2 Ø8 mm.....	180
4.3.6. Llogaritja analitike e setit të trarëve T7 të armuar me armaturë konvencionale Ø10	185
4.4. Programimi dhe organizimi i provave me ngarkesa statike të trarëve të armuara me shufra të përforcuara me fibra FRP dhe çeliku për krahasim.....	190
4.4.1. Të përgjithshme.....	190
4.4.2. Programi i kryerjes së provave me ngarkesë.....	191
4.4.3. Kryerja e provave me ngarkesë.....	192
4.5. Rezultatet e fituara nga provat me ngarkesë dhe krahasimi i metodave të aplikuara.....	193
4.6. Rezultatet eksperimentale nga provat me ngarkesë të trarëve. Përcaktimi i paraqitjes së plasuritjeve dhe uljeve për setet e trarëve T2, T3, T4, T5, T6 dhe T7.....	195
4.6.1. Paraqitja e gjerësisë së plasuritjeve për setin e trarëve T2 (2 Ø8mm GFRP).....	195
4.6.2. Përcaktimi i uljeve për setin e trarëve T-2 (2 Ø8mm GFRP).....	197
4.6.3. Përcaktimi i hapjes së të plasurave për traun T3 (2 Ø10mm GFRP).....	201
4.6.4. Përcaktimi i uljeve për traun T-3 (2Ø10mm GFRP).....	205
4.6.5. Përcaktimi i hapjes së të plasurave për traun T-4 (2 Ø8 mm CFRP).....	208
4.6.6. Përcaktimi i uljeve për traun T-4 (2Ø8mm CFRP).....	211

4.6.7	Përcaktimi i hapjes së të plasurave për traun T5 (2 Ø10 mm CFRP).....	214
4.6.8.	Përcaktimi i uljeve për traun T-5 (2Ø10mm CFRP).....	217
4.6.9.	Paraqitja e gjerësisë së plasuritjeve për setin e trarëve T6 (2Ø8 mm armaturë konvencionale).....	221
4.6.10.	Përcaktimi i uljeve për traun T-6 (2Ø8mm ÇELIKU).....	224
4.6.11.	Përcaktimi i hapjes së të plasurave për setin e trarëve T-7 (2Ø10 mm ÇELIKU).....	227
4.6.12.	Përcaktimi i uljeve për setin e trarëve T-7 (2Ø10mm ÇELIKU).....	230

KAPITULLI I V-të

5. Përfundime dhe Rekomandime

5.1.	Përfundime.....	236
5.2.	Përfundimet dhe krahasimi i rezultateve për trarët e armuar me shufra GFRP 2Ø8mm.....	236
5.3.	Përfundimet dhe krahasimi i rezultateve për trarët e armuar me shufra GFRP 2Ø10mm	237
5.4.	Përfundimet dhe krahasimi i rezultateve për trarët e armuar me shufra CFRP 2Ø8mm.....	238
5.5.	Përfundimet dhe krahasimi i rezultateve për trarët e armuar me shufra CFRP Ø10mm.....	239
5.6.	Rekomandime.....	240

1.	Bibliografia	243
----	---------------------------	-----

SIMBOLE DHE SHKURTIME

- FRP shufra të përforcuara me fibra polimere
GFRP shufra të përforcuara me fibra polimere qelqi
CFRP shufra të përforcuara me fibra polimere karboni
AFRP shufra të përforcuara me fibra polimere aramide

Shkronja të mëdha Romake

- A_c sipërfaqja e seksionit tërthor të betonit neto nga armatura e çelikut
 A_f sipërfaqja e shufrave përforcuese FRP
 $A_{fë}$ sipërfaqja e shufrave përforcuese FRP për prerje brenda hapsirës s
 A_s sipërfaqja e armaturës gjatësore të çelikut që punon në tërheqje
 B_i shtangësia e prerjes tërthore
 C forca shtypëse në seksion
 C_E koeficienti i reduktimit mjedisor për tipe të ndryshme fibrash
 D diametri i seksionit rrethor
 E_c moduli i elasticitetit *Young* të betonit
 E_f moduli i elasticitetit *Young* të shufrave FRP
 E_{fk} vlera karakteristike e modulit të elasticitetit të shufrave FRP
 E_s moduli i elasticitetit *Young* të çelikut
 F_f forca që vepron në shufrën FRP
 F_s forca që vepron në shufrën e çelikut
 I momenti i inercisë
 I_{cr} momenti i inercisë për prerje tërthore të plasaritur të betonit
 I_e momenti efektiv i inercisë
 I_g momenti i inercisë për prerje tërthore të plotë
 I_m momenti i modifikuar efektiv i inercisë
 I_t momenti i inercisë për prerje tërthore të paplasaritur të betonit

K_i	madhësia e kurbës
K_1	faktor që merr parasysh kushte kufitare
L	hapësira
M	momenti maksimal pozitiv
M_{cr}	momenti kritik që shkakton paraqitjen e plasaritjeve të para
M_a	momenti maksimal në element në fazën kur ka ndodhur ulja apo deformimi
M_{max}	momenti maksimal në përkulje
T_1, T_2	forcat tërheqëse që i korrespondojnë A_1 dhe A_2
T, T_{max}	forca tërheqëse dhe forca maksimale tërheqëse në seksion
T	temperatura
T_g	temperatura e shkrirjes së qelqit
V_c	forca prerëse që përballon betoni
V_f	forca prerëse që përballojnë stafat FRP
V_{cf}	rezistenca ndaj forcave prerëse për elementet e armuara me FRP
V_n	forca e normuar prerëse në seksion
V_s	forca prerëse që përballojnë stafat e çelikut
V_{sf}	rezistenca e forcave prerëse e elementeve të armuara me FRP
V_u	forca prerëse në seksion

Shkronja të vogla Romake

a	lartësia e zonës së shtypur ekuivalente të betonit
b	gjerësia e seksionit drejtkëndor
b_o	perimetri kritik tek pllakat dhe themelet
b_e	gjerësia e murit të traut (trarë me prerje tërthore T)
c	distanca nga fibrat ekstreme të shtypura deri në aksin neutral
c	shtresa mbrojtëse e betonit
c_b	distanca nga fibrat ekstreme të shtypura deri në aksin neutral për rastin e shkatërrimit të balancuar
c_f	distanca mes qendrës së rëndesës të shufrave

d	distanca nga fibra ekstreme të shtypura deri në aksin gjatësor të armaturës në tërheqje
db	diametri i shufrave
dc	trashësia e shtresës mbrojtëse të betonit e matur nga fibrat ekstreme në tërheqje deri në aksin e shufrave
df	diametri ekuivalent i shufrave të përforcuara FRP
e	raporti i ϵ_{fu} ndaj ϵ_{cu}
f_c	rezistenca në shtypje e mostrave cilindrike të betonit
f_{cu}	rezistenca në shtypje e mostrave kubike të betonit
f_{ctd}	rezistenca llogaritëse në tërheqje e betonit
f_{ck}	rezistenca karakteristike në shtypje e betonit
f_{ct}	rezistenca në tërheqje e betonit
f_{ctm}	vlera kryesore e betonit në tërheqje
f_{fk}	rezistenca karakteristike në tërheqje e shufrave FRP
f_{fd}	rezistenca llogaritëse në tërheqje e shufrave FRP
f_t	nderjet tërheqëse në armaturën të FRP
f_{tb}	rezistenca e pjesës së përkulur të shufrave apo stafave FRP
f_{bod}	aderenca llogaritëse e shufrave FRP
f_{fd}	rezistenca llogaritëse në tërheqje e shufrave FRP
f_{fkd}	rezistenca llogaritëse e shufrave FRP (kohë afatgjate)
f_{fko}	rezistenca llogaritëse e shufrave FRP (kohë afatshkurtër)
f_y	kufiri i rrjedhshmërisë i shufrave të çelikut
f_{yk}	kufiri karakteristik i rrjedhshmërisë të çelikut
h	lartësia e prerjes tërthore e seksionit drejkëndor
j	koeficienti që përcakton pozicionin e krahut të forcave
k	koeficienti që përcakton pozicionin të aksit neutral
k_b	koeficienti i aderencës të shufrave të përforcuara FRP me Betonin
l	gjatësia e elementit (traut)
l	largësia ndërmjet plasaritjeve

l_{bhf}	gjatësia e pjesës së kthyer të armaturës që punon në tërheqje
l_d	gjatësia e shufrës
l_{thf}	gjatësia e kthimit të shufrave FRP
m	koeficienti për shtagësinë e prerjes ndërmjet plasaritjeve
n	raporti modular
n	numri i elementeve dhe proceseve
n_f	raporti ndërmjet modulit të elasticitetit <i>Young</i> të shufrave FRP dhe atij të betonit
s	gjatësia e shkëputjes
s	distanca mes shufrave
s	Hapsira ndërmjet stafave
$\dot{\epsilon}$	gjerësia e hapjes së të plasurave
$\dot{\epsilon}_c$	gjerësia maksimale e hapjes së të plasurave në faqen që punon në tërheqje
$\dot{\epsilon}_{cr}$	gjerësia e llogaritur e plasaritjeve
x	distanca e aksit neutral prej faaqes së jashtme të zonës së shtypur për kushtet e shkatërrimit të balancuar
z	krahu i forcave të brendshme

Shkronja të vogla Greke

α	këndi i reaksionit të forcave
α_b	koeficienti i adhezionit, merret zakonisht 0.5 njëjtë për të gjithë llojet e shufrave FRP (derisa shqyrtimet e ardhshme të jenë më konkluduese)
α_{cc}	koeficienti që merr në konsiderim efektet afatgjata në rezistencën në shtypje të betonit dhe efektet e pavolitshme që rezultojnë nga mënyra e ngarkimit të elementit
α_d	eksponent pa dimension që merr vlerën 0.5 për prerjen tërthore drejtkëndëshe
β	raporti mes distancës nga aksi neutral deri tek skaji i tërhequr i prerjes dhe distancës nga aksi neutral deri armatura
β	raporti i distancës nga aksi neutral tek fibrat ekstreme në tërheqje, mbi distancën nga aksi neutral tek qendra e armaturës në tërheqje
β_d	faktori reduktues i aderencës

β_1	faktor i rezistencës së betonit
γ_c	faktor parcial të sigurisë për beton
γ_s	faktor parcial të sigurisë për çelik (armaturë konvencionale)
γ_f	faktor parcial të sigurisë për shufrat FRP
Δ	ulja në mes të traut
$(\Delta i)_{sus}$	ulja e menjëhershme nën ngarkesat e përhershme
$(\Delta/I)_{max}$	raporti i lejuar ulje/hapësirë e dritës së elementit
ϵ_c	deformimi i betonit në shtypje
ϵ_{cu}	deformimi i fundmë i betonit në shtypje
ϵ_f	deformimi në tërheqje i shufrave të përforcuara të FRP
ϵ_{fu}	deformimi në tërheqje për thyerje të shufrave të FRP
ϵ_{fk}	deformimi karakteristik në këputje i armatures FRP
ϵ_s	deformimi i armatures
ϵ_y	deformimi që i korrespondon rrjedhshmërisë së çelikut
φ	faktor reduktues i rezistencës
η	raporti i distancës prej fibrave ekstreme në shtypje deri tek qendra e armaturës gjatësore (d), ndaj lartësisë së plotë të seksionit të elementit (h)
λ	faktor që përcakton lartësinë e prerjes që punon në shtypje
λ	faktor rritës për deformimet afatgjata
ζ	koeficienti që merr në konsideratë ndryshimin e shtangësisë në hapësirën midis plasaritjeve
ζ	koeficient që varet nga koha për ngarkesa të përhershme
ζ	raporti ndërmjet aksit neutral dhe lartësisë efektive të prerjes
ρ'	përqindja e armaturës që punon në shtypje, $\rho' = A_s'/bd$
ρ_b	përqindja e armaturës FRP për gjendjen e deformuar të balancuar
ρ_f	përqindja e armaturës FRP që punon në shtypje
ρ_{fb}	përqindja e balancuar e armimit
ρ_{fv}	përqindja e shufrave të përforcuara të FRP që punon në prerje
ρ_{min}	përqindja minimale e shufrave të përforcuara FRP

ρ_r	përqindja e armimit në pjesën efektive të tërhequr të betonit
ρ_s	përqindja e armimit për shufrat gjatësore nga çeliku (armatura konvencionale)
δ	deformimet
δ_r	koeficienti që kufizon deformimet e elementëve b.a për gjendjen SLS
σ	deviacioni standart i testimit të mostrave të betonit
σ_c	nderjet në shtypje të betonit
σ_f	nderjet në shufrat gjatësore të përforcuara FRP
σ_{fe}	nderja e rritur në armaturë
σ_s	nderja në armaturën e tërhequr për prerjen e plasarit
σ_{sr}	nderja në armaturë nga ngarkesa që shkakton plasaritjet e para
τ	nderjet nga aderenca
τ_{max}	nderjet maksimale nga aderenca

LISTA E FIGURAVE

Figura 2. 1	Shembuj të konfigurimit të shufrave përforcuara FRP	37
Figura 2.2.	Shufra FRP diagonale për tensionimin e strukturës, Japoni	38
Figura 2.3.	Sistemi i ngritjes magnetike në ajër në transportin hekurudhor, Japoni	39
Figura 2.4.	Përdorimi i shufrave CFRP të paranderura në një urë në Klubin Country Yard, Japoni	39
Figura 2.5.	Ura e parë prej betonit të përforcuara me FRP në Europë (Projekti Eurocrete)	39
Figura 2.6.	Urë prej betoni të përforcuar me FRP, <i>Morriskoën – Vermont (USA) [2002]</i>	40
Figura 2.7.	Urë prej betoni të përforcuar me GFRP, <i>Cookshire-Eaton-Quebec [2003]</i>	40
Figura 2.8.	Urë prej betoni e përforcuar me FRP, <i>Morriskoën – Vermont (USA) [2002]</i>	41
Figura 2.9.	Spitali i Përgjithshëm “Lincoln”, në Lincoln (USA)	41
Figura 2.10.	Spitali i Qendrës së Traumës në York (USA)	41
Figura 2.11.a.	Shufra të përforcuara me fibra FRP dhe sipërfaqe të vijaskuara	43
Figura 2.11.b.	Shufra të përforcuara me fibra FRP dhe sipërfaqe me rërë kuarci	43
Figura 2.11.c.	Shufra të përforcuara me fibra FRP dhe sipërfaqe përpunuar me rërë kuarci	43

Figura 2.12. Plasaritja e shkaktuar nga nderjet periferike	45
Figura 2.13. Grafiku sforcim-deformim për shufrat përforcuese FRP dhe çelikut	47
Figura 2.14. Varësia e deformkohës nga % lagështisë relative të ajrit	51
Figura 2.15. Kurbat sforcim-deformim të FRP dhe armaturës konvencionale në tërheqje	52
Figura 2.16. Fibra prej Qelqi (GFRP)	60
Figura 2.17. Fibra prej karboni (CFRP)	61
Figura 2.18. Fibra prej Aramidi (AFRP)	62
Figura 2.19. Procesi teknologjik i prodhimit të shufrave të përforcuara GFRP	63
Figura 2.20. Procesi teknologjik i tharjes të fibrave të përforcuara GFRP	64
Figura 2.21. Shufrave të përforcuara FRP	64
Figura 2.21. Monitorimi i Gel time për sistemin e rrëshirave epokside	65
Figura 3.1. Ekuilibri i forcave në një seksion me prerje të balancuar me shufra FRP	70
Figura 3.2. Ndryshimi i nderjeve në tërheqje në varësi të përqindjes të shufrave FRP dhe çelikut	71
Figura 3.3. Varësia e përqindjes së armimit të FRP nga klasa e betonit në shtypje	73
Figura 3.4. Varësia e përqindjes së armimit të FRP nga klasa e betonit në shtypje	73
Figura 3.5. Përcaktimi i përqindjes së armimit të FRP nga momenti llogaritës	75
Figura 3.6. Momenti në përkulje M_u në funksion të përqindjes së armimit dhe klasës së betonit për tipe të ndryshme të shufrave FRP	75
Figura 3.7. Prerja e seksionit tërthorë me armim të balancuar	80
Figura 3.8. Prerja e seksionit tërthorë nga shkatërrimi i betonit në shtypje	80
Figura 3.9. Prerja e seksionit tërthorë nga shkatërrimi (këputja) e shufrave FRP	81
Figura 3.10. Faktori reduktues ϕ i rezistencës në përkulje	83
Figura 3.11. Madhësitë sipas përcaktimeve në formulën e ACI 318 për gjerësinë e plasaritjeve	88
Figura 3.12. Analiza lineare për llogaritjen e sforcimeve nga deformkoha dhe lodhja nën ndikimin e ngarkesave	90
Figura 3.13. Përcaktimi i gjërësisë së hapjes së të plasurave, w	94
Figura 3.14. Zhvillimi i plasaritjeve në beton	95

Figura 3.15. Fazat e zhvillimit të plasaritjeve në funksion të ngarkesës “ M ” dhe uljeve “ v ” në varësi të zhvendosjeve v dhe ngarkesave F	96
Figura 3.16. Ndikimi i sipërfaqes së armatures në zhvillimin e plasaritjeve	96
Figura 3.17. Diagrami për seksionet e armuara me armim minimal dhe ato të mbi armuara	97
Figura 3.18. Karakteristikat gjeometrike për seksionin drejtkëndor	101
Figura 3.19. Varësia e nderjeve σ nga deformimet ε relative për betonin	104
Figura 3.20. Diagrami punues për betonin, rasti i armimit minimal	105
Figura 3.21. Diagrami punues për betonin, rasti i armimit të balancuar	105
Figura 3.22. Diagrami punues për betonin, rasti i mbiarmimit të seksionit	106
Figura 3.23. Lakoret për përcaktimin e vlerave në rastin e thyerjes nga tërheqja	108
Figura 3.24. Lakoret që përcaktojnë rezistencën minimale në përkulje	110
Figura 4.1. Detaje të fiksimit të mostrave të shufrave FRP në nofullat e presës hidraulike	124
Figura 4.2. Detaje metalike të përdorura për fiksimin e shufrave FRP në këtë studim	126
Figura 4.3. Mostrat e kampioneve të shufrave GFRP dhe shufrave CFRP për provat në tërheqje	126
Figura 4.4. Paisja e përdorur për provat në tërheqje të shufrave GFRP dhe CFRP	127
Figura 4.5. Makineria e përdorur për provat në tërheqje të shufrave GFRP dhe CFRP	127
Figura 4.6. Regjistrimi i të dhënave gjatë provave në tërheqje të shufrave CFRP	128
Figura 4.7. Detaji i fiksimit të shufrës GFRP Φ 10mm	128
Figura 4.8. Fiksimi i gjatësisë L_0 për matjen e zgjatimit relative të shufrës çelikut Φ 10mm	129
Figura 4.9. Montimi shufrës çelikut Φ 10mm në pajisjen testuese në tërheqje	129
Figura 4.10. Raport testimi i çelikut Φ 8 mm në tërheqje, KURUM, Elbasan	130
Figura 4.11. Raport testimi i çelikut Φ 10mm në tërheqje, KURUM, Elbasan	131
Figura 4.12. Grafiku i testimit në tërheqje të GFRP 8 mm, Laboratori IBMS, Prishtinë	133
Figura 4.13. Raporti teknik i testimit të GFRP 8mm, Laboratori IBMS, Prishtinë	134
Figura 4.14. Grafiku i testimit në tërheqje të GFRP 10 mm, Laboratori IBMS, Prishtinë	135
Figura 4.15. Raporti teknik i testimit të GFRP 10mm, Laboratori IBMS, Prishtinë	136
Figura 4.16. Grafiku i testimit në tërheqje të CFRP 8 mm, Laboratori IBMS, Prishtinë	137

Figura 4.17. Raporti teknik i testimit të CFRP 8mm, Laboratori IBMS, Prishtinë	138
Figura 4.18. Grafiku i testimit në tërheqje të CFRP 10 mm, Laboratori IBMS, Prishtinë	139
Figura 4.19. Raporti teknik i testimit të CFRP 10mm, Laboratori IBMS, Prishtinë	140
Figura 4.20. Kallëpet e drurit për betonimin e trarëve me shufra FRP	142
Figura 4.21. Skema gjeometrike e trarëve të testuar	142
Figura 4.22. Kalibrimi i estensometrave para fillimit të provës me ngarkesë	149
Figura 4.23. Pajisja me ID MCC8 për ngarkimin e trarëve të armuar me fibra FRP dhe armature konvencionale	150
Figura 4.24. Pajisja regjistruese e të dhënave gjatë eksperimentimit të trarëve	150
Figura 4.25. Skema statike e ngarkimit të traut dhe pozicioni i vendosjes së deflektometrit	151
Figura 4.26. Deflektometër për vlerësimin e uljeve të trarëve nga përkulja	151
Figura 4.27. Skema statike e ngarkimit të traut dhe pozicioni i vendosjes së estensometrit për matjen e hapjes së të plasurave	152
Figura 4.28. Pozicioni i vendosjes së estensometrit për matjen e plasaritjeve	152
Figura 4.29. Skema statike e ngarkimit të traut dhe pozicioni i vendosjes së estensometrit për matjen e plasaritjeve	153
Figura 4.30. Pozicioni i vendosjes së estensometrit për matjen e deformimeve të betonit	153
Figura 4.31. Algoritmi i procedurës së ndjekur për projektimin e trarëve të armuar me shufra të përforcuara me fibra FRP	157
Figura 4.32. Prerja gjatësore dhe seksioni tërthor i armimit të traut T2 me 2 shufra Ø8 GFRP	158
Figura 4.33. Seti I trarëve T2 i armuar me 2 shufra Ø8mm të përforcuara me fibra qelqi (GFRP)	158
Figura 4.34. Prerja gjatësore dhe seksioni tërthor i armimit të setit të trarëve T3 me 2 shufra Ø10 GFRP	163
Figura 4.35. Trau T3 i armuar me 2 shufra Ø10 GFRP	163
Figura 4.36. Prerja gjatësore dhe tërthore e setit të trarëve T4 i armuar me 2 shufra CFRP 8mm	168
Figura 4.37. Trau T4 i armuar me 2 shufra shufra Ø8 CFRP)	169
Figura 4.38. Trau T4, armimi me 2 shufra Ø8 CFRP . Shfaqja e plasaritjeve	169

Figura 4.39. Prerja gjatësore dhe tërthore e setit të trarëve T5 i armuar me 2 shufra Ø10 mm CFRP	174
Figura 4.40. Trau T5 i armuar me 2 shufra Ø10 të përforcuara me fibra CFRP	174
Figura 4.41. Trau T5 i armuar me 2 shufra Ø10 të përforcuara me fibra CFRP. Shfaqja e plasaritjeve.	175
Figura 4.42. Prerja gjatësore dhe tërthore e setit të trarëve T6. Armimi me armaturë konvencionale Ø8mm	180
Figura 4.43. Trau T6 i armuar me armaturë konvencionale 2Ø8mm	180
Figura 4.44. Trau T6 i armuar me armaturë konvencionale 2Ø8mm	180
Figura 4.45. Prerja gjatësore dhe tërthore e traut T7 të armuar me armaturë konvencionale 2Ø10 mm	185
Figura 4.46. Trau T7 i armuar me armaturë konvencionale 2 Ø10 mm	185
Figura 4.47. Grafiku paraqitjes se gjerësisë së plasaritjeve per setin e trareve T2 (2Ø8mm) GFRP, sipas ACI 440.1R-06 dhe CSA	195
Figura 4.48. Grafiku paraqitjes se gjerësisë së plasaritjeve per setin e trareve T2 (2Ø8mm) GFRP, sipas Eurocode 2	195
Figura 4.49. Grafiku paraqitjes së gjerësisë së plasaritjeve per setin e trareve T2 (2Ø8mm GFRP), sipas provave me ngarkesë	196
Figura 4.50. Grafiku i hapjes së të plasurave, trau T2 (2 Ø8mm GFRP) nga llogaritjet jolineare me “MEF” sipas ATENA	197
Figura 4.51. Grafiku krahasues i rezultateve të gjerësisë së të plasurave, sipas metodave të aplikuara	197
Figura 4.52. Grafiku i uljeve për setin e trareve T2 (2 Ø8mm GFRP) sipas ACI 440.1R-06	198
Figura 4.53. Grafiku i uljeve per setin e trareve T2 (2 Ø8mm GFRP) sipas CSA A23.3-05	198
Figura 4.54. Grafiku i uljeve për setin e trareve T2 (2 Ø8mm GFRP), sipas Eurocode 2	199
Figura 4.55. Grafiku i uljeve për për setin e trareve T2 (2 Ø8mm GFRP), sipas provave me ngarkesë	199

Figura 4.56. Grafiku i uljeve për setin e trareve (2 Ø8mm GFRP) me MEF, sipas ATENA	200
Figura 4.57. Grafiku krahasues i rezultateve të uljeve, sipas metodave të aplikuara	200
Figura 4.58. Paraqitja e uljeve dhe plasaritjeve për traun T2 (2Ø8 GFRP) sipas programit ATENA	201
Figura 4.59. Përcaktimi i hapjes së të plasurave, traun T2 (2Ø8mm GFRP)	201
Figura 4.60. Grafiku i gjerësisë së plasaritjeve për traun T3/1 (2Ø10) GFRP sipas ACI 440.1R-06 dhe CSA	202
Figura 4.61. Grafiku i gjerësisë së plasaritjeve për traun T3/1 (2Ø10) GFRP sipas Eurocode 2	202
Figura 4.62. Grafiku i gjerësisë së plasaritjeve për traun T3 (2Ø10 GFRP) sipas provave me ngarkesë	203
Figura 4.63. Grafiku i gjerësisë së plasaritjeve për traun T3/1 (2Ø10) GFRP sipas MEF, ATENA	203
Figura 4.64. Grafiku i hapjes së të plasurave, traun T3 (2Ø10 GFRP) sipas metodave të aplikuara	204
Figura 4.65. Paraqitja e uljeve dhe plasaritjeve për traun T3 (2Ø10 GFRP) sipas programit ATENA	204
Figura 4.66. Grafiku i Uljeve për traun T3 (2Ø10 GFRP) sipas ACI 440.1R-06	205
Figura 4.67. Grafiku i Uljeve për traun T3/1 (2Ø10 GFRP) sipas CSA A23.3-05	205
Figura 4.68. Grafiku i Uljeve për traun T3 (2Ø10 GFRP) sipas Eurocode 2	206
Figura 4.69. Grafiku i Uljet për traun T3 (2Ø10 GFRP), sipas provave me ngarkesë	206
Figura 4.70. Grafiku i Uljeve për traun T3 (2Ø10 GFRP), sipas MEF, ATENA	207
Figura 4.71. Grafiku krahasues i Uljeve për traun T3 (2Ø10 GFRP), sipas metodave të aplikuara	207
Figura 4.72. Diagram e punës për traun T3 (2Ø10 GFRP), i nxjerrur në mënyrë eksperimentale nga paisja MCC8.	208
Figura 4.73. Plasaritjet për traun T4 (2Ø8 CFRP) sipas ACI 440.1R-06 dhe CSA	208
Figura 4.74. Grafiku i plasaritjeve për traun T4 (2Ø8 CFRP) sipas Eurocode 2	209
Figura 4.75. Plasaritjet për traun T4 (2Ø8 CFRP) nga provat me ngarkesë	209
Figura 4.76. Grafiku i plasaritjeve për traun T4/1 (2Ø8 CFRP) sipas MEF, ATENA	210

Figura 4.77. Grafiku i krahasimit të të plasurave për traun T4 (2Ø8 CFRP) sipas metodave të aplikuara	210
Figura 4.78. Paraqitja e uljeve dhe plasaritjeve per traun T4 (2Ø8 CFRP) sipas programit ATENA	211
Figura 4.79. Grafiku i Uljeve për traun T4 (2Ø8 CFRP) sipas ACI 440.1R-06	211
Figura 4.80. Grafiku i Uljeve për traun T4 (2Ø8 CFRP) sipas CSA A23.3-05	212
Figura 4.81. Grafiku i Uljeve për traun T4 (2Ø8 CFRP) sipas Eurocode 2	212
Figura 4.82. Grafiku i Uljeve për traun T4 (2 Ø 8mm CFRP) sipas provave me ngarkesë	213
Figura 4.83. Grafiku i Uljeve për traun T4 (2Ø8mm CFRP) sipas MEF, ATENA	213
Figura 4.84. Grafiku i krahasimit të uljeve për traun T4 (2Ø8 CFRP) sipas metodave të aplikuara	214
Figura. 4.85. Grafiku i plasaritjeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas ACI 440.1R-06 dhe CSA	214
Figura. 4.86. Grafiku i plasaritjeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas Eurocode 2	215
Figura. 4.87. Grafiku i plasaritjeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas provave me ngarkesë	215
Figura. 4.88. Grafiku i plasaritjeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas MEF, ATENA	216
Figura. 4.89. Grafiku krahasues i plasaritjeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas metodave të aplikuara	216
Figura 4.90. Paraqitja e uljeve dhe plasaritjeve per traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas programit ATENA	217
Figura. 4.91. Grafiku i uljeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas ACI 440.1R-06	217
Figura. 2.92. Grafiku i uljeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas CSA A23.3-05	218
Figura. 4.93. Grafiku i uljeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas Eurocode 2	218
Figura. 4.94. Grafiku i uljeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas provave me ngarkesë	219
Figura. 4.95. Grafiku i uljeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas MEF, ATENA	219
Figura 4.96. Grafiku krahasues i uljeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas metodave të aplikuara	220
Figura 4.97. Diagrami i punës për traun T5(2Ø10mm) CFRP, nga prova	

me ngarkesë, pajisja MCC8.	220
Figura. 4.98. Grafiku i gjerësisë së plasaritjeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIKU) sipas ACI 440.1R-06 & CSA	221
Figura. 4.99. Grafiku i plasaritjeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIKU) sipas Eurocode 2	221
Figura. 4.100. Grafiku i plasaritjeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIKU) sipas provave me ngarkesë	222
Figura. 4.101. Grafiku gjerësisë së plasaritjeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIKU) sipas MEF, ATENA	222
Figura. 4.102. Grafiku krahasues i plasaritjeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIKU) sipas metodave të aplikuara	223
Figura 4.103. Paraqitja e uljeve dhe plasaritjeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIKU) sipas programit ATENA	223
Figura. 4.104. Grafiku i uljeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIKU) sipas ACI 440.1R-06	224
Figura. 4.105. Grafiku i uljeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIKU) sipas CSA A23.3-05	224
Figura. 4.106. Grafiku i uljeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIKU) sipas Eurocode 2	225
Figura. 4.107. Grafiku i uljeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIK) sipas provave me ngarkesë	225
Figura. 4.108. Grafiku i uljeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIKU) sipas MEF, ATENA	226
Figura. 4.109. Grafiku krahasues i uljeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIK) sipas metodave të aplikuara	226
Figura 4.110. Diagrami i punës për traun T6 (2 Ø8mm ÇELIKU), sipas provave me ngarkesë, pajisja MCC8.	227
Figura 4.111. Plasaritjet për traun T7 (2 Ø10mm ÇELIKU) sipas ACI 440.1R-06 dhe CSA	227
Figura 4.112. Plasaritjet për traun T7 (2 Ø10mm ÇELIKU) sipas Eurocode 2	228
Figura 4.113. Plasaritjet për traun T7 (2 Ø10mm ÇELIKU) sipas provave me ngarkesë	228
Figura 4.114. Plasaritjet për traun T7 (2 Ø10mm ÇELIKU) sipas MEF, programi ATENA	229
Figura. 4.115. Grafiku krahasues i plasaritjeve për traun T7 (2Ø10 ÇELIKU) sipas metodave të aplikuara	229
Figura 4.116. Paraqitja e uljeve dhe plasaritjeve për traun T7 (2Ø10 ÇELIKU)	

sipas programit ATENA	230
Figura 4.117. Plasaritjet për traun T7 (2 Ø10mm ÇELIKU) sipas ACI 440.1R-06	230
Figura 4.118. Plasaritjet për traun T7 (2 Ø10mm ÇELIKU) sipas CSA A23.3-05	231
Figura 4.119. Plasaritjet për traun T7 (2 Ø10mm ÇELIKU) sipas Eurocode 2	231
Figura 4.120. Plasaritjet për traun T7 (2 Ø10mm ÇELIKU) sipas provave me ngarkesë	232
Figura 4.121. Plasaritjet për traun T7 (2 Ø10mm ÇELIKU) sipas MEF, programi ATENA	232
Figura. 4.122. Grafiku krahasues i uljeve për traun T7 (2Ø10 ÇELIKU) sipas metodave të aplikuara	233
Figura 4.123. Uljet dhe plasaritjet e zhvilluara në trarët e eksperimentuar me ngarkesa	233

LISTA E TABELAVE

Tabela 2.1. Vetitë e shufrave FRP (sipas ACI 440.1R-06, FIB 2007, CNR –DT 203/2006)	35	42
Tabela 2.2. Karakteristikat gjeometrike dhe masa sipas diametrave nominal të shufrave FRP		43
Tabela 2.3. Densiteti i shufrave polimere FRP dhe prej çeliku		44
Tabela 2.4. Koeficientët e zgjerimit termik sipas drejtimit gjatësorë dhe tërthorë		45
Tabela 2.5. Koeficientët e bymimit termik për bërthamat e Shufrave GFRP		46
Tabela 2.6. Karakteristikat teknike të shufrave FRP dhe çelikut në tërheqje aksiale		47
Tabela 2.7. Vetitë mekanike për rrëshirat lidhëse termoreaktive “ <i>Thermosetting</i> ”		59
Tabela 2.8. Karakteristikat mekanike për fibrat e çelikut, qelqit, karbonit dhe amide		62
Tabela 3.1. Historiku i dokumenteve të përdorimit të shufrave FRP		65
Tabela 3.2. Faktori i reduktimit të mjedisit për lloje të ndryshme të fibrave)		78
Tabela 3.3. Lartësia minimale e trarëve dhe pllakave të përforcuara me shufra FRP		85
Tabela 3.4. Trashësia e shtresës mbrojtëse te trarët dhe pllakat e përforcuara me shufra FRP		113
Tabela 3.5. Kombinimi i ngarkesave në funksion të ambientit rrethues		115
Tabela 3.6. Kufizimi i nderjeve në shufrat FRP sipas ACI 440.R [ACI(2006)]		115
Tabela 3.7. Faktorët reduktues “F” dhe “Ø _{frp} ”, sipas ISIS Canada [2001]		115
Tabela 3.8. Kufizimi i uljeve për strukturat e përforcuara me FRP sipas kodeve të ndryshme		116
Tabela 3.9. Kufizimi i gjërësisë së plasaritjeve të elementëve me shufra FRP		117
Tabela 4.1. Vetitë mekanike të mostrave të armaturës konvencionale të testuara në laborator		132

Tabela 4.2. Vetitë mekanike të shufrave GFRP dhe CFRP të testuara në laborator.	141
Tabela 4.3. Të dhënat për armimin e trarëve për prodhim	143
Tabela 4.4. Sasia e ujit në përzierje, sipas të llojit të agregatit, diametrit maksimal dhe klasës së konsistencës për agregatë gelqerorë të thyer për klasën e betonit C30/37.	146
Tabela 4.5. Rezultatet e Mix-design C30/37 për betonimin e trarëve eksperimental	147
Tabela 4.6. Vlerat e dala nga llogaritjet për setet e trarëve të marra në testim	190
Tabela 4.7 Krahasim i rezultateve të hapjes së të plasurave për secilin tra	234
Tabela 4.8 Krahasim i rezultateve të uljeve për secilin tra	235

ABSTRAKT

Shufrat polimere të përforcuara me fibra qelqi (GFRP) dhe ato të përforcuara me fibra karboni (CFRP) janë zhvilluar si një alternativë për zëvendësimin e armaturës si material kryesor në struktura të ndryshme prej betoni të përforcuar, meqenëse janë më të përshtatshme për t'i rezistuar mjediseve agresive, ku armimi me shufra çeliku është i prirur të ndikohet nga ndryshku dhe korrozioni. Kërkesat për zëvendësimin e armaturës konvencionale janë rezultat i analizave për përmirësimin e sjelljes së strukturave BA në tërësi dhe trarëve të betonit në përkulje në veçanti për përmirësimin e parametrave të jetëgjatësisë tyre. Në këtë disertacion jemi përpjekur të sjellim një panoramë të përgjithshme mbi eksperiencën botërore të përdorimit dhe konceptet bazë mbi teorinë e llogaritjes të strukturave mbajtëse duke përdorur shufra polimere prej qelqi GFRP dhe karboni CFRP.

Përdorimi i shufrave polimere të përforcuara me fibra qelqi GFRP ose fibra karboni CFRP, krahasuar me shufrat konvencionale, synon të na japë një tablo më të qartë për sjelljen dhe performancën e elementëve dhe strukturave që zëvendësojnë armaturën konvencionale në vendodhje të caktuara. Konstatojmë se vitet e fundit janë shtuar kërkimet shkencore që kanë të bëjnë me përforcimin e betonit me shufra FRP. Gjithashtu, është pasuruar fondi i literaturës teknike për rregullat e projektimit dhe zbatimit të punimeve të ndërtimit me normativa, kode e standarde; më kryesoret prej të cilave veçojmë Eurocodet EU, ACI, CSA, CNR etj.

E kemi konsideruar të dobishëm faktin që, testimi paraprak në tërheqje i shufrave të përforcuara me fibra GFRP dhe CFRP ka qenë i domosdoshëm për të qartësuar jo vetëm karakteristikat teknike të tyre në krahasim me të dhënat informuese të prodhuesit, por nga ana tjetër testimet e kryera sollën në vëmendjen tonë edhe kujdesin që duhet të tregojmë për zbatimin e kërkesave standarde lidhur me përgatitjen e mostrave të testimit, përmasat, përpunimin paraprak për fiksimin e tyre në pajisjet testuese.

Studimi në fazën eksperimentale ka vlerësuar të dhëna të rëndësishme, siç janë deformimet nga uljet dhe hapja e të plasurave, si parametra përcaktues cilësorë gjatë shfrytëzimit të strukturave të përforcuara me shufra polimere FRP. Faza eksperimentale e disertacionit është bazuar në testimet me ngarkesë të një seti trarësh të thjeshtë nën veprimin e ngarkesave vertikale. Janë shfrytëzuar për këtë studim; përgatitja dhe prodhimi i tre lloje trarësh të përforcuara me shufra polimere qelqi GFRP me diametër 8mm dhe 10mm, emërtuar “grupi i parë”, trarë të përforcuara me shufra polimere karboni CFRP me diametër 8mm dhe 10mm, respektivisht “grupi i dytë” dhe trarë të përforcuara me armaturë konvencionale me diametër 8mm dhe 10mm, “grupi i tretë”. Seksioni tërthor i trarëve dhe gjatësia janë ruajtur të njëjtë; me lartësi $h=225$ mm dhe gjerësi $b=135$ mm dhe me hapsira drite në mbështetje 2100 mm dhe gjatësi të përgjithshme $L=2200$ mm. Me të dhënat e rezultatet të fituara në rrugë eksperimentale kemi kryer një analizë krahasuese me llogaritjet teorike në rrugë analitike, duke shfrytëzuar për këtë qëllim udhëzime, kode dhe rekomandime nga disa vënde me eksperiencë në këtë fushë, si ACI, CNR, EU etj.

Fjalët Kyçe: Armaturë konvencionale, GFRP, CFRP, ulje, plasaritje, ACI, CNR, EU.

ABSTRACT

Fiber Glass Reinforced Polymer (GFRP) and Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) bars, may be an alternative to reinforced steel effect as material in better-fitted Structures as it would become more resistant to aggressive environments, where reinforced steel bars reinforcement is prone to rust and corrosion. Requirements for changing conventional reinforcement the result of the analysis for the application of reinforced structures as a whole and concrete beams in flexion to the benefits of freeing tire moderator parameters. In this acceptable dissertation you can provide an overview of the limits of world experience for use and concepts on the theory of calculation of your ministerial holding structures, GFRP precursor glass polymers and CFRP carbon.

The use of GFRP glass fiber reinforced polymer rods or CFRP carbon rods, compared to conventional rods, aims to give us a clearer picture of the behavior and performance of elements and structures that replace conventional reinforcement at certain locations. We conclude that in recent years there has been increased scientific research on concrete reinforcement with FRP rods. Also, the technical literature fund for the rules of design and implementation of construction works with norms, codes and standards has been enriched; the most important of which are the Eurocodes EU, ACI, CSA, CNR etc.

We have found it useful that preliminary tensile testing of GFRP and CFRP fiber reinforced bars has been necessary to clarify not only their technical characteristics compared to the manufacturer's input data, but on the other hand the tests performed also brought to our attention the care we had to apply to the standard requirements regarding the preparation of the test specimens, the dimensions, the pre-processing for fixing them to the test equipment.

The experimental phase study has evaluated important data, such as deformation from crack and crack opening, as qualitative determinant parameters when utilizing FRP polymer rod reinforced structures. The experimental phase of the dissertation is based on load tests of a single beam under

the action of vertical loads. They were used for this study; preparation and production of three types of beams reinforced with GFRP polymer rods of diameter 8 and 10mm, designated "first group", beams reinforced with CFRP carbon poles of diameter 8 and 10mm, respectively "second group" and beams reinforced with conventional reinforcement with 8 and 10mm diameter, "third group".

The transverse section of the beam and its length are preserved; with height $h = 225$ mm and width $b = 135$ mm and with light spacing in support 2100 mm and overall length $L = 2200$ mm. With the experimental data and results we have performed a comparative analysis with theoretical analytical path calculations, using for this purpose guidelines, codes and recommendations from some experienced countries in the field, such as ACI, CNR, and EU etc.

Key words: Conventional steel, GFRP, CFRP, crack width, deflection, ACI, CNR, EU.

KAPITULLI I-rë

1. Të përgjithshme

Përdorimi i betonit si material ndërtimi përbën një nga zbulimet më të rëndësishme në historinë e inxhinierisë së Ndërtimit, pasi duke shfrytëzuar vetitë e tij mund të realizohen struktura dhe vepra inxhinierike nga më të guximshmet. Më vonë, kombinimi dhe bashkëpunimi me armaturën prej çeliku, bën që të eliminohen mangësitë e mëparshme, ka zgjeruar ndjeshëm shumëllojshmërinë e objekteve dhe veprave në artin e ndërtimit. Në fazën e parë, janë realizuar kryesisht struktura me përmasa të mëdha, për shkak të kufizimit të aftësisë mbajtëse të betonit në tërheqje dhe në përkulje, ndërsa me fillimin e prodhimit në shkallë industriale të armaturës në gjysmën e shekullit 19-të, e cila konsiderohet edhe si faza e dytë dhe më e rëndësishme në inxhinierinë e ndërtimeve, u krijuan kushtet për “lindjen” e një materiali të ri kompozit nga bashkimi i betonit dhe çelikut që morën emrin “beton arme” (BA). Në sajë të këtij produkti dhe përsosjes edhe të metodave llogaritëse, kemi një arritje të theksuar në rritjen e aftësisë mbajtëse të elementëve e strukturave të ndërtimit; ku dallohej përmirësimi dhe zvoglimi i seksioneve në prerjet tërthore gjeometrike të elementëve dhe rritja e hapsirave të mbulimit ndërmjet mbështetjeve, duke bërë që forcat në shtypje t’i përballojë betoni dhe ato në tërheqje çeliku. Për një periudhë të gjatë kohore shufrat e armaturës kanë shërbyer si materiali i vetëm për përforcimin e betonit, që për mjaft kohë ka plotësuar kërkesat për elemente e struktura të qëndrueshme. Me kalimin e kohës në strukturat prej betoni të armuar janë vërejtur edhe mangësi, prej të cilave dallohet “korrozioni” i shufrave të çelikut nga kontakti me mjedise agresive të acideve, të sulfateve, të klorureve, të kripërave, të ujit të detit etj, të cilat kanë ndikuar në durabilitetin apo jetëgjatësinë e strukturave në veçanti dhe veprave në tërësi. Për të përmirësuar jetëgjatësinë e strukturave të ndërtimit nga shkalla e ekspozimit mjedisor, janë bërë shumë përpjekje dhe kryer kërkime e studime; siç janë aplikimi i teknologjive të reja në prodhimin e betonit duke përdorur materiale të reja siç janë shtesat e aditivëve në përzierjen e tij, shmangur korrozionin e çelikut në beton arme. Në vitet 80-të, në Japoni kemi përpjekjet e para, për të zëvendësuar përdorimin e çelikut si material përforcues i betonit me një produkt që ndikohet pak ose edhe aspak nga mjedisi agresiv siç janë përdorimi i shufrave FRP (fiber reinforced polymer).

1.1 Objektivi i disertacionit dhe rëndësia e kërkimit

- Testimi i shufrave GFRP,CFRP dhe armaturës konvencionale për të krahasuar vetitë fiziko mekanike të tyre.
- Punimi i këtij disertacioni lidhet me vlerësimin dhe thellimin e njohurive teorike dhe praktike për të kuptuar më mirë punën bashkëveprimin ndërmjet betonit nga njëra anë dhe shufrave polimere të përforcuara me fibra qelqi GFRP dhe me fibra karboni CFRP nga ana tjetër; në elementë e struktura mbajtëse prej betoni të përforcuara.
- Faza eksperimentale na lejon të krahasojmë sjelljen e trarëve të thjeshtë me seksion drejtkëndësh në përkulje të mbështetur lirisht dhe të përforcuara me shufra FRP dhe me armaturë çeliku të zakonshëm.
- Të vlerësojmë konceptet bazë mbi teorinë e llogaritjeve teorike sipas gjendjes kufitare të elementëve dhe strukturave mbajtëse ndërtimore të përforcuara me shufra FRP në zëvendësim të shufrave prej çeliku, bazuar në rekomandimet, kodet dhe standardet e ndryshme ACI (Instituti Amerikan i Betonit, SHBA) dhe CNR-DT 203/2006 (Rekomandime të Këshillit Nacional, Itali), që aplikohen sot në projektimin e strukturave të ndërtimit të përforcuara me shufra GFRP dhe CFRP.
- Gjithashtu, nëpërmjet këtij studimi, do të shqyrtohet mundësia e zëvendësimit të armaturës së çelikut ose e ashtuquajtur *konvencionale* për pozicione të caktuara qoftë edhe pjesërisht në strukturat e ndërtimit për të zgjatur jetëgjatësinë e tyre në mjedise agresive.

1.2. Organizimi i punimit të disertacionit

- *Kapitulli 2-të*, trajton të dhëna mbi eksperiencën dhe arritjet e deritanishme të përdorimit të shufrave polimere të përforcuara me fibra FRP, kryesisht të fibrave prej qelqi GFRP dhe fibrave të karbonit CFRP. Karakteristikat teknike (vetitë gjeometrike, fizike, mekanike, durabilitetin dhe deformëkoha etj.), vlerësimi i cilësisë, materialet dhe procesi teknologjik i prodhimit të fibrave FRP janë qasje kryesore në këtë punim;

- *Kapitulli 3-të*, paraqet vështrime, koncepte dhe përvoja historike mbi kode, udhëzues e metoda mbi parimet e projektimit të strukturave prej betoni të përforcuara me shufra polimere FRP duke hyrë gjithashtu në detaje të dimensionimit të një rasti studimor të traut të thjeshtë në përkulje me dy ngarkesa të përqëndruara, bazuar në besueshmërinë e faktorëve të pjesshëm të sigurisë, të përdorura për të vlerësuar nivelet e besueshmërisë të standardeve dhe udhëzimeve amerikane dhe italiane.
- *Kapitulli 4-të*, paraqet të dhëna mbi studimin eksperimental të trarëve të thjeshtë me hapsirë drite 2200mm dhe seksion tërthorë 135x225mm prej betoni të përforcuara me armaturë konvencionale dhe shufra polimere FRP. Trajton llogaritjet teorike sipas gjendjes kufitare të EC2 verifikuar përmes krahasimit me ekuacionet e dhëna nga udhëzimet ACI, CNR-DT 203 dhe analizën e të dhënave eksperimentale lidhur me metodën e provave, pajisjet testuese në përkulje dhe rregjistrimet për aftësinë mbajtëse, deformimet në ulje dhe hapjen e plasaritjeve.
- *Kapitulli 5-të*, përmbledh konkluzionet kryesore dhe gjetjet e përgjithshme të këtij punimi me rekomandime për veprime të mëtejshme që duhen ndërmarrë.

KAPITULLI II-të. Rishikimi i literaturës

2.1 Historiku dhe arritjet për projektimin, prodhimin dhe përdorimin e strukturave të përforcuara me shufra FRP

Produktet kompozite FRP janë ndër variantet e fundit të idesë shumë të vjetër për të realizuar materiale me karakteristika më të mira duke kombinuar dy materiale të ndryshme, betonin nga njëra anë dhe shufrat FRP nga ana tjetër [15], të ngjashme me përdorimin e kashtës si produkt përforcues tek tullat, të përdorura nëa periudhën e civilizimeve antike (p.sh. egjiptianët në 800). Materialet e reja të ndërtimit përfshirë edhe ato të FRP, pavarësisht formave të ndryshme që ofrohen kanë krijuar kushte dhe mundësi për alternativa të reja në fushën e projektimit si për strukturat e reja ashtu edhe ato ekzistuese. Kërkimet për përdorimin e materialeve FRP në ndërtim, tregojnë se fillesat në Europë janë rreth viteve 1950 [Rubinsky dhe Rubinsky, 1954; Wines, J.C. et al., 1966]. Ka të dhëna se sistemet e përforcuara me FRP [Meier 1987]; gjetën zbatim për riparime të strukturave BA me FRP në Zvicër [Meier dhe Kaiser 1991]. Japonia, nga ana e sajë prodhoi për herë të parë FRP për riparimin e oxhaqeve prej betoni të ndërtuara para viteve 1980 [ACI 440 1996]. Në vitin 1997 kemi një zgjerim të përforcimit të strukturave prej betoni me materiale FRP në shumë vende të botës. Gjithashtu, një zgjerim dhe përdorim të gjerë pasoi edhe aplikimi i produkteve të FRP me forma dhe përmasa të ndryshme si shufra, fletë, rrjeta etj.

Nanni et al. (1997) realizoi projektimin konstruktiv dhe studimin eksperimental për përforcimin e trarëve me fletë CFRP të dëmtuara prej plasaritjeve nga tejkalimi i ngarkesave llogaritëse. Grace et al. (1999) studjoi sjelljen e trarëve BA të përforcuar me flete CFRP dhe GFRP, me numër të ndryshëm shtresash dhe lidhës epoksid duke veçuar shkatërrimin e tyre me thyerje dhe nxjerrë përfundime të rëndësishme për rritjen e koeficienteve të sigurisë në projektimin e realizimin e këtyre strukturave. Kërkimet eksperimentale tek trarët e përforcuara me FRP në

zonën tërheqëse e rrisin së tepërmi rezistencën në përkulje, zvoglojnë uljet dhe gjerësinë e hapjes së të plasurave (Ross et al, 1999, Sebastian, 2001; Smith & Teng, 2002; Yang et al., 2003; Aiello & Ombres, 2004). Studimi tregoi për rëndësinë që duhet t'i jepet fazës parapërgatitore të sipërfaqes së betonit, llojit të ngjitesit dhe aftësisë lidhëse të tyre janë përcaktuese për transferimin e ngarkesave nga shtresa përforcuese në beton. Martinez et al (2008) përshkruan një procedurë bazuar në elementë të fundëm, që mund të përdoret për të kryer simulime numerike të strukturave RC të përforcuara me FRP. Rajamohan et al (2009) studioi efektin e gjerësisë së shiritave të GFRP të ngjitura me rrëshirë epokside për përforcimin e trarëve të betonit në prerje. Rezultatet eksperimentale kanë treguar se trarët e përforcuara në zonën e nderjeve prerëse dhe në tërheqje nga përkulja, duke përdorur shirita të petëzuar prej CFRP, rezultuan mjaft efektive nga ana strukturore, pasi kontribuojnë shumë mirë në rikthimin e ngurtësisë në vlera të rezistencës pothuajse të barabarta ose edhe më të mëdha se ato të trarëve të kontrollit. Tanarlan et al (2009) kanë analizuar sjelljen e qendrueshmërisë në prerje të trarëve b.arme në formë T-je, të përforcuara me shirita prej CFRP.

Meqenëse kemi të bëjmë me aplikimin e një materiali reaktivisht të ri dhe me karakteristika të ndryshme nga çeliku i ndërtimit që përdoret në strukturat prej beton armeje të zakonshme; metodat llogaritëse apo të ashtuquajturat “*kode të projektimit*” të strukturave me shufra FRP kanë marrë parasyshë si ngjashmëritë ashtu dhe dallimet që ekzistojnë në llogaritjet konstruktive ndërmjet tyre. Një pjesë e mirë e të dhënave të referuara në fazën e projektimit të trarëve por edhe në fazën eksperimentale, kërkon t'i referohemi standardeve bazë për këto lloj strukturash të përforcuara me shufra (FRP).

Kërkimet e bëra në strukturat prej betoni të përforcuara me shufra FRP, tregojnë se nuk konstatohet kufiri i rrjedhshmërisë, duke u nisur nga varësia e nderjeve dhe deformimeve gjatë tërheqjes së shufrave të FRP (Victor dhe Shuxin, 2002). Gjerësia dhe shtrirja e plasaritjeve në këto trarëve konstatohen edhe më tej në rastin e mostrave prej çeliku (Benmokrane et al., 1996, Vijay dhe Ganga-Rao, 2001) .Përkulja e trarëve të betonit të përforcuara me shufra FRP është shumë më e madhe se në mostrat e ngjashme të trarëve armuar me me armaturë konvencionale, gadi 4 herë, dhe diagrami i forcë-deformim është një vijë të drejtë (Saadatmanesh dhe Ehsani,

1991; Victorand-Shuxin, 2002). Përveç kësaj, përdorimi i betoneve me rezistencë të lartë është mjaft efektive (Vijay dhe GangaRao, 2001, Yost dhe Gross, 2002). Në disa trarë pas shkatërrimit gjatë fazës së fundit të ngarkesës në thyerje, në zonën shtypëse të këtyre trarëve është konstatuar, një “shvendosje” e boshtit neutral (N.A.) me rritjen e ngarkesave (Vijay dhe GangaRao, 2001).

Një punim teoriko-eksperimental për përdorimin e shufrave të GFRP ne trarë në vëndin tonë është kryer në vitin (2017) nga Dr.Enio Deneko. [4]

Tashmë është e dokumentuar, që punimi i parë teoriko-eksperimental për aplikimin shufrave FRP është publikuar në Japoni në vitin 1997 nga shoqata Japoneze e inxhinierëve të ndërtimit (JSCE) e emërtuar “*Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforcing Materials*”, që në vijim do ti referohemi si “Standard Japane”.

Normativa Italiane CNR-DT 203/2006 (2006), “*Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced ëith Fiber-Reinforced Polymer Bars*,” publikuar nga Italian National Research Council (CNR),

Standardi Anglez, “*Interim Guidance on the Design of Reinforced Concrete Structures Using Fiber Composite Reinforcement*” (1999), published by the Institution of Structural Engineers.

Standardi Norvegjeze: SINTEF Report STF22 A98741, “*Modifications to NS3473 Ehen Using FiberReinforced Plastic Reinforcement 2.24*” (2002), publikuar nga Norëegian Council for Building Standardization (NBR).

Standardet Amerikane, ACI 440.1R (2001 and 2006), “*Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced ëith FRP Bars*,” publikuar nga ACI dhe ACI 440.3R-04 (2004 and 2012), “*Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures*,” publikuar nga ACI dhe “*AASHTO LRFD Bridge Design Guide Specifications for GFRP Reinforced Concrete Bridge Decks and Traffic Railings*” (2009), publikuar nga American Association of State Highëay and Transportation Officials (AASHTO).

Standardet Kanadeze: CAN/CSA-S806-12 (2002 dhe 2012), “*Design and Construction of Building Structures ëith Fiber-Reinforced Polymers*” publikuar nga CSA, apo CAN/CSA-S807-

10 (2010), “*Specification for Fiber-Reinforced Polymers,*” publikuar nga CSA dhe CAN/CSA-S6-06 (2006) & CAN/CSA S6S1-10 (2010 Supplement) “*Canadian Highway Bridge Design Code,*” publikuar nga CSA.

2.2. Shufra të përforcuara GFRP dhe CFRP. Aplikime të FRP në praktikën botërore

Me rritjen e kërkesave për jetëgjatësisë e betonit, respektivisht të elementëve apo strukturave ndërtimore, një nga qasjet kryesore ka qenë orientimi drejt zgjidhjes për zëvendësimin e armaturës konvencionale me shufrat nga FRP. Ky koncept i ri, tashmë i zhvilluar gjerësisht këto 30 vitet e fundit, në fillim si alternativë teorike dhe më vonë duke u plotësuar edhe me kërkime shkencore dhe aplikime eksperimentale ka qenë lokalizuar në disa shtete me zhvillim të lartë ekonomik. Kështu, në vitet 1960 në fillim në SHBA dhe më vonë në Evropë dhe Azi, sidomos në Japoni.

Materialet polimerë të përforcuara me fibra (Fiber Reinforced Polymers,(F.R.P)) janë kompozitet më të përhapura. Ato, përmirësojnë shumë rezistencën mekanike në tërheqje dhe modulën elastik duke futur në përzierje materiale në trajtën e fibrave në një matricë polimere. Vlerat e larta të modulit të elasticitetit dhe të rezistencës në tërheqje realizohen nëse fibrat janë të zhytura në një matricë polimere. Matrica ka për qëllim të mbështjellë fibrat, të sigurojë një vazhdimësi të materialit, të lejojë transmetimin e shpërndarjen e nderjeve dhe së fundi të mbrojë fibrat nga mjedisi i jashtëm. Materialet e përforcuara me fibra janë projektuar dhe realizuar në varësi të kërkesave specifike, duke zgjedhur llojin e matricës e të fibrave. Vetitë e një kompoziti varen jo vetëm nga vetitë e materialeve përbërës por edhe faktorë të tjerë si gjatësia, forma, shpërndaja dhe orientimi i fibrave si dhe lidhjes së tyre me matricën. Çdo fibër kontribuon në rezistencën e një kompoziti kryesisht në drejtim të gjatësisë së saj, duke i dhënë materialit kompozit një sjellje anizotrope. Fibrat me gjatësi të shkurtër në përgjithësi janë të orientuara në mënyrë të rastësishme, për rrjedhojë i japin materialit një sjellje isotrope.

Fibrat e karbonit prodhohen prej materialeve polimere nëpërmjet proceseve teknologjike specifike p.sh me tërheqje (poultrusion), me gërshetim (braiding) dhe me thurje (braiding).

Proceset teknologjike për prodhimin e shufrave FRP janë procesi “poultrusion” (tërheqjes), gërshetimit (braiding) dhe thurjes (weaving) me seksion të plotë dhe rrethore.

Fibrat e karbonit janë prodhuar në diametra analoge me fibrat e qelqit duke filluar nga 9-17 μm . Këto fibra shërbejnë për proceset e prodhimit të mëtejshëm. Proceset e prodhimit të mëtejshme përfshijnë gërshetim apo endje në pëlhura të karbonit etj. Fibrat e karbonit janë veçanërisht kompatible me rrëshirat epokside dhe si të tilla janë shumë të përshtatshme për përfitimin e materialeve me performansa të larta.

Procesi teknologjik i prodhimit të shufrave FRP sot bëhet me disa metoda, ku më të njohurat janë, metoda me tërheqje, metoda me gërshetim, metoda me thurje. Pas formimit të shufrave ato nuk mund të lakohen p.sh për të formuar stafa etj. pasi rrëshira e tharë nuk e mundëson një gjë të tillë. Kurbëzimi i tyre mund të realizohet vetëm në fillim; pra kur shufrat janë në gjendje të freskët dmth rrëshira nuk është tharë ende. Ashtu, sikundër armatura konvencionale edhe shufrat FRP duhet t'i nënshtrohen provave testuese, për të vlerësuar karakteristikat teknike, bazuar në standardet përkatëse, siç janë: karakteristikat mekanike afatshkurtër dhe afatgjatë, karakteristikat termo-mekanike, rezistenca e shufrave në tërheqje, rezistenca e shufrave në prerje, moduli i elasticitetit, etj. etj. Format tipike të produkteve përforcuese FRP janë rrjeta, shufra, pëlhura dhe litarë. Shufrat janë të llojeve të ndryshme dhe me seksion të prerjes tërthore në formë kryqi, katrori, të rrumbullakët, siç janë treguar në figurën 2.



Figura 2. 1 Shembuj të tipeve të shufrave përforcuara FRP

2.2.1 Përdorimi i shufrave polimere të përforcuara me fibra qelqi GFRP dhe CFRP

Shufrat e përforcuara me fibra qelqi (GFRP) janë të përbëra nga bashkimi i shumë fijeve prej qelqi të pandërprera të lidhura midis tyre me matricë rrëshirë polimere. Shufrat e GFRP janë prodhuar për t'u përdorur në struktura të ndryshme në mjedise agresive, si alternativa për të shmangur ndryshkjen e shufrave prej çeliku. Përfitime të tjera nga përdorimi i shufrave të GFRP mund të përmendim rezistencë dhe raport ngurtësie shumë të lartë ndaj masës së tyre, rezistencë ndaj veprimeve agresive kimike, kufizim më të madh mbi zgjerimin dhe tkurrjen termike, karakteristikat e zbutjes, rezistencë të mirë ndaj lodhjes dhe rezistencë ndaj valëve elektromagnetike apo veprimit të rrezeve ultraviolette (Abdalla, 2002).

Përdorimi i FRP në beton për qëllim të pengimit të korrozionit dhe sidomos në ndërtimet në mjediset detare apo në struktura në kontakt me ujra teknologjike dhe tretësira agresive mbetet një nga fushat kryesore të aplikimit, përfshirë ndërtime turistike, industriale, kimisë, metalurgjisë etj.. Fillesat eksperimentale të objekteve të përforcuara me shufra FRP në beton janë realizuar në Japoni si ndërtime ofshore, ura etj. (Burimi, Fico. Raffaello, fq. 22-27)

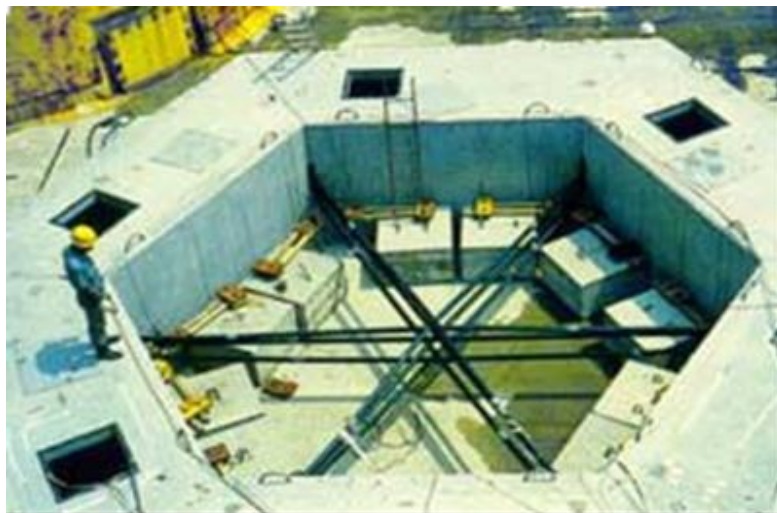


Figura 2.2. Shufra FRP diagonale për parandërsjen e strukturës, Japoni



Figura 2.3. Sistemi i ngritjes magnetike në ajër në transportin hekurudhor, Japoni



Figura 2.4. Përdorimi i shufrave CFRP të parandëruara në një urë në Klubin Country Yard, Japoni

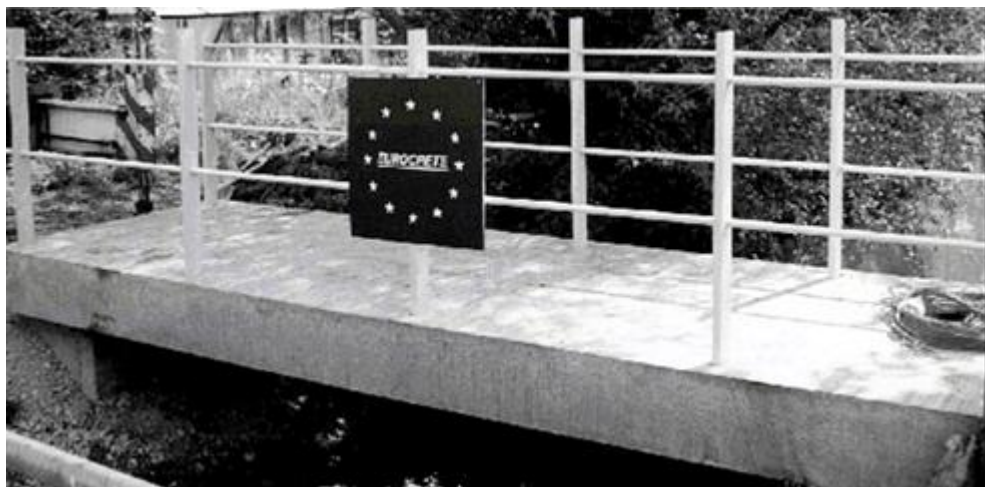


Figura 2.5. Ura e parë prej betonit të përforcuara me FRP në Europë (Projekti EUROCRETE)

Në Amerikën e Veriut, në Kanada, përdorimi i shufrave FRP ka gjetur një përdorim të gjerë. Shembujt të ndryshëm këtyre aplikimeve tregojnë për eksperiencën e fituar; të tilla janë përforcimi i pllakës prej betoni të urës (Benmokrane, Desgagne, dhe Lackey, 2004); Figura 2.6., Figura 2.7 dhe Figura 2.8 (Urë prej betoni e përforcuar me FRP, Morriskoën – Vermont (USA) [2002], Përdorimi i shufrave GFRP në shtesat e dhomave të spitalit MRI po bëhet e zakonshme gjithashtu (Figura 2.9. dhe Figura 2.10.).



Figura 2.6. Urë prej betoni të përforcuar me FRP, Morriskoën – Vermont (USA) [2002]



Figura 2.7. Urë prej betoni të përforcuar me GFRP, Cookshire-Eaton-Quebec [2003]



Figura 2.8. Urë prej betoni e përforcuar me FRP, Morrystown – Vermont (USA) [2002]



Figura 2.9. Spitali i Përgjithshëm “Lincoln”, në Lincoln (USA)



Figura 2.10. Spitali i Qendrës së Traumës në York (USA)

2.3. Karakteristikat teknike të shufrave FRP

Shufrat polimere të përforcuara me fibra qelqi GFRP ose shufra polimere të përforcuara me fibra karboni CFRP dallojnë thelbësisht nga vetitë dhe karakteristikat teknike të shufrave prej çeliku, si material konvencional. Nga analiza me kujdes i kodit Amerikan ACI 440.1R-06 (Instituti Amerikan për Betonin) dhe CNR (Komisioni Kombëtar për Kërkimet) konstatohet se shumë nga vetitë e FRP-ve varen nga lloji i matricës lidhëse dhe vetë fibrave; shufrat polimere kanë masë më të vogël dhe modul më ulët elasticitetit, ndërsa rezistencë shumë më lartë se armaturës së çelikut. Për të arritur vlera më të larta të

rezistencës në tërheqje, fibrat duhet të orientohen në të njëjtin drejtim gjatësor me aksin e shufrës. Për shkak të mungesës së procedurës standarde të prodhimit dhe përpjekjes për të rritur forcën bashkevepruese të shufrave, janë prodhuar disa lloje të ndryshme të sipërfaqes së shufrave. Kështu, ato përgatiten me sipërfaqe të lëmuar, të vijaskuara (të ngjashme me armaturen e zakonshme), ose edhe duke sprucuar një shtresë me grimca rëre në sipërfaqen e shufrave

Një krahasim i karakteristikave teknike të shufrave FRP me ato të shufrave të çelikut është dhënë në tabelën 2.1.

Tabela 2.1. Vetitë e shufrave FRP (sipas ACI 440.1R-06, FIB 2007, CNR –DT 203/2006)

Materiali	Moduli i Elasticitetit GPa	Koeficienti Poisson's	Rezistenca në tërheqje MPa	Deformimi në keputje %
CFRP	120÷580	0.45	600-3690	0,5-1,7
GFRP	35÷51	0.22	483-1600	1.2÷3.10
AFRP	41÷125	0.38	1720-2540	1.90÷4.4
Armatura	200	0.22	483-690	6,0÷12.00

2.3.1. Karakteristikat gjeometrike

Në lidhje me larminë e konsiderueshme të shufrave FRP që janë të disponueshme në treg, gjithashtu në termat e gjeometrisë të seksionit tërthor, është e përshtatëshme t'i referohet një seksioni tërthor ekuivalent rrethor (ose nominal), me diametrin dhe sipërfaqen respektive. Një nga procedurat për vlerësimin e diametrit dhe sipërfaqes ekuivalente do të trajtohet në mënyrë të detajuar gjatë përshkrimit të testeve laboratorike të shufrave, kapitulli IV-të.

Shufrat e përforcuara me fibra polimere (FRP) janë produkt i proceseve teknologjike, te cilat në varësi të sipërfaqeve të tyre klasifikohen në shufra me sipërfaqe të brinjëzuar (Figura 2.1.a) ose të vijaskuara, shufra me sipërfaqe të veshur me rërë kuarci (Figura 2.1.b) dhe shufra me sipërfaqe të përpunuara me rërë kuarci (Figura 2.11.c)

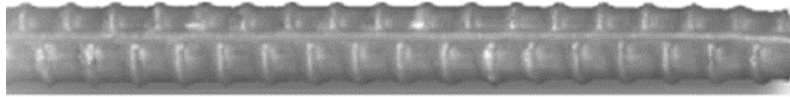


Figura 2.11.a. Shufra të përforcuara me fibra FRP dhe sipërfaqe të brinjëzuar

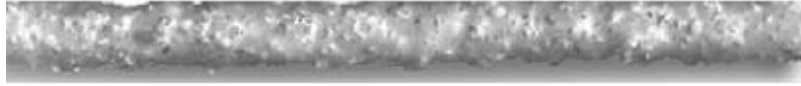


Figura 2.11.b. Shufra të përforcuara me fibra FRP dhe sipërfaqe me rërë kuarci



Figura 2.11.b. Shufra të përforcuara me fibra FRP dhe sipërfaqe përpunuar me rërë kuarci

Diametri i shufrave është i përcaktuar në standardet e vendeve të cilat janë prodhues të shufrave të përforcuara me fibra të llojeve të ndryshme të FRP; në përgjithësi ato përputhen me kërkesat e standardeve amerikane ASTM dhe atyre europiane EN.

Tabela 2.2. Karakteristikat gjeometrike dhe masa sipas diametrave nominal të shufrave FRP

Diametri i shufrave	Masa për ml. (kg/m)	Sipërfaqja e prerjes tërthore, mm ²
6.0	0.222	28.3
8.0	0.395	50.3
10.0	0.617	78.5
12.0	0.888	113
14.0	1.21	154
16.0	1.579	201
20.0	2.467	314
25.0	3.855	491
28.0	4.83	616
32.0	6.316	804
40.0	9.868	1257
50.0	15.413	1963

2.3.2. Karakteristikat fizike

2.3.2.1. Densiteti

Shufrat prej GFRP kanë një densitet prej $\sim 2.0 \text{ g/cm}^3$, pra rreth katër herë më e ulët se ajo e shufrave konvencionale prej çeliku në $\sim 7.8 \text{ g/cm}^3$. Pesha e zvogluar mund të reduktojë jo vetëm kostot e transportit por edhe të peshës së vetë strukturës, për rrjedhojë edhe qendrueshmërisë ndaj lëkundjeve sizmike (Tabela 2.3).

Tabela 2.3. Densiteti i shufrave polimere FRP dhe prej çeliku

Çeliku	GFRP	CFRP	AFRP
7.90 g/cm ³	1.25-2.10 g/cm ³	1.50-1.60 g/cm ³	1.25-1.40 g/cm ³

2.3.2.2 Bymimi dhe tkurrja termike

Ndryshimi i temperaturave në shufrat FRP shoqërohet me efekte të ndryshme në varësi të llojit të fibrave të shufrave që përdoren, ku fibra të ndryshme reagojnë në mënyra të ndryshme gjatë veprimit të temperaturave. Studimet dhe kërkimet tregojnë se bymimi dhe tkurrja e fibrave nuk është e njëjtë në dy drejtimet, për shkak të vetive anizotrope të FRP, si pasojë ndryshimet e temperaturave do të shoqërohen edhe me ndikime në brendësi të vetë shufrave. Situata të tilla sigurisht do të zvoglojnë lidhjen (aderencën) me betonin; në temperatura 250°C aftësia lidhëse e shufrave FRP me betonin humbet gadi 90% të aftësisë lidhëse në kondita normale shfrytëzimi. Një rol të veçantë në aftësinë lidhëse luan lloji i rrëshirës, sipas literaturës temperatura 60°C krijon situata problematike në shufrat FRP. Koeficienti i zgjerimit termik për shufrat prej qelqi GFRP mund të ndryshojë shumë në drejtimin gjatësorë dhe tërthorë, në varësi të llojit të kuarcit të përdorur si lëndë e parë, rrëshirës dhe fraksionit të volumit të fibrave. Koeficientët e zgjerimit termik të shufrave FRP, në dy drejtimet, gjatësorë, α_l , dhe tërthorë, α_t , janë të lidhur me ato të fazave të vetme (matricës dhe fibrave) të materialit kompozit. Në veçanti, me rritjen e fraksionit të volumit të fibrave, vlera e α_l i afrohet asaj të fibrave; për fraksionin e volumit më të ulët, α_l

mund të përafrohet me koeficientin e zgjerimit termik të matricës. Për më shumë tregues të thelluar mbi vetitë termike mund t'i referohemi dokumentit teknik CNR-DT 200/2004.

Vlerat tipike të koeficientit të zgjerimit termik në drejtimet gjatësore dhe tërthore, respektivisht, α_l dhe α_t , të shufrave kompozite me një fraksion të volumit të fibrave që ndryshon midis 50% dhe 70%, janë paraqitur në Tabelën 2.4.[30]

Tabela 2.4 Koeficientët e zgjerimit termik sipas drejtimit gjatësorë dhe tërthorë

Shufra të përforcuara me fibra	α_l [10 ⁻⁶ °C ⁻¹]	α_t [10 ⁻⁶ °C ⁻¹]
	Drejtimi gjatësorë	Drejtimi tërthorë
AFRP	-6.0 ÷ -2.0	60.0 ÷ 80.0
CFRP	-2.0 ÷ 0.0	23.0 ÷ 32.0
GFRP	6.0-10.0	21.0 ÷ 23.0
ÇELIKU	11.7	11.7

Vlera më të larta të koeficientëve tërthorë të zgjerimit termik, të kombinuara me efektin e Poisson-it në rastin e armaturave në shtypje mund të jenë përgjegjëse për sforcimet në tërheqje periferike që lejojnë formimin e plasaritjeve në drejtimin radial (Figura 2.12). Këto plasaritje mund të rrezikojnë lidhjen beton dhe shufra FRP me pasoja të dëmshme në reagimin strukturor në kushte shërbimi dhe fundore.

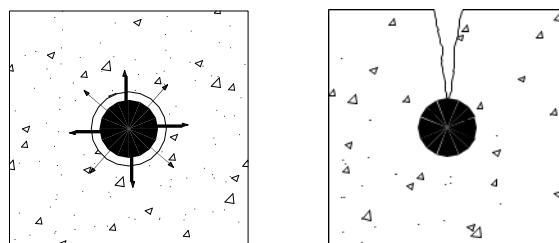


Figura 2.12. Plasaritja e shkaktuar nga nderjet periferike

Për të evituar formimin e plasaritjeve të tilla për shkak të zgjerimit tërthor të shufrave FRP ose rrëshqitjes të krijuar nga tkurrja tërthore, duhet të përzgjedhim një vlerë optimale të shtresës mbrojtëse të betonit [30]. Një raport i trashësisë së shtresës mbrojtëse të betonit me diamterin e shufrave FRP (c/d_b) më i madh ose i barabartë me 2, do të ishte i mjaftueshëm për të shmangur plasaritjet e betonit deri në temperaturën $+80^{\circ}\text{C}$. [38]

Tabela 2.5. Koeficientët e bymimit termik për bërthamat e Shufrave GFRP

Drejtimi	Vlera $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Gjatsorë, α_L	6.0 – 10.0
Tërthorë, α_T	21.0 – 23.0
Betoni	12.0
Çeliku	11.0-13.0

2.3.3 Karakteristikat mekanike

2.3.3.1. Rezistenca mekanike në tërheqje

Karakteristikat mekanike të shufrave FRP janë mjaft të ndryshme nga ato të shufrave të çelikut dhe varen kryesisht nga lloji i matricës dhe i fibrave, si edhe nga fraksioni i vëllimit të tyre. Bazuar në eksperiencën dhe njohuritë e fituara, punimi i këtij disertacioni është i kufizuar në përdorimin e shufrave dhe rrjetave të prodhuara nga materiali i përforcuar me fibra duke përdorur rezinë që fiksohet përgjithmonë kur nxehet me një fraksion vëllimi fibrash më të madh se 50%. Të gjitha llojet e shufrave FRP mund të përdoren me kusht që rezistenca karakteristike të mos jetë më e ulët se 400 MPa, dhe vlera mesatare e modulit të elasticitetit të Young në drejtimin gjatësor të mos jetë më e ulët se 100 GPa për shufrat FRP të karbonit, 35 GPa për shufrat FRP të qelqit, dhe 65 GPa për shufrat aramide. (CNR-DT 203/2006, faqe 12)

Kur produktet në trajtën e shufrave FRP i nënshtrohen veprimit të ngarkesave në tërheqje deri në shkatërrim (këputja), e klasifikojnë këtë material si të “brishtë” dmth që këputja ndodh në mënyrë të menjëhershme, ndryshe nga çeliku, i cili karakterizohet paraprakisht nga një deformim viskoz apo rrjedhshmëria. Diagrami në tërheqje i mostrave të shufrave FRP në

varësinë “sforcim-deformim” konfirmon se për këto materiale kurba e deformimit është pothuajse absolutisht vijë e drejtë deri në thyerje.

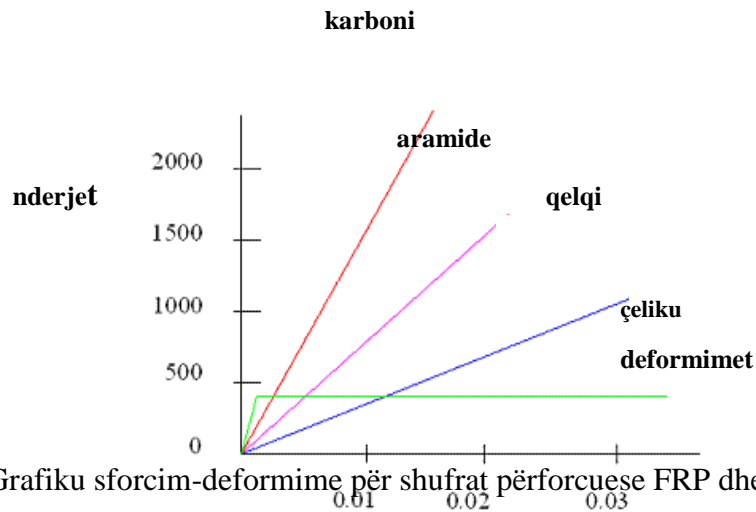


Figura 2.13. Grafiku sforcim-deformime për shufrat përforcuese FRP dhe çeliku

Nga grafiku konstatohet lehtë që për vlera të njëjta të nderjeve shufrat CFRP shfaqin deformime relative ϵ dy deri tre herë më vogla se tek shufrat GFRP dhe kjo për shkak të natyrës të shufrave GFRP. Disa nga karakteristikat teknike të shufrave FRP në tërheqje janë dhënë në tabelen (Tabela 2.6)

Në varësi të nderjeve, ndryshimet e vlerave në zgjatimin relativ në këputje për shufrat e përforcuara me fibra karboni (CFRP) rezultojnë më të vogla se në rastin e deformimeve të shufrave të përforcuara me fibra qelqi (GFRP), ose anasjelltas, për të njëjtin zgjatim relativ në këputje, nderjet në shufrat CFRP rezultojnë më të larta se në rastin e shufrave të përforcuara me fibra qelqi (GFRP), veçori që lidhet me natyrën e brishtë të këtyre të fundit..

Tabela 2.6. Karakteristikat teknike të shufrave FRP dhe çelikut në tërheqje aksiale

Vetitë	Armatura konvencionale	GFRP	CFRP	AFRP
Rezistenca në tërheqje (Mpa)	500-700	500-1600	600-3690	1720-2540
Moduli i elasticitetit Young GPa	200.0	35.0-51.0	120.0-580.0	41.0-125.0
Zgjatimi relativ në këputje% (%)	6.0-12.0	1.2-3.1	0.5-1.7	1.9-4.4

2.3.3.2. Rezistenca mekanike në shtypje

Provat laboratorike për shufrat FRP, me raport gjatësi/diametër 1:1 deri 2:1; kanë treguar se rezistenca në shtypje është më e ulët se rezistenca në këputje nga tërheqja. Shufrat FRP të testuara në shtypje paralel me aksin e simetrisë tyre, shfaqin thyerje në forma të ndryshme, më të zakonshmet janë ato në këputje gjatësore ose në këputje në prerje. Mënyra e shkatërrimit është funksion i llojit të fibrave, fraksionit fibër-vëllim dhe llojit të rrëshirës lidhëse. Është vërtetuar tashmë se rezistenca në shtypje e shufrave GFRP, CFRP dhe AFRP si produktet më të disponueshme në treg përbën përkatësisht 55%, 78% dhe 20% të rezistencës në tërheqje. Ndërsa, moduli i elasticitetit në shtypje i shufrave FRP, rezulton të jetë pak më i ulët se moduli i elasticitetit në tërheqje, por ka të dhëna se këto diferenca në vlera më të vogla mund t'i atribuohen shkatërrimit të parakohshëm gjatë testimeve. Sipas studimeve, moduli i elasticitetit në shtypje të Young, përbën respektivisht 80% për GFRP; 85% për CFRP; dhe 100% për AFRP të vlerës së modulit të elasticitetit në tërheqje. Duhet përmendur se nuk ka metoda standarde për testimet e rezistencës në shtypje të shufrave FRP, prandaj, prodhuesi duhet të ofroj nga ana e tij procedurat e metodat e testimit, të ndjekura prej tij për përcaktimin e rezistencës në shtypje.

2.3.3.3. Rezistenca mekanike në përkulje

Performanca e bashkëveprimit të shufrave përforcuese të GFRP dhe betonit në përkulje është varësi e disa kriterëve siç janë: zgjidhja e projektit, procesi teknologjik i prodhimit të fibrave, kushtet mjedisore, si dhe nga vetitë mekanike të vetë shufrave përforcuese FRP. Shumë kërkime dhe eksperimentime janë kryer për të verifikuar sjelljen elementëve prej betoni të përforcuara me shufra FRP që punojnë në përkulje. Eksperimentimet e kryera nga Esani, Saadatmanesh dhe Tao (1996) kanë ndikuar tek grupi i autorëve që kanë hartuar ACI 318-71 për të modifikuar një pjesë të formulave për zhvillimin e gjatësisë, duke bërë që shprehja për llogaritjen e gjatësisë për shufrat GFRP të modifikohet në vlera që janë më të mëdha se $0.0508db\cdot ff$.

Njihen faktorët që ndikojnë në bashkëveprimin normal të betonit të përforcuar me çelikut; të tilla si rezistenca në shkëputje, gjeometria e një elementi prej betoni, pozicionimi i shufrave në

seksionin tërthor të elementit, shtresa mbrojtse e betonit, renditja e shfaqjes së plasaritjeve dhe shpërndarja e nderjeve përgjatë gjatësisë të bashkëveprimit. Gjithashtu, edhe lidhja e shufrave të përforcuara FRP me betonin varet gjithashtu nga një numër edhe më i madh faktorësh. Për më tepër, që llojet e shufrave FRP janë të shumta. Sipërfaqja e tyre është më e dobët se ajo e shufrave të çelikut dhe mund të prishet për shkak të forcave bashkëvepruese. Sipërfaqja e shufrave FRP është më e butë dhe nuk krijon përqëndrime të nderjeve të rritura në pikat e kontaktit me çimenton siç ndodh me shufrat e çelikut. Ky fakt shpesh vonon shfaqjen e plasaritjeve që prishin veshjen përgjatë shufrave. Sidoqoftë, ngarkesa e nevojshme për zhvillimin e modelit të thyerjes nga shkatërrimi përfundimtar në beton varet shumë nga fakti nëse sipërfaqja e shufrave është e lëmuar ose e përafërt.

2.3.3.4. Rezistenca mekanike në prerje

Shumica e FRP janë relativisht të dobët në prerje ndërshtresore ku shtresat e rrëshirës gjenden në kontakt me shtresat e fijeve të qelqit, aramidës apo karbonit. Me qenëse nuk ka përf forcime në mes shtresave, forca në prerje ndërshtresore drejtohet nga matrica polimere relativisht e dobët. Kështu orientimi i fibrave në drejtim jashtë aksial në mes të shtresave të fibrës mund të rrisë rezistencën në prerje. Në rastin e shufrave FRP rezistenca në prerje mund të rritet duke i gërshetuar fibrat transversale me fibrat kryesorë. Nuk ka ende sot një metodë standarde të testimit për të vlerësuar rezistencën në prerje të shufrave të përforcuara me fibra FRP

2.3.3.5. Rezistenca mekanike në lodhje

Për karakteristikat në lodhje të materialeve FRP gjatë 40 viteve të fundit mund ekzistojnë mjaft studime, por ato janë të përqendruara më shumë rreth aeronautikës dhe kërkimeve hapsinore. Të dhënat eksperimentale dhe normativat e standardeve ende nuk i kanë fiksuar vlerat kufitare orientuese të lodhjes për shufrat e përforcuara me fibra FRP, ndërsa sipas kodit amerikan ACI 440-2006, shufrat e përforcuara me fibra FRP kanë sjellje të ngjashme me ato të çelikut. Për Noel dhe Soudki, viti 2014, strukturat e realizuara prej betoni me shufra të përforcuara me

fibra FRP kanë treguar se i qendrojnë më pak veprimeve në lodhje se vetë shufrat e testuara më vehte.

Rezistenca mekanike në lodhje e shufrave FRP është varësi e pozicionit ku ato përdoren; shufrat që përdoren në mjedise të hapura si përforcues të jashtëm janë më të predispozuara për t'u ndikuar nga lodhja se shufrat që janë vendosur brenda strukturave të përforcuara me to. Testimet për rezistencën ndaj lodhjes janë bazuar në ekspozimin e elementëve apo strukturave ndaj mjedisit të jashtëm, si temperatura, lagështia dhe ciklet në tërheqje ngarkim-shkarkim; duke veçuar si lloj të veçantë shufrat me fibra karboni CFRP. Testimet laboratorike kanë nxjerrë në pah një rënie të rezistencës së shufrave nga 5% deri 8% ndaj rezistencës fillestare për një periudhë shfrytëzimi 10 vjeçare; ndërsa nga provat në lodhje prej një milion cikle, rezistenca e tyre zbret në kufijtë 50% deri 70% e rezistencës fillestare. Shufrat e përforcuara me fibra aramide kanë rezultuar me një sjellje të përafërt me ato të shufrave të përforcuara me fibra karboni, madje për një kujdes dhe përpunim më të madh, vërejmë një përmirësim të dukshëm të rezistencës ndaj lodhjes. Sa i takon shufrave të përforcuara me fibra qelqi GFRP ato janë më pak të qëndrueshme ndaj lodhjes se produktet e tjera që përmendëm më lart. Pra, lidhja e fibrave me matricën lidhëse ka një rëndësi të veçantë, që përcaktohet nga teknologjia e prodhimit dhe lloji i fibra që përdoren. Sipas CNR-DT 203/2006, shufrat e përforcuara me fibra FRP janë të ndjeshëm ndaj fenomenit të lodhjes statike (“këputjes nga shtrirja”), që është një reduktim progresiv i rezistencës nën ngarkesat afat-gjata. Një fenomen i tillë influencohet shumë nga faktorët mjedisorë, siç janë temperatura dhe lagështia. Për të reduktuar efektet e shtrirjes dhe për të evituar këputjen nga shtrirja të shufrave FRP, rekomandohet që të kontrollohet nderja nën ngarkesat e shërbimit.[30]

2.3.3.6. Deformkoha

Me termin fluage në frëngjisht ose deformkoha në shqip emërtohet dukuria e rritjes së deformimeve të betonit në kohë prej veprimit të vazhdueshëm i një ngarkese statike konstante.

Dimë që, deformimi relativ i përgjithshëm i betonit për veprim të zgjatur të ngarkesës përbëhet prej deformimit elastik fillestar i tij dhe deformimit plastik prej deformkohës (fig. 5.22). Si njësi matëse e deformkohës shërben madhësia $c = \epsilon/\sigma$, d.m.th. deformimi relativ nga deformkoha i

marrë në njësinë e nderjes. Një ndër faktorët më të rëndësishëm që ndikon në deformkohën e betonit është lagështia relative e mjedisit në të cilin ai ndodhet. Sa më e vogël të jetë lagështia, aq më e madhe është deformkoha.

Përsa i përket ndikimit që luan trajtimi i betonit mbi deformkohën është vërtetuar se sa më e madhe të jetë rezistenca e betonit, d.m.th. sa më kompakte të jetë struktura e gurit të çimentos, aq më i vogël është deformimi nga deformkoha.

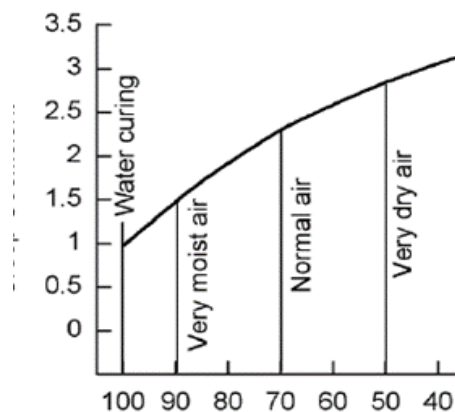


Figura 2.14. Varësia e deformkohës nga % lagështisë relative të ajrit

Shkatërrimi nga deformkoha, shpesh herë i detyrohet thyerjes elastike të materialit (Figura 2.14), e cila në vetvehte nënkupton sjelljen e përgjithshme të shufrave FRP nga zhveshja prej betonit. Janë tri faza të sjelljes në tërheqje: e parë, e dytë, e dytë dhe e tretë. Faza e parë, ndodh menjëherë pas aplikimit të ngarkesës në tërheqje, faza elastike. [29] Faza e dytë përfaqëson një periudhë të tensionuar për shkak të gjendjes së nderur të vazhduar. Nëse niveli i nderjeve mbahet në vlera jo të larta, atëherë deformkoha e shufrave GFRP do të kufizohet vetëm në fazën dytësore dhe në këtë fazë periudha e shërbimit mund të jetë e pakufizuar (Dolan, Bakis & Nanni, 2001). Në fazën e tretë fibrat e shufrave FRP për shkak të tejkalimit të aftësisë mbajtëse, humbin me shpejtësi aftësinë mbajtëse dhe kalojnë në këputje.

Kohëzgjatja e periudhës në të cilën ndodh këputja nga deformkoha nën një ngarkesë konstante njihet si koha e *durueshmërisë*. Koha e qëndresës, mund të zvogëlohet në varësi të kushteve mjedisore jo të favorshëm, siç janë p.sh. veprimi i një rrezatimi të fortë prej valëve ultraviolette,

një mjedis me alkalinitet të lartë, ciklet e tharje-lagje apo të ngrirje-shkrirjes etj. Shufrat prej çeliku ndikohen shumë nga veprimi i temperatura të larta nga zjarri [11].

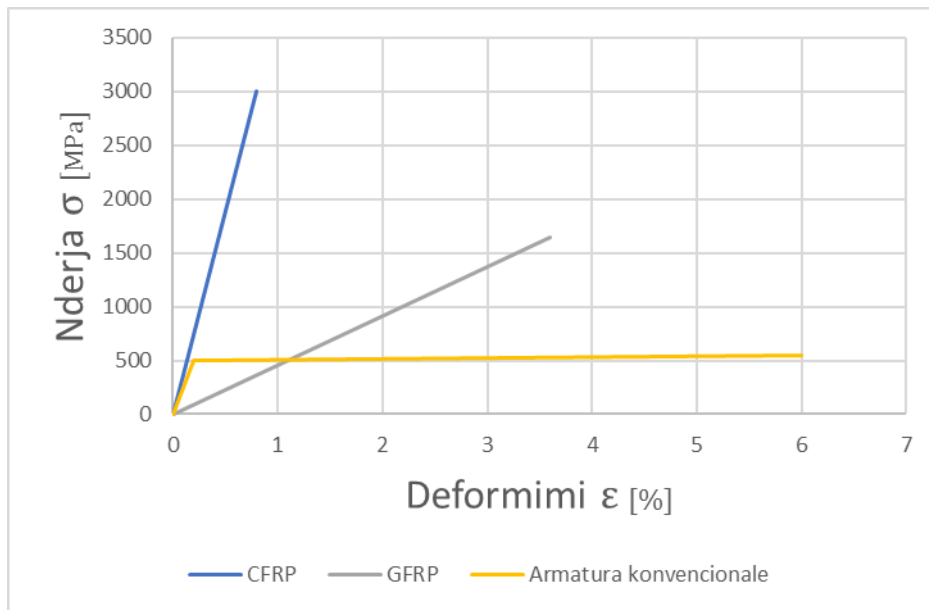


Figura 2.15. Kurbat sforcim-deformim të FRP dhe armaturës konvencionale në tërheqje

Gjatë projektimit të strukturave të përforcuara me shufra me fibra qelqi (GFRP), rekomandohet që vlera e ngarkesës finale për të ngarkuar shufrat duhet të jetë e njohur paraprakisht, në mënyrë që të mos tejkalohet vlera e deformkohës.[39]

2.4. Durabiliteti

Është e njohur tashmë, që strukturat prej betoni të armuar llogariten në varësi të ngarkesave që veprojnë në to, të cilat mund të jenë statike dhe dinamike. Një dimensionim i tillë, i garanton strukturës një stabilitet të përgjithshëm prej ngarkesave shfrytëzuese, vetjake dhe të veçanta. Mirëpo, këto ngarkesa shpesh herë nuk janë faktorë determinant prej të cilave do të duhet të dimensionohen strukturat me jetëgjatësi. Ambienti, se ku do të ndërtohet objekti është një faktor mjaft i rëndësishëm, madje nga njëherë edhe përcaktues, veçanërisht kur mjediset janë agresive për betonin, si p.sh. lagështia e ambientit, tretësirat alkale, kloride, apo dhe mjedise ku veprojnë temperatura të larta ose të ulëta, veprimi i rrezeve ultraviolette, karbonizimi dhe kontakti i strukturave me tretësira agresive acide, etj. janë disa nga shkaktarët e shkatërrimit të elementeve

apo strukturave prej betoni të armuar. Në vazhdim do të shtjellojmë disa nga efektet kryesore në elementet e betonit të armuara me shufra FRP.

Degradimi i strukturave prej betoni është sot një nga problemet më të rëndësishme, e cila kërkon shqyrtimin paralelisht të dy aspekteve, madje edhe të marëdhënieve midis tyre; nga njëra anë të kushteve ambientale prej të cilave rrjedhin agresiviteti apo të ashtuquajturat “klasa të ekspozicionit” dhe nga ana tjetër rezistenca e materialit që e kundërshton këtë agresivitet .[40] Kur kjo rezistencë është në gjendje të përballojë nderjet nga mjedisi agresiv, betoni emërtohet jetëgjatë ose durabël dmth i aftë për të ruajtur të pandryshuara karakteristikat teknike fillestare.

Shkaqet e shkatërrimit të betonit janë kimike, fizike dhe mekanike.

Mjedisi i ndërtimit të strukturave një faktor shumë i rëndësishëm, sidomos ato kimike me të cilat betoni bie në kontakt si lagështia e ambientit, tretësirat alkaline, tretësirat klorure, temperaturat e larta dhe të ulëta, veprimi ultraviolet, karbonatimi dhe veprimi i acideve, etj., janë disa nga shkaktarët kryesorë të dëmtimit të strukturave prej betoni të armuar.

Më poshtë do të trajtojmë disa nga efektet kryesore të durabilitetit të betonit të përforcuara me shufra FRP. Reagimet e shufrave FRP ndaj këtyre veprimeve të jashtme janë të ndryshme në varësi nga lloji i fibrave dhe lëndëve lidhëse të përdorura.

2.4.1 Durabiliteti në mjedis me klorure

Strukturat beton arme të përforcuara me çelik të zakonshëm nuk janë imune ndaj një mjedisi të pasur me tretësira të klorureve. Është kjo arsyeja pse në të tilla raste gjithmonë sugjerohen masa mbrojtëse për çelikut. Ndryshe ndodh me shufrat FRP kur ato vihen në kontakt me tretësira që përmbajnë klorure; në këto raste studimet dhe eksperimentimet kanë vërtetuar se përdorimi i shufrave FRP nuk dëmtohet nga prania e një mjedisi me prani të klorureve. Pra ndryshe nga çeliku, shufrat FRP paraqesin rezistencë të lartë në tërheqje edhe në këto mjedise. Qëllimi i studimit tonë nuk ka patur si objekt për t’u thelluar në këtë drejtim, pasi nënkupton se informacionet e literaturës së shqyrtuar e kanë konfirmuar jetëgjatësinë e strukturave të përforcuara me shufra FRP.

2.4.2. Durabiliteti në mjedisë alkaline

Shtresa mbrojtëse e betonit, e mbron armaturen nga veprimi i mjedisit të jashtëm. Pas ngurtësimit të betonit, si rezultat i avullimit të një sasive të ujit nga përgaditja, vëllimi i mbetur “bosh” lejon grumbullimin e poreve ajrore, të cilat shpesh herë mundësojnë depërtimin e lagështisë deri në kontakt me armaturën në elementin e strukturës. Shtresa mbrojtëse parandalon veprimin agresiv të alkaleve në shufrat FRP, shtuar kësaj dhe vetë rrëshira e shufrave është një kontribues pozitiv. Nga na tjetër, kujtojmë se fibrat polimere janë mjaft të ndjeshme ndaj një mjedisi alkaline. Literatura e konsultuar gjatë punës për këtë disertacion sugjeron se për lloje të ndryshme të fibrave do të pranojmë dhe një reagim të ndryshëm ndaj një mjedisi alkaline; ku fibrat prej karboni janë më të qëndrueshme se ato prej qelqi.

Përcaktimi i shkallës së veprimit të alkaneve mund të bëhet në disa forma: së pari, duke përcaktuar: ndjeshmërinë e fibrave ndaj një mjedisi alkaline; së dyti, duke përcaktuar difuzionin alkaline të rrëshirës dhe shkallen e mbrojtjes së fibrave; së treti, duke përcaktuar cilësinë e lidhjes së fibrave me rrëshirën me kalimin e kohës, pasi e dimë tashmë që mjedisi alkaline do të dobësojë jo vetëm fibrat por edhe lidhjen ndërmjet tyre; së katërti, temperaturën si faktor kryesor në përshpejtimin e shkallës së bashkëveprimit dhe difuzionin e mjedisit alkaline dhe së fundit shkallën e koncentrimin të mjedisit alkaline, e cila është funksion i llojit të çimentos dhe mix design të përzierjes së betonit. Rezistenca ndaj cikleve ngrirje shkrirje, është një faktor që mund të ndikojë në humbjen e rezistencës në tërheqje të fibrave polimere nga 7 deri 49% dhe zvoglim të modulit të elasticitetit të shufrave me fibra nga 3 deri në 31%.

2.4.3. Durabiliteti në mjedis me temperatura të larta

Deformimet që pësojnë shufrat polimere FRP ndaj zjarrit, për pasojë të temperaturave të larta janë varësi e llojit të fibrave me të cilat është e realizuar shufra, sepse fibrat të llojeve të ndryshme kanë dhe reagime të ndryshme. Bymimi dhe tkurrja e fibrave nuk është e njëjtë në dy drejtimet, për pasojë gjatë veprimit të zjarrit në brendësi të shufrave do të kemi reagime të ndryshme. Një nga këto reagime është pikërisht zvoglimi i lidhjes së shufrave FRP me betonin; për temperatura mbi 250°C, aderenca e shufrave polimere me betonin humbet gadi 90% të aftësisë lidhëse. Studime të ndryshme tregojnë se temperatura 60°C ndikon shumë pikërisht në aftësinë lidhëse edhe të rrëshirës, për pasojë të vetë shufrave FRP.

2.4.4. Durabiliteti në mjedis me ujë të zakonshëm

Shqyrtimet e shufrave FRP nën ndikimin e ujit janë bërë në kushte të ndryshme. Shqyrtimet në ajër me përqindje të caktuar të lagështisë (%RH) dhe me temperatura të ndryshme si dhe zhytjet në ujë me temperatura dhe shtypje të ndryshme janë disa nga shqyrtimet që bëhen për shufrat FRP për të testuar rezistencën e tyre në tërheqje dhe modulën elastik gjatë veprimit të ujit apo lagështisë. Molekulat e ujit ndikojnë në dobësimin e rrëshirës polimere që sillen si plastifikator të rrëshirës duke shpërbërë forcat e Van-der-Waals-it në zingjirin lidhës që është tipike për polimeret zinxhirore.

2.4.5. Durabiliteti në mjedis të rrezeve Ultravioletë

Në përgjithësi shufrat polimere FRP në strukturat prej betoni të përforcuar janë të mbrojtura nga betoni, pra mund të pranojmë që me përjashtime shumë të rralla ato nuk ndikohen nga veprimi i rrezeve ultraviolet, të cilat në vetvehte janë valë elektromagnetike me gjatësi që variojnë nga 10nm deri në 400nm. Testimet e kryera për shufrat polimere FRP në kontakt të drejtëpërdrejt me këto rreze ose gjatë magazinimit për një periudhë kohore më shumë se 80-90 ditë në mjedise të hapura; strukturës mund t'i shfaqen dëmtime, që zvoglojnë rezistencën në tërheqje të shufrave polimere FRP deri në 13%. Në këto raste, rekomandohet të merren masa suplementare për t'i mbrojtur nga veprimi i rrezeve ultraviolet.

2.4.6. Mjedisi acid dhe karbonatimi

Ndërsa përvoja dhe studimet eksperimentale kanë vërtetuar katërcipërisht që betoni është një material, i cili nuk i reziston veprimeve agresive të acideve, po ashtu informacioni për qëndrueshmërinë e shufrave polimere të tipit FRP nuk është shumë i plotë. Në këto raste, rekomandohet të merren masa mbrojtëse suplementare, siç janë përzgjedhja e kujdesëshme e materialeve të përzieries së betonit, mix design, jo vetëm për llojin e agregateve por në veçanti të lidhësit me bazë çimentoje me përmbajtje të lartë të mineralit aluminë. Sa i takon fenomenit të karbonizimit të betonit të përforcuar me shufra polimere FRP, përfundimet janë që jo gjithmonë efekti negativ mund të lidhet me karbonatimin e betonit. E rëndësishme është që të insistohet për të zvogluar përqëndrimin e joneve hidrogjen dmth të pH, pasi zvoglimi i saisë së ujit në poret e betonit shpie në zvoglimin e rrezikut nga veprimi alkaline.

2.5. Vlerësimi i cilësisë së shufrave të përforcuara me fibra FRP

Vlerësimi i cilësisë së shufrave të përforcuara me fibra FRP që do të përdoren për përforcimin e strukturave prej betoni, realizohet nëpërmjet testimit të mostrave përfaqësuese për të siguruar sjelljen dhe vetitë fiziko-mekanike të materialit. Ky kontroll nënkupton së pari, verifikimin e cilësisë së prodhimit të shufrave polimere në fabrikë (FPC) lidhur me vetitë gjeometrike dhe ato mekanike si shtangësia dhe rezistenca në tërheqje dhe së dyti, duke testuar mostrat e produktit në fabrikën e prodhimit të FRP. Mund të përdoren testet e kryera nga prodhuesit ose nga laboratorë të pavarur, që japin rezultate të akredituara. Të gjitha shqyrtimet duhet të kryhen duke përdorur metodat e rekomanduara që citohen në standardet dhe kodet përkatëse. Testimi i karakteristikave të materialit duhet të bëhet gjithmonë para fillimit të procesit të prodhimit dhe pas tij, nëpërmjet një analize të kujdesëshme statistikore. Ndër testimet kryesore për vlerësimin e cilësisë përmendim: rezistenca në tërheqje, moduli elasticitetit, nderjet kufitare, kufiri i lodhjes së produktit, forca lidhëse me beton ose aderenca shufra FRP-beton, koeficienti i bymimit termik dhe qëndresa ndaj alkaleve. Metodatat e testimit në laborator do të përshkruhen në detaje në kapitullin e IV-të gjatë fazës eksperimentale të FRP.

2.6. Teknologjia e prodhimit të shufrave polimere FRP

2.6.1. Të përgjithshme

Polimeret janë përzierje me masë molekulare të lartë, brenda të cilave gjenden mijra, madje qindra mijra atome, makromolekulat e të cilave janë të ndërtuara nëpërmjet përsëritjes të njëpasnjëshme (zinxhir) të strukturës njësi. Shkallë e polimerizimit quhet numri i strukturave njësi që përmbahet në një makromolekulë që mund të jenë: *Polimere me vargje karboni*, vargu molekular i të cilit, përmban vetëm atome të karbonit, *Polimere me vargje heterogjene*, në përbërje të të cilave, përveç atomeve të karbonit bëjnë pjesë dhe atome të oksigjenit, të azotit, të fosforit dhe *Polimeret silikone* vargu kryesor molekular i të cilave përmban atome të silicit, të aluminit, të titanit dhe disa elementeve të tjera. Polimeret sintetike (produkte artificialë), në varësi nga metodat që përdoren për prodhimin e tyre, mund të jenë të *polimerizuara* dhe të *polikondensuara*. *Polimeret e polikondensuara* prodhohen me metodat e polikondensimit, si rezultat i bashkëveprimeve të mirëfillta kimike midis grupeve funksionale që gjenden në molekulat e lëndës bazë, bashkëveprime të cilat shoqërohen me zberthimin e molekulës së nënprodukteve: të ujit, të amoniakut, të acidit klorhidrik etj. *Polimeret lineare* përbëhen nga makromolekula në trajtë fijesh të gjata, të bashkuara midis tyre me lidhje të dobëta bashkëveprimi molekular. Ndryshimi në ndërtimin e brendshëm të polimereve lineare dhe të atyre me rrjetë hapësinore të ngurtë duket qartë me nxehtjen. Kështu, polimeret lineare me nxehtje zbuten dhe kalojnë në gjendje viskozo-elastike, meqë forcat ndërmolekulare dhe lidhjet hidrogjen midis vargjeve të tyre kapërcehen në krahasim me rritjen graduale (të butë) të temperaturës. *Termoplastike* janë polimeret e afta për të zbutur me nxehtje dhe që ngurtësohen gjatë ftohjes, duke kaluar nga gjendja e ngurtë në të lëngët dhe anasjelltas pa ndryshuar vetitë bazë. *Termoreaktive* emërtohen polimerët të cilat nga nxehtja zbuten, ndërsa, pas ngurtësimit, megjithëse ngrohen, nuk kalojnë në gjendje të lëngët plastike. Rrjedhimisht, polimeret termoreaktive me rritjen e temperaturës sillen si druri; në temperatura të larta ato shkatërrohen dhe digjen. Një veti që i bashkon të dyja llojet e polimereve dhe i dallon nga pjesa më e madhe e substancave të tjera organike, është masa molekulare shumë e lartë e tyre. Ajo merr vlera në

rreth 50.000 deri 1 milion ose më tepër njësi atomike. Molekulat polimere mund të formohen nëpërmjet dy skemave të reaksioneve të ndryshme: të polimerizimit dhe të polikondensimit.

Në përgjithësi rrëshirat krijojnë një matricë lidhëse, kryesisht nga epoxyde, poliesterë dhe vinyl esterë, të cilat gjatë procesit teknologjik krijojnë strukturën e shufrave FRP apo formësimin e tyre. Rrëshirat prodhohen nga procesi i përpunimit të materialeve me nxehtësi ku formësohen dhe përforcohen, por që nuk mund të kthehen në gjendjen e mëparshme ose të nxehen përsëri për tu riformësuar. Kjo teknikë e prodhimit *termoreaktive* njihet si “*thermoset*”, është ndër metodat më të përhapura për prodhimin e poliemeve lidhëse. Performancat e rrëshirave mund të rriten duke ju shtuar aditive dhe filer sipas kërkesave, përfshirë dhe koston e tyre.

2.6.2. Llojet kryesore të materialeve lidhëse

2.6.2.1. Rrëshira Epokside

Prodhohen nga bashkëdyrimet e polimereve që përmbajnë grupe epokside. Lënda e parë kryesore për to është *epiklorhidrina*, që prodhohet nga *glicerina* dhe nga *propileni*. Në shumicën e rasteve këto polimere janë lëngjë me viskozitet të ndryshëm.

Në përgjithësi aplikohen rrëshira të llojeve të ndryshme, prandaj ajo që është e rëndësishme lidhet me kompatibilitetin me fibrat që janë përzgjedhur të përdoren. Në krahasim me rrëshirat tjera, rrëshirat epokside karakterizohen nga rezistenca e lartë kimike, me përjashtim ndaj agjenteve të fortë oksidues dhe klorit të lëngët dhe faktorëve tjerë si uji dhe nxehtësia. Lehtësia e përpunimit gjatë prodhimit, rezistenca e lartë mekanike, tkurrja e vogël si dhe aftësia ngjitëse me materiale si betoni etj., bëjnë që rrëshirat epokside të gjejnë aplikim të gjerë për prodhimin e shufrave FRP. Këto rrëshira kombinohen mjaft mirë me fibrat prej bazalti, prej karboni, prej aramide dhe prej qelqi; duke formuar shufra me karakteristika të mekanike të përmirësuar. Koha e gjatë e lidhjes së rrëshirës epokside me fibrat FRP si edhe kosto relativisht e lartë e prodhimit përbëjnë një mangësi të këtij produkti. Një paraqitje e karakteristikave mekanike të rrëshirave termoreaktive (*Thermosetting*) është dhënë në tabelën më poshtë. (Tabela 2.7).

Tabela 2.7. Vetitë mekanike për rrëshirat lidhëse termoreaktive “*Thermosetting*”

Vetitë mekanike të rrëshirës termoreaktive <i>Thermosetting</i>				
Lloji i Rrëshirës	Densiteti g/cm ³	Rezistenca në tërheqje [MPa]	Moduli i Young në tërheqje [GPa]	Tkurrja [%]
Epokside	1.20-1.30	55.0-130.0	2.75-4.10	1.0-5.0
Polyestere	1.10-1.40	34.5-103.5	2.10-3.45	5.0-12.0
Vinyl Estere	1.12-1.32	73.0-81.0	3.0-3.35	5.40-10.30

2.6.2.2. Rrëshira Polyestere

Rrëshirat polyestere janë rrëshira me përdorim mjaft të gjerë sepse vetitë që ato zotërojnë dhe kosto e favorshme e prodhimit i favorizojnë ato në krahasim me rrëshirat epokside . Përpunimi i lehtë i tyre dhe vetitë e mira mekanike, elektrike, kimike dhe stabiliteti i tyre përbëjnë rrëshirat polyestere një gamë mjaft të përdorur në prodhimin e shufrave FRP. Mundësia për modifikimin e rrëshirave polyester ka bërë që të arrihet deri te prodhimi i shufrave FRP me karakteristika specifike si rezistenca e lartë në përkulje, rezistenca ndaj korrozionit, rezistenca temperaturiale, izolim elektrik dhe rezistenca ndaj rrezeve UV. Gjithsesi përdorimi i tyre ndaj rrëshirave tjera është më i rrallë për arsye të llojeve hibride me karakteristika të mira kryesisht në një drejtim.

2.6.2.3. Rrëshirat Vinylestere

Këto rrëshira zotërojnë vetitë e rrëshirave Epoxy dhe Polyester duke formuar një gamë me karakteristika të mira mekanike, kimike dhe përpunim të lehtë që ndërlidhet me koston e tyre. Lidhja e mirë e rrëshirave vinyle me fibrat nga qelqi bënë që ky kombinim të jetë shumë i mirë duke formuar shufrat GFRP të cilat kanë rezistencë të lartë ndaj alkaneve.

2.6.3. Fibrat

Fibrat janë përbërësit kryesorë në strukturën e shufrave FRP, duke qenë edhe faktor përcaktues për vetitë e shufrave FRP. Volumi i tyre, gjatësia dhe veitë tjera janë faktorë që dallojnë varësisht nga lloji i fibrave. Lidhja e tyre me rrëshirën gjithashtu është një faktor kryesor i cili ndryshon në funksion të llojit të fibrave dhe rrëshirës ku disa fibra kombinohen shumë më mirë me rrëshira të caktuara. Llojet më të përhapura të fibrave janë ato nga Bazalti, Karboni, Qelqi dhe Aramidi

2.6.3.1. Fibrat prej qelqi, prodhohen nga shkrirja e rërës së kuarcit (silicit, SiO_2) në temperaturë të lartë dhe produkti final është i llojeve të ndryshme. Produktet më të shpeshta janë ato *elektrikë* (electrical E-glass), *me rezistencë të lartë* (high-strength S-glass) dhe *me rezistencë ndaj alkaleve* (Alkali-resistance AR-glass). Fibrat *E-glass* janë fibra me rezistencë të lartë elektrike dhe pëbëjnë rreth 80-90% të prodhimit të tregut. Fibrat prej qelqi të tipit *S-glass*, kanë rezistencë të lartë në tërheqje, fortësi të madhe dhe qendresë ndaj temperaturave të larta kosto e lartë e tyre kufizon deri diku përdorimin e tyre në krahasim me fibrat e llojit E-glass'. Fibrat *AR-glass* kanë qendresë shumë të mirë ndaj veprimit të mjediseve alkaline, por teknologjia e prodhimit të tyre "termoset" nuk përdoret më. Edhe produktet kompozite që realizohen mbi bazën e fibrave të qelqit kanë veti të mira elektro-izoluese dhe termike.



Figura 2.16. Fibra prej Qelqi (GFRP)

2.6.3.2. Fibrat prej Karboni, janë lloji më i përdorur i fibrave në prodhimin e shufrave FRP, këto fibra përfitohen nga rrëshirat polimere apo polyacrylonitrile (PAN) dhe janë fibra sintetike me strukturë gjysëm kristalore organike apo të njohura në treg nga prodhuesit si “Creslan 61”. Fibrat prej karboni (CFRP), prodhohen duke përdorur si lëndë të parë rrëshirat Polyacrylonitrile (PAN), rrëshirat polimere sintetike apo gjysmëkristalore organike etj. Fibrat e karbonit – PAN janë lloji më i përdorur në inxhinierinë e ndërtimit, sepse ato kanë rezistencë dhe modul elasticiteti të lartë; rezistencë të madhe ndaj rrëshqitjes, qendresë të lartë ndaj mjediseve acide dhe alkaline, koeficient të ulët të përcjellshmërisë termike, rezistencë të lartë elektrike, e cila mund të shkaktojë agresivitet galvanik nga kontakti me metalet. Nisur nga përparësitë teknike, fibrat e karbonit kanë kosto më të lartë se ato prej qelqi.

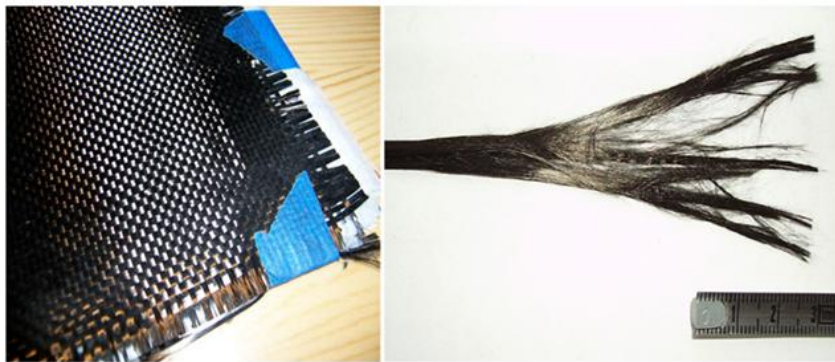


Figura 2.17. Fibra prej karboni (CFRP).

2.6.3.3. Fibra prej Aramidi, bëjnë pjesë në grupin e polimereve aromatike organike. Ato dallohen prej karakteristikave shumë të mira mekanike, kanë densitet të ulët, rezistencë të lartë në tërheqje dhe ndaj deformimeve. Fibrat prej aramidi zotërojnë veti shumë të mira izoluese elektrike dhe termike. Janë të ndjeshme ndaj dritës ultra-violetë (UV), temperaturave të larta dhe lagështisë. Në krahasim me fibrat prej qelqi, paraqesin rezistencë në tërheqje dhe moduli i elasticitetit për rreth 50% më të lartë. Tipi më i përdorshëm i fibrave prej Aramidi është ai që emërtohet Kevlar; në treg gjendet në tre lloje, Kevlar 29, 49 dhe 149. Fibrat prej aramidi kanë kosto më të lartë në krahasim me fibrat e llojeve të tjera, gjë e cila kufizon përdorimin e tyre për prodhimin e shufrave FRP.

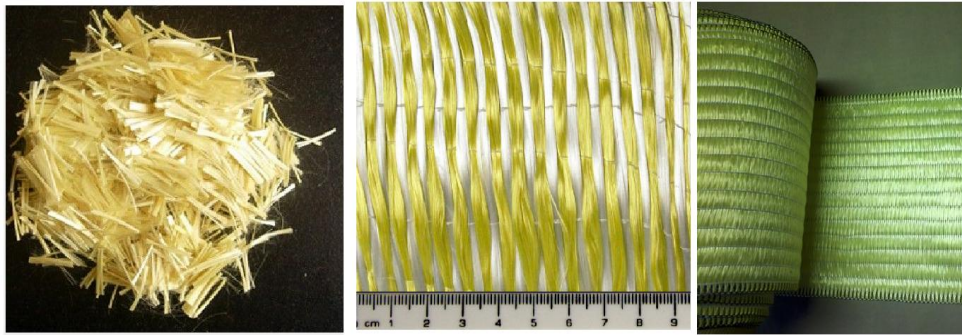


Figura 2.18. Fibra prej Aramidi (AFRP)

Tabela 2.8.. Karakteristikat mekanike për fibrat e çelikut, qelqit, karbonit dhe aramide

Vetitë	Çeliku	GFRP	CFRP	AFRP
Nderjet nominale MPa	276-517	N/A	N/A	N/A
Rezistenca në tërheqje, Mpa	483-690	483-1600	600-3690	1720-2540
Moduli i elasticiteti, GPa	200.0	35.0-51.0	120.0-580.0	41.0-125.0
Tendosja %	1.4-2.5	N/A	N/A	N/A
Zgjatja procentuale %	6.0-12.0	1.2-3.1	0.5-1.7	1.9-4.4

2.6.4. Teknologjia e prodhimit të shufrave FRP- Pultrusion

Teknologjia klasike e prodhimit të shufrave FRP është ajo e emërtuar “Pultrusion”, por nuk përjashtohen dhe variante të ngjashme, të cilat kanë mjaft elementë të përbashkët midis tyre sepse fazat kryesore të proceseve teknologjike në prodhim janë gadi të njëjta. Është kjo arsyeja që teknologjia Pultrusion mbetet sot si një është proces tashmë i realizuar dhe stabilizuar për prodhimin e shufrave FRP me prerje tërthore rrethore konstante. Prosesi, bazohet në shkrirjen e pandërprerë dhe kombinimin njëkohësisht të matricës lidhëse me fibrat FRP. Një variant i procesit teknologjik të prodhimit është paraqitur më poshtë (fig 2.19), rasti i prodhimit të shufrave të përforcuara me fibra qelqi. Fibrat e qelqit janë të prodhuara në trajtën e fijeve të holla; të cilat nëpërmjet një sistemi mekanik veçohen në fije të ndara për t’u tharë dhe pas tharjes zhyten në një

vaskë të mbushur me rrëshirën e përzgjedhur paraprakisht. Fibrat, qëndrojnë në vaskë derisa sipërfaqja e tyre të vishet dhe mbështillet plotësisht dhe njëtrajtësisht me rrëshirë deri në ngopje të plotë të tyre. Pastaj, fibrat e veshura me rrëshirë drejtohen në një pajisje orientuese tubolare për të marrë formën dhe përmasat e caktuara sipas diametrave nominal të standardeve respektive. Sipas llojit të shufrave që do të prodhohen dhe kërkesave të klientëve porositës, shufrat përpunohen në sipërfaqen e tyre; sipërfaqe me formë të lëmuar, me vijaska (brinjëzime) ose të përpunuar me qëllim që të sigurohet lidhja sa më e mirë me betonin. I gjithë ky proces duhet të realizohet në një afat kohor që rrëshira nuk është e ngurtësuar. Më pas, procedurat vijojnë me kalimin gjysëm produktit në furra për trajtimin termik me nxehtësi të kontrolluar. Në këtë fazë duhet bërë kujdes që të sigurohet plotësisht ndryshimi i gjëndjes së strukturës të produktit; kalimi nga gjendja e lëngët në atë të ngurtë. Kjo është faza në të cilën finalizohet formimi i shufrave FRP sipas gjatësive dhe diametrave të shufrave (Figura 2.20). Koha për prodhimin e shufrave është varësi e teknologjisë së zgjedhur dhe madhësisë së diametrit të shufrave; të dhëna orintuese flasin se prodhimi i një shufre FRP realizohet me një gjatësi prej 91cm në 1min. Diametri standard për shufrat GFRP dhe CFRP është i njëjtë me ato të produkteve të armaturës konvencionale.

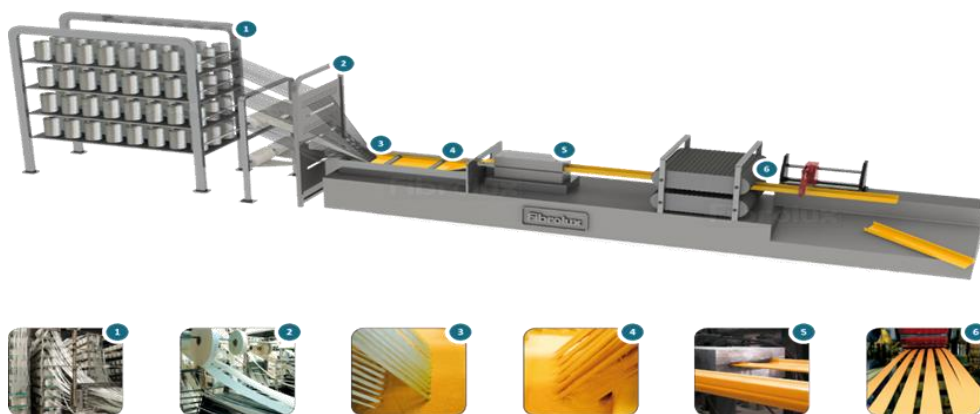


Figura 2.19. Procesi teknologjik i prodhimit të shufrave të përforcuara GFRP



Figura 2.20. Procesi teknologjik i tharjes të fijeve GFRP



Figura 2.21. Shufra të përforcuara me fibra FRP

2.6.4.1 Gel Time, temperatura ekzotermike e pikut të reagimit të rezinave termoreaktive

Procesi i prodhimit “Pultrusion” si një proces që përfshin disa etapa të prodhimit ku ndër të tjera prodhimi i shufrave FRP duhet të kalojë në etapa të rëndësishme të cilat janë faktor determinues të vetive mekanike dhe cilësive tjera që do të ketë shufra pas prodhimit. “Gel time” është periudha kohore prej fillimit të përzierjes së rrëshirave termoreaktive (thermoset) me komponentët e tjerë përbërës, deri në periudhën e ngurtësimit. Ndërsa, *pika ekzotermike* (Gel time) paraqet temperaturën

maksimale që duhet të arrijë rrëshira gjatë procesit të prodhimit. Këta dy faktorë, janë përcaktues për sigurimin e vetitë e shufrës dhe çdo devijim nga parametrat e paraparë do të rezultojë me prodhim me karakteristika të ndryshme nga projekti. Përcjellja e këtyre dy faktorëve realizohet sipas kodeve e standardeve të ndryshëm, ndërmjet tyre veçojmë standardin ASTM D 2471 “Standard Test Method for Gel Time and Peak Exothermic Temperature of Reacting of Thermosetting Resins”.

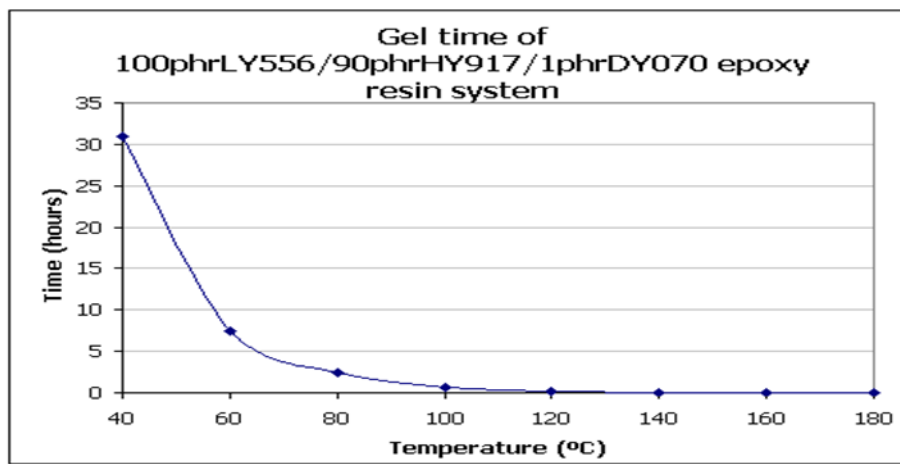


Figura 2.22. Monitorimi i Gel time për sistemin e rrëshirave epokside

KAPITULLI i III-të.

Teoria e projektimit të strukturave të betonit të armuar me shufra të përforcuara me fibra polimere GFRP dhe CFRP

3.1 Të përgjithshme

Projektimi i strukturave prej betoni armuar me shufra FRP duhet të plotësojë kërkesat e rezistencës dhe të shërbimit dhe nuk duhet të mbështetet vetëm në kontributet e rezistencës dhe shtangësisë të strukturës prej shufrave FRP. Analiza strukturore merr një rëndësi të veçantë, pasi shufrat FRP nuk kalojnë në rrjedhshmëri, pra strukturat nuk shfaqin veti plastike. Kjo për faktin se, në krahasim me strukturat prej betoni të përforcuara me armaturë konvencionale, për shufrat FRP nuk janë të aplikueshme analizat që supozojnë aftësinë e rishpërndarjes elastike ose elasto-plastike. Gjithashtu,

edhe sjellja në qendrushmëri ndaj zjarrit e strukturave do të kryhet sipas rregullave të mbrojtjes kundra zjarrit, sidomos në rastin e shufrave me fibra qelqi ku temperaturat T_g duhen marrë në konsideratë. Nëqoftëse për strukturat prej betoni të armuar plasaritjet në zonën e shtypur të betonit lindin për forca tej vlerave kufitare të lejuara; kjo nuk nënkupton që e njëjta gjë të ndodhë në strukturat të ngjashme prej betoni me shufra FRP, pasi për to mungon kufiri i rrjedhshmërisë.

Edhe në projektimin e strukturave prej betoni me shufra FRP, do të pranohen gati të njëjtat supozime, të ngjashme me ato që aplikohen për llogaritjen e elementëve të armuar me shufra çeliku, me përjashtime që lidhen me shpërndarjen e grafikëve të sforcim-deformim, e cila në rastin e shufrave FRP është lineare dhe që shkatërrimi ndodh nga këputja, kjo si pasojë e mungesës së plasticitetit të FRP.

Projektimi i strukturave me shufra të përforcuara FRP, të cilat paraqesin veti shumë të mira në tërheqje do të bëhet sipas aksit në drejtimin gjatësorë, pasi vlerat që fitohen në aksin tërthorë janë të pandjeshme dhe nuk ndikuar në sjelljen e elementëve e strukturave (Nanni, 1993). Kodet e projektimit tërheqin vëmëndjen mbi sjelljen e shufrave FRP, sidomos për struktura statikisht të pacaktuara lidhur me formimin e sharnirave plastike, pasi në rastin e përforcimit me shufra FRP ato mungojnë për shkak të sjelljes tyre lineare (elastike). Gjithashtu, edhe normativa Italiane CNR-DT 203/206 specifikon që projektimi i strukturave të betonit me shufra FRP, nuk duhet të bazohet në kontributet e rezistencës dhe shtangësisë të shufrave FRP në zonën e shtypur. Edhe këtu, tërhiqet vëmëndja që nuk janë të aplikueshme analizat që supozojnë aftësinë e rishpërndarjes elastike ose elasto-plastike, sikundër ndodh me çelikon.

3.2 Vështrime, koncepte dhe përvoja historike mbi kode, udhëzues e metoda për projektimin e strukturave të përforcuara me shufra GFRP & CFRP

Normativat dhe Kodet e projektimit për strukturat me shufra FRP, janë publikuar për herë të parë në Japoni, nga Shoqata e Inxhinierëve (JSCE, 1997), në Kanada (ISIS, 2001; CSA-S806, 2002), USA, ACI 440.1R-01, 2001 (Instituti Amerikan i Betonit), ACI 440.1R-03, 2003; ACI 440.1R-06, 2006), dhe Evropa (Clarke et al., 1996). Në mënyrë të përmbledhur po paraqesim më poshtë në trajtë kronologjike një zhvillim historik të hartimit të dokumenteve kryesorë, që rregullojnë përdorimin e brendshëm në projektimin dhe realizimin e strukturave prej betoni të përforcuara me shufra FRP (Tabela 3.1.).

Tabela 3.1. Historiku i dokumenteve të përdorimit të shufrave FRP

Viti	Historiku i publikimit të dokumenteve për përdorimin e shufrave FRP
1970	Përdorimi i fibrave përforcuese në beton
1996	Komiteti European për Betonin (Eurocrete) publikon një paktetë me rekomandime për projektimin e strukturave b.a. me shufra FRP
1997	Shoqata Japoneze e Inxhinierëve të Ndërtimit (JSCE) publikon një paktetë me rekomandime për projektimin e strukturave b.a. me shufra FRP
1999	U publikua në Suesi, Kodi Kombëtar për përdorimin e shufrave FRP në projektimin e strukturave b.a.
2000	Shoqata e Standardave Kanadeze (CSA), publikoj një paktetë për rekomandimet në projektimin e Urave b.a. me shufra FRP. (CAN/SCA S6-00)
2001	ISIS, Kanada publikon një manual mbi përdorimin e shufrave të përforcuara FRP. Instituti Amerikan për Betonin (ACI), Komiteti 440, publiko variantin e parë mbi Rekomandimet për projektimin e strukturave të përforcuara me shufra FRP.
2002	Shoqata Kanadeze e Standardeve (CSA), publikon një paktetë me rekomandime për ndërtesat b. arme me shufra FRP (CAN/CSA S806-02) CUR Ndërtimi & Infrastruktura, publikon një paktetë për projektimin e strukturave b. arme të përforcuara me shufra FRP (Hollandë)
2003	ACI, Komiteti 440, publikon variantin e dytë të udhëzuesit 440.12
2006	Këshilli Kombëtar i Kërkimeve (CNR) publikon rekomandimet Italiane për projektimin, prodhimin dhe përdorimin e shufrave të përforcuara FRP. CNR-DT. 203/2006 ACI, Komiteti 440, publikon variantin e tretë të Udhëzuesit 440.1R

Dukeqenëse se kemi të bëjmë me material relativisht të ri dhe me karakteristika të ndryshme nga çeliku i zakonshëm i ndërtimit, kodet dhe standardet ekzistuese për FRP kanë reflektuar nga njëra anë si ngjashmëritë por gjithashtu, nga ana tjetër edhe dallimet në paraqitjen e formulave llogaritëse të strukturave të përforcuara me shufra polimere FRP. Të dhëna, aplikime dhe eksperimentime janë prezantuar në literaturë të ndryshme, mbi bazën e të cilave janë hartuar edhe kodet e standardet bazë për projektimin, prodhimin dhe aplikimin e shufrave FRP.

3.2.1. Udhëzime dhe standarde Japoneze

Dokumenti i parë, i publikuar në Japoni, është ai i vitit 1997 nga shoqata Japoneze e inxhinierëve të ndërtimit (JSCE) me titullin “*Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforcing Materials*”, ka vendosur në qendër të teorisë së projektimit së bashku si materialet po ashtu dhe faktorët e sigurisë të elementëve, të cilat rezultojnë pak më të larta se ato të përdorura në projektimin e strukturave të përforcuara me çelik të zakonshëm. Megjithëse varianti i miratuar për projektimin e strukturave që punojnë në përkulje i mbulon të dy llojet e gjendjeve të shkatërrimit, nuk jep një informacion në lidhje me mënyrën mbizotëruese të shkatërrimit nga përkulja që mund të vi prej veprimit të faktortëve të pjesshëm të sigurisë të propozuar. Në këtë Udhëzim, ne gjejmë të dhëna të rëndësishme lidhur me llojet e ndryshme të shufrave të përforcuara me fibra polimere FRP, kontrollin e cilësisë dhe metodat e provave laboratorike të FRP.

3.2.2. Udhëzime dhe kode Europiane

Udhëzimet evropiane të dizajnit nga Clarke et al (1996), janë bazuar në modifikime në kode të praktikës britanike (BS8110, 1997) dhe evropiane RC (ENV 1992-1-1, 1992). Udhëzimet përfshijnë një sërë faktorësh të pjesshëm të sigurisë për rezistencën e materialit dhe ngurtësinë, në sjelljen strukturore afatshkurtër dhe afatgjatë të strukturave të përforcuara me shufra polimere FRP. Ajo që duhet theksuar, ka të bëjë me vlerat e miratuara, të cilat janë relativisht më të larta kur krahasohen me vlerat e miratuara nga normativat dhe udhëzimet e tjera. Udhëzimet nuk bëjnë asnjë dallim midis dy llojeve të shkatërrimit, ashtu sikundër nuk i japin përgjigje të qartë mënyrës mbizotëruese të shkatërrimit, e cila, mund të ndodhë nga aplikimi i pjesëshëm i faktorëve të sigurisë. Gjatë kërkimeve për punimin e këtij disertacioni, nuk mund të lë pa përmendur edhe Udhëzimet italiane të publikuara nga Këshilli Kombëtar i Kërkime Italiane (CNR), CNR-DT 203/2006, “*Udhëzues për Projektimin, Prodhimin dhe Ndërtimin e strukturave prej betoni të përforcuar me shufra polimere FRP*” dhe ato Angleze “*Udhëzim i përkohshëm për hartimin e strukturave të betonit të përforcuar duke përdorur shufrat e përforcuara me fibra*” (1999), publikuar nga Instituti i Inxhinierëve Strukturore. Po kështu, Raporti Norvegjez SINTEF STF22 A98741 mbi “*Modifications to NS3473 When Using FiberReinforced Plastic Reinforcement 2.24*”, i publikuar nga Këshilli për Standardizimin e Ndërtimit (NBR) përbën një kontribut me vlerë në këtë fushë studimi e kërkimi (2002).

3.2.3. Udhëzime dhe kode Amerikane

Kodi i Institutit Amerikan të Betonit (ACI) i publikuar për strukturat e përforcuara me shufra FRP (ACI 440.1R-06, 2006) është rrjedhojë e punës të shpenzuar nga modifikimi i kodit ekzistues të çelikut ACI-318 (ACI 318-02, 2002). Në këtë dokument konstatojmë lehtësisht se gjithçka i dedikohet vetëm projektimit, prodhimit dhe përdorimit të shufrave të përforcuara me fibra polimere (ACI 440.4R). Për hartimin e këtij dokumenti është shfrytëzuar e gjithë përvoja botërore jo vetëm ajo eksperimentale por edhe realizimet in situ në struktura prej betonit të përforcuar me FRP. Në udhëzimin ACI440.1R, jepen vlera të ndryshme të faktorëve të zvogëlimit të rezistencës për secilin lloj të shkatërrimit në përkulje, ndërsa - për rezistencën në prerje; kodi ka adaptuar vlerën e ϕ të përdorur nga ACI318 për strukturat e përforcuara me çelik ndërtimi.

3.3. Projektimi i strukturave të përforcuara me shufra GFRP & CFRP

Përvoja e deritanishme në projektimin e elementëve e strukturave të përforcuara me shufra konvencionale; ka treguar se nëqoftëse synojmë të shfrytëzojmë plotësisht aftësinë mbajtëse të shufrave armatures në tërheqje, natyrisht që në prerjen tërthore të seksionit do verifikohet lehtësisht një sipërfaqe e nevojshme e konceptuar si *armimi minimal*. Por ndryshe ndodh, kur një seksion i prerjes tërthore të *mbi armuar*; shpesh herë shpie në zvogëlimin e efektivitetit armimit, fenomen që verifikohet me shkatërrimin e betonit në zonën e shtypur, pasi në këto raste armatura nuk arrin shfrytëzimin maksimal. Prandaj, tendenca për një zgjidhje racionale në projektim lidhet me shfrytëzimin optimal të karakteristikave mekanike të çelikut dhe betonit. Nëse seksioni i betonit dhe armatura shfrytëzohen paralelisht në të ashtuquajturin *kufi racional* për përballimin e ngarkesave; atëherë kemi të bëjmë me “*armim të balancuar*”. Zakonisht, gjatë projektimit të prerjes së balancuar punohet me koeficientë sigurie të tillë, ku mundësohet edhe deformimi i armaturës konvencionale përpara thyerjes së betonit. Në prerjet tërthore të rëndomtë të armuara me armaturë konvencionale, shtangësia e prerjes është e balancuar dhe si rezultat i kësaj aksi neutral është i vendosur nga mesi i prerjes.

Mirëpo, kjo logjikë sa përshkruam më lart ndryshon kur bëhet fjalë për përforsim të betonit me shufra FRP, sepse në këto raste kemi të bëjmë me materiale që shfaqin shtangësi të ndryshme të tyre. Por edhe në këto raste kur dëshirojmë të arrijmë në një seksion të balancuar, atëherë aksi neutral për gjendjen e ekuilibrit do të zhvendoset deri në skajin e zonës së shtypur të betonit, sepse do të kemi deformim të madh të shufrave FRP (Figurën 3.1.).

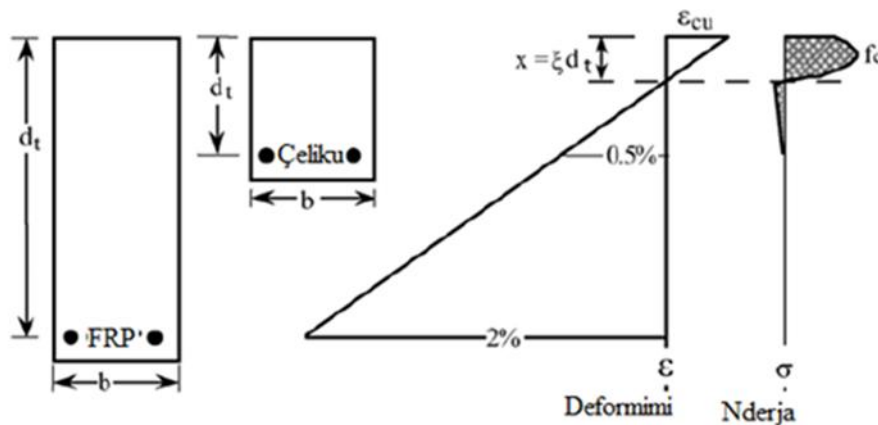


Figura 3.1. Ekuilibri i forcave në një seksion me prerje të balancuar me shufra FRP

Nga figura (Figura 3.1.) vërejmë se kapaciteti mbajtës të shufrave një pjesë e madhe e seksionit i nënshtrohet tërheqjes. Si rezultat, priten deformime të mëdha dhe me një gradient më të lartë të deformimeve në zonën e shtypur të armuar me shufra polimere FRP në krahasim me seksione të ngjashme me armaturë konvencionale. Nëse do të arrinim të eliminonim të gjitha format e tjera të thyerjes, atëherë prerja tërthore do të humbë aftësinë mbajtëse vetëm nga thyerja e betonit në pjesën e shtypur apo nga këputja e shufrave FRP në zonën e tërhequr. Këputja e shufrave, varet nga lloji i shufrave dhe nga parametri i lidhshmërisë (adezioni) i këtyre shufrave me betonin. Gjatë procesit të ngarkimit, dihet tashmë se betoni është material që plasaritet; ndërsa vetë shufrat FRP si materiale që përballojnë ngarkesat në tërheqje. Paraqitja e plasaritjeve është një moment me rëndësi sepse njëkohësiht me to fillojnë të shfaqen ndërhyrje të ndryshme sipërfaqësore; të cilat dobrojnë shumë lidhjen apo aderencën ndërmjet betonit dhe shufrave FRP. Prandaj lypset që të monitorohet me kujdes avancimi i ndërhyrjeve në beton dhe armaturë me qëllim që të parashikohet thyerja e elementit apo strukturës. Figura në vijim (Figura.3.2), paraqet ndryshimin e ndërhyrjeve në armaturë në varësi të përqindjes së përdorimit të shufrave të përforcuara me fibra polimere FRP.

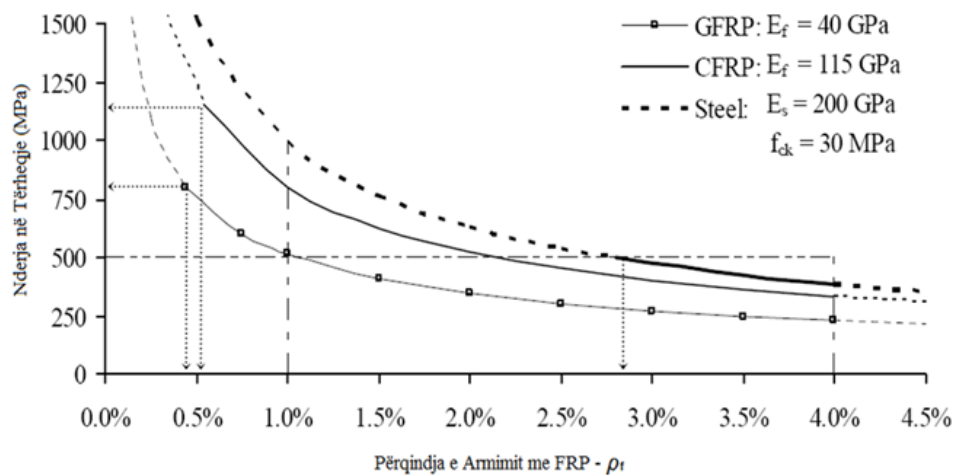


Figura 3.2. Ndryshimi i nderjeve në tërheqje në varësi të përqindjes të shufrave FRP dhe çelikut

Diagrami i mësipërm shpreh marrëdhëniet ndërmjet përqindjes së shufrave përforcuese FRP dhe nderjet respektive. Dallimi ndërmjet përqindjes së armimit të strukturave me armaturë konvencionale dhe atyre të përforcuara me shufra FRP qendron për shkak të dallimeve që ekzistojnë lidhur me vetitë mekanike në tërheqje midis tyre. Nëqoftëse vërejmë me kujdes kurbat e mësipërme, konstatojmë se për sipërfaqen e armimit të shufrave prej çeliku ρ_f prej rreth 3%, i konsideruar si një rast i *mbi armuar*; pasi për sipërfaqe armimi me përqindje më të ulëta, shfrytëzimi i aftësisë mbajtëse të çelikut do të rritet, duke mundësuar kështu, në raste të caktuara edhe rrjedhshmërinë e tij. Ndërsa, në rastin e shufrave të përforcuara me fibra GFRP ose CFRP, shohim se seksioni është i *“mbi armuar”* për një përqindje të ρ_f me rreth 0.5%. Nëqoftëse përqindja e armimit do të zbrësë nën 0.5%, atëherë rrezikon të ndodhë edhe fenomeni i këputjes, i cili varet kryesisht nga rezistenca e materialit. Në Figurë 3.2, qartësisht shihet se me rritjen e përqindjes së armimit, nderjet në shufra zvoglohen. Prandaj, ne vazhdimisht duhet t’i japim shumë rëndësi përqindjes së armimit, sepse lidhet edhe me karakteristika të tjera si: teorinë e projektimit, faktorët parcial të sigurisë etj., që humbin arsyetimin nëse nuk shfrytëzohet e gjithë aftësia mbajtëse. Përqindja e lartë e armimit i bënë elementët e strukturat më të kushtueshme në aspektin ekonomik. Deformimet afat-shkurtra rezultojnë më të mëdha nëse deformimet në shufra janë të mëdha ndërsa deformimet afat-gjata (Rekomanduar nga EC nëse nderjet në beton prej ngarkesave të përhershme tejkalojnë vlerën $0.45f_c$, atëhere priten deformime të mëdha prej rrjedhshmërisë). Duke ju referuar Pilakoutas, 2000; duhen gjetur burime të tjera për rritjen e shtangësisë, në mënyrë që t’i shmangemi problemit të *“mbiarmimit”*. Një nga këto burime mund të jetë p.sh përdorimi i shufrave të ndryshme hibride FRP

apo shufrave që kanë karakteristika dhe modul të ndryshëm; duke arritur të ashtuquajturin “Pseudo-duktilitet”.

3.3.1. Llogaritja e armaturës për prerjet me armim të balancuar

Udhëzuesit dhe Kodet e projektimit të strukturave me shufra të përforcuara me fibra FRP siç janë: ACI-440.1R (2006) dhe CAN/CSA (2006), trajtojnë dy forma të shkatërrimit prej përkuljes, së pari, shkatërrimi i betonit në zonën e shtypur dhe së dyti, nga këputja e shufrave FRP. Seksioni, me armim të balancuar vjen si rezultat i ekuilibrit të forcave të brendshme; që rrjedhin nga vetitë mekanike të betonit dhe armaturës. Ekuacioni (3.1) është i adaptuar nga ACI-440.1R-06 dhe i njëjti pranohet edhe nga CAN/CSA (2006). Një tjetër formulë (3.2) propozuar nga Pilskoutas et al. (2002), që rrjedh nga EC-2 për trarë të armuar me shufra FRP, merr në konsideratë ndryshimin e cilësisë së betonit. Ndërsa El-Ghandour (1999) propozon shprehje gjysmë-empirike për pllaka të armuara me FRP, ekuacioni (3.3).

$$\rho_{fb} = 0,85 \frac{f'_c}{f_{fu}} \beta_1 \left(\frac{E_f \cdot \varepsilon_{cu}}{E_f \cdot \varepsilon_{cu} + f_{fu}} \right) \quad (3.1)$$

$$\frac{0.81(f_{ck} + 8)\varepsilon_{cu}}{f_{fk} \left(\frac{f_{fk}}{E_{fk}} + \varepsilon_{cu} \right)} \quad (3.2)$$

$$\rho_{fb} = 2.1 \left(\frac{f_{cu}}{40} \right) \left(\frac{E_f}{110 \cdot 10^3} \right)^{0.7} \left(\frac{500}{f_f} \right)^{1.6} \quad (3.3)$$

Ku: b dhe d , janë përmasat e seksionit tërthorë të elementit, β_1 koeficient që varet nga klasa e betonit, 0,85 koeficient për Mixdesign të betonit, f'_c është rezistenca cilindrike në shtypje e betonit, E_f është moduli i elasticitetit sipas drejtimit gjatësor të shufrave FRP, ε_{cu} deformimi relativ në shtypje i betonit (0.003), f_{fu} është rezistenca llogaritëse e shufrave FRP.

Nga shprehjet e mësipërme, shihet qartë ndikimi i rezistencës në shtypje të betonit dhe i rezistencës në tërheqje të shufrave FRP në përqindjen e armimit. Sipas barazimit (3.3), përqindja e armimit ndryshon në funksion të rezistencës në shtypje të betonit dhe me rezistencën në tërheqje të shufrave

FRP. Përdorimi i koeficientëve të sipërm i referohet natyrës së shkatërrimit të seksioneve, rasti kur janë të përforcuar pak apo shumë i betonit me shufra FRP.

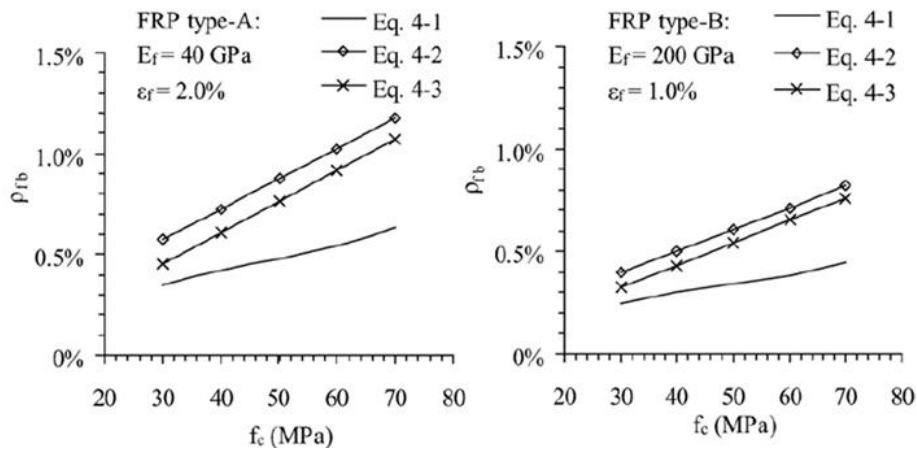


Figura 3.3. Varësia e përqindjes së armimit të FRP nga klasa e betonit në shtypje

3.3.2. Momenti llogaritës i seksionit tërthorë të mbiarmuara me shufra FRP

Momenti llogaritës për strukturat e përforcuara me shufra FRP mund të gjëndet duke adoptuar seksionin tërthorë të marrë nga Eurocode-2, (Figura. 3.4.), njëjloj siç veprohet edhe për elementët e armuar me shufra çeliku të zakonshëm, çka nënkupton se ato ende nuk kanë shfaqur fazën e rrjedhmërisë. Gjithashtu, për shkak të natyrës së tyre anizotropike dhe ndikimit të vogël, shufrat FRP nuk do të marrin pjesë në rezistencën në shtypje.

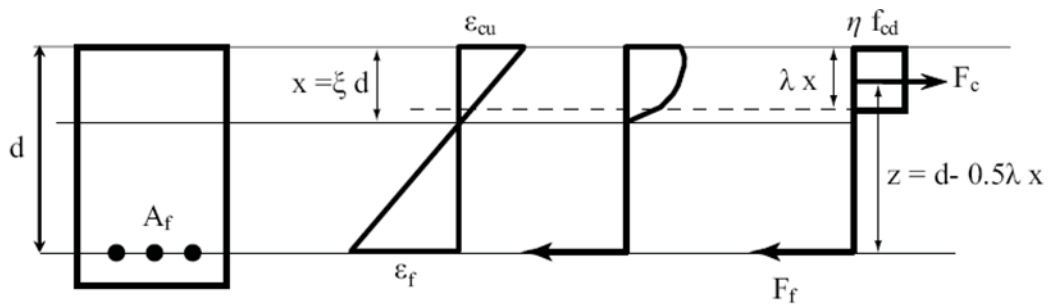


Figura 3.4. Varësia e përqindjes së armimit të FRP nga klasa e betonit në shtypje

Për rastin kur sasia e shufrave FRP është më e madhe se ajo e balancuar apo kur ρ_f është më e madhe se ρ_{fb} dmth $c > c_b$ atëhere seksioni do të shkatërrohet për shkak të zonës së shtypur të betonit dhe momenti kufitar (M_u), i cili llogaritet nga shprehja (3.4).

$$M_u = \eta f_{cd} b d^2 (\lambda \xi) \left(1 - \frac{\lambda \xi}{2} \right) \quad (3.4)$$

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} \text{ (MPa)} \quad (3.5)$$

α_{cc} - Vlera e këtij parametri që rekomandohet në normativat EC-2 (2004) është: 1

për $f_{ck} \leq 50 \text{ Mpa} \rightarrow \{\lambda=0.8, \eta=1$

$$\text{Për } 50 \text{MPa} < f_{ck} \leq 90 \text{MPa} \rightarrow \begin{cases} \lambda = 0,8 - \left(\frac{f_{ck} - 50}{400} \right) \\ \eta = 1,0 - \left(\frac{f_{ck} - 50}{200} \right) \end{cases} \quad (3.6)$$

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_f + \varepsilon_{cu}} \quad (3.7)$$

Barazimi (3.8), përdoret për të llogaritur nderjet që lindin në shufrat e përforcuara me fibra FRP dhe zhvillimin tyre; kështu, do jemi në gjendje që të parashikojmë dhe parandalojmë këputjen e tyre.

$$\varepsilon_f = \frac{-\varepsilon_{cu} + \sqrt{\varepsilon_{cu}^2 + \frac{4\eta\lambda\alpha_{cc}f_{ck}\varepsilon_{cu}}{\gamma_c\rho_f f}}}{2} \quad (3.8)$$

Figura 3.5. përshkruan rastin e një seksion tërthorë me gjërësi konstante, por me përqindje të ndryshme të armimit. Nga Eurocodi 2 (2004), kemi përvetësuar një parametër pa dimensione μ , i cili përcaktohet nga raporti i vlerës së momentit M_u me produktin $b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$. Në grafikun moshtë, paraqitet lidhja grafike ndërmjet vlerave të ρ_f (përqindja e armimit) dhe vlerave e nderjeve σ_f në shufrat FRP.

$$\mu = \frac{M_u}{f_{cd} b d^2} \quad (3.9)$$

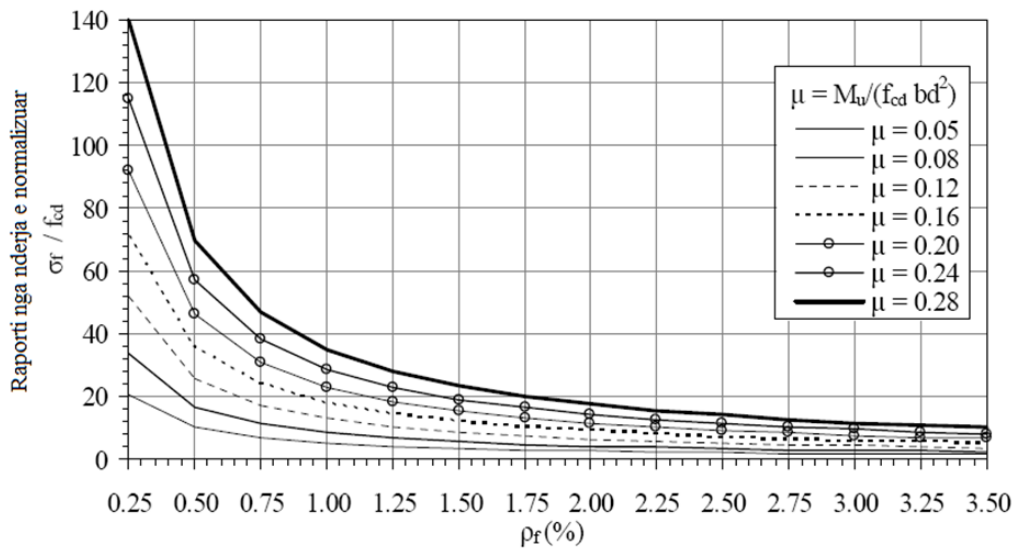


Figura 3.5. Përcaktimi i përqindjes së armimit të FRP nga momenti llogaritur

Për ilustrim në Figurën 3.5. është treguar rasti i përcaktimit të momentit M_u nëpërmjet lakoreve të mësipërme për një prerje tërthore drejtkëndore ($b/h=250/350\text{mm}$) të përforcuar me shufra FRP. Ashtu siç edhe pritej, rezulton që momenti M_u rritet me rritjen e përqindjes së armimit të shufrave FRP dhe rezistencës në shtypje të betonit dhe rezistencën në tërheqje të shufrave FRP.

Nëqoftëse sasia e shufrave të përforcuara me fibra FRP është më e vogël se përqindja e armimit të balancuar ρ_{fB} (përqindja optimale e armimit), atëherë shkatërrimi i elementit do të ndodhë prej këputjes të shufrave FRP. Në këtë rast për të llogaritur momentin kufitar (3.10.), është e domosdoshme të përcaktojmë deformimet në beton (ϵ_c) përpara se të ndodhë këputja e shufrave, duke zgjidhur barazimet (3.11.) dhe (3.12.).

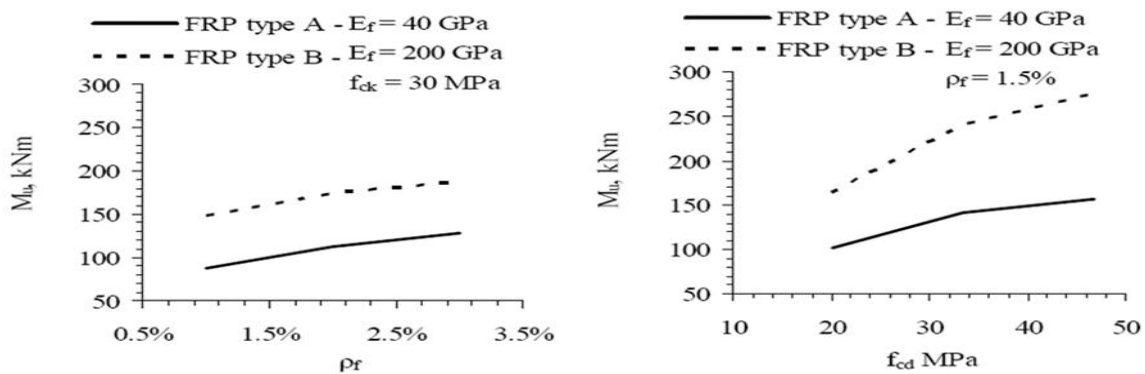


Figura 3.6. Momenti në përkulje M_u në funksion të përqindjes së armimit dhe klasës së betonit për tipe të ndryshme të shufrave FRP

$$M_u = \frac{A_f f_{fk}}{\gamma_f} \left(1 - \frac{\xi}{2}\right) \quad (3.10)$$

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{fu} + \varepsilon_c} \quad (3.11)$$

$$F_c = F_T \rightarrow bd\xi \frac{\int_0^{\varepsilon_c} f_c d\varepsilon_c}{\varepsilon_c} = \frac{A_f f_{fk}}{\gamma_f} \quad (3.12)$$

Ku f_c llogaritet nga barazimi (3.13). Vlerat që përdoren nga Eurocode 2 (2004) janë për deformimet e betonit ε_{c2} dhe ε_{cu} me faktorin “ n ”, i cili drejtpërsëdrejti varet nga karakteristikat mekanike të betonit.

$$f_c = f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}}\right)^n\right] \text{ për } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2} \quad (3.13)$$

Ose: $f_c = f_{cd} \quad \text{për} \quad \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2}$

Për të siguruar që momenti kufitar është më i madh se sa momenti që shkakton plasaritje në seksionin tërthorë, duhet të llogarisim përqindjen minimale të shufrave përforcuese FRP, në mënyrë që të shmangen plasaritjet në beton ($\varphi M_n \geq M_{cr}$). Bazuar në ACI-440.1R-06, kemi adoptuar barazimet respektive (3.14.) ose (3.15.) për llogaritjen e sipërfaqes së përforcimit minimal në përkuqje.

$$A_{f,\min} = \frac{0,41\sqrt{f'_c}}{f_{fu}} b_w d \geq \frac{2,26}{f_{fu}} b_w d \quad (3.14)$$

ose

$$A_{f,\min} = 0,26 \frac{f_{cm}}{f_{fk}} bd \geq 0,0013bd \quad (3.15)$$

3.4. Dimensionimi i strukturave B/A sipas normativave dhe kodeve të projektimit

Sipas kodit amerikan ACI 440-1R-06, dimensionimi i elementëve të betonit të përforcuara me shufra FRP realizohet sipas gjendjes kufitare. Fazat kryesore janë:

1. *Dimensionimi, sipas aftësisë mbajtëse,*
2. *Kontrolli i paraqitjes së plasaritjes,*
3. *Verifikime në lodhje për materialet*
4. *Kërkesat e shfrytëzimit.*

Në përputhje me rekomandimet e ACI 440-1R-06 për projektimin e betonit të përforcuar me shufra FRP, së pari, përcaktohen koeficientët e ngarkimit sipas ACI 318, të cilat aplikohen për të njehsuar sipërfaqet e betonit në shtypje dhe sipërfaqes së shufrave të përforcuara FRP për një seksion tërthorë të marrë në analizë. Dimensionimi i elementëve me shufra FRP bëhet sipas kodeve dhe Udhëzimeve të hartuara nga vende të ndryshme si p.sh. Kodi Amerikan ACI 440-1R-06, Kodi Kanadez ISIS si dhe Udhëzime e Normative Evropiane të ndryshme, aty ku është e mundur. Më poshtë po përshkruajmë hapat kryesore.

3.4.1. Dimensionimi i elementeve të përforcuara me shufra FRP

Dimensionimi i elementëve e strukturave betonarme të përforcuar me shufra FRP bazohet në parimin e ekuilibrit të forcave, që veprojnë mbi elementët ashtu si dhe në shfrytëzimin e karakteristikave fiziko-mekanike të materialeve që përdoren për realizimin e tyre. Për shkak të sjelljes së brishtë të shufrave FRP nga njëra anë dhe vetive të betonit si material kryesor nga ana tjetër; do të marrim në analizë dy raste të veçuara njëra nga tjetra. Se pari, rastin kur shkatërrimi i elementit apo strukturës vjen si rrjedhojë e këputjeve të shufrave FRP dhe së dyti, rastin kur shkatërrimi i seksionit tërthorë të elementit ndodh për shkak të shkatërrimit të betonit nga nderjet shtypëse.

3.4.2 Vetitë e materialeve dhe ndikimi në dimensionimin e prerjes tërthore

Karakteristikat kryesore fiziko-mekanike dhe kimike të shufrave të përforcuara me fibra FRP janë dhënë në funksion të një mjedisi neutral, pra, ku nuk veprojnë faktorë të jashtëm mjedisor. Ndërsa, për projektimin e elementëve e strukturave me shufra FRP, është e këshillueshme që gjithnjë të përzgjedhim me kujdes koeficientë ambjental, të cilat përcaktohen nga kushtet e ekspozimit të strukturave ndaj mjedisit ku ato realizohen. Tabela 3.2, përmban disa vlera të koeficientëve të ndikimit ndaj ekspozimit të strukturave prej betoni të përforcuara me shufra FRP.

Tabela 3.2. Faktori i reduktimit të mjedisit për lloje të ndryshme të fibrave)

Kushtet e ekspozimit	Lloji i fibrave	Koeficienti reduktues i mjedisit (C_E)
Beton dhe struktura betoni që nuk janë në kontakt me dhera dhe mjedisin e jashtëm.	Fibra Karboni	1.0
	Fibra Qelqi	0.8
	Fibra Aramidi	0.9
Beton dhe struktura betoni që janë në kontakt me dhera dhe mjedisin e jashtëm.	Fibra Karboni	0.9
	Fibra Qelqi	0.7
	Fibra Aramidi	0.8

Ndërsa, formulat, që shprehin ndikimin e mjedisëve në vetitë e shufrave FRP dhe reduktimin e aftësisë mbajtëse, janë si më poshtë.

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^* \quad (3.16)$$

Ku:

f_{fu} = Rezistenca në tërheqje e shufrave FRP, e reduktuar me koeficientin në varësi të mjedisit,

C_E = Koeficient reduktues i mjedisit,

f_{fu}^* = Rezistenca në tërheqje e shufrave FRP,

Ku:
$$f_{fu}^* = (f_{fu,aver} - 3\sigma)$$

Gjithashtu, në ngjashmëri veprohet edhe në rastin për përcaktimin e deformimeve:

$$\varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon_{fu}^* \quad (3.17)$$

ε_{fu} = Deformimi elastik llogaritës, i reduktuar nga mjedisi,

ε_{fu}^* = Deformimi elastik përfundimtar në tërheqje i shufrave FRP

Deformimi llogaritës, duhet të merret si vlera mesatare e modulit të elasticitetit të dhënë nga prodhuesi ose të nxjerra nga rezultatet e testimeve laboratorike të mostrave të provës.

Ku:

$$E_f = E_{f,aver}$$

Në faktorët reduktues të mjedisit bëjnë pjesë koeficientë të pavarur në varësi të llojit të fibrave dhe ndikimeve të tyre nga temperatura; por shtojmë këtu se shufrat FRP nuk rekomandohen të përdoren në mjedise me temperatura më të larta se ato të shkrirjes së matricave lidhëse, rrëshirave.

3.4.3. Dimensionimi i strukturave në përkulje

Më përpara se të parashtrojmë metodologjinë e përmasimit të strukturave të përforcuara me shufra FRP në përkulje, e shohim të arsyeshme të rradhisim disa përkufizime, të cilat duhet t'i marrim në konsideratë gjatë llogaritjeve, më kryesoret prej të cilave dallojmë:

- Prerjet tërthore të elementëve prej betoni të përforcuara me shufra çeliku, përmasohen duke supozuar që shkatërrimi i tyre të vie si rrjedhojë e këputjes së shufrave prej çeliku,
- Shufrat e çelikut të zakonshëm të ndërtimit shfaqin gjithmonë veti duktile, pra japin edhe një formë paralajmërim për fillimin e humbjes të aftësisë mbajtëse të seksionit tërthorë nga përkulja,
- Në elementët me prerje tërthore prej betoni të armuara me shufra FRP, preferohet që më parë të kalojë në shkatërrim betoni në shtypje dhe pastaj shufrat në tërheqje, nëqoftëse nuk ndodh shkëputja e betonit,
- Nëqoftëse gjatë ngarkimit të elementëve apo strukturave të përforcuara me shufra FRP në fillim ndodh këputja e shufrave, atëherë kemi një thyerje të menjëhershme të elementit, pasi duktiliteti gjatë këputjes i shufrave është shumë i vogël apo i pa përfillshëm dhe rrjedhimisht kemi një shkatërrim të menjëhershëm të prerjes tërthore të elementëve,
- Gjatë përkuljes, kur arrimë në fazën e fundit të ngarkimit; betoni kalon në zonën e sjelljes me veti plastike,

Gjatë dimensionimi në përkulje duhet të të kemi parasyshë edhe sa vijon:

- Nderjet në beton dhe FRP janë në proporcion të njejtë me distancën nga aksi neutral, ku sipërfaqja plane e prerjes mbetet e njejtë edhe pas përkuljes,
- Nderjet maksimale në beton zenë vlera rreth 0.003,
- Rezistenca në tërheqje e betonit nuk merret në konsideratë,
- Sjellja e shufrave FRP në tërheqje është elastike (vijë e drejtë) deri në këputje,
- Ndërmjet betonit dhe shufrave FRP ekziston një lidhje (aderencë) shumë e mirë.

Rezistenca në përkulje përcaktohet me llogaritjen e momentit të prerjes dhe momentin kritik të saj.

$$\phi M_n \geq M_u$$

Ku:

M_n = Momenti në përkulje

$$M_u = 1,2M_D + 1,6M_L \quad (3.19)$$

Momenti në përkulje i prerjes tërthore të betonit të përforcuar me shufra FRP mund të përcaktohet në tri gjendje:

- a) sipas deformimeve maksimale,
- b) sipas ekuilibrit të forcave të brendshme,
- c) sipas kontrollit të aftësisë mbajtëse.

Përçindja e armimit e prerjes tërthore do të jetë:

$$\rho_f = \frac{A_f}{bd} \tag{3.20}$$

Prerja me armim të balancuar:

$$\rho_{fb} = 0,85\beta_1 \frac{f'_c}{f_{fu}} \frac{E_f \varepsilon_{cu}}{E_f \varepsilon_{cu} + f_{fu}} \tag{3.21}$$

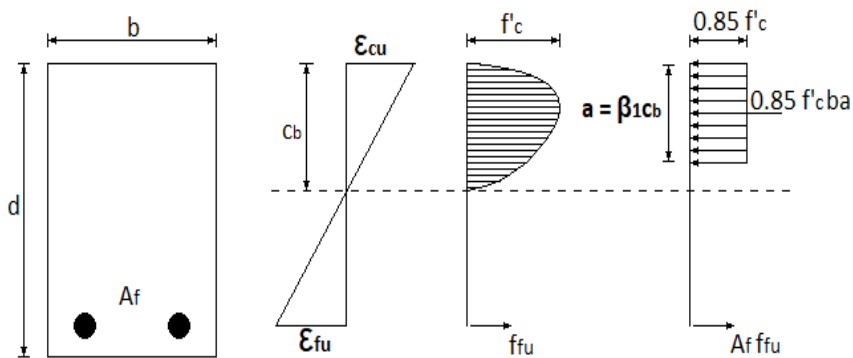


Figura 3.7. Prerja e seksionit tërthorë me armim të balancuar

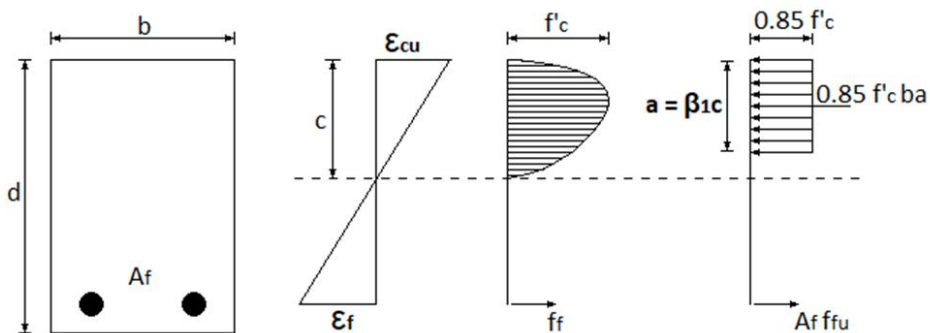


Figura 3.8. Prerja e seksionit tërthorë nga shkatërrimi i betonit në shtypje

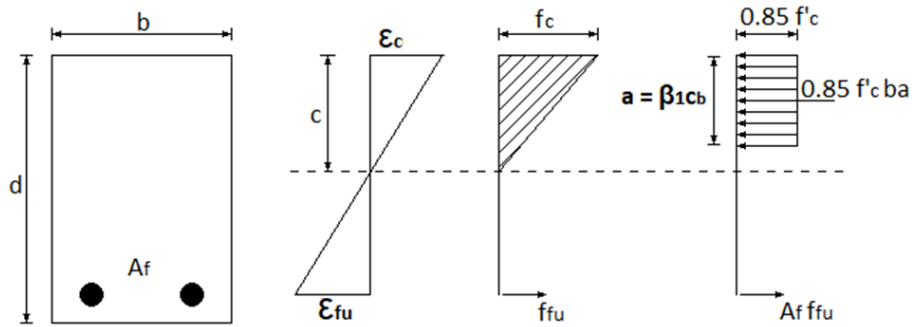


Figura 3.9. Prerja e seksionit tërthorë nga shkatërrimi (këputja) e shufrave FRP

3.4.3.1. Momenti i rezistencës në seksionin tërthor

a) Shkatërrimi i betonit në shtypje për elementin e përforcuar me shufra FRP, rasti kur betoni del jashtë punës (shkatërrohet) i pari pari, dmth ($\rho_f > \rho_{fb}$). Sipas deformimeve maksimale dhe ekuilibrit të forcave të brendshme do të kemi:

$$\alpha = \frac{A_f f_f}{0,85 f'_c b} \quad (3.22)$$

$$\varepsilon_f = \frac{\varepsilon_{cu} (\beta_1 d - a)}{a} \quad (3.23)$$

$$f_f = \frac{E_f \varepsilon_{cu} (\beta_1 d - a)}{a} \quad (3.24)$$

$$f_f = \left(\sqrt{\frac{(E_f \varepsilon_{cu})^2}{4} + \frac{0,85 \beta_1 f'_c}{\rho_f} E_f \varepsilon_{cu}} - 0,5 E_f \varepsilon_{cu} \right) \leq f_{fu} \quad (3.25)$$

$$M_n = A_f f_f \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3.26)$$

Në mënyrë të ngjajshme gjejmë edhe për M_n :

$$M_n = \rho_f f_f \left(1 - 0,59 \frac{\rho_f f_f}{f'_c} \right) b d^2 \quad (3.27)$$

b) Shkatërrimi i shufrave përforcuese FRP në tërheqje ($\rho_f < \rho_{fb}$).

Në rastet e armimit minimal të prerjes tërthore, diagrami punues fillestar sipas ACI nuk aplikohet, sepse vlera e deformimeve maksimale në beton (0.003%) mund të mos arrihet gjatë thyerjes së elementit.

Është kjo arsyeja pse do të përdoret një diagram i ri pune ekuivalent, i cili do të përfaqësojë shpërndarjen e nderjeve në beton në çfarëdo niveli të deformimeve. Në këtë rast lypset të llogariten nderjet e betonit në shtypje ε_{cu} dhe largësinë e aksit neutral, c .

Nga ana tjetër edhe koeficientët α_1 dhe β_1 janë të panjohur; ku α_1 shpreh raportin e nderjeve mestare në beton me rezistencën maksimale të tij, ndërsa β_1 është raporti i sipërfaqeve të madhësive së diagramit punues dhe të aksit neutral. Për seksione të ndryshme koeficienti β_{1c} ndryshon varësisht nga vetitë e materialit dhe përqindjes së shufrave përforcuese ρ_f . Vlera maksimale e β_{1c} është e barabartë me β_{1cb} dhe arrihet kur nderjet në beton arrijnë vlerën 0.003 të deformimeve. Llogaritja e momentit të seksionit, sipas ACI, bëhet me shprehjet që vijojnë.

$$M_n = A_f f_{fu} \left(d - \frac{\beta_1 c_b}{2} \right) \quad (3.28)$$

Ku:

c_b (mm) është madhësia e aksit neutral në rastin e armimit të balancuar

$$c_b = \left(\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{cu}} \right) d \quad (3.29)$$

3.4.3.2. Koeficienti i reduktimit të rezistencës në përkulje (ϕ)

Nisur sa kemi parashtruar në kapitullin e II-të, shufrat FRP nuk shfaqin duktilitet të mirë, prandaj sugjerohet të aplikohet i ashtuquajtur i koeficienti reduktues i rezistencës së tyre.

Nëpërmjet këtij koeficienti reduktues për shufrat FRP normat e projektimit sugjerojnë një zvoglim të rezistencës në tërheqje, i cili do të përcaktohet nga sa vijon:

$\phi=1/1.3$, sipas JSCE (1997)

$\phi= 0.75$ sipas (Benmokrane et al., 1996), bazuar në dhënat e analizave statistikore.

Kodi amerikan ACI 440.1R-06, rekomandon që ϕ të përcaktohet duke aplikuar shprehjet që vijojnë.

a) Rasti kur $\rho_f \leq \rho_{fb}$, dmth seksioni i betonit shkatërrohet nga këputja e shufrave FRP, që i përgjigjet vlerës minimale të përqindjes, në këtë rast vlera e koeficientit reduktues është $\phi=0.55$,

- b) Rasti kur $\rho_{fb} \leq \rho_f \leq 1.4\rho_{fb}$, dmth prerja është e ekuilibruar dhe vlera e koeficientit ϕ gjendet me shprehjen si vijon
- c) Rasti kur $\rho_f \geq 1.4\rho_{fb}$, dmth prerja tërthore është e mbiarmuar, që nënkupton shkatërrimin e prerjes tërthore të betonit në shtypje, në këtë rast koeficienti $\phi=0.55$.

$$\phi = \begin{cases} 0,55 & \text{për } \rho_f \leq \rho_{fb} \\ 0,3 + 0,25 \frac{\rho_f}{\rho_{fb}} & \text{për } \rho_{fb} \leq \rho_f \leq 1,4\rho_{fb} \\ 0,65 & \text{për } \rho_f \geq 1,4\rho_{fb} \end{cases} \quad (3.30)$$

Momenti projektues $\phi M_n \geq M_u$ (Momenti i normuar)

Më poshtë është paraqitur grafiku që shpreh shkatërrimin nga këputja e shufrave FRP, zona ndërmjetëse dhe shkatërrimi prej thyerjes së betonit.

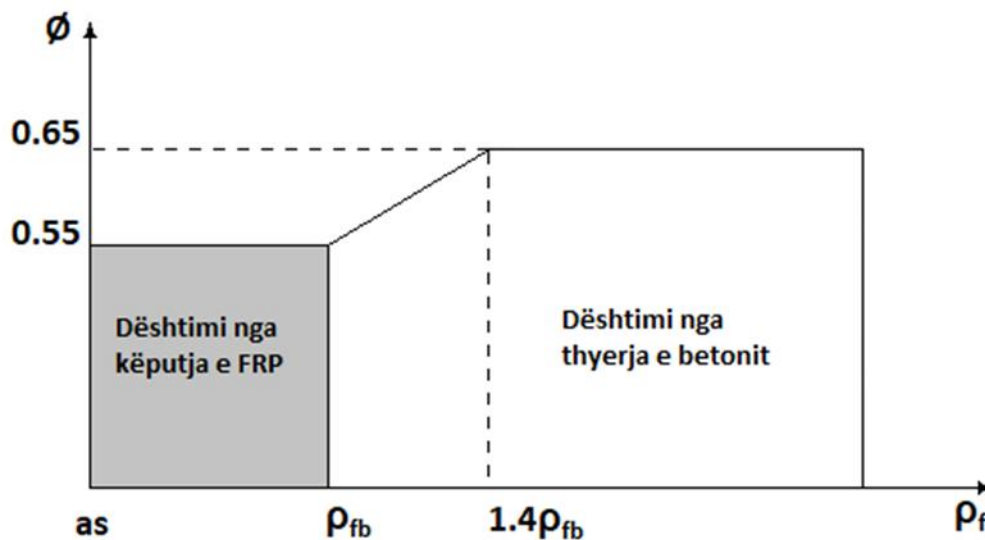


Figura. 3.10. Faktori reduktues ϕ i rezistencës në përkulje

3.4.4. Kontrolli seksionit tërthorë për armim minimal me shufra FRP

Nëqoftëse $\rho_f \leq \rho_{fb}$, atëherë seksioni tërthorë duhet të kontrollohet edhe për vlerën e armimit minimal ($A_{f,min}$), me qëllim që të parandalohet shkatërrimi pas paraqitjeve të plasaritjeve në beton ($\phi M_n \geq M_{cr}$), ku M_{cr} është momenti që krijon paraqitje të plasaritjeve. Më poshtë është dhënë dhe

formula për kontrollin e sipërfaqes së armimit minimal të seksionit për shufrat përforcuese FRP. Nëqoftëse $\rho_f \geq \rho_{fb}$, atëherë shkatërrimi i seksionit tërthorë do të ndodhë për shkak të betonit dhe jo të shufrave FRP. Prandaj në këtë rast nuk do jetë e nevojshme të bëhet kontrolli për seksionin tërthorë me armim minimal me shufra FRP..

3.4.5. Gjendja kufitare e shfrytëzimit, sipas ACI 318

Gjendja kufitare e shfrytëzimit të elementëve të përforcuara me shufra FRP nënkupton shfrytëzimin efektiv të strukturave duke u bazuar në sjelljen e strukturës për deformimet në ulje dhe lindjen e të plasurave.

Kjo, sepse uljet dhe plasaritjet në struktura janë faktor ndikues në sjelljen e tyre; prandaj kontrolli i tyre të vlerësohet si qëllim për të ruajtur vlerat limit, pasi ndryshe do të rrezikohej shfrytëzimi normal i elementëve e strukturave të ndërtimit të përforcuara me shufra FRP.

3.4.5.1. Uljet sipas ACI 318

Llogaritja e deformimeve për shkak të uljeve është në varësi të rëndësisë dhe destinacionit të veprës lidhur me madhësinë e lejuar.

Kërkesat sipas ACI 318 për llogaritjen e uljeve dhe plasaritjeve për elemente të armuara me shufra FRP nuk janë të njëjta si për elementet e armuara me shufra çeliku. P.sh. për elementë strukturor me një sipërfaqe të njëjtë të shufrave FRP dhe atyre por me armim konvencional, rritja e madhësisë të plasaritjeve në rastin e përforcimit me shufra FRP kundrejt rastit të përforcuar me shufra çeliku dikton për rëndësinë e dallimit që duhet bërë në raste të tilla.

Sipas Kodit ACI 440-1R-06 për trarë dhe pllaka të përforcuara me shufra FRP, lartësia minimale e tyre rekomandohet të merret nga Tabela 2.2. Këto vlera, do të shërbejnë si vlera orientuese dhe vetëm për të përcaktuar përmasat fillestare të seksionit tërthorë dhe nuk sigurojnë që këto zgjedhje të plotësojnë kërkesat e deformimeve.

Deformimet finle do të kontrollohen sipas formulave të llogaritjes së përgjithshme të deformimeve afatshkurtra dhe afatgjata dhe duke i krahasuar këto të fundit me vlerat e lejuara të standardeve.

Tabela 3.3. Lartësia minimale e trarëve dhe pllakave të përforcuara me shufra FRP

Lloji i elementit	Lartësia minimale			
	Tra i thjeshtë	Trarë me një zgjatim	Trarë me dy zgjatime	Konsola
Trarë	1/10 e hapsires	1/12	1/16	1/4
Pllaka	1/13	1/17	1/22	1/5.5

3.4.5.2. Plasaritjet

Gjërësia e madhe e hapjes së të plasurave nuk preferohet, pasi ajo përpos pamjes së jashtëme dhe dyshimet psikologjike tek qytetarët nuk është e dëshiruar edhe për faktin tjetër shumë delikat e plasaritjeve nuk është e dëshiruar në elementet strukturore sepse një gjë e tillë krijon një pamje të jashtme jo të mirë dhe për faktin sepse cenon rëndë agresivitetin dhe korrozionin e armatures duke shkurtuar jetëgjatësinë e strukturave.

3.4.5.3. Kontrolli i plasaritjeve sipas kodit Amerikan ACI 318

Në rastet kur zgjedhja e tipit të përforcimit të betonit është e përzier, p.sh. rasti kur aplikojmë përforcimin e betonit në trarë me shufra gjatësore prej FRP dhe stafa çeliku të zakonshëm, llogaritja e hapjes së të plasurave sipas *ACI 318* kryhet duke marrur në konsideratë edhe armimin konvencional.

Ndërsa, sipas *JSCE* (1997), Normat Japoneze, gjërësin maksimale të hapjes së plasaritjeve e kanë kufizuar në madhësinë deri 0.5mm.

Nga ana e tij, *Instituti Kanadez "Rrugë dhe Ura"* (1996), ka paraparë kufizimin e hapjes së të plasurave në dy vlera; e para, për strukturat e përforcuara me shufra FRP dhe të ekspozuara në mjedise të hapura, gjërësia e plasaritjeve është pranuar në 0.5 mm, e dyta për strukturat e përforcuara me shufra FRP dhe të ekspozuar në mjedise të brendshme në 0.7 mm. Kodi Amerikan *ACI 318*, lidhur me hapjen e të plasurave për strukturat e përforcuara me FRP parasheh një kufizim të plasaritjeve në 0.3 mm për elementet e armuara me shufra të çelikut të ekspozuara në mjedise të hapura dhe 0.4 mm për mjedise të brendshme.

3.4.5.4. Kontrolli i plasaritjeve sipas kodit Kanadez CSA, 1996

Normat Kanadeze, të cilat rekomandohen të aplikohen për vlerësimin e plasaritjeve janë paraparë në normativën *CSA 1996*.

Ndryshe nga sa rekomandohet në norma të vendeve të tjera, normat Kanadeze për vlerësimin e hapjes së të plasurave, sugjerojnë rekomandime shtesë për strukturat të cilat do jenë të ekspozuara ndaj mjedisëve agresive ose kërkesave të rritura për mosdepërtushmërinë ndaj ujit. Një rekomandim i tillë mendoj se e bën më fleksibël kërkesën e projektimit për vlerësimin e gjerësisë së plasaritjeve sipas kushteve mjedisore konkrete në të cilat do punojë struktura. Kështu, për struktura ku kërkesa të estetikës nuk është parësore ose në strukturat provizore, gjërësia e plasaritjeve mund të lejohet edhe të rritet; por jo në ato raste kur kemi struktura që janë të përforcuara me armim konvencional dhe shufra FRP njëkohësisht.

3.4.5.5. Llogaritja e gjerësisë së hapjes së të plasurave sipas ACI 318

Kodi Amerikan *ACI* për elementët e strukturat prej betoni përdor shprehje të gatshme për llogaritjen e plasaritjeve, të cilat janë modifikuar nga autorët Gergely-Lutz.

Kodet e *ACI 318-95 (ACI committee 318 1995)*, llogaritjen e plasaritjeve në struktura, si rregull nuk përcaktojnë drejtpërsëdrejti gjerësinë e plasaritjeve, por aplikojnë një faktor z , që rrjedh nga sformula për llogaritjen e gjerësisë së plasaritjeve, kjo për faktin se ndërmjet llogaritjes së gjerësisë së plasaritjeve dhe atyre të verifikuara në praktikën e ndërtimit ka ndryshime të dukshme.

Është kjo arsyeja se përse përdoret formula e modifikuar prej Gergely-Lutz; si formulë më e thjeshtë dhe që merr në konsideratë deformimin e armaturës në vend të vlerës së nderjeve të përdorura më parë.

$$w = 0,076\beta(E_s \varepsilon_s) \sqrt{d_c A} \quad (3.32)$$

$$\beta = \frac{h - k_d}{d(1 - k)} \quad (3.33)$$

$$\varepsilon_f = \frac{f_f}{E_f} \quad (3.34)$$

$$d_c = h - d$$

Ku:

w , Gjërësia maksimale e plasaritjeve në sipërfaqen e poshtme të elementit, në mm,

f_t , Deformimi në armaturë, në Mpa,

A , Sipërfaqja e zonës së shtypur të betonit, simetrike me armaturën punuese, mm²,

d_c , largësia ndërmjet skajit të tërhequr të prerjes së betonit deri në qendrën e rëndesës së shufrës më të afërt, mm,

β , Raporti ndërmjet distancës nga aksi neutral deri tek skaji më i tërhequr i seksionit tërthor të betonit dhe distancës nga aksi neutral deri tek qendra e rëndesës së armatures.

s , Distanca ndërmjet shufrave të zonës të shtypur dhe asaj të tërhequr, mm,

k_b , Koeficienti i adhezionit (lidhshmërisë hekur-beton)

k , Koeficienti i vendodhjes të aksit neutral.

3.4.5.6. Koeficienti i aderencës ose lidhshmërisë të shufrave FRP me betonin " k_b "

Sipas formulave fillestare paraparë në ACI 318-95 dhe atyre të modifikuara të Gergely-Lutz-it koeficienti k_b i aderencës merr vlera të ndryshme si më poshtë:

$k_b = 1$, për shufra FRP që kanë sjellje të ngjashme me shufrat e çelikut,

$k_b > 1$, për shufrat FRP që kanë lidhshmëri (adezion) më të dobët se shufrat prej çeliku të zakonshëm,

$k_b < 1$, për shufrat FRP që kanë lidhshmëri (adezion) shumë më të mirë se shufrat prej çeliku të zakonshëm.

Koeficienti i aderencës ose lidhshmërisë së armaturës dhe betonit k_b ndryshon nga 0.6 deri 1.72, me një vlerë mesatare prej 1.10, i cili ndryshon në varësi të llojit të shufrave FRP, fabrikës prodhuese, llojit të fibrave, llojit të rrëshirës dhe sipërfaqes së shufrës.

Sipas ACI 440-1R-06, në mungesë të të dhënave të vlerësimit, vlera e k_b mund të supozohet si 1.40.

Sipas formulave të Gergely-Lutz-it, varësia ndërmjet gjerësisë së hapjes së të plasurave dhe sipërfaqes të seksionit tërthorë dhe gjerësisë në nivelin e shufrave përforcuese është në përpjestim të drejtë me marëdhënien e deformimit të shufrave përforcuese dhe nivelit të deformimeve në sipërfaqe.

Parametra të rëndësishëm janë: nderja në shufrat përforcuese të betonit dhe madhësia e shtresës mbrojtëse; gjegjësisht sipërfaqja e betonit që e rrethon çdo shufër, ndërsa diametri i shufrave nuk vlerësohet si një faktor me rëndësi të veçantë.

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \leq I_g \quad (3.38)$$

I_e është momenti i Inercise efektive

Nëqoftëse do t'i referohemi një rasti ku elementët janë të përforcuara me shufra FRP, atëherë meqenëse shufrat FRP tregojnë një sjellje lineare deri në këputje, ky ekuacion për këtë lloj armimi ofron vetëm rezultate të përafërta. Ka qenë kjo arsyeja që ky ekuacion është dhënë në formë të modifikuar në formulën (3.39.):

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \beta_d I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \leq I_g \quad (3.39)$$

Kjo shprehje vlen vetëm nëse momenti i aplikuar M_a është më i madh ose i barabartë me momentin që shkakton lindjen e plasaritjeve M_{cr} . Faktori β_d sipas standardeve ACI 440-1R-06 jepet me shprehjen:

$$\beta_d = \frac{1}{5} \left(\frac{\rho_f}{\rho_{fb}}\right) \leq 1,0 \quad (3.40)$$

3.5.1. Deformimet afatgjata në strukturat me shufra të përforcuara me fibra FRP

Llogaritja e deformimeve afatgjata nga tkurrja dhe deformkoha Δ (Shringage and Creep) mund të përcaktohen nga barazimi:

$$\Delta(cp + sh) = \lambda(\Delta_i)_{sus} \quad (3.41)$$

$$\lambda = \frac{\xi}{1 + 50\rho'} \quad (3.42)$$

Ku ρ' paraqet faktorin e rezistencës në shtypje të shufrave dhe në rastin e FRP është i barabartë me 0 (zero), sepse kontributi i shufrave FRP në shtypje nuk merret në konsideratë, çka bën që barazimi të marrë trajtën $\lambda = \xi$. Faktori ξ ka vlera që variojnë nga 0.46 për shufrat AFRP dhe GFRP, deri në 0.53 për CFRP. Në rastet e shkatërrimit të elementit për shkak të betonit vlerat e tij ndryshojnë në rritje, përkatësisht 0.75 për kohën $t=1$ vit, deri në 0.58 për $t=5$ vite. Janë këto testime dhe analiza statistikore respektive që kanë shpënë në zgjedhjen e rekomanduar të faktorit të modifikimit në vlerën 0.6. Në këtë rast formula që shpreh llogaritjet për deformimet afatgjate merr trajtën:

$$\Delta(cp + sh) = 0,6\xi(\Delta_i)_{sus} \quad (3.43)$$

3.5.2. Nderjet e lejuara nga deformkoha

Me që nga rrjedhja dhe lodhja e materialit nën ndikimin e ngarkesave ndodhin në një diapazon elastik të diagramit punues, llogaritja e tyre mund të bëhet nga analiza lineare (elastike) e përshkruar në figurën e mëposhtme (Fig. 3-12). Për të evituar shkatërrimin e elementit të armuar me FRP nga rrjedhja, rezistenca e këtyre elementeve ($f_{f,s}$), nën ndikimin e ngarkesave afatgjata të përhershme dhe të përkohshme duhet të jetë më i vogël se nderjet e lejuara nga rrjedhja për shufrat përkatëse FRP (Tab. 2.3.).

M_s = Momenti nga të gjitha ngarkesat afatgjata

$$f_{f,s} = M_s \frac{n_f d(1-k)}{I_{cr}} \quad (3.44)$$

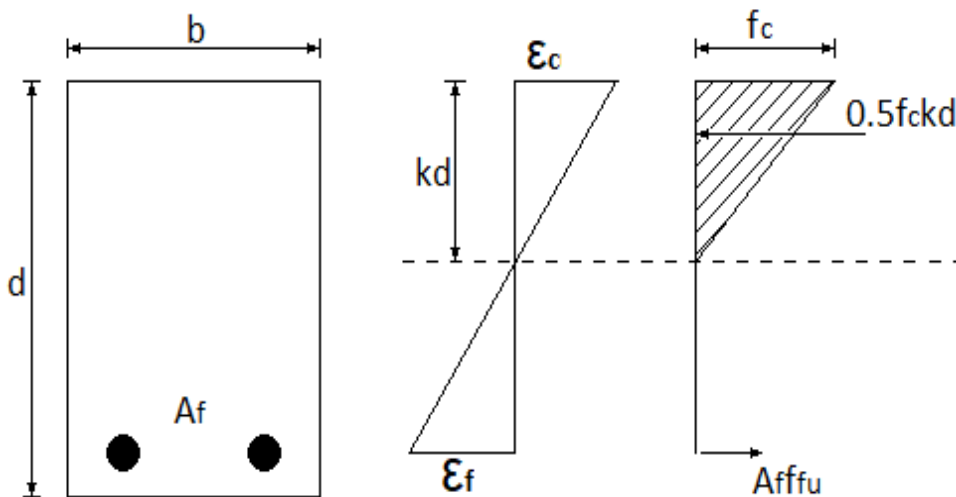


Figura. 3.12. Analiza lineare për llogaritjen e sforcimeve nga deformkoha dhe lodhja nën ndikimin e ngarkesave

3.5.3 Nderjet e lejuara nga lodhja

Nëse në elementet e armuara me FRP paraqitet lodhja atëherë vlerat e sforcimit në FRP nukduhet të kalojnë vlerat si në tabelen e mësipërme, (Tabela 2.3.). Nderjet në FRP mund të kalkulohet duke përdorur ekuacionin e mësipërm vetëm se vlera e momentit M_s është e barabartë me të gjitha ngarkesat afatgjate plus momentin maksimal nga ngarkesa ciklike.

3.5.4. Rezistenca në prerje e prerjes tërthore

Gjatë përdorimit të shufrave FRP për pranimin e forcave në prerje evidentohen nje numer problemeve të cilat nuk duhet neglizhuar:

- FRP-të kanë vlera relativisht të vogla të modulit të elasticitetit,
- FRP-të kanë rezistencë të lartë në tërheqje.
- Rezistenca në tërheqje e pjeses së harkuar të FRP, është më e vogël se e pjeses së drejtë të shufrës.
- FRP-të, kanë rezistencë të vogël në prerje.

Dimensionimi i prerjeve të armuara me armatur FRP nga ndikimi i forcave transversale, bëhet mbi parimin e nderjeve të lejuara. Faktori i reduktimit i dhënë nga ACI 318 për reduktimin e kapacitetit në prerje për prerjet e armuara me armaturë konvencionale, pranohen të njëjta edhe për Armim me armaturë FRP.

Aftësia mbajtëse në prerje e betonit V_c , që si armim përdor shufrat FRP mund të llogaritet me shprehjen

$$V_c = \frac{2}{5} \sqrt{f'_c} b_w c \quad (3.45)$$

Ku $c=k_d$ dhe k paraqet koeficientin e thellësisë së aksit neutral

Rezistenca në prerje V_f e pranuar nga stafat FRP të vendosura normal ndaj aksit neutral mund të kalkulohet me shprehjen:

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fv} d}{s} \quad (3.46)$$

$$f_{fv} = 0,004 E_f \leq f_{fb} \quad (3.47)$$

Hapi i stafave të shufrave FRP llogaritet sipas barazimit:

$$\frac{A_{fv}}{s} = \frac{A_{fv} - \phi V_c}{\phi f_{fv} d} \quad (3.48)$$

Kur stafat FRP janë të pjerrëta nën një kënd të caktuar vlen shprehja:

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fv} d}{s} (\sin \alpha + \cos \alpha) \quad (3.49)$$

Kur forca transversale V_u kalon gjysmën e aftësisë mbajtëse të prerjes ndaj këtyre lloj forcave $0.5V_c/2$. Ky kusht është për të mbrojtur apo ndaluar thyerjen nga forcat transversale kur paraqiten formacionet e plasaritjeve.

$$A_{fv,\min} = \frac{50b_w s}{f_{fv}} \quad (3.50)$$

3.5.5. Plasaritjet sipas Eurocode 2 të adaptuara për shufra FRP

Shkaktarët e plasaritjeve janë të ndryshëm varësisht nga periudha që shfaqen.

Plasaritjet e para paraqiten kur momenti tejkalon momentin kritik, apo në rastin kur tejkalohehen nderjet e betonit në tërheqje ku me rëndësi të veçantë është gjërësia e plasaritjes.

Sipas autorëve të ndryshëm konkludimet në vazhdim janë disa nga vetitë kryesore që i karakterizojnë plasaritjet.

-Shtresa mbrojtëse ka një efekt shumë të rëndësishëm.

-Gjërësia e plasaritjeve është në funksion të gjërësisë ndërmjet plasaritjeve deri në një kufi.

-Gjërësia e plasaritjeve dhe distanca ndërmjet plasaritjeve ndryshon nga mënyra e ngarkimit të elementit dhe kryesisht kanë shpërndarje paralele.

-Gjërësia e plasaritjeve është në funksion të deformimeve dhe mund të ndodhë të kenë një varësi lineare.

Deformimet dhe plasaritjet te elementet e armuara me shufra FRP janë më të mëdha se te elementet e armuara me shufra çeliku, kjo për arsye sepse shufrat FRP kanë modul më të ulët të elasticitetit dhe lidhje adhezionale më të dobët me betonin se armature konvencionale. Duke u bazuar në pikat e lartëcekura konstatojmë që shprehjet për plasaritje në rastet e armimit me shufra FRP janë të njëjta si në rastin e armimit me shufra të çelikut, por do të ndryshojnë vetëm vlerat karakteristike të koeficientëve.

$$w_{cr} = \beta s_{rm} \varepsilon_{sm} \quad (mm) \quad (3.51)$$

$$\beta = 1.3$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s \left[1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right]}{E_s} \quad (3.52)$$

Ku:

s_{rm} = Distanca mesatare, përfundimtare ndërmjet plasaritjeve.

ε_{sm} = Deformimi kryesor në armaturë.

$\beta_1 = 1.0$ për shufrat me sipërfaqe të brinjëzuara që sigurojnë adhezion të mirë.

$\beta_1 = 0.5$ për shufrat me sipërfaqe të lëmuar, pa brinjëzim.

$\beta_2 = 1.0$ për ngarkesa afatshkurtër.

$\beta_2 = 0.5$ për ngarkesa të përhershme ose ngarkesa ciklike.

$k_1 = 0.8$ për shufrat që sigurojnë adhezion të mirë me betonin.

$k_1 = 1.6$ për shufrat me sipërfaqe të lëmuar.

$k_2 = 0.5$ për elementet që punojnë në përkulje.

$k_2 = 1.0$ për elementet që punojnë në tërheqje të pastër.

$$s_{rm} = 50 + 0,25k_1k_2 \frac{d}{\rho_r} \quad (3.53)$$

Shprehjet e dhëna sipas Eurocode 2 për plasaritje bazohen në sjelljen dhe ndryshimin e deformimeve në prerje, me ç'rast mund të merren direct si të gatshme për elementet e armuara me shufra FRP. Gjithashtu sjellja e shufrave FRP mund të simulohet në ekuacionin e lartëcekur mjaft mirë përmes koeficientëve β_1 β_2 që marrin në konsiderim karakteristikat adhezionale dhe kohëzgjatjen e ngarkesës.

3.5.6. Fillimi i lindjes të plasaritjeve në beton.

Dimensionimi i prerjeve të betonit të armuara me armaturë konvencionale ose me shufra FRP bëhet në mënyrë të thjeshtë duke iu atribuar vetive të materialeve përbërëse, ku forca në shtypje i takon betonit dhe forca tërheqëse armaturës. Mirëpo një gjë e tillë te prerjet e armuara në mënyrë klasike është e pa mundur në praktikë për arsye të thellësisë së aksit neutral i cili është mbi shufrat e zonës së tërhequr dhe kjo bënë që një pjesë të forcës tërheqëse ta pranoj betoni në zonën e tërhequr.

Gjithsesi paraqitja e plasaritjeve është një normalitet por gjithmonë në përmasat e normales dhe përmbajtes së rregulloreve gjegjëse. Tejkalimi i hapjes së limituar të plasaritjeve mund të jetë një rrezik për elementin dhe konstruksionin në përgjithsi duke bërë të mundur zhvillimin e korrozionit të armaturës. Për këtë arsye hapja e plasaritjeve është kufizuar në funksion të kushteve të ambientit dhe natyrës së konstruksionit. Kufizimi i hapjes së plasaritjeve caktohet në sipërfaqe

të betonit duke marrur në konsideratë llojin e shufrave për armim, diametrin e tyre dhe vetitë tjera adhezionale. Gjithashtu për llogaritjen e distancës dhe hapjes së plasaritjeve merret parasysh edhe ndikimi i trashësisë së shtresës mbrojtëse deri te armature gjatësore c' , si dhe distanca ndërmjet armaturave.

$$c' = c_0 + \varnothing_s$$

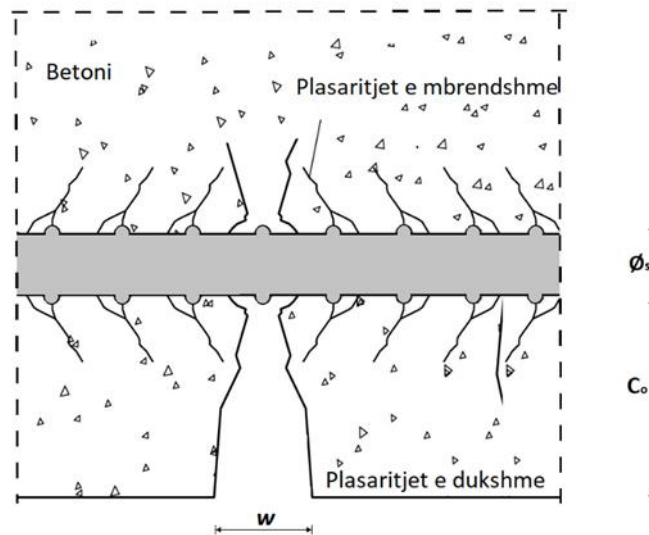


Figura. 3.13. Përcaktimi i gjërësisë së hapjes së të plasurave, w

Shfaqja e plasaritjeve do të jetë gjithmonë e pranishme te elementet e armuara në mënyrë klasike me shufra çeliku ose FRP, ndërsa gjendja pa plasaritje mund të arrihet vetëm me anë të paranderjes pasi që vetëm në këtë mënyrë arrihet te diagrami punues ku komplet prejrrja e betonit i nënshtrohet shtypjes ndërsa tërheqja i atribuohet çelikut apo kablllove paranderëse.

Parashikimi i plasaritjeve në beton është i mundur të bëhet nëse realizimi i prerjes bëhet në mënyrë të drejtë sipas llogaritjes dhe në këtë mënyrë plasaritjet e llogaritura do të jenë ekuivalente me ato të shfaqura në praktikë.

Plasaritjet në beton mund të paraqiten para kohës së parashikuar nëse:

- Ndikimit temperaturial të disfavorshëm.
- Nderjeve të mbrendshme të shkaktuara gjate procesit te ngurtësimit te betonit..
- Ndikimi i madh i tkurrjeve menjëherë pas betonimit.
- Vibrimi jo i përshtashëm.

Periudha e paraqitjes së plasaritjeve nga ndikimet e lartëcekura zakonisht ndodh në perudhën 10-24 orë pas betonimit.

Shkaktarët e plasaritjeve në fazën fillestare pas betonimit e deri në ngurtësimin e plotë të betonit.

- Çimentoja e përdorur duhet të ketë hidratim të ulët dhe sasia e përdorur duhet të jetë në optimumin e poshtëm duke tentuar të përdoret agregat i definuar mirë.
- Mirëmbajtja e betonit me ujë pas procesit të betonimit është një nga faktorët që sjellin deri te paraqitja e plasaritjeve nga tkurrja plastike.
- Ambienti ku betonohet mund të jetë shkaktar i plasaritjeve të shpejta dhe për këtë duhet të merret parasysh temperatura duke marrur masat e duhura nga ky ndikim.
- Ftohja e parakohshme duhet të bëhet patjetër në rastet e betoneve masive sikur që janë objektet hidroteknike, por në rastet e betonimeve të zakonshme si rasti i betonimeve të trajeve për ekzaminime, një gjë e tillë është e pa arsyeshme.

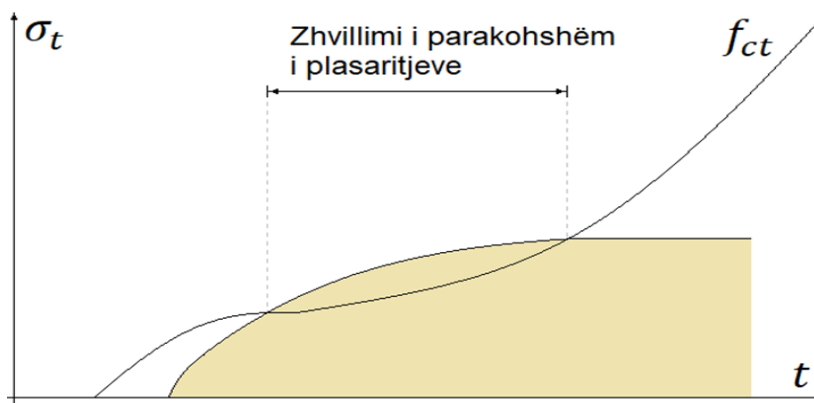


Figura 3.14. Zhvillimi i plasaritjeve në beton)

f_{ct} = Rezistenca në tërheqje

σ_t = Nderjet e mbrendshme në beton

t = Koha e ngurtësimit

Diagrami i paraqitjes së plasaritjeve ndryshon në funksion të përqindjes së armimit ku në përgjithësi manifestohen katër raste më specifike.

Faza I,

Gjendja e elementit pa plasaritje, në rastet kur shtangësia EI nuk ndërron ndërsa raporti i sforcimeve dhe defromimeve është linear.

Faza II,

Gjendja e paraqitjes së plasaritjeve ku shtangësia EI ndërron në funksion të ngarkesës, ndërsa raporti sforcim-defromim nuk është linear.

a. Faza e paraqitjes së plasaritjeve fillestare (mikroplasaritjet).

b. Faza e stabilizimit të plasaritjeve.

Faza III,

Gjendja e nderjeve që përfshin fazën e parë nga stabilizimi i plasaritjeve deri në fillimin e rrjedhshmërisë të armatures. Kjo fazë në seksionet me shufra të përforcuara me fibra FRP, veçanërisht për ato me shufra CFRP është shumë më e shkurtër në krahasim kur armimi është me shufra çeliku. Kjo, për arsye të sjelljes lineare të varësisë së deformimeve nga nderjet për shufrat FRP gjatë veprimit të ngarkesave. Në gjendjen përfundimtare të formimit të plasaritjeve, shtangësia EI mbetet e pandryshuarri derisa fillon gjendja plastike e çelikut.

Faza IV,

Gjendja e këputjes, e cila karakterizohet me një rënie të mënjuhershme të shtangësisë, ku shfaqet një rritje e njëkohëshme e nderjeve dhe për rrjedhojë e zgjerimit të plasaritjeve.

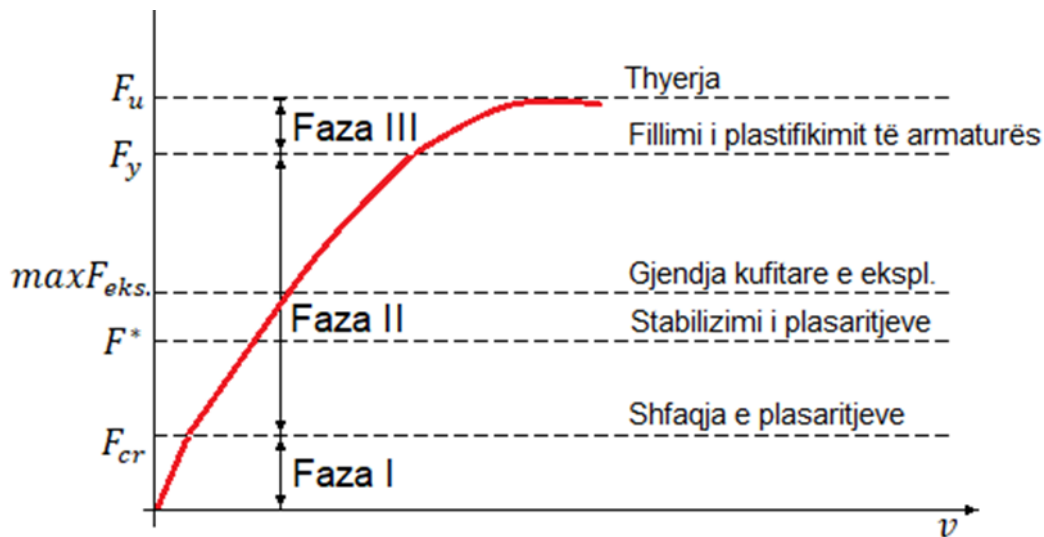


Figura 3.15. Fazat e zhvillimit të plasaritjeve në funksion të ngarkesës “ M ” dhe uljeve “ v ” në varësi të zhvendosjeve v dhe ngarkesave F .

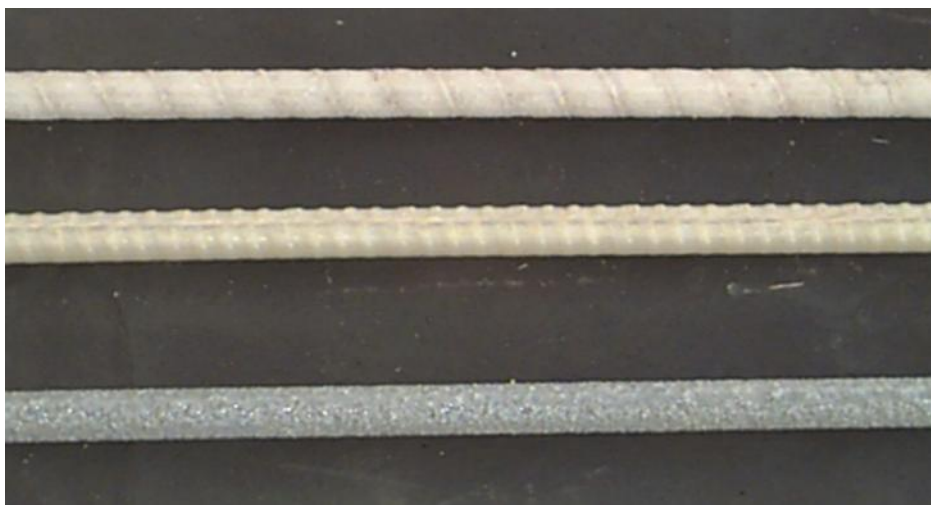


Figura 3.16. Ndikimi i sipërfaqes së armatures në zhvillimin e plasaritjeve

Në rastin e seksioneve me përqindje të lartë të shufrave të armimit, paraqitja e plasaritjeve në fazën e parë është më e vonuar; sepse momenti kritik që shkakton paraqitjen e plasaritjeve të para është shumë më i madh se në rastin e seksioneve me përqindje armimi të ulët. Edhe shkatërrimi me thyerje në rastet e një mbi armimi ndodh pa u krijuar një gjendje plastike e rritur e shufrave të çelikut; ndërsa e kundërta ndodh në shufrat e përforcuara me fibra FRP. Thyerja, në këtë rast shfaqet kryesisht me shkatërrim të betonit në zonën e sipërme dhe pastaj të këputjes të shufrave FRP prej tërheqjes. Është kjo arsyeja pse kërkesa e një lidhje apo aderence të shufrave FRP me betonin do të kontribuonte shumë në sjelljen e elementëve me seksion armimi minimal. Figura 3.17., tregon marrëdhëniet ndërmjet nderjeve që lindin në armaturë prej ngarkesave dhe përqindjes të armimit.

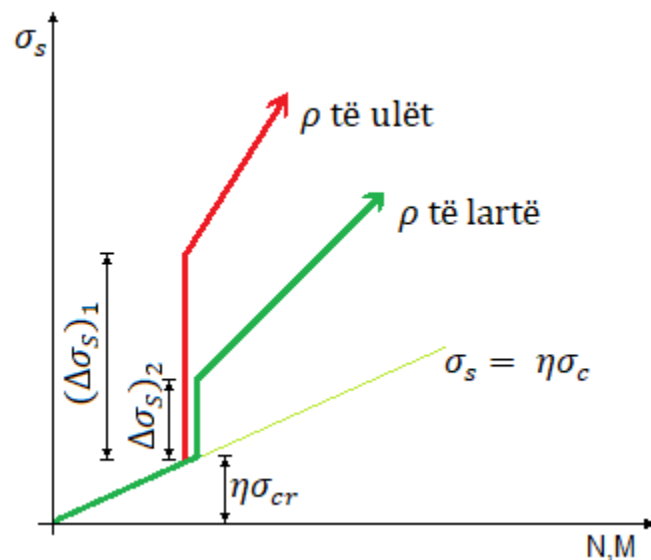


Figura 3.17. Diagrami për seksionet e armuara me armim minimal dhe ato të mbi armuara

3.5.7. Uljet sipas Eurocode 2 të adaptuara për shufra FRP

Elementet e armuara me shufra FRP shfaqin ulje dhe plasaritje më të theksuara se ato në elementëve të armuara me shufra të çelikut; kjo për arsye tashmë të njohura siç janë moduli i elasticitetit i shufrave FRP (më i ulët se i shufrave të çelikut) dhe aderenca me betonin.

Karakteristikat mekanike të shufrave FRP, ku dallojmë rezistencën e lartë në tërheqje dhe raportin nderje-deformim linear deri në këputje, na shpjen te përkulja e pastër dhe paraqitjes së plasaritjeve në relacion linear moment-lakore dhe ngarkesë-deformim deri në thyerje.

Adaptimi i Eurocode 2 për shufra FRP mund të bëhet i ngjashëm si te elementet e armuara me shufra të çelikut, por duke marrur parasysh karakteristikat e shufrave FRP.

Llogaritja e deformimeve afatshkurta dhe afatgjata “ δ ” për elementet e armuara me shufra të çelikut

$$\delta = \delta_2 \cdot \xi + \delta_1 (1 - \xi) \quad (3.54)$$

$$\xi = 1 - \beta \left(\frac{M_{cr}}{M_{max}} \right)^m \quad (3.55)$$

ξ = Raporti ndërmjet momentit kritik dhe momentit maksimal nga i cili lindin plasaritjet

Vlerat e rekomanduara për koeficientët sipas Eurocode 2: $\beta=1$; $m=2$

Koeficientët e lartëcekur vlejné për rastet e armimit me shufra të çelikut, ndërsa në rastet e armimit me shufra FRP koeficientët β dhe m duhet të caktohen në mënyrë eksperimentale, përveç në rastet kur shufrat FRP kanë adhezion të ngjajshëm me shufrat prej çeliku

3.6. Llogaritja e uljeve sipas Eurocode 2, nëse nuk plotësohet kushti i uljeve

Sipas Eurocode 2 trajtohen dy raste

- Ulja pa plasaritje (Faza e parë)
- Ulja me plasaritje (Faza e dytë); Forca e betonit në tërheqje nuk merret parasyshë.

Elementet e betonit të nënshtruara në ngarkesa përkulëse pritët të kenë një ulje, ulje nga e cila mund të vijné plasaritjet në beton në zonën e tërhequr. Vlera e përgjithshme e deformimeve që mund të jetë ulje, lakushmëri ose rrotullim mund të llogaritet me anën e shprehjeve:

$$\alpha = \xi \alpha_{II} + (1 - \xi) \alpha_I \quad (3.56)$$

Ku:

α = Vlera e deformimit të konsideruar (kurbëzim ose rrotullim).

ξ = Faktori i shpërndarjes së plasaritjeve te prognoza e gjërësisë së plasaritje ($\xi=0$ për prerje tërthore të pa plasaritura).

$$\xi = \left[1 - \beta \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] \quad (3.57)$$

α_I = Vlera e deformimit për prerje pa plasaritje.

α_{II} = Vlera e deformimit për prerje me plasaritje.

β = Koeficienti që merr parasyshë kohëzgjatjen e ngarkesës statike ose ngarkesës ciklike

mbi deformimin mesatar.

$\beta = 1.0$ Për ngarkesa afatshkurta.

$\beta = 0.5$ Për ngarkesa të vazhdueshme ose ngarkesa ciklike.

$\left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)$ mund të zëvendësohet me $\left(\frac{M_{cr}}{M}\right)$ për rastin në përkulje të pastër, ose me $\left(\frac{N_{cr}}{N}\right)$ për tërheqje të pastër.

M_{cr} = Momenti i plasaritjes.

N_{cr} = Forca e plasaritjes.

Nderjet në armaturë llogariten sipas shprehjes:

$$\sigma_s = \frac{M_{sd}}{A_{sl,z}} + \frac{N_{sd}}{A_s} \leq f_{yk} \quad (3.58)$$

$$N_{sd} = \gamma_g N_g + \gamma_q N_q \quad (3.59)$$

$$M_{sd} = \gamma_g M_g + \gamma_q M_q \quad (3.60)$$

*Për llogaritjen e uljeve (deformimeve), koeficientët merren $\gamma_g = \gamma_q = 1.0$

A_{sl} = Armatura që punon në tërheqje,

z - Krahu i forcave të brendshme,

Nderjet në armaturën tërheqëse nga të cilat paraqiten plasaritjet e para:

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{A_{sl}z} \quad (3.61)$$

Momenti i seksionit tërthorë pa paraqitjen e plasaritjeve të para në beton:

$$M_{cr} = \frac{f_{ct,m} b h^2}{6} \quad (3.62)$$

$$f_{ct,m} = 0,33 \sqrt[3]{f_{ck}^2} \quad (3.63)$$

Ku:

$f_{ct,m}$ = Rezistenca e betonit në tërheqje,

Deformkoha e betonit, si veti e rëndësishme e strukturave dhe elementëve të përforcuara me shufra FRP, mund të shprehet edhe nëpërmjet moduli të elasticitetit:

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi_{(t,t_0)}} \quad (3.64)$$

$$E_{cm} = 22 \left[\frac{(f_{cm})}{10} \right]^{0,3} \quad (3.65)$$

Ku:

E_{cm} , Moduli tangencial i elasticitetit,

$\varphi_{(t,t_0)}$, Koefficient i deformkohës së betonit,

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} \quad \text{për } t = 0 \quad (3.66)$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{eff}} \quad \text{për } t = \infty \quad (3.67)$$

Në vijim, po paraqesim dhe disa varësi për përcaktimin e kubëzimit prej uljeve:

$$\frac{1}{r_m} = (1 - \xi) \frac{1}{r_I} + \xi \frac{1}{r_{II}} \quad (3.68)$$

Ku:

$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{sd}}{E_{c,eff} I_{id}}$ uljet për gjendjen e nderur I, pa të plasura

$\frac{1}{r_{II}} = \frac{\varepsilon_s}{d - x'}$ uljet për një gjendje të nderur II, me plasaritje

Llogaritja e deformimeve relative në shufrat FRP,

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Momenti në përkulje në seksionin e plasaritur përcaktohet nga barazimi:

$$I_{id} = \frac{b \cdot h^3}{12} + (\alpha_c - 1)(A_{s1} + A_{s2}) \left(\frac{d - d_2}{2} \right)^2 \quad (3.69)$$

Ku:

$$\alpha_c = \frac{E_s}{E_{c,eff}} \quad (3.70)$$

Përkulja për shkak të tkurrjeve të betonit llogaritet sipas barazimeve për gjednjët e nderura I dhe

II:

$$\frac{1}{r_{rc,I}} = \frac{\varepsilon_{cs,\alpha} \alpha_c S_I}{I_I} \qquad \frac{1}{r_{rc,II}} = \frac{\varepsilon_{cs,\alpha} \alpha_c S_{II}}{I_{II}}$$

Ndërsa vlera mesatare e përkuljes mesatare jepet nga shprehja:

$$\frac{1}{r_{cs,m}} = (1 - \xi) \frac{1}{r_{cs,I}} + \xi \frac{1}{r_{cs,II}} \quad (3.71)$$

Nëqoftëse i referohemi një seksioni tërthorë me prerje drejtkëndeshe do të kemi:

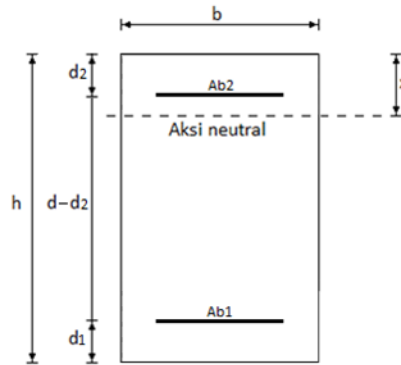


Figura 3.18. Karakteristikat gjeometrike për seksionin drejtkëndor

$$S_I = (A_{s1} - A_{s2}) \left(d - \frac{h}{2} \right)$$

$$I_I = I_{id}$$

$$S_{II} = A_{s1}(d - x) - A_{s2}(x - d_2)$$

$$I_{II} = \frac{bx^3}{3} + \alpha_c A_{s1}(d - x)^2 + (\alpha_c - 1)A_{s2}(x - d_2)^2$$

Formula që paraqet deformimin nga përkulja në elementët e strukturat e përforcuara me shufra FRP për shkak të ngarkesave, deformkohës dhe tkurrjeve të betonit do të jetë:

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{cs,m}} \quad (3.72)$$

$\frac{1}{r_m}$ vlera e përkuljes nga tkurrja e betonit

Ulja e përgjithshme llogaritet prej funksionit për përkulshmëri dhe kushtet konturore duke zgjidhur vlerat e konstatnteve të këtij integrali:

$$f_{tot} = \iint \frac{1}{r_{tot,x}} dx + c_1 x + c_2 \quad (3.73)$$

Për trarë që kanë lartësi të pandryshuar, mund të adoptojmë edhe formulën e thjeshtuar të uljeve në pikën ku momenti arrin vlerën maksimale të tij:

$$f_{tot} = \frac{kl^2}{r_{tot}} \quad (3.74)$$

Ku:

k , është një koeficient që varet kryesisht nga skema statike e zgjedhur dhe ngarkesat, l , hapsira dritë e elementit.

3.6.1. Standardet Kanadeze për dimensionim CSA (ISIS)

Standardet Amerikane ACI-440.1R-06, ashtu edhe standardet Kanadeze ISIS, për dimensionimin e elementeve të armuara me FRP bazohen në gjendjen kufitare të shfrytëzimit. Për dimensionimin e strukturave të ndërtuara nga betoni i armuar me FRP, kombinimi i ngarkesave bëhet në të njëjten mënyrë sikurse te konstruksionet beton-arme (CSA A23.3-94). Në rastet e dimensionimeve të urave duhet ti referohemi standardit (CSA-S6-00). Për më tepër duhet kontrolluar dhe plotësuar të gjitha kushtet e gjendjes kufitare të shfrytëzimit. Për dallim prej standardeve Amerikane ACI-440.1R-06, standardet kanadeze ISIS, në metodologjinë e tyre të dimensionimit përfshijnë edhe faktorin rezistues të materialit. Ky faktorë merret 0.6 për ndërtesa, 0.65 për beton të parapërgatitur dhe 0.75 për ura. Faktori rezistues i materialit për FRP varet nga lloji i shufrave (fibrave nga të cilat përbehen shufrat), ngarkesave afatgjata dhe kushtet e qëndrueshmërisë. Vlerat e këtij faktori merren të jenë 0.8 për CFRP, 0.6 për GFRP përkatësisht 0.4 për AFRP.

Manuali për dimensionim në përkulje sipas standardeve Kanadeze ISIS bazohet në disa hipoteza si në vijim

- Shufrat FRP janë materiale ideale elastike.
- Thyerja e një prerje mund të ndodh si pasojë e thyerjes së betonit ose këputjes së shufrave.
- Deformimi i betonit gjatë thyerjes në shtypje është 0.0035%.
- Deformimet në beton në cfardo niveli janë proporcionale me distancën ndaj aksit neutral,

prerja tërthore mbetet e rrafshët edhe pas deformimit (Hipoteza e Bernulit).

-Diagrami punues i betonit në shtypje është parabol dhe rezistenca e betonit në tërheqje nuk merret parasysh.

-Mes FRP dhe Betonit ekziston lidhje perfekte.

-Rezistenca e shufrave FRP në shtypje nuk merret parasysh.

3.6.1.1. Format e thyerjes

Prerja e armuar me FRP mund të vije deri te thyerja në tri mënyra të cilat janë: (1) Forma e balancuar, (2) Thyerja për shkak të shtypjes dhe (3) Thyerja për shkak të tërheqjes. Thyerja për shkak të shtypjes është më e favorshme sepse është më pak e “dhunshme” se sa thyerja për shkak të tërheqjes. Kjo e fundit paraqet thyerje të brishtë për nga natyra sepse këputja e shufrave FRP ndodh papritmas dhe “pa paralajmërim”. Thyerja për shkak të tërheqjes ndodh atëherë kur përqindja e armimit të prerjes tërthore është më e vogël se sa përqindja e balancuar. Në formën e balancuar të thyerjes pritet të thyerja e betonit dhe këputja e shufrave të ndodhin afërsisht në të njëjtën kohë dhe duhet theksuar se kjo formë e armimit të beton-FRP, ndryshon në mënyrë drastike nga ajo beton-çelik. Vlera e thellësisë së aksit neutral c_b të rasti i armimit të balancuar ρ_{frpb} mund të llogaritet me shprehjen:

$$\frac{c_b}{d} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{frpu}} \quad (3.75)$$

Përqindja e balancuar e armimit përcaktohet nga kushtit i ekuilibrit të forcave ku C dhe T paraqesin rezultanten e përgjithshme të forcave në shtypje respektivisht në tërheqje.

$$C=T \quad (3.76)$$

Ku:

$$C = \alpha_1 \phi_c f'_c \beta_1 c_b d$$

$$T = \phi_{frp} \varepsilon_{frpu} E_{frp} A_{frp}$$

Në ekuacionin e mësipërm α_1 dhe β_1 janë parametra të diagramit punues dhe caktohen me shprehjet e paraqitura më poshtë. Këta parametra të diagramit punues kërkohet që të zëvendësojnë diagramin punues parabol në shtypje (σ - ε) të betonit (Fig. 3-19) me një diagram punues ekuivalent drejtkëndësh. Këta parametra janë të njëjtë me ata të standardet Kanadeze CSA a23.3-94/CHBDC rekomandojnë për prerje tërthore të armuara me çelik. Ndërsa parametrat tjerë ϕ_c ; ϕ_{frp} ; ε_{frpu} ; E_{frp} dhe A_{frp} paraqesin respektivisht, faktorët e rezistencës të betonit, deformimet

përfundimtare në këputje të shufrave FRP, modulën e elasticitetit dhe sipërfaqen e prerjes tërthore të shufrave FRP.

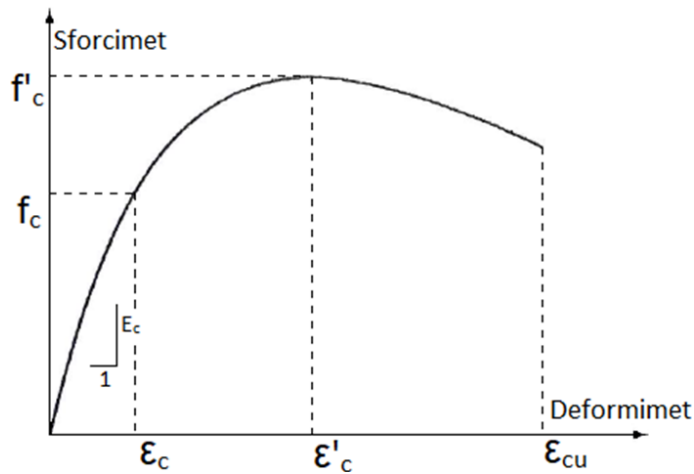


Figura 3.19. Varësia e nderjeve σ nga deformimet ϵ relative për betonin

$$\alpha_1 = 0,85 - 0,0015 f'_c \geq 0,67$$

$$\beta_1 = 0,97 - 0,0025 f'_c \geq 0,67$$

Duke përdorur kushtin e ekuilibrit të forcave dhe duke aranzhuar pastaj matematikisht shprehjen përqindja e balancuar e armimit ρ_{frpb} merr formën:

$$\rho_{frpb} = \frac{A_{frpb}}{bd} = \alpha_1 \beta_1 \frac{\phi_c}{\phi_{frp}} \frac{f'_c}{f_{frpu}} \left(\frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{frpu}} \right) \quad (3.77)$$

3.6.1.2. Rezistenca në përkulje

Në varësi të armimit minimal ose të mbi armuar të seksionit tërthorë, ekuacionet që aplikohen për të përcaktuar rezistencën e seksionit tërthorë me shufra të përforcuara me fibra FRP janë të ndryshme për sa i përket standardeve Kanadeze ISIS. Meqenese kemi dy forma te mundshme të shkatërrimit të elementëve nga qendrueshmëria; thyerja për shkak të këputjes së shufrave prej tërheqjes dhe shkatërrimit të betonit nga nderjet shtypëse. Shkatërrimi nga shtypja, ndodh atëhere kur përqindja e armimit rezulton të jetë më e lartë se përqindja e balancuar e armimit, dmth kur ndodh që $\rho_{frp} > \rho_{frpb}$. Në këtë lloj seksioni, shkatërrimi i betonit ndodh në zonën e shtypur përpara se të shufrat FRP të këputen, siç tregohet në figurën në vijim (Figura. 3.20.). Deformimi i betonit nga këputja e shufrave $\epsilon_{cu} = 0.0035\%$ dhe shpërndarja jolineare e nderjeve në beton

është zëvendësuar me një paraqitje punuese drejtkëndësh, ekuivalent me anë të parametrave α_1 dhe β_1 . Vlerat e komponentëve për një gjendje të ekuilibruar të forcave janë:

$$C = \alpha_1 \phi_c f_c' \beta_1 c b$$

$$T = \phi_{frp} A_{frp} f_{frp}$$

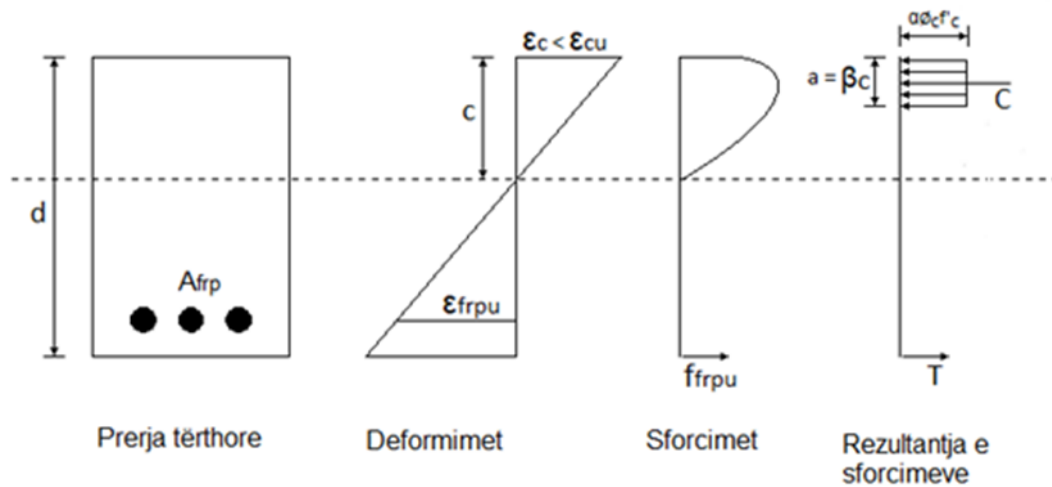


Figura 3.20. Diagrami punues për betonin, rasti i armimit minimal

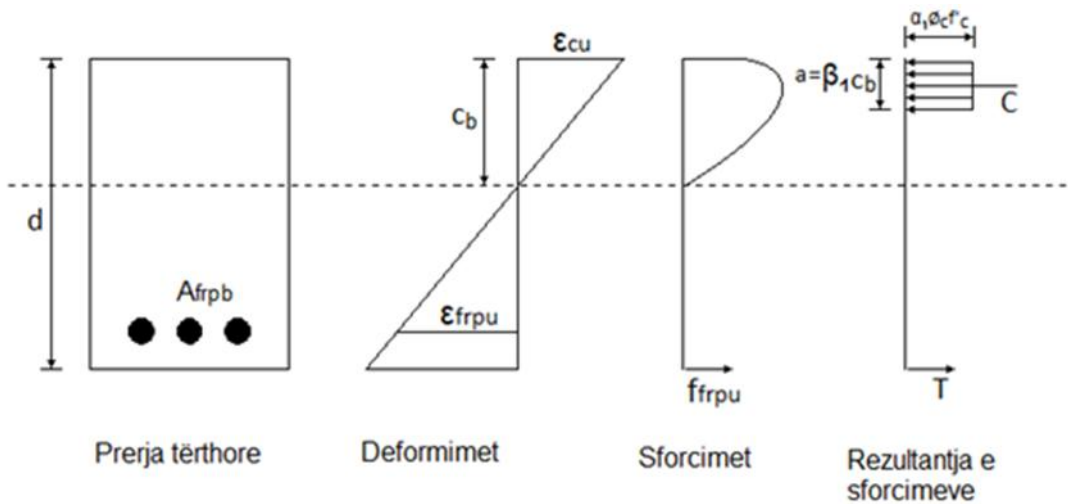


Figura 3.21. Diagrami punues për betonin, rasti i armimit të balancuar

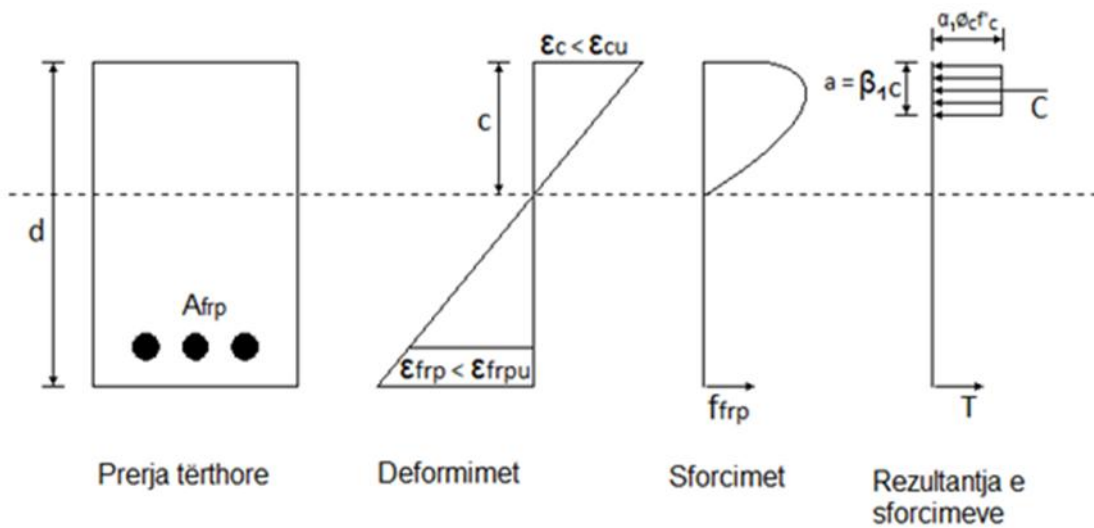


Figura 3.22. Diagrami punues për betonin, rasti i mbiarmimit të seksionit

Në ekuacionin e mësipërm f_{frp} është e panjohur, sepse në rasin e një seksioni të mbiarmuar me shufra FRP nuk e arrijn vlerën e deformimit maksimal ϵ_{frpu} . Nëse zëvendësojmë në ekuacion rezultatet e forcave në shtypje dhe tërheqje do të kemi, lartësia e diagramit punuesi betonit do të jetë:

$$a = \beta_1 c = \frac{\phi_{frp} A_{frp} f_{frp}}{\alpha_1 \phi_c f_c b} \quad (3.78)$$

Duke iu referuar kompatibilitetit të deformimeve (Figura 3.22), deformimi në shufrat FRP në momentin e shkatërrimit të seksionit tërthorë do të përcaktohet nga barazimi:

$$\frac{\epsilon_{frp}}{\epsilon_{cu}} = \frac{d - c}{c} \rightarrow \epsilon_{frp} = \epsilon_{cu} \frac{\beta_1 d - \beta_1 c}{\beta_1 c} \quad (3.79)$$

Nderjet në shufrat e përforcuara me fibra FRP mund t'i llogarisimt nëpërmjet dy shprehjeve që vijojnë; në të dy rastet parametrat d dhe c paraqesin lartësinë statike të seksionit, respektivisht lartësinë e aksit neutral.

$$f_{frp} = E_{frp} \epsilon_{frp} = E_{frp} \epsilon_{cu} \frac{\beta_1 d - a}{a} \quad (3.80)$$

Duke zëvendësuar lartësinë e diagramit punues “a” në shprehjen e mësipërme dhe duke rregulluar matematikisht shprehjen gjejmë nderjet e shufrave FRP në momentin e këputjes:

$$f_{frp} = \frac{1}{2} E_{frp} \varepsilon_{cu} \left[\left(1 + \frac{4\alpha_1 \beta_1 \phi_c f_c'}{\rho_{frp} \phi_{frp} E_{frp} \varepsilon_{cu}} \right)^{1/2} - 1 \right] \quad (3.81)$$

Pasi kemi llogaritur nderjet në shufrat FRP f_{frp} dhe lartësinë e diagramit punues "a", rezistenca e përgjithshme e prerjes përcaktohet me shprehjen:

$$M_r = \phi_{frp} A_{frp} f_{frp} \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3.82)$$

3.6.1.3. Thyerja nga tërheqja

Është në dukuri që paraqitet kur shufrat me fibra FRP këputen para se të ndodh shkatërrimi i betonit në zonën e shtypur. Ky rast, ndodh atëhere kur përqindja e armimit rezulton të jetë më e vogël se sa përqindja e balancuar e armimit për rastin e seksionit korrespondues, pra kur $\rho_{frp} < \rho_{frpb}$. Në këtë rast deformimet e betonit nuk arrijnë vlerat maksimale të tyre prej $\varepsilon_{cu} = 0.0035$, ndërsa deformimet në shufrat me fibra FRP i gjejmë me shprehjen:

$$\varepsilon_{frp} = \varepsilon_{frpu} \frac{f_{frpu}}{E_{frp}} \quad (3.83)$$

Me këtë rast duhet të veçojm faktin që parametrat e diagramit punues të betonit α_1 dhe β_1 , nuk mund të përdoren në rastet kur deformimet e betonit në zonën e shtypur nuk arrijnë vlerat maksimale, dmth këto shprehje vlejnë vetëm në rastin kur $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$. Ndërsa, kur shkatërrimi do të vi prej tërheqjes së shufrave, vlerat e këtyre parametrave përcaktohen me lakoret respektive të dhëna në vijim (Figura 3.23.). Të dy këto lakore japin vlerat e parametrave α dhe β në funksion të deformimeve të betonit për klasa të ndryshme të tij. Kështu, duke njohur klasën e betonit dhe një supozim fillestarë të pozicionit të aksit neutral nga lakoret gjejmë vlerat e tyre. Nga ana tjetër rezultatet e forcave në shtypje dhe atyre në tërheqje, pëcakëtohen me ekuacionet që vijojnë.

$$T = \phi_{frp} A_{frp} f_{frp} = \phi_{frp} A_{frp} \varepsilon_{frp} E_{frp} \quad (3.84)$$

$$C = \alpha \phi_c \beta c b, \quad (3.85)$$

Në rastin kur $C=T$, themi se këto dy komponentë kënaqin dhe kushtin e ekuilibrit të forcave të brendshme.

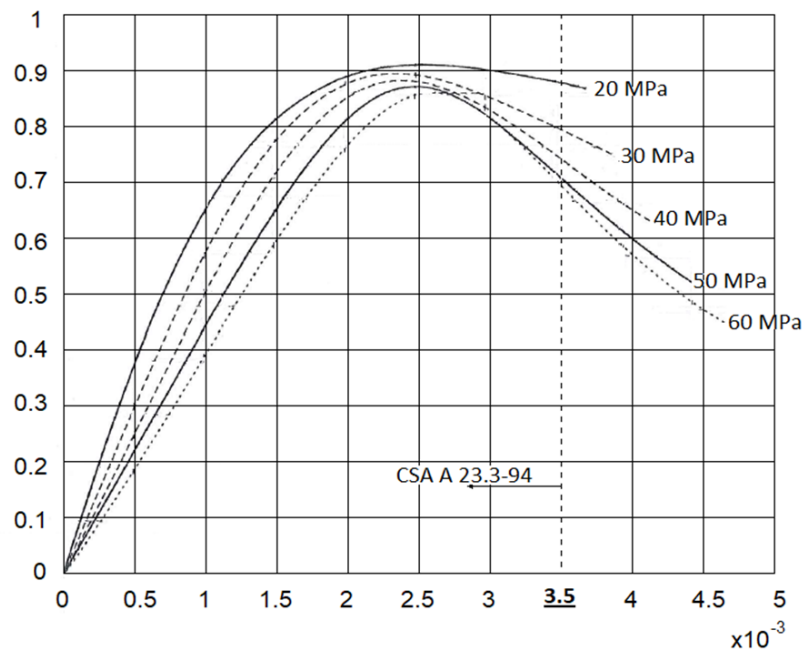


Figura. 3.23. Lakoret për përcaktimin e vlerave në rastin e thyerjes nga tërheqja

Në rast se nuk plotësohet kushti i ekuilibrit të forcave të brendshme, atëherë supozohet një vlerë tjetër e pozicionit të aksit neutral, përsëritet procedurapër gjetjen e parametrave të diagramit punues të betonit. Ky proces përsëritet deri sa të plotësohet kushti i sipërm. Vlerat e përmirësuara të aksit neutral në secilin përafrim mund të përcaktohen nga shprehja:

$$C = \frac{\phi_{frp} A_{frp} \varepsilon_{frpu} E_{frp}}{\alpha \phi_c f'_c \beta b} \quad (3.86)$$

Ku parametrat α dhe β përcakëtohen sipas deformimeve të betonit, atëherë nga ekuacioni i kompatibilitetit të deformimeve në vijim përcaktojmë:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{f_{pu}} \frac{c}{d - c} \quad (3.87)$$

Pasi të jenë gjetur vlerat e aksit neutral c dhe vlerat respektive të α dhe β , fitohen vlerat e rezultanteve të forcave në shtypje dhe në tërheqje. Përfundimisht, aftësia mbajtëse e seksionit tërthorë do të gjendet nga formula:

$$M_r = \phi_{f_{rp}} A_{f_{rp}} f_{f_{rp}} \left(d - \frac{\beta_c}{2} \right) \quad (3.88)$$

3.6.1.4. Rezistenca minimale në përkulje

Për të siguruar që elementi nuk do të shkatërrohet menjëherë pas shfaqjes të plasaritjeve, duhet të kujdesemi që prerja tërthorë t'a armojmë të paktën me një përqindje armimi minimale. Për të plotësuar këtë kusht, sugjerohen tri kritere sipas standardeve ISIS Canada Design Manual no.3. Këto kushte apo kritere janë paraqitur në vijim.

1. Thyerja e një elementi menjëherë pas paraqitjes së plasaritjeve që ndodh pa paralajmërim duhet evituar. Do të thotë që, aftësia mbajtëse M_r e një elementi të përforcuar me shufra FRP duhet të jetë të paktën 50% më e madhe se vlera e momentit për të cilin lindin të plasurat M_{cr} , dmth:

$$M_r \geq 1,5M_{cr} \quad (3.89)$$

Momenti për të cilin paraqiten plasaritjet jepet me ekuacionin:

$$M_{cr} = \frac{f_r I_t}{y_t} \quad (3.90)$$

Ku:

$$f_r = 0.6\sqrt{f'_c} \quad (3.91.)$$

f_r = Moduli në këputje, MPa,

f'_c = Rezistenca e betonit për mostrat cilindrike,

l_t = Momenti i modifikuar i inercisë, ku y_t është distanca prej pjeses më të skajshme në tërheqje e deri në aksin neutral.

3.6.1.5. Gjendja kufitare e shfrytëzimit

Sa herë që formatojmë një zgjidhje për elementët e përforcuara me shufra FRP, të cilët punojnë në përkulje, janë plasaritjet dhe deformimet ato që vendosin të tejkalohet gjendja e shfrytëzimit. Analiza në këto raste është disa planëshe, sepse pavarësisht se rezistenca e shufrave FRP është disa herë më e lartë se ajo e shufrave konvencionale prej çeliku ndodh me modulën e elasticitetit; pasi vlera e këtij moduli për shufrat FRP ka rezultuar me vlerë më të vogël në krahasim me shufrat prej çeliku. Ky fakt bën që plasaritjet dhe deformimet për elementët e përforcuara me FRP të jenë më të mëdha se në elementet e strukturat e armuara me çelik. Për të dy rastet (plasaritjet dhe deformimet) ka të dhëna për kufijtë e shfrytëzimit sipas standardeve Kanadeze ISIS.

3.6.1.6. Plasaritjet

Ndryshe prej elementeve të armuara me shufra çeliku, në të cilat kontrolli i hapjes së të plasurave bëhet së pari, për të mbrojtur dhe shmangur korrozionin e armaturës dhe së dyti për efekte estetike; ndërsa në rastin e përdorimit të shufrave FRP; kontrolli i plasaritjeve kryhet së pari, për arsye estetike por edhe për arsye që të mos lejoj këputjen e shufrave FRP. Shfaqja e plasaritjeve në rastet e përdorimit të shufrave FRP nuk ndikon në fenomenin e ndryshkjes së shufrave FRP, pasi ato nuk e kanë shqetësim këtë fakt. ISIS, një normativë mjaft rigoroze për kontrollin e plasaritjeve sugjeron që, lidhur me plasaritjet nga deformimet në tërheqje të shufrave FRP vlerat e tyre nuk duhet të kalojnë 0.2%. Në rastëse shfaqen plasaritje, atëherë në llogaritje duhet t'i referohemi momentit efektiv të inercisë, që trajtohet në paragrafin që vijon më poshtë

$$\varepsilon_{frps} \leq 0.002$$

Ekzistojnë dy mënyra të kontrollit të deformimeve:

- a) Llogaritja direkte, duke përdorur ekuacionet e përmendura më lart; ku momenti i inercisë zëvendësohet me momentin efektiv të inercisë, dhe
- b) Metoda indirekte e kontrollit të deformimeve, duke kufizuar në vlera të pranueshme raportin gjerësi/lartësi të elementit apo të strukturës.

3.6.1.7. Momenti efektiv i inercisë

Me shfaqjen e plasaritjeve në elementët që i nënshtrohen veprimit të ngarkesave, llogaritjet e deformimeve i referohen momentit efektiv të inercisë. Ky faktor, I_e , gjëndet me shprehjen e mëposhtme, e nxjerrë nga analiza e kontrollit statistikor mbi eksperimentime të strukturave të përforcuara me shufra FRP.

$$I_e = \frac{I_t I_{cr}}{I_{cr} + \left(1 - 0,5 \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^2\right) (I_t - I_{cr})} \quad (3.93)$$

Ku

I_{cr} - Momenti i inercisë për seksionin e plasarit, [mm^4], duke mos marrë në konsideratë punën e betonit në tërheqje,

I_t - Momenti i inercisë për seksionin e pa plasarit, [mm^4],

M_{cr} - Momenti për të cilin shfaqen plasaritjet, [Nmm],

M_a - Momenti prej forcave të jashtme për të cilin llogariten uljet, [Nmm]

$$I_{cr} = \frac{bc^3}{3} + n_{frp} A_{frp} (d - c)^2 \quad (3.94)$$

Ku:

b - është gjerësia e zonë së shtypur,

d - është lartësia efektive e seksionit,

n_{frp} - shpreh raportin E_{frp}/E_c ,

Atëherë, Pozicioni i aksit neutral mund të përcaktohet nga barazimi:

$$c = d \left[-n_{frp} \rho_{frp} + \sqrt{(n_{frp} \rho_{frp})^2 + 2n_{frp} \rho_{frp}} \right] \quad (3.95)$$

Ku:

n_{frp} - është raporti E_{frp}/E_c

3.6.1.8. Lartësia minimale e pozicionit të aksit neutral

Për të kontrolluar në mënyrë indirekte uljen e një elementi të përforcuar me shufra FRP, raporti ndërmjet gjatësisë së traut dhe lartësisë h për trarë të armuar me shufra FRP, nuk duhet të tejkalojë vlerën kufitare të raportit ndërmjet gjatësisë dhe lartësisë së traut të armuar me shufra të çelikut dhe raportit ndërmjet deformimeve të çelikut dhe shufrave FRP.

$$\left(\frac{l_n}{h}\right)_{frp} = \left(\frac{l_n}{h}\right)_c \left(\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{frp}}\right)^{\alpha d} \quad (3.96)$$

l_n , Gjatësia e elementit,

H , lartësia e seksionit tërthore,

E_s , Deformimi maksimal i lejuar në seksionet e armuara me shufra çeliku,

E_{frp} , Deformimi maksimal i lejuar në prerjet e armuara me shufra FRP,

α_d , Koeficienti për prerjen tërthore drejtkëndëshe, i pranuar me 0.5.

Shtojmë se, sipas CSA A23.3-94, raporti $(l_n/h)_s$ është raport ekuivalent edhe për seksionet tërthore të përforcuara me armaturë konvencionale.

3.6.1.9. Deformimet e strukturave sipas ISIS Canada

Në kapitujt e mësipërm, kemi trajtuar gjërësisht shufrat FRP, të cilat shfaqin varësi lineare ndërmjet nderjeve dhe deformimeve, sepse për këto shufra mungojnë deformimet plastike, pra e kundërta siç ndodh me shufrat e çelikut në tërheqje. Gjithashtu, për shkak të modulit të ulët të elasticitetit shufrat FRP, sidomos grupet AFRP dhe GFRP karakterizohen me kurbaturë pranë këputjes.

Sipas rekomandimeve të ISIS Canada, projektimi sipas gjëndjes së shfrytëzimit, jepet nga shprehja e më që vijon, ku DF është kurbëzimi, i cili, është i lartë, sidomos në elementë që punojnë përkulje dhe kanë përqindje të ulët të armimit.

Shprehja në vazhdim rekomandohet të përdoret për trarët që kanë seksion drejtkëndësh ose për trarët me prerje në formë T-je.

$$F = \left(\frac{\psi_u M_u}{\psi_s M_s} \right) \geq 4 \quad (3.97)$$

3.6.1.10. Shtresa mbrojtëse për elementë me shufra FRP

Funksionet e shtresës mbrojtëse të betonit janë disa, por ndër më kryesoret mund të veçojmë: të parandalojë plasaritjet për shkak të zgjerimit termik, të mbufatjes së betonit prej lagështisë dhe të mbrojtjes së shufrat FRP nga veprimi i zgjatur i zjarrit. Sipas ISIS Canada udhëzimet për projektim, kërkesat e shtresës mbrojtëse për trarë dhe pllaka që janë të ekspozuar ndaj mjedist të brendshëm ose atij të jashtëm paraqiten në tabelën e mëposhtme.

Tabela 3.4. Trashësia e shtresës mbrojtëse te trarët dhe pllakat e përforcuara me shufra FRP

Kushtet e ekspozimit	Trarët	Pllakat
Ambient i brendshëm	$2.5d_b^*$ ose 40 mm	$2.5d_b$ ose 20 mm
Ambient i jashtëm	$2.5d_b$ ose 50 mm	$2.4d_b$ ose 30 mm

3.6.1.11. Hapësira ndërmjet shufrave të përforuara me fibra FRP

Për vendosje më të lehtë të betonit në vepër dhe për një shkallë të lartë të homogjenitetit të betonit në struktura, si dhe për të shmangur plasaritjet prej ndryshimit të temperaturave, rekomandohet të zbatohet minimumi i hapsirës ndërmjet shufrave të përforuara me fibra FRP. Largësitë maksimale ndërmjet shufrave të një rendi variojnë nga:

- 1.4 herë diametri i shufrës gjatësore,
- 1.4 herë më shumë se madhësia e kokrrës maksimale të agregatit.
- 30 mm.

3.7. Aplikimi i kodeve dhe kufizimi i gjendjes SLS

Nderjet dhe zhvillimi i tyre në elementet e betonit të përforuara me shufra FRP varen nga shumë disa faktorë: sjellja e elementit nën veprimin e ngarkesave afatgjata dhe afatshkurta, tkurrja dhe deformkoha e betonit , karakteristikat teknike të betonit dhe të shufrave të përforuara me fibra FRP, etj.

Gjithashtu, gjatë këtij punimi e kam parë me interes të paraqes një përshkrim të shkurtër edhe për mënyrën e reagimit të elementëve apo strukturave me shufra FRP nën veprimin e ngarkesave afatshkurtra. Trajtimin e tyre do ta bëjmë në mënyrë të ngjashme me elementet e armuara me shufra konvencionale edhe sa i takon rezultateve që përshkruajnë kode të ndryshme, por që në fund japin rezultate të njejta.

Gjatë shfrytëzimit të strukturave, respektivisht elementëve mbajtëse, tentohet që nderjet të kufizohen në fazën elastike dhe llogaritjet t'i përgjigjen analizës për një situatë elastike. Kodet dhe normativat që kemi trajtuar në këtë punim kanë paraparë kufizimin e nderjeve në shtypje të betonit, me qëllim që nëqoftëse do të ndodhë rritja e nderjeve, ajo do të shpie në sjelljen jolineare të betonit, gjë e cila, nënkupton lindjen e deformkohës së betonit dhe si pasojë edhe shkatërrimin e plotë të saj.

Kufizimi i nderjeve në shtypje sipas Eurocode 2 bëhet në varësi mjedisit rrethues dhe kombinimit të ngarkesave sipas tabelës në vijim.

Tabela 3.5. Kombinimi i ngarkesave në funksion të ambientit rrethues

Ambienti	Kombinimi i ngarkesave	
	Rrallë	Vazhdimisht
Shumë agresiv	0.5	0.4
Pak agresiv	0.6	0.45

Kur shfaqen plasaritjet me gjëresi relativisht të mëdha, është e pashmangëshme që mos ndikojnë në aftësinë mbajtëse tyre, pra si pasojë edhe në zvoglimin e shtangësisë të seksionit në të elementit. Është kjo arsyeja pse disa nga kodet e projektimit të strukturave rekomandojnë të kufizohen nderjet në armaturën e çelikut, si p.sh Eurocodi 2, i cili sugjeron që nderjet në armaturën konvecionale σ_s të mos tejkalojnë 80% të rezistencës në rrjedhshmëri. Por, sa cituam për shufrat prej çeliku nuk mund t' pranojmë edhe për rastin kur përdoren shufra FRP. Gjithsesi, edhe pse shufrat FRP janë mjaft të mbrojtura nga ndikimet e mjedisit, ato në gjendjen kur nderjet arrinë vlera të mëdha, mund të pësojnë mikro-plasaritje, duke krijuar kushte për depërtimin e lagështisë dhe keqësimin e vetive prej mjedisit alkalin të betonit. Më poshtë, tabela 3.6, paraqitet kufizimet e nderjeve në shufrat FRP, sipas ACI 440.R (ACI.2006).

Tabela 3.6. Kufizimi i nderjeve në shufrat FRP sipas ACI 440.R [ACI(2006)]

Lloji i fibrave	GFRP	AFRP	CFRP
Nderjet e lejuara	$0.20 \cdot f_{fu}$	$0.30 \cdot f_{fu}$	$0.55 \cdot f_{fu}$

Ndërsa, sipas ISIS Canada (2001) faktori reduktues F , ndryshon në varësi të ngarkesave të përkohshme dhe llojit të shufrave që përdoren.

Tabela 3.7. Faktorët reduktues “F” dhe “ ϕ_{frp} ”, sipas ISIS Canada [2001]

Lloji i shufrave FRP	Faktori i rezistencës (ϕ_{frp})	Faktori reduktues "F"		
		Raporti I ngarkesave, të përhershme/ përkohshme		
		0.5	1.0	2.0
CFRP	0.8	1.0	0.9	0.9
AFRP	0.6	1.0	0.6	0.5
GFRP	0.4	1.0	0.9	0.8

3.7.1. Kufizimi i uljeve sipas kodeve të ndryshme

Strukturat e përforcuara me shufra FRP shfaqin deformime më të mëdha në krahasim me strukturat me armaturë konvencionale. Uljet, p.sh. Uljet e lejuara në elementet e përforcuara me shufra FRP janë funksion i natyrës të elementëve, pozicionit të tyre të veçantë në struktura, tipi i ngarkesave dhe rëndësia e strukturës, etj. Në dimensionimin e elementëve me armaturë konvencionale sipas Eurocodit 2, për gjendjen SLS, kontrolli i deformimeve për një lartësi të seksionit tërthorë në raport me hapsirën dritë është njëri prej tyre.

Eurocodi 2 dhe normativa ACI 318-05, deformimet i kufizojnë në varësi të strukturës dhe të hapsirës dritë. Disa prej këtyre kufizimeve paraqiten në tabelën në vijim

Tabela 3.8. Kufizimi i uljeve për strukturat e përforcuara me FRP sipas kodeve të ndryshme

Kodet	Lloji i strukturës	Kufizimet
Eurocode 2	Kushti estetik dhe funksional- (Ngarkesa kuasi-permanente)	L/250
	Kushti për elemente jostrukturale të lidhura apo të inkastruara (Ngarkesa kuasi-permanente)	L/500
ACI318- 05	Qëndrueshmëri ndaj deformimeve të mëdha	L/240
	Nuk kërkohet qëndrueshmëri ndaj deformimeve të mëdha	L/480
	Pllakat horizontale	L/360
	Nënkulmet	L/180

Në rastet e përdorimit të shufrave FRP, kufizimi i deformimeve të elementëve të armuara me armaturë konvencionale (çelik), mund të adaptohet edhe për elementët e përforcuara me shufra FRP, mirëpo duhet të tregohemi të vëmëndshëm lidhur me varësia ndërmjet lartësisë së seksionit tërthorë dhe hapsirës dritë, e cila nuk mund të ekuivalentohet. Kjo për arsye se një prej karakteristikave bazë të përdorimit të shufrave FRP është reduktimi i seksionit tërthorë të elementëve dhe rritja e hapsirës dritë të tyre.

3.7.2. Kufizimi i plasaritjeve sipas kodeve të ndryshme

Në rastet kur në struktura kërkohet mbrojtja ndaj korozionit atëherë tentohet që të shmanget kontakti i armaturës me ujin. Një gjë e tillë arrihet duke krijuar një gjendje pa plasaritje ose kufizimin e tyre në masë të caktuar. Një kërkesë e tillë mund të jetë edhe për arsye estetike të strukturës.

Në rastet kur kemi armimin me shufra FRP, madhësia e plasaritjeve nuk është me rëndësi për shkak se shufrat FRP janë mjaft rezistente ndaj korozionit. Në këto raste madhësia e plasaritjeve duhet të kontrollohet për arsye estetike ku sipas kushteve të shfrytëzueshmërisë arrijmë deri te një kufizim i tyre.

Kodet e ndryshme të projektimit për gjendjen SLS japin shprehjet për kufizimet e plasaritjeve që ndërlidhen me sasinë dhe mënyren e armimit të elementeve. Vlerat maksimale të gjërsisë së plasaritjeve te elementet e armuara me shufra FRP dhe të çelikut sipas kodeve të ndryshme janë dhënë në tabelën në vijim.

Sipas të dhënave të tabelës, vërejmë se gjërësia e plasaritjeve për elementët e përforcuara me shufra FRP lejohet të jetë në kufij më të mëdha se në rastin e trarëve me armim konvencional, për shkak të rezistencës shumë më lartë të shufrave FRP në raport me prej çeliku.

Kodet e ndryshme japin qasje të ndryshme në lidhje me kufizimet e plasaritjeve. ISIS Canada (2001) fokusohet në deformimin e shufrave FRP që të mos kaloj vlerën 2000 micro-strains, kjo pasi që me kufizimin e deformimit paralelisht kufizojmë edhe plasaritjet.

Tabela 3.9. Kufizimi i gjërsisë së plasaritjeve të elementëve me shufra FRP

Kodet	Materiali	Ekspozimi	Gjërësia e plasaritjes, w_{max}
Eurocode 2	Çelik	Mjedis Normal	0.3 mm
Model code 1990	Çelik	Mjedis Normal	0.3 mm
JSCE (1997)	FRP	-	0.5 mm
ACI 440.1R-06 CSA (2002)	FRP	Mjedis Brenda	0.7 mm
		Mjedis Jashtë	0.5 mm
ISTuctE (1999)	FRP	Mjedis Brenda	0.3 mm
		Jashtë	> 0.30 mm

Sipas CAN/CSA-S806-02, kërkohet që madhësia “z” të mos tejkaloj vlerën 45000 N/mm për element që janë të ekspozuar në mjedise të brendshme dhe 38000 N/mm për rastet kur ato i nënështrohen ekspozimit të një mjedisi jashtë. Madhësia e emërtuar “z”, nëse i referohemi normës ACI 318-05 i pranuar për shufrat e çelikut, ka vlera të ngjashme por me disa modifikime kur aplikohen struktura të përforcuara me shufra FRP.

$$z = k_b \frac{E_s}{E_f} f_f \sqrt[3]{cA} \quad (3.98)$$

k_b , Koeficienti i lidhjes të betonit me shufra FRP, 1.0÷1.3; për shufra të deformatuara ka vlerën 1.20

E_s , Moduli i elasticitetit të çelikut,

E_f , Moduli i elasticitetit të betonit,

f_f , Rezistenca kufitare në tërheqje e shufrave FRP,

c , Shtresa mbrojtëse e betonit deri tek qendra e rëndesës së shufrave të armimit,

A , Sipërfaqja efektive e betonit në zonën në tërheqje, e cila rrethon shufrat në tërheqje

Sipas ACI 440.1R-06(2002) dhe ACI 318 (2005) kontrolli ndaj plasaritjeve të elementëve të ekspozuar në mjedise normale, kryhet kufizuar vetëm hapsirën midis shufrave të armimit, pa qenë e nevojshme llogaritja e madhësisë “z”.

3.7.3. Reagimi Jolinear i strukturave të përforcuara me shufra FRP

Puna e një elementi konstruktiv, p.sh. një tra i thjeshtë kur mbi të veprojnë ngarkesa, para paraqitjes së plasaritjeve mund të vlerësohet sipas sjelljes së tij në fazë elastike, por për një vlerësim të përgjithshëm të sjelljes së këtij trau nga momenti i lindjes së plasaritjeve të para dhe deri në shkatërrimin e tij, kërkohet të kryhet një analizë më e gjerë në faza jolineare.

Varësia jolineare e nderjeve dhe deformimeve të betonit janë paraparë nga formula (3.97) e dhënë më poshtë. Njëjtë edhe raporti parabolik për sforcim-deformim të betonit i dhënë nga autori Tan et al. (2001), me përjashtim rastet kur sforcimet në beton janë marrë $\varepsilon_{cu} = 0.002$. Gjithsesi sforcimet në beton përgjatë gjithë këtij punimi janë marrë $\varepsilon_{cu} = 0.003$.

$$\frac{f_c}{f_c'} = 2,0 \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cu}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cu}} \right)^2 \quad (3.99)$$

Ku:

f_c , janë nderjet e betonit që i korenspondojnë deformimeve ε_c ,

Rezistenca në shtypje të betonit, referuar varësisë jolineare të nderjeve me deformimet, mund të llogaritet duke përdorur një diagram të ri të nderjeve për çdo fazë të ngarkesës.

Faktorët e diagramit që ndikojnë në gjendjen e nderur të betonit, mund të përcaktohen prej rezistencës në shtypje, bazuar në marrëdhënien jolineare nderje-deformim; të fituar nga diagrami punues ekuivalent.

Barazimet që vijojnë mund të përdoren për të gjetur rezistencën në shtypje dhe pikën e veprimit të ngarkesave.

$$\int_0^n f_c b dy = \alpha f_c' \beta n b \quad (3.100)$$

$$y_c = \frac{\int_0^n f_c b y dy}{\int_0^n f_c b dy} \quad (3.101)$$

Në vazhdim, janë dhënë formulat për një seksion drejtkëndësh për llogaritjen e vlerave të α_1 dhe β_1 , për rastin e diagramës të nderjeve.

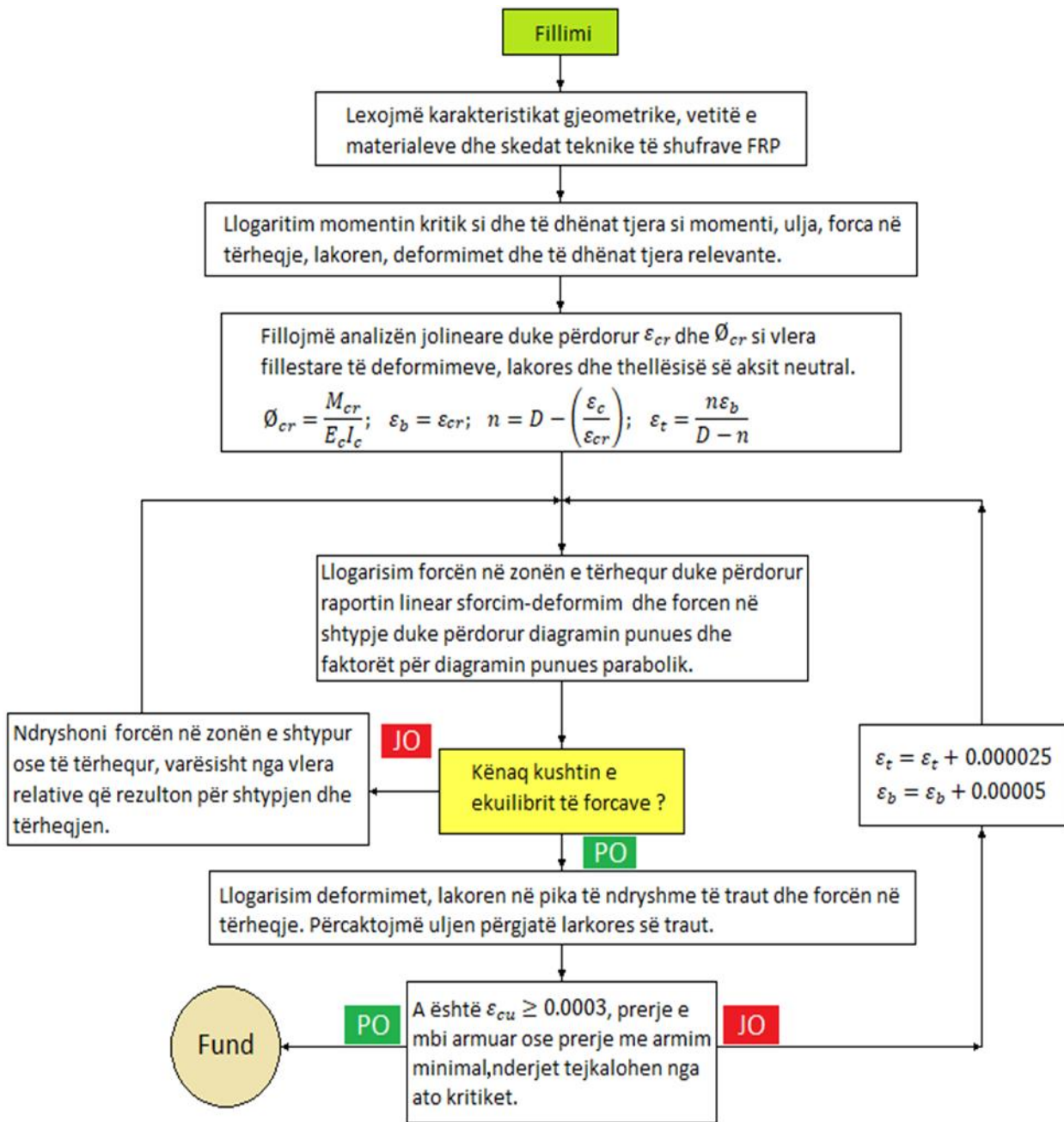
$$\alpha_1 \beta_1 = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_{cu}} - \frac{1,0}{3,0} \left(\frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_{cu}} \right)^2 \quad (3.102)$$

$$\beta_1 = \frac{4 - \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_{cu}}}{6 - \frac{2\varepsilon_t}{\varepsilon_{cu}}} \quad (3.103)$$

Ku:

ε_t , shpreh deformimin për shtypje maksimale të fibrave për një fazë ngarkimi

Procedura e projektimit në rastet e armimit me shufra CFRP dhe GFRP, duke marrur parasysh sjelljen lineare dhe jolineare.



KAPITULLI I IV-t

Projektimi dhe puna eksperimentale ne traret prej betoni te perforcuar me shufra FRP.

4.1 Puna eksperimentale

Puna eksperimentale e këtij punimi, ashtu siç e kemi cituar edhe në hyrje të disertacionit është realizuar në bashkëpunim me Departamentin e Materialeve në “Fakultetin e Ndërtimtarisë dhe Arkitekturës” të Universitetit “Hasan Prishtina” dhe Laboratorin e Materialeve IBMS në Prishtinë, Kosovë. Testimi i materialeve të çelikut (shufra çeliku të zakonshëm) të përdorura për armimin e trarëve eksperimental është kryer pranë Laboratorit Alb-Consult-2 në Tiranë dhe Uzinën e prodhimit të çelikut KURUM, Elbasan.

4.1.1. Përgatitja e mostrave dhe testimi i shufrave FRP në tërheqje në laborator

4.1.1.1. Të përgjithshme

Standardet amerikane ASTM dhe Udhëzimi për Projektimin dhe Ndërtimin e Strukturave të Betonit të armuara me shufra të përforcuara me fibra polimere CNR-DT-203/2006, trajton në mënyrë të detajuar procedurën e testimit të shufrave FRP në tërheqje, në cilën janë përcaktuar detyrimet dhe përgjegjësitë e palëve bashkevepruese. Kështu, nga ana e tyre, prodhuesit duhet të sigurojnë cilësinë e fibrave, matricave lidhëse, ngjitësit, kompozitet dhe trajtimin e tyre, duke shoqëruar çdo set prodhimi me çertifikatën e cilësisë. Projektuesi nga ana e tij, duhet të prezantoj qartë cilësinë dhe karakteristikat (gjeometrike, mekanike dhe fizike) të shufrave FRP, duke specifikuar, nëse është e nevojshme, kriteret e pranimit të shufrave FRP nga zbatuesi i punimeve si dhe për mostrat që do të merren dhe testet që do të kryhen. Është projektuesi ai që do të sugjeroj se cilat do të jenë testimet që do të kryhen; të gjitha karakteristikat mekanike dhe fizike apo një pjesë të atyre të raportuara nga prodhuesi në instruksionet e të dhënave teknike. Kontraktori ose nëkontraktorët do të sigurojnë shufrat FRP të treguara nga projektuesi përmes furnitorëve/prodhuesve, që garantojnë cilësinë e produkteve të tyre. Janë këta, që do të shoqërojnë produktet me instruksionet e duhura teknike të të dhënave, pra, si karakteristikat mekanike ashtu dhe ato fizike, mundësisht edhe me raportet e testit laboratorik. Gjthashtu, duhet të sigurojnë që produktet të jenë në përputhje me specifikimet e dhëna nga projektuesi; nëse materiali me kërkesat e treguara nuk është i disponueshëm, ata do të bien dakord me projektuesin për alternativa të tjera të zbatimit. Në fund, është drejtuesi dhe përgjegjësi i kantjerit të ndërtimit, i cili do të marrë vendimin për të pranuar produktet; nëpërmjet verifikimit të

karakteristikave të materialit me dizpozitat e projektuesit. Për këtë, së pari, do të kontrollojë origjinën e produktit të furnizuar në objekt; së dyti, meqenëse shufrat FRP janë të identifikuar nga prodhuesi me informacionin e nevojshëm për dallimin e tyre, ai duhet të kontrollojë karakteristikat fiziko-mekanike të produkteve duke përdorur raportet e testimi që janë dhënë nga prodhuesi. Drejtuesi i punimeve, varësisht nga rëndësia e zbatimit, mund të kërkojë teste laboratorike shtesë për të vlerësuar cilësinë e materialeve dhe përputhjen me vlerat e dhëna nga prodhuesi. Teste të tilla, do të kryhen në laboratorë me eksperiencë të provuar në fushën e materialeve FRP. Kriteret e pranimit mund të bazohen në devijimin maksimal të pranueshëm të rezultateve nga vlerat e marra gjatë prodhimit. Në një rast të tillë, është e nevojshme të sigurohet që procedurat e testit janë të njejta. Në disa raste, mund të kërkojnë teste për të vlerësuar vetitë mekanike dhe fizike të mostrave jo të trajtuar dhe të trajtuar për të marrë parasysh ndryshimin e temperaturës dhe lagështisë.

Laboratorët e provave duhet të demonstrojnë eksperiencë në testimet e produkteve FRP, të jenë të paisur me pajisjet e përshtatshme matëse dhe rregjistruese të testeve, të zbatojnë procedurat e standardeve specifike për produktet FRP, duke dhënë raporte të detajuara të testimi për pajisjet e përdorura dhe rezultatet e testit. Laboratori duhet të jetë i akredituar sipas S SHEN/ISO 17025:2017 për "Kërkesat e përgjithshme për kompetencën e laboratorëve të testimi dhe kalibrimit".

Mbikqyrësi i punimeve, nga ana e tij kontrollon cilësinë e produkteve që të jenë në përputhje me specifikimet e prodhuesit. Ai duhet të verifikojë që të gjitha materialet e përdorura janë pranuar nga drejtuesi i punimeve në kantjerin e ndërtimit, duke kontrolluar dhe rezultatet e testeve të kërkuara nga drejtuesi i ndërtimit, nëse ato janë të disponueshme.

4.1.2. Metoda për llogaritjen dhe përcaktimin e vetive gjeometrike të shufrave FRP

Metoda e mëposhtme e testimi, e dhënë në punim i referohet standardit ASTM D 6018 dhe ka për qëllim të përcaktojë sipërfaqen ekuivalente të seksionit tërthor të një shufre FRP.

Si rregull, sasia e numurit të mostrave për një kampion që do të merret në analizë është jo më pak se 5 (pesë), me gjatësi afërsisht 200 mm. Mostrat, që kanë diametër ≤ 7 mm duhet të jenë trajtuar paraprakisht për 40 orë në 23 °C me lagështi relative 50%, ndërsa ato shufra me një diametër më të madh se 7 mm do të trajtohen për 88 orë nën të njejtat kushte. Testimet do të kryhen me mostrat të cilat janë ruajtur në laborator për të paktën 24 orë para testimi, në kushte ambientale standarde (23 ± 3 °C dhe 50 ± 10% lagështi relative)

Testimi konsiston në zhytjen e mostrave të shufrave në një cilindër qelqi të shkallëzuar të mbushur me ujë, ose etanol nëse janë të pranishme flluska ajri në sipërfaqen e mostrave, dhe pastaj pasi

shufrat të zhyten plotësisht, matet rritja e volumit të lëngut. Cilindri i përdorur duhet të jetë me një lartësi të përshtatëshme që të zhytet e gjithë shufra, si edhe të sigurojë që nuk do të ketë derdhje pasi të zhytet kampioni. Ai, gjithashtu duhet të jetë i shkallëzuar me një gradient maksimal prej 10 ml. Për të përcaktuar sipërfaqen ekuivalente të seksionit tërthor të mostrave që testohen, A_p , do përcaktohet gjatësia mesatare e tij, l_p . Kjo e fundit, supozohet të jetë e barabartë me vlerën mesatare të tre matjeve të gjatësisë së mostrës; matjet kryhen duke rrotulluar shufrën me 120° për secilën matje. Matja do të kryhet duke përdorur kalibra të kalibruar me saktësi prej 0.025 mm. Pasi të jetë llogaritur gjatësia mesatare e mostrës të vetëm, l_p , sipërfaqja e tij ekuivalente e seksionit tërthor mund të vlerësohet duke përdorur shprehjen e mëposhtme:

$$A_p = \frac{V_1 - V_0}{I_p} \quad (4.1)$$

Ku:

V_0 dhe V_1 janë volumi në cilindër para dhe pas zhytjes të shufrës FRP, respektivisht.

Pasi të jenë llogaritur të gjitha sipërfaqet ekuivalente të seksionit tërthor, përcaktojmë vlerën mesatare të këtyre madhësive, A_b , e cila karakterizon gjeometrinë e shufrës. Diametri korespondues tregohet duke përdorur d_b . [30].

4.1.3. Metoda për llogaritjen dhe përcaktimin e vetive mekanike të shufrave FRP

Metoda e testimit që do të paraqesim më poshtë i referohet përcaktimit të vetive mekanike të një shufre kompozite FRP. Kërkesat ambientale të provave laboratorike janë të njëjta si edhe për testin e lartpërmendur, me kondita ambientale $23 \pm 3^\circ\text{C}$ dhe $50 \pm 10\%$ lagështi relative. Të paktën pesë mostra të një kampjoni të shufrave FRP janë gjithashtu të nevojshme edhe për këtë testim, të trajtuara sipas procedurës A të standardit ASTM 618. Shufrat duhet të ruhen për të paktën 24 orë në mjedisin e laboratorit para se të kryhet testimi.

Gjatësia e mostrave në për kampionët që do të testohen, l_p (gjatësia në mm), do të jetë në përputhje me kërkesat e mëposhtme:

$$l_p \geq 100 + 2l_a \quad (4.2)$$

$$l_p \geq 40d_b + 2l_a \quad (4.3)$$

duke konsideruar që l_a dhe d_b , janë gjatësia e ankorimit dhe diametri i shufrës, respektivisht, me këtë të fundit të llogaritur sipas paragrafit 4.1.1.2. Gjeometria e sistemeve të ankorimit dhe, veçanërisht,

gjatësia e tyre, l_a , do të garantojë që këputja e mostrave të ndodhë jashtë zonës të ankorimit, gjatësia e të cilës është e barabartë me, $l_p - 2 \cdot l_a$.

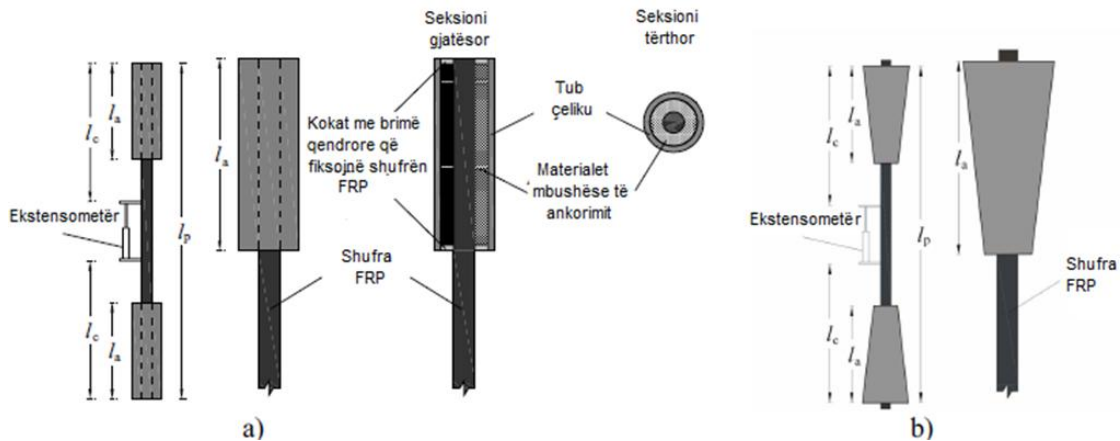


Figura 4.1 Detaje të fiksimit të mostrave të shufrave FRP në nofullat e presës hidraulike

Kërkesat për ankorimin e shufrave FRP që testohen në tërheqje, janë vendosur për faktin sepse natyra e këtyre shufrave është shumë delikate për t'u fiksuar në nofullat e makinerisë që punon në tërheqje. Përgatitja e mostrave sipas Figura 4.1, është e ndërlidhur edhe me krijimin e mundësisë së kapjeve ose formimin e kokave duke shfrytëzuar pjesët metalike për të shmangur kontaktin e drejtpërdrejtë të shufrave FRP me nofullat e makinerisë testuese, në të kundërtën kjo do të shkaktonte dëmtimin e shufrave pa filluar mirë prova.

Tubat apo veshjet metalike lidhen me shufrat FRP duke aplikuar ndërmjet veti me ngjitës special dykomponentësh me ngurtësim të shpejtë. Vështirësia kryesore në këtë rast lidhet me sigurimin që shufra të mos rrëshqasë nga tubi apo veshja metalike, ndryshe shufrat do të pësonin një zvoglim të diametrit nominal në skaje dhe rezultate jo reale gjatë tërheqjes.

Vetitë mekanike të shufrave përcaktohen duke realizuar një testim në tërheqje, të kryer në kontroll të ngarkesës dhe kontroll të deformimit ose zgjatimit. Saktësia minimale e leximeve të makinës testuese në tërheqje duhet të jetë 100 N për ngarkesën dhe 0.01% për deformimin ose zgjatimin dhe 0.001 mm për zhvendosjen. Rritja e ngarkesës ose deformimit ose zhvendosjes duhet të jetë e njëtrajtshme gjatë gjithë periudhës së testimit, si dhe do të jetë e tillë, që mostra të shkatërrohet në në intervalin kohor brenda 1 deri në 10 minuta. Zgjatimi i shufrës do të matet gjatë testit në varësi të seksionit tërthor; në mes të hapësirës duke përdorur matës të deformimit ose ekstensometra. Saktësia e estensometrave do të jetë jo më pak se 0,02% e gjatësisë të matësit, dhe nuk do të jetë më pak se 8

herë diametri i mostrës (8 db). Në referencë të Figurës 4.1, për këtë arsye do të plotësohet mosbarazimi i mëposhtëm:

$$l_c \geq l_a + 8db \quad (4.4)$$

Në fund të testit, mund të merret kurba ngarkesë-deformim, nga e cila mund të llogaritet rezistenca në tërheqje, $f_{fu,p}$, përmes shprehjes të mëposhtëme:

$$f_{fu,p} = \frac{F_{fu,p}}{Ab} \quad (4.5)$$

Ku:

$F_{fu,p}$ dhe Ab , paraqesin respektivisht ngarkesën fundore të rregjistruar dhe sipërfaqen e seksionit tërthor të shufrës. Kjo e fundit llogaritet sipas shprehjes 4.1.

Moduli i elasticitetit (i Young-ut) në tërheqje, $E_{f,p}$, do të merret si një regresion linear i pikave të të dhënave nga 20 deri në 50% të rezistencës në tërheqje të shufrës, ose si alternativë duke përdorur formulën e thjeshtuar si më poshtë:

$$E_{fp} = \frac{F_1 - F_2}{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)A_b} \quad (4.6)$$

Ku,

F_1 dhe ε_1 , janë ngarkesa dhe deformimi korespondues, respektivisht, në afërsisht 50% të aftësisë mbajtëse fundore në tërheqje,

F_2 dhe ε_2 , janë respektivisht ngarkesa dhe deformimi korespondues, në afërsisht 20% të aftësisë mbajtëse fundore në tërheqje.

Deformimi fundor i shufrave të kampionit, $\varepsilon_{fu,p}$, do të llogaritet me shprehjen e mëposhtëme:

$$\varepsilon_{f,up} = \frac{F_{fu,p}}{E_{fp}A_b} \quad (4.7)$$

Për përcaktimin e vetive mekanike të mostrave për shufrat e përdorura në këtë studim janë testuar dy tipe të shufrave të përforcuara me fibra qelqi GFRP dhe me fibra karboni CFRP, të siguruar nga dy prodhues të ndryshëm. Të dhënat e fituara nga testimet laboratorike janë krahasuar me çertifikatat e cilësisë së prodhuesve të shufrave të përforcuara me fibra FRP siguruar nga MAPEI, Itali për shufrat CFRP dhe “Kompozit Armatura” d.o.o. Serbi. Sikundër do të shihet edhe në vijim, rezultatet e

fituara nga testimi i mostrave në tërheqje, kanë rezultuar të përafërta me ato të deklaruara nga prodhuesit në dokumentet e origjinës.



Figura 4.2. Detaje metalike të përdorura për fiksimin e shufrave FRP në këtë studim

Mostrat për testimet në tërheqje të shufrave FRP janë përgatitur për analizën e tre parametrave të rëndësishëm; të rezistencës në tërheqje, të deformimeve, të zgjatimit relativ në përqindje dhe modulit të elasticitetit. Në figurën 4.3, janë paraqitur një pjesë e mostrave të provave për shufrat e përforcuara me fibra qelqi GFRP dhe me fibra karboni CFRP të përdorura për testimet në tërheqje.



Figura 4.3. Mostrat e kampionëve të shufrave GFRP dhe shufrave CFRP për provat në tërheqje



Figura 4.4. Paisja e përdorur për provat në tërheqje të shufrave GFRP dhe CFRP



Figura 4.5. Makineria e përdorur për provat në tërheqje të shufrave GFRP dhe CFRP

The screenshot shows a software interface titled "TENSILE TEST - ASTM A370 / EN 10002". It is divided into several sections:

- ELONGATION MEAS. APPARATUS:** Encoder and Extensometer (D1).
- SPECIMEN DATA:** Type of: ROUND; Weight: 0.084 (Kg); Lt: 450.0; Mass: 0.19 (Kg); Area: 23.78; Dia: 5.50 (mm); Proportional/Not proportional: Proportional, Not proportional; Lo: 50.00; Le: 50.00.
- OPTIONAL PARAMETER SELECTION:** Rt, Ae, At, Ag, Agt, Rp (0.2), Su, Z, E (checked).
- CONNECTED:** Status indicator is green.
- LOAD:** 0.00 kN; **STRESS:** 0.0 N/mm².
- SPECIMEN DESCRIPTION:** Client: Tese PhD-Drilona Disha; Test Organisation: NSH"IBMS"; Test location: Prishtine; Test date: 31.07.2019; Date/time received: 27.07.2019; Label: CFRP; Steel type: Dia. 5.5-1; Position/direction of: abcdefghijklmnopqrstuvz; Plain: ; deforme: ; Machined: Yes , No .
- NOTES AND TECHNICAL RESPONSIBILITY:** Name: Cene Krasniqi; Position: Laboratory Manager; Signatur: [blank].
- CERTIFICATE IDENTIFICATION:** Number: Dia 5.5-1; Certificate date: 31.07.2019.
- Buttons:** Graph, MultiGraph, Table, Open, Save, Print, Help, Exit.
- Footer:** Le (Extensometer gauge length - mm), Wed, Jul 31, 2019, 12:31 PM.

Figura 4.6. Regjistrimi i të dhënave gjatë provave në tërheqje të shufrave CFRP



Figura 4.7. Detaji i fiksimit të shufrës GFRP Φ 10mm

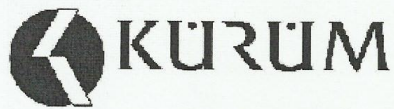


Figura 4.8. Fiksimi i gjatësisë L_0 për matjen e zgjatimit relative të shufrës çelikut Φ 10mm



Figura 4.9. Montimi shufrës çelikut Φ 10mm në pajisjen testuese në tërheqje

Më poshtë po prezantoj raportet teknike të dala nga labororet për vetitë mekanike të mostrave të testuara të armaturës konvencionale, shufrave GFRP dhe CFRP.



KALITE KONTROL LABORATUARI
MEKANIK TEST RAPORU

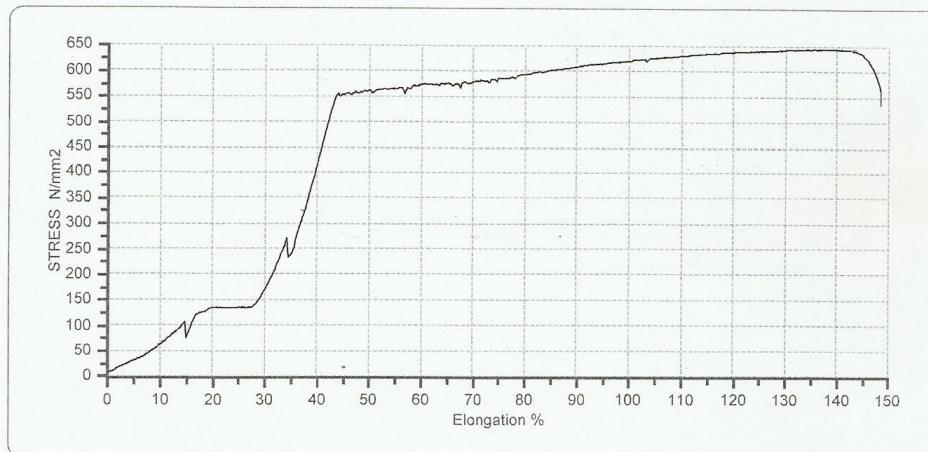
CEKME DENEYİ TEST RAPORU

DOCUMENT No	COPY No	Autorized Person	User	Print Date	INSPECTION DATE
DIN EN ISO 6892, part1 Tensile tests on metals22-05-1					

SAMPLE INFORMATIONS

Customer : KURUM INTERNATIONAL	Date : 7/16/2019 11:14:16 AM
Standart : EN 10080	MATERIAL : INS AAT DEMIR
Register Nr : 191225-20	Size : ROUND
Serial Nr : B500C	Cross Section-mm2 : 50.2656
Order Nr : DRILONA DISHA	Diameter-mm : 8
Document Nr :	A Cross Section-mm :
WELTING FORCE : 21a	B Cross Section-mm :

GRAPHIC



RESULT

Sample Nr	Fm KN	Rm N/mm2	Rm / Rp0.2	ReH N/mm2	Rp0.2 N/mm2	Rp0.5 N/mm2
	32.44	645.44	1.17	550.17	551.36	553.74

LO LENGTH-mm	L1 LENGTH-mm	Elongation %	Rp0.1 N/mm2	Rp0.3 N/mm2	Rp0.4 N/mm2	
40	99.4	148.5	550.17	551.36	552.55	

TEST SETTING

PRE-LOAD : 50 N/mm2 Test Speed : 50 mm/min Yield Speed : 50 mm/min Max Gerilme Hızı : 69.08 MPa/sn

Operator: J. TERZIU

Maneger: ANDI KARALEJU

Figura 4.10. Raport testimi i çelikut Φ 8 mm në tërheqje, KURUM, Elbasan

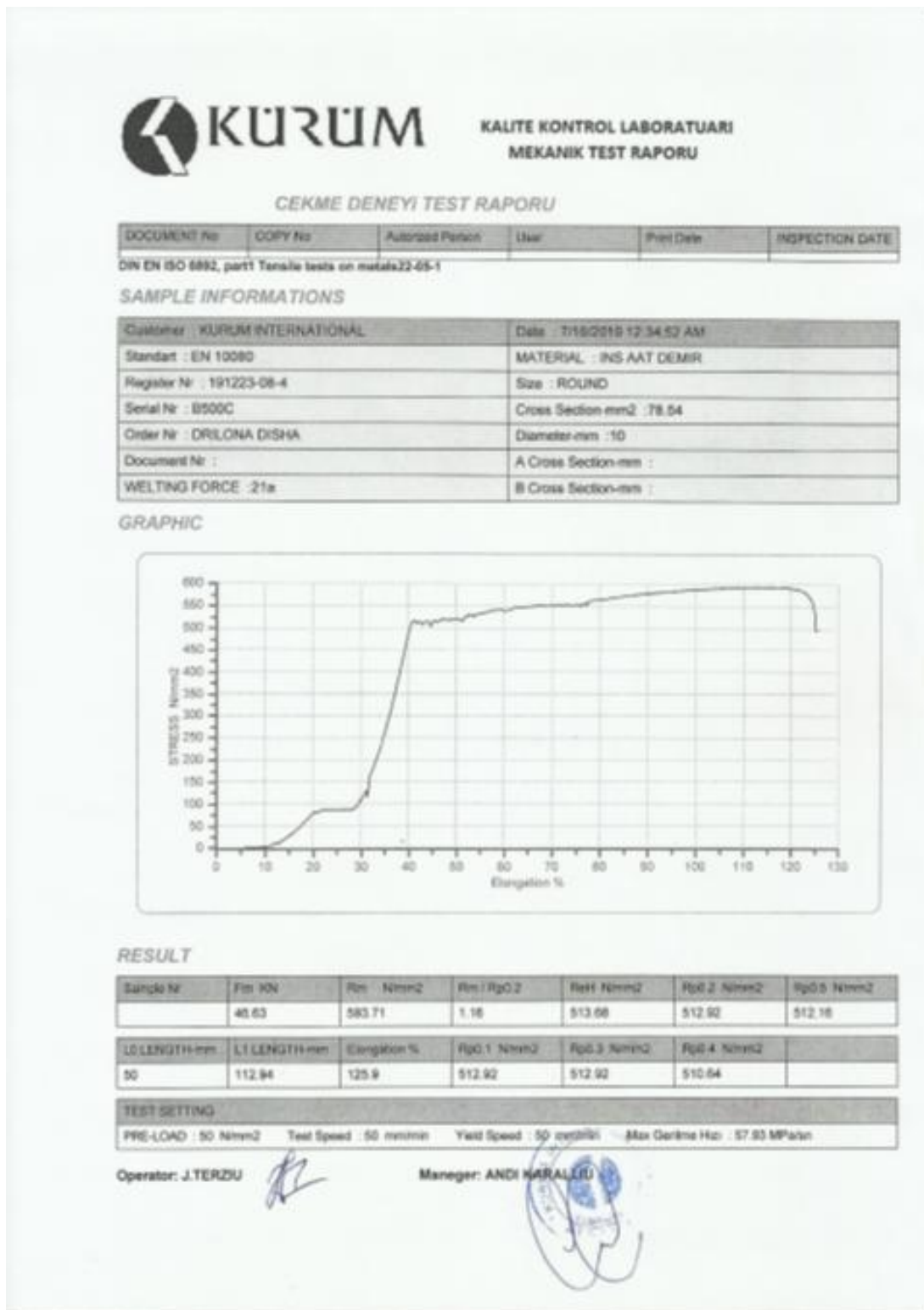


Figura 4.11. Raport testimi i çelikut $\Phi 10$ mm në tërheqje, KURUM, Elbasan

Shënim: Diagramat e çelikut të shprehura ne Fig.4.10 dhe 4.11, në zonën e deformimeve elastike shfaqin dy dhëmbëzime, të cilat sipas laboratorit ku janë kryer testimet e mostrave të dërguara nga ana jonë, janë shkaktuar për shkak të rrëshqitjes së shufrave nga nofullat kapëse ku fiksohen shufrat. Këto dy konstatime nuk ndryshojnë dhe nuk ndikojnë vlerat finale të sforcimeve në zonën e rrjedhshmërisë. Nga ana tjetër ,grafiku sqaron mjaft qartë ndryshimet e ngarkesave maksimale /minimale që ndodhin në zonën e deformimeve të rrjedhshmërisë. Laboratori ku janë kryer këto teste është i akredituar nga Drejtoria e Përgjithshme e Akreditimit (DPA) dhe analizat e kryera i përkasin listës së analizave të akredituara.(info@dpa.gov.al ose dpa.gov.al/akreditimi)

Tabela 4.1. Vetitë mekanike të mostrave të armaturës konvencionale të testuara në laborator

Armature konvencionale	Diameter (mm)	Rezistenca rrjedhshmerise (fy) MPa	Zgjatimi (%)	Moduli i elasticitetit E(Mpa)
	8	550,17	148,5	200000
	10	513,68	125,9	200000

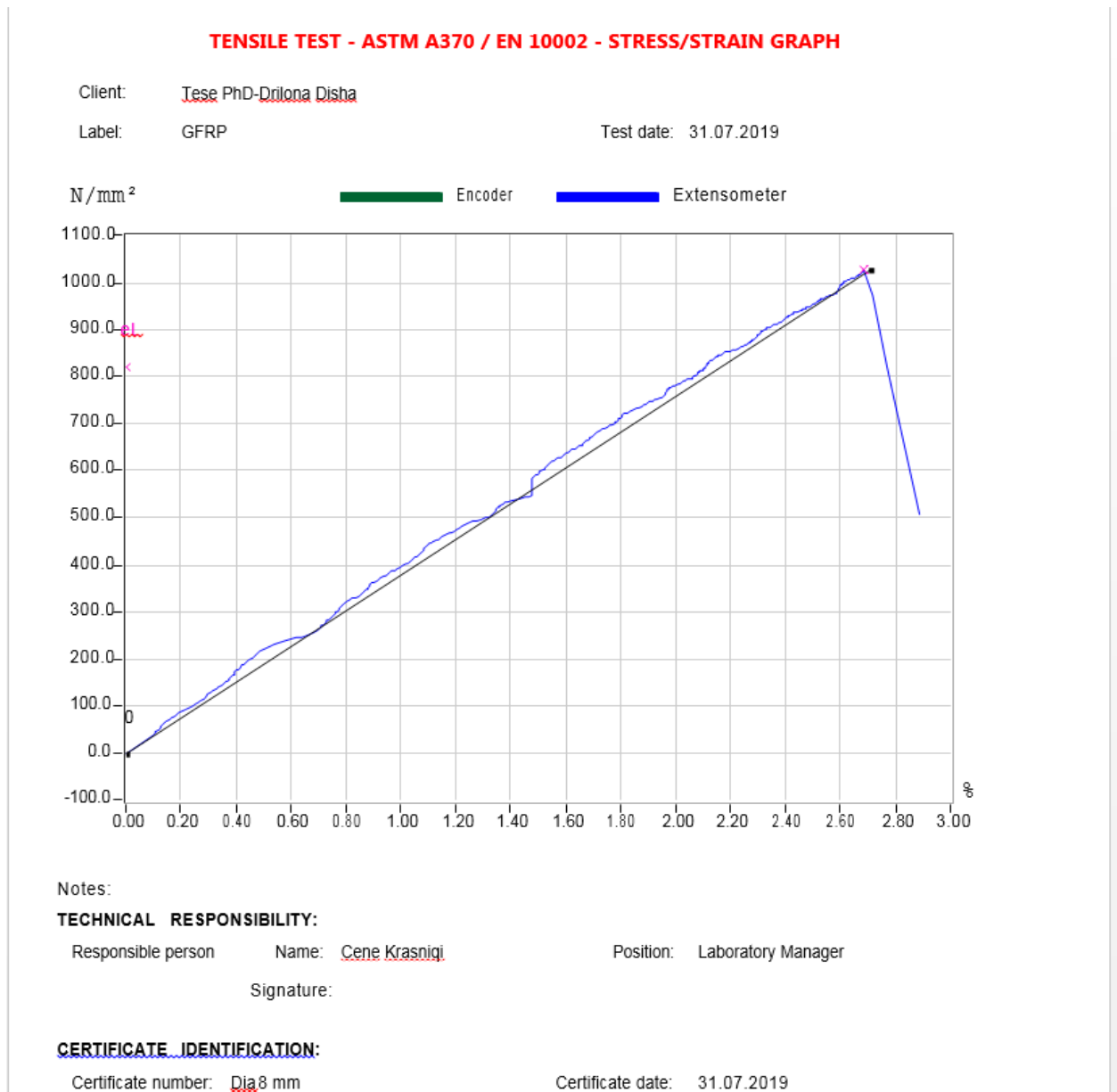


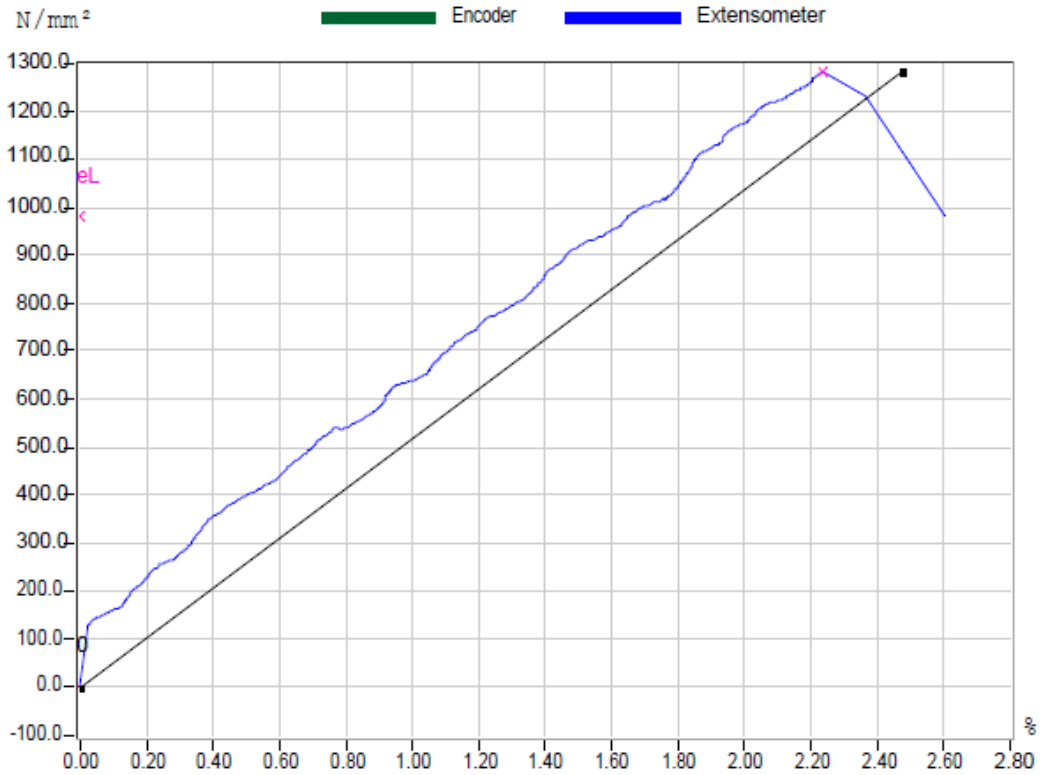
Figura 4.12 Grafiku i testimit në tërheqje të GFRP 8 mm, Laboratori IBMS, Prishtinë

TENSILE TEST - ASTM A370 / EN 10002 - STRESS/STRAIN GRAPH

Client: Tese PhD-Drilona Disha

Label: GFRP

Test date: 31.07.2019



Notes:

TECHNICAL RESPONSIBILITY:

Responsible person

Name: Cene Krasniqi

Position: Laboratory Manager

Signature:

CERTIFICATE IDENTIFICATION:

Certificate number: Dia 10

Certificate date: 31.07.2019

Figura 4.14 Grafiku i testimit në tërheqje të GFRP 10 mm, Laboratori IBMS, Prishtinë

TENSILE TEST - ASTM A370 / EN 10002

Client:	<u>Tese PhD-Drilona Disha</u>
Test Organisation:	<u>NSH"IBMS"</u>
Test location:	<u>Prishtine</u>

SPECIMEN DESCRIPTION:

Test date: 31.07.2019 Date/time received: 31.07.2019

Position/direction of sample: abcdefghijklmn opqrstuvz

Label: GFRP

Sample: Dia 10mm

Steel type:

Type of specimen ROUND Plain deformed

Lt (mm): 450.0 Weight (Kg): 0.194

Mass (Kg/m): 0.431

Area (mm²): 50.24

Dia. (mm): 10

Lo (mm): 50.0

Machined: Yes No

Proportional/Not proportional specimen

ELONGATION MEAS. APPARATUS Encoder ± Extensometer

Le (mm) 50.0

TEST END TEST RESULTS:

F_m (kN): 49.637

R_{eL} (N/mm²): 988

R_{eH} (N/mm²): 1285

R_m (N/mm²): 1285

A (%): 0.85

E (N/mm²): 51864

Lu (mm): 0.00

Notes:

TECHNICAL RESPONSIBILITY:

Responsible person Name: Cene Krasniqi Position: Laboratory Manager

Signature:

CERTIFICATE IDENTIFICATION:

Certificate number: Dia10

Certificate date: 31.07.2019

Figura 4.15 Raporti teknik i testimit te GFRP 10mm, Laboratori IBMS, Prishtinë

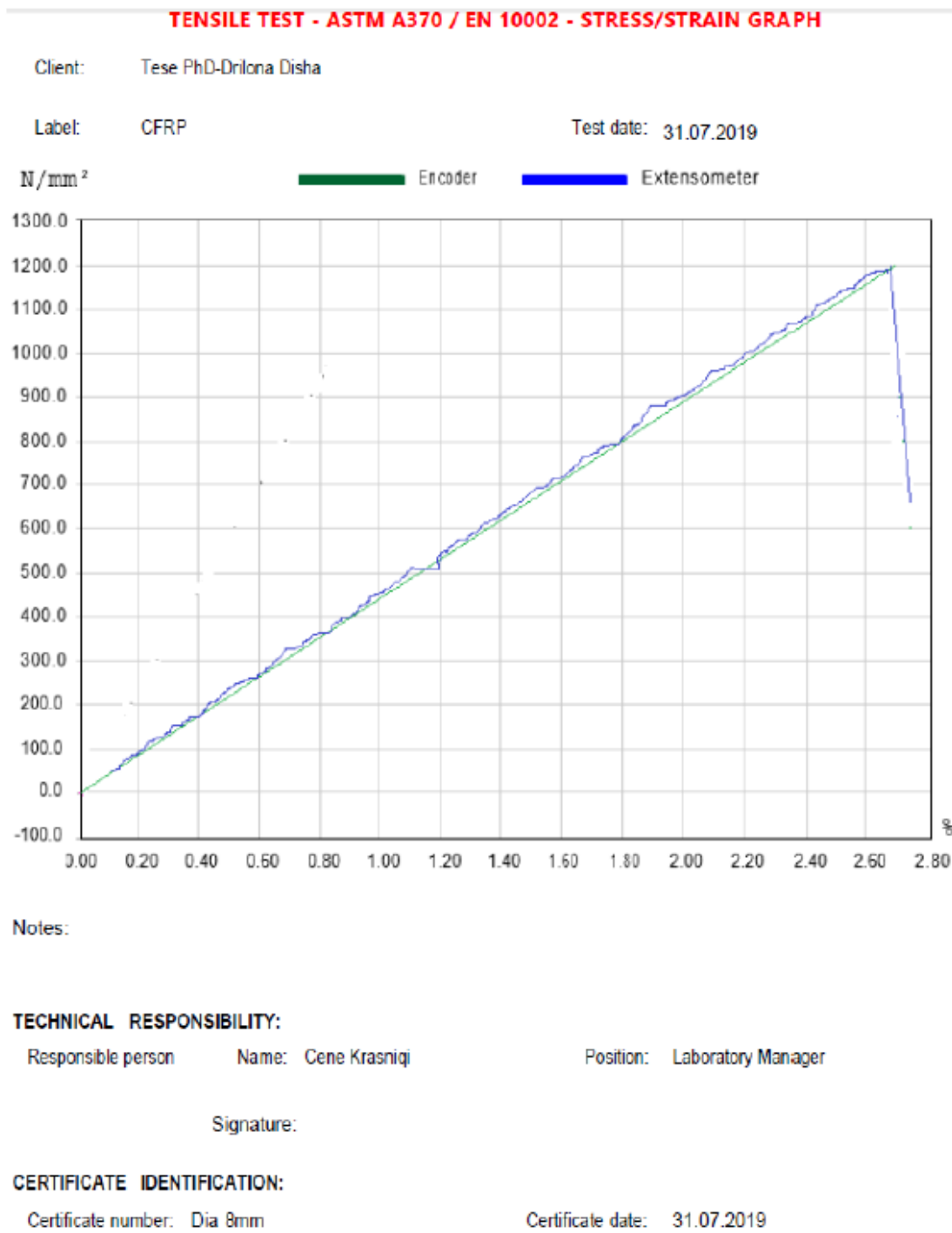


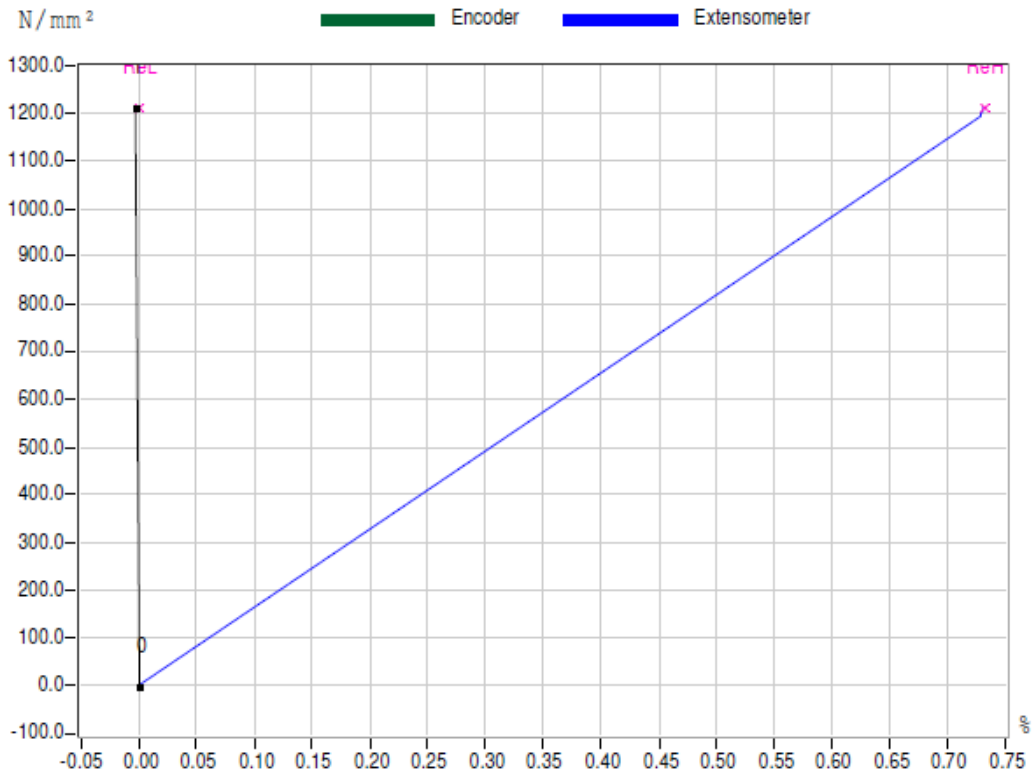
Figura 4.16 Grafiku i testimit në tërheqje të CFRP 8 mm, Laboratori IBMS, Prishtinë

TENSILE TEST - ASTM A370 / EN 10002 - STRESS/STRAIN GRAPH

Client: Tese PhD-Drilona Disha

Label: CFRP

Test date: 29.07.2019



Notes:

TECHNICAL RESPONSIBILITY:

Responsible person Name: Gene Krasniqi

Position: Laboratory Manager

Signature:

CERTIFICATE IDENTIFICATION:

Certificate number: Dia 10-1

Certificate date: 29.07.2019

Figura 4.18 Grafiku i testimit në terheqje të CFRP 10 mm, Laboratori IBMS, Prishtinë

Tabela 4.2. Vetitë mekanike të shufrave GFRP dhe CFRP të testuara në laborator.

	Diameter (mm)	Rezistenca ne terheqje (fu) MPa	Zgjatimi (%)	Moduli i elasticitetit E(N/mm ²)
GFRP	8	1032	1,54	37860
	10	1285	0,85	51864
CFRP	8	1214	0,74	42264
	10	1212	0,74	422643

4.1.4. Realizimi i trarëve të armuar me shufra polimere GFRP & CFRP.

4.1.4.1. Përgatitja e kallëpeve prej druri dhe betonimi i trarëve eksperimental

Kallëpët për betonimin e trarëve eksperimental, janë realizuar me panele druri të presuar me sipërfaqe të lëmuar, duke krijuar lehtësi për realizimin e sipërfaqeve të lëmuara në faqet anësore, gjë që mundëson konstatimin e lehtë gjatë vrojtimit dhe matjeve të plasaritjeve.

4.1.4.2 Armimi i trarëve me shufra GFRP & CFRP dhe armaturë konvencionale

Janë përgatitur 3 (tre) sete me nga dy trarë secili; nga të cilët 2 trarë të armuar me shufra të përforcuara me fibra qelqi GRFP me diametër Ø8/10mm; 2 trarë të armuar me shufra të përforcuara me fibra karboni CRFP me diametër Ø8/10mm dhe 2 trarë të armuar me armaturë konvencionale me diametër Ø8/10mm. Vendosja e armaturës në kallëpe është bërë duke respektuar trashësinë e shtresës mbrojtëse $c=15$ mm.

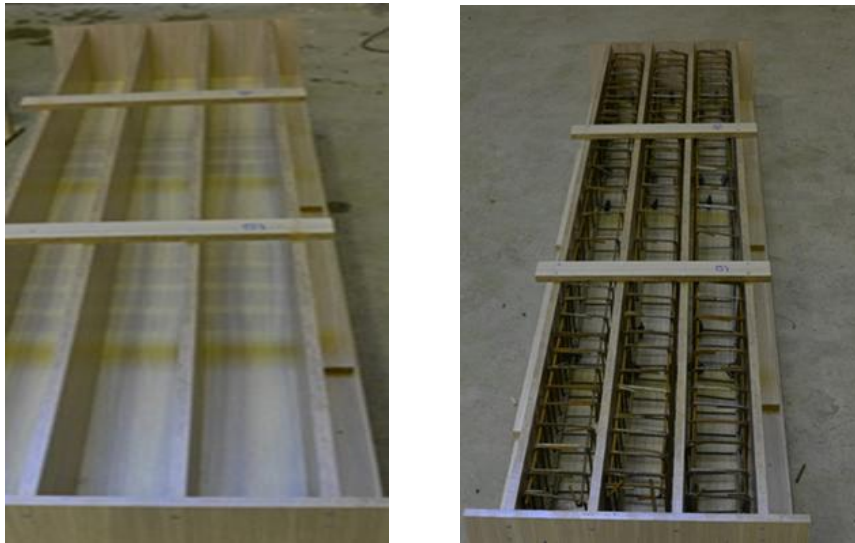


Figura 4.20. Kallëpet e drurit për betonimin e trarëve me shufra FRP

Armatura konstruktive në zonën e shtypur është zgjedhur prej çeliku me diametër 6mm, ndërsa stafat janë zgjedhur prej çeliku me diametër 6mm. Pra, kemi të bëjmë me elementë që punojnë në përkulje të armuara me armaturë mikse, shufra GFRP dhe çeliku ashtu sikundër trarë me armaturë me shufra CFRP dhe çeliku. Gjatësia dhe përmasat e seksionit tërthorë të trarëve janë të njëjta për çdo set të trarëve që do të eksperimentohen me ngarkesa statike dhe konkretsht: Gjatësia, $L=2200\text{mm}$, gjerësia $b=135\text{mm}$ dhe lartësia, $h=225\text{mm}$. Në figurën 4.19 jepet skema gjeometrike e trareve të testuar.

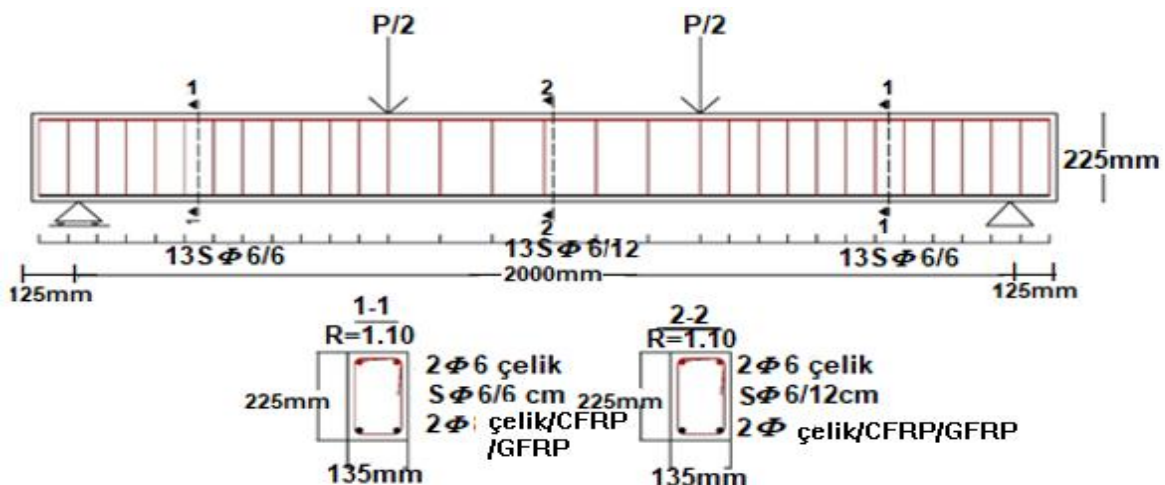


Figura 4.21. Skema gjeometrike e trarëve të testuar

Tabela 4.3. Të dhënat për armimin e trarëve për prodhim

Nr.	Trau	Armatura montuese prej çeliku	Armatura punuese GFRP, CFRP dhe çeliku	Stafat prej çeliku
1	T2	Ø6	Ø8 GFRP	Ø6/60mm dhe Ø6/120mm
	T3	Ø6	Ø10 GFRP	Ø6/60mm dhe Ø6/120mm
2	T4	Ø6	Ø8 CFRP	Ø6/60mm dhe Ø6/120mm
	T5	Ø6	Ø10 CFRP	Ø6/60mm dhe Ø6/120mm

3	T6	Ø6	Ø8 ÇELIK	Ø6/60mm dhe Ø6/120mm
	T7	Ø6	Ø10 ÇELIK	Ø6/60mm dhe Ø6/120mm

4.1.4.3. Projektimi i përzierjes së betonit (Mix-design)

Është procedura që ndiqet sa herë lind nevoja për projektimin e raporteve sasiore të komponentëve përbërës për 1m³ beton, me klasë të rezistencës të paracaktuar në përputhje me kërkesat e projektuesit; bazuar në karakteristikat fiziko-mekanike të materialeve çimento, agregatë, aditivë, shtesa të ndryshme mineralogjike, etj. Projektuesi i strukturave, është përgjegjës për zgjedhjen e klasës së rezistencës mekanike të betonit, klasën e ekspozimit nga ambient klasën e konsistencës dhe përmasën maksimale të agregatit. Ndërsa, prodhuesi është përgjegjës për të prodhuar një përzierje betoni të njëtrajtëshme në konformitet me kërkesat e projektuesit të veprës.

a) **Të përgjithshme**

Për të realizuar një Mix-design duhen marrë në konsideratë disa faktorë bazë, siç janë:

1. *Punueshmëria* e betonit ose klasa e konsistencës, e cila rritet me optimizimin e sasisë së ujit në përzierje, është varësi e vetive të agregatëve që përdoren (diametri maksimal i kokrrizave dhe sipërfaqja e agregatit, e lëmuar ose e ashpër) përfshi edhe praninë e aditivëve me veti e karakteristika specifike.
2. *Rezistenca mekanike* ose *klasa e rezistencës*, është varësi direkte e raportit u/ζ (ujë/çimento), llojit, sasisë dhe klasës së çimentos të përzgjedhur për tu përdorur;
3. *Durabiliteti*, ose klasa e ekspozimit të betonit ndaj mjedisit ku do të vendoset, i cili rritet në mënyrë proporcionale me zvoglimin e raportit u/ζ .

Pra, siç shihet, parametri kryesor gjatë projektimit të një përzierje betoni rezulton të jetë raporti u/ζ , i cili, duhet ndryshon brenda vlerave optimale për të garantuar performacën e cilënë e kërkuar. Kjo nënkupton që, për të rritur punueshmërinë e përzierjes së betonit në rastet kur nuk përdoren aditive, është e domosdoshme që të rritet jo vetëm sasia e ujit në përzierje por njëkohësisht në mënyrë proporcionale me të, të shtohet edhe sasia e çimentos, me kushtin, që vlera e raportit u/ζ të mbetet konstante për të mos kompromentuar klasën e durabilitetit dhe rezistencës mekanike të produktit final.

b) **Rezistenca karakteristike e projektit**

Për të zgjedhur klasën e rezistencës së betonit, projektuesi duhet të procedojë si më poshtë:

1. përcakton rezistencën karakteristike të betonit mbi bazën e rezultateve të llogaritjeve statike f_{ck} , e nevojshme për sigurimin e aftësisë mbajtëse të strukturave prej betoni dhe betoni të armuar;
2. përcakton vlerën minimale të rezistencës karakteristike për durabilitet f_{ck} të betonit që ekspozohet ndaj ambjentit sipas standardit S SHEN 206-1, duke respektuar kufizimet për durabilitetin e betonit.

Rezistenca karakteristike mekanike për durabilitet apo jetëgjatësi, duhet të kënaqë mosbarazimin $R_{ck} \geq R_{ckd}$, e cila nënkupton që R_{ck} e përcaktuar nga projektuesi prej llogaritjeve statike duhet të kënaqë njëkohësisht edhe kërkesat për jetëgjatësinë e strukturës. Në rast të kundert, edhe pse R_{ck} nga llogaritjet statike mund të rezultojë më e vogël se ajo për durabilitet R_{ckd} , jemi të detyruar që betonin t'a projektojmë dhe prodhojmë me rezistencë karakteristike të barabartë me R_{ckd} . Kështu, do të kënaqim njëkohësisht si kërkesat për qendrueshmërinë statike ashtu dhe ato për durabilitetin e

strukturës. Është kjo arsyeja, që projektuesi duhet të marrë gjithmonë si vlerë referuese gjatë llogaritjeve për rezistencën e projektit, më të madhen nga dy vlerat e treguara për ***R_{ck}*** dhe ***R_{ckd}***, vlerë të cilën e pasqyron në fletët e projektit të zbatimit.

c) Llogaritja e Mix-design për klasën e betonit C30/37

Per rastin tone do te trajtojme nje mix-design me karakteristikat dhe parametrat e prezantuara me poshte :

- rezistenca karakteristike në shtypje ***R_{ck}*** prej klasave të betonit; C30/37
- raporti maksimal ujë/çimento (***u/ç***)_{max}, 0.47 dhe sasia minimale e çimentos (kg/m³): që varion prej klasave të ekspozimit;
- diametri maksimal i agregatit ***D_{max}***, 16mm,
- konsistenca ***S*** (referuar testit me konin Abrams) prej klasave të konsistencës, S-4.

Nga puna dhe hulumtimet e autoreve te ndryshem jane shfrytezuar per orientim vlerat e raportit ***u/ç***; gjendet korespondenca e saj në ordinatë për ***R_{ck}*** në MPa ose vlera mesatare ***R_{cm}*** (referuar moshës 28 ditore). Këto grafike, shprehin të dhëna edhe më të detajuara në varësi të tipit dhe klasës së çimentos që do të përdoret. Në këtë analizë, do të shqyrtojmë rastin më kompleks, që do të thotë se në sistemin e boshteve koordinativ, në ordinatë i referohemi ***R_{cm}***.

Në këtë rast, vlera ***R_{cm}*** e projektit për durabilitet llogaritet në bazë të tipit të provës:

- ***R_{cmp}*** = ***R_{ck}*** + 3.5, në se prova është e tipit A;
- ***R_{cmp}*** = ***R_{ck}*** + 1.4·***s***, në se prova është e tipit B;

ku:

s, është deviacioni mesatar kuadratik, i pranuar nga standardi S SHEN 201-1.

Referuar diagramës ***R_{cm}*** - ***u/ç***, duke njohur ***R_{cmp}***, llogarisim vlerën koresponduese të (***u/ç***)_p. Kjo vlerë, duhet të krahasohet me atë të dhënë nga normativa në funksion të klasës së ekspozicionit (***u/ç***)_{max}. Ndërmjet dy vlerave do të pranojmë atë më të vogël që do t'a paraqesim me ***u/ç***, e cila duhet të kënaqë si kërkesat për durabilitetin apo jetëgjatësinë ashtu dhe atë të rezistencës mekanike. Në rastin kur mbizotëron vlera e (***u/ç***)_{max} prej klasës së ekspozicionit; betoni i prodhuar do të rezultojë me ***R_{ck}*** më të lartë se ajo e projektit. Gjithashtu, nga projekti i zbatimit, jemi në gjendje të përcaktojmë madhësinë e diametrit maksimal të agregatit ***D_{max}*** si dhe klasën e konsistencës ***S*** të betonit (referuar provës së konit Abrahms). Duke njohur natyrën e agregatëve, që mund të jenë aluvionalë ose të shkëmbinj të thyer, standardi parashikon të dhëna që përcaktojnë sasi të ujit të

nevojshëm për të garantuar klasën e paracaktuar të konsistencës në funksion të D_{max} dhe natyrës së agregatëve. Duke njohur sasinë e ujit u në l/m^3 ose në kg/m^3 , që numerikisht janë vlera të njëjta; është raporti u/ζ , që përcakton sasinë e çimentos ζ në kg/m^3 . Vlera ζ e gjetur, duhet të krahasohet me vlerën minimale ζ_{min} paraparë nga standardi për të garantuar durabilitetin për klasën e ekspozimit të zgjedhur, dhe prej dy vlerave do të merret vlera më e madhe, me kushtin, që të kënaqë kërkesat e durabilitetit dhe rezistencës mekanike. Nëse si vlerë do na rezultojë ajo e zgjedhur nga standardi ζ_{min} ; betoni që do të prodhohet do të rezultojë me një R_{ck} në vlerë më të lartë se ajo e parashikuar në projektin e zabtimit. Në këtë rast, për të garantuar pandryshueshmërinë e raportit u/ζ dhe klasën e konsistencës të paraparë, përcaktohet një vlerë e re sasisë së ujit (u) referuar vlerës (ζ) të diktuar nga standardi S SHEN 206-1:2016.

Tabela 4.4. Sasia e ujit në përzierje, sipas të llojit të agregatit, diametrit maksimal dhe klasës së konsistencës për agregatë gelqerorë të thyer për klasën e betonit C30/37.

Lloji i agregatit t	D_{max} mm	Klasa e konsistencës	Kërkesa për ujë (l/m^3)
Shkëmb natyrorë	16	S3	205

Më pas kalohet në përcaktimin e përqindjes së ajrit të bllokuar për njësi vëllimi ($1m^3$) të betonit a' , në funksion të diametrit maksimal të agregatit. Edhe në këtë rast, ekzistojnë në literaturë varësi që paraqesin në absisë diametrin maksimal D_{max} , vlerë tashmë e njohur dhe në ordinate sasinë e ajrit të bllokuar në beton a' në përqindje. Llogaritja e vëllimeve të përbësave të veçantë për klasën e betonit C30/37; referuar vëllimit të betonit sipas vëllimeve absolute do të jetë:

- Vëllimi i betonit = $1m^3 = 1000, l/m^3$,
- Vëllimi i ujit, $V_u = 205 l/m^3$,
- Raporti $u/\zeta = 0.47$,
- Sasia e çimentos $\zeta = 433 kg/m^3$,
- Vëllimi i çimentos, $V_\zeta = \zeta/\gamma_\zeta, 433/3.1 = 140l/m^3$,

Ku: γ_ζ është densiteti i çimentos, i barabartë me $3,1 g/cm^3$.

- Vëllimi i ajrit të bllokuar, $V_a = 2\%$ ose 20 l/m^3

Pas zëvendësimit, vëllimi që zënë agregatët V_{ag} në 1 m^3 beton të freskëtdo të jetë:

$$V_{ag} = V_b - V_u - V_\zeta - A_a = 1000 - V_u - V_\zeta - A_a \text{ (l/m}^3\text{)}$$

Ndërtimi i kurbës së shpërndarjes granulometrike për agregatet bëhet sipas autorëve Fuller ose Bolomey etj., nga e cila përcaktohen përqindjet sasiore të agregateve për rërën ($R\%$), agregatin e imet ($T1\%$) dhe agregatin e trashë ($T2\%$). Bazuar në vëllimin e përgjithshëm të agregatit, jemi në gjendje të llogarisim vëllimet respektive të klasave ose fraksioneve të ndryshme granulometrike të shprehura në l/m^3 , përcaktojmë $V_r = R\% \cdot V_{ag}$, për rërën, $V_{T1} = T1\% \cdot V_{ag}$, për agregatin e hollë dhe $V_{T2} = T2\% \cdot V_{ag}$, për agregatin e trashë. Duke shumëzuar vëllimet e gjetura si më sipër me densitetet respektive, Rëra (0-4mm) $\gamma_r = 2,65 \text{ kg/l}$, Granili (4-8mm) $\gamma_{T1} = 2,69 \text{ kg/l}$ dhe çakëlli (8-16mm) $\gamma_{T2} = 2,70 \text{ kg/l}$; për lehtësi llogaritjeje në rastin tonë, kemi pranuar një densitet të vetëm për të tre fraksionet granulometrike të barabartë me $2,7 \text{ g/cm}^3$, jemi në gjendje të llogarisim masat respektive, të shprehura në kg/m^3 për fraksionet e ndryshme granulometrike për një vëllim njësi të betonit prej 1 m^3 . Në fund mund të llogarisim dhe edhe peshën teorike të përzierjes së betonit P_b duke proceduar si vijon:

$$P_b = \zeta + U + P_r + P_{T1} + P_{T2} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$V_{ag} = 1000 - 205 - 140 - 20 = 635 \text{ litra / m}^3$$

Pranojmë:

$$V_R = V_r = 50\% = 317,5 \text{ litra}$$

ose

$$R = \gamma_\zeta 317,5 = 857 \text{ kg/m}^3$$

$$T = \gamma_\zeta 317,5 = 857 \text{ kg/m}^3$$

Tabela 4.5. Rezultatet e Mix-design C30/37 për betonimin e trarëve eksperimental

Nr.	Mix-design, C30/37	Sasia kg/m^3	Rezistenca në shtypje në 28 ditë, N/mm^2	Moduli i elasticitetit E_b , N/mm^2
1	Çimento, CEM I/ 42.5®	433	40.5	28411
2	Rërë e thyer, 0-4mm	857		
3	Granil i thyer, 4-8mm	344		
4	Çakëll i thyer, 6-16mm	513		
5	Uji	205		
Densiteti i betonit të njome		2352		

4.2. Metodatat, pajisjet ngarkuese dhe aparaturat rregjistruese për provat me ngarkesë të trarëve në përkulje prej betoni të armuar me shufra të përforcuara me fibra FRP dhe çeliku të zakonshëm

4.2.1 Matjet nën veprimin e ngarkesave statike

Të përgjithshme

Sjellja e strukturave dhe elementëve të tyre vlerësohet në mbështetje të rezultateve që përfitohen gjatë vlerësimeve dhe matjeve që bëhen gjatë kryerjes së një prove. Matjet kanë për qëllim njohjen e disa parametrave që karakterizojnë dhe shpjegojnë sjelljen e elementëve që studjohen në tërësinë e tyre apo në zona të kufizuara. Pajisjet ngarkuese dhe aparaturat e matjeve që përdoren në provat e strukturave duhet të plotësojnë disa kërkesa, më të rëndësishmet prej të cilave përmendim: *precizioni i aparaturve*, i cili shpreh shkallën e saktësisë së rezultatit dhe shprehet nga gabimi kufitar, ai duhet t'i përgjigjet vlerës së madhësisë që do të maten; aparaturat duhet të kenë një fushë matjeje sa më të madhe, aparaturat rregjistruese duhet të lejojnë një lexim të qartë; pajisjet duhet të jenë të thjeshta dhe sa më të lehta, të forta; të instalohen në një kohë të shkurtër dhe të jenë të qendrueshme në elementët që testohen. Më poshtë do të përqëndrohemi vetëm në aparaturat që kemi përdorur gjatë provave me ngarkesë të trarëve për studimin tonë.

4.2.2. Matja e zhvendosjeve dhe deformimeve

Matja e zhvendosjeve në përgjithësi ka karakter relativ kur matim afrimin apo largimin e dy pikave të strukturës që provohet ose karakter absolut kur ne matim zhvendosjet ndaj reperëve fikse të lidhura në mënyrë rigjide me tokën, e cila përbën sistemin e referimit. Të gjitha pajisjet e përdorura janë të shoqërisë italiane *Controls*, të cilat paraprakisht i janë nënshtruar kalibrimit për siguruar rezultate sa më të sakta.



Figura 4.22. Kalibrimi i estensometrave para fillimit të provës me ngarkesë

4.2.3. Pajisja për realizimin e ngarkesave në përkulje të trarëve

Pajisja për realizimin e provave me ngarkesë të trarëve në përkulje është gjithashtu prodhim Italian i shoqërisë *Controls*. Kjo pajisje përbëhet nga tre pjesë kryesore, nga banko e provës, e cila shërben për vendosjen e elementit që do të testohet dhe traut metalik për shpërdarjen e ngarkesave në dy pika, sipas skemës statike të ngarkimit; që është një strukturë komplekse metalike e qendrueshme statikisht; nga kriku hidraulik dhe pistoni i lëvizshëm dhe nga një sistem pompimi i vajit në pistoni me trusni të lartë me kapacitet 300kN. Vetë pompa dhe pistoni hidraulik janë lidhura me pjesën tjetër të pajisjeve rregjistruese dhe kompjuterin për përpunimin e të dhënave sipas një programi të veçantë të instaluar në kompjuter. Me një komandë të vetme komandohen si rritja e forcës, shpejtësia e ngarkimit etj. Dukeqenëse kemi të bëjmë me një pajisje që punon nën veprimin e një presioni të lartë hidraulik, masat e sigurimit teknik janë pjesë e rëndësishme për instruktimin paraprak të stafit që realizon testimin dhe çdo personel tjetër i pranishëm në çdo fazë të punës eksperimentale. dhe si e tillë është e rrezikshme nëse nuk përdoret nga persona të autorizuar.



Figura 4.23. Pajisja me ID MCC8 për ngarkimin e trarëve të armuar me fibra FRP dhe armature konvencionale



Figura 4.24. Pajisja regjistruese e të dhënave gjatë eksperimentimit të trarëve

4.2.4. Deflektometri

Në shumicën e rasteve, ulja është një nga treguesit më të rëndësishëm eksperimentale, bashkë me ngarkesat që i përgjigjen krijimit të gjendjes kufitare në konstrukcion. Kjo madhësi përbën një një karakteristike që i takon elementit në tërësi, prandaj është përfaqësuese e sjelljes së tij.

Deflektometri apo matësi i uljeve fiksohet në strukturën e palëvizëshme të makinës ngarkuese, ndërsa skaji i tij i lëvizshëm mbështetet në një dalje të fiksuar në mesin gjatësisë të traut. Të dhënat e grumbulluara nga deflektometri i përcillen ruajtësit të të dhënave dhe pastaj në computer për përpunimin e rezultateve.

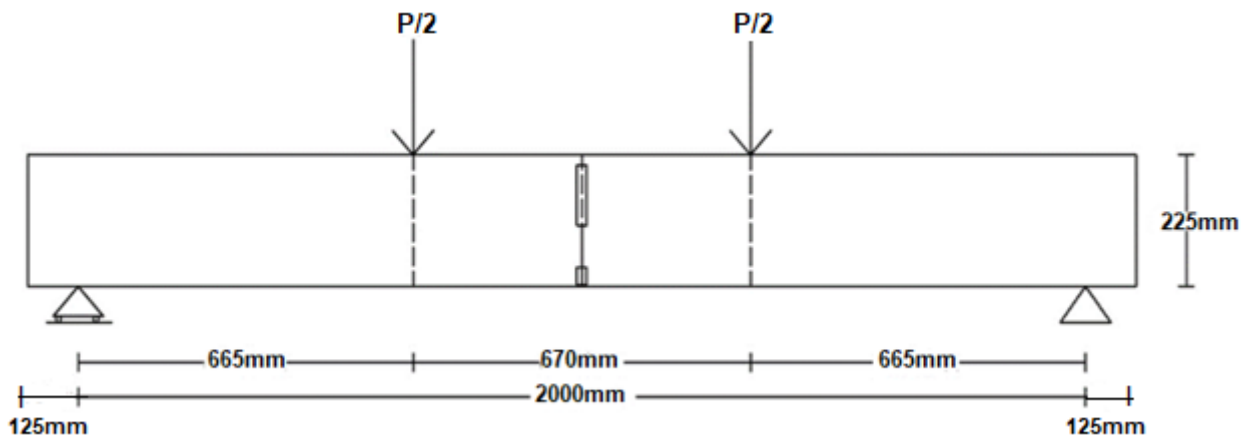


Figura 4.25. Skema statike e ngarkimit të traut dhe pozicioni i vendosjes së deflektometrit

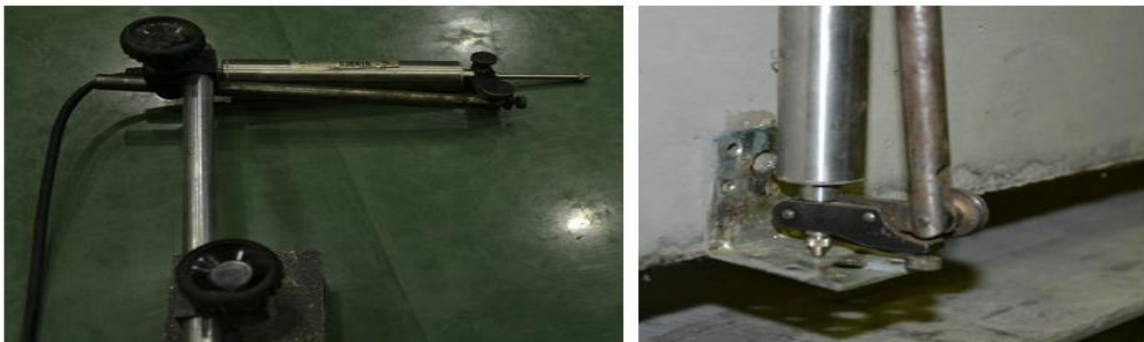


Figura 4.26. Deflektometër për vlerësimin e uljeve të trarëve nga përkulja

4.2.5. Pajisje për matjen e deformimeve. Estensometri

Matja e deformimeve na lejon të përcaktojmë gjendjen e nderjeve që ekziston në elementin e strukturës, në rastin tonë konkret të traut të mbështetur lirisht në dy mbështetje dhe i ngarkuar me dy ngarkesa simetrike, i cili në rastin më të thjeshtë dhe në fushën e punës elastike të materialit, shprehet nga ligji i Hook-ut $\sigma = E \cdot \varepsilon$. Pra, matja e deformimeve në mënyrë indirekte na lejon të përcaktojmë nderjet qoftë përmes relacionit të mësimpërm ashtu dhe me ndihmën e realacioneve të

ngarkesave plane; për këtë arsye metoda e matjes së deformimeve emërtohet si metoda estensometrike apo e matjes të zgjatimeve.

Estensometri i markës “Controls” për matjen e plasaritjeve, është vendosur nën aksin e vijëveprimit të forcës në anën e një mbështetës të lëvizshëm, i barazlanguar në majtë nga aksi i traut 50mm, ndërsa në largësinë 50mm djathtë me faqen anësore të traut është fiksuar një profil metalik për mbështetjen e skajit të estensometrit. Vendosja e estensometrit në anën e mbështetjes së lëvizshme, është bërë për shkak se plasaritjet e para janë paraparë të shfaqen në atë anë, gjë e cila u konfirmua në shumicën e rasteve të trarëve të eksperimentuar.

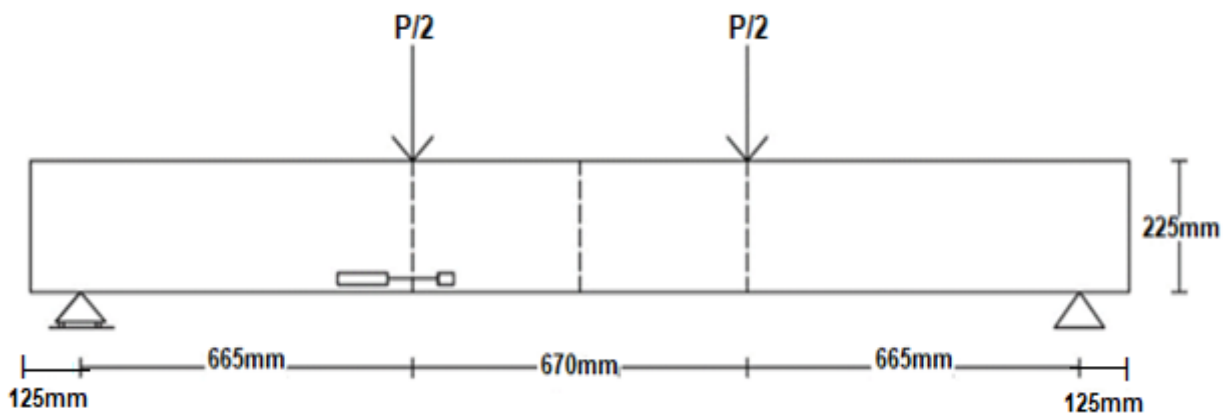


Figura 4.27. Skema statike e ngarkimit të traut dhe pozicioni i vendosjes së estensometrit për matjen e hapjes së të plasurave

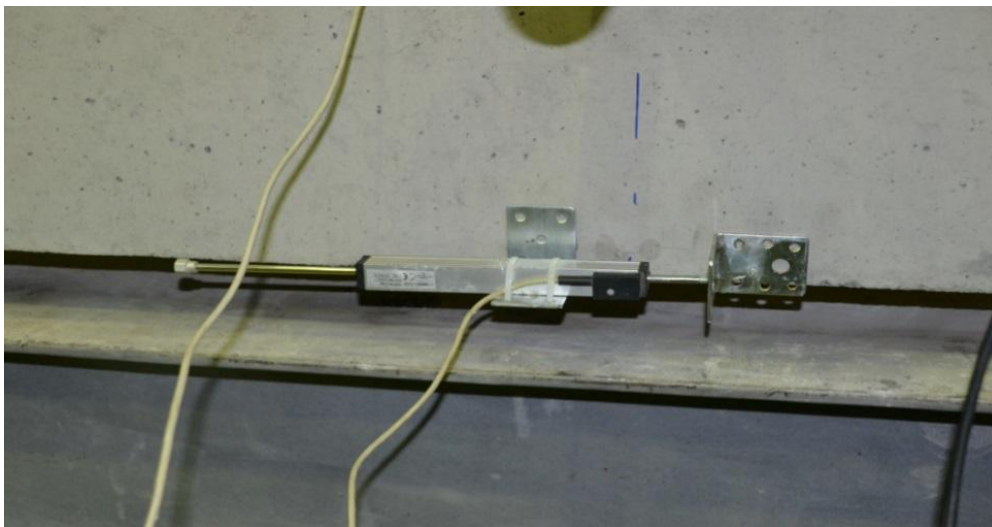


Figura 4.28. Pozicioni i vendosjes së estensometrit për matjen e plasaritjeve

4.2.6. Estensometra të matjeve të deformimeve në beton (Deformetër)

Estensometri i markës *Controls* s.a për matjen e deformimeve në beton është vendosur në sipërfaqen anësore të traut, në pjesën e sipërme të tij. Kjo pajisje është e fiksuar në mesin e distances nga mbështetjet e traut, ku maja e tij është mbështetur në një shufër metalike e cila është fiksuar në sipërfaqen anësore të traut me anë të një mbështetësi statik dhe një mbështetësi të lëvizshëm.

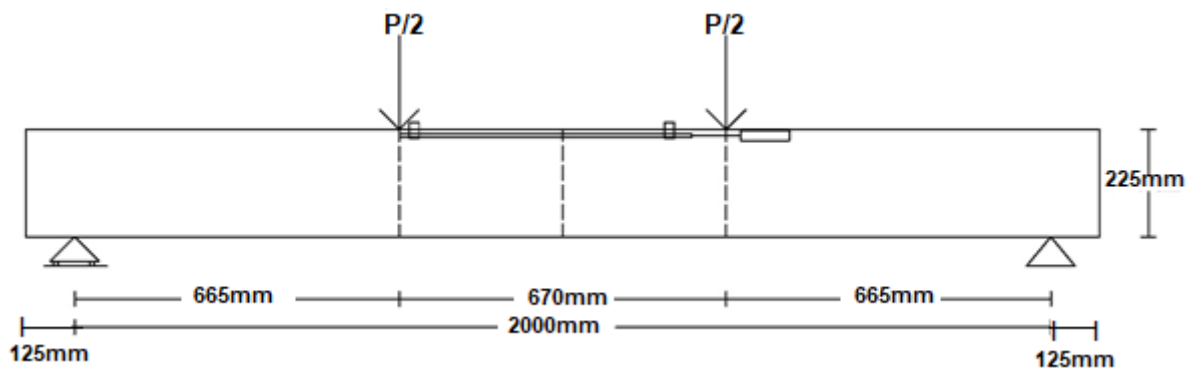


Figura 4.29. Skema statike e ngarkimit të traut dhe pozicioni i vendosjes së estensometrit për matjen e plasaritjeve



Figura 4.30. Pozicioni i vendosjes së estensometrit për matjen e deformimeve të betonit

4.3. Tipologjitë e trarëve për eksperimentim. Llogaritja analitike e trarëve me armaturë mbajtëse shufra të përforcuara me fibra GFRP me diametër 8 & 10mm dhe shufra konstruktive e stafa prej çeliku.

Llogaritjet analitike që do të paraqesim në vijim janë kryer për të gjithë trarët e përgatitur. Karakteristikat gjeometrike do të mbeten të njëjta, por do të ndryshojë vetëm armatura e armimit:

Gjatësia e traut, L :	2250 mm
Distanca e mbështetjes, L_{ef} :	2000 mm
Largësia ndërmjet dy forcave të përqëndruara, L_p :	670 mm
Gjërësia e traut, b :	135 mm
Lartësia e traut, h :	225 mm

Punimi i këtij disertacioni përkon edhe me faktin që strukturat e armuara me shufra të përforcuara me fibra FRP, janë në hapat e para të aplikimeve në shkallë të gjerë edhe në vënde me përvojë dhe eksperiencë në fushën e projektimit e realizimit të strukturave b.arme, prandaj kemi menduar së bashku me ekipin udhëqes të punimit, t'a trajtojmë si një strukturë ku shufrat punuese t'i zëvendësojmë 100% me armaturë të përforcuar me fibra FRP, ndërsa armaturën konstruktive, pra armimin në zonën e shtypur dhe stafat t'i trajtojmë si armaturë konvencionale. Në një të ardhme të afërt, dëshira është që t'i rikthehem edhe një herë këtij studimi, duke shpresuar që edhe industria e prodhimit të produkteve FRP të ketë avancuar edhe në drejtim të prodhimit të shufrave FRP të kthyer ashtu si edhe për stafat. Kjo do të thotë që, armimi i trarëve në pjesën e sipërme është realizuar me dy shufra çeliku të zakonshëm me diametër $\varnothing 6$ mm dhe stafa, gjithashtu prej çeliku me diametër $\varnothing 6$ mm çdo 60mm, duke filluar nga mbështetja deri në pikën e aplikimit të ngarkesave të përqëndruara, ndërsa ndërmjet hapsirës së dy ngarkesave të përqëndruara; stafat do jenë me diametër $\varnothing 6$ mm dhe largësia midis tyre 120 mm.

Prodhimi i trarëve është kryer sipas tipologjisë së llojit të armimit, duke përdorur shufra punuese të përforcuara me fibra qelqi GFRP dhe shufra karboni CFRP të kombinuara dhe shufra me armaturë konvencionale (armatura konstruktive dhe stafa), për të nxjerrë krahasimet dhe realizimin e objektivit të këtij studimi.

Trau, T_2 :	2 $\varnothing 8$	GFRP
Trau, T_3 :	2 $\varnothing 10$	GFRP

Trau, T4:	2 Ø8	CFRP
Trau T5:	2 Ø10	CFRP
Trau T6:	2 Ø8	ÇELIKU
Trau T7:	2 Ø10	ÇELIKU

Llogaritja, sipas aftësisë mbajtëse e trarëve, është kryer duke u bazuar në standardet ACI 440.1R-06. Llogaritjet janë kryer duke pranuar karakteristikat gjeometrike të njëjta për të gjithë tipologjitë e trarëve dhe ndryshuar karakteristikat mekanike të shufrave në bazë të rezultateve laboratorike. E shohim të nevojshme për të sqaruar në nisje të zbatimit të procedurës së përcaktimi i plasaritjeve dhe uljeve për shkak të deformimeve janë kryer duke përdorur normat amerikane ACI 440.R1-06, që janë ato mbi bazën e ekuacioneve të Gergely - Lutz. Gjithashtu, plasaritjet janë llogaritur edhe sipas normave kanadeze CSA-A23.3, të cilat edhe këto aplikojnë të njëjtën shprehje të Gergely-Lutz. Në këto rrethana, edhe rezultatet lidhur me hapjen e të plasurave do të jenë të njëjta, prandaj i kemi menduar t'i paraqesim së bashku. Po kështu, llogaritjet e plasaritjeve sipas Eurocode 2, sipas provave me ngarkesë dhe ato nga llogaritjet MEF (programi ATENA) janë një kontribut i shtuar për saktësimin e informacionit sipas metodave të aplikuara. Në vijim, do të paraqesim nomogramën (Figura 4.32) që përshkruan hap pas hapi të gjithë punën që kemi ndjekur gjatë llogaritjeve analitike të trarëve eksperimental për të realizuar këtë disertacion. Disa prej karakteristikave fiziko-mekanike që do të trajtohen gjatë projektimit të trarëve janë:

- Karakteristikat llogaritëse*,
- Qendra e rëndesës së armaturës dhe lartësia statike e seksionit tërthorë,
- Ngarkesa në shtypje, C ,
- Ngarkesa në tërheqje, T ,
- Kushti i ekuilibrit të forcave të brendshme, $C=T$,
- Përcaktimi i deformimeve në armaturë,
- Nderjet e llogaritura në armaturë,
- Përqindja e armimit,
- Përqindja e balancuar e armimit,
- Krahasimi i përqindjes të armimit me përqindjen e balancuar të armimit,
- Llogaritja e Momentit maksimal,
- Momenti i lindjes së të plasurave,
- Gjërësia e hapjes së të plasurave,
- Llogaritja e uljeve.

Pra, nga sa shihet, përcaktimi i parametrave kryesor llogaritës të mësipërm do na ndihmoj shumë edhe për të bërë një analizë krahasuese reale për vetitë dhe sjelljen mekanike të llojeve të trarëve të armuar me armaturë konvencionale dhe atyre të armuar me shufra të përforcuara me fibra GFRP dhe CFRP.

* Pavarësisht të dhënave të fituara nga testimet laboratorike të kryera në laboratorin e NSH IBMS Prishtinë, vlerat përfundimtare të karakteristikave mekanike dhe zgjatimet relative në tërheqje të shufrave FRP për llogaritjen e trarëve b.a. të armuara me shufra të përforcuara me fibra FRP janë marrë nga skemat teknike të prodhuesve të tyre si MAPEI, Itali për shufrat CFRP dhe “Kompozit Armatura” d.o.o. Serbi, për shufrat GFRP; meqenëse të dhënat e prodhuesit janë standarde dhe paraqesin të dhëna për gamë më të gjërë të prodhimit.

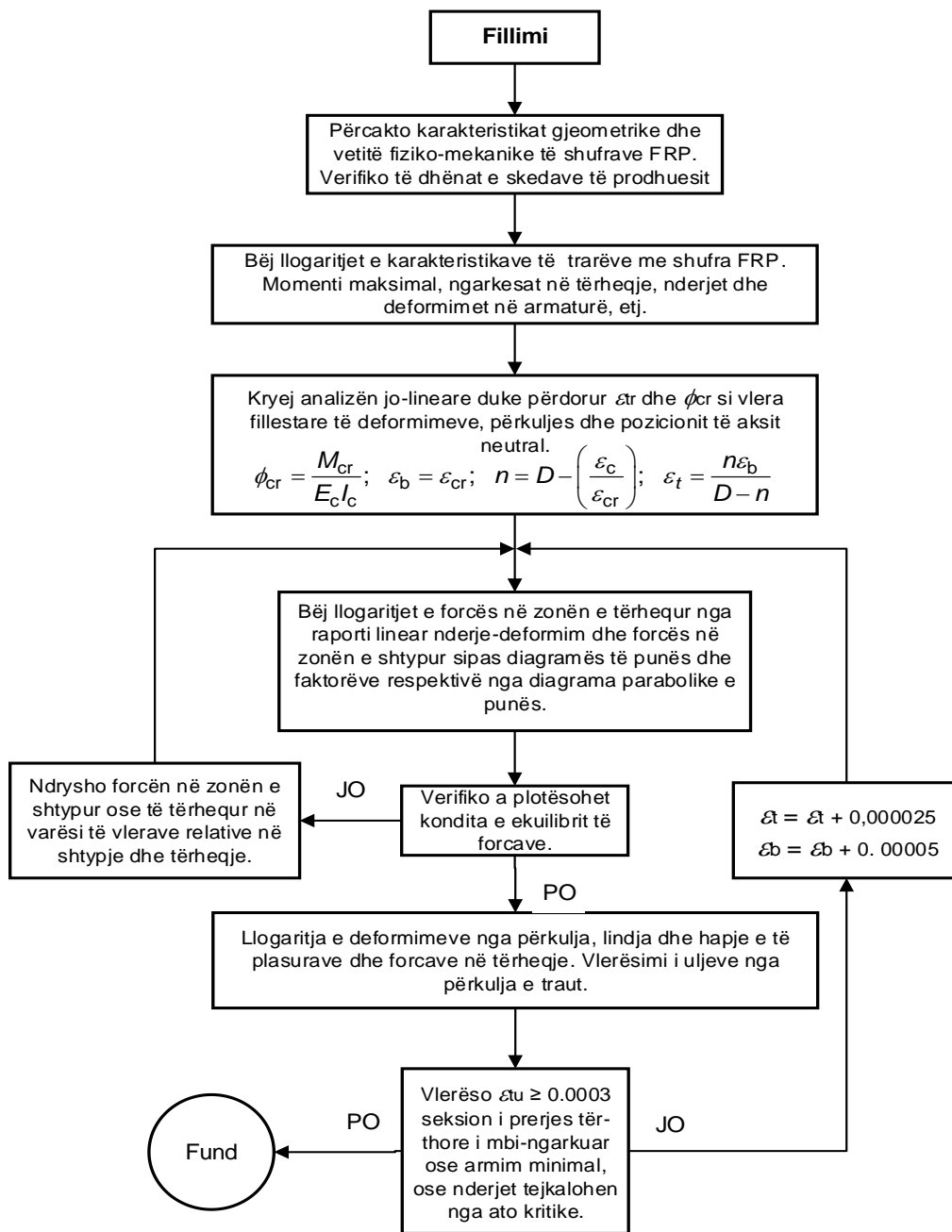


Figura 4.31. Algoritmi i procedurës së ndjekur për projektimin e trarëve të armuar me shufra të përforcuara me fibra FRP

4.3.1. Llogaritja e setit të trarëve T-2 të armuar me 2 shufra Ø8 mm të përforcuara me fibra qelqi GFRP

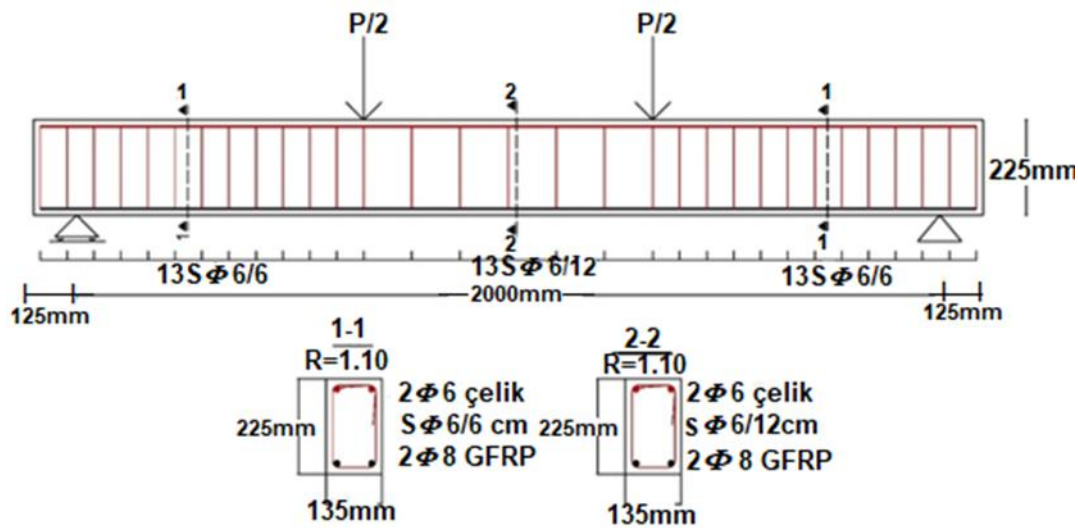


Figura 4.32. Prerja gjatësore dhe seksioni tërthor i armimit të traut T2 me 2 shufra Ø8 GFRP



Figura 4.33. Seti I trarëve T2 i armuar me 2 shufra Ø8mm të përforcuara me fibra qelqi (GFRP)

Të dhënat bazë për setin e trarëve T2 i armuar me shufra të përforcuara me fibra qelqi GFRP:

Gjatësia përgjithshme e traut:	2250 mm
Gjërësia e seksionit tërthorë, b :	135 mm
Lartësia e seksionit tërthorë, h :	225 mm
Aplikimi i ngarkesave të përqëndruara:	$L_f/3$: 770 mm
Karakteristikat mekanike:	
A_{frp} :	100.52 mm ²
f_{frp}^* :	1108.2 MPa

E_{frp} : 50000 MPa

ε_{frp}^* : 0.0234

1. Karakteristikat llogaritëse

$$f_{frp} = C_E f_{frp}^* = 0,8 \cdot 1108,2 = 886,56 \text{ MPa} \quad (4.1)$$

$$\varepsilon_{frp} = C_E \varepsilon_{frp}^* = 0,8 \cdot 0,0234 = 0,0187$$

2. Qendra e rëndesës të armaturës dhe lartësia statike e seksionit tërthor:

$$d_1 = c_0 + \phi_s + \frac{\phi}{2} = 15 + 6 + \frac{8}{2} = 25 \text{ mm} \quad (4.2)$$

$$d = h - d_1 = 225 - 25 = 200 \text{ mm}$$

3. Forca në shtypje, C:

$$C = 0,85 \cdot f_c' \beta_1 b c \quad (4.3)$$

$$C = 0,85 \cdot 36,50 \cdot 0,85 \cdot 135 \cdot c$$

$$C = 3560,0 \cdot c$$

4. Forca në tërheqje, T

$$T = E_{frp} \varepsilon_{frp} A_{frp} \quad (4.4)$$

$$T = 50,00 \frac{0,003}{c} (200 - c) \cdot 100,52$$

$$T = \frac{15078}{c} (200 - c)$$

Ku deformimet në armaturë jepen me shprehjen:

$$\varepsilon_{fu} = \frac{0,003}{c} (d - c) \quad (4.5)$$

5. Kushti i ekuilibrit të forcave të mbrendshme (C=T)

$$0,85 \cdot f_c' \beta_1 b c = E_{frp} \varepsilon_{frp} A_{frp} \quad (4.6)$$

$$3560,0 \cdot c = \frac{15078}{c} (200 - c)$$

Pas zgjidhjes së ekuacionit kuadratik, fitojmë vlerën e aksit neutral “c”.

$$c = 27.66 \text{ mm}$$

6. Përcaktimi i deformimeve në armaturë

$$\varepsilon_{fu} = \frac{0,003}{27.16}(200 - 27,16)$$

$$\varepsilon_{fu} = 0,0183 < \varepsilon_{frp} = 0,0187$$

Nga ky rezultat vërejmë se deformimet në armaturën FRP nuk janë tejkaluar.

7. Nderjet e llogaritura në armaturë

$$f_{fu} = E_{frp} \varepsilon_{fu} \quad f_{fu} < f_{frp} \quad (4.7)$$

$$f_{fu} = 50,000 \cdot 0,0183$$

$$f_{fu} = 925 \text{ MPa} > f_{frp} = 886,56 \text{ MPa}$$

Nga ky konkludim shihet se nderjet në armaturë janë tejkaluar.

8. Përqindja e armimit

$$\rho = \frac{A_{frp}}{b \cdot d} \quad (4.8)$$

$$\rho = \frac{100.52}{135.200} = 0,00373\%$$

9. Përqindja e balancuar e armimit

$$\rho_b = 0,85 \beta_1 \frac{f'_c}{f_{fu}} \left(\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{fu}} \right) \quad (4.9)$$

$$\rho_b = 0,85 \cdot 0,85 \frac{36,5}{886,56} \left(\frac{0,003}{0,003 + 0,0183} \right)$$

$$\rho_b = 0,00413\%$$

10. Krahasimi i përqindjes së armimit me përqindjen e balancuar të armimit

$$\rho_f = \frac{\rho}{\rho_b} \quad (4.10)$$

$$\rho_f = \frac{0,00373}{0,00413} = 0,903 < 1,0 \quad \rightarrow \quad \phi = 0,55$$

11. Llogaritja e momentit maksimal

$$M_{max} = F \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (4.11)$$

$$a = \beta_1 \cdot c = 0.85 \cdot 27.66 = 23.511 \quad (4.12)$$

$$F = f_{frp} \cdot A_{frp} = 886.56 \cdot 100.52 = 89.11 \text{ kN} \quad (4.13)$$

$$M_{max} = 89.11 \left(200 - \frac{23.08}{2} \right)$$

$$M_{max} = 16.793 \text{ kNm}$$

12. Momenti llogaritës

$$M_{llog} \leq \emptyset M_{max} \quad (4.14)$$

$$M_{llog} \leq 0.55 \cdot 16.34$$

$$M_{llog} \leq 9.00 \text{ kNm}$$

13. Gjërësia e hapjes së të plasaritjeve

$$\eta_f = \frac{E_{frp}}{E_c} = \frac{50,000}{4750 \cdot \sqrt{36.5}} = 1.74 \quad (4.15)$$

$$k = \sqrt{2\rho\eta_f + (\rho\eta_f)^2} - \rho\eta_f \quad (4.16)$$

$$k = \sqrt{2 \cdot 0.00396 \cdot 1.74 + (0.00396 \cdot 1.74)^2} - 0.00396 \cdot 1.74$$

$$k = 0.11$$

$$f_f = \frac{M}{A_{frp} \cdot d(1 - k/3)} = \frac{9.0 \cdot 10^6}{100.52 \cdot 200 \left(1 - \frac{0.11}{3} \right)} = 476.62 \text{ MPa} \quad (4.17)$$

$$\beta = \frac{h - kd}{d(1 - k)} = \frac{225 - 0.11 \cdot 200}{200(1 - 0.11)} = 1.1405 \quad (4.18)$$

$$d_c = h - d = 225 - 200 = 25 \text{ mm}$$

$$A = \frac{2d_c \cdot h}{Nr \text{ i shufrave}} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 225}{2} = 5625 \text{ mm}^2 \quad (4.19)$$

$$w = \frac{2.20}{E_{frp}} \cdot \beta \cdot k_b \cdot f_f \cdot \sqrt[3]{d_c \cdot A}$$

$$w = \frac{2.20}{50,000} \cdot 1.144 \cdot 1.2 \cdot 476.62 \cdot \sqrt[3]{25 \cdot 5500} \quad (4.20)$$

$$w = 1.485 \text{ mm}$$

14. Momenti i paraqitjes së të plasurave

$$I_G = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{135 \cdot 225^3}{12} = 128,144,531 \text{ mm}^4 \quad (4.21)$$

$$f_r = 0.623 \sqrt{f'_c} = 0.623 \sqrt{36.5} = 3.76 \text{ MPa} \quad (4.22)$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_G}{y_t} = \frac{3.76 \cdot 128144531}{192.84} \quad (4.23)$$

$$y_t = h - c$$

$$M_{cr} = 2.25 \text{ kNm}$$

15. Llogaritja e uljeve

$$\beta_d = \frac{1}{5} \left(\frac{\rho_f}{\rho_b} \right) \leq 1.0 \quad (4.24)$$

$$\beta_d = \frac{1}{5} \left(\frac{0.00396}{0.00415} \right) \leq 1.0$$

$$\beta_d = 0.954 \leq 1.0$$

$$I_{cr} = \frac{b \cdot d^3}{3} \cdot k^3 + \eta_f \cdot A_{frp} \cdot d^2 (1 - k)^2 \quad (4.25)$$

$$I_{cr} = \frac{135 \cdot 200^3}{3} \cdot 0.11^3 + 1.74 \cdot 100.52 \cdot 200^2 (1 - 0.11)^2$$

$$I_{cr} = 7448352 \text{ mm}^4$$

Momenti i inercisë, sipas ACI 318R-95:

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \cdot \beta_d \cdot I_G + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} \leq I_g \quad (4.26)$$

$$I_e = \left(\frac{2.25}{9.0} \right)^3 \cdot 0.954 \cdot 128,144,531 + \left[1 - \left(\frac{2.25}{9.0} \right)^3 \right] 7448352 \leq I_g$$

$$I_g = 7,326,218.185 \text{ mm}^4 \leq I_g = 115,353,333.3 \text{ mm}^4$$

$$\Delta = \frac{Pa}{24E_c I_g} (3L^2 - 4a^2) = \frac{13.51 \cdot 10^3 \cdot 666}{24 \cdot 2.86 \cdot 10^4 \cdot 7,326,218.185} (3 \cdot 2000^2 - 4 \cdot 666^2) \quad (4.27)$$

$$\Delta = 18.43 \text{ mm}$$

$$\Delta_{eks.}^1 = 27.93 \text{ mm}$$

4.3.2. Llogaritja e stit te trarëve T3 të armuar me 2 shufra Ø10 mm të përforcuara me fibra GFRP

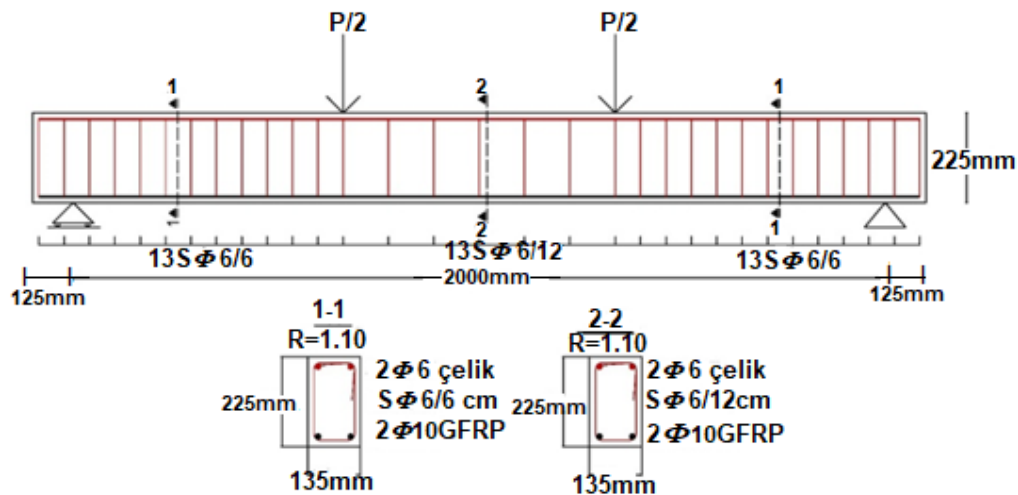


Figura 4.34. Prerja gjatësore dhe seksioni tërthor i armimit të setit të trarëve T3 me 2 shufra Ø10 GFRP



Figura. 4.35. Trau T3 i armuar me 2 shufra Ø10 GFRP

Të dhënat bazë për llogaritje:

Gjatësia e traut, L :	2250 mm
Hapsira dritë llogaritëse, L_{ef} :	2000 mm
Largësia ndërmjet dy forcave të përqëndruara, L_p :	670 mm
Gjërësia e trau, b :	135 mm
Lartësia e traut, h :	225 mm
Karakteristikat mekanike:	
A_{frp} :	157.08 mm ²
f_{frp} :	1195.0 MPa
E_{frp} :	50000 MPa
ε_{frp} :	0.0256

1. Karakteristikat llogaritëse të traut T3:

$$f_{frp} = C_E \cdot f_{frp}^* = 0.8 \cdot 1195 = 956.0 \text{ MPa} \quad (4.28)$$

$$\varepsilon_{frp} = C_E \cdot \varepsilon_{frp}^* = 0.8 \cdot 0.0256 = 0.02048$$

2. Qendra e rëndesës së armaturës dhe lartësia statike e prerjes tërthore:

$$d_1 = c_0 + \varnothing_s + \frac{\varnothing}{2} = 15 + 6 + \frac{10}{2} = 26 \text{ mm} \quad (4.29)$$

$$d = h - d_1 = 225 - 26 = 199 \text{ mm}$$

3. Forca në shtypje C:

$$C = 0.85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b \cdot c \quad (4.30)$$

$$C = 0.85 \cdot 39.5 \cdot 0.85 \cdot 135 \cdot c$$

$$C = 3854.25 \cdot c$$

4. Forca në tërheqje "T":

$$T = E_{frp} \cdot \varepsilon_{frp} \cdot A_{frp} \quad (4.31)$$

$$T = 50,000 \cdot \frac{0.02048}{c} \cdot (199 - c) \cdot 157.0$$

$$T = \frac{23550}{c} (199 - c)$$

Ndërsa:

Deformimet në armaturë gjenden nga barazimi:

$$\varepsilon_{fu} = \frac{0.003}{c}(d - c) \quad (4.32)$$

5. Kushti i ekuilibrit të forcave të brendshme (C=T):

$$0.85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b \cdot c = E_{frp} \cdot \varepsilon_{frp} \cdot A_{frp} \quad (4.33)$$

$$3854.25c = \frac{23550}{c}(199 - c)$$

Pas zgjidhjes së ekuacionit kuadratik, përcaktojmë pozicionin e aksit neutral c ,

$$c = 34.22 \text{ mm}$$

6. Përcaktimi i deformimeve në armaturë, jepet nga barazimi:

$$\varepsilon_{fu} = \frac{0.003}{29.35}(199 - 29.35)$$

$$\varepsilon_{fu} = 0.0145 < \varepsilon_{frp} = 0.0204$$

Nga ky konkludim shihet se deformimet në armaturë nuk janë tejkaluar.

7. Nderjet e llogaritëse në armaturë

$$f_{fu} = E_{frp} \cdot \varepsilon_{fu} \quad f_{fu} < f_{frp} \quad (4.34)$$

$$f_{fu} = 50,000 \cdot 0.0145$$

$$f_{fu} = 725.7 \text{ MPa} < f_{frp} = 955.44 \text{ MPa}$$

Nga rezultati i marrë, vërejmë se nderjet në armaturën punuese nuk janë tejkaluar.

8. Përqindja e armimit

$$\rho = \frac{A_{frp}}{b \cdot d} \quad (4.35)$$

$$\rho = \frac{157.0}{135 \cdot 199} = 0.00622\%$$

9. Përqindja e balancuar e armimit

$$\rho_b = 0.85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f'_c}{f_{fu}} \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} \cdot \varepsilon_{fu}} \right) \quad (4.35)$$

$$\rho_b = 0.85 \cdot 0.85 \cdot \frac{39.5}{956.0} \cdot \left(\frac{0.003}{0.003 \cdot 0.0206} \right)$$

$$\rho_b = 0.003525\%$$

10. Krahasimi i përqindjes së armimit me përqindjen e balansuar të armimit

$$\rho_f = \frac{\rho}{\rho_b} \quad (4.36)$$

$$\rho_f = \frac{0.00622}{0.003525} = 1.770 > 1.4 \quad \rightarrow \quad \emptyset = 0.65$$

11. Llogaritja e momentit maksimal

$$M_{max} = F \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (4.37)$$

$$a = \beta_1 \cdot c = 0.85 \cdot 33.23 = 28.24 \quad (4.38)$$

$$F = f_{frp} \cdot A_{frp} = 956.00 \cdot 157.06 = 150 \text{ kN} \quad (4.39)$$

$$M_{max} = 1501 \left(199 - \frac{28.24}{2} \right)$$

$$M_{max} = 27.00 \text{ kNm}$$

12. Momenti llogaritës

$$M_{llog} \leq \emptyset M_{max} \quad (4.40)$$

$$M_{llog} \leq 0.55 \cdot 27$$

$$M_{llog} \leq 17.55 \text{ kNm}$$

13. Gjërësia e hapjes së të plasurave

$$\eta_f = \frac{E_{frp}}{E_c} = \frac{50,000}{4750 \cdot \sqrt{36.5}} = 1.742 \quad (4.41)$$

$$k = \sqrt{2\rho\eta_f + (\rho\eta_f)^2} - \rho\eta_f \quad (4.42)$$

$$k = \sqrt{2 \cdot 0.00584 \cdot 1.742 + (0.00584 \cdot 1.742)^2} - 0.00584 \cdot 1.742$$

$$k = 0.14$$

$$f_f = \frac{M}{A_{frp} \cdot d(1 - k/3)} = \frac{17.55 \cdot 10^6}{157.06 \cdot 199 \left(1 - \frac{0.14}{3} \right)} = 604.11 \text{ MPa} \quad (4.43)$$

$$\beta = \frac{h - kd}{d(1 - k)} = \frac{225 - 0.136 \cdot 199}{199(1 - 0.136)} = 1.146 \quad (4.44)$$

$$d_c = h - d = 225 - 199 = 26 \text{ mm}$$

$$A = \frac{2d_c \cdot h}{Nr \text{ i shufrave}} = \frac{2 \cdot 26 \cdot 225}{2} = 58500 \text{ mm}^2 \quad (4.45)$$

$$w = \frac{2.20}{E_{frp}} \cdot \beta \cdot k_b \cdot f_f \cdot \sqrt[3]{d_c \cdot A} \quad (4.46)$$

$$w = \frac{2.20}{50,000} \cdot 1.146 \cdot 1.2 \cdot 476.62 \cdot \sqrt[3]{26 \cdot 5720}$$

$$w = 1.95 \text{ mm}$$

14. Momenti i shfaqjes së të plasurave

$$I_G = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{135 \cdot 225^3}{12} = 128,144,531.3 \text{ mm}^4 \quad (4.47)$$

$$f_r = 0.623 \sqrt{f'_c} = 0.623 \sqrt{36.5} = 3.76 \text{ MPa} \quad (4.47)$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_G}{y_t} = \frac{3.76 \cdot 128144531.3}{192.84} \quad (4.48)$$

$$y_t = h - c$$

$$M_{cr} = 2.498 \text{ kNm}$$

15. Llogaritja e uljeve në mesin e hapsirës së traut

$$\beta_d = \frac{1}{5} \left(\frac{\rho_f}{\rho_b} \right) \leq 1.0 \quad (4.49)$$

$$\beta_d = \frac{1}{5} \left(\frac{0.00622}{0.00353} \right) \leq 1.0$$

$$\beta_d = 0.356 \leq 1.0$$

$$I_{cr} = \frac{b \cdot d^3}{3} \cdot k^3 + \eta_f \cdot A_{frp} \cdot d^2(1 - k)^2 \quad (4.50)$$

$$I_{cr} = \frac{135 \cdot 199.5^3}{3} \cdot 0.136^3 + 1.74 \cdot 157.06 \cdot 199.5^2(1 - 0.136)^2$$

$$I_{cr} = 8474832,41 \text{ mm}^4$$

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \cdot \beta_d \cdot I_G + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \leq I_g \quad (4.51)$$

$$I_e = \left(\frac{2.498}{17.55}\right)^3 \cdot 0.356 \cdot 128144531.3 + \left[1 - \left(\frac{2.498}{17.55}\right)^3\right] 8,473,832.41 \leq I_g$$

$$I_e = 7977574,68 \text{ mm}^4 \leq I_g = 128144531.3 \text{ mm}^4$$

$$\Delta = \frac{Pa}{24E_c I_e} (3L^2 - 4a^2) = \frac{26.35 \cdot 10^3 \cdot 666}{24 \cdot 2.86 \cdot 10^4 \cdot 7977574,68} (3 \cdot 2000^2 - 4 \cdot 666^2) \quad (4.52)$$

$$\Delta = 32.72 \text{ mm},$$

$$\Delta_{\text{eks.}}^1 = 38.81 \text{ mm}$$

4.3.3. Llogaritja e setit të trarëve T-4 të armuar me 2 shufra Ø8 mm të përforcuara me fibra CFRP

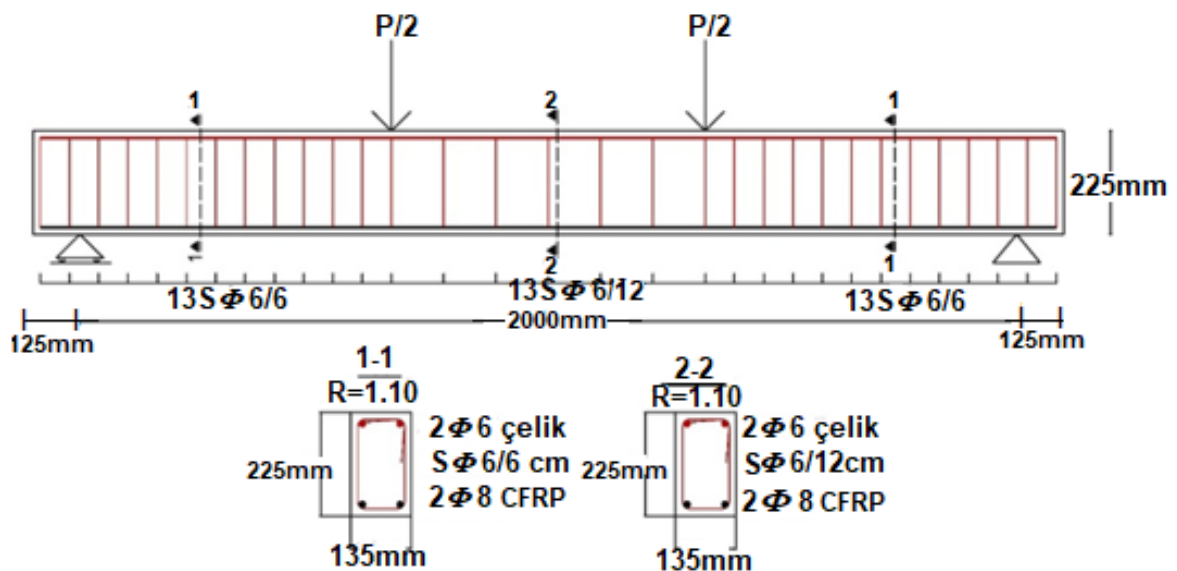


Figura 4.36. Prerja gjatësore dhe tërthore e setit të trarëve T4 i armuar me 2 shufra CFRP 8mm



Figura 4.37. Trau T4 i armuar me 2 shufra shufra Ø8 CFRP)

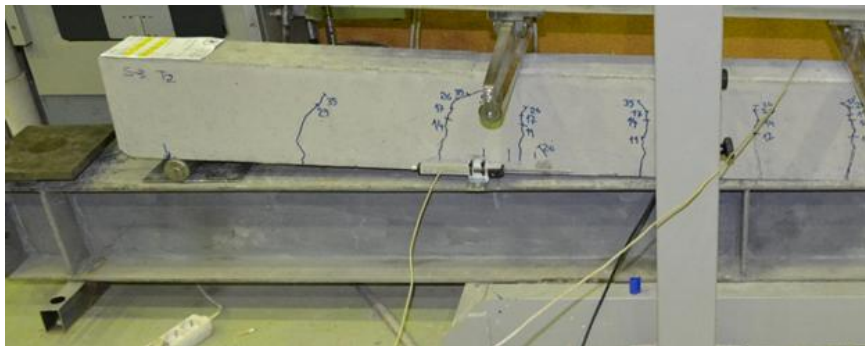


Figura 4.38. Trau T4, armimi me 2 shufra Ø8 CFRP . Shfaqja e plasaritjeve

Të dhëna bazë për projektim të Traut, T4:

Armimi i traut me gjatësi 2,20 m

Pikëveprimi i ngarkesave është në $L_f/3$

Karakteristikat mekanike:

A_{frp} :	100.52 mm ²
f_{frp}^* :	1265.00 MPa
E_{frp} :	155000 MPa
ε_{frp}^* :	0.0095

1. Karakteristikat llogaritëse

$$f_{frp} = C_E \cdot f_{frp}^* = 0.8 \cdot 1265.0 = 1012.00 \text{ MPa} \quad (4.53)$$

$$\varepsilon_{frp} = C_E \cdot \varepsilon_{frp}^* = 0.8 \cdot 0.0095 = 0.0076$$

2. Qendra e rëndesës së armaturës dhe lartësia statike e prerjes tërthore

$$d_1 = c_0 + \varnothing_s + \frac{\varnothing}{2} = 15 + 6 + \frac{8}{2} = 25 \text{ mm} \quad (4.54)$$

$$d = h - d_1 = 225 - 25 = 200 \text{ mm}$$

3. Forca në shtypje “C”.

$$C = 0.85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b \cdot c \quad (4.55)$$

$$C = 0.85 \cdot 36.5 \cdot 0.85 \cdot 135 \cdot c$$

$$C = 3482.26 \cdot c$$

4. Forca në tërheqje “T”.

$$T = E_{frrp} \cdot \varepsilon_{frrp} \cdot A_{frrp} \quad (4.56)$$

$$T = 155,000 \frac{0.003}{c} (200 - c) \cdot 100.52$$

$$T = \frac{45,234}{c} (200 - c)$$

Ku deformimet në armaturë jepen me shprehjen:

$$\varepsilon_{fu} = \frac{0.003}{c} (d - c) \quad (4.57)$$

5. Kushti i ekuilibrit të forcave të mbrendshme (C=T)

$$0.85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b \cdot c = E_{frrp} \cdot \varepsilon_{frrp} \cdot A_{frrp} \quad (4.58)$$

$$3482.26c = \frac{45,234}{c} (200 - c)$$

Pas zgjidhjes së ekuacionit kuadratik, fitojmë vlerën e aksit neutral “c”.

$$c = 45.05 \text{ mm}$$

6. Përcaktimi i deformimeve në armaturën konvencionale

$$\varepsilon_{fu} = \frac{0.003}{44.55} (200 - 45.05)$$

$$\varepsilon_{fu} = 0.0101 > \varepsilon_{frrp} = 0.0076$$

Nga ky konkludim shihet se deformimet në armature janë tejkaluar.

7. Nderjet e llogaritura në armaturën konvencionale

$$f_{fu} = E_{frrp} \cdot \varepsilon_{fu} \quad f_{fu} < f_{frrp} \quad (4.59)$$

$$f_{fu} = 155,000 \cdot 0.0101$$

$$f_{fu} = 1570.32 \text{ MPa} > f_{frp} = 1012.00 \text{ MPa}$$

Nga vlera e fituar në armaturën konvencionale vërejtme se sforcimet janë tejkaluar.

8. Përqindja e armimit

$$\rho = \frac{A_{frp}}{b \cdot d} \quad (4.60)$$

$$\rho = \frac{100.52}{135 \cdot 200} = 0.00372$$

9. Përqindja e balancuar e armimit

$$\rho_b = 0.85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f'_c}{f_{frp}} \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} \cdot \varepsilon_{fu}} \right) \quad (4.60)$$

$$\rho_b = 0.85 \cdot 0.85 \cdot \frac{36.5}{1012.32} \cdot \left(\frac{0.003}{0.003 \cdot 0.0076} \right)$$

$$\rho_b = 0.00737$$

10. Krahasimi i përqindjes së armimit me përqindjen e balancuar të armimit

$$\rho_f = \frac{\rho}{\rho_b} \quad (4.61)$$

$$\rho_f = \frac{0.00372}{0.00737} = 0.51 < 1.0 \quad \text{zgjedhim} \rightarrow \quad \emptyset = 0.55$$

11. Llogaritja e momentit maksimal

$$M_{max} = F \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (4.62)$$

$$a = \beta_1 \cdot c = 0.85 \cdot 44.55 = 37.86 \quad (4.63)$$

$$F = f_{frp} \cdot A_{frp} = 1012.00 \cdot 100.52 = 101.75 \text{ kN} \quad (4.64)$$

$$M_{max} = 101.75 \left(200 - \frac{37.86}{2} \right)$$

$$M_{max} = 18.44 \text{ kNm}$$

12. Momenti llogaritës

$$M_{llog} \leq \emptyset M_{max} \quad (4.65)$$

$$M_{llog} \leq 0.55 \cdot 18.44$$

$$M_{llog} \leq 10.142 \text{ kNm}$$

13. Gjërësia e hapjes së të plasurave

$$\eta_f = \frac{E_{frrp}}{E_c} = \frac{155,000}{4750 \cdot \sqrt{36.5}} = 1.74 \quad (4.66)$$

$$k = \sqrt{2\rho\eta_f + (\rho\eta_f)^2} - \rho\eta_f \quad (4.67)$$

$$k = \sqrt{2 \cdot 0.00396 \cdot 1.74 + (0.00396 \cdot 1.74)^2} - 0.00396 \cdot 1.74$$

$$k = 0.11$$

$$f_f = \frac{M}{A_{frrp} \cdot d(1 - k/3)} = \frac{10.42 \cdot 10^6}{100.52 \cdot 195 \left(1 - \frac{0.11}{3}\right)} = 524.80 \text{ MPa} \quad (4.68)$$

$$\beta = \frac{h - kd}{d(1 - k)} = \frac{220 - 0.11 \cdot 200}{200(1 - 0.11)} = 1.144 \quad (4.69)$$

$$d_c = h - d = 225 - 200 = 25 \text{ mm}$$

$$A = \frac{2d_c \cdot h}{Nr \text{ i shufrave}} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 225}{2} = 5625 \text{ mm}^2 \quad (4.70)$$

$$w = \frac{2.20}{E_{frrp}} \cdot \beta \cdot k_b \cdot f_f \cdot \sqrt[3]{d_c \cdot A} \quad (4.71)$$

$$w = \frac{2.20}{155,000} \cdot 1.144 \cdot 1.2 \cdot 521.64 \cdot \sqrt[3]{25 \cdot 5625}$$

$$w = 0.530 \text{ mm}$$

14. Momenti i lindjes së të plasurave

$$I_G = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{135 \cdot 225^3}{12} = 128,144,531.3 \text{ mm}^4 \quad (4.72)$$

$$f_r = 0.623\sqrt{f'_c} = 0.623\sqrt{36.5} = 3.76 \text{ MPa} \quad (4.73)$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_G}{y_t} = \frac{3.76 \cdot 128144531.3}{175.45} \quad (4.74)$$

$$y_t = h - c$$

$$M_{cr} = 2.746 \text{ kNm}$$

15. Llogaritja e uljeve në mesin e hapsirës së traut

$$\beta_d = \frac{1}{5} \left(\frac{\rho_f}{\rho_b} \right) \leq 1.0 \quad (4.75)$$

$$\beta_d = \frac{1}{5} \left(\frac{0.00396}{0.00737} \right) \leq 1.0$$

$$\beta_d = 0.105 \leq 1.0$$

$$I_{cr} = \frac{b \cdot d^3}{3} \cdot k^3 + \eta_f \cdot A_{frp} \cdot d^2 (1 - k)^2 \quad (4.76)$$

$$I_{cr} = \frac{135 \cdot 200^3}{3} \cdot 0.11^3 + 1.74 \cdot 100.52 \cdot 195^2 (1 - 0.11)^2$$

$$I_{cr} = 5,915,728.32 \text{ mm}^4$$

$$I_s = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \cdot \beta_d \cdot I_G + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} \leq I_g \quad (4.77)$$

$$I_s = \left(\frac{2.47}{9.85} \right)^3 \cdot 0.105 \cdot 128144531.3 + \left[1 - \left(\frac{2.47}{9.85} \right)^3 \right] 5,915,557 \leq I_g$$

$$I_s = 8,643,164.33 \text{ mm}^4 \leq I_g = 128144531.3 \text{ mm}^4$$

$$\Delta = \frac{Pa}{24E_c I_s} (3L^2 - 4a^2) = \frac{14.79 \cdot 10^3 \cdot 666}{24 \cdot 2.86 \cdot 10^4 \cdot 8,643,164.33} (3 \cdot 2000^2 - 4 \cdot 666^2) \quad (4.78)$$

$$\Delta = 17.09 \text{ mm}$$

$$\Delta_{eks.}^1 = 12.09 \text{ mm}$$

4.3.4. Llogaritja analitike e setit të trarëve T5 të armuar me 2 Ø10 shufra të përforcuara me fibra CFRP

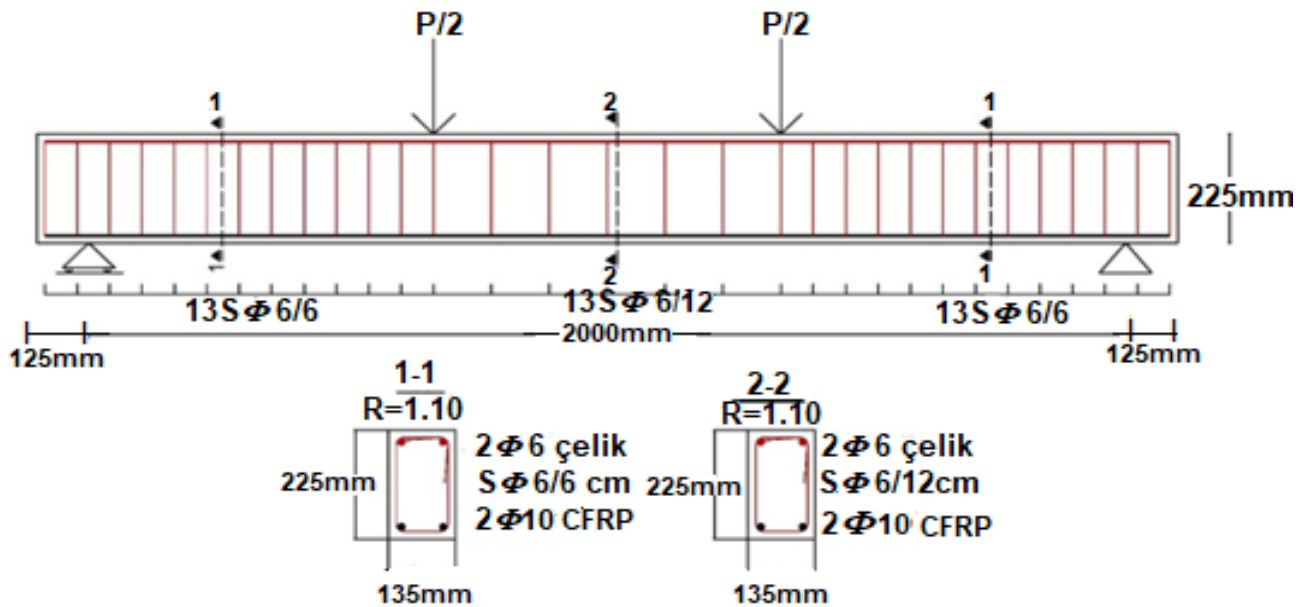


Figura 4.39. Prerja gjatësore dhe tërthore e setit të trarëve T5 i armuar me 2 shufra Ø10 mm CFRP



Figura 4.40. Trau T5 i armuar me 2 shufra Ø10 të përforcuara me fibra CFRP

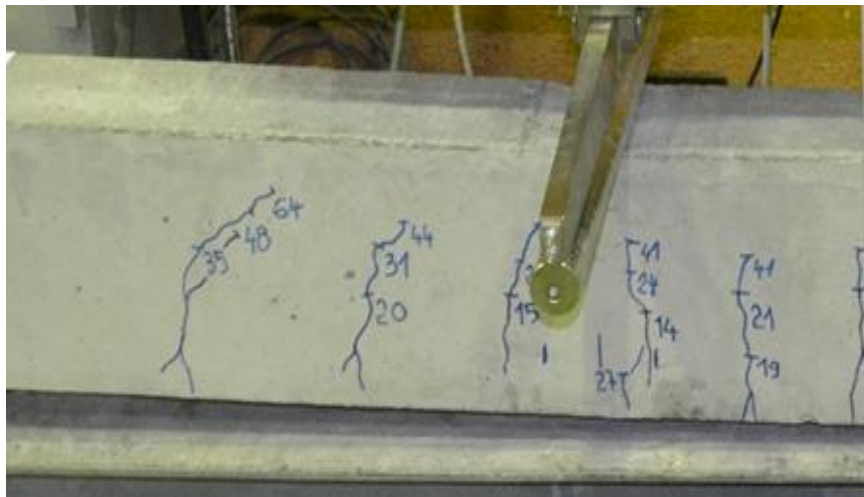


Figura 4.41. Trau T5 i armuar me 2 shufra Ø10 të përforcuara me fibra CFRP. Shfaqja e plasaritjeve.

Të dhëna bazë për projektim:

Gjatësia e përgjithshme e traut: 2250 mm

Largësia e ushtrimit të ngarkesës nga mbështetja: $L_f/3$

Karakteristikat mekanike:

A_{frp} : 157.06 mm²

f_{frp}^* : 2000 MPa

E_{frp} : 155000 MPa

ε_{frp}^* : 0.0155

1. Karakteristikat llogaritore

$$f_{frp} = C_E \cdot f_{frp}^* = 0.8 \cdot 2000 = 1600 \text{ MPa} \quad (4.80)$$

$$\varepsilon_{frp} = C_E \cdot \varepsilon_{frp}^* = 0.8 \cdot 0.0155 = 0.0124$$

2. Qendra e rëndesës së armaturës dhe lartësia statike e seksionit tërthorë

$$d_1 = c_0 + \varnothing_s + \frac{\varnothing}{2} = 15 + 6 + \frac{10}{2} = 26 \text{ mm} \quad (4.81)$$

$$d = h - d_1 = 225 - 26 = 199 \text{ mm}$$

3. Forca në shtypje "C"

$$C = 0.85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b \cdot c \quad (4.82)$$

$$C = 0.85 \cdot 36.5 \cdot 0.85 \cdot 135 \cdot c$$

$$C = 3560 \cdot c$$

4. Forca në tërheqje "T"

$$T = E_{frrp} \cdot \varepsilon_{frrp} \cdot A_{frrp} \quad (4.83)$$

$$T = 155,000 \frac{0.003}{c} (199 - c) \cdot 157.06$$

$$T = \frac{73,032.9}{c} (199 - c)$$

Deformimet në armaturë përcaktohen nga barazimi:

$$\varepsilon_{fu} = \frac{0.003}{c} (d - c) \quad (4.84)$$

5. Kushti i ekuilibrit të forcave të mbrendshme (C=T)

$$0.85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b \cdot c = E_{frrp} \cdot \varepsilon_{frrp} \cdot A_{frrp} \quad (4.85)$$

$$3560 \cdot c = \frac{73,032.9}{c} (199 - c)$$

Pas zgjidhjes së ekuacionit, përcaktojmë largësinë e verndodhjes të aksit neutral c .

$$c = 56,85 \text{ mm}$$

6. Përcaktimi i deformimeve në armaturë

$$\varepsilon_{fu} = \frac{0.003}{56.85} (199 - 56,85)$$

$$\varepsilon_{fu} = 0.0075 < \varepsilon_{frrp} = 0.012$$

Nga mosbarazimi i mesipërm konstatojmë se deformimet në armaturën konvencioale nuk janë tejkualuar.

7. Nderjet e llogaritura në armaturë

$$f_{fu} = E_{frrp} \cdot \varepsilon_{fu} \quad f_{fu} < f_{frrp} \quad (4.86)$$

$$f_{fu} = 155,000 \cdot 0.0076$$

$$f_{fu} = 1189.82 < f_{frrp} = 1600 \text{ MPa}$$

Nga mosbarazimi i sipërm vërejmë se nderjet në armaturën konvencioanle nuk janë tejkualuar.

8. Përqindja e armimit

$$\rho = \frac{A_{frrp}}{b \cdot d} \quad (4.87)$$

$$\rho = \frac{157.06}{135 \cdot 199} = 0.00585$$

9. Përqindja e balancuar e armimit

$$\rho_b = 0.85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f'_c}{f_{frrp}} \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} \cdot \varepsilon_{fu}} \right) \quad (4.88)$$

$$\rho_b = 0.85 \cdot 0.85 \cdot \frac{36.5}{1600} \cdot \left(\frac{0.003}{0.003 \cdot 0.0124} \right)$$

$$\rho_b = 0.00329$$

10. Krahasimi i përqindjes së armimit me përqindjen e balancuar të armimit.

$$\rho_f = \frac{\rho}{\rho_b} \quad (4.89)$$

$$\rho_f = \frac{0.00585}{0.00329} = 1.8 > 1.4 \quad \text{zgjedhim} \rightarrow \quad \emptyset = 0.65$$

11. Llogaritja e momentit maksimal

$$M_{max} = F \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (4.90)$$

$$a = \beta_1 \cdot c = 0.85 \cdot 54.51 = 46.33 \quad (4.91)$$

$$F = f_{frrp} \cdot A_{frrp} = 1600 \cdot 157.06 = 251 \text{ kN} \quad (4.92)$$

$$M_{max} = 251 \left(199 - \frac{246.338.24}{2} \right)$$

$$M_{max} = 41.98 \text{ kNm}$$

12. Momenti llogaritës

$$M_{llog} \leq \emptyset M_{max} \quad (4.93)$$

$$M_{llog} \leq 0.65 \cdot 41.98$$

$$M_{llog} \leq 27.287 \text{ kNm}$$

13. Gjërësia e hapjes së të plasurave

$$\eta_f = \frac{E_{frrp}}{E_c} = \frac{155,000}{4750 \cdot \sqrt{36.5}} = 1.74 \quad (4.94)$$

$$k = \sqrt{2\rho\eta_f + (\rho\eta_f)^2} - \rho\eta_f \quad (4.95)$$

$$k = \sqrt{2 \cdot 0.00622 \cdot 1.74 + (0.00622 \cdot 1.74)^2} - 0.00622 \cdot 1.74$$

$$k = 0.136$$

$$f_f = \frac{M}{A_{frrp} \cdot d(1 - k/3)} = \frac{27.287 \cdot 10^6}{157.06 \cdot 19 \left(1 - \frac{0.136}{3}\right)} = 958.31 \text{ MPa} \quad (4.96)$$

$$\beta = \frac{h - kd}{d(1 - k)} = \frac{225 - 0.136 \cdot 199}{199(1 - 0.136)} = 1.165 \quad (4.97)$$

$$d_c = h - d = 225 - 199 = 26 \text{ mm}$$

$$A = \frac{2d_c \cdot h}{Nr \text{ i shufrave}} = \frac{2 \cdot 26 \cdot 225}{2} = 5850 \text{ mm}^2 \quad (4.98)$$

$$w = \frac{2.20}{E_{frrp}} \cdot \beta \cdot k_b \cdot f_f \cdot \sqrt[3]{d_c \cdot A} \quad (4.99)$$

$$w = \frac{2.20}{155,000} \cdot 1.155 \cdot 1.2 \cdot 958.31 \cdot \sqrt[3]{26 \cdot 5850}$$

$$w = 1.35 \text{ mm}$$

14. Momenti i shfaqjes së të plasurave

$$I_G = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{135 \cdot 225^3}{12} = 128144531.3 \text{ mm}^4 \quad (4.100)$$

$$f_r = 0.623\sqrt{f'_c} = 0.623\sqrt{36.5} = 3.76 \text{ MPa} \quad (4.101)$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_G}{y_t} = \frac{3.76 \cdot 128144531.3}{165.49} \quad (4.102)$$

$$y_t = h - c$$

$$M_{cr} = 2.62 \text{ kNm}$$

15. Llogaritja e uljeve

$$\beta_d = \frac{1}{5} \left(\frac{\rho_f}{\rho_b} \right) \leq 1.0 \quad (4.103)$$

$$\beta_d = \frac{1}{5} \left(\frac{0.00622}{0.00329} \right) \leq 1.0$$

$$\beta_d = 0.378 \leq 1.0$$

$$I_{cr} = \frac{b \cdot d^3}{3} \cdot k^3 + \eta_f \cdot A_{frp} \cdot d^2 (1 - k)^2 \quad (4.104)$$

$$I_{cr} = \frac{130 \cdot 199^3}{3} \cdot 0.136^3 + 1.74 \cdot 157.06 \cdot 199^2 (1 - 0.136)^2$$

$$I_{cr} = 8,473,832.39 \text{ mm}^4$$

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \cdot \beta_d \cdot I_G + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} \leq I_g \quad (4.105)$$

$$I_e = \left(\frac{2.62}{27.87} \right)^3 \cdot 0.378 \cdot 128144531.3 + \left[1 - \left(\frac{2.62}{27.87} \right)^3 \right] 8,473,832.39 \leq I_g$$

$$I_e = 8,503,017.92 \text{ mm}^4 \leq I_g = 128144531.3 \text{ mm}^4$$

$$\Delta = \frac{Pa}{24E_c I_e} (3L^2 - 4a^2) = \frac{41.84 \cdot 10^3 \cdot 666}{24 \cdot 2.86 \cdot 10^4 \cdot 8,503,017.92} (3 \cdot 2000^2 - 4 \cdot 666^2) \quad (4.106)$$

$$\Delta = 49.16 \text{ mm}$$

$$\Delta_{eks.}^1 = 29.84 \text{ mm}$$

4.3.5. Llogaritja analitike e setit të trarëve T6 me armaturë konvencionale me 2 Ø8 mm

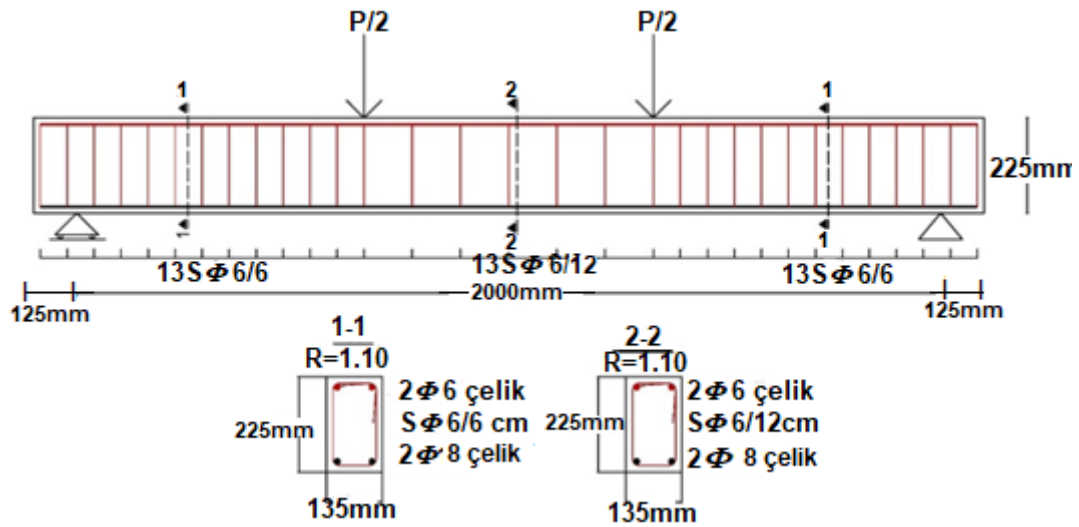


Figura 4.42. Prerja gjatësore dhe tërthore e setit të trarëve T6. Armimi me armaturë konvencionale 2 Ø8mm



Figura 4.43. Trau T6 i armuar me armaturë konvencionale 2Ø8mm



Figura 4.44. Trau T6 i armuar me armaturë konvencionale 2Ø8mm

Të dhëna bazë për projektim

Gjatësia e përgjithshme e traut:	2250 mm
Largësia e aplikimit të ngarkesave nga mbështjetet, $L_f/3$	770 mm
Karakteristikat mekanike	
A_{st} :	100.52 mm ²
f_s :	500 MPa
E_s :	200000 MPa
ε_s :	0.00250

1. Karakteristikat llogaritëse

$$f_s = 480 \text{ MPa}$$

2. Qendra e rëndesës së armaturës dhe lartësia statike e prerjes tërthore

$$d_1 = c_0 + \Phi_s + \frac{\Phi}{2} = 15 + 6 + \frac{8}{2} = 25 \text{ mm} \quad (4.107)$$

$$d = h - d_1 = 225 - 25 = 200 \text{ mm}$$

3. Forca në shtypje "C"

$$C = 0.85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b \cdot c \quad (4.108)$$

$$C = 0.85 \cdot 36.5 \cdot 0.85 \cdot 130 \cdot c$$

$$C = 3428.26c$$

4. Forca në tërheqje "T"

$$T = E_{frrp} \cdot \varepsilon_{frrp} \cdot A_{frrp} \quad (4.109)$$

$$T = 200,000 \frac{0.003}{c} (200 - c) \cdot 100.52$$

$$T = \frac{60,312}{c} (195 - c)$$

Deformimet në armaturën konvencionale përcaktohen nga barazimi:

$$\varepsilon_{su} = \frac{0.003}{c} (d - c) \quad (4.110)$$

5. Kushti i ekuilibrit të forcave të brendshme (C=T)

$$0.85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b \cdot c = E_{frrp} \cdot \varepsilon_{frrp} \cdot A_{frrp} \quad (4.111)$$

$$3428.26c = \frac{60,312}{c}(200 - c)$$

Pas zgjidhjes së ekuacionit kuadratik, përcaktojmë pozicionin e vendndodhjes të aksit neutral c .

$$c = 49.63 \text{ mm}$$

6. Përcaktimi i deformimeve në armaturë

$$\varepsilon_{su} = \frac{0.003}{49.63}(200 - 49.63)$$

$$\varepsilon_{su} = 0.0091 > \varepsilon_s = 0.0025$$

Nga mosbarazimi i sipërm vërejmë se deformimet në armaturën konvencioanle nuk janë tejkaluar.

7. Nderjet e llogaritura në armaturë

$$f_{su} = E_{frp} \cdot \varepsilon_{fu} \quad (4.112)$$

$$f_{su} = 200,000 \cdot 0.0086$$

$$f_{su} = 1720 \text{ MPa} > f_s = 480 \text{ MPa}$$

Nga mosbarazimi i sipërm vërejmë se nderjet në armaturën konvencioanle nuk janë tejkaluar.

8. Përqindja e armimit

$$\rho = \frac{A_{frp}}{b \cdot d} \quad (4.113)$$

$$\rho = \frac{100.52}{135 \cdot 200} = 0.00372$$

9. Përqindja e balansuar e armimit

$$\rho_b = 0.85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f'_c}{f_s} \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} \cdot \varepsilon_s} \right) \quad (4.114)$$

$$\rho_b = 0.85 \cdot 0.85 \cdot \frac{36.5}{480} \cdot \left(\frac{0.003}{0.003 \cdot 0.0025} \right)$$

$$\rho_b = 0.00299$$

10. Krahasimi i përqindjes së armimit me përqindjen e balansuar të armimit

$$\rho_f = \frac{\rho}{\rho_b} \quad (4.115)$$

$$\rho_f = \frac{0.0072}{0.00299} = 0.24 < 1.0 \quad \text{zgjedhim} \rightarrow \quad \emptyset = 0.90$$

11. Llogaritja e momentit maksimal

$$M_{max} = F \left(d - \frac{\alpha}{2} \right) \quad (4.116)$$

$$\alpha = \beta_1 \cdot c = 0.85 \cdot 49.63 = 42.18 \text{ mm} \quad (4.117)$$

$$F = f_s \cdot A_{sl} = 480 \cdot 100.52 = 48.24 \text{ kN} \quad (4.118)$$

$$M_{max} = 48.24 \left(200 - \frac{42.18}{2} \right)$$

$$\mathbf{M_{max} = 8.63 \text{ kNm}}$$

12. Momenti llogaritës

$$M_{llog} \leq \emptyset M_{max} \quad (4.119)$$

$$M_{llog} \leq 0.90 \cdot 8.63$$

$$\mathbf{M_{llog} \leq 7.767 \text{ kNm}}$$

13. Gjërësia e plasaritjes

$$\eta_f = \frac{E_{frp}}{E_c} = \frac{200,000}{4750 \cdot \sqrt{36.5}} = 6.96 \quad (4.120)$$

$$k = \sqrt{2\rho\eta_f + (\rho\eta_f)^2} - \rho\eta_f \quad (4.121)$$

$$k = \sqrt{2 \cdot 0.00396 \cdot 6.96 + (0.00396 \cdot 6.96)^2} - 0.00396 \cdot 6.96$$

$$k = 0.208$$

$$f_f = \frac{M}{A_{sl} \cdot d(1 - k/3)} = \frac{7.53 \cdot 10^6}{100.52 \cdot 195 \left(1 - \frac{0.208}{3} \right)} = 412.5 \text{ MPa} \quad (4.122)$$

$$\beta = \frac{h - kd}{d(1 - k)} = \frac{220 - 0.208 \cdot 195}{195(1 - 0.208)} = 1.162 \quad (4.123)$$

$$d_c = h - d = 225 - 200 = 25 \text{ mm}$$

$$A = \frac{2d_c \cdot h}{Nr \text{ i shufrave}} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 225}{2} = 5625 \text{ mm}^2 \quad (4.124)$$

$$w = \frac{2.20}{E_{frp}} \cdot \beta \cdot k_b \cdot f_f \cdot \sqrt[3]{d_c \cdot A} \quad (4.125)$$

$$w = \frac{2.20}{200,000} \cdot 1.162 \cdot 1.0 \cdot 412.5 \cdot \sqrt[3]{25 \cdot 5625}$$

w = 0.26 mm

14. Momenti i paraqitjes së plasaritjes

$$I_G = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{135 \cdot 225^3}{12} = 128144531.3 \text{ mm}^4 \quad (4.126)$$

$$f_r = 0.623\sqrt{f'_c} = 0.623\sqrt{36.5} = 3.76 \text{ MPa} \quad (4.127)$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_G}{y_t} = \frac{2 \cdot 3.76 \cdot 128144531.3}{175.37} \quad (4.128)$$

$$y_t = h - c$$

M_{cr} = 5.49 kNm

15. Llogaritja e uljeve

$$\beta_d = \frac{1}{5} \left(\frac{\rho_f}{\rho_b} \right) \leq 1.0 \quad (4.129)$$

$$\beta_d = \frac{1}{5} \left(\frac{0.00396}{0.0299} \right) \leq 1.0$$

$$\beta_d = 0.0264 \leq 1.0$$

$$I_{cr} = \frac{b \cdot d^3}{3} \cdot k^3 + \eta_f \cdot A_{frp} \cdot d^2(1 - k)^2 \quad (4.130)$$

$$I_{cr} = \frac{135 \cdot 200^3}{3} \cdot 0.208^3 + 6.96 \cdot 100.52 \cdot 195^2(1 - 0.208)^2$$

$$I_{cr} = 17840278.2 \text{ mm}^4$$

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \cdot \beta_d \cdot I_G + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} \leq I_g \quad (4.131)$$

$$I_e = \left(\frac{2.54}{7.53} \right)^3 \cdot 0.0264 \cdot 128144531.3 + \left[1 - \left(\frac{2.54}{7.53} \right)^3 \right] 17840278.2 \leq I_g$$

$$I_e = 18960535.55 \text{ mm}^4 \leq I_g = 128144531.3 \text{ mm}^4$$

$$\Delta = \frac{Pa}{24E_c I_e} (3L^2 - 4a^2) = \frac{11.29 \cdot 10^3 \cdot 666}{24 \cdot 2.86 \cdot 10^4 \cdot 18,960,535.55} (3 \cdot 2000^2 - 4 \cdot 666^2) \quad (4.132)$$

Δ = 6.09 mm

Δ_{eks.}¹ = 6.29 mm

4.3.6. Llogaritja analitike e setit të trarëve T7 të armuar me armaturë konvencionale Ø10

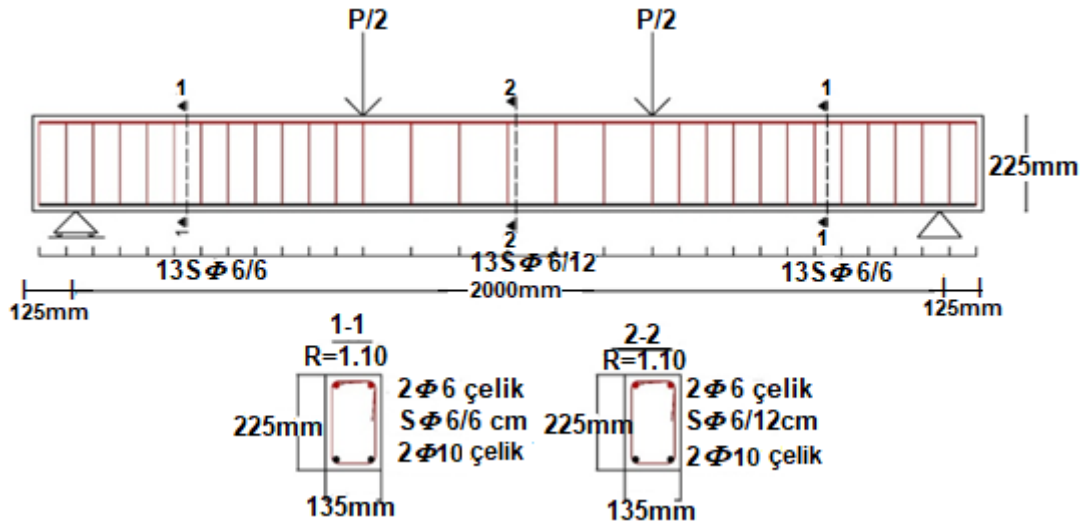


Figura 4. 45. Prerja gjatësore dhe të tërthore e traut T7 të armuar me armaturë konvencionale 2Ø10 mm



Figura 4. 46 . Trau T7 i armuar me armaturë konvencionale 2 Ø10 mm

Të dhëna bazë për projektim:

Armimi i traut, me gjatësi të përgjithshme: 2200 mm

Largësia e ushtrimit të ngarkesave të përqëndruara nga mbështetja: $L_f/3$

Karakteristikat mekanike:

A_{st} : 157.06 mm²

f_s 480 MPa

E_s : 200000 MPa

ε_s : 0.002

1. Karakteristikat llogaritëse:

$$f_s = 480 \text{ MPa}$$

2. Qendra e rëndesës së armaturës dhe lartësia statike e prerjes tërthore.

$$d_1 = c_0 + \varnothing_s + \frac{\varnothing}{2} = 15 + 6 + \frac{10}{2} = 26 \text{ mm} \quad (4.133)$$

$$d = h - d_1 = 225 - 26 = 199 \text{ mm}$$

3. Forca në shtypje "C".

$$C = 0.85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b \cdot c \quad (4.134)$$

$$C = 0.85 \cdot 36.5 \cdot 0.85 \cdot 135 \cdot c$$

$$C = 3560.1c$$

4. Forca në tërheqje "T".

$$T = E_{frrp} \cdot \varepsilon_{frrp} \cdot A_{frrp} \quad (4.135)$$

$$T = 200,000 \frac{0.003}{c} (199 - c) \cdot 157.06$$

$$T = \frac{94,236}{c} \cdot (199 - c)$$

Ku deformimet në armaturë jepen me shprehjen:

$$\varepsilon_{su} = \frac{0.003}{c} (d - c) \quad (4.136)$$

5. Kushti i ekuilibrit të forcave të mbrendshme ($C=T$).

$$0.85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b \cdot c = E_{frrp} \cdot \varepsilon_{frrp} \cdot A_{frrp} \quad (4.137)$$

$$3560,1 \cdot c = \frac{94,236}{c} (199 - c)$$

Pas zgjidhjes së ekuacionit kuadratik, gjejmë largësinë e vendodhjes së aksit neutral, c :

$$c = 60.56 \text{ mm}$$

6. Përcaktimi i deformimeve në armaturë

$$\varepsilon_{su} = \frac{0.003}{60.56} (199 - 60.56)$$

$$\varepsilon_{su} = 0.00685 > \varepsilon_s = 0.0025$$

Nga mosbarazimi i sipërm vërejmë se nderjet në deformimet janë tejkaluar.

7. Nderjet e llogaritura në armaturë

$$f_{su} = E_{frp} \cdot \varepsilon_{fu} \quad (4.138)$$

$$f_{su} = 200,000 \cdot 0.00661$$

$$f_{su} = 1322.06 \text{ MPa} > f_s = 480 \text{ MPa}$$

Nga mosbarazimi i sipërm vërejmë se nderjet në armaturën konvencioanle janë tejkaluar.

8. Përqindja e armimit

$$\rho = \frac{A_{frp}}{b \cdot d} \quad (4.139)$$

$$\rho = \frac{157.06}{135 \cdot 199} = 0.00622$$

9. Përqindja e balancuar e armimit.

$$\rho_b = 0.85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f'_c}{f_s} \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} \cdot \varepsilon_s} \right) \quad (4.140)$$

$$\rho_b = 0.85 \cdot 0.85 \cdot \frac{36.5}{480} \cdot \left(\frac{0.003}{0.003 \cdot 0.0025} \right)$$

$$\rho_b = 0.0299$$

10. Krahasimi i përqindjes së armimit me përqindjen e balancuar të armimit.

$$\rho_f = \frac{\rho}{\rho_b} \quad (4.141)$$

$$\rho_f = \frac{0.00622}{0.0299} = 0.20 < 1.0 \quad \text{zgjedhim} \rightarrow \quad \emptyset = 0.90$$

11. Llogaritja e momentit maksimal

$$M_{max} = F \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (4.142)$$

$$a = \beta_1 \cdot c = 0.85 \cdot 60.56 = 51.47 \text{ mm} \quad (4.143)$$

$$F = f_s \cdot A_{sl} = 480 \cdot 157.06 = 75.38 \text{ kN} \quad (4.145)$$

$$M_{max} = 75.38 \left(194 - \frac{51.47}{2} \right)$$

$$M_{max} = 12.68 \text{ kNm}$$

12. Momenti llogaritës

$$M_{llog} \leq \phi M_{max} \quad (4.146)$$

$$M_{llog} \leq 0.90 \cdot 12.68$$

$$M_{llog} \leq 11.41 \text{ kNm}$$

13. Gjërësia e hapjes së të plasurave

$$\eta_f = \frac{E_{frp}}{E_c} = \frac{200,000}{4750 \cdot \sqrt{36.5}} = 6.96 \quad (4.147)$$

$$k = \sqrt{2\rho\eta_f + (\rho\eta_f)^2} - \rho\eta_f \quad (4.148)$$

$$k = \sqrt{2 \cdot 0.00622 \cdot 6.96 + (0.00622 \cdot 6.96)^2} - 0.00622 \cdot 6.96$$

$$k = 0.254$$

$$f_f = \frac{M}{A_{sl} \cdot d(1 - k/3)} = \frac{11.41 \cdot 10^6}{157.06 \cdot 194 \left(1 - \frac{0.2541}{3} \right)} = 269.74 \text{ MPa} \quad (4.149)$$

$$\beta = \frac{h - kd}{d(1 - k)} = \frac{220 - 0.254 \cdot 194}{194(1 - 0.254)} = 1.179 \quad (4.150)$$

$$d_c = h - d = 225 - 199 = 26 \text{ mm}$$

$$A = \frac{2d_c \cdot h}{Nr \text{ i shufrave}} = \frac{2 \cdot 26 \cdot 225}{2} = 5720 \text{ mm}^2 \quad (4.151)$$

$$w = \frac{2.20}{E_{frp}} \cdot \beta \cdot k_b \cdot f_f \cdot \sqrt[3]{d_c \cdot A} \quad (4.152)$$

$$w = \frac{2.20}{200,000} \cdot 1.179 \cdot 1.0 \cdot 269.74 \cdot \sqrt[3]{26 \cdot 5720}$$

$$w = 0.177 \text{ mm}$$

14. Momenti i lindjes së të plasurave

$$I_G = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{135 \cdot 225^3}{12} = 128144531.3 \text{ mm}^4 \quad (4.153)$$

$$f_r = 0.623\sqrt{f'_c} = 0.623\sqrt{36.5} = 3.76 \text{ MPa} \quad (4.154)$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_G}{y_t} = \frac{2 \cdot 3.76 \cdot 128144531.3}{159.44} \quad (4.155)$$

$$y_t = h - c$$

$$M_{cr} = 2.70 \text{ kNm}$$

15. Llogaritja e uljeve

$$\beta_d = \frac{1}{5} \left(\frac{\rho_f}{\rho_b} \right) \leq 1.0 \quad (4.156)$$

$$\beta_d = \frac{1}{5} \left(\frac{0.00622}{0.0299} \right) \leq 1.0$$

$$\beta_d = 0.0416 \leq 1.0$$

$$I_{cr} = \frac{b \cdot d^3}{3} \cdot k^3 + \eta_f \cdot A_{frp} \cdot d^2(1 - k)^2 \quad (4.157)$$

$$I_{cr} = \frac{130 \cdot 194^3}{3} \cdot 0.254^3 + 6.96 \cdot 157.06 \cdot 194^2(1 - 0.254)^2$$

$$I_{cr} = 28,111,158.48 \text{ mm}^4$$

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \cdot \beta_d \cdot I_G + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} \leq I_g \quad (4.158)$$

$$I_e = \left(\frac{2.70}{11.41} \right)^3 \cdot 0.0416 \cdot 128144531.3 + \left[1 - \left(\frac{2.70}{11.41} \right)^3 \right] 28,111,158.48 \leq I_g$$

$$I_e = 27,026,211.28 \text{ mm}^4 \leq I_g = 128144531.1 \text{ mm}^4$$

$$\Delta = \frac{Pa}{24E_c I_e} (3L^2 - 4a^2) = \frac{17.13 \cdot 10^3 \cdot 666}{24 \cdot 2.86 \cdot 10^4 \cdot 27,026,211.28} (3 \cdot 2000^2 - 4 \cdot 666^2) \quad (4.159)$$

$$\Delta = 4.13 \text{ mm}$$

$$\Delta_{eks.}^1 = 11.9 \text{ mm}$$

Tabela 4.6. Vlerat e dala nga llogaritjet për setet e trarëve të marrë në testim.

	ARMATURË KONVENCIONALE		GFRP		CFRP	
	T2 / $\Phi 8$	T3 / $\Phi 10$	T4 / $\Phi 8$	T5 / $\Phi 10$	T6 / $\Phi 8$	T7 / $\Phi 10$
ρ (%)	0,00373	0,00622	0,00372	0,00585	0,00372	0,00622
ρ_b (%)	0,00413	0,003525	0,00737	0,00329	0,0299	0,0299
M_{max} (kNm)	16,793	27	18,44	41,98	8,63	12,68
M_{llog} (kNm)	9	17,55	10,142	27,287	7,767	11,41
M_{cr} (kNm)	2,25	2,498	2,746	2,62	5,49	2,7
w (mm)	1,485	1,95	0,53	1,35	0,26	0,177
Δ (mm)	18,43	32,72	17,09	49,16	6,09	4,13
Δ_{eks} (mm)	27,93	38,81	12,09	29,84	6,29	11,9
P (kN)	13,51	26,35	14,79	41,84	11,29	11,73

4.4. Programimi dhe organizimi i provave me ngarkesa statike i trarëve të armuara me shufra të përforcuara me fibra FRP dhe çeliku për krahasim

4.4.1. Të përgjithshme

Provat me ngarkesë të strukturave dhe elementëve konstruktiv, sipas qëllimit mund t'i klasifikojmë në dy grupe të mëdha; në prova që kanë për qëllim kërkimin shkencor dhe në prova që lidhen me nevojat praktike. Të parat, kryhen në ato raste kur duam të verifikojmë me anë të eksperimentimeve saktësinë e një hipoteze apo të një teorie të re llogaritjeje, të një zgjidhjeje të re të një konstruksioni nga pikpamja e projektimit, të materialeve të përdorura apo nga pikpamja e një teknologjie të re që përdoren në zbatimin e tij. Ndarja e mësipërme në dy grupe është një ndarje relative që ne bëjmë për të dalluar provat për punë kërkimore studimore nga ato të aplikative, mbasi shpesh këto të fundit marrin karakter edhe shkencor dhe japin të dhëna plotësuese për disa rezultate të nxjerra nga provat

labortorike. Rezultatet e një prove çfarëdo lloji, varen në pjesën më të madhe nga qartësia dhe objektivat që kërkohet të arrihen dhe nga etapat e zhvillimit të tyre; njohuritë e eksperimentuesit dhe organizimi i provave në përputhje me objektivat dhe Standardet që të përfitojë sa më shumë të dhëna. Faza e projektimit të elementëve dhe strukturave është një fazë e rëndësishme e punës kërkimore eksperimentale që lidhet edhe me studime paraprake për qëllimin e provës dhe kushteve të punës, përpunimin e temës së provës dhe hartimin e një programi të provës. Në rastin tonë kemi të bëjmë me verifikimin e llogaritjeve të trarëve të armuara me shufra të përforcuara me fibra FRP dhe krahasimin e sjelljes së tyre me trarë të armuar me shufra të armaturës konvencionale. Pra, mund t'a konsiderojmë këtë eksperimentim si një punë të mirëfilltë me karakter kërkimor- shkencor.

4.4.2. Programi i kryerjes së provave me ngarkesë

Në programin e provës janë përshkruar të gjitha fazat që nevojiten për të kryer një provë në kushte të mira. Një planifikim i drejtë i hapave e mënjanon kohën e humbur, shkurton kohën e nevojshme për kryerjen e provës dhe si rrjedhojë e bën atë më pak të kushtueshme. Programi i provës mund të ndërtohet në formën e një algoritmi në të cilin shënohen fazat kryesore të punës dhe afatet e kryerjes së tyre si p.sh. grumbullimi i materialeve, përgatitja e platformës së ngarkimit, përgatitja e skelave dhe platformave të shërbimit, montimi i skelave të sigurimit teknik, siguri dhe kontrolli i aparaturave të matjeve dhe rregjistrimeve, montimi i platformës së ngarkesave, montimi i aparaturave regjistruese, kontrolli i aparaturave dhe instalimeve të matjeve, kryerja e provës, interpretimi i rezultateve dhe hartimi i raportit të provës.

Koha që nevojitet për çdo provë pune përcaktohet sipas përvcojës dhe normave në fuqi. Koha e nevojshme për të gjithë provën duhet të përfshijë kohët që duhen për të aplikuar çdo inkrement të ngarkesave, koha që nevojitet për të mbajtur nën ngarkesë të përgjithshme të provës, kohët që nevojiten për shkarikimin dhe ajo gjatë të cilës struktura mbahet në vrojtje pas shkatërrimit. Në disa raste, parashikohet edhe një kohë që nevojitet për të vrojtuar sjelljen e konstrukcionit para se të fillojë ngarkimi, duke qëndruar në konditat klimatike të mjedisit ku do të kryhet prova; veçanërisht të temperaturës. Preventivi i provës, i cili hartohet sipas rregullave në fuqi ose të analizave të veçanta.

Programi i provës përfshin edhe vizatime me skica dhe projekte që nevojiten për të përgatitur dhe kryer provën, të cilat përfshijnë: skemat e vendosjes së aparaturave të matjeve, skicat që përcaktojnë rrugët e kalimit për në pikat e matjeve dhe vizatimet e punës të skelave dhe platformave për të arritur në këto pika kontrolli, vizatime të strukturave ndihmëse për të mbrojtur aparaturat e matjeve,

vizatime për strukturat ndihmëse për masat e sigurimit teknik, përfshi dhe skelat e e sigurisë që shërbejnë për të mbrojtur shëmbjen e konstruksionit gjatë provave etj.

4.4.3. Kryerja e provave me ngarkesë

Mbasi kanë përfunduar përgaditjet për vendosjen e strukturave mbajtëse, ndihmëse, pajisjet e ngarkimit dhe aparaturat e matjeve, përgjegjësi i provës duhet të bëjë edhe një kontroll të përgjithshëm, pas të cilit kryhet një ngarkim paraprak (prove). Në këtë hap aplikohet një ngarkesë e tillë që ndihmon për verifikimin e funksionimit të pajisjeve matëse e rregjistruese si dhe për të kontrolluar punën e të gjithë stafit të përfshirë në këtë testim. Si rregull, ngarkesa në këtë fazë të provës, nuk duhet të jetë më e madhe se ajo e fazës së parë të ngarkesës. Prova e vërtetë duhet kryhet sipas standardit (janë të shënuara data, ora dhe temperatura) me faza për përqindjet e caktuara të ngarkesave; bëhen leximet në aparaturat dhe vrojtimet direkte në trarët, mbajtja e tyre nën ngarkesë dhe shkarkimi.

Ngarkesa e llogaritur për provën aplikohet me inkremente. Numuri i inkrementeve, përcaktohet në varësi të çështjeve që duam të zgjidhim me provën përkatëse. Në rastin tonë, kemi përzgjedhur që provën t'a kryejmë në katër faza; në fazën e parë kemi kryer provën deri në ngarkesën shfrytëzuese:

$$P_n - P_g / 4, \quad (4.160)$$

Ku:

P_n , është ngarkesa e shfrytëzimit të traut, dhe

P_g , është pesha vetjake e traut

Meqenëse aplikimi i ngarkesave do të realizohet me anë të krikut hidraulik, jemi kujdesur që inkrementi i parë e ngarkimit të zgjidhet i tillë që leximi në manometër të përputhej me ndarjen e plotë në fushën e manometrit; gjithashtu kemi përzgjedhur që njëra nga inkrementet e ngarkimit të përfaqësonte ngarkesën e përherëshme mbi trarët e provës.

Pas çdo inkrement ngarkimi, trarët janë mbajtur nën ngarkesë konstante për një intervali kohe 10 minuta, i zbatuar në mënyrë të njëjtë për të gjitha shkallët e ngarkimit me përjashtim të fazës me ngarkesë të shfrytëzimit 30 minuta. Provat me ngarkesë të trarëve janë realizuar duke aplikuar për çdo fazë ngarkimi, ngarkesa të barabarta me rreth 10% të ngarkesës së shfrytëzimit, duke vrojtuar paraqitjen dhe zhvillimin e plasaritjeve. Faza e dytë e provës, apo faza deri në gjendjen kufitare të rezistencës; e kemi konsideruar të përfunduar kur plasaritjet kanë arritur gjerësinë 0,2 deri 0,3 mm. Plasaritjet që paraqiten gjatë provës i kemi shënuar me vijë të plotë dhe në skajin e së cilës shënohet

ngarkesa nën të cilën u shfaq plasaritja. Hap pas hapi që plasaritja zhvillohet, zgjatet dhe vija përkatëse. Leximi i aparaturave është bërë pasi është aplikuar ngarkesa që i përgjet inkrementit që shqyrtohet dhe mbasi janë stabilizuar deformimet në trarët. Leximet në fushën e deformimeve plastike të trarëve, i kemi realizuar duke manovruar pistonin e krikut deri në atë pikë që trau të pësojë një rritje të caktuar të shigjetës së uljes. Mbas kësaj periudhe fillon shkarkimi, së paku me dy shkallë ngarkimi.

4.5. Rezultatet e fituara nga provat me ngarkesë dhe krahasimi i metodave të aplikuara

Në vijim janë paraqitur rezultatet e fituara gjatë shfaqjes së plasaritjeve dhe uljeve sipas metodave të ndryshme për secilin tra dhe krahasimi i vlerave të rregjistruara për metodat edhe ndërmjet tyre. Konkretisht, për secilin tra kemi përcaktuar sa vijon:

- Plasaritjet, sipas normativës amerikane ACI 440.R1-06, në të cilat janë përdorur shprehje të Gergely-Lutz-it,
- Plasaritjet, sipas normativës kanadeze CSA-A23.3, edhe këtu janë përdorur shprehjet e njejta si dhe tek ACI 440.R1-06, pra shprehjet e Gergely-Lutz-t.

Meqënëse në të dy këto normativa llogaritëse ACI dhe CSA përdorin të njejtën shprehje për përcaktimin e plasaritjeve, për rrjedhojë kemi dhe rezultate të njejta, kemi zgjedhur që paraqitjen e tyre t'a vendosim në një grafik të përbashkët,

- Plasaritjet, sipas normativave të Eurocode 2,
- Plasaritjet, nga provat me ngarkesë,
- Plasaritjet, nga vlerësimi jolinear me MEF, programi ATENA,
- Vlerësimi i metodave nga krahasimi i rezultateve të plasaritjeve ndërmjet tyre,
- Uljet, sipas ACI 318,
- Uljet, sipas CSA A23.3-05,
- Uljet, sipas Eurocode 2,
- Uljet, sipas provave me ngarkesë,
- Uljet, sipas metodave të elementëve të fundmë, MEF, programi ATENA,
- Vlerësimi i metodave nga krahasimi i rezultateve të uljeve ndërmjet tyre.

Është kjo arsyeja që karakteristikat fiziko-mekanike të fituara prej llogaritjeve teorike me normativa të ndryshme të zgjedhura në këtë disertacion, provat me ngarkesë statike sipas fazave të përzgjedhura dhe MEF janë paraqitur në trajtë grafike së bashku për t'a bërë më qartë vlerësimin dhe krahasimin e vlerave të gjetura të plasaritjeve dhe uljeve sipas metodave të ndryshme.

Në fund është paraqitur tabela e përgjithshme (Tabela 5.1.) e cila përfshinë rezultatet për trarët e marra në shqyrtim dhe rezultatet e zgjidhjeve analitike respektive; duke mundësuar kështu dhe krahasimin me të dhënat për të gjithë trarët e armuar me shufra GFRP, CFRP dhe armature me diametër Ø8mm dhe Ø10mm të testuara me ngarkesa statike.

Për llogaritjen e plasaritjeve sipas metodave të ndryshme (Normativat ACI 440.1R-06 dhe CSA, Eurocode 2 dhe programi ATENA me metoda të elementëve të fundmë MEF, jemi mbështetur në ekuacionet e mëposhtme:

1. ACI 440.1R-06 dhe CSA.

$$w = 2.2k_b \frac{M}{j \cdot d \cdot E_f \cdot A_f} \cdot \frac{h_2}{h_1} \sqrt[3]{d_c \cdot A} \quad (MPa) \quad (4.1)$$

2. Eurocode 2.

$$w = \beta \cdot s_{rf} \frac{M}{E_f \cdot A_f \cdot j \cdot d} \left[1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{M_{cr} \cdot j \cdot d}{M \cdot 0.9 \cdot d} \right)^2 \right] \quad (MPa) \quad (4.2)$$

3. Llogaritja e plasaritjeve me metodën e elementëve të fundmë sipas programit ATENA.

Programi kompjuterik ATENA është i zhvilluar kryesisht për analizën jolineare të elementëve të përforcuar prej betoni, bazuar në Metodën e Elementëve të Fundmë.

Konstruimi i modelit 3D bëhet për çdo element duke i atashuar karakteristikat e tij fiziko-mekanike. Betonin e kemi modeluar me elemente CC3DnonLinCementious2 duke i konfiguruar parametrat e traëve të përdorur në eksperimentim. Modelimi i përforcuesve gjatësor është bërë me elemente Linear që takohen në sipërfaqe me elemente volumetrikë, siç është betoni. Simulimi bëhet si ai eksperimental në mënyrë që të krahasohen rezultatet. Nëpërmjet pikave të monitorimit marrim të dhëna për zhvillimin e plasaritjeve.

4. Përcaktimi i plasaritjeve në mënyrë eksperimentale me anë estensometrave (LVDT) gjatë provave me ngarkesë.

Llogaritja e Uljeve sipas normativave ACI 440.1R-06 dhe CSA, Eurocode 2 dhe programi ATENA me metoda të elementëve të fundmë MEF, është bërë me ekuacionet e mëposhtme:

1. Sipas Kodit amerikan: ACI 318,

$$\Delta = \frac{P \cdot a}{24EI_s} (3L^2 - 4a^2) \quad (4.3)$$

2. Sipas Kodit kanadez: CSA A23.3-05:

$$\Delta = \frac{P \cdot a}{24EI_{cr}} \cdot \left[3L^2 - 4a^2 - 8 \left(1 - \frac{I_{cr}}{I_g} \right) \cdot \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \cdot a^2 \right] \quad (4.4)$$

3. Sipas Eurocode 2:

$$\Delta = \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^2 \right] \Delta_g + \left[1 - \left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^2 \right) \right] \Delta_{cr} \quad (4.5)$$

4. Sipas ATENA, llogaritja e uljeve me metodën e elementëve të fundëm. Siç e përshkrova më lart për plasaritjet, procesi është i njëjtë por këtë herë në pikat e monitorimit kërkojmë informacion për zhvendosjen në mesin e traut.

4.6. Rezultatet eksperimentale nga provat me ngarkesë të trarëve. Përcaktimi i paraqitjes së plasaritjeve dhe uljeve për setet e trarëve T2, T3, T4, T5, T6 dhe T7

4.6.1. Paraqitja e gjerësisë së plasuritjeve për setin e trareve T2 (2 Ø8mm GFRP)

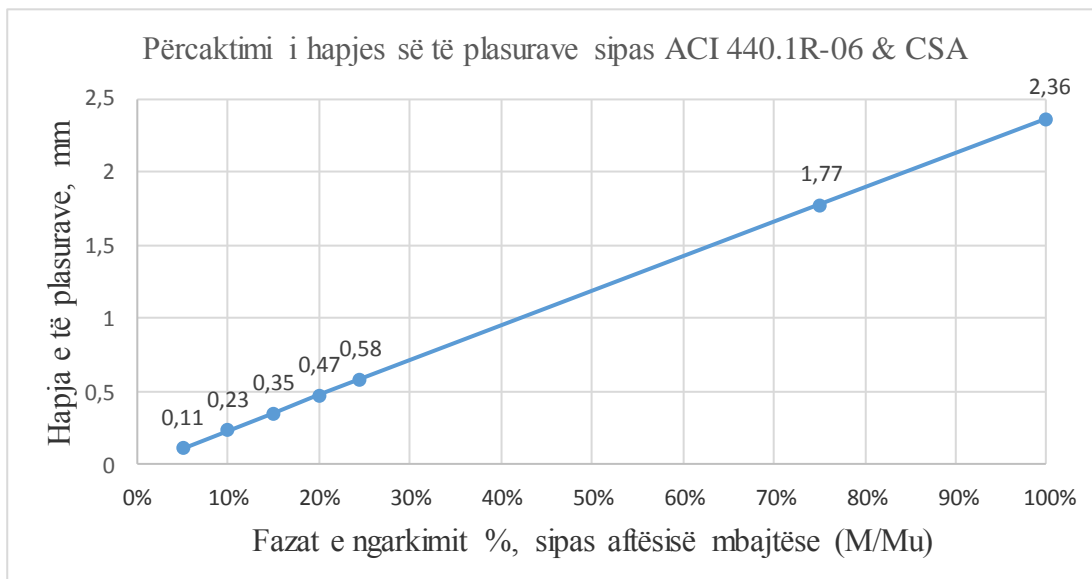


Figura 4.47. Grafiku paraqitjes se gjerësisë së plasuritjeve per setin e trareve T2 (2Ø8mm) GFRP, sipas ACI 440.1R-06 dhe CSA

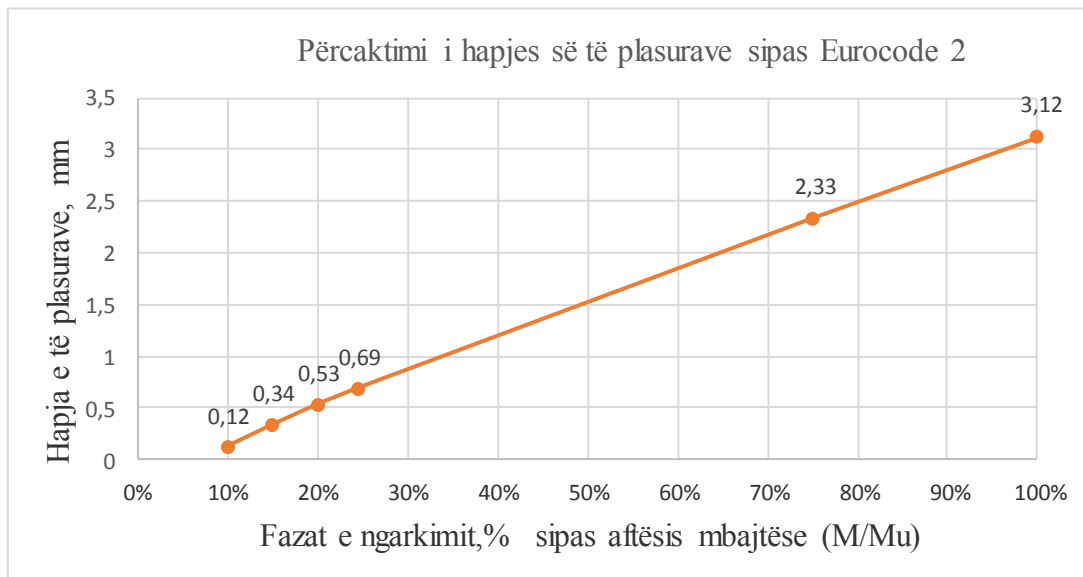


Figura 4.48. Grafiku paraqitjes se gjerësisë së plasaritjeve per setin e trareve **T2** (2Ø8mm) GFRP, sipas Eurocode 2

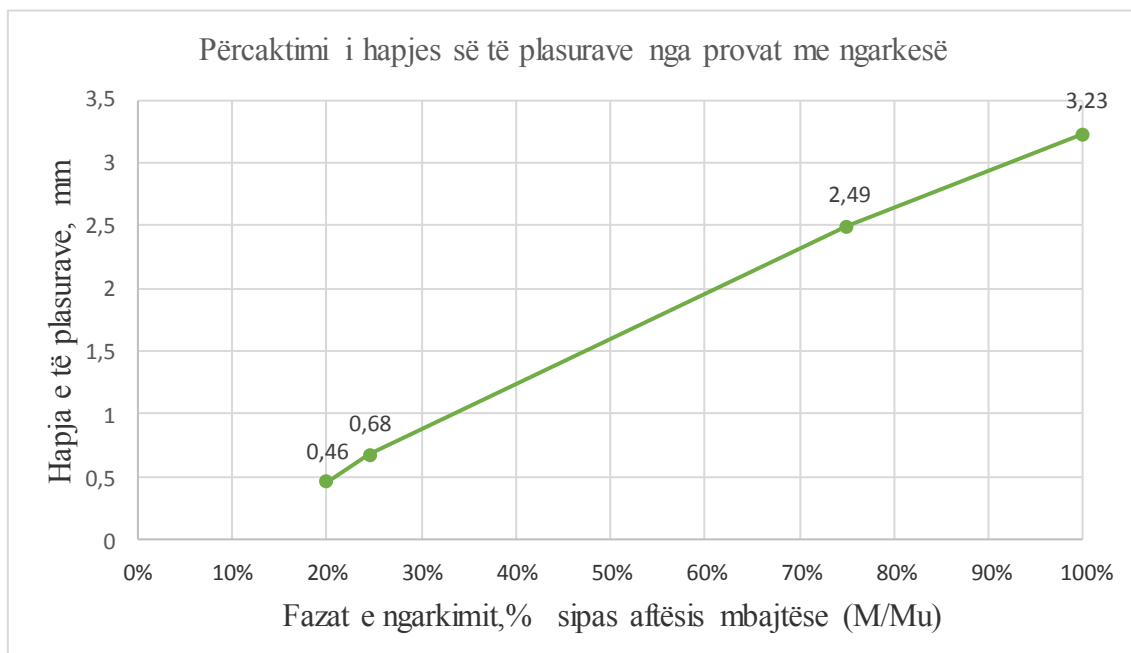


Figura 4.49. Grafiku paraqitjes së gjerësisë së plasaritjeve per setin e trareve **T2** (2Ø8mm GFRP), sipas provave me ngarkesë

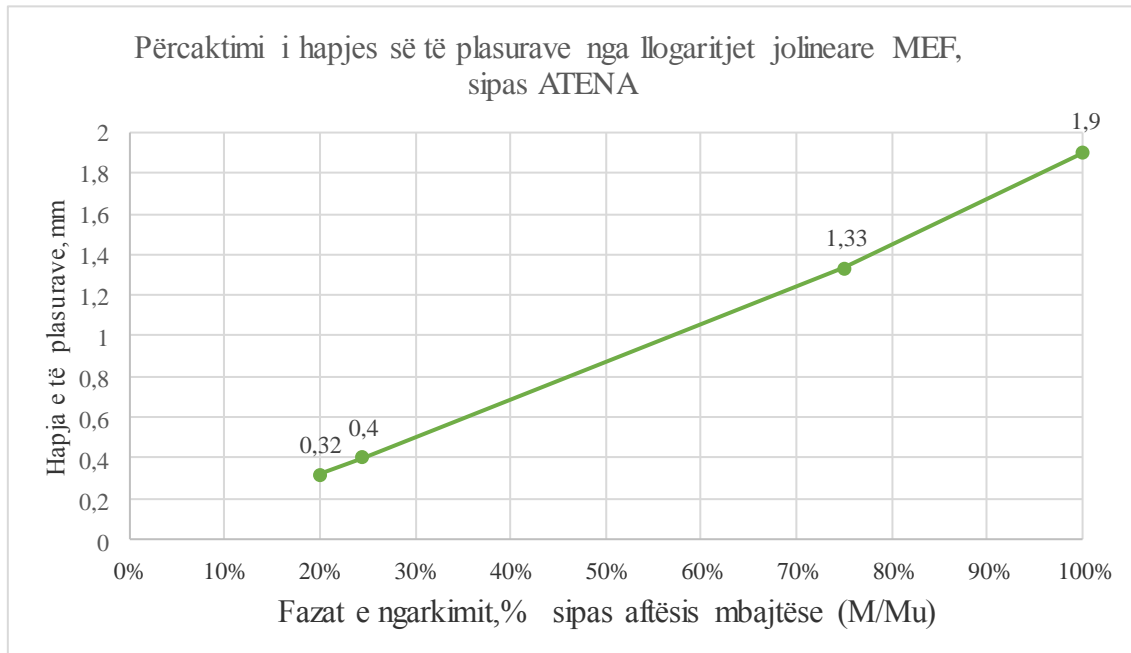


Figura 4.50. Grafiku i hapjes së të plasurave, trau T2 (2 Ø8mm GFRP) nga llogaritjet jolineare me “MEF” sipas ATENA

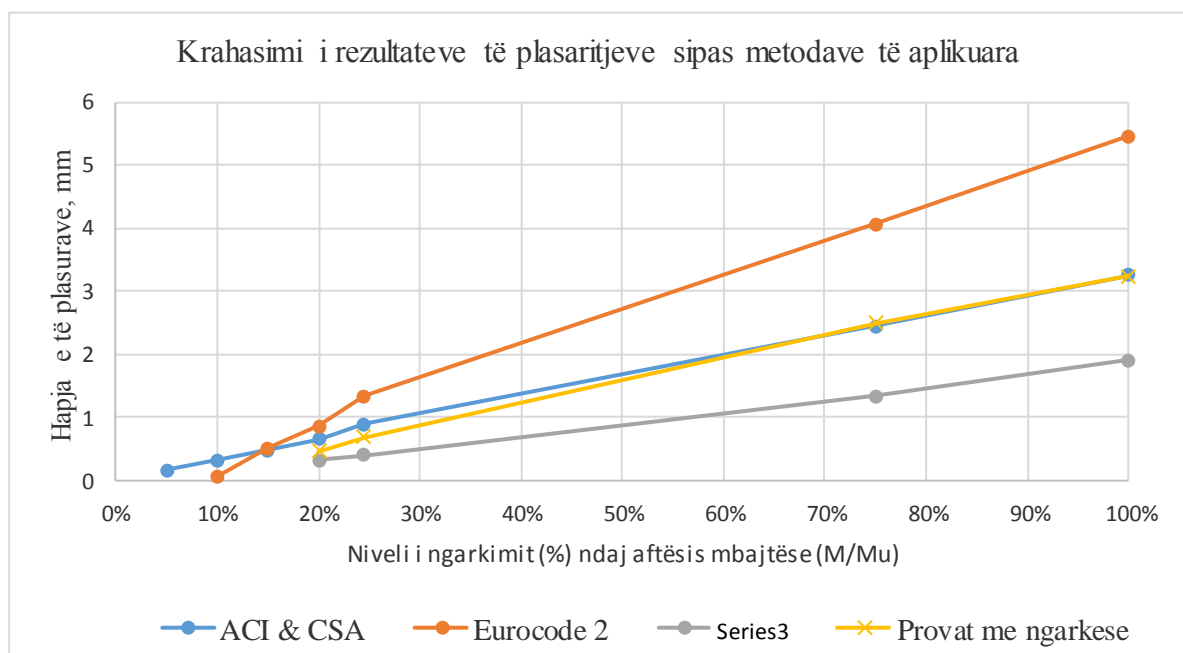


Figura 4.51. Grafiku krahasues i rezultateve të gjerësisë së të plasurave, sipas metodave të aplikuara

4.6.2. Përcaktimi i uljeve për setin e trareve T-2 (2 Ø8mm GFRP)

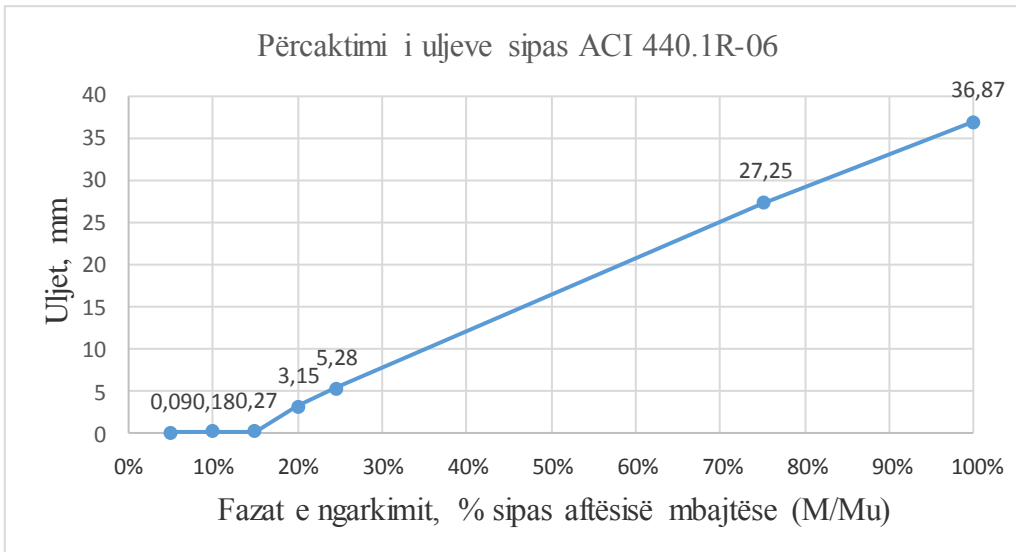


Figura 4.52. Grafiku i uljeve për setin e trareve T2 (2 Ø8mm GFRP) sipas ACI 440.1R-06

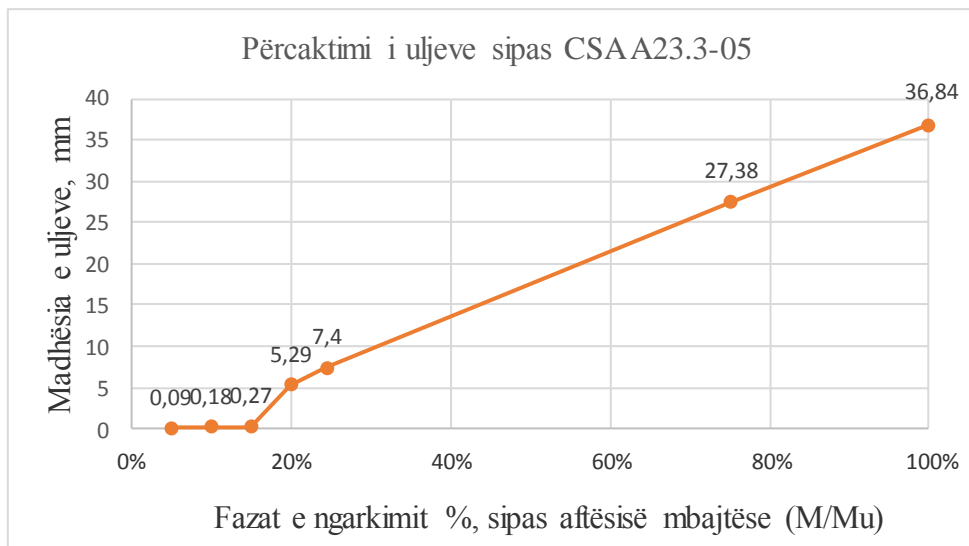


Figura 4.53. Grafiku i uljeve për setin e trareve T2 (2 Ø8mm GFRP) sipas CSA A23.3-05

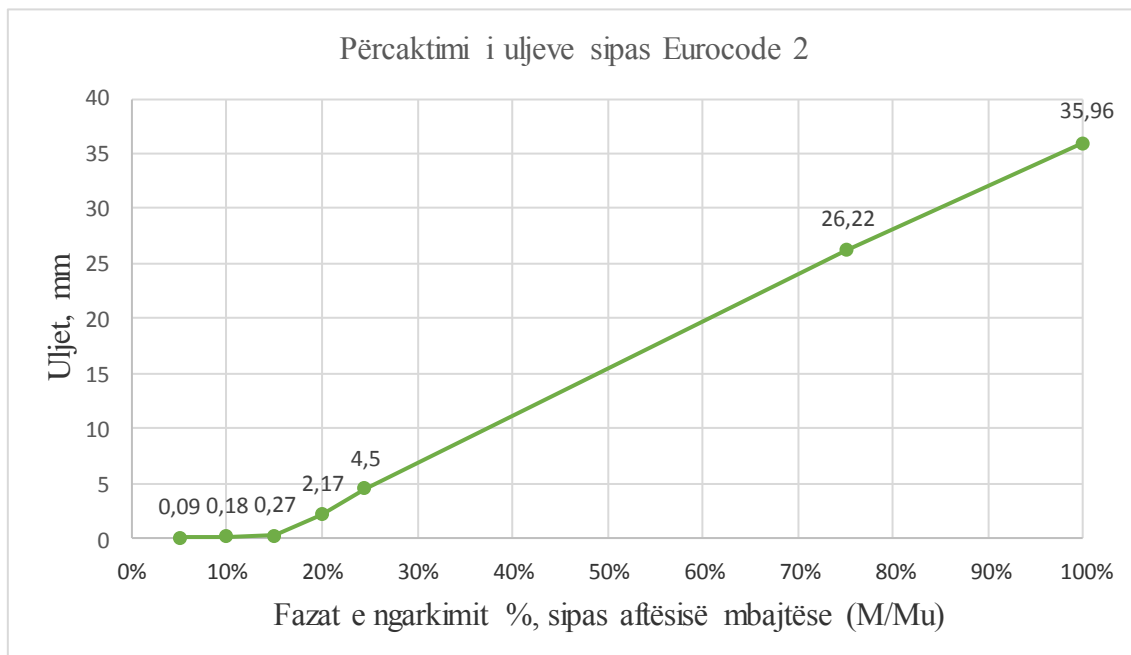


Figura 4.54. Grafiku i uljeve për setin e trareve T2 (2 Ø8mm GFRP), sipas Eurocode 2

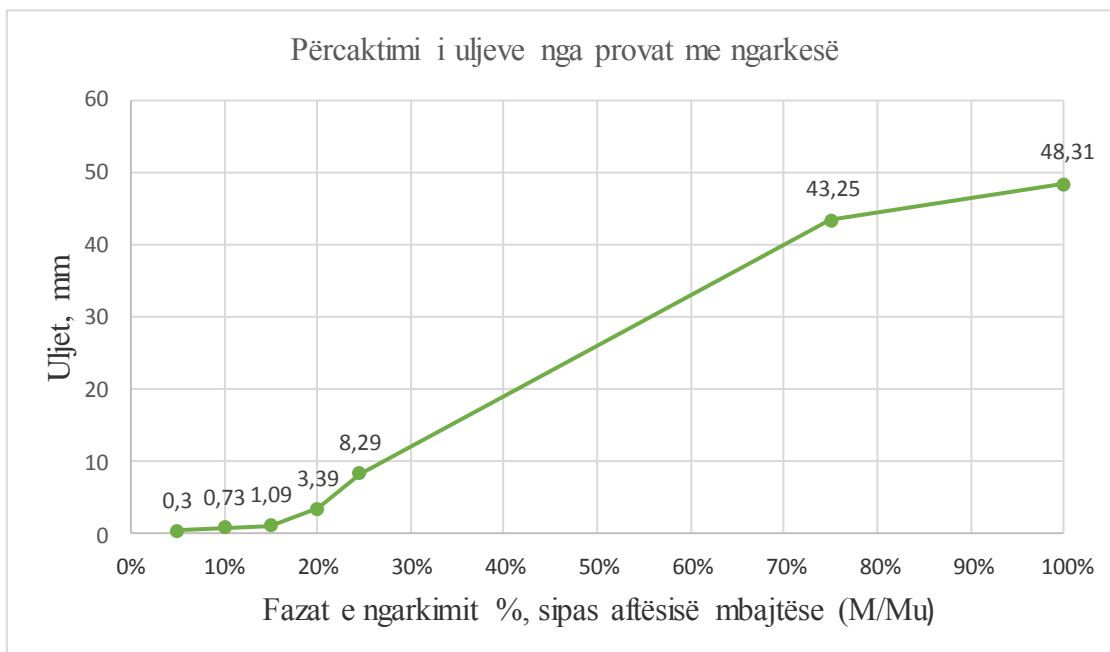


Figura 4.55. Grafiku i uljeve për setin e trareve T2 (2 Ø8mm GFRP), sipas provave me ngarkesë

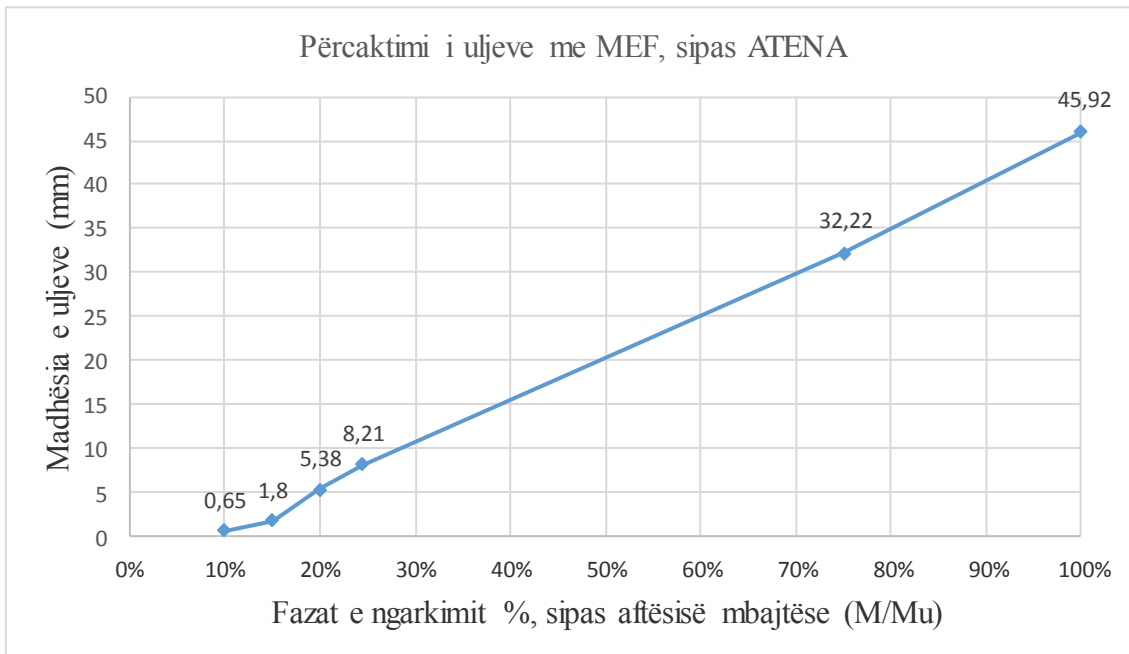


Figura 4.56. Grafiku i uljeve për setin e trareve (2 Ø8mm GFRP) me MEF, sipas ATENA

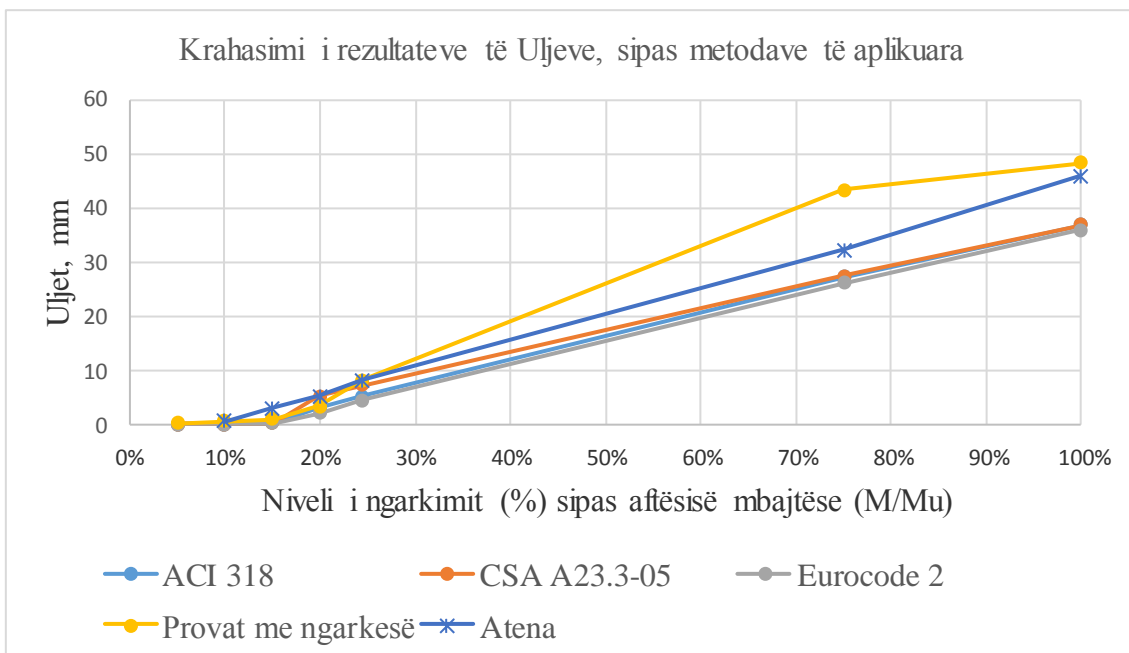


Figura 4.57. Grafiku krahasues i rezultateve të uljeve, sipas metodave të aplikuara

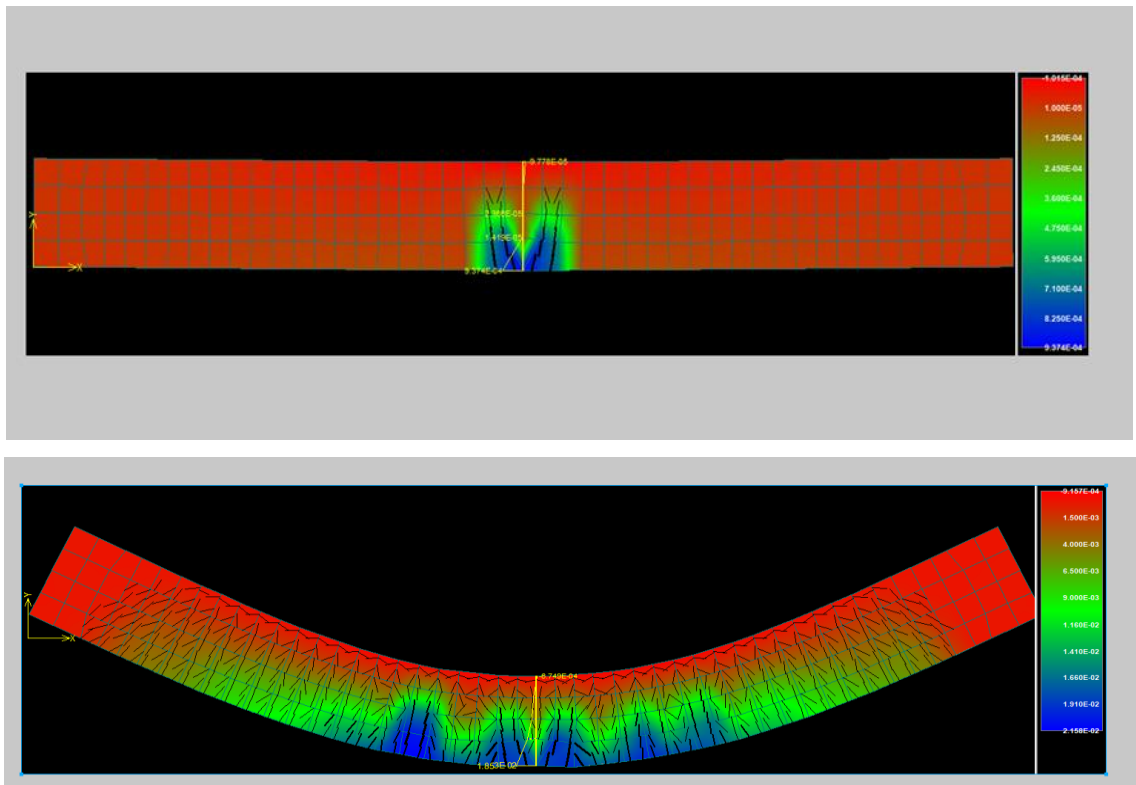


Figura 4.58. Paraqitja e uljeve dhe plasaritjeve për trau T2 (2Ø8 GFRP) sipas programit ATENA.

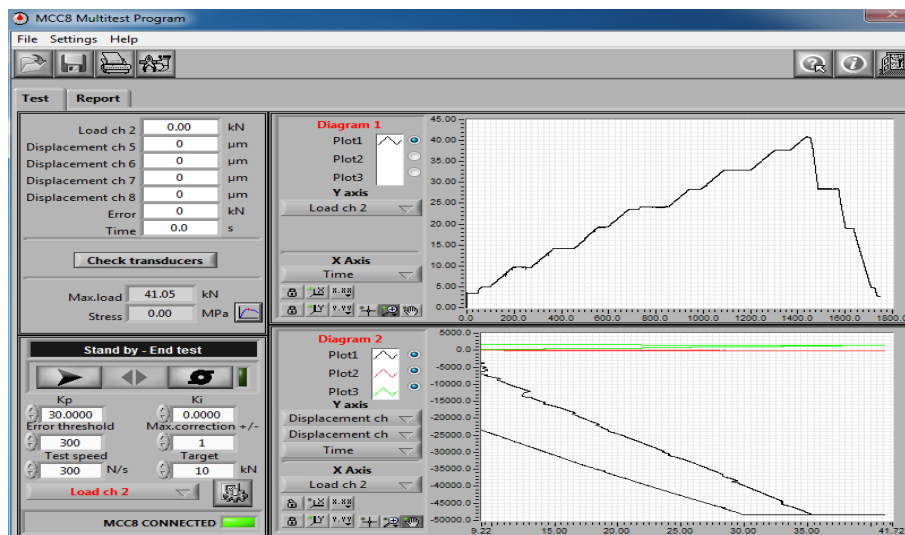


Figura 4.59. Përcaktimi i hapjes së të plasurave, trau T2 (2Ø8mm GFRP)

4.6.3. Përcaktimi i hapjes së të plasurave për traun T3 (2 Ø10mm GFRP)

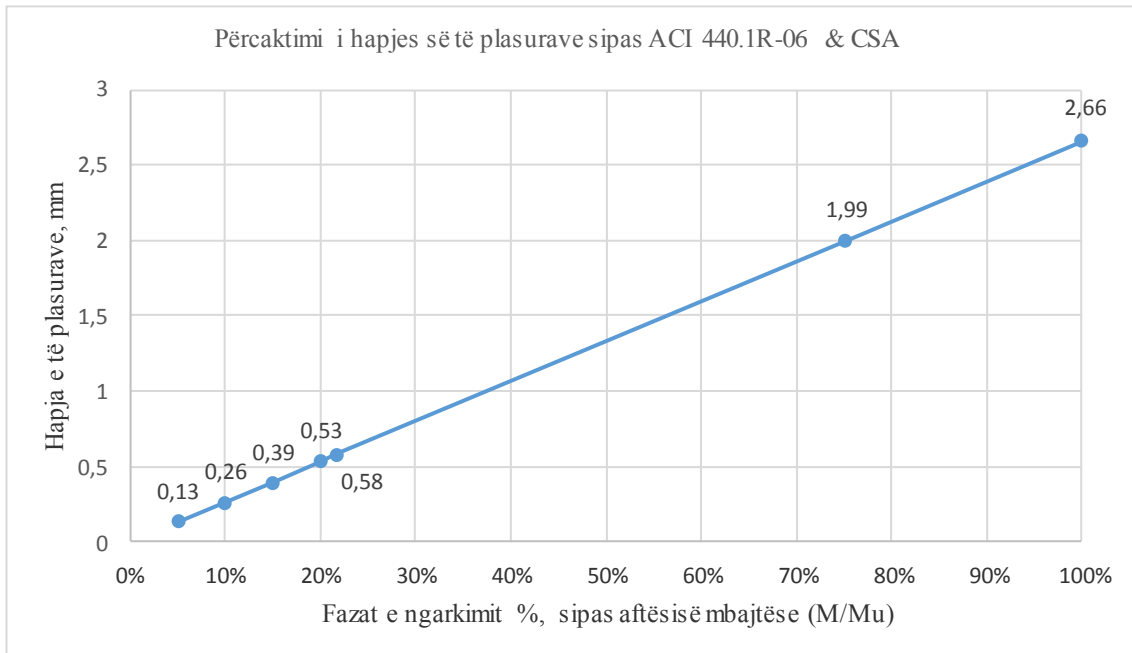


Figura 4.60. Grafiku i gjerësisë së plasaritjeve për traun T3/1 (2Ø10) GFRP sipas ACI 440.1R-06 dhe CSA

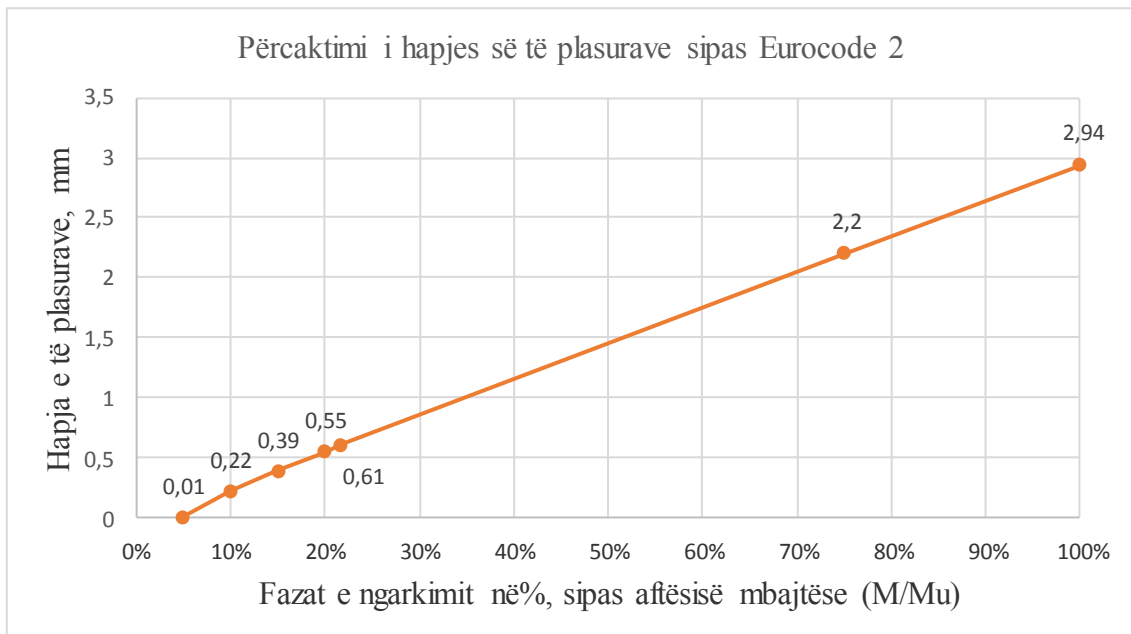


Figura 4.61. Grafiku i gjerësisë së plasaritjeve për traun T3/1 (2Ø10) GFRP sipas Eurocode 2

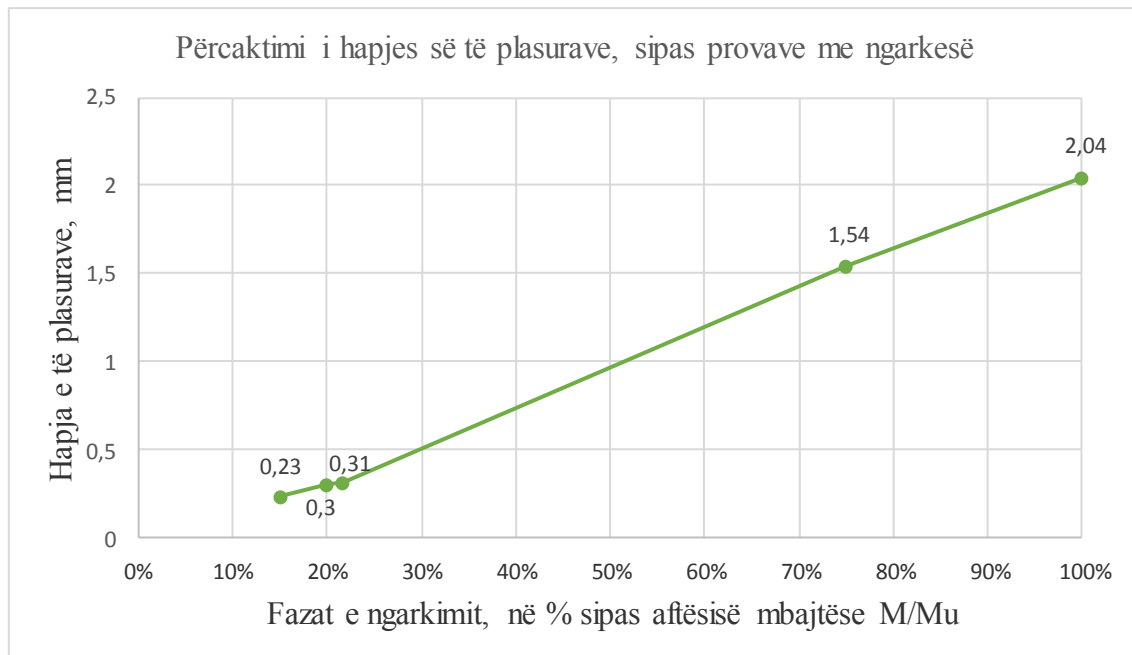


Figura 4.62. Grafiku i gjerësisë së plasaritjeve për traun T3 (2Ø10 GFRP) sipas provave me ngarkesë

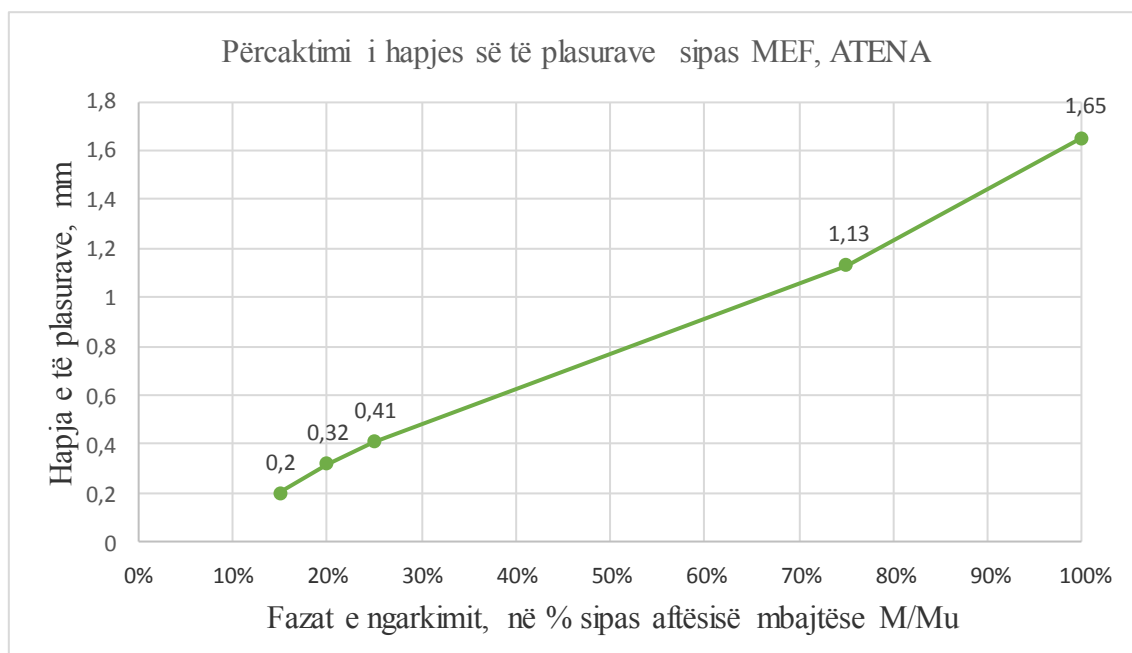


Figura 4.63. Grafiku i gjerësisë së plasaritjeve për traun T3/1 (2Ø10) GFRP sipas MEF, ATENA

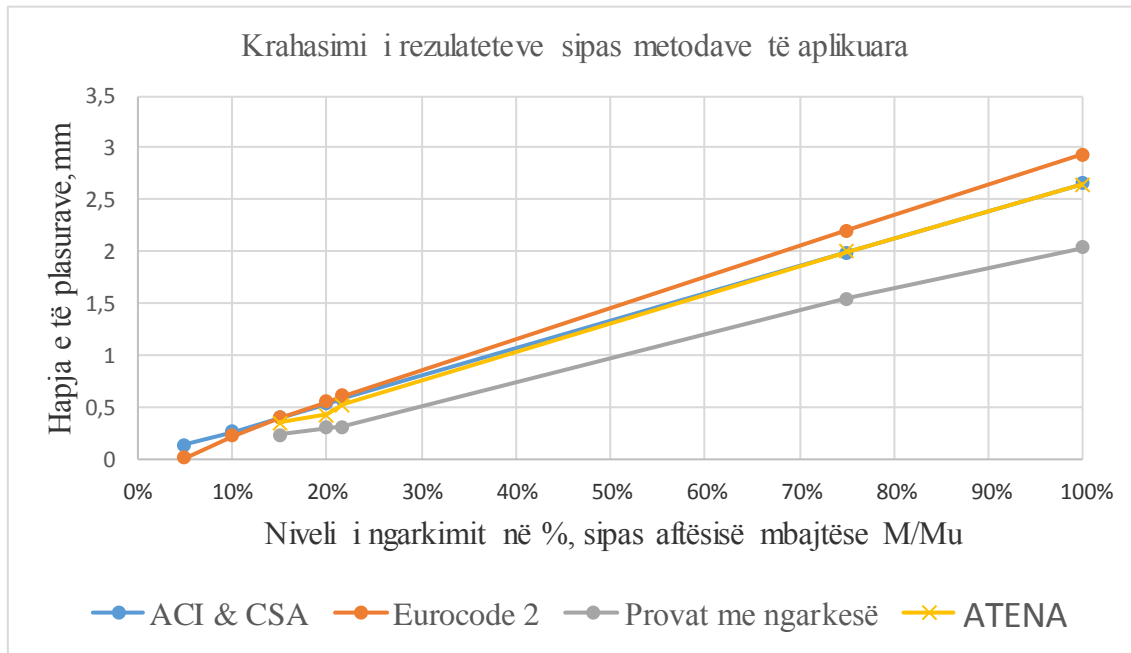


Figura 4.64. Grafiku i hapjes së të plasurave, trau T3 (2Ø10 GFRP) sipas metodave të aplikuara

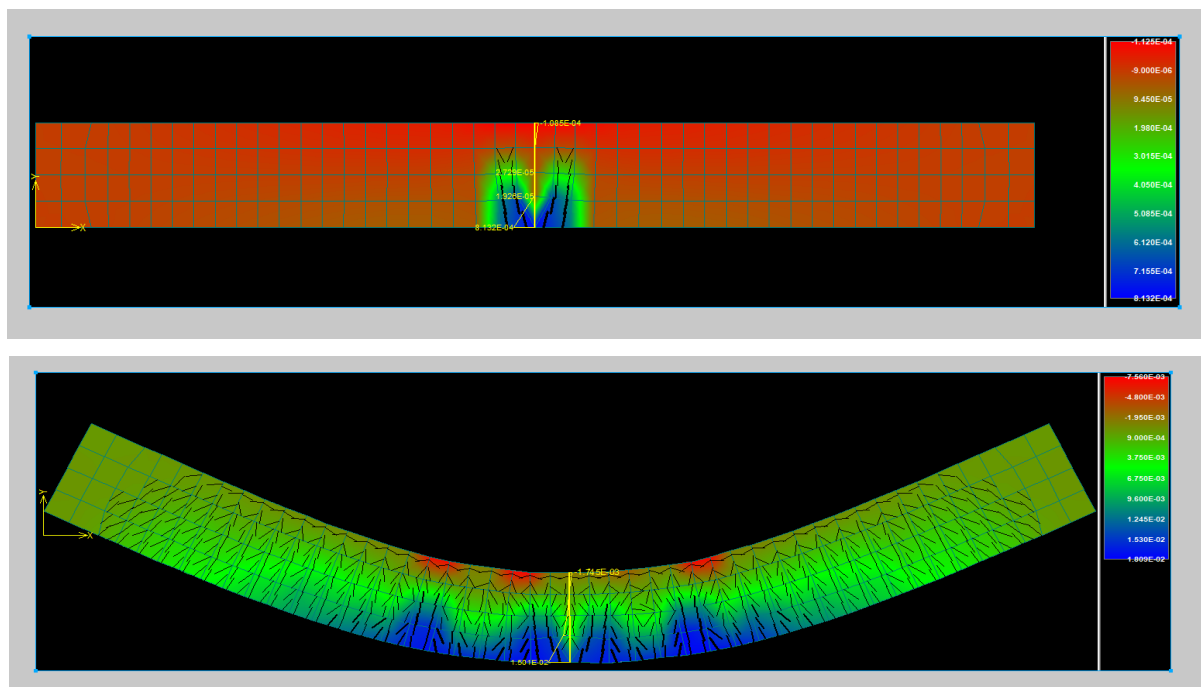


Figura 4.65. Paraqitja e uljeve dhe plasaritjeve per trau T3 (2Ø10 GFRP) sipas programit ATENA.

4.6.4. Përcaktimi i uljeve për traun T-3 (2 Φ 10mm GFRP)

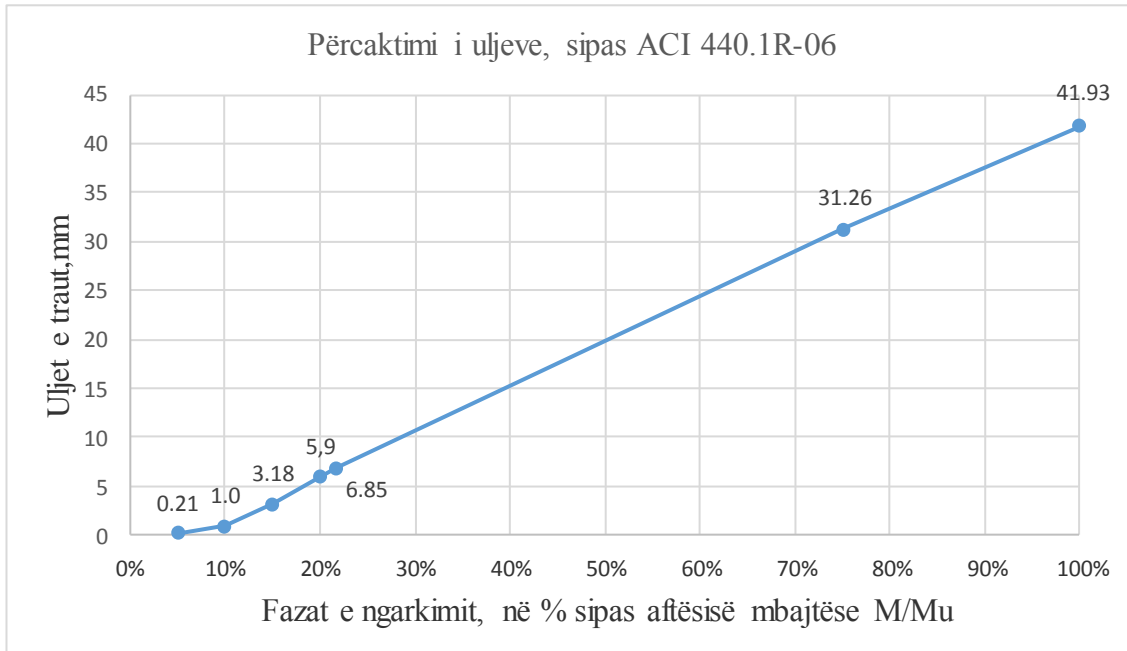


Figura 4.66. Grafiku i Uljeve për traun T3 (2 Φ 10 GFRP) sipas ACI 440.1R-06

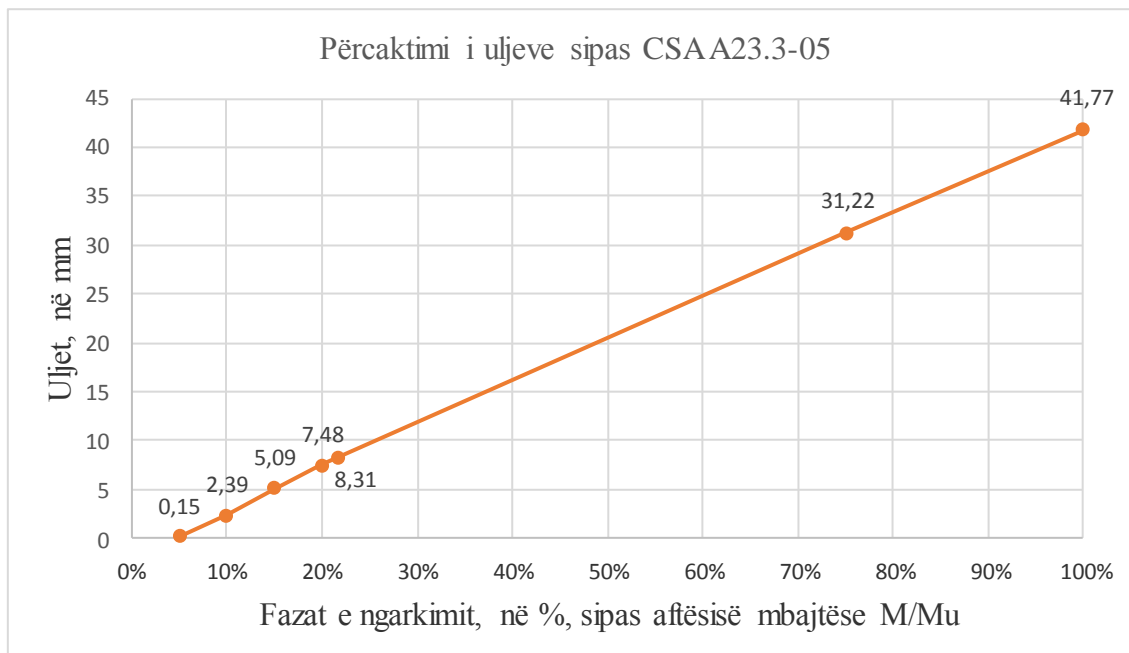


Figura 4.67. Grafiku i Uljeve për traun T3/1 (2 Φ 10 GFRP) sipas CSA A23.3-05

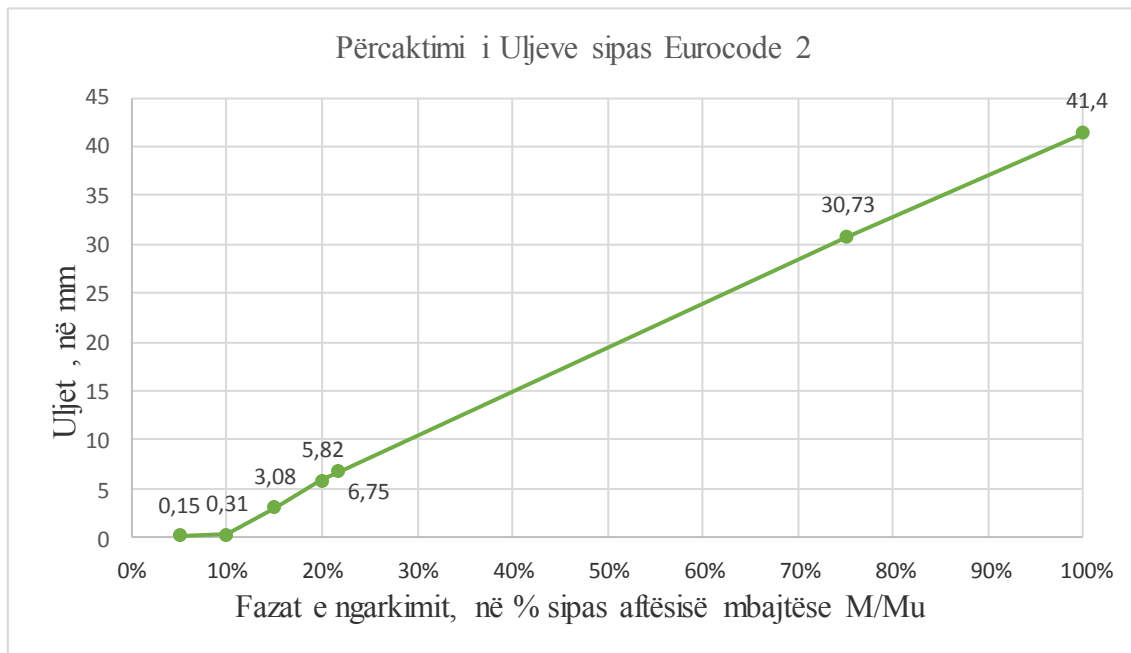


Figura 4.68. Grafiku i Uljeve për traun T3 (2Ø10 GFRP) sipas Eurocode 2

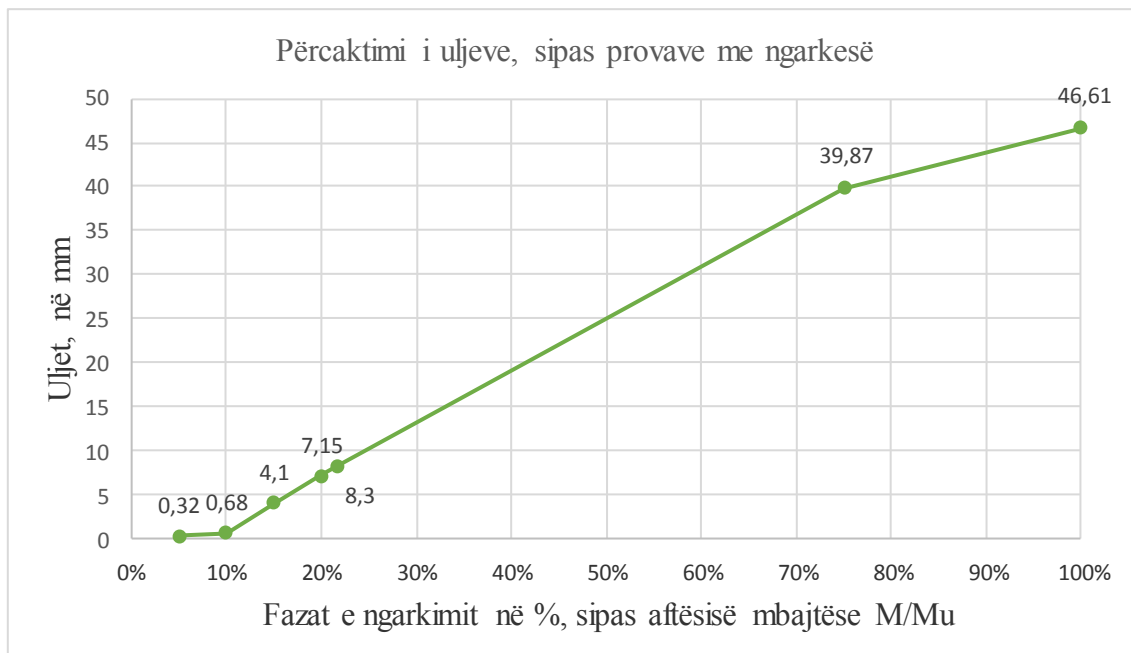


Figura 4.69. Grafiku i Uljet për traun T3 (2Ø10 GFRP), sipas provave me ngarkesë

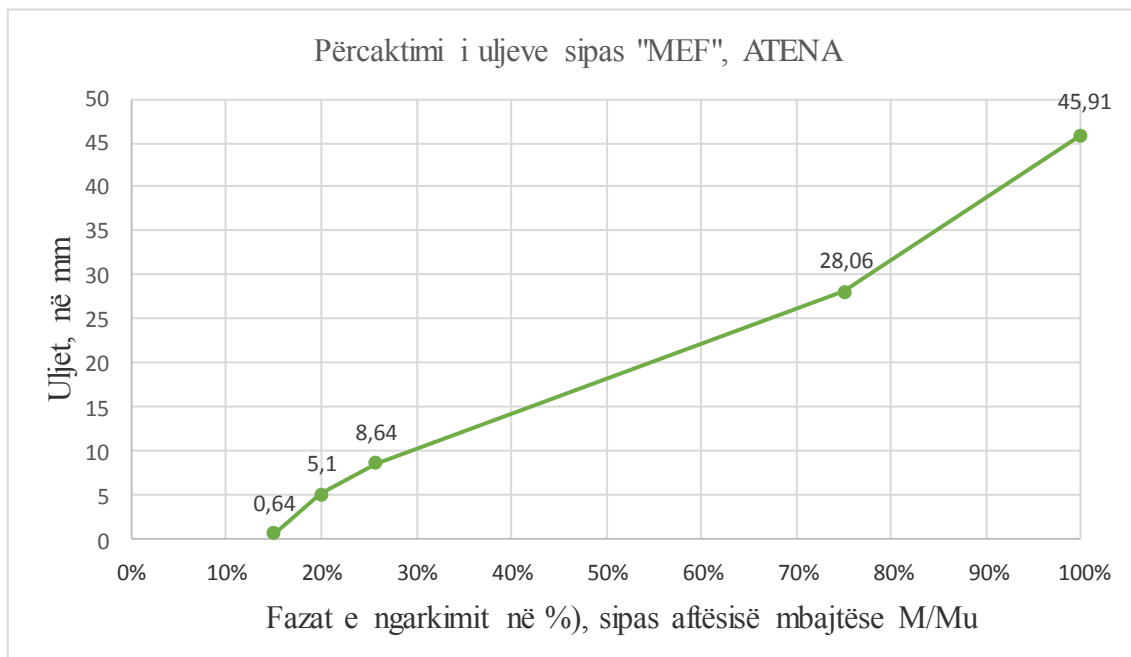


Figura 4.70. Grafiku i Uljeve për traun T3 (2Ø10 GFRP), sipas MEF, ATENA

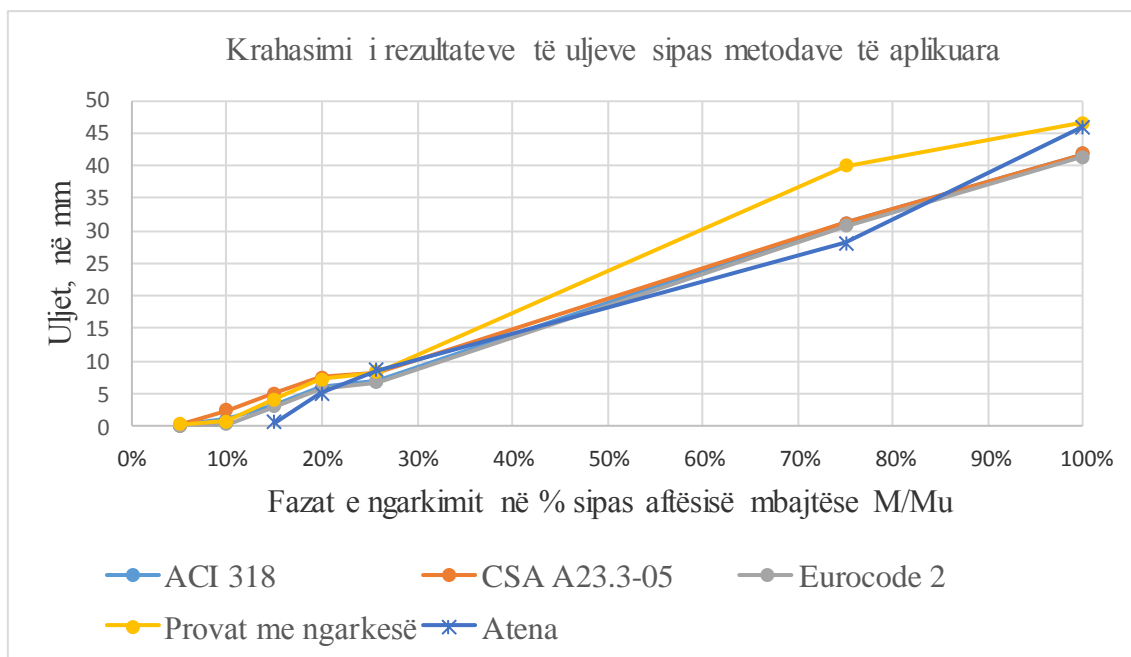


Figura 4.71. Grafiku krahasues i Uljeve për traun T3 (2Ø10 GFRP), sipas metodave të aplikuara

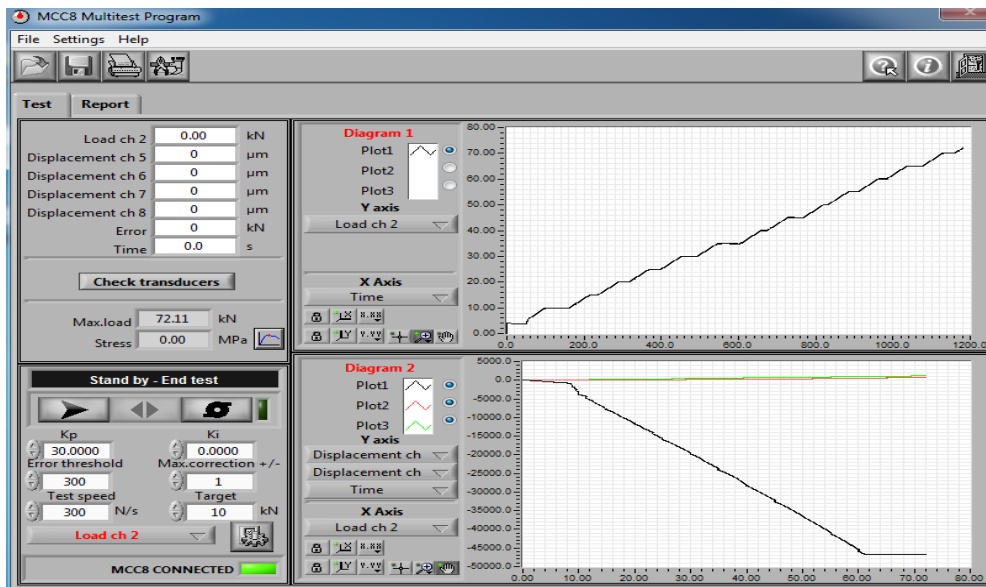


Figura 4.72. Diagram e punës për traun T3 (2Ø10 GFRP), i nxjerrur në mënyrë eksperimentale nga paisja MCC8.

4.6.5. Përcaktimi i hapjes së të plasurave për traun T-4 (2 Ø8 mm CFRP)

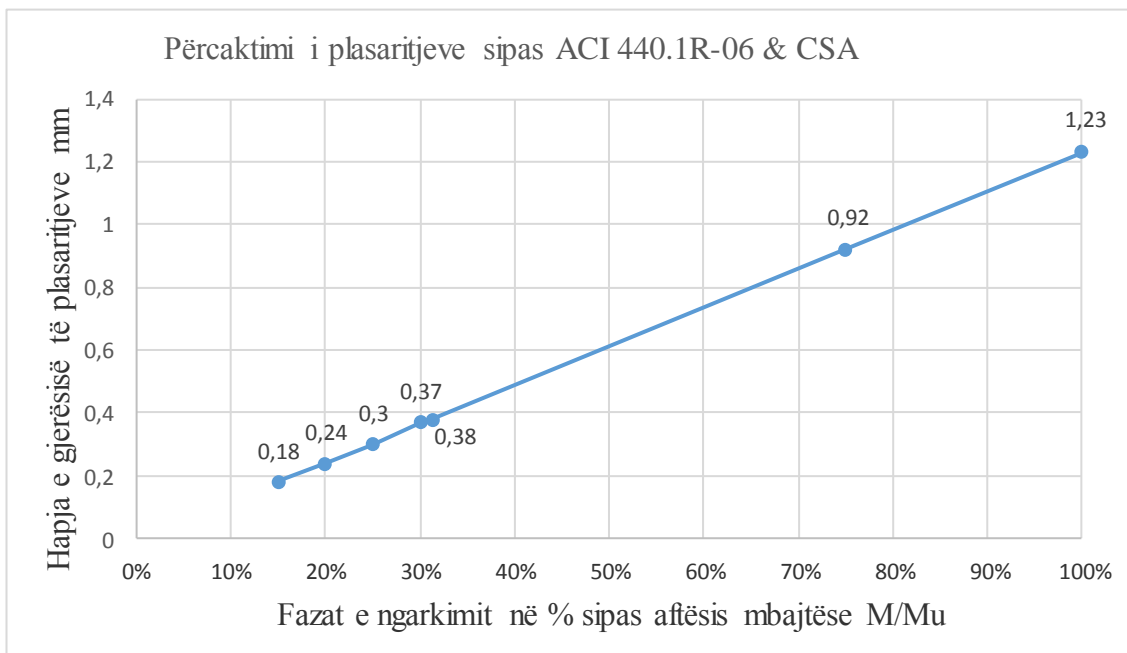


Figura 4.73. Plasaritjet për traun T4 (2Ø8 CFRP) sipas ACI 440.1R-06 dhe CSA

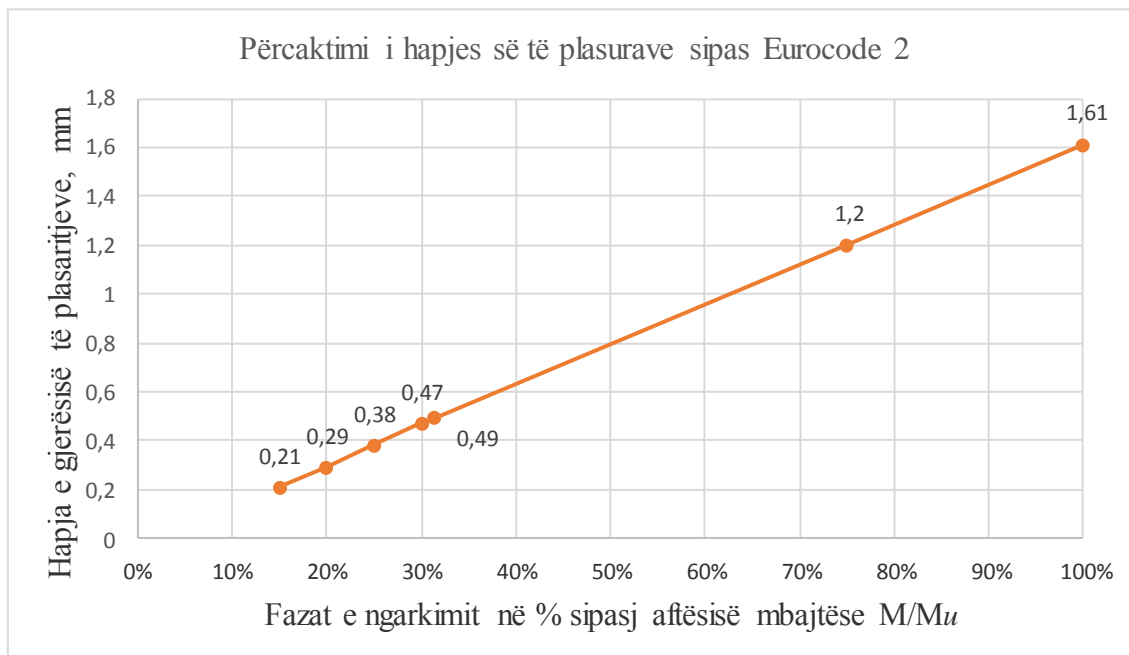


Figura 4.74. Grafiku i plasartjeve për traun T4 (2Ø8 CFRP) sipas Eurocode 2

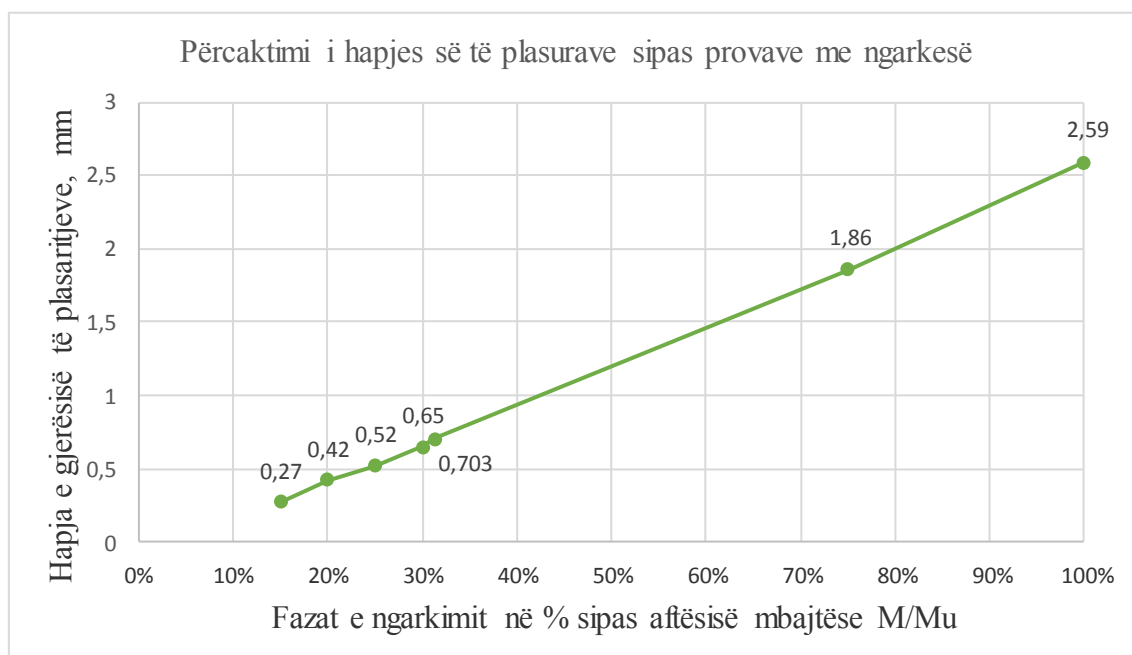


Figura 4.75. Plasartjet për traun T4 (2Ø8 CFRP) nga provat me ngarkesë

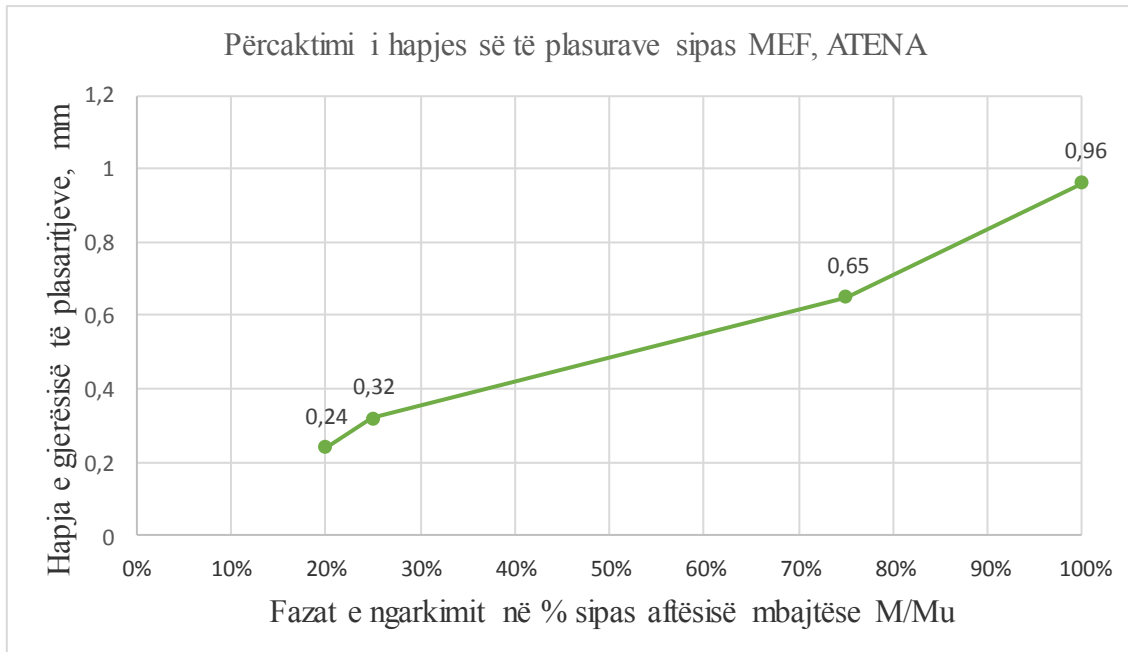


Figura 4.76. Grafiku i plasaritjeve për traun T4/1 (2Ø8 CFRP) sipas MEF, ATENA

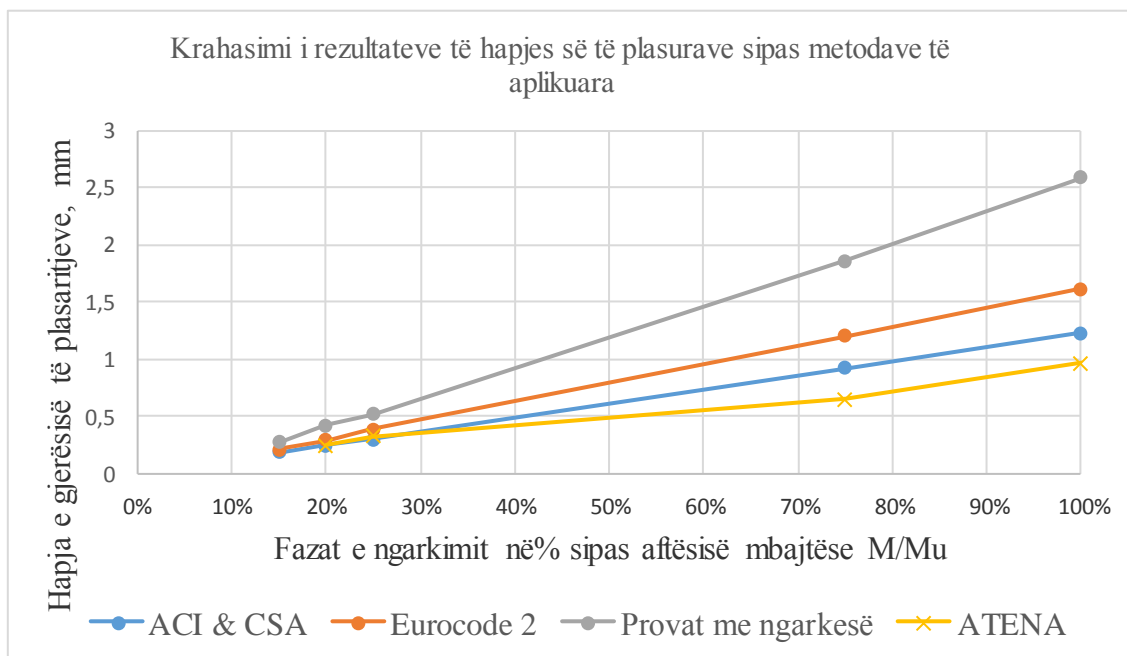


Figura 4.77. Grafiku i krahasimit të të plasurave për traun T4 (2Ø8 CFRP) sipas metodave të aplikuara

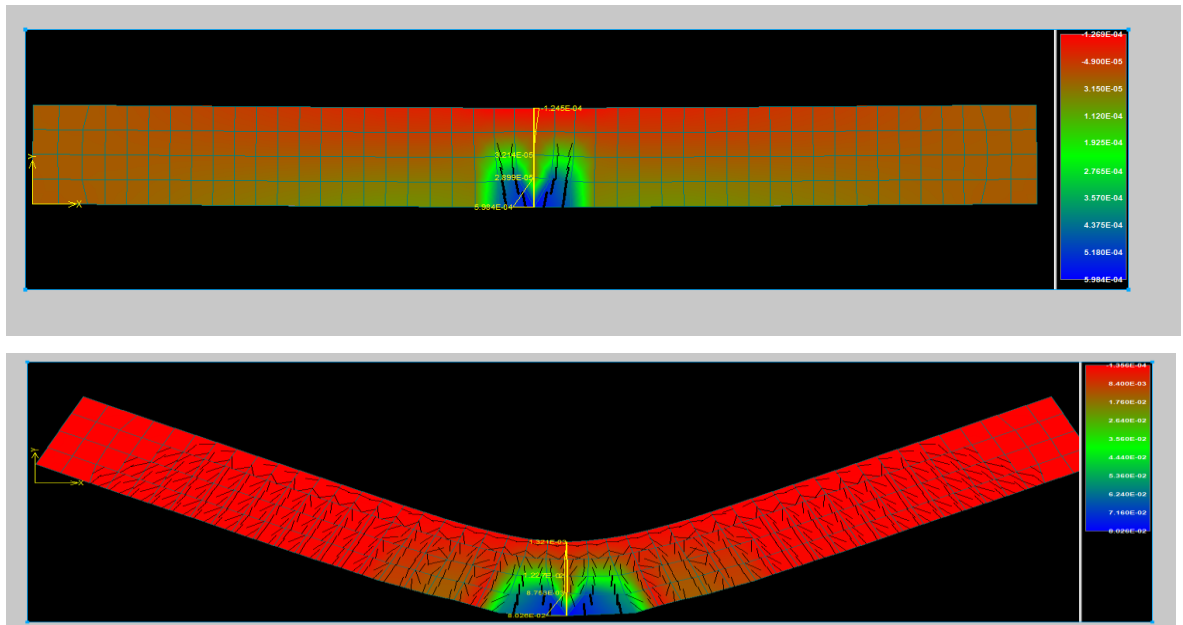


Figura 4.78. Paraqitja e uljeve dhe plasaritjeve per traun T4 (2Ø8 CFRP) sipas programit ATENA

4.6.6. Përcaktimi i uljeve për traun T-4 (2Ø8mm CFRP)

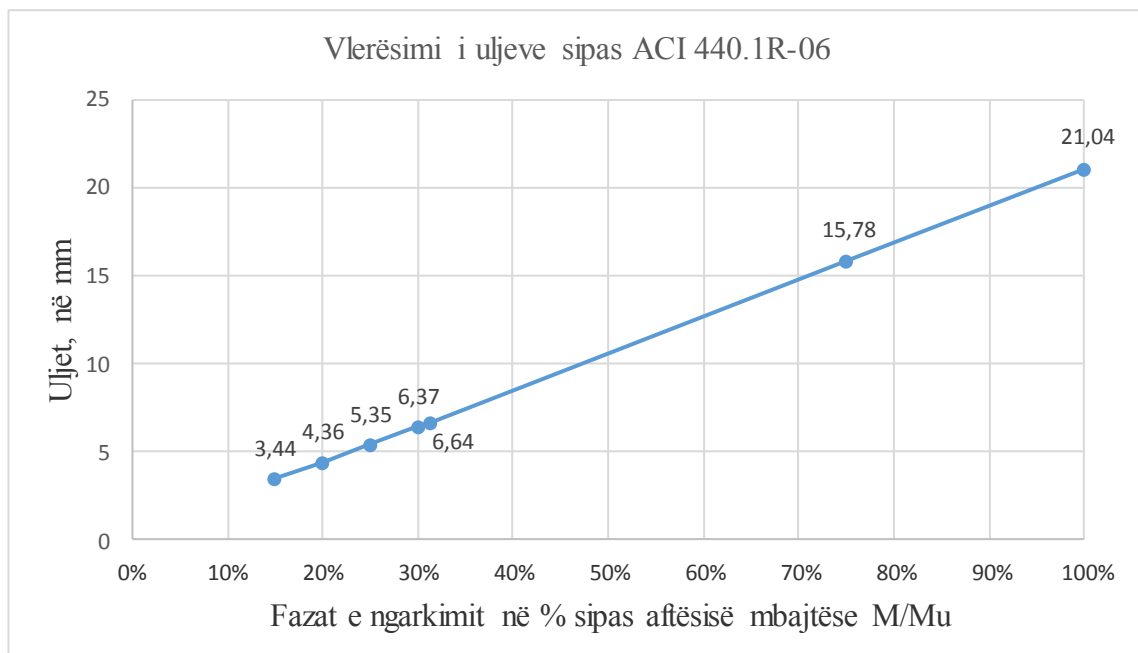


Figura 4.79. Grafiku i Uljeve për traun T4 (2Ø8 CFRP) sipas ACI 440.1R-06

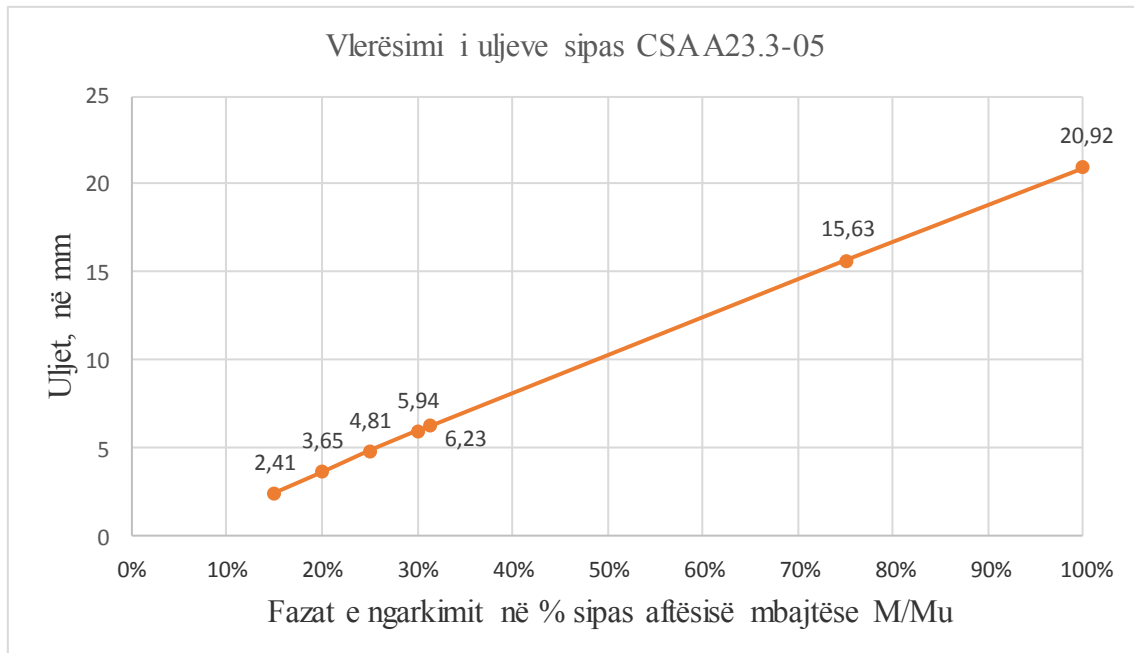


Figura 4.80. Grafiku i Uljeve për traun T4 (2Ø8 CFRP) sipas CSA A23.3-05

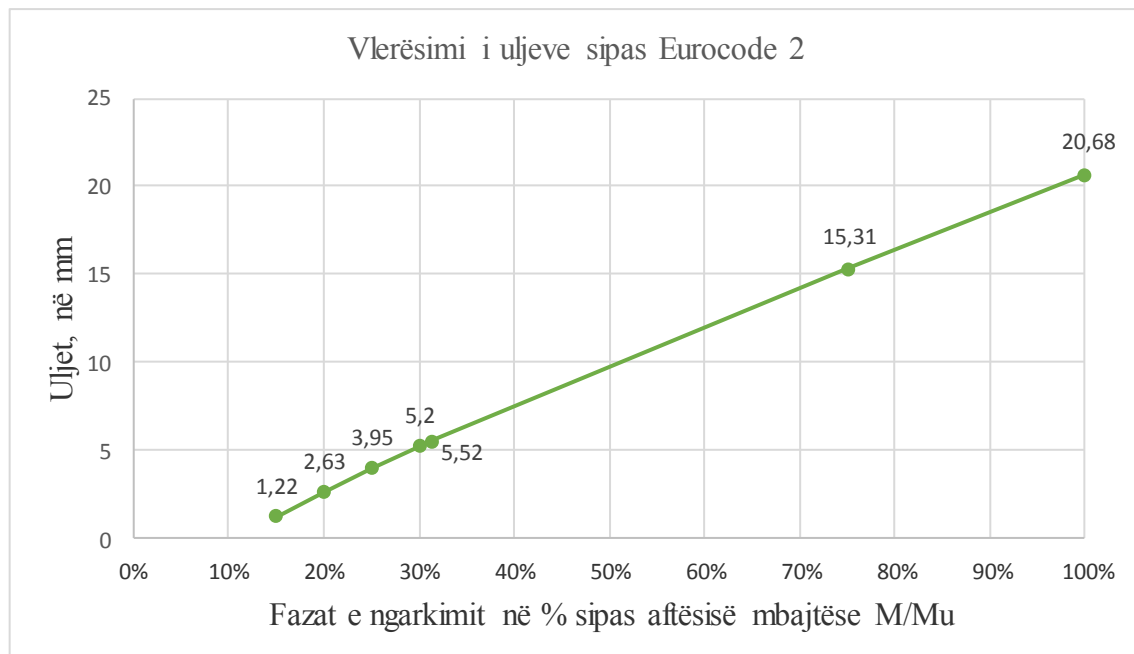


Figura 4.81. Grafiku i Uljeve për traun T4 (2Ø8 CFRP) sipas Eurocode 2

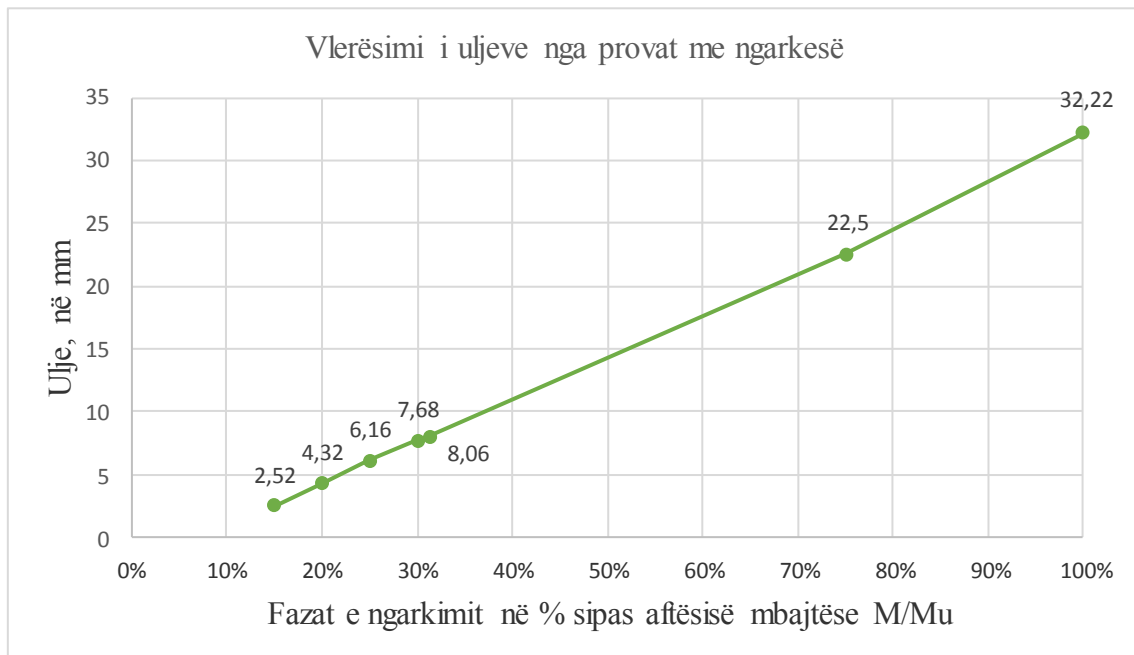


Figura 4.82. Grafiku i Uljeve për traun T4 (2 Ø 8mm CFRP) sipas provave me ngarkesë

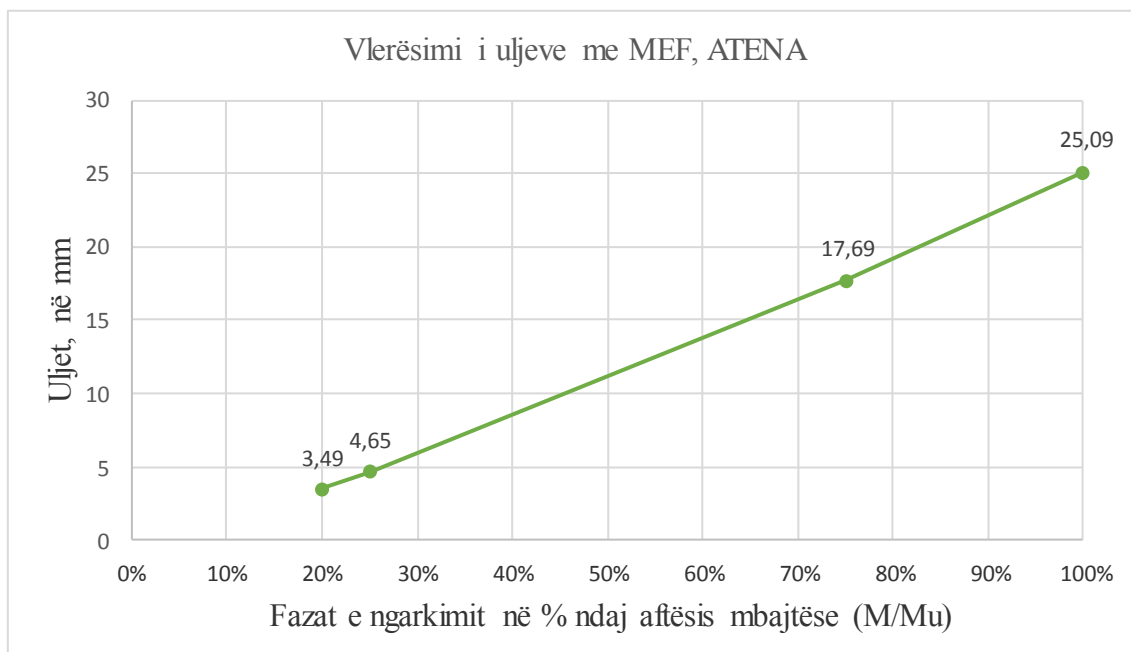


Figura 4.83. Grafiku i Uljeve për traun T4 (2Ø8mm CFRP) sipas MEF, ATEN

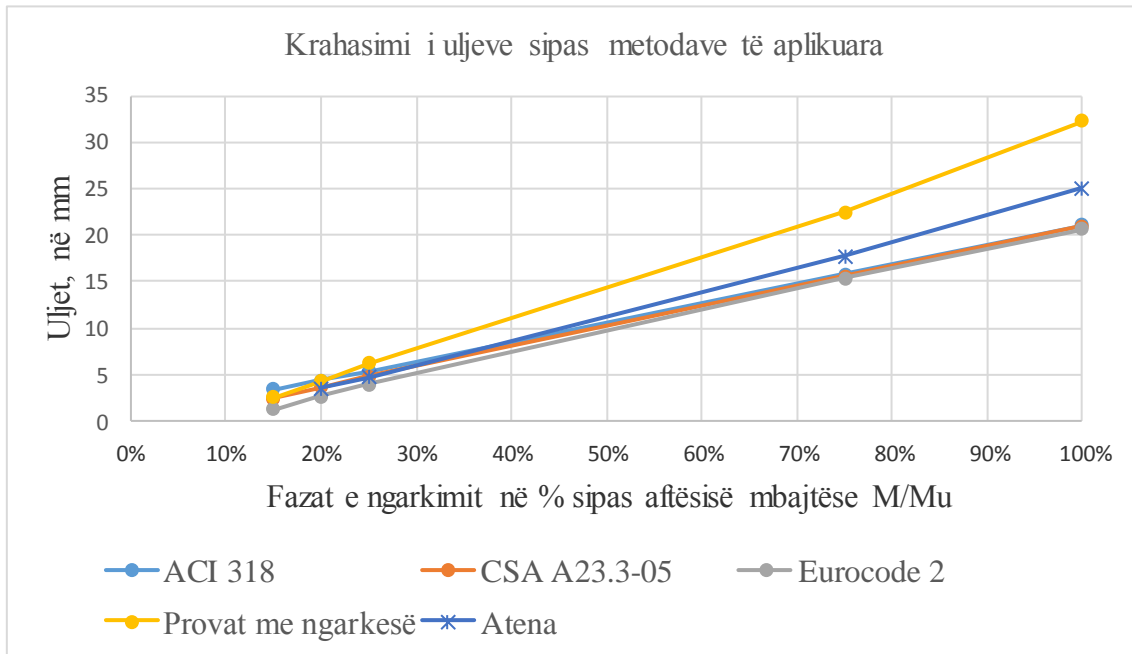


Figura 4.84. Grafiku i krahasimit të uljeve për traun T4 (2Ø8 CFRP) sipas metodave të aplikuara

4.6.7 Përcaktimi i hapjes së të plasurave për traun T5 (2 Ø10 mm CFRP)

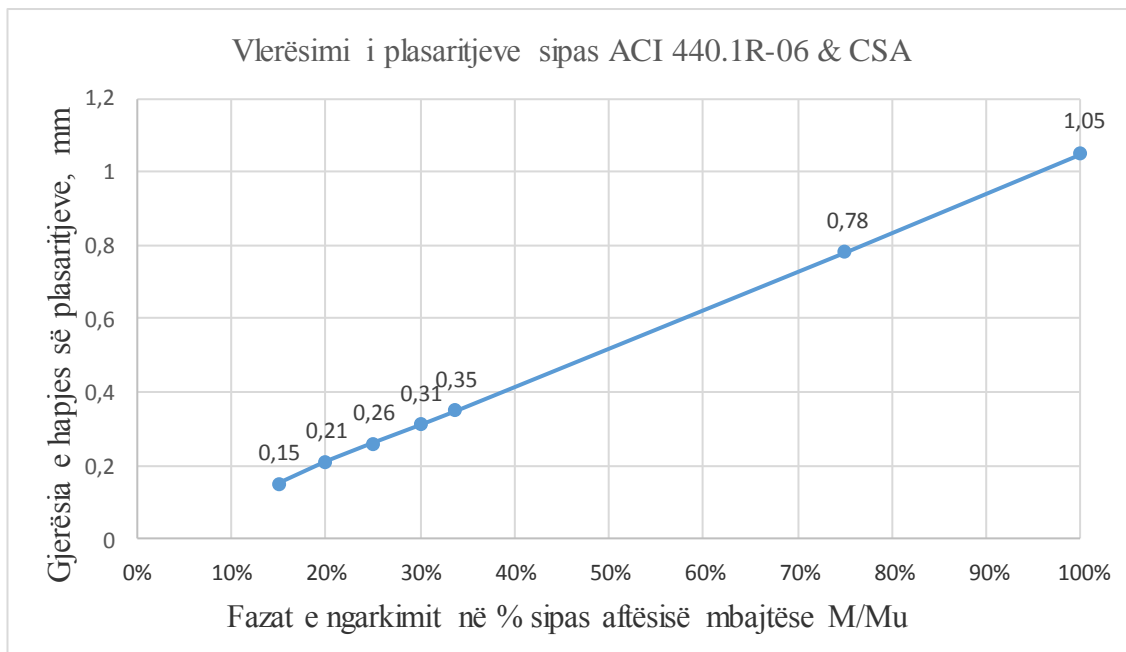


Figura. 4.85. Grafiku i plasaritjeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas ACI 440.1R-06 dhe CSA

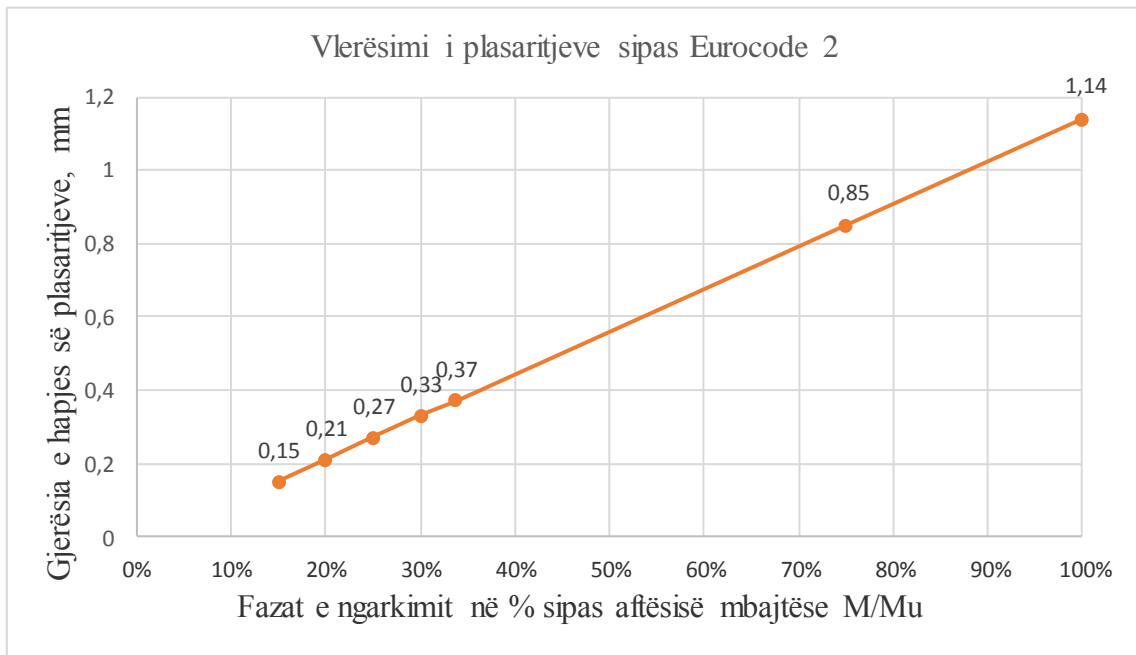


Figura. 4.86. Grafiku i plasaritjeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas Eurocode 2

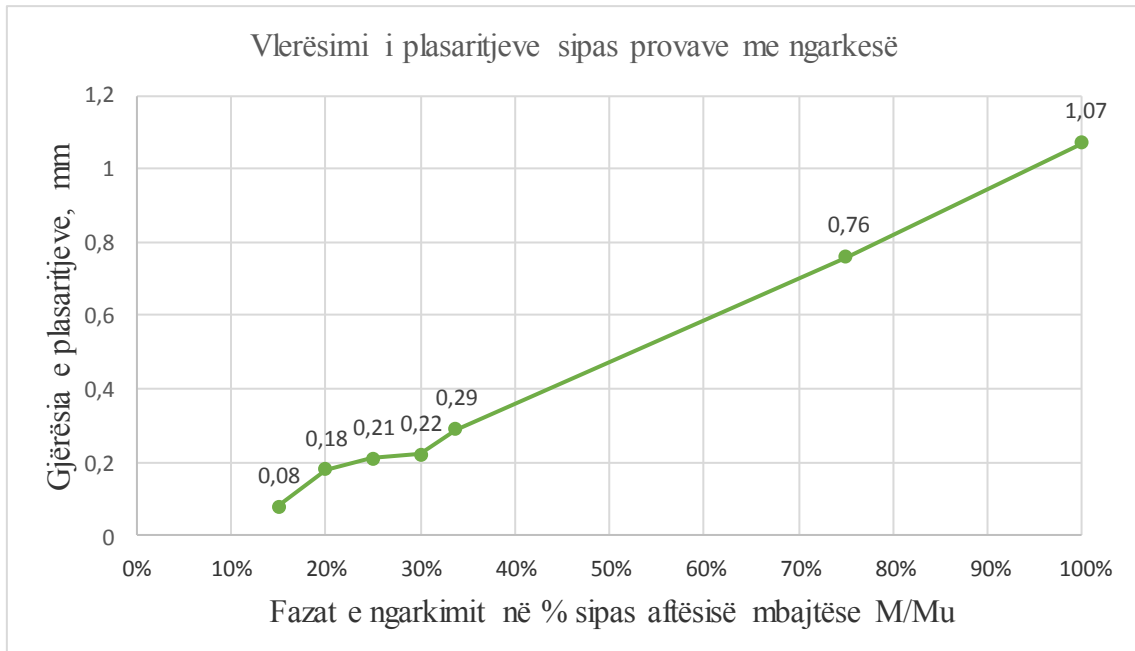


Figura.4.87. Grafiku i plasaritjeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas provave me ngarkesë

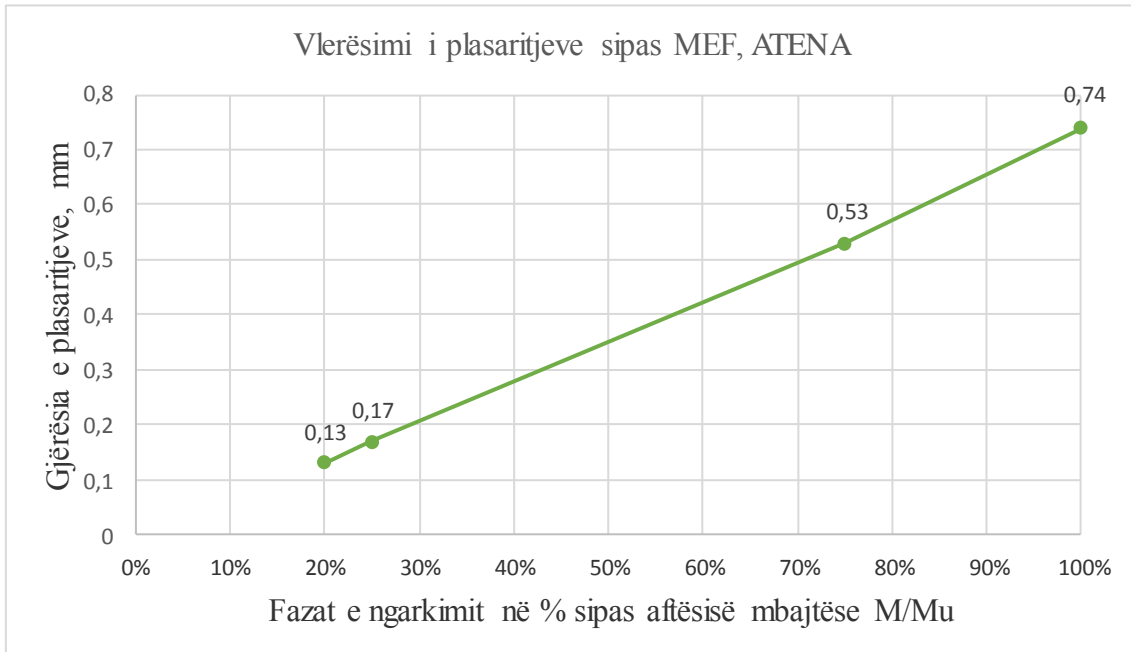


Figura. 4.88. Grafiku i plasaritjeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas MEF, ATENA

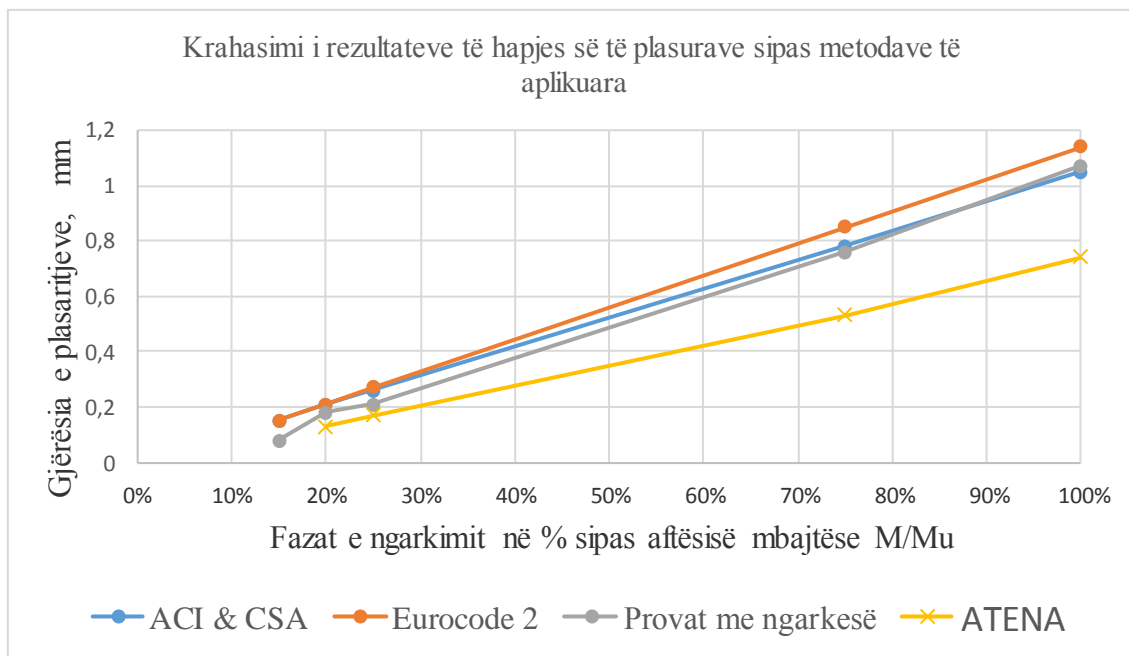


Figura.4.89. Grafiku krahasues i plasaritjeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas metodave të aplikuara

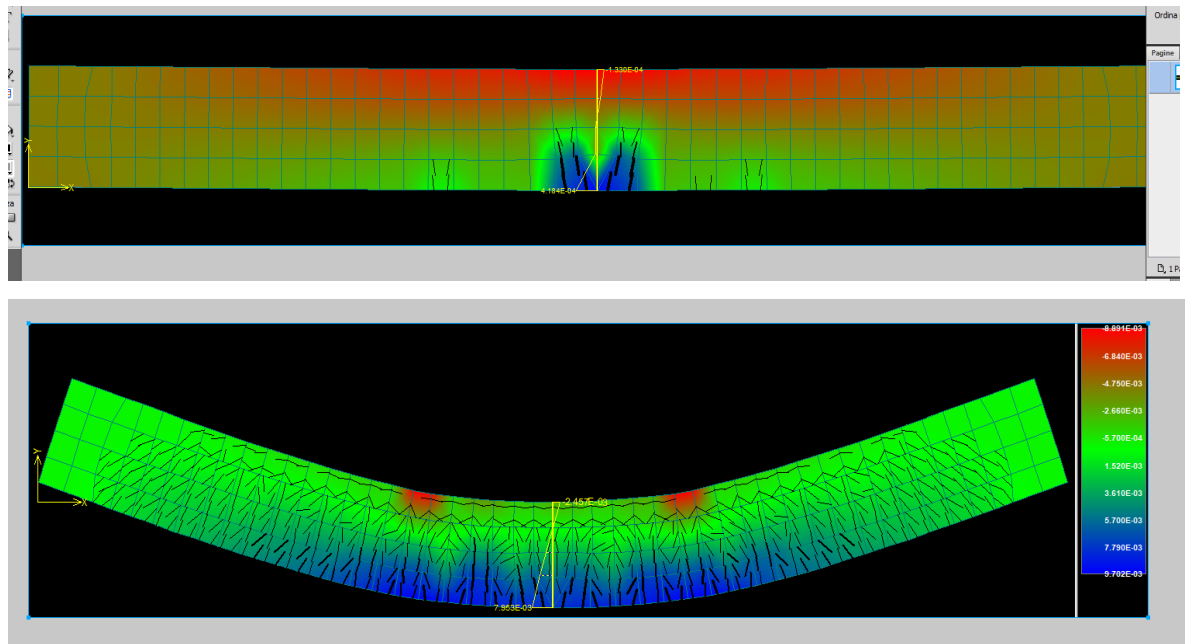


Figura 4.90. Paraqitja e uljeve dhe plasaritjeve per traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas programit ATENA

4.6.8. Përcaktimi i uljeve për traun T-5 (2Ø10mm CFRP)

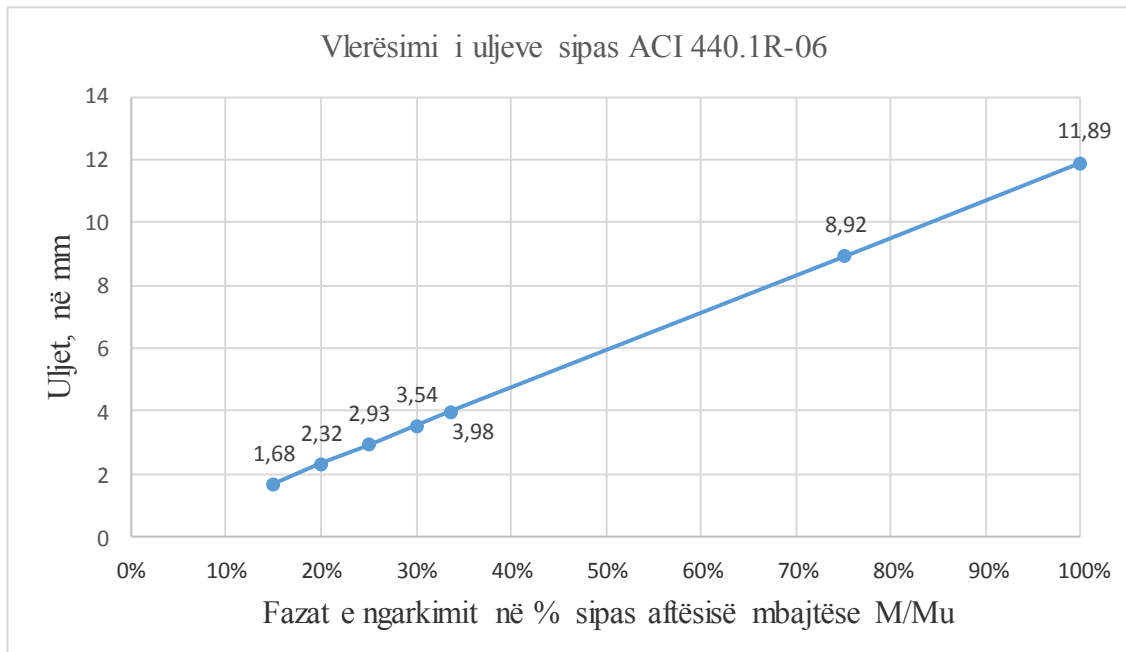


Figura. 4.91. Grafiku i uljeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas ACI 440.1R-06

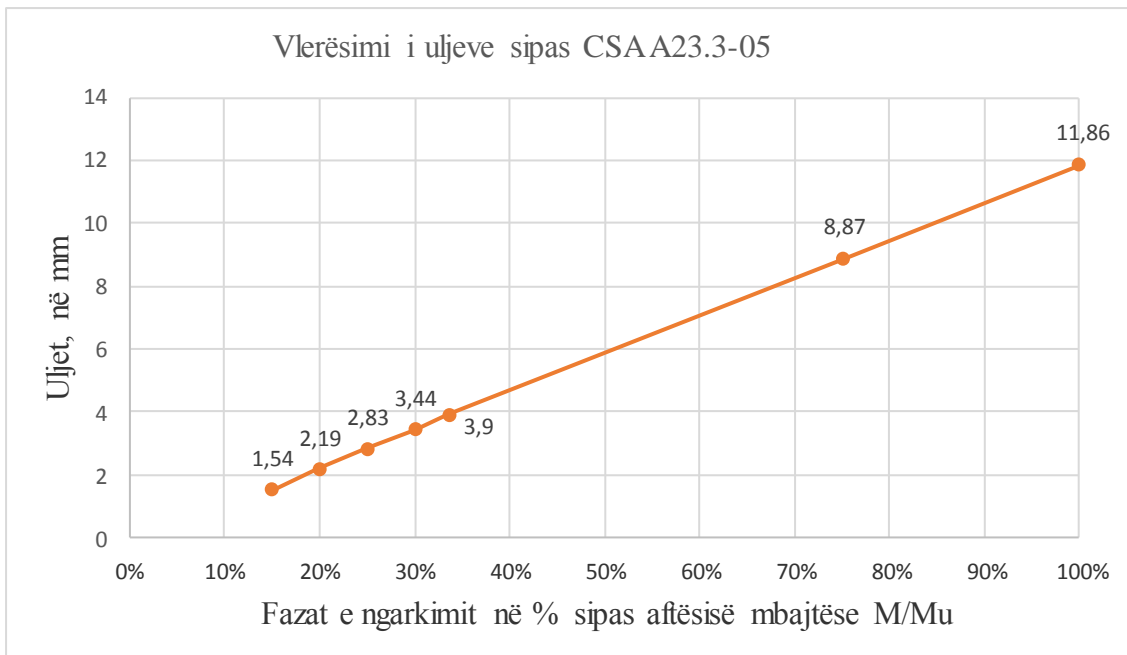


Figura. 4.92. Grafiku i uljeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas CSA A23.3-05

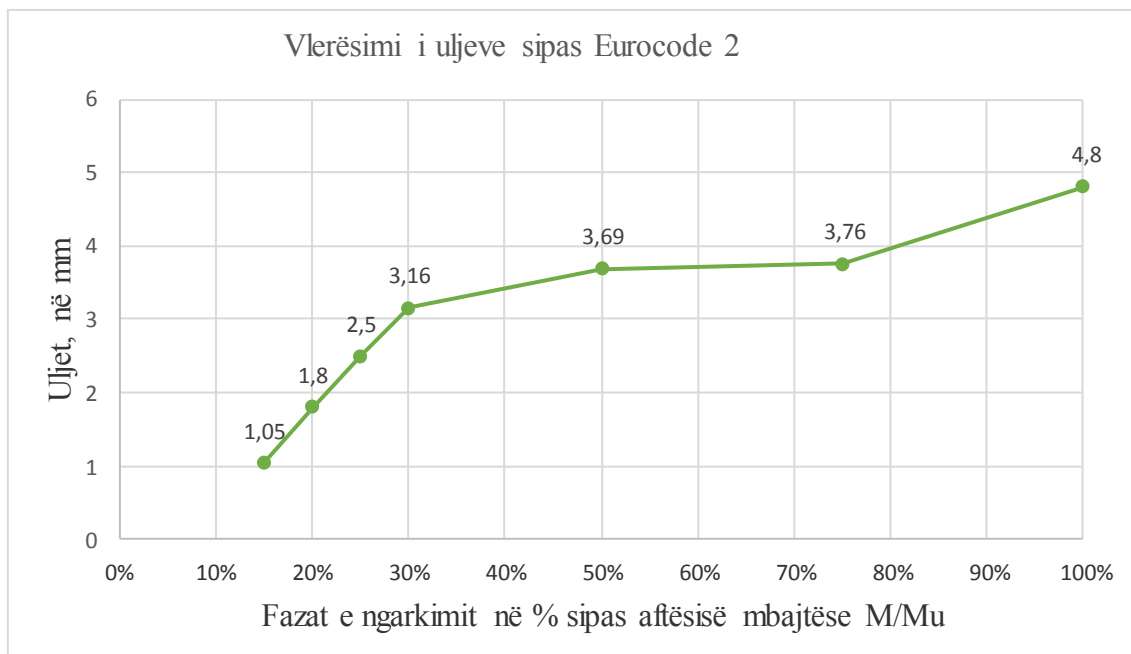


Figura. 4.93. Grafiku i uljeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas Eurocode 2

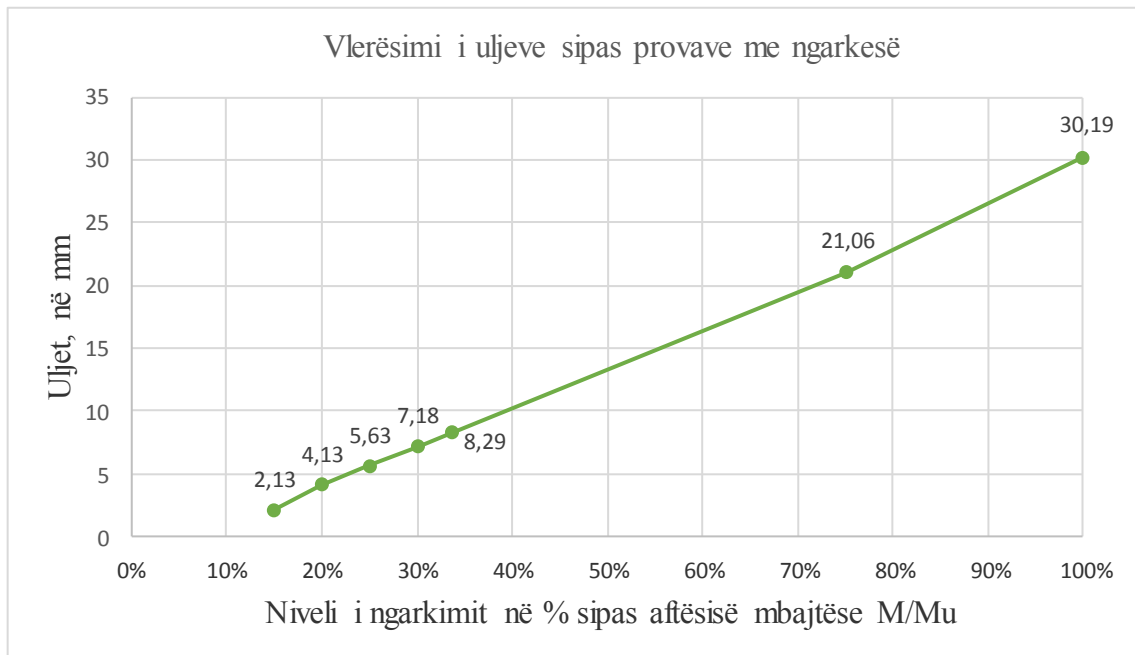


Figura. 4.94. Grafiku i uljeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas provave me ngarkesë

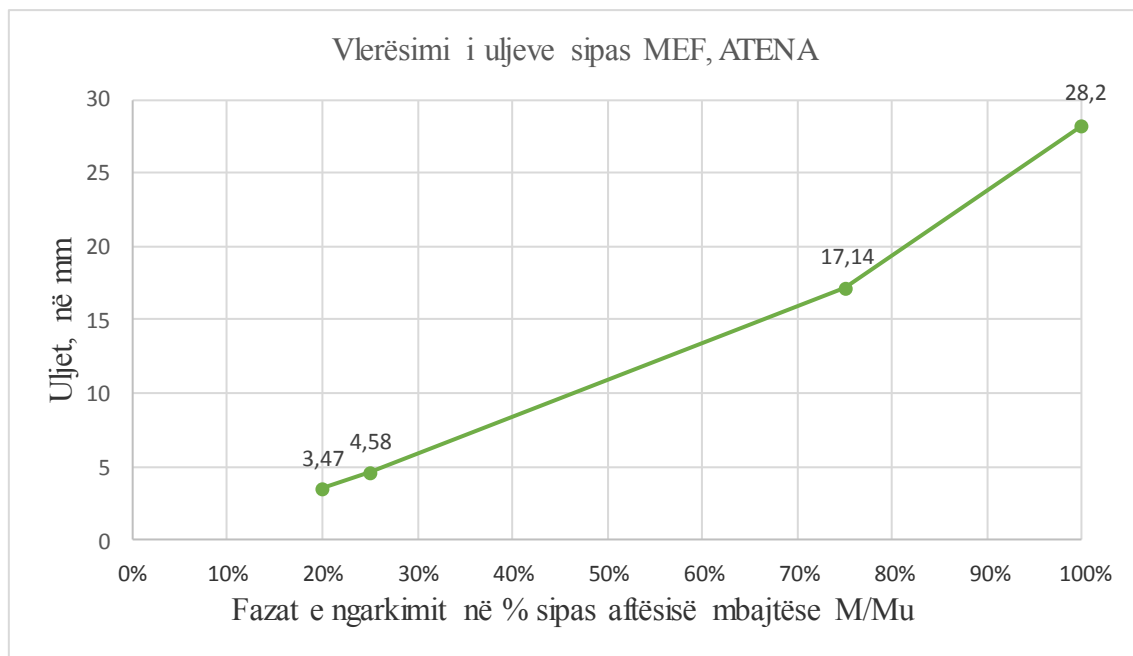


Figura. 4.95. Grafiku i uljeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas MEF, ATENA

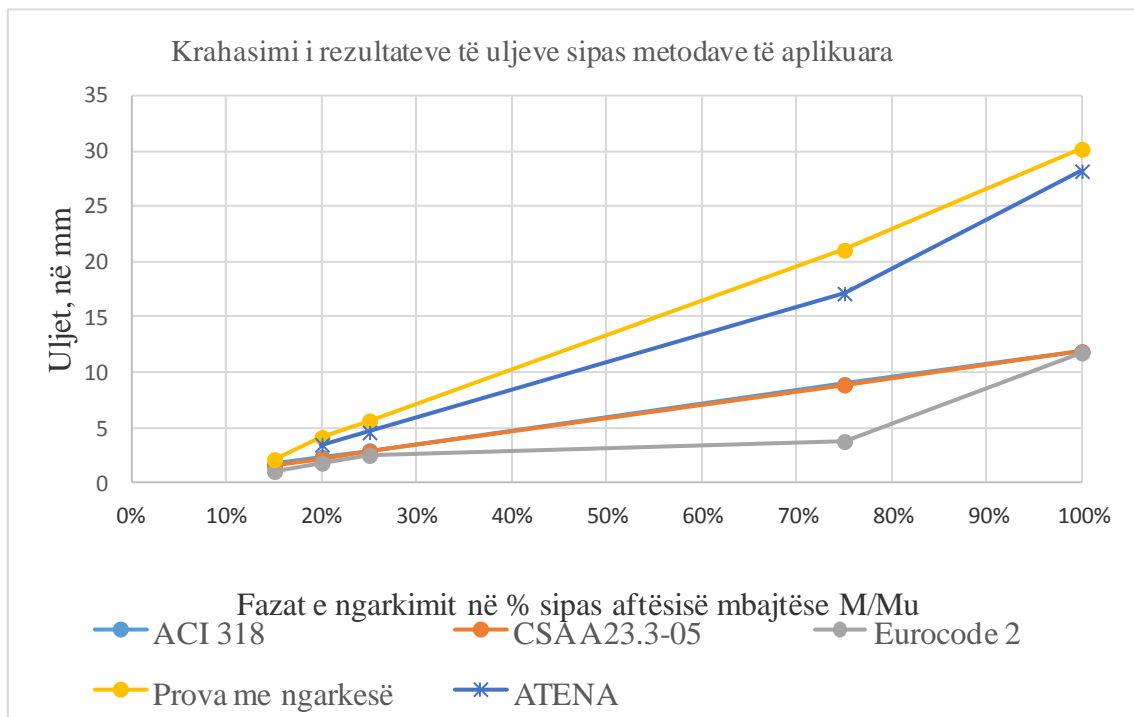


Figura. 4.96. Grafiku krahasues i uljeve për traun T5 (2Ø10 CFRP) sipas metodave të aplikuara

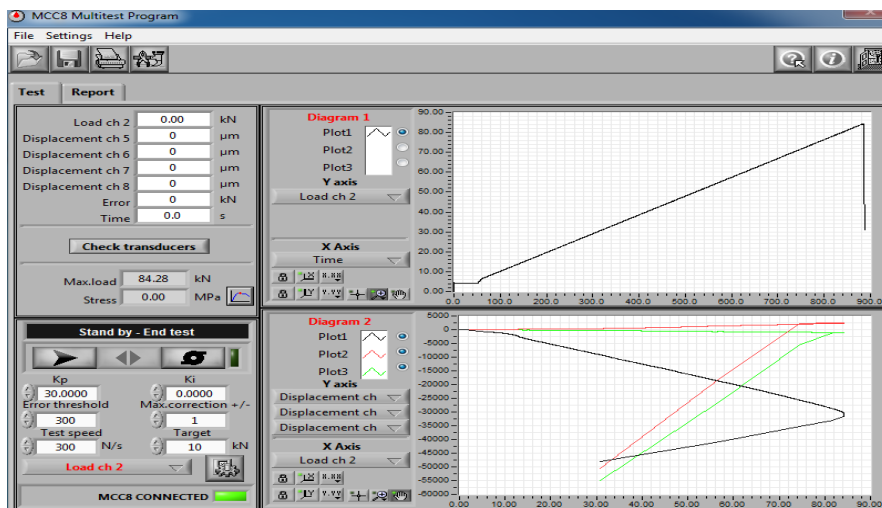


Figura 4.97. Diagrami i punës për traun T5(2Ø10mm) CFRP, nga prova me ngarkesë, paisja MCC8.

4.6.9. Paraqitja e gjerësisë së plasuritjeve për setin e trarëve T6 (2Ø8 mm armaturë konvencionale)

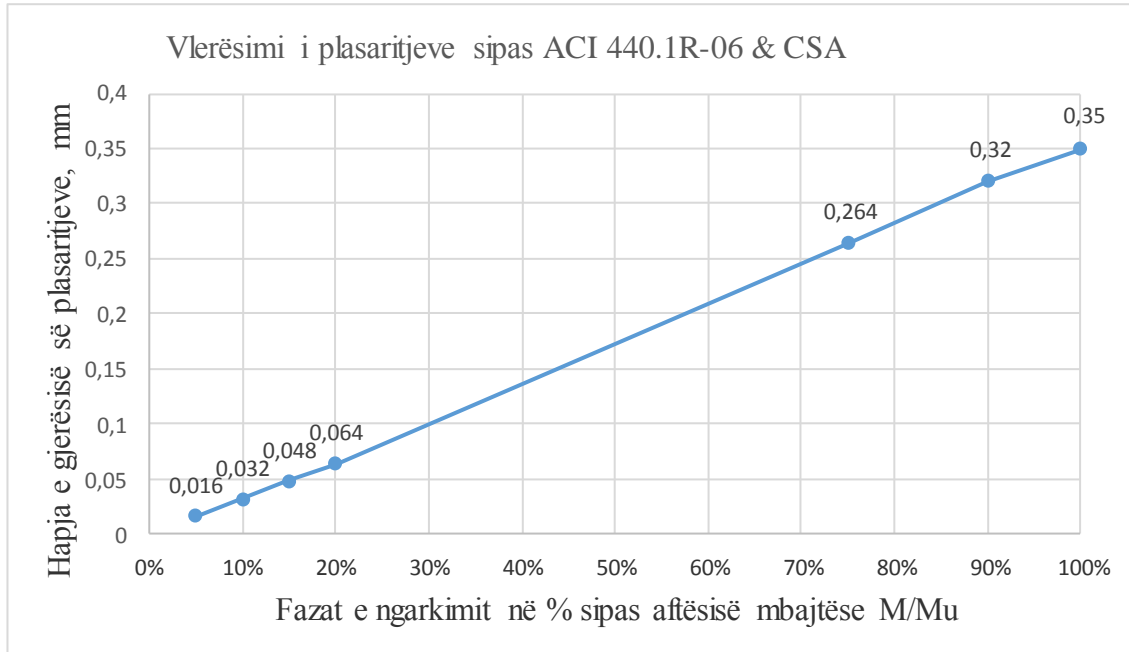


Figura. 4.98. Grafiku i gjerësisë së plasuritjeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIKU) sipas ACI 440.1R-06 & CSA

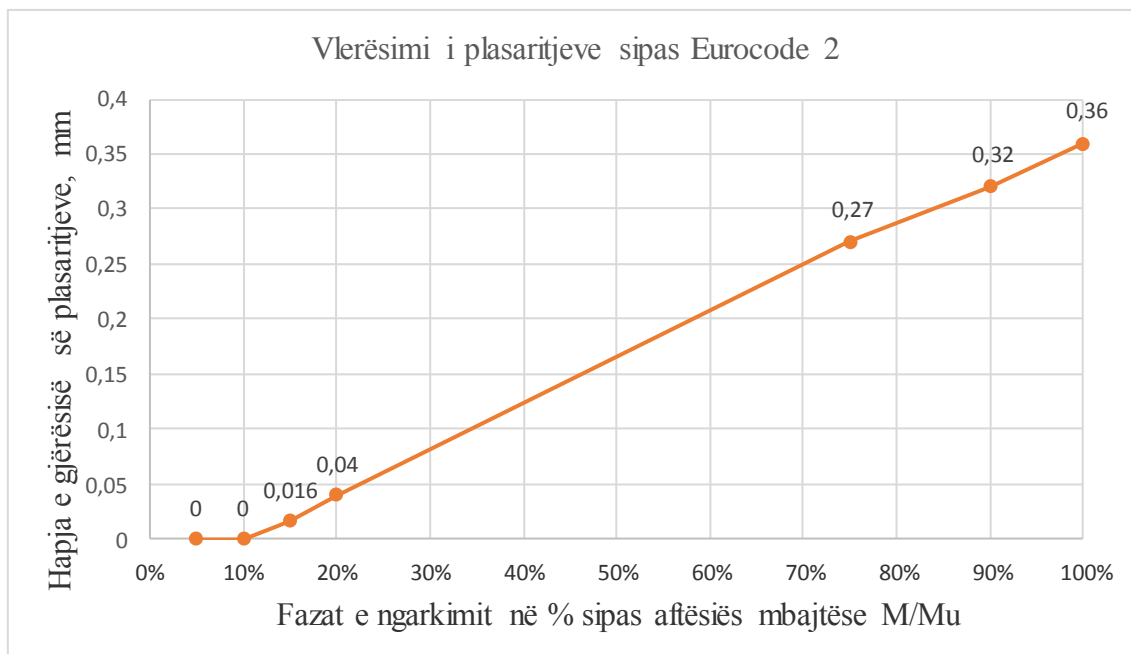


Figura.4.99. Grafiku i plasuritjeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIKU) sipas Eurocode 2

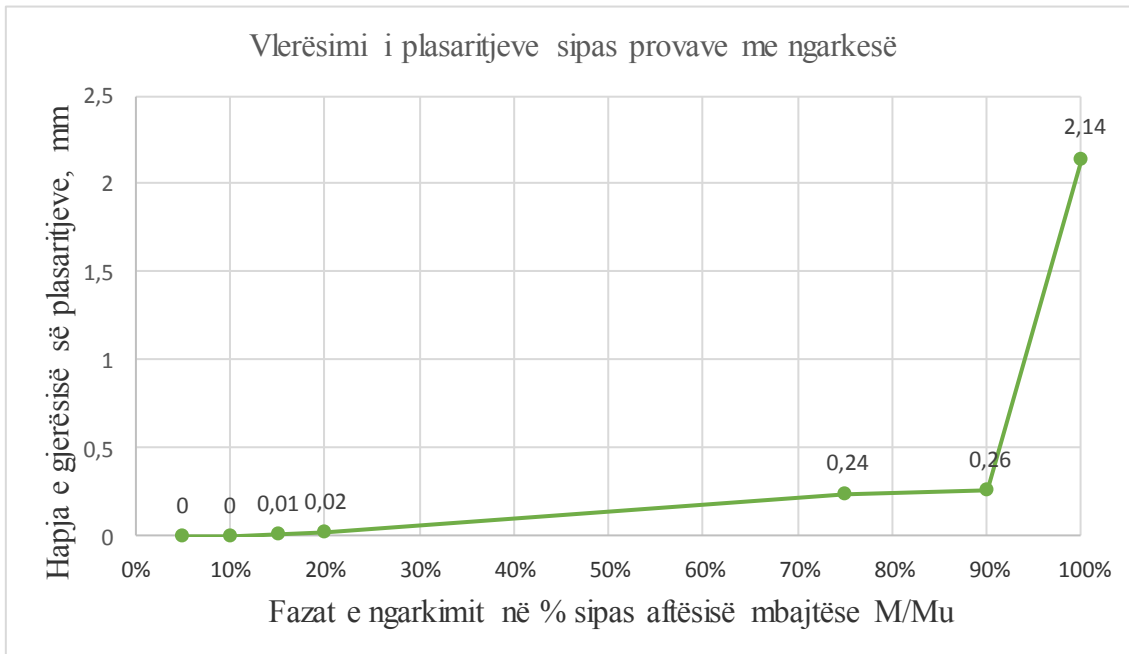
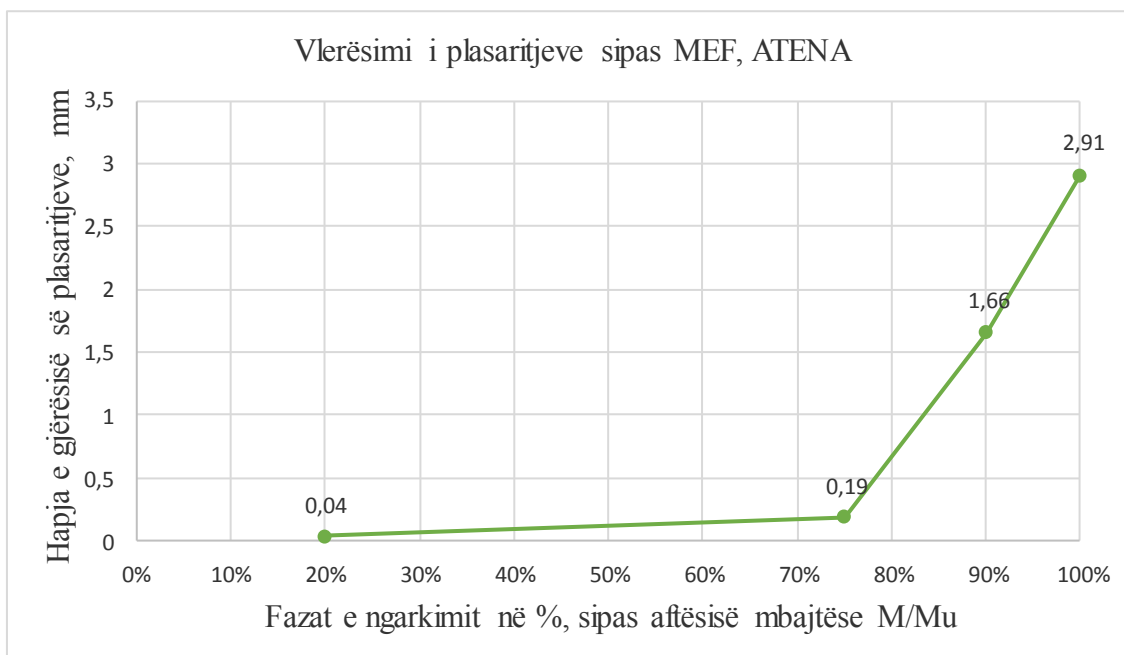


Figura. 4.100. Grafiku i plasaritjeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIKU) sipas provave me ngarkesë



F

Figura. 4.101. Grafiku gjërësisë së plasaritjeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIKU) sipas MEF, ATENA

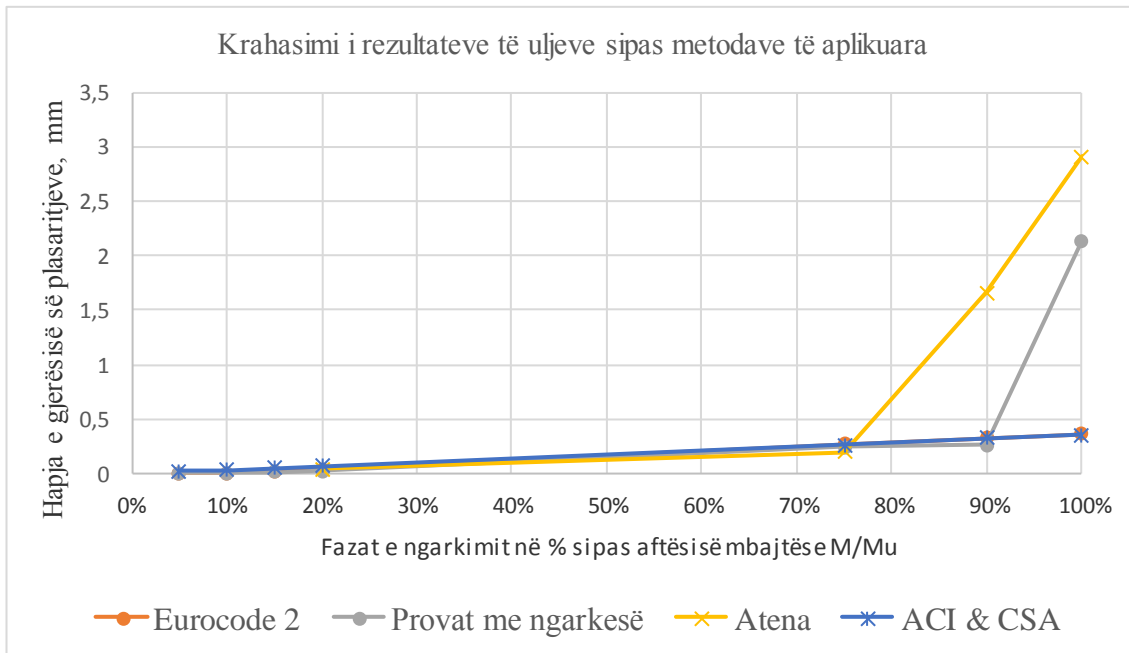


Figura. 4.102. Grafiku krahasues i plasaritjeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIKU) sipas metodave të aplikuara

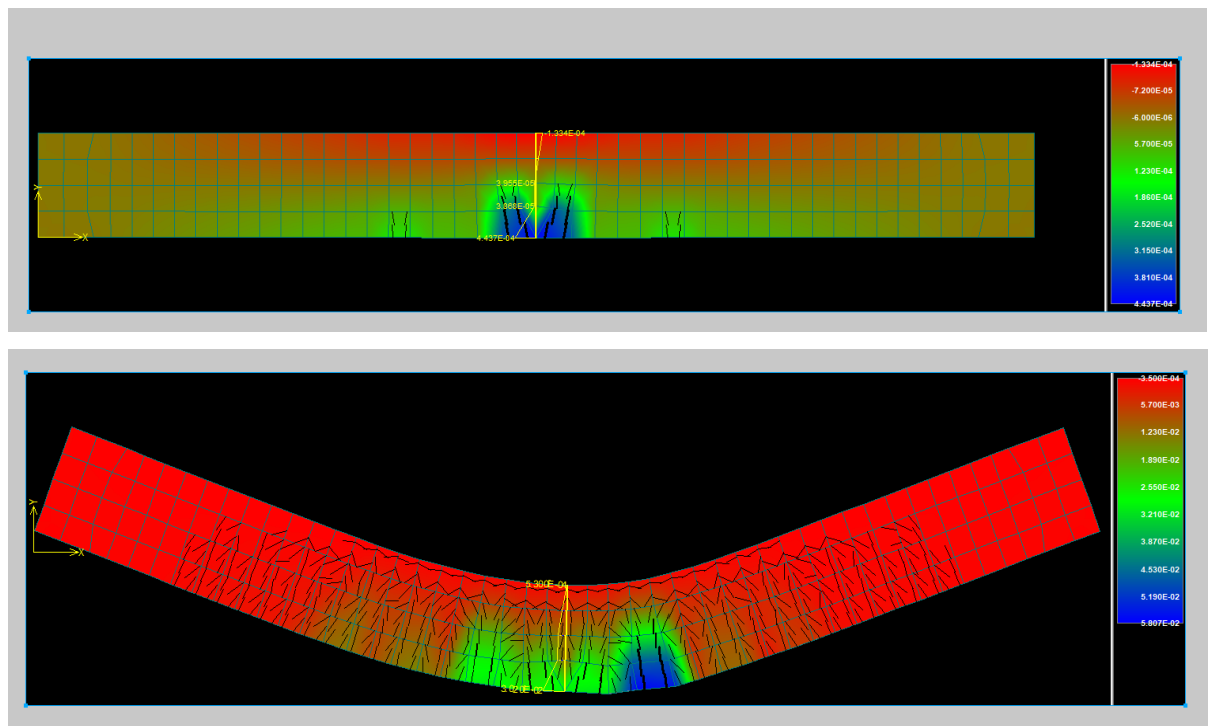


Figura 4.103. Paraqitja e uljeve dhe plasaritjeve për traun T6 (2Ø8 Çeliku) sipas programit ATENA

4.6.10. Përcaktimi i uljeve për traun T-6 (2Φ8mm Çeliku)

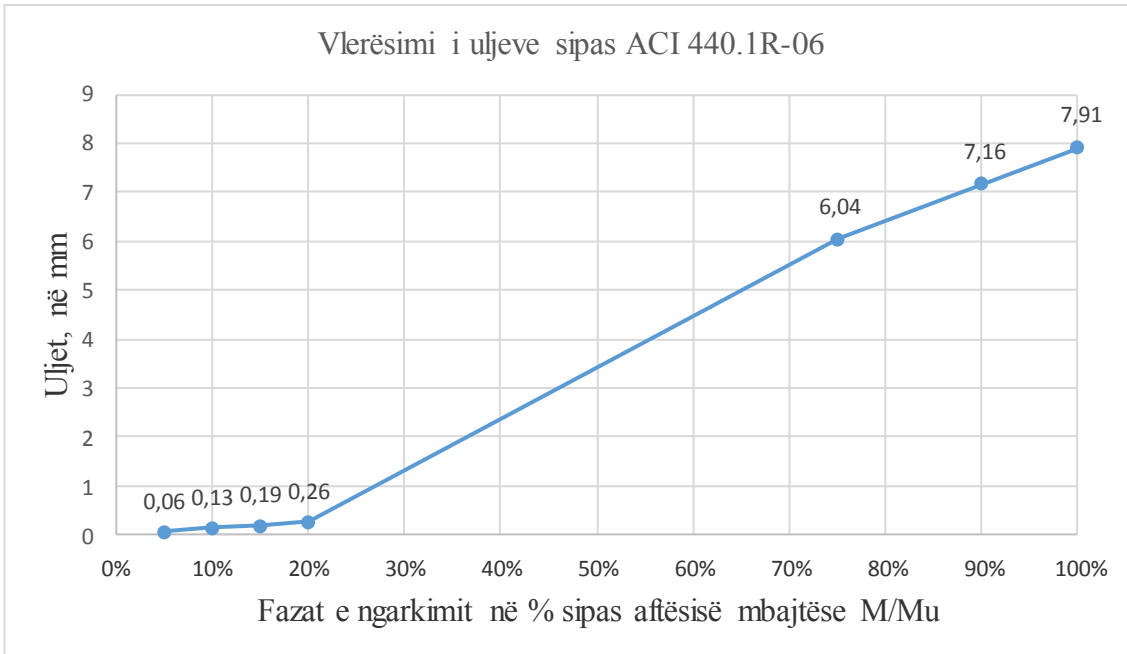


Figura. 4.104. Grafiku i uljeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIKU) sipas ACI 440.1R-06

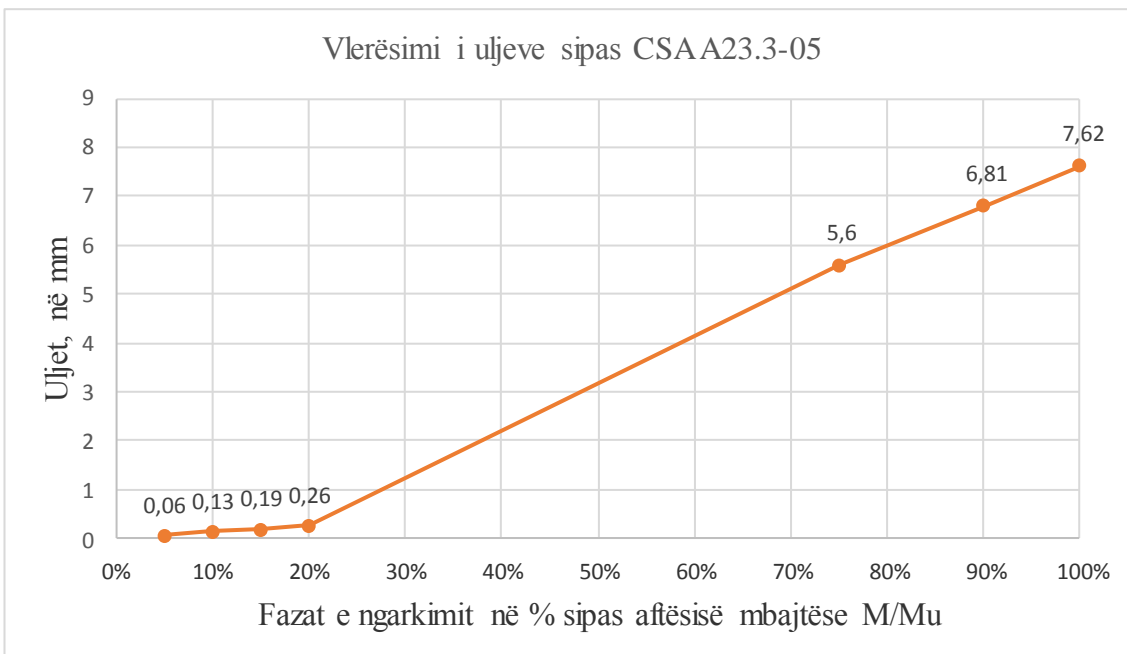


Figura. 4.105. Grafiku i uljeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIKU) sipas CSA A23.3-05

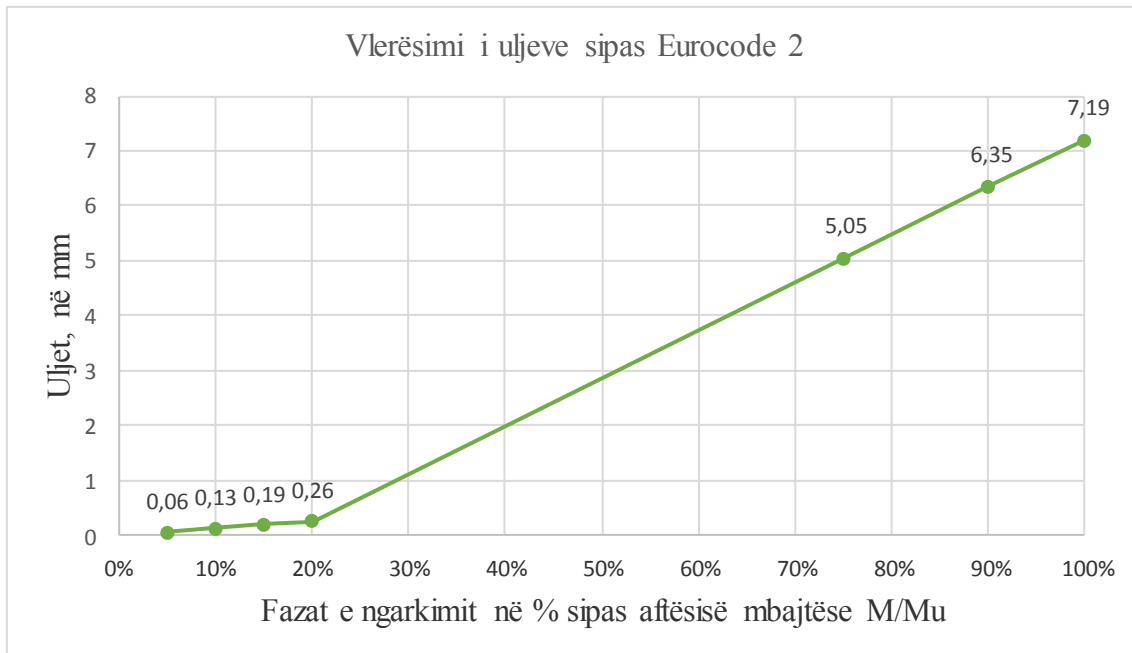


Figura. 4.106. Grafiku i uljeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIKU) sipas Eurocode 2

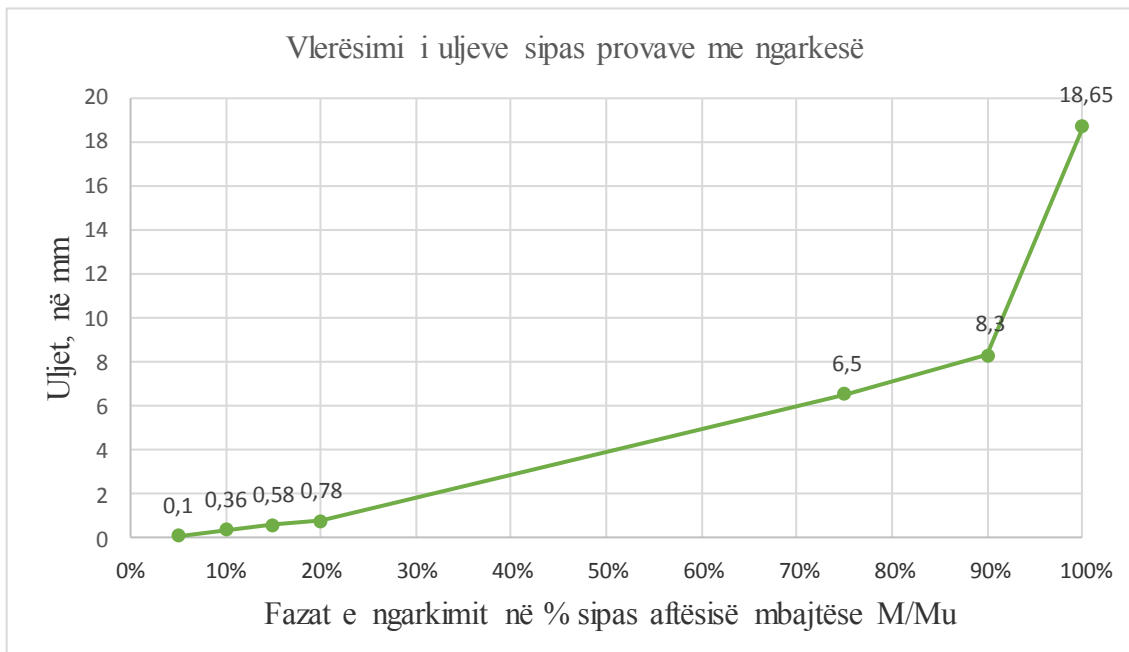


Figura. 4.107. Grafiku i uljeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIK) sipas provave me ngarkesë

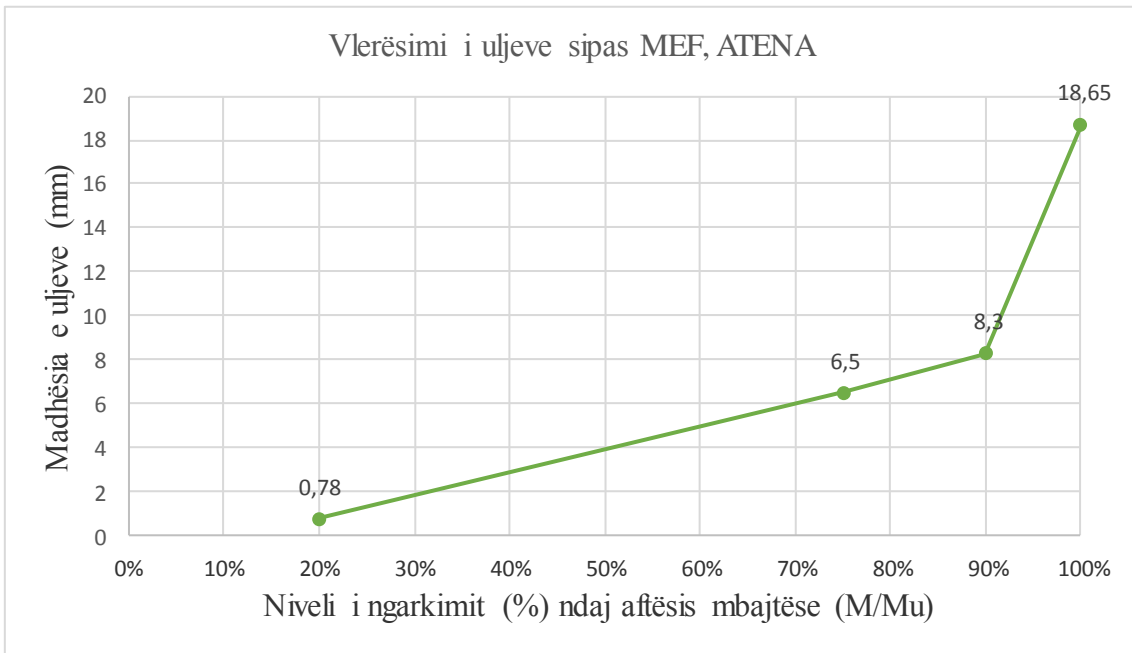


Figura. 4.108. Grafiku i uljeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIKU) sipas MEF, ATENA

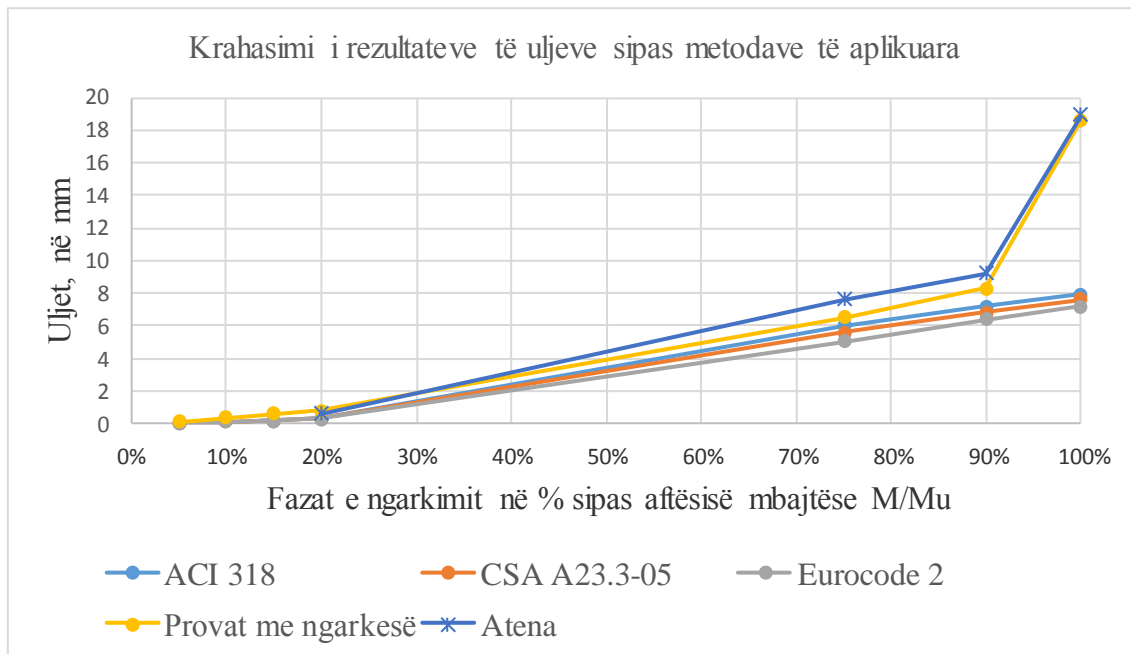


Figura. 4.109. Grafiku krahasues i uljeve për traun T6 (2Ø8 ÇELIK) sipas metodave të aplikuara

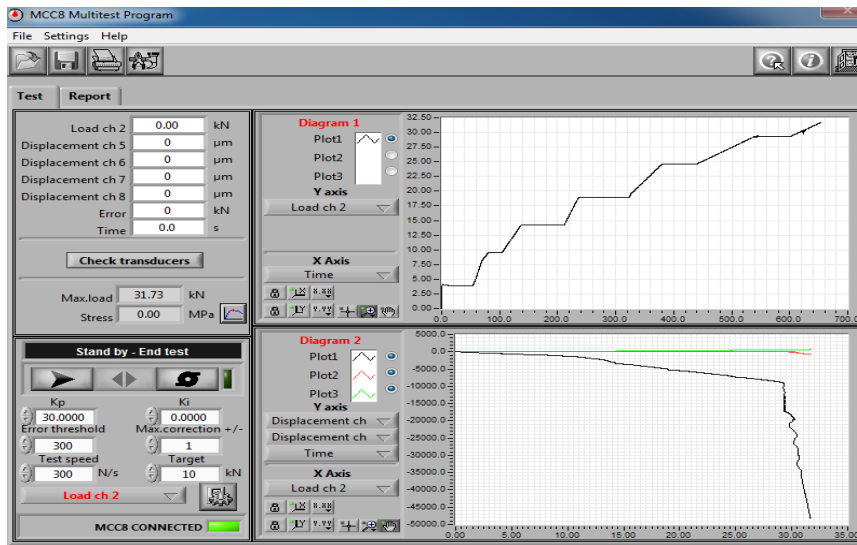


Figura 4.110. Diagrami i punës për traun T6 (2 Ø8mm ÇELIKU), sipas provave me ngarkesë, pajisja MCC8.

4.6.11. Përcaktimi i hapjes së të plasurave për setin e trarëve T-7 (2Ø10 mm ÇELIKU)

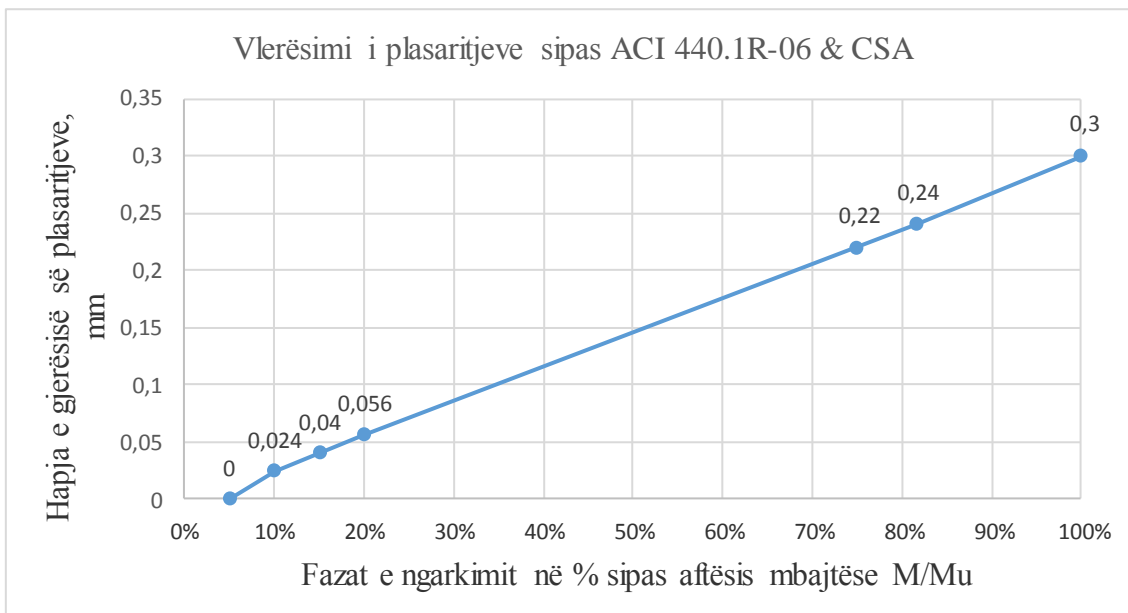


Figura 4.111. Plasaritjet për traun T7 (2 Ø10mm ÇELIKU) sipas ACI 440.1R-06 dhe CSA

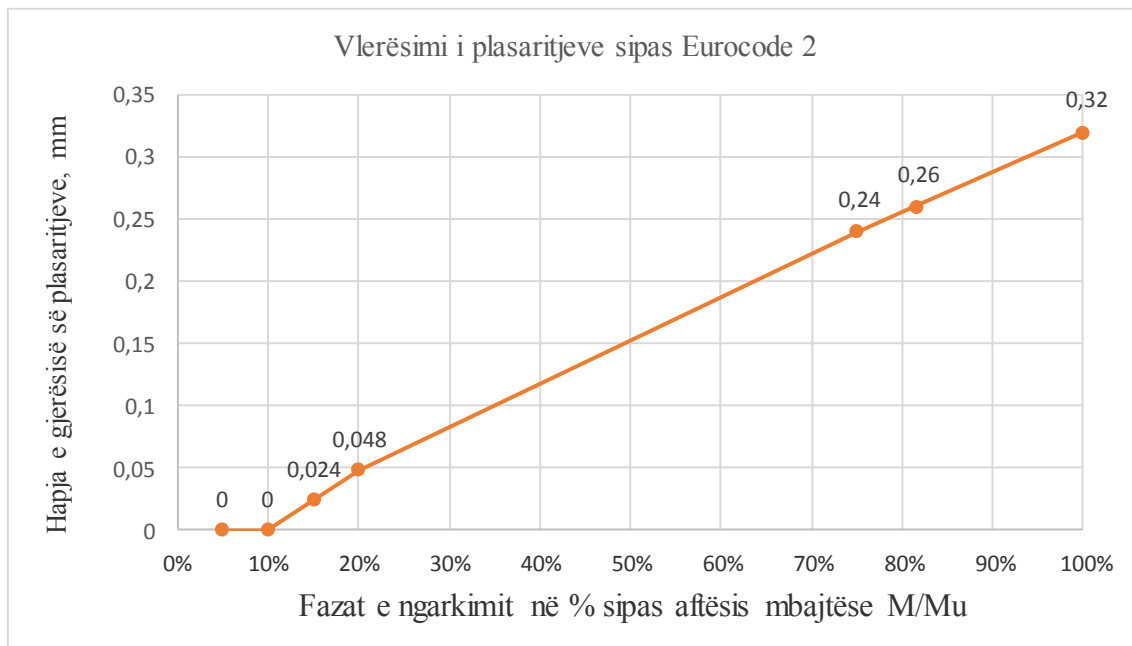


Figura 4.112. Plasaritjet për traun T7 (2 Ø10mm ÇELIKU) sipas Eurocode 2

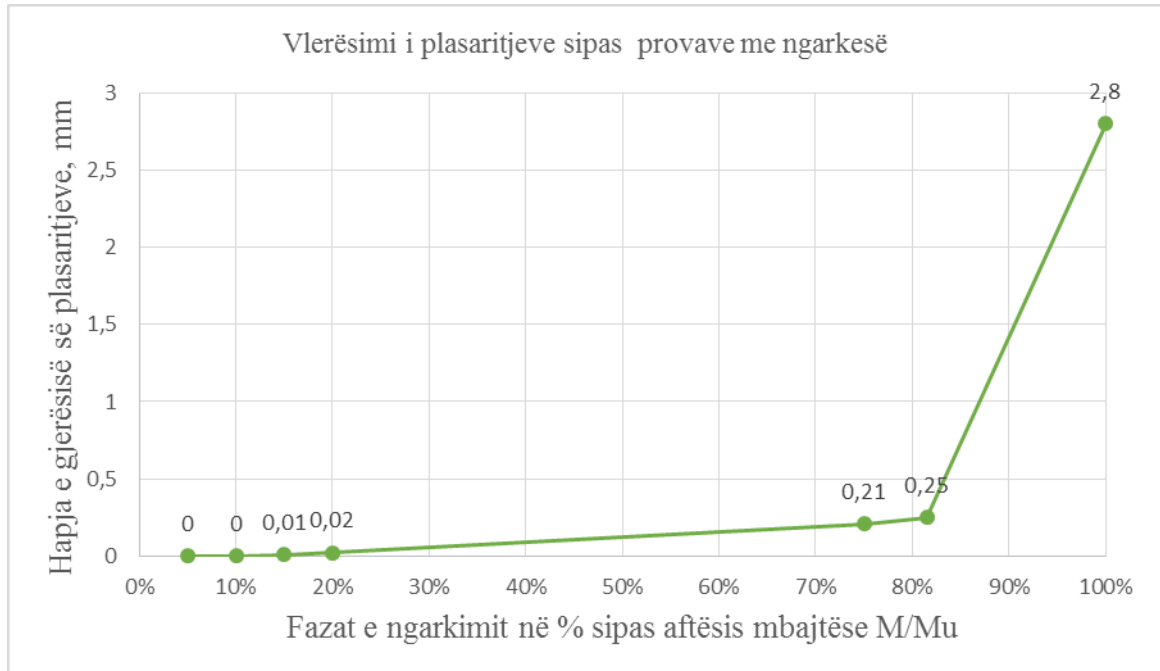


Figura 4.113. Plasaritjet për traun T7 (2 Ø10mm ÇELIKU) sipas provave me ngarkesë

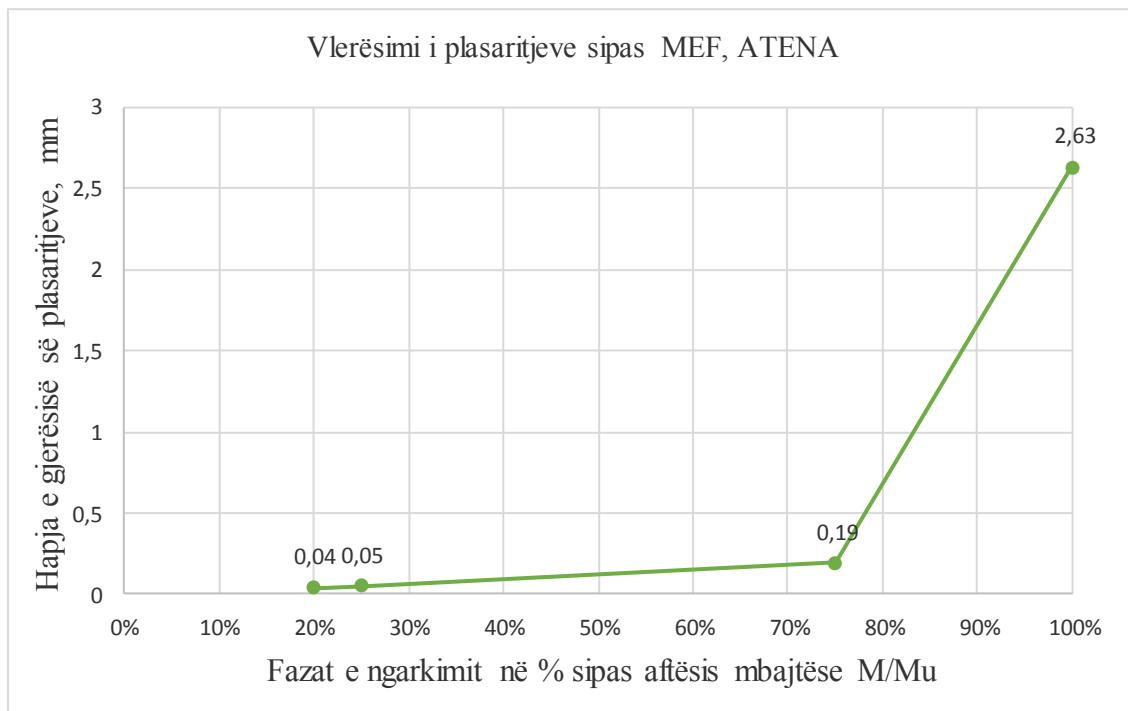


Figura 4.114. Plasaritjet për traun T7 (2 Ø10mm ÇELIKU) sipas MEF, programi ATENA

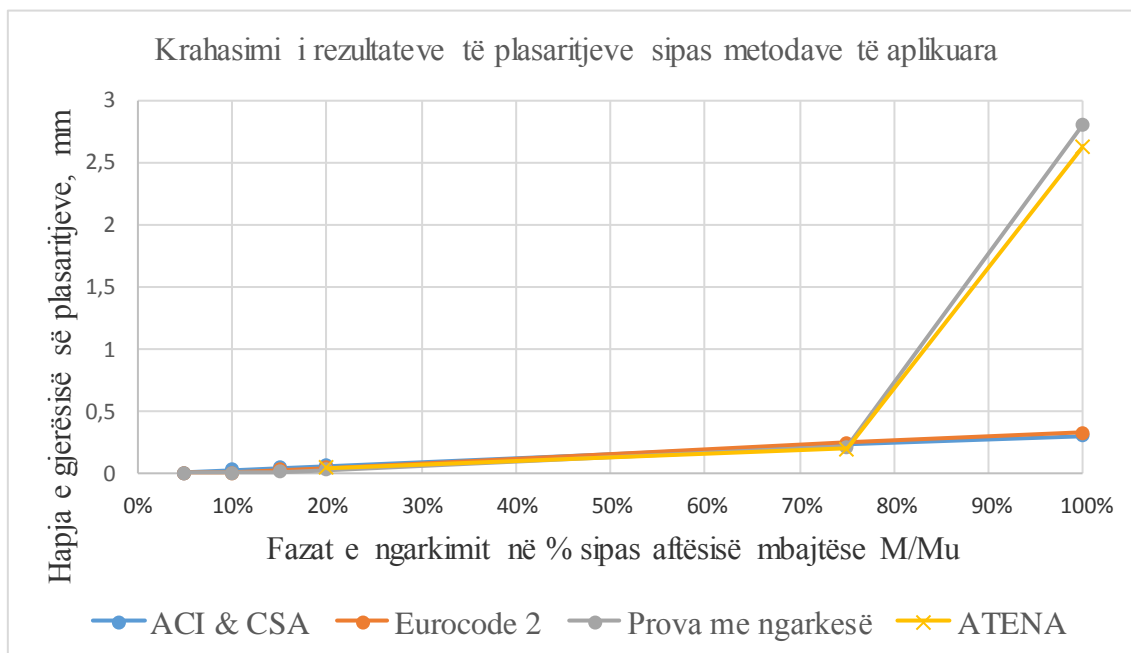


Figura. 4.115. Grafiku krahasues i plasaritjeve për traun T7 (2Ø10 ÇELIKU) sipas metodave të aplikuara

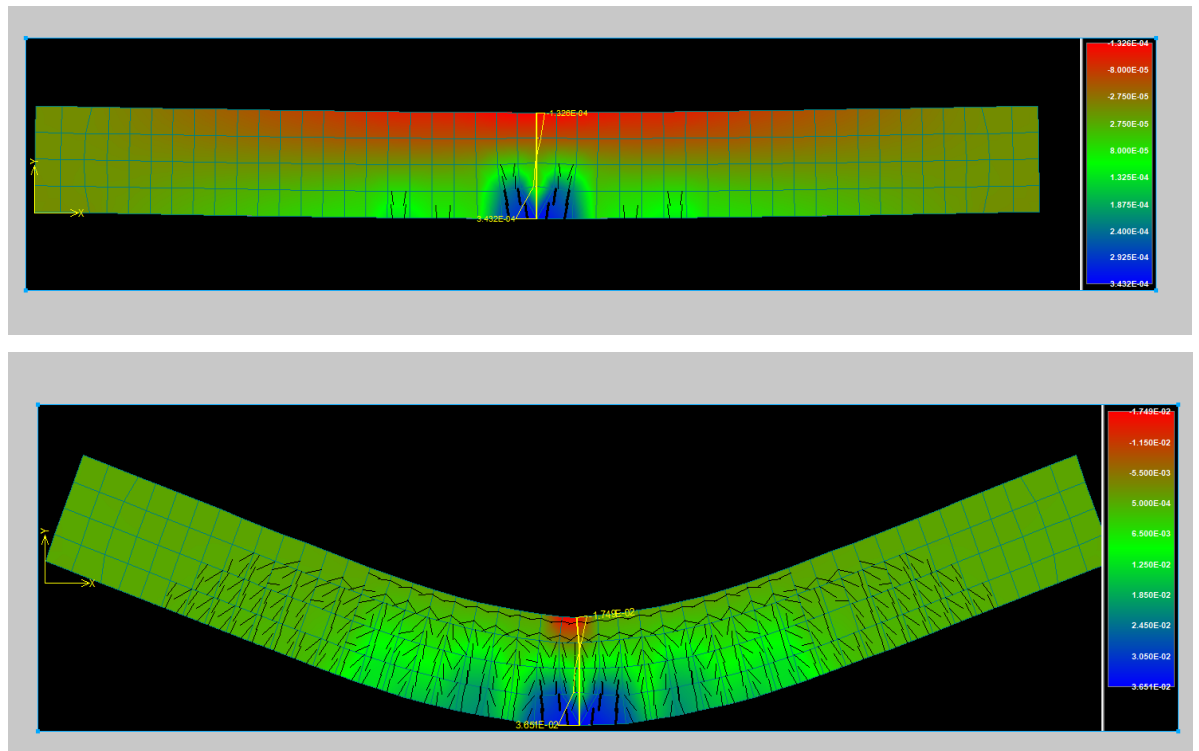


Figura 4.116. Paraqitja e uljeve dhe plasaritjeve per traun T7 (2Ø10ÇELIKU) sipas programit ATENA

4.6.12. Përcaktimi i uljeve për setin e trarëve T-7 (2Ø10mm Çeliku)

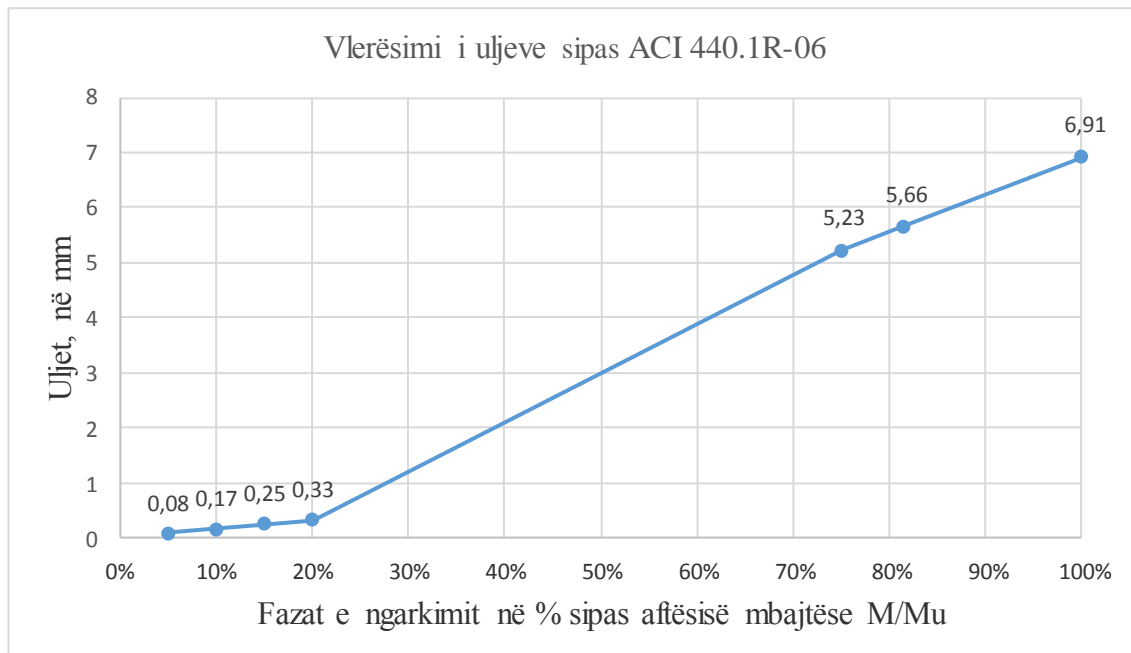


Figura 4.117. Plasaritjet për traun T7 (2 Ø10mm ÇELIKU) sipas ACI 440.1R-06

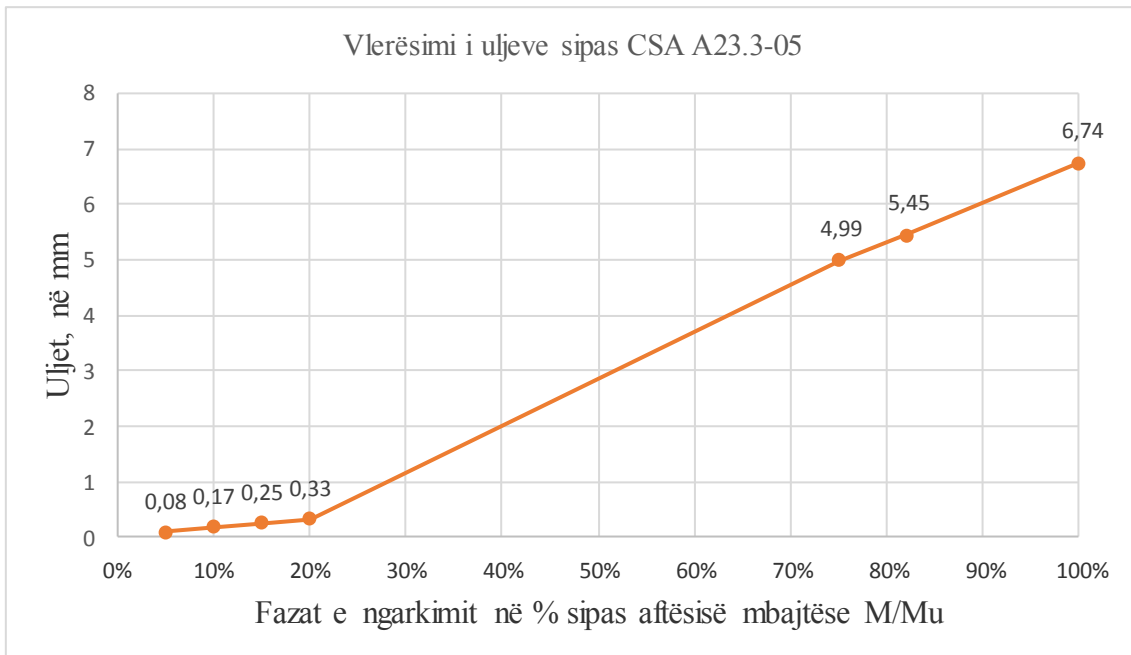


Figura 4.118. Plasaritjet për traun T7 (2 Ø10mm ÇELIKU) sipas CSA A23.3-05

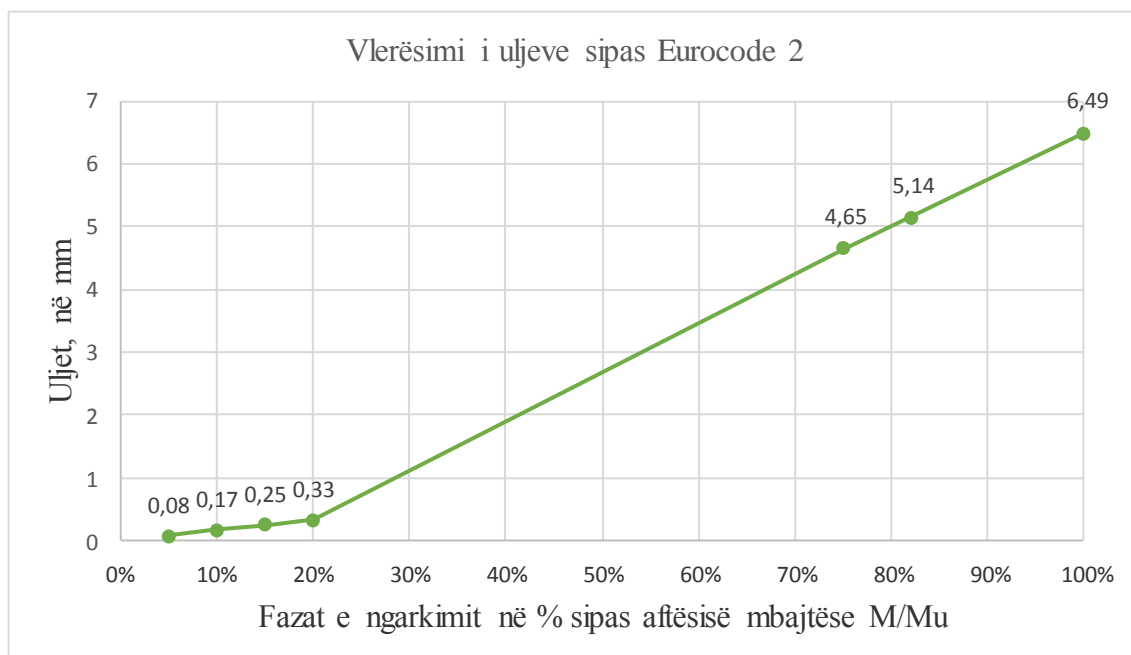


Figura 4.119. Plasaritjet për traun T7 (2 Ø10mm ÇELIKU) sipas Eurocode 2

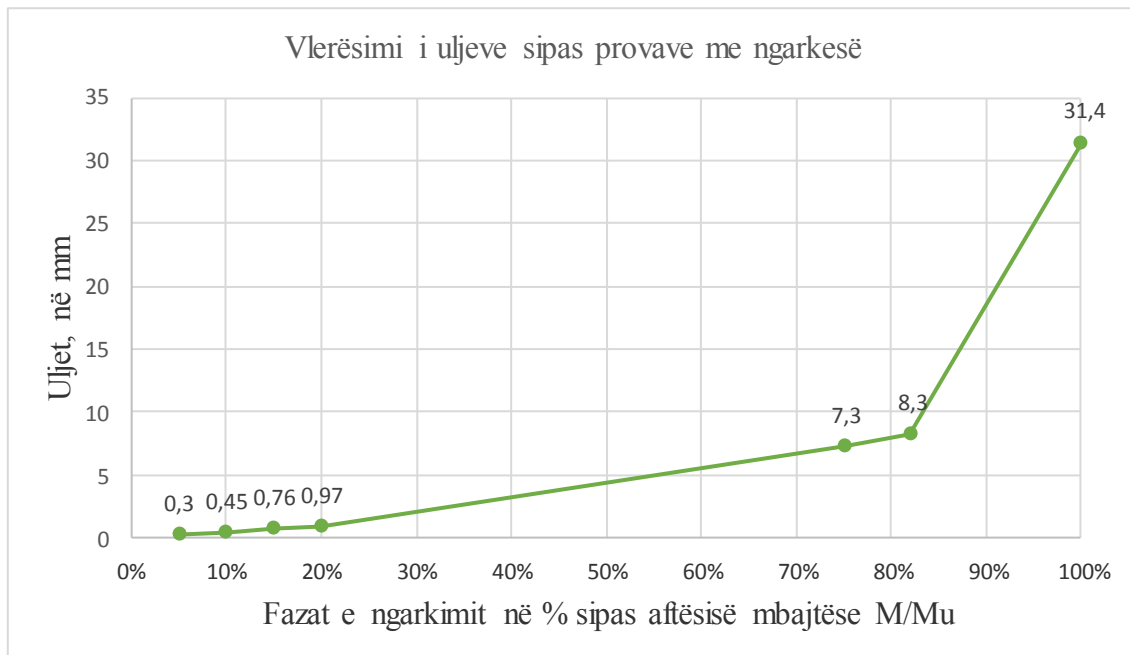


Figura 4.120. Plasaritjet për traun T7 (2 Ø10mm ÇELIKU) sipas provave me ngarkesë

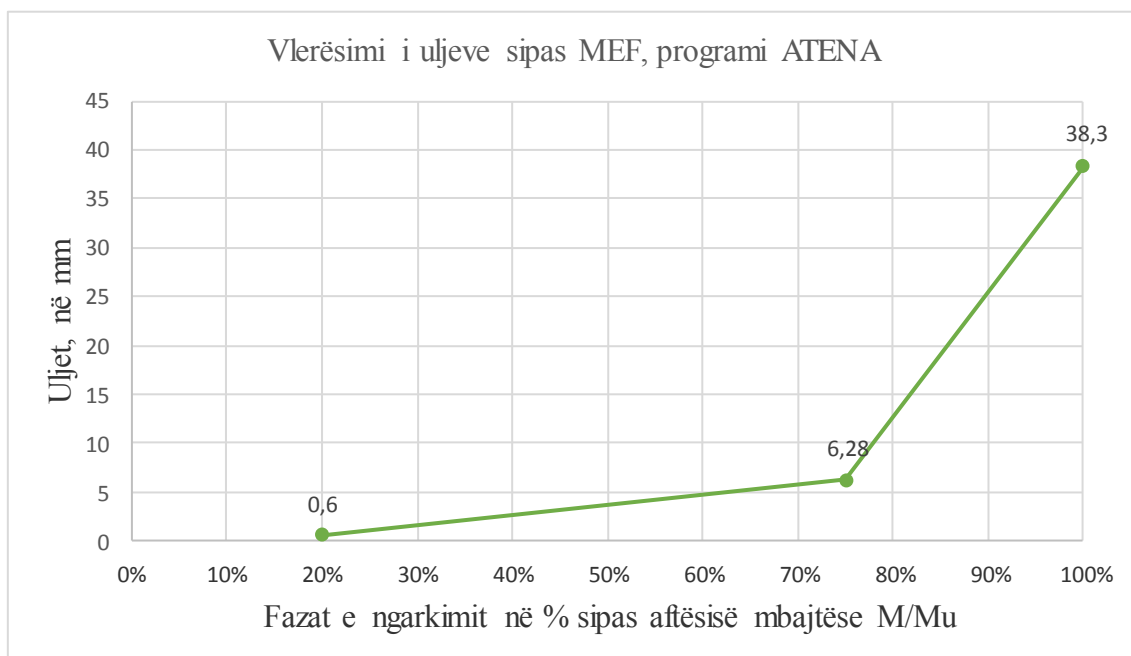


Figura 4.121. Plasaritjet për traun T7 (2 Ø10mm ÇELIKU) sipas MEF, programi ATENA

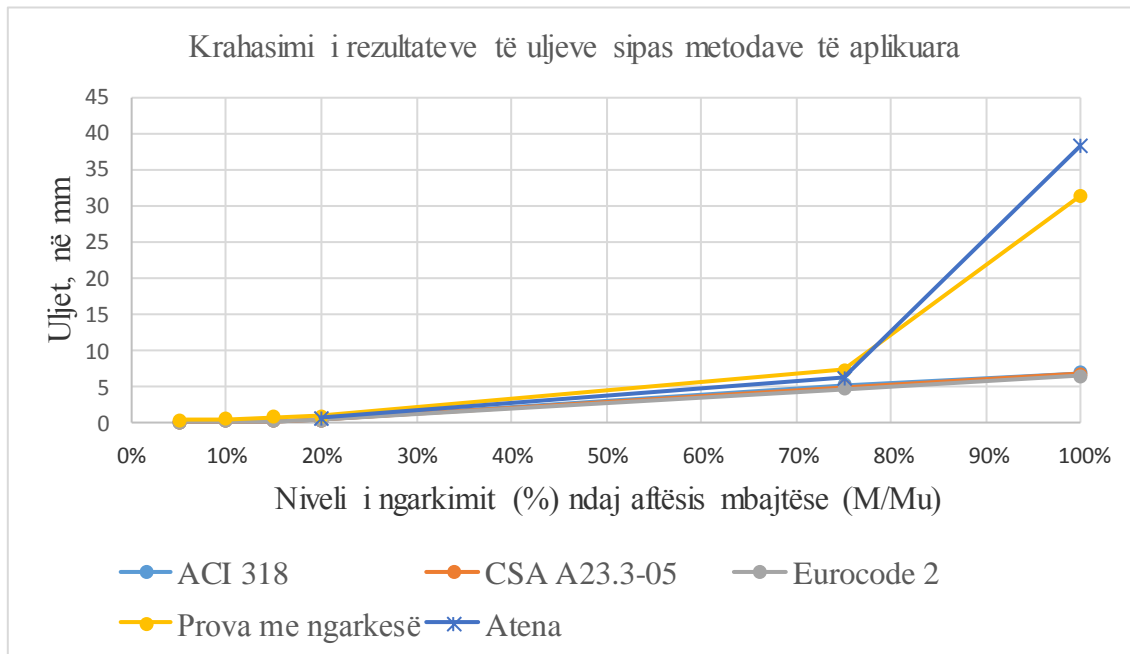


Figura. 4.122. Grafiku krahasues i uljeve për traun T7 (2Ø10 ÇELIKU) sipas metodave të aplikuara



Figura 4.123. Uljet dhe plasaritjet e zhvilluara në trarët e eksperimentuar me ngarkesa

Më poshtë po paraqes tabelat përfundimtare të uljeve dhe hapjes së të plasurave

Tabela Nr.4.7 Krahasim i rezultateve të të hapjes së të plasurave për secilin tra

Hapja e të plasurave, mm				
Sipas ACI 440.12-06	Sipas CSA-A23	Sipas EC2	Sipas eksperimen tit	Sipas MEF
Trau T-2, 2 Ø 8 mm shufra GFRP				
0.23/0.47/0.58/1.77/ 2.36	0.23/0.47/0.58 /1.77/ 2.36	0.12/0.53/0.6 9/2.33/ 3.12	0.0/0.46/0.6 8/2.49/ 3.23	0.0/0,32/0.0,4 /1,33/ 1,9
Trau T-3, 2 Ø 10 mm shufra GFRP				
0.26/0.53/0.58/1.99/ 2.66	0.26/0.53/0.58 /1.99/ 2.66	0.22/0.55/0.6 1/2.2/ 2.94	0.0/0.3/0.33/ 1.54/ 2.04	0.0/0,32/0,41/ 1,13/ 1,65
Trau T-4, 2 Ø 8mm shufra CFRP				
0.0/0.24/0.3/0.92/ 1.23	0.0/0.24/0.3/0. 92/ 1.23	0.0/0.29/0.49 /1.2/ 1.61	0.0/0.42/0.5 2/1.86/ 2.59	0.0/0.24/0.32/ 0,65/ 0,96
Trau T-5, 2 Ø 10 mm shufra CFRP				
0.0/0.21/0.26/0.78/ 1.05	0.0/0.21/0.26/ 0.78/ 1.05	0.0/0.21/0.27 /0.85/ 1.04	0.0/0.18/0.2 1/0.76/ 1.07	0.0/0.13/0.17/ 0,53/ 0,74
Trau T-6, 2 Ø 8 mm armaturë konvencionale				
0.03/0.064/0.08/0.32/ 0.35	0.03/0.064/0.0 8/0.32/ 0.35	0.0/0.04/0.07 /0.27/ 0.36	0.0/0.02/0.0 9/0.24/ 2.14	0.0/0.0/0.0/0, 19/ 2,91
Trau T-7, 2 Ø 10 mm armaturë konvencionale				
0.024/0.056/0.075/0.22/ 0.3	0.024/0.056/0. 075/0.22/ 0.3	0.0/0.048/0.0 7/0.24/ 0.32	0.0/0.02/0.0 25/0.24/ 2.8	0.0/0.0/0.04/0 ,19/ 2,63

Shenime:

1. Vlerat e matura te hapjes se plasaritjeve dhe te uljeve per te gjitha testet i perkasin fazave të ngarkimit në **10; 20; 25; 75 dhe 100%**

Tabela Nr. 4.8 Krahasim i rezultateve të uljeve për secilin tra

ULJET, mm				
Sipas ACI 440.12-06	Sipas CSA-A23	Sipas EC2	Sipas testimit	Sipas MEF
Trau T-2, 2 Ø 8 mm shufra GFRP				
0.18/3.15/5.28/27.25/ 36.87	0.18/5.29/7.4/27.38/ 36.84	0.18/2.17/4.5/26.22/ 35.96	0.72/3.39/8.29/43.25/ 48.31	0/0.65/5.39/8.21/32.2/ 45.9
Trau T-3, 2 Ø 10 mm shufra GFRP				
1.0/5.9/6.85/31.26/ 41.93	2.39/7.49/8.31/31.22/ 41.77	0.31/5.82/6.75/30.73/ 41.4	0.68/7.15/8.3/39/87/ 46.61	0/0.64/5.31/6.99/28.6/ 45.9
Trau T-4, 2 Ø 8mm shufra CFRP				
0.0/4.36/5.35/15.78/ 21.09	0.0/3.65/4.81/15.63/ 20.92	0.0/2.63/3.95/15.31/ 20.68	0.0/4.32/6.16/ 22.5 /32.22	0.0/3.49/4.61/17.69/ 25.09
Trau T-5, 2 Ø 10 mm shufra CFRP				
0.0/2.32/2.93/8.92/ 11.89	0.0/2.19/2.83/8.87/ 11.86	0.0/1.8/2.5/7.76/ 11.77	0.0/4.13/5.63/21.00/ 30.19	0.0/3.47/4.58/17.4/ 28.2
Trau T-6, 2 Ø 8 mm armaturë konvencionale				
0.13/0.26/1.0/6.04/ 7.91	0.13/0.26/1.0/5.6/ 7.62	0.13/0.14/0.26/5.05/ 7.19	0.36/0.78/1.0/ 6.5 /18.65	0.0/0.0/0.0/5.73/ 49.8
Trau T-7, 2 Ø 10 mm armaturë konvencionale				
0.17/0.33/0.7/5.23/ 6.91	0.17/0.33/0.81/4.99/ 6.74	0.17/0.34/0.8/4.65/ 6.49	0.45/0.97/1.08/ 7.3 /31.4	0.0/0.0/1.19/6.28/ 38.3

Shenime:

1. Vlerat e matura te hapjes se plasaritjeve dhe te uljeve per te gjitha testet i perkasin ngarkesave ne **10; 20; 25; 75 dhe 100%**

Kapitulli V-të

5. Përfundime dhe Rekomandime

1.1. Përfundime

Trarët e prodhuar me beton të klasës C_{30/37} dhe të armuar me shufra të përforcuara me fibra FRP dhe Çeliku, janë testuar me ngarkesa statike deri në thyerje dhe për një pjesë të tyre deri në kurbëzimin e mundësuar fizik të traut të kufizuar nga paisja e përdorur. Me këtë rast theksojmë se objektivi dhe fokusi kryesorë i këtij disertacioni ka qenë studimi dhe analiza e gjendjes SLS për të cilën janë marrë në shqyrtim pika më të shpeshta gjatë ndërtimit të grafikëve, ndërsa pas kalimit të gjendjes SLS deri në forcën maksimale të paisjes, për ndërtimin e grafikëve janë regjistruar të dhëna më të rralla.

Kodet e ndryshme të përdorura gjatë llogaritjeve teorike të trarëve të armuar me shufra të përforcuara me fibra FRP na kanë dhënë rezultate të ndryshme për vlerësimin e gjerësisë së hapjes së plasurave dhe uljeve nga rezultatet e fituara nga provat eksperimentale me ngarkesë. Ndërsa për rastin e trarëve të armuar me armaturë konvencionale vlerat e plasaritjeve të llogaritura sipas kodeve të ndryshme kanë rezultuar shumë pranë rezultateve të fituara nga provat eksperimentale me ngarkesa statike.

Më poshtë po paraqesim në mënyrë më të detajuar një analizë të përfundimeve të fituara për plasaritjet dhe uljet e trarëve të llogaritura analitikisht sipas kodeve të ndryshme dhe atyre nga provat eksperimentale me ngarkesë.

5.2. Përfundimet dhe krahasimi i rezultateve për trarët e armuar me shufra GFRP 2Ø8mm

Trarë e armuar me shufra GFRP Ø8mm kanë treguar një performancë shumë të mirë sidomos në zgjatjen e domenit të gjendjes “SLS”. Në trarët e armuar me shufra të përforcuara me fibra GFRP Ø8 mm, pothuajse në të gjitha fazat e ngarkimit nuk janë shfaqur plasaritje të thella në dy pikat e aplikimit të ngarkesave; pavarësisht se ato janë shfaqur në fillim në pozicionin e ushtrimit të ngarkesave. Gjithashtu, nga ana tjetër thellësia e plasaritjeve ka qenë dukshëm më e vogël në rastin e trarëve të tjerë të armuar me GFRP. Në fazën e dytë dhe më tej të ngarkimit, në trarët ka filluar shfaqja e plasaritjeve të reja poshtë aksit neutral, në pjesën e poshtme të traut, duke formuar një degëzim dhe një shtrirje të tyre më të gjërë. Armimi i përzgjedhur me shufra të përforcuara me fibra FRP është një armim i balansuar, që nënkupton se shkatërrimi i seksionit tërthorë mund të shkatohet nga këputja e shufrës në tërheqje ose nga shkatërrimi i betonit në shtypje. Është konstatuar që edhe

pse trau ka dalë nga gjendja “SLS”; uljet dhe rezistenca e tij kanë vazhduar edhe për një kohë mjaft të gjatë duke përfomuar një aftësi mbajtëse shumë të kënaqshme edhe pse në këtë gjendje kemi shfaqjen e plasaritjeve të reja ndërsa në ato ekzistuese janë vërejtur zgjerimi i hapjes së gjerësisë në vlera të mëdha.

E krahasur kjo gjendje me traun T6, i cili është i armuar me armaturë konvencionale Ø8mm, uljet kanë rezultuar më vogla dhe që natyrshëm shoqërohen edhe me plasaritje më të vogla. Ndërsa, sipas Eurocode 2 plasaritjet në traun e armuar me 2 Ø8 GFRP kanë treguar vlera pothuajse të njejta me vlerat e marrura nga matjet eksperimentale të provave me ngarkesë, ndërsa sipas normativave ACI 440.1R-06 dhe CSA konstatohet një devijim edhe pak më i madh.

Ndërsa, po të bëjmë një krahasim me traun e armuar me armaturë konvencionale 2Ø8mm, sipas normativave ACI 440.1R-06 dhe CSA vërejmë që vlerat e këtyre rezultateve janë të njejta me ato sipas Eurocode 2 dhe mjaft të përafërta me ato që kanë rezultuar nga prova me ngarkesë.

Ndërsa, po të krahasojmë uljet e llogaritura sipas kodit amerikan ACI 440.1R-06 konstatojmë që rezultatet janë shumë më të përafërta me ato të trarëve të armuar me shufra 2 Ø8 mm të përforcuara me fibra GFRP nga provat me ngarkesë si dhe traun i armuar me 2 Ø8mm armaturë konvencionale

5.3. Përfundimet dhe krahasimi i rezultateve për trarët e armuar me shufra GFRP 2Ø10mm

Nga provat me ngarkesë të traut T3, i armuar me 2 Ø10 shufra të përforcuara me fibra GFRP kemi konstatuar një sjellje shumë të mirë të tyre në gjendjen “SLS”, por veçanërisht në atë “ULS” e krahasuar me trarët e armuara me 2Ø8 të përforcuara me fibra GFRP Ø6.

Shfaqja e plasaritjeve të para të shfaqura në drejtimin e ushtrimit të ngarkesave është shoqëruar edhe nga plasaritje të tjera gjatë gjithë gjatësisë të traut, të cilat kanë ardhur duke u shtuar sidomos rreth zonave të veprimit të ngarkesave dhe përhapur më tej në drejtim të dy mbështetjeve në mënyrë simetrike.

Trarët e armuara me 2 Ø10mm GFRP, janë llogaritur si seksione të mbiarmuara, duke u sjellë në mënyrë të ngjashme edhe në fazën eksperimentale të provave me ngarkesë. Në këtë rast është vërejtur një rezistencë e lartë e shufrave Ø10mm GFRP dhe në përgjithsi e vetë traut duke u shoqëruar me ulje të mëdha por pa shkatërrim të tij, karakteristike e përmenduar edhe nga studjues të huaj në kë fushë.

Përformanca e mirë e këtij trau është vërejtur edhe po të nisemi nga krahasimi i rezultateve të vlerave të plasaritjeve të llogaritura me kode të ndryshme, të cilat kanë rezultuar shumë më të mëdha se plasaritjet e fituara në fazën eksperimentale gjatë provave me ngarkesë.

Ndërsa, po t'i referohemi rezultateve dhe sjelljes së trarëve të armuar me armaturë konvencionale 2Ø10, na rezulton se vlerat e plasaritjeve të traut të armuar me 2Ø10 GFRP të llogaritura me të gjitha kodet e aplikuara, përputhen në shumicën e tyre me vlerat e plasaritjeve gjatë fazës eksperimentale të provave me ngarkesë.

Uljet nga deformimi i traut prej provave me ngarkesë në fazën eksperimentale, të armuar me 2Ø10mm shufra të përforcuara me fibra GFRP janë pothuajse 100% të njëjta me ato të llogaritura sipas kodit kanadez CSA A23.3-05, ndërsa sipas Eurocode 2 dhe ACI 440.1R-06 konstatojmë një devijim, por që mund të themi se janë në vlera të pranueshme.

Sjellja e traut të armuar me 2Ø10mm shufra të përforcuara me fibra GFRP, krahasuar me traun e armuar me armaturë konvencionale 2Ø10mm, konstatohet me lehtësi se rezultatet për të gjitha kodet e aplikuara në llogaritje kanë dhënë vlera të përafërta ndërmjet tyre; kemi një ndryshim të dukshëm në vlerat e matura në ulje në fazën eksperimentale, e cila rezulton më e madhe.

5.4. Përfundimet dhe krahasimi i rezultateve për trarët e armuar me shufra CFRP 2Ø8mm

Trarët e armuar me shufrat 2Ø8mm të përforcuara me fibra CFRP dhe eksperimentuar me dy ngarkesa të përqendruara në largësi 670mm kanë shfaqur hapje të të plasurave me një gjërësi më të vogël në krahasim me traun e armuar me shufra 2Ø8mm të përforcuara me fibra GFRP. Kjo sjellje pozitive e trarëve të armuar me shufra CFRP është karakteristike gjatë fazës “SLS”, ndërsa pas kësaj faze plasaritjet zhvillohen kryesisht në zonën e tërhequr të traut, si fillim në drejtimin e mbështetjeve, dhe më pas duke u shtuar por me gjërësi të vogël të hapjes së të plasurave. Një dukuri e pritshme që ka ndodhur S3T1 është rrëshqitja e shufrës nga betoni duke krijuar ulje dhe plasaritje të menjëhershme. Kjo dukuri nuk është vërejtur te trajet e armuar me shufra GFRP ose te ato me armaturë konvencionale.

Vlerat e rezultateve për plasaritjet sipas llogaritjeve me kodin amerikan ACI 440.1R-06 & kanadez CSA na kanë dhënë rezultate shumë të përafërta me ato të provave eksperimentale me ngarkesë sa i takon hapjes së të plasurave, ndërsa sipas llogaritjeve me Eurocode 2 rezultatet për hapjen ose gjërësinë e të plasurave nuk kanë patur saktësinë e kërkuar.

Për trarët e armuar me shufra 2 Ø8mm të përforcuara me fibra CFRP mund të themi se për nga sjellja në fazën “SLS” janë të ngjashme me ato të traut të armuar me 2Ø8mm armaturë konvencionale. Krahasimi i vlerave të gjerësisë së hapjes së të plasurave për të dy llojet e trarëve tregojnë se ato janë të përafërta. Ndërsa, në rastin e traut të armuar me armaturë konvencionale dhe të llogaritura sipas kodit amerikan ACI 440.1R-06 & kanadez CSA si dhe sipas Eurocode 2 kemi marrë vlera të hapjes së plasurave shumë të përafërta me ato nga provat eksperimentale me ngarkesë. Sa i takon uljeve në trarët e armuar me shufra 2Ø8mm CFRP, vërejmë një ndryshim; vlerat e tyre janë më pak të theksuara sipas rezultateve të llogaritura nga të gjitha kodet dhe atyre nga provat eksperimentale me ngarkesë. Vlerat e uljeve sipas Eurocode 2 kanë një ndryshim me 27%, krahasuar me ato të provave eksperimentale me ngarkesë.

5.5. Përfundimet dhe krahasimi i rezultateve për trarët e armuar me shufra CFRP Ø10mm

Nisur nga përqindja e armimit një seksion i tillë është i mbi armuar, i cili si gjatë provave eksperimentale me ngarkesë ashtu edhe gjatë llogaritjeve statike me metoda dhe aplikim të kodeve të ndryshme ka treguar një performancë shumë të mirë.

Trarët e armuar me shufra 2Ø10mm të përforcuara me fibra CFRP sa i përket lindjes së të plasurave të para tregojnë se ato kanë qenë dukshëm më të vonshme në lindje se në të gjitha llojet tjera të trarëve të lindje të eksperimentuar. Madje, theksojmë se zhvillimi i tyre nuk ka filluar së pari në pozicionet e ushtrimit të dy ngarkesave të përqëndruara siç ka ndodhur në trarët e tjerë, por tendenca e zhvillimit të tyre ka qenë përgjat gjithë gjatësisë të traut. Megjithatë, është për tu vënë në dukje se në këto trarë të armuar me shufra 2Ø10 të përforcuara me fibra CFRP, në fazën “SLS” kanë shfaqur një gjërësi më të madhe të hapjes së të plasurave se tek trarët e armuara me armaturë 2Ø10mm konvencionale.

Një faktor që konfirmon performancën e mirë të këtyre trarëve është gjerësia e hapjes së të plasurave, por duhet vënë në dukje se të gjitha vlerat e hapjes së plasaritjeve të llogaritura me të kodet amerikane ACI 440.1R-06 & kanadeze CSA si dhe sipas Eurocode 2 të aplikuara në këtë studim; kanë dhënë vlera më të larta se ato të fituara gjatë fazës eksperimentale të provave me ngarkesë. Theksojmë, se këto karakteristika janë vërejtur vetëm në trarët e armuar me shufra 2Ø10 të përforcuara me fibra CFRP.

Duke analizuar uljet, vëmë re se gjatë llogaritjeve është konstatuar e kundërta, dmth për të gjitha kodet ACI 440.1R-06 & CSA si dhe sipas Eurocode 2, vlerat e tyre kanë treguar rezultate më të

vogla se ato të matura gjatë fazës eksperimentale të trarëve me dy ngarkesa të përqëndruara; por vlerat e këtyre uljeve nuk kanë qenë më të mëdha se në rastin e traut të armuar me armaturë 2Ø10 konvencionale. Është kjo arsyeja që trarë tillë kanë treguar një sjellje në vlerat e matura të uljeve dhe të plasaritjeve shumë më mirë se trarët e armuar me 2 Ø10mm armaturë konvencionale.

Gjithashtu, aftësia mbajtëse maksimale e tyre është regjistruar në maksimumin fizik të paisjeve për shka të uljeve shumë të mëdha; deri në bazamentin e paisjes ngarkuese dhe duke mos u këputur. Një sjellje të tillë të traut të armuar me 2 Ø10mm CFRP nuk mund t'a themi si të vërtetë edhe për traun e armuar me shufra 2Ø8mm të përforcuara me fibra CFRP. Shufra të tilla veç rezistencës së lartë kanë treguar edhe një lidhje mjaft të mirë me betonin sepse sipërfaqja e tyre është e pa vijaskuar.

Tabela 5.1.

1.6. Rekomandime

Analiza e rezultateve të fituara si në fazën e llogaritjeve analitike ashtu dhe në fazën eksperimentale të provave me ngarkesë të trarëve të armuar me shufra të përforcuara me fibra FRP në zëvendësim të armaturës konvencionale, ndryshe nga sa mendonim përpara nisjes së këtij disertacioni, na ka krijuar mundësinë të veçojmë disa rekomandime që na shpiten në kufizimin e të kapacitetit mbajtës të shufrave nëpërmjet aplikimit të një koeficienti reduktues të nderjeve për përdorim të pjesës SLS.

1. Gjatë armimit të trarëve me shufra të përforcuara me fibra polimere të tipi GFRP rekomandojmë që të realizohet një armim i balancuar ose të zgjedhim një seksion tërthor të mbiarmuar, që të reduktohen uljet e mëdha dhe plasaritjet për shkallë të ulët ngarkimi, sidomos në rastin kur $I_e \geq I_{cr}$. Kjo tregon se kodet llogaritëse i kanë përcaktuar mirë deformimet ashtu dhe uljet, por në rastin kur $I_e < I_{cr}$, që kur ky mosbarazim të bëhet më i besueshëm, duhet të përdorim sasi të mëdhe armimi;
2. Nga ana tjetër, faza eksperimentale ka treguar se diametri i shufrave të përforcuara me fibra GFRP për qëllime konstruktive (mbajtëse) duhet të jetë më i madh se 6mm; madje duke shpërndarë shufrat gjatë gjithë gjërësisë së seksionit tërthorë të trarëve;
3. Përdorimi i shufrave të përforcuara me fibra FRP me diametër të vogël për armimin e elementeve apo strukturave mbajtëse që punojnë në përkulje, shpie në deformime të mëdha

prej uljeve, gjë që shoqërohet me lindjen e menjëhershme të plasaritjeve të thella, më të theksuara kryesisht në zonën dhe drejtimin e veprimit të ngarkesave të jashtme,

4. Elementët apo strukturat e armuara me shufra të përforcuara me fibra polimere FRP, që kanë diametër të vogël, dalin shumë më shpejt jashtë funksionit edhe pse rezistenca në tërheqje e tyre përtej kufirit të “SLS” është mjaft e madhe,
5. Kufizimi i nderjeve në këto raste bënë që të përdoret një koeficient i reduktimit të nderjeve që i kufizon ato në më shumë se 20%. Por, nuk mund të pranohet e njëjta gjë për shufrat e përforcuara me fibra CFRP, të cilat domenin e fushës “SLS” e kanë më shumë se dyfishi i shufrave GFRP,
6. Studimi tregoi se përdorimi i shufrave të përforcuara me fibra CFRP është i lidhur edhe me kërkesën për një rezistencë më të lartë se armatura konvencionale, por në rastet e armimit me shufra që kanë diametër më të vogël se Ø8mm ekziston rreziku i rrëshqitjes së shufrës nga betoni. Për këtë arsye kufizimi i nderjeve në rastet e tilla duhet të bëhet në 55% të nderjeve f_{fu} . Rrëshqitja e shufrave nga betoni është një dukuri që shfaqet pas fazës “SLS” në një fazë të vonshme të rezistencës por gjithsesi një kufizim i tillë gjithmonë duhet të merret parasyshtë,
7. Sjellja shumë e mirë e shufrave të përforcuara me fibra FRP në ambjente agresive dhe rezistenca e lartë e tyre në tërheqje, na ka krijuar bindjen se përdorimi i shufrave të tilla është shumë më i përshtatshëm në strukturat, të cilat i nënshtrohen ambjenteve agresive ku kërkesa e gjendjes së shfrytëzimit del në plan të parë.
Por një gjë e tillë nuk mund të thuhet për përdorimin e tyre te strukturat ku kërkohet performancë në “ULS” (Gjendja kufitare mbajtëse), pasi sjellja e tyre pas fazës “SLS” është “e pa parashikueshme”, pasi në raste të caktuara ato mund të pësojnë këputje të menjëhershme (*brittle failure*).

Lloji i fibrave	GFRP	CFRP
Nderjet e lejuara	$0.20 \cdot f_{fu}$	$0.55 \cdot f_{fu}$

8. Lidhur me plasaritjet e trarëve të emërtuar T-2 dhe të armuara me 2Ø8mm shufra GFRP dhe T-3 të armuara me 2Ø 10mm shufra GFRP, vlerat e hapjes së të plasurave nën ngarkesë në fazat e ngarkimit me 10, 20, 25, 75 dhe 100% të ngarkesës llogaritëse me metodat e ndryshme sipas ACI 440.12-06, CSA-A23, EC2 dhe testit me ngarkesë janë të pranushme, ato variojnë nga 2.36mm, 2.36mm, 3.12mm dhe 3.23mm respektivisht. Po ashtu, hapja e të plasurave edhe në rastin e trarëve T-4 të armuara me 2Ø8mm shufra CFRP vlerat variojnë nga 1.23mm; 1.23mm; 1.61mm dhe 2.59 mm sipas ACI 440.12-06, CSA-A23, EC2 dhe testit me ngarkesë respektivisht. Gjithashtu, edhe për trarët e tipit T-5 të armuara sipas metodave llogaritëse me 2Ø 10mm shufra CFRP pranojmë një uniformitet të hapjes së plasaritjeve. Dmth që sjellja nën ngarkesë e trarëve të përforcuara me shufra 10mm GFRP dhe CFRP i përgjigjet mjaft mire dhe rezultateve të fituara gjatë eksperimentimit.

9. Edhe për uljet e trarëve të përforcuara me 2 shufra GFRP me diameter Ø 8, të llogaritura sipas ACI 440.12-06, CSA-A23, EC2 dhe testit me ngarkesë janë gjetur vlera që variojnë nga 36.87; 36.84, 35.96, 48.31mm në 41.93, 41.77, 41.4, 46.61mm për trarët me 2 Ø 10mm GFRP apo në trarët të përforcuara me 2 shufra Ø 8mm CFRP respektivisht nga 21.09, 20.92, 20.68 dhe 32.22mm, në 11.89, 11.86, 11.77 dhe 30.19 për trarët e përforcuar me 2 Ø10mm CFRP; tregojnë se ka përputhshmëri me të gjitha vlerat sipas metodave llogaritëse ACI 440.12-06, CSA-A23, EC2, por që në rastet e testimit me ngarkesa kemi patur vlera të uljeve më të mëdha. Ajo që duhet të vihet në dukje është fakti që uljet në trarët e përforcuar me shufra me diameter 10mm CFRP (31.15mm) janë më të ulta se në trarët e përforcuara me 2 Ø GFRP.

Bibliografia

- [1] Analysis and Design of FRP Reinforced Concrete Structures by Shamsher Behadur Singh.
BITS Pilani, Pilani-333 031, Rajasthan, India.
- [2] N. Kabashi, C. Krasniqi, J. Sustersic, A Dautaj, E Krasniqi, H Morina, Flexural Behavior and Cracks in Concrete Beams Reinforced with GFRP Bars. International Congress on Polymers in Concrete, 617-625.
- [3] E.Deneko, Studim mbi përdorimin e shufrave FRP si armim I brendshëm në konstruksionet e ndërtimit, Universiteti Politeknik I Tiranës, Maj (2017).
- [4] N. Kabashi, C. Krasniqi and Q. Kadiri: Flexural behavior of the concrete beams reinforced with the GFRP and cracks analyses. Bulletin of the Transilvania University of Braşov• Vol 10 (59).
- [5] N. Kabashi, Sanimi i Strukturave Ekzistuese-ligjerata të autorizuara 2014-Scribd, Fakulteti i Ndërtimtarisë dhe Arkitekturës, Prishtinë. (2014)
- [6] N. Kabashi, Shqyrtim i Konstruksioneve-Ligjerata të autorizuara 2014-Scribd, Fakulteti i Ndërtimtarisë dhe Arkitekturës, Prishtinë. (2014)
- [7] N. Kabashi, C Krasniqi, J Sustersic, A Dautaj, E Krasniqi, H Morina. Flexural Behavior and Cracks in Concrete Beams Reinforced with GFRP Bars. Published in: International Congress on Polymers in Concrete (ICPIC 2018)
- [9] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Ações e segurança nas estruturas. NBR-8681*. Rio de Janeiro, Brazil, (2003).
- [10] ACI. American Concrete Institute. *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-95) and commentary (ACI 318R-95)*. Detroit, (1995).
- [11] ACI Committee 440. Report on fiber-reinforced polymer (FRP) reinforcement for concrete Structures. ACI 440R -07, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI (2007).
- [12] ACI. American Concrete Institute. *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-95) and commentary (ACI 318R-95)*. Detroit, (1995).
- [13] ACI Committee 440. Guide test methods for fiber-reinforced polymers (FRPs) for Reinforcing or strengthening concrete structures. ACI 440.3R-12. American Concrete

Institute, Farmington Hills, MI (2012).

- [15] A.Nanni. Composites: Coming on strong. *Concrete Construction* 44 (1): 120–124 (1999).
- [16] A.Nanni. *Fiber-reinforced-plastic for concrete structures: Properties and applications*. Amsterdam: Elsevier Science (1993).
- [17] A. K. Kaw. *Mechanics of composite materials*, 2nd ed. Boca Raton, FL: Taylor and Francis (2005).
- [18] A. K. Kaw. *Mechanics of composite materials*, 2nd ed. Boca Raton, FL: Taylor and Francis (2005) *de Engenharia de Estruturas*, n. 32, p.9-14, Lisboa, Portugal, (1991).
- [19] Araújo, J. M. Análise não-linear de lajes maciças e lajes nervuradas de concreto armado. *Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas*, n. 52, p. 43-52, Lisboa, Portugal, (2003).
- [20] Branson, D. E. Compression steel effect on long-time deflections. *ACI Journal*, v.68, n. 8, p.555- 559, Aug., (1971).
- [21] Bathe K.-J. et al., *Nonlinear analysis of concrete structures*, Computers & Structures, Vol.32, No.3/4, 1989, 563-590.
- [22] Bischoff P.H., *Effects of shrinkage on tension stiffening and cracking in reinforced Concrete*, Canadian Journal of Civil Engineering, 28, 2001, 363-374.
- [23] CEB. Comité Euro-International du Béton. *CEB design manual on structural effects of time-dependent behaviour of concrete*. Switzerland, (1984).
- [24] Clarke, J.L. and Sheard, P. (1998), Designing Durable FRP Reinforced Concrete Structures, Durability of Fibre Reinforced Polymer (FRP), Proceedings of the *1st International Conference on Composites for Construction (CDCC' 98)*, Sherbrooke, 3-24.
- [25] Eurocode. European Committee for Standardization. Eurocode 2: *Design of concrete structures*. Part 1-1: *General rules and rules for buildings*. Final draft, December (2003),
- [26] Eurocode. European Committee for Standardization. Eurocode 2: *Design of concrete Structures*. Part 1-2: *General rules and rules for buildings*. Final draft, December (2003),
- [27] El-Ghandour, A. (1999), *Behaviour and Design of FRP RC Slabs* PhD Thesis, The University of Sheffield, Dept. of Civil & Structural Engineering, Sheffield, UK.
- [28] El-Ghandour, A.W., Pilakoutas, K., and Waldron, P. (2003), Punching Shear Behavior of Fiber Reinforced Polymers Reinforced Concrete Flat Slabs: Experimental Study, *ASCE Journal of Composites for Construction*, 7(3), 258-265.

- [29] *FIB Bulletin 40*, FRP reinforcement in RC structures. International Federation for Structural Concrete (FIB—Fédération Internationale du Béton), Lausanne, Sëitserland (2007).
- [30] CNR, National research council *Guide for the design of structures reinforced with FRP bars*, Romë 2007.
- [31] EHE. Comisión Permanente del Hormigón. *Instrucción de hormigón estructural*. EHE. Madrid, Spain, (1999).
- [32] Koeberl B., Willam K., *Question of Tension Softening versus Tension Stiffening in Plain and Reinforced Concrete*, Journal of Engineering Mechanics, 2008, 804-808,
- [33] L. C. Bank. Composites for construction: Structural design with FRP materials. Neë York: John Wiley & Sons (2006).
- [34] L. C. Bank. Properties of FRP reinforcement for concrete. In fiber-reinforced-plastic (FRP) Reinforcement for concrete structures: Properties and applications. Developments in civil Engineering, ed. A. Nanni, 42, 59–86. Amsterdam: Elsevier (1993).
- [35] Shear Strength of Circular Concrete Beams Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer Bars and Spirals by Ahmed H. Ali, Hamdy M. Mohamed, and Brahim Benmokrane Title No. 114-S04.
- [36] Experimental Investigation of Glass Fiber-Reinforced Polymer-Reinforced Normal-Strength Concrete Beams by David T. Johnson and Shamim A. Sheikh Title No. 113-S99.
- [37] An experimental study on shear reinforcement in RC beams using CFRP-bars. Mohsen Kobraei*, Mohd Zamin Jumaat and Payam Shafigh. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia.
- [38] R.Masmoudi, A.Zaidi, P.Gerard, Transverse thermal expansion of FRP bars embedded in concrete, *Journal of Composites for Construction*, Volume 9, and Issue 5-October 2005.
- [39] CW.Dolan, CE. Bakis, A. Nanni - Design recommendations for concrete structures restressed with FRP tendons, FHWA Contract, DTFH61-96-C-00019. (2001)
- [40] L. Coppola – Le diagnosi del degrade delle strutture in calcestruzzo. *L'industria italiana del cement*. (1993)

