

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Konstrukcijska smer

Kandidat:

Tomaz Rugelj

Uporaba injektiranih vijakov v jeklenih konstrukcijah

Diplomska naloga št.: 3007

Mentor:
prof. dr. Darko Beg

Ljubljana, 28. 3. 2008

IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisani **TOMAŽ RUGELJ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom
»UPORABA INJEKTIRANIH VIJAKOV V JEKLENIH KONSTRUKCIJAH«.

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela, za potrebe elektronske
separatoteke FGG.

Ljubljana, 21.03.2008

III Rugej, T. 2008. Uporaba injektiranih vijakov v jeklenih konstrukcijah.
Dipl. nal. - UNI. Ljubljana, UL, FGG, Odd. Za gradbeništvo, Konstrukcijska smer

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji konstrukcijske smeri:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 624.014.2:624.078(043.2)

Avtor: Tomaž Rugelj

Mentor: prof. dr. Darko Beg

Naslov: Uporaba injektiranih vijakov v jeklenih konstrukcijah

Obseg in oprema: 138 strani, 4 preglednice, 77 slik

Ključne besede: Injektirani vijaki, injektirani spoji, prednapeti vijaki, prednapeti spoji, strižni spoji, ciklični testi, lezenje

Izvleček

Namen diplomskega dela je bil ugotoviti obnašanje injektiranih vijakov in v končni fazi določiti nosilnost injekcijske mase na bočni pritisk. Za injektiranje smo uporabili dvokomponentno smolo Aradit SW404 v kombinaciji s trdilcem HY2404. Vijačni sestavi so bili v skladu s skupino standardov EN 14399. Preizkušanci, predelava vijakov in podložk so ustrezali direktivam standarda EN 1090-2. Preiskave smo izvedli po navodilih standarda EN 1090-2 in priporočili dokumenta ECCS N°79. Na 21 preizkušancih smo testirali štiri različne tipe spojev, in sicer navadni strižni spoj, injektirane strižne spoje, torne spoje in prednapete injektirane spoje. Na teh spojih smo opravili monotono natezne, ciklične teste in teste lezenja. Pri monotoni natezni preizkusih smo določili silo pri zdrsu. Te rezultate smo uporabili za izračun nosilnosti injekcijske mase na bočni pritisk, ki znaša 200 MPa. Ciklične teste smo naredili pri različnih amplitudah pomikov in različnih frekvencah. Ugotovili smo zelo dobro obnašanje strižnih injektiranih spojev pri cikličnem obremenjevanju. Obnašanje strižnih injektiranih spojev je bilo v primerjavi z navadnimi strižnimi spoji zelo togo. Prav tako je bil odziv prednapetih injektiranih spojev precej boljši od tornih spojev. S tem smo potrdili do sedaj znane ugotovitve. Pokazali smo, da karakteristično nosilnost prednapetega injektiranega spoja po SIST EN 1993-1-8 dosežemo šele pri pomiku približno 0,2 mm. Po SIST EN 1993-1-8 je karakteristična nosilnost prednapetega injektiranega spoja definirana z vsoto odpornosti strižnega injektiranega in prednapetega spoja pri pomiku 0,15 mm. Literature o definiciji nosilnosti prednapetega injektiranega spoja nismo našli.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 624.014.2:624.078(043.2)

Author: Tomaž Rugelj

Supervisor: prof. dr. Darko Beg

Title: Application of injection bolts in steel structures

Notes: 138 pages, 4 tables, 77 pictures

Key words: Injection bolts, injection connections, preloaded bolts, preloaded connections, shear connections, cyclic tests, creep tests

Abstract

The aim of this document is to verify the behaviour of injection bolts and in the final stage, to determine the bearing strength of injection resin. A two component resin Araldit SW404 was used in combination with the hardener HY2404. The used bolt/nut assemblies were in accordance with a group of standards EN 14399. Specimens, alteration of bolts and washers are all in accordance with EN 1090-2. The testing was carried out in accordance with EN 1090-2 and recommendations of ECCS N°79. The following 21 types of connections were tested: shear, injection shear, preloaded and preloaded injection connections. We carried out the tension loading tests, cyclic tests and creep tests on these types of connections. At tension loading tests the slip loads were determined. The bearing strength of resin from these results was calculated to be 200 MPa. Cyclic tests were carried out at various deformation amplitudes and at various frequencies. Outstanding behaviour of shear injection connections at cyclic loading was observed. The research also showed very rigid behaviour of shear injection connection and preloaded injection connections in comparison with shear connections and preloaded connections, respectively. Consequently, this research is in excellent agreement with already known findings. We showed that characteristic resistance of preloaded injection connection according to SIST EN 1993-1-8 is reached at slip of 0,2 mm. According to SIST EN 1993-1-8, the characteristic resistance of preloaded injection connection is defined as the sum of shear and preloaded connection resistance at slip of 0,15 mm. No data was found regarding the definition of resistance of preloaded injection connection.

ZAHVALA

Za pomoč in potrpežljivost pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju, prof. dr. Darku Begu.

Hvala tudi vsem, na Katedri za metalne konstrukcije, ki so mi omogočili prijetno delovno vzdušje, še posebej Primožu, za veliko mero potrpljenja in porabljenega časa pri izvajanju testov. Zahvaljujem se tudi Tanji za pomoč v laboratoriju.

Zahvaljujem se prof. Jožetu Lopatiču, za vodenje testov in vso dodatno pomoč ter Igorju, iz Katedre za masivne in lesene konstrukcije.

Posebna zahvala gre podjetju TRIMO, ki je priskrbelo vse preskušance in poskrbelo za dodatno obdelavo vijakov in podložk.

Rad bi se zahvalil tudi Inštitutu za metalne konstrukcije (IMK) za izvedbo preskusa privojnih momentov.

Posebno se zahvaljujem svojim staršem, sestram in Barbari, za vso podporo in spodbudo skozi vsa leta študija.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	UPORABA INJEKTIRANIH VIJAKOV	3
2.1	Prednosti	3
2.2	Slabosti	5
2.3	Stroški	6
2.4	Primeri uporabe injektiranih vijakov	6
3	INŠTALACIJA	7
3.1	Priprava vijakov in podložk	7
3.1.1	Glava vijaka	7
3.1.2	Podložka pod glavo vijaka	8
3.1.3	Podložka pod matico	10
3.1.4	Injektirani vijaki, dostopni samo z ene strani	12
3.1.5	Demontaža spoja	13
3.2	Oprema	13
3.3	Injektiranje in sušenje	16
3.3.1	Injektiranje	16
3.3.2	Sušenje	19
3.4	Kontrola kvalitete	19
4	MATERIAL	22
4.1	Viskoznost, uporabni čas zmesi smole, čas sušenja	22
4.2	Določitev tornega količnika po EN 1090-2	23
4.2.1	Splošno	23
4.2.2	Pomembni podatki	23
4.2.3	Preizkušanci	24
4.2.4	Priprava tornih površin v tornih spojih	25
4.2.5	Pritegovanje prednapetih vijakov	25
4.2.5.1	Splošno	25

4.2.5.2	Določitev momenta prednapetja	27
4.2.5.3	Testna procedura po EN 14399-2:2005	28
4.2.5.4	Ovrednotenje rezultatov testov	28
4.2.5.5	Določitev privojnega momenta	30
4.2.5.6	Kombinirana metoda	31
4.2.6	Testna procedura za določanje tornega količnika spoja	32
4.2.7	Podaljšan preizkus lezenja	33
4.2.8	Rezultati testov	35
4.3	Določitev nosilnosti na bočni pritisk po EN 1090-2	36
4.3.1	Splošno	36
4.3.2	Pomembni podatki	36
4.3.3	Preizkušanci	36
4.3.4	Testna procedura za določanje nosilnost na bočni pritisk $f_{b, resin}$	37
4.3.5	Podaljšan preizkus lezenja	37
4.3.6	Rezultati testov	37
5	DIMENZIONIRANJE PO EC3	38
5.1	Splošno	38
5.2	Projektna nosilnost po SIST EN 1993-1-8	38
6	EKSPERIMENTALNO DELO	41
6.1	Splošno	41
6.2	Standardni testi za določanje sile pri zdrsu	46
6.2.1	Torni spoji	47
6.2.1.1	Rezultati testov	47
6.2.2	Strižni injektirani spoji	51
6.2.2.1	Rezultati testov	52
6.2.3	Prednapeti injektirani spoji	58
6.2.3.1	Rezultati testov	58
6.3	Lezenje	63
6.3.1	Torni spoj	64
6.3.1.1	Rezultati testa	66

6.3.2	Strižni injektirani spoj	67
6.3.2.1	Rezultati testa	72
6.3.3	Prednapeti injektirani spoji	72
6.3.3.1	Rezultati testa	74
6.4	Obdelava in vrednotenje rezultatov	76
6.4.1	Torni spoji	76
6.4.2	Strižni injektirani spoji	79
6.4.3	Ekscentrični strižni injektirani spoji	83
6.4.4	Prednapeti injektirani spoji	84
6.5	Primerjava spojev	85
6.6	Porušitev preizkušancev	90
6.7	Ciklični testi	95
7	PRIMERI USPEŠNE UPORABE	103
7.1	Zamenjava slabih zakovic	103
7.2	Novi mostovi	104
7.3	V statično obremenjenih konstrukcijah	105
7.4	Most v Curaçau	105
7.5	Mlin na veter	106
7.6	Most v Oranienburgu	106
8	REZULTATI TESTOV STEVINOVEGA LABORATORIJA	108
8.1	Izbira najboljše smole	108
8.2	Nosilnost na bočni pritisk pri povečanih luknjah	108
8.3	Vpliv temperature na bočno nosilnost	110
8.4	Odpornost na utrujanje	110
8.5	Injektiranje in sušenje	111
8.5.1	Dodajanje in mešanje	111
8.5.2	Uporabnost zmesi	111
8.5.3	Voda	111
8.5.4	Viskoznost	111
8.5.5	Čas sušenja	112

9	RAČUNSKI PRIMERI	113
9.1	Vijačeni preklopni spoj natezne vezi	113
9.1.1	Material	113
9.1.2	Obremenitev	113
9.1.3	Dimenzioniranje spoja z običajnimi vijaki	113
9.1.4	Dimenzioniranje spoja z uporabo injektiranih vijakov	120
9.2	Vijačeni prednapeti preklopni spoj natezne vezi	128
9.2.1	Material	128
9.2.2	Geometrija	128
9.2.3	Dimenzioniranje spoja z navadnimi injiciranimi vijaki	128
9.2.4	Dimenzioniranje spoja s prednapetimi injiciranimi vijaki	132
10	ZAKLJUČKI	137
	VIRI	138

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 6.1: Pregled opravljenih testov	42
Preglednica 6.2: Nihanje sile pri tornem spoju, zaradi motenj	64
Preglednica 6.3: Nihanje sile pri strižnem injektiranem spoju, zaradi motenj.....	68
Preglednica 6.4: Podatki za ciklične teste	96

KAZALO SLIK

Slika 3.1: Luknja v glavi vijaka.....	8
Slika 3.2: Podložka pod glavo vijaka	9
Slika 3.3: Podložka pod matico	11
Slika 3.4: Uporabljeni ročni injekcijski pištoli	15
Slika 3.5: Plastični cilinder z batom na levi in lijakom na desni strani.....	15
Slika 3.6: Plastični cilinder v injekcijskih pištolah.....	16
Slika 3.7: Uhajanje smole iz vijakov po injiciranju.....	17
Slika 3.8: Injektiranje vijakov	17
Slika 3.9: Araldite SW 404 Resin in Araldite HY 2404 Hardener	18
Slika 3.10: Priprava injekcijske mase.....	19
Slika 4.1: Merilna naprava za določanje momenta prednapetja vijakov	28
Slika 4.2: Fiksiranje preizkušanca in prednapenjanje vijakov.....	31
Slika 6.1: Standardni preizkušenci	41
Slika 6.2: Ravnanje pločevin	43
Slika 6.3: Instron.....	44
Slika 6.4: Z leve proti desni: Instron, konzola za upravljanje, Dewetron.....	44
Slika 6.5: Induktivni pretvornik	44
Slika 6.6: Merilna urica	45
Slika 6.7: Ekstenziometer	45
Slika 6.8: Montaža induktivcev (pogled od spredaj, zadaj, s strani).....	46
Slika 6.9: Diagram »sila – pomik« za μI	48
Slika 6.10: Diagram »sila – pomik« za μII	49
Slika 6.11: Diagram »sila – pomik« za μIII	49
Slika 6.12: Diagram »sila – pomik« za μIV	50
Slika 6.13: Povprečje diagramov μI , μII , μIII in μIV	51
Slika 6.14: Ekscentrična postavitev vijakov pri notranjih pločevinah.....	52
Slika 6.15: Diagram »sila – pomik« za $AN I$	53
Slika 6.16: Diagram »sila – pomik« za $AN II$	54
Slika 6.17: Diagram »sila – pomik« za $AN III$	54

Slika 6.18: Diagram »sila – pomik« za ANIV	55
Slika 6.19: Povprečje diagramov »sila – pomik« za ANI, ANII, ANIII in ANIV	56
Slika 6.20: Diagram »sila – pomik« za ANEI	56
Slika 6.21: Diagram »sila – pomik« za ANEII	57
Slika 6.22: Povprečje diagramov »sila – pomik« za ANEI in ANEII	58
Slika 6.23: Diagram »sila – pomik« za CNI	59
Slika 6.24: Diagram »sila – pomik« za CNII	60
Slika 6.25: Diagram »sila – pomik« za CNIII	61
Slika 6.26: Diagram »sila – pomik« za CNIV	61
Slika 6.27: Povprečje diagramov »sila – pomik« za CNI, CNII, CNIII in CNIV	62
Slika 6.28: Pritrditev merilne urice na stojalo	63
Slika 6.29: Merilni urici na preizkušancu.....	63
Slika 6.30: Diagram »sila – pomik« pri eksperimentu lezenja	65
Slika 6.31: Diagram »pomik – čas« pri eksperimentu lezenja.....	65
Slika 6.32: Diagram »Sila – pomik« pri tornem spoju $\mu NCreep$	67
Slika 6.33: Diagram »Sila – čas« pri $ACreep$	68
Slika 6.34 Diagram »Pomik – čas« pri $ACreep$	69
Slika 6.35: Lezenje spoja $ACreep$	69
Slika 6.36: Diagram »Sila – čas« celotnega obremenjevanja pri $ACreep$	70
Slika 6.37: Diagram »Sila – logaritmični čas« pri $ACreep$	70
Slika 6.38: Diagram »Sila – pomik« za strižni injektirani spoj $ANCreep$	72
Slika 6.39: Diagram »Sila – čas«.....	73
Slika 6.40: Diagram »Pomik – čas«.....	74
Slika 6.41: Diagram »Sila – pomik« pri $CNCreep$	75
Slika 6.42: Diagram »Sila – pomik« pri $CNCreep$	76
Slika 6.43: Diagram »Sila – pomik« za navaden strižni spoj.....	86
Slika 6.44: Povprečje diagramov strižnih injektiranih spojev.....	87
Slika 6.45: Povprečje diagramov ekscentričnih strižnih injektiranih spojev.....	87
Slika 6.46: Povprečje diagramov tornih spojev.....	87
Slika 6.47: Povprečje diagramov prednapetih injektiranih spojev.....	88

Slika 6.48: Povprečja diagramov in točke karakterističnih nosilnosti	88
Slika 6.49: Primerjava strižnih injektiranih in strižnega spoja	89
Slika 6.50: Diagrama »Sila – pomik« pri porušitvi ANI.....	90
Slika 6.51: Diagrama »Sila – pomik« pri porušitvi CNI.....	91
Slika 6.52: Ovalizacija in začetek trganja notranje pločevine pri ANI	92
Slika 6.53: Deformacije injekcijske mase	93
Slika 6.54: Deformacije preizkušanca CNI in vijakov pri porušitvi.....	93
Slika 6.55: Porušitev notranje pločevine po neto prerezu	94
Slika 6.56: Montaža merilnih instrumentov	95
Slika 6.57: Diagram »Sila – število ciklov« pri konstantni amplitudi pomikov.....	97
Slika 6.58: Diagram »Sila – pomik« pri cikličnem obremenjevanju ACikII	97
Slika 6.59: Diagrama »Sila – pomik« pri cikličnem obremenjevanju ACikIII	98
Slika 6.60: Diagram »Sila – število ciklov« pri preizkušancih ACikIII in ACikIV	99
Slika 6.61: Diagram »Sila – pomik« pri ACikIII in ACikIV	100
Slika 6.62: Histerezne zanke pri 1. amplitudi $\pm 0,06\text{ mm}$	100
Slika 6.63: Histerezne zanke pri amplitudi $\pm 0,18\text{ mm}$	101
Slika 6.64: Histerezne zanke pri amplitudi $\pm 0,375\text{ mm}$	101
Slika 6.65: Histerezne zanke pri amplitudah pomikov $\pm 1,0\text{ mm}$ in $\pm 2,0\text{ mm}$	102

1 UVOD

Injektirani vijaki so vijaki, pri katerih je rega med vijakom in steno luknje za vijake, v pločevini, popolnoma zapolnjena z dvokomponentno smolo. Injektiranje poteka skozi luknjo v glavi vijaka. Po injektiranju in osušitvi smole, je spoj odporen proti zdrsu.

Injektirani vijaki se lahko uporabijo v strižnih spojih, kot alternativa vijakov s točnim naleganjem, zakovic ali prednapetih visoko nosilnih vijakov (HSFG). Injektirani vijaki imajo precej prednosti. Imajo način obnašanja vijakov s točnim naleganjem vendar so cenejši, saj je pri vijakih s točnim naleganjem potrebno drago razširjanje lukenj za vijake, problematične pa so tudi majhne tolerance pri vgradnji. Injektirani vijaki se vgrajujejo v standardnih luknjah, 2 do 3 mm večjih od nominalnega premera vijaka. Injektirani vijaki so se izkazali tudi kot zelo dobra rešitev za obnovo oziroma popravilo kovičenih konstrukcij, saj izurjena delovna sila in oprema za kovičenje niso več dostopne. Računska nosilnost prednapetega injektiranega vijaka je enaka vsoti projektne nosilnosti smole na bočni pritisk in projektne torne nosilnosti vijaka. Tako se potrebno število vijakov v spoju precej zmanjša. Ker smola popolnoma zapolni prostor med vijakom in pločevinami, notranja korozija ni možna.

Slabe lastnosti injektiranih vijakov so vezane predvsem na ceno izvedbe injektiranja, vremenske pogoje, težavno demontažo injektiranih vijakov in potrebno predelavo vijakov in podložk. Predelava vijakov in podložk je opisana v tretjem poglavju. Zahteve glede predelave vijačnih sklopov obravnava standard EN 1090-2. V naših testih smo uporabili vijake v skladu s skupino standardov EN 14399. V tretjem poglavju so podana tudi priporočila v zvezi s pripravo injekcijske mase in injektiranjem. Po priporočilih dokumenta ECCS N°79 smo uporabili smolo Aradit SW404 v kombinaciji s trdilcem HY2404. Za injektiranje smo uporabili ročne injekcijske pištole in plastične cilindre za enkratno uporabo.

V četrtem poglavju so opisani postopki določanja tornega količnika in nosilnosti na bočni pritisk, v smislu izvedbe testov in statistične obdelave rezultatov. Izračunan je moment prednapetja v skladu s standardom EN 1090-2. Prav tako je podan postopek prednapenjanja vijakov po kombinirani metodi, ki smo jo uporabili v naših testih.

Dimenzioniranje injektiranih vijakov po SIST EN 1993-1-8 je podan v petem poglavju. Obtežba se prenaša, ali preko striga in bočnega pritiska, pri običajnih injektiranih vijakih, ali preko striga in bočnega pritiska plus torne nosilnosti, pri prednapetih injektiranih vijakih.

Šesto poglavje je posvečeno našemu eksperimentalnemu delu. Na 21 preizkušancih smo testirali štiri različne tipe spojev, in sicer navadni strižni spoj, injektirane strižne spoje, torne spoje in prednapete injektirane spoje. Na teh spojih smo opravili monotone natezne preskuse, ciklične teste in teste lezenja. Pri monotoni natezni preizkusih smo določevali sile pri zdrsu 0,150 mm, iz katerih smo pri strižnih injektiranih spojih izračunali, da znaša nosilnost injekcijske mase na bočni pritisk 200 MPa. Silo pri zdrsu smo določili pri petih strižnih injektiranih, petih tornih in petih prednapetih injektiranih spojih. Naredili smo štiri ciklične teste, dva pri konstantni amplitudi pomika $\pm 0,135$ mm in različnih frekvencah ter dva pri spremenljivi amplitudi pomikov in konstantni frekvenci 0,10 Hz. Ugotovili smo zelo dobro obnašanje strižnih injektiranih spojev pri cikličnem obremenjevanju. Teste lezenja smo naredili za en strižni injektirani, en torni in en prednapeti injektirani spoj. Ugotovili tudi smo zelo togo obnašanje strižnih injektiranih spojev v primerjavi z navadnimi strižnimi spoji in precej boljše obnašanje prednapetih injektiranih spojev v primerjavi s tornimi spoji ter s tem potrdili do sedaj znane ugotovitve. Pokazali smo, da karakteristično nosilnosti prednapetega injektiranega spoja po SIST EN 1993-1-8 dosežemo šele pri pomiku približno 0,2 mm. Po SIST EN 1993-1-8 je karakteristična nosilnost prednapetega injektiranega spoja definirana z vsoto odpornosti strižnega injektiranega in prednapetega spoja pri pomiku 0,15 mm. Literature o definiciji nosilnosti prednapetega injektiranega spoja nismo našli.

V zadnjih treh poglavjih so podani primeri uspešne uporabe injektiranih vijakov v realnih konstrukcijah, povzetek rezultatov testov iz Stevinovega laboratorija na tehniški univerzi v Delftu in dva računski primera po EN 1993-1-8.

2 UPORABA INJEKTIRANIH VIJAKOV

V tem poglavju je narejena primerjava injektiranih vijakov z vijaki s točnim naleganjem, zakovicami in visoko nosilnimi prednapetimi vijaki.

2.1 Prednosti

- **Način obnašanja injektiranih vijakov**

Način obnašanja vijakov s točnim naleganjem. Vendar pa je pri vijakih s točnim naleganjem potrebno drago razširjanje lukenj za vijake. Glavna slabost vijakov s točnim naleganjem je otežena vgradnja vijakov na montaži zaradi majhnih toleranc. Injektirani vijaki se vgrajujejo v standardnih luknjah, 2 do 3 mm večjih od nominalnega premera vijaka.

Pri notranjih in zunanjih pločevinah je dovoljena uporaba povečanih lukenj medtem, ko je uporaba podaljšanih lukenj dovoljena le pri notranjih pločevinah. To poenostavi in pospeši postavitvev in poravnavo zgradbe. Po injektiranju in sušenju smole, je začetni zdrs vijaka popolnoma preprečen. Pri povečanih in podaljšanih luknjah, je potrebna redukcija projektne nosilnosti smole na bočni pritisk.

- **Rešitev za spoje z nizkim tornim količnikom**

Pri pločevinah z nizkim tornim količnikom so injektirani vijaki rešitev v spojih, pri katerih zdrs ni dovoljen. Primeri so galvanizirane pločevine, barvane pločevine in kovičene konstrukcije.

Torni količnik pločevin kovičenih konstrukcij je ponavadi zelo nizek. Namestitev novih zakovic je praktično nemogoča, zaradi pomanjkanja opreme in izurjene delovne sile. Uporaba vijakov s točnim naleganjem je zaradi visoke cene neracionalna. Injektirani vijaki pa so se

izkazali kot zelo dobra rešitev za obnovo oziroma popravilo kovičenih konstrukcij, na primer, železniških mostov.

- **Kompaktni spoji**

Pri močno obremenjenih vijakih, na primer, zaradi omejenega prostora za vijake v spoju, so dobra rešitev prednapeti injektirani vijaki, saj je računsko nosilnost prednapetega injektiranega vijaka enaka vsoti projektne nosilnosti smole na bočni pritisk in projektne torne nosilnosti vijaka. Tako se potrebno število vijakov v spoju zmanjša.

- **Brez nenadnega zdrsa v primeru preobremenitve**

V spojih s prednapetimi vijaki je zdrs zaradi preobremenitve možen. Pri injektiranih vijakih nenaden zdrs ni možen. Ob predpostavki, da je preobremenitev le začasna, bo deformacija zaradi lezenja zanemarljiva.

- **Dobra računsko bočna nosilnost**

Pri neki razumni debelini pločevin, je računsko nosilnost na bočni pritisk enakega velikostnega reda kot računsko torna nosilnost prednapetih visoko nosilnih vijakov.

- **Brez posebnih zahtev glede kontaktnih površin**

Pri navadnih tornih spojih, so za doseg zadostnega tornega količnika potrebne posebne zahteve, glede obdelave kontaktnih površin. Če je zahtevana korozijska odpornost, je potrebno uporabiti premaz, ki zagotavlja potrebi torni količnik. Pri navadnih injektiranih vijakih, ki niso prednapeti, se izognemo zdrsu brez posebne priprave oziroma obdelave površin.

- **Brez notranje korozije**

Ker smola popolnoma zapolni prostor med vijakom in pločevinami, notranja korozija ni možna.

2.2 Slabosti

- **Priprava vijakov in podložk**

Skozi glavo vijaka je potrebno izvrtati luknjo. Podložka, nameščena pod glavo vijaka, mora imeti posnete robove na notranji strani medtem, ko mora imeti podložka, nameščena pod matico narejen žlebič. Podrobneje je izdelava vijakov in podložk obravnavana v poglavju 3.

- **Priprava smole in injektiranje**

Slabost je potreben čas za izvedbo injektiranja. V splošnem je izvedba spojev z uporabo injektiranih vijakov dolgotrajnejša kot izvedba običajnega stikovanja.

- **Vremenski pogoji**

Luknje morajo biti med injektiranjem suhe. Zato je potrebno zagotoviti, da so luknje suhe že pred začetkom injektiranja.

- **Demontaža**

Po injektiranju in sušenju smole je spoj zelo težko demontirati, brez predhodno izvedenih ukrepov.

2.3 Stroški

Predelava običajnih vijakov je v delavnici relativno enostavna. Zaradi cenene injekcijske opreme in omejene količine smole na vijak, so tudi materialni stroški nizki. Stroški injektiranja na vijak so odvisni od:

- števila vseh vijakov,
- števila vijakov v posameznem spoju,
- dostopnosti vijakov,
- velikosti in dolžine vijakov.

Grobo ocenjeno, je potreben čas za injektiranje približno 1 do 2 minuti na vijak. Pri uporabi injektiranih vijakov se število vijakov zmanjša in posledično, so nižji tudi stroški priprave lukenj za vijake.

2.4 Primeri uporabe injektiranih vijakov

Injektirani vijaki so bili uspešno uporabljeni pri mostovih in drugih konstrukcijah, na primer:

- pri popravilu kovičenih spojev za zamenjavo zakovic,
- v novih železniških drugih mostovih,
- pri močno obremenjenih žerjavnih progah, kjer bi lahko zaradi pogostih sprememb obremenitve prišlo do problemov z utrujanjem.

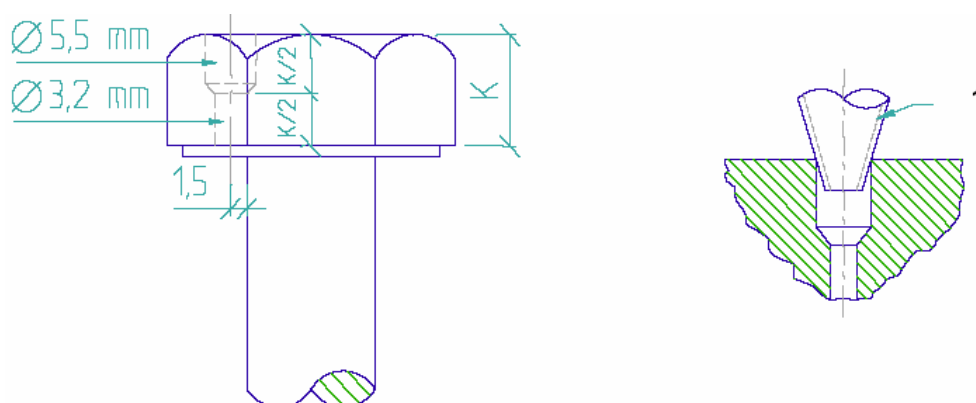
3 INŠTALACIJA

3.1 Priprava vijakov in podložk

Injektirani vijaki so običajni standardni vijaki. V testih smo uporabili standardne vijake EN 14399-3 — M20 x 75 — 10.9/10 — HV — tZn in standardne podložke Washer EN 14399-5 — 20 pod glavo vijaka in Washer EN 14399-6 — 20 pod matico. Da omogočimo ustrezno polnjenje lukenj za vijake moramo vijake in podložke prilagoditi.

3.1.1 Glava vijaka

Skozi glavo vijaka izvrtamo luknjo, kot je prikazano na spodnji sliki. Zgornji premer luknje 5,5 mm nudi zadostno podporo plastičnemu lijaku injekcijske opreme. Ostri robovi odprtine zagotavljajo odlično tesnjenje. Pri uporabi lijakov iz drugačnih materialov, bo morda potrebno zaradi ustreznega tesnjenja robove lukenj nekoliko posneti. Spodnji premer 3,2 mm olajša oziroma pospeši pretok smole v odprtino.



1: lijak injekcijske opreme

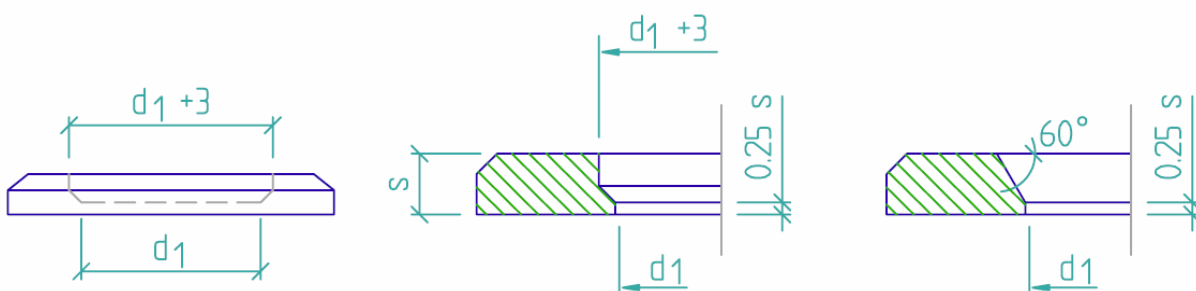
Luknja v glavi vijaka (prEN 1090-2:2007-08, str. 177).



Slika 3.1: Luknja v glavi vijaka

3.1.2 Podložka pod glavo vijaka

Pod glavo vijaka uporabimo podložko EN 14399-5 — 20. Kvaliteta podložke pod glavo vijaka mora po standardu ustrezati kvaliteti vijaka. Notranji premer odprtine mora biti vsaj 0,5 mm večji od dejanskega premera vijaka. Iz standarda EN 14399-5:2005(E) je razvidno, da je le ta pogoj z uporabo standardnih podložk avtomatsko izpolnjen. Ena stran odprtine mora biti strojno izdelana, kot je prikazano na spodnjih slikah, zaradi enostavnejšega prehoda in porazdelitve smole v odprtini. Odprtine lahko povečamo ali z vrtanjem ali pa robove mehansko posnamemo. Na prvih dveh slikah je prikazana razširitev narejena z vrtanjem medtem, ko je na tretji sliki prikazan izgled posnetih robov.



Priprava podložke pod glavo vijaka (prEN 1090-2:2007-08, str. 177).



Slika 3.2: Podložka pod glavo vijaka

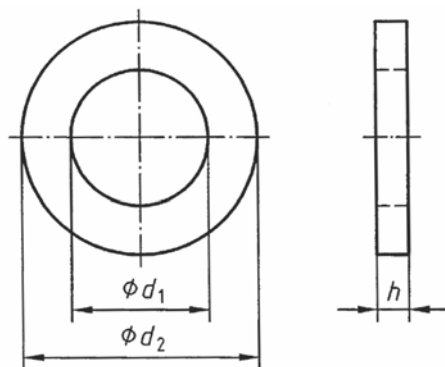
Iz spodnje tabele so razvidne dimenzije in tolerance izdelave standardnih podložk. Na sledeči sliki (str. 9) je prikazana standardna podložka EN 14399-5:2005 (E).

Dimenzije in geometrijske tolerance standardne podložke (EN 14399-5:2005 (E), str. 6)

Dimenzije v milimetrih

Nominalna velikost d (nominalni premer navoja vijaka)		12	(14) ^a	16	(18) ^a	20	22	24	27	30	36
d_1	min.	13	15	17	19	21	23	25	28	31	37
	max.	13,27	15,27	17,27	19,33	21,33	23,33	25,33	28,52	31,62	37,62
d_2	min.	23,48	27,48	29,48	33,38	36,38	38,38	43,38	49	54,80	64,80
	max.	24	28	30	34	37	39	44	50	56	66
h	mom.	3	3	4	4	4	4	4	5	5	6
	min.	2,7	2,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	4,4	4,4	5,4
	max.	3,3	3,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	5,6	5,6	6,6
OPOMBA Za vroče cinkane podložke dimenzije veljajo pred cinkanjem.											
^a Velikosti v oklepajih niso prioritete.											

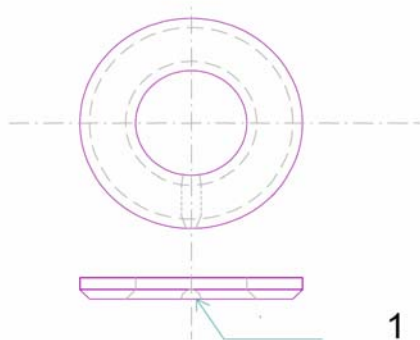
- 10 Rugelj, T. 2008. Uporaba injektiranih vijakov v jeklenih konstrukcijah.
Dipl. nal. - UNI. Ljubljana, UL, FGG, Odd. Za gradbeništvo, Konstrukcijska smer



Standardna podložka (EN 14399-5:2005 (E), str. 6)

3.1.3 Podložka pod matico

Pod matico uporabimo podložko EN 14399-6 — 20. Kvaliteta podložke pod matico mora ustrezati kvaliteti vijaka. Utor, prikazan na spodnji sliki, je izdelan z namenom, da je zraku omogočen izhod iz odprtine. Robovi utora morajo biti gladki in zaobljeni. Kot je razvidno iz naslednje slike je premer utora enak debelini podložke, saj utor sega do polovice debeline podložke, v našem primeru 4mm. Po montaži vijaka mora biti utor na strani matice, saj pri barvanih pločevinah s tem preprečimo, da bi pri zategovanju vijaka barva zapolnila utor.



1: Utor

Priprava podložke pod matico (prEN 1090-2:2007-08, str. 177).



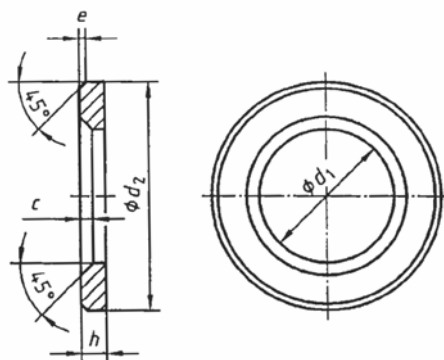
Slika 3.3: Podložka pod matico

Iz spodnje tabele so razvidne dimenzije in tolerance izdelave standardnih podložk EN 14399-6:2005 (E).. Na sledeči sliki (str. 11) je standardna podložka EN 14399-6:2005 prikazana.

Dimenzije in geometrijske tolerance standardne podložke (EN 14399-6:2005 (E), str. 6)

Dimenzije v milimetrih

Nominalna velikost d (nominalni premer navoja vijaka)	12	(14) ^a	16	(18) ^a	20	22	24	27	30	36
d_1 min.	13	15	17	19	21	23	25	28	31	37
d_1 max.	13,27	15,27	17,27	19,33	21,33	23,33	25,33	28,52	31,62	37,62
d_2 min.	23,48	27,48	29,48	33,38	36,38	38,38	43,38	49	54,80	64,80
d_2 max.	24	28	30	34	37	39	44	50	56	66
h mom.	3	3	4	4	4	4	4	5	5	6
h min.	2,7	2,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	4,4	4,4	5,4
h max.	3,3	3,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	5,6	5,6	6,6
e nom.=max.	0,5	0,5	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	1,0	1,0	1,25
e max.	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,5
c min.	1,6	1,6	1,6	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5
c max.	1,9	1,9	1,9	2,5	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0	3,0
OPOMBA Za vroče cinkane podložke dimenzije veljajo pred cinkanjem.										
^a Velikosti v oklepajih niso prioritete.										

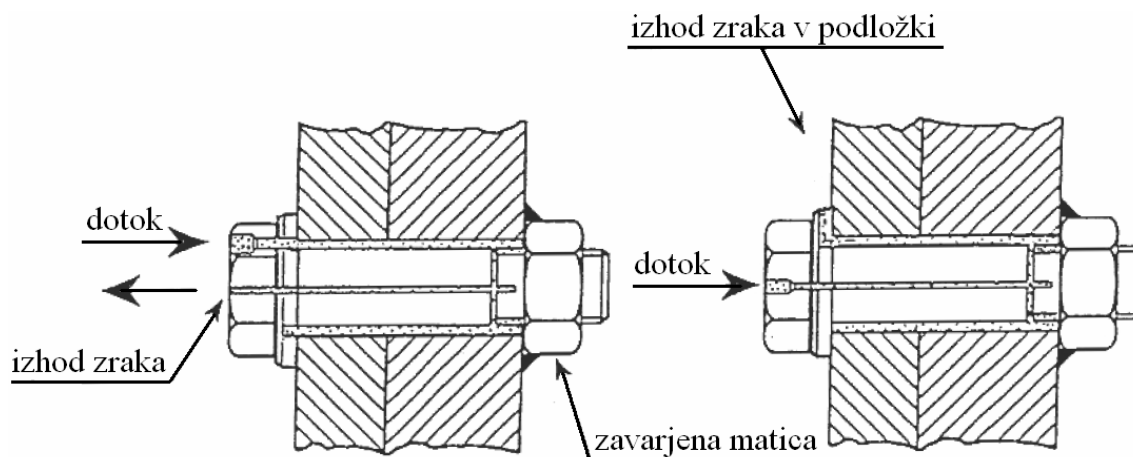


Standardna podložka (EN 14399-6:2005 (E), str. 6)

3.1.4 Injektirani vijaki, dostopni samo z ene strani

Če so injektirani vijaki dostopni samo iz ene strani, so potrebni posebni ukrepi. Če izhod zraka pri matici ni možen, na primer zaradi privarjene matice, morajo biti izvrtane dodatne luknje, ki omogočajo izhod zraka na drugem mestu. To nam dodatno omogoča kontrolo iztekanja smole. Situacija je prikazana na spodnji sliki. Luknja na strani matice nam v tem primeru ne koristi, saj ni mogoče kontrolirati uhajanja smole.

Luknja poleg matice, pravokotna glede na odprtino za vijak, mora potekati čez celotno širino odprtine. S tem zagotovimo izhod zraka na eni strani odprtine, kadar na drugi strani ni rege do stene odprtine.



Posebni ukrepi, kadar stran matice ni dosegljiva (ECCS N°79, 1994, str. 22).

3.1.5 Demontaža spoja

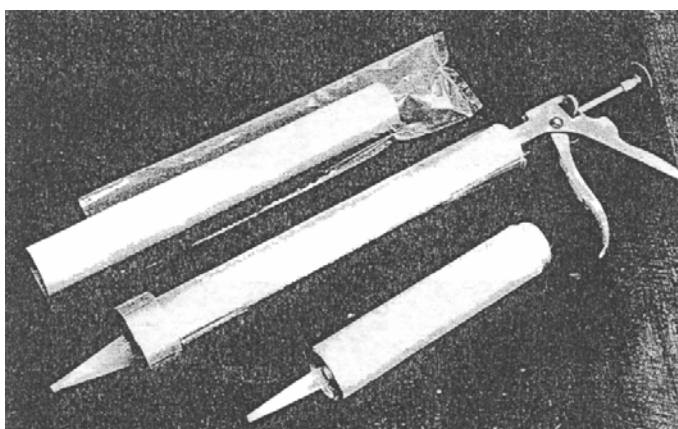
Če je načrtovana kasnejša demontaža spoja, je potrebno uporabiti posebno ločilno tekočino, ki jo dodamo vijakom.

Ta tekočina prepreči vezanje smole na vijake. Vseeno pa lahko, glede na to, da vijaki niso vedno popolnoma cilindrični, demontaža spojev predstavlja problem. Možna rešitev v takih primerih je segrevanje vijaka, na primer s plamenskim gorilnikom.

3.2 Oprema

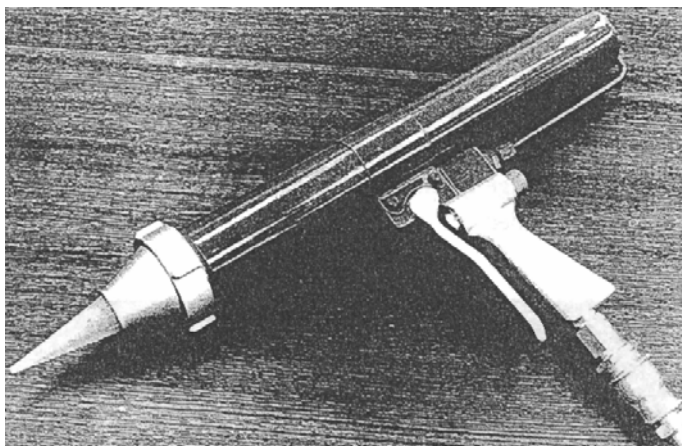
Uporablja se lahko ročna injekcijska pištola (Slika 3.1) ali kompresijska pištola, tj. injekcijska pištola na zračni pritisk. Posebno pri daljših vijakih in kjer je potrebno injektirati ogromno število vijakov, je priporočljiva uporaba kompresijske pištole.

Pri polnjenju pištole se lahko uporabi ali vrečke iz plastične folije ali posebne plastične cilindre, primerne za uporabljeno opremo. Pri plastičnih vrečkah je za osnovni material priporočen najlon, raje kot poliamid, saj je močnejši. Plastična folija oziroma vrečka mora biti na enem koncu zamašena, in vstavljena v pištolo s pomočjo tube. Nato se vrečko napolni s smolo, pripravljeno na uporabo. Nazadnje se lijak privije na pištolo. Injektiranje vijakov se mora nato pričeti nemudoma. Ko je porabljena vsa smola, je se injekcijska pištola očisti.

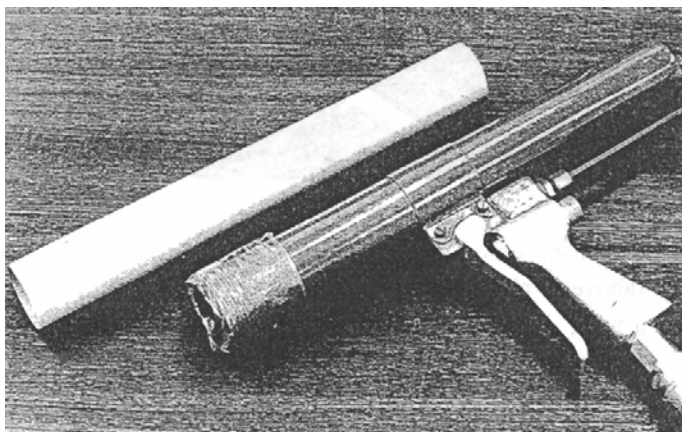


**Zaprta ročna injekcijska pištola, plastična vrečko(zgoraj) in plastični cilinder (spodaj).
(ECCS N°79, 1994, str. 23)**

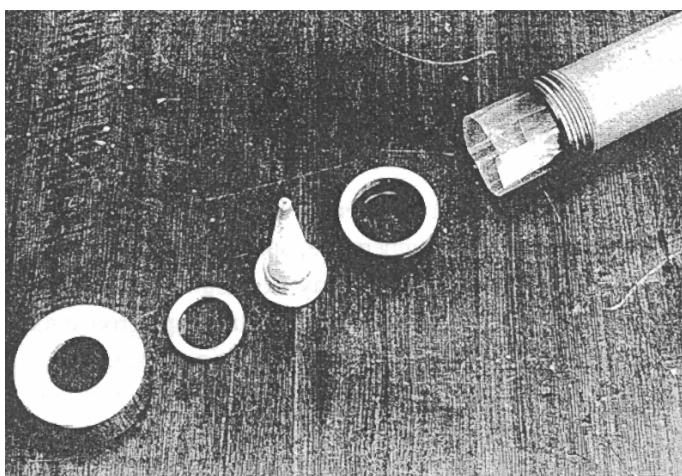
- 14 Rugelj, T. 2008. Uporaba injektiranih vijakov v jeklenih konstrukcijah.
Dipl. nal. - UNI. Ljubljana, UL, FGG, Odd. Za gradbeništvo, Konstrukcijska smer



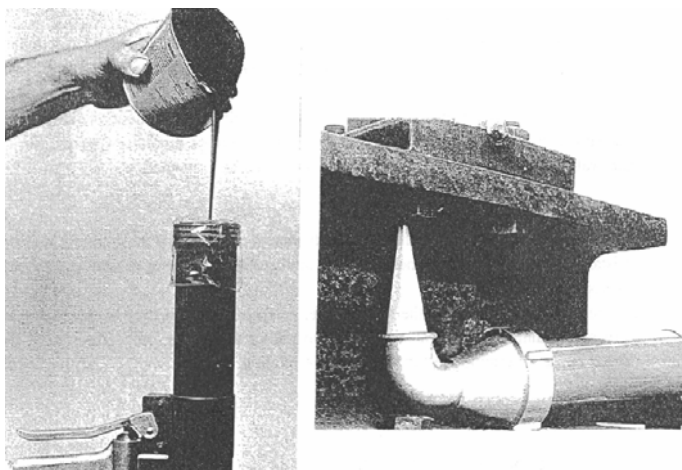
Kompresijska injekcijska pištola (ECCS N°79, 1994, str. 24).



Plastična vrečka v injekcijski pištoli z odstranjeno tubo za vstavljanje vrečke in še brez končnega lijaka (ECCS N°79, 1994, str. 24).



Sestavni deli končnega lijaka (ECCS N°79, 1994, str. 25).



**Polnjenje injekcijske pištole s smolo in posebni nastavek za težko dostopna mesta.
(ECCS N°79, 1994, str. 25).**

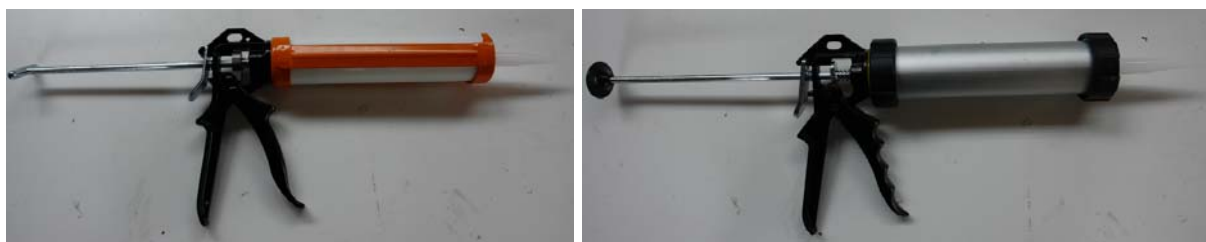
Uporaba plastičnih cilindrov s plastičnimi bati, za enkratno uporabo (Slika 3.5), kot se jih uporablja v gradbeni industriji, je enostavnejša. Ti plastični cilindri se polnijo na strani z batom. Po polnjenju, se montira bat in nato cel sestav vstavi v injekcijsko pištolo (Slika 3.3.). Takšne plastične cilindre sem uporabljal tudi sam. Druga možnost je uporaba kompresijskih pištol, kot se jih uporablja pri montaži steklenih oken.



Slika 3.4: Uporabljeni ročni injekcijski pištoli



Slika 3.5: Plastični cilinder z batom na levi in lijakom na desni strani



Slika 3.6: Plastični cilinder v injekcijskih pištolah

3.3 Injektiranje in sušenje

Poglavje injektiranje in sušenje je napisano po priporočilih dokumenta ECCS N°79 z naslovom European Recommendations for Bolted Connections with Injection Bolts in po zahtevah standarda EN 1090-2.

3.3.1 Injektiranje

Pri načrtovanju časa za injektiranje igra pomembno vlogo uporabni čas smolne mešanice. Pri uporabi smole s kratkim časom uporabe mora biti v naprej vse dobro pripravljeno, da je omogočeno kar se da hitro injektiranje vijakov. V našem primeru (uporabili smo smolo Araldite SW 404 in trdilec HY 2404), je uporabni čas smolne mešanice 15 minut.

V našem primeru smo zinjektirali največ 7 spojev, z eno pločevinko smolne mešanice, kar je 28 vijakov v približno 20 minutah. Torej smo dosegli hitrost injektiranja približno 0,7 vijaka na minuto. Hitrosti injektiranja prvih dveh pločevink rajši ne bom omenjal. Pri 20 minutah je bila smolna mešanica že precej gosta tako, da z eno injekcijsko pištolo vsekakor ni možno porabiti celotne smolne mešanice ene pločevinke. Seveda pa je možna uporaba trdilca HY 5159. Uporabnost smolne mešanice je pri uporabi tega trdilca 50 minut vendar, je viskoznost trdilca precej manjša v primerjavi s trdilcem HY 2404.

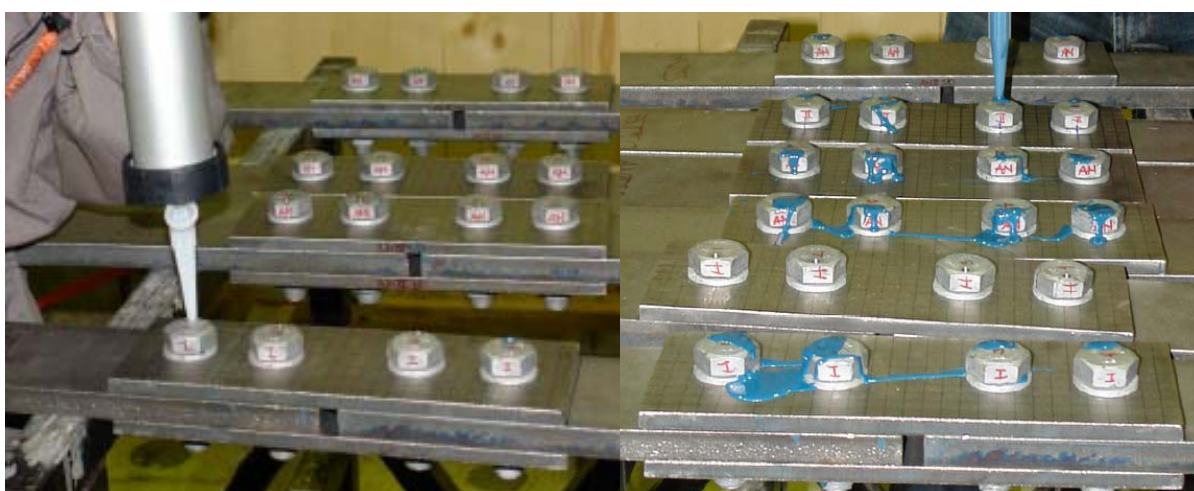
Viskoznost je odvisna od temperature. Zaradi odvisnosti poteka injektiranja od karakteristične viskoznosti, ki je funkcija temperature, je potrebno izvesti posebne ukrepe. Pri previsoki viskoznosti, je možno uhajanje smole tudi po prenehanju injektiranja (Slika 3.7).



Slika 3.7: Uhajanje smole iz vijakov po injektiranju

V takem primeru je potrebno zamašiti obe luknji tj., luknjo v glavi vijaka in luknjo v podložki pod matico, na primer z modelarsko glino takoj po končanem injektiranju. Pri nizkih temperaturah, kjer je viskoznost prenizka za izvedbo injektiranja, je potrebno predhodno gretje smole in spoja. Optimalna temperatura za injektiranje in sušenje je priporočena s strani proizvajalca smole. Za predstavo, o kakšnih vrednostih viskoznosti govorimo naj povem, da je pri 25°C viskoznost uporabljene smole Araldite SW 404 Resin $55,000 - 80,000 \text{ mPa s}$, trdilca Araldite HY 2404 Hardener $3,500 - 5,500 \text{ mPa s}$ in vode $\approx 1 \text{ mPa s}$.

V laboratoriju smo vijake injektirali (Slika 3.8) pri temperaturi dobrih 20°C . Med in po končanem injektiranju je prišlo do manjšega uhajanja mase iz vijakov. Ambientna temperatura, naj bi sicer preprečevala uhajanje mase po prenehanju injektiranja (ECCS, $N^{\circ} 79$,



Slika 3.8: Injektiranje vijakov

1994). Zato smo morali po končanem injektiranju vsem vijakom dodati še nekaj smole. Uhajanje mase iz vijakov je zaradi strjevanja smole kmalu prenehalo. To pomeni, da bi bila ob uporabi trdilca HY 5159 uporaba modelarske gline za tesnitev lukenj v glavi vijakov in v podložkah pod matico po injektiranju obvezna, saj bi bilo zaradi večje začetne viskoznosti smolne mešanice uhajanje smole iz vijakov preveliko. V najprej injektiranih vijakih bi verjetno prišlo celo do izgube celotne smole v vijakih. Seveda pa bi se viskoznost mešanice dalo delno zmanjšati z nižjo temperaturo prostora. Na gradbišču, bi se dalo na viskoznost vplivati z izvedbo injektiranja v jutranjem oziroma večernem času.

Priprava injekcijske mase poteka po sledečem postopku (Slika 3.7). Po mešanju obeh komponent (Slika 3.6), ročnem ali s pomočjo električnega ali kompresijskega mešalca, je potrebno maso preliti v drugo pločevinko in ponovno premešati. S tem zagotovimo, da sta obe komponenti ustrezno premešani. Nato lahko smolo prelijemo v plastični cilindar injekcijske pištole. Bat potiska smolo skozi lijak v odprtino okoli vijaka. Ko se smola prikaže v žlebiču v podložki pod matici vijaka pomeni, da lahko z injektiranjem prenehamo.



Slika 3.9: Araldite SW 404 Resin in Araldite HY 2404 Hardener

Odprtine in luknje v vijakih in pločevinah morajo biti suhe pred pričetkom injektiranja. Razen v primeru, da so mehanske lastnosti smole neodvisne od vlažnosti, je potrebno preprečiti penetracijo padavinske vode v spoj pred injektiranjem.



Slika 3.10: Priprava injekcijske mase

3.3.2 Sušenje

Po končanem injektiranju smola potrebuje čas za strjevanje, da pridobi bočno nosilnost. Objekta ne smemo obremenjen dokler, se ne razvije zadostna bočna nosilnost smole. Čas sušenja je odvisen od temperature. V posebnih primerih je lahko nujno povečanje ambientne temperature, s čimer skrajšamo čas sušenja smolne mešanice. Sušenje smolne mešanice z uporabo trdilca HY 2404 pri ambientni temperaturi traja približno 24 ur in 14 ur pri temperaturi 60°C. Za določitev odvisnosti med časom sušenja in temperaturo je potrebno izvesti teste.

3.4 Kontrola kvalitete

Kontrola kvalitete poteka po naslednjih točkah..

- **Ustreznost**

Kontrolira se ustreznost vijakov, matic in podložk z naslednjimi specifikacijami:

- Kvaliteta in
- priprava.

- **Privitje vijakov**

V primeru prednapetih vijakov mora biti privitje izvedeno in preverjeno v skladu s predpisi. V primeru navadnih vijakov, je priporočeno priviti vijake tako močno, da morebitne odprtine med pločevinami zapremo.

- **Montaža vijakov**

Če so prisotni ostanki barve na robovih lukenj in na stenah lukenj morajo biti odstranjeni. Podložka pod matico mora biti orientirana tako, da je žlebič v podložki na strani matice, s čimer preprečimo potencialno zamašitev žlebiča s krovnim premazom pločevine.

- **Preverjanje prisotnosti vode v luknjah za vijake**

Če ima na mehanske lastnosti posušene smole prisotnost vode škodljiv vpliv, je potrebno izvesti naslednje preventivne ukrepe:

1. Pred injektiranjem

Če obstaja kakršnikoli dvom o potencialni prisotnosti vode v spoju, morajo biti za kontrolo vsaj trije vijaki odstranjeni. Če je prisotnost vode ugotovljena, je potrebno ali injektiranje preložiti do osušitve ali spoje greti, da se osušijo. Pred dejanskim injektiranjem je potrebna ponovna kontrola.

2. Med injektiranjem

Dejansko injektiranje naj se izvaja v suhem vremenu oziroma, se poskrbi za zaščito pred padavinami.

- **Polnjenje lukenj**

Ustrezna zapolnitev lukenj se preveri tako, da se preveri luknjo v glavi vijaka in utor za izhod zraka na podložki. Obe luknji morata biti zapolnjeni s smolo.

- **Čas sušenja**

Čas injektiranja in čas obremenitve konstrukcije morata biti zabeležena. Vmesni čas mora biti zadosten, da se zagotovi ustrezno sušenje smole.

- **Testi kontrole kvalitete**

V želji, zagotoviti primerno kvaliteto izvedbe injektiranja in sušenja, je po ECCS N° 79 priporočeno izvesti eno ali obe izmed naslednjih kontrol kvalitete

1. Injektiranje sestava plošč narejenih iz pleksi stekla, da se ugotovi, ali pri izbranem postopku injektiranja smola zapolni ves prostor,
2. statični test za kontrolo sušenja. Test se lahko izvede v skladu s 4.2, izjema je le dolžina testa. Smola se velja kot zadostno suha, da lahko prevzame dano obtežbo, če po dvourni obremenitvi preizkušanca pomiki niso večji od 0,15 mm.

- **Zapisnik**

Narejeno mora biti ustrezno poročilo, v katerem bodo zabeležene vse preverjene točke.

4 MATERIAL

4.1 Viskoznost, uporabni čas zmesi smole, čas sušenja

Material, uporabljen kot injekcijska masa, je dvokomponentna smola, z naslednjimi lastnostmi.

- **Viskoznost**

Po mešanju obeh komponent mora imeti zmes ob ambientni temperaturi med vgrajevanjem takšno viskoznost, da se bodo ozki prostori zlahka zapolnili. Možna je tudi uporaba modelarske gline, s katero lahko preprečimo uhajanje smole tudi, kadar pride do uhajanja smole po prenehanju injektiranja. Pri nizki ambientni temperaturi, bo morda potrebno spoj predhodno segreti. Smola mora biti primerna za injektiranje skozi majhne odprtine.

- **Uporabni čas zmesi**

Uporabni čas po smole po mešanju obeh komponent mora biti vsaj 15 minut pri ambientni temperaturi, običajno 20°C. Pri uporabi Araldite SW 404 Resin in Araldite HY 2404 Hardener je uporabni čas mešanice pri ambientni temperaturi 25°C 15 minut medtem, ko je pri uporabi Araldite SW 404 Resin in Araldite HY 5159 Hardener uporabni čas zmesi 50 minut.

- **Čas sušenja**

Čas sušenja mora biti takšen, da bo smola posušena pred obremenitvijo konstrukcije.

V nekaterih primerih, na primer pri sanacijah železniških mostov, je lahko predviden čas sušenja zaradi časovne stiske precej kratek, tj. približno 8 ur. V takšnih primerih, je segrevanje po injektiranju dovoljeno, z namenom redukcije časa sušenja smole. Če podatki

niso dosegljivi, oziroma ne obstajajo, je potrebno izvesti teste, za določitev primerne temperature in časa sušenja (glej točko 7 v 3.4). V našem primeru je bil čas sušenja pri vseh vzorcih minimalno 24 ur pri ambientni temperaturi najmanj 20° C .

4.2 Določitev tornega količnika po EN 1090-2

4.2.1 Splošno

Namen testa je določitev tornega količnika za izbran način obdelave površine pločevine.

Testna procedura je zastavljena tako, da se upošteva možnost nastanka pomikov zaradi lezenja.

4.2.2 Pomembni podatki

Pri interpretaciji rezultatov testov, so pomembne spremenljivke tudi :

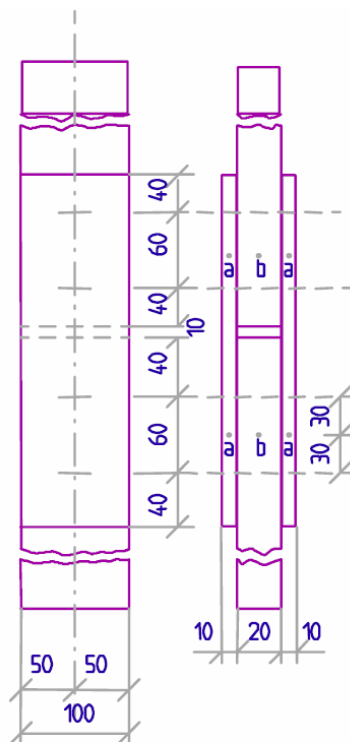
- Kompozicija premaza, pri čemer se upošteva tudi metoda proizvodnje premaza in uporabljena razredčila.
- Postopek obdelave površin in postopki nanašanja primarnih nanosov premazov v primerih večslojnih nanosov.
- Postopek sušenja. Postopek sušenja mora biti zabeležen ali z referenco na javno objavljena priporočila ali z detajlnim opisom dejansko izvedenega postopka.
- Časovni interval med nanosom premazov in obremenitvijo spoja.
- Kvaliteta vijakov.

4.2.3 Preizkušanci

Preizkušanci morajo dimenzijsko ustrezati spojem na spodnji sliki.

Material mora ustrezati standardom EN 10025-2 do 6.

Da zagotovimo enaki debelini obeh notranjih pločevin, je potrebno obe pločevini narediti iz istega kosa materiala.



Vijaki M20 v luknjah 22 mm

Standardni preizkušanec za določitev bočne nosilnosti smole (prEN 1090-2:2007-08 (E), str. 164).

Pločevine morajo biti ravne in gladke, s čimer omogočimo popolni kontakt med stikovanimi pločevinami.

Pločevine morajo imeti natančno izrezane robove tako, da ti robovi ne ovirajo točnega naleganja pločevin. Robovi morajo biti primerno ravni, da zagotovimo dober stik obdelanih površin pri prednapetju vijakov.

Preizkušanci morajo biti stikovani tako, da vijaki nosijo v nasprotni smeri vzbujanja natezne sile.

Prednapetje vijakov mora biti merjeno neposredno z opremo z natančnostjo $\pm 5\%$.

Vijaki morajo biti prednapeti znotraj $\pm 5\%$ predvidene vrednosti sile prednapetja, $F_{p,C}$, glede na izbrano velikost in kvaliteto vijaka .

4.2.4 Priprava tornih površin v tornih spojih

Kontaktne površine morajo biti pripravljene na način, ki nam zagotavlja torni količnik, ki ga v splošnem želimo dobiti s testi v skladu z anexom G, standarda EN 1090-2.

Potrebni so naslednji previdnostni ukrepi :

- V času stikovanja, morajo biti torne površine čiste. Kakršnikoli ostanki struženja, vrtanja, ipd. morajo biti odstranjeni, da se zagotovi ustrezno naleganje pločevin.
- Nebarvane površine morajo biti očiščene kakršnihkoli slojev rje in drugih prostih snovi na površini pločevine. Paziti je potrebno, da se tornih površin ne poškoduje ali zgladi. Neobdelane površine, v okolici spoja, morajo ostati nedotaknjene, dokler kontrola spoja ni končana.

4.2.5 Pritegovanje prednapetih vijakov

4.2.5.1 Splošno

Razen, če ni definirano drugače, se minimalno silo prednapetja $F_{p,C}$ določi kot

$$F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s, \quad (4.1)$$

kjer je:

f_{ub} nominalna natezna trdnost vijaka

A_s računski natezni presek

Ta nivo prednapetja mora biti uporabljen v vseh tornih spojih razen, če je predpisana nižja vrednost sile prednapetja. V tem primeru morajo biti specificirane tudi zahteve glede vijačnih sestavov, metod pritegovanja, parametrov pritegovanja in način kontrole vijakov.

Privojni moment se izračuna glede na k- razred, ki je odvisen od izbrane metode prednapetja (spodnja tabela).

k-razred za metodo prednapetja (Tabela 20, EN 1090-2:2007, str. 59)

Metoda prednapetja	k-razred
Momentna	K2
Kombinirana	K1 ali K2

Pri momentni metodi privijanje vijakov poteka v dveh korakih. V začetnem koraku privijemo vijake na 75% privojnega momenta M_i . Prvi korak mora biti kompletno izvršen na vseh vijakih spoja, pred začetkom drugega koraka. V drugem koraku privijemo vijake na 100% privojnega momenta M_i .

Pri kombinirani metodi privijanje vijakov prav tako poteka v dveh korakih. V začetnem koraku privijemo vijake na 75% privojnega momenta M_i . V drugem koraku zavrtimo matico vijaka za kot, določen v referenčnem standardu.

Privijanje vijakov mora biti izvedeno z vrtenjem matice vijaka razen, če je dostop do matice vijaka onemogočen. Pri vrtenju glave vijaka so potrebni dodatni ukrepi, glede na izbrano metodo prednapenjanja vijakov.

Prednapenjanje je potrebno izvesti postopoma, od najbolj togega dela spoja do najmanj togega dela. Za doseg enakomernega prednapetja vijakov je potrebno izvesti več kot en cikel prednapenjanja.

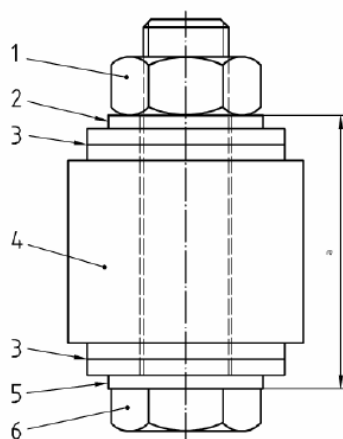
V primeru, da prednapet vijačni sestav razstavimo, je potrebno celotni sestav zavreči.

4.2.5.2 Določitev momenta prednapetja

Testni napravi se lahko doda distančne ploščice, da zagotovimo ustrezno prileganje vijaka v napravi (Slika str. 26).

Testiran vijačen sestav in distančne ploščice morajo biti pozicionirane tako, da je

- kompozicija vijačnega sestava podobna uporabi v praksi,
- posneta podložka oziroma posneta distančna ploščica nameščena pod glavo vijaka,
- pod matico nameščena podložka, kadar se pri vijačenju obrača matico,
- debelina pločevine, vključno s podložkami in distančnimi ploščicami, v skladu z referenčnim standardom proizvoda.



- 1 Matica (preprečeno vrtenje relativno glede na merilno napravo, kadar se vrti glavo vijaka)
- 2 Podložka pod glavo vijaka
- 3 Distančne ploščice
- 4 Naprava, za merjenje natezne sile v vijaku
- 5 Podložka pod glavo vijaka
- 6 Glava vijaka (preprečeno vrtenje relativno glede na merilno napravo, kadar se vrti matico)

Tipični sestav merilne naprave (prEN 1090-2:2007-08 (E), str. 169).

4.2.5.3 Testna procedura po EN 14399-2:2005

Testi naj se izvajajo pri ambientni temperaturi 10°C do 35°C .

Vijačenje se izvaja z enakomernim vrtenjem matice vijaka. Meritve je potrebno skozi celoten test zapisovati.

Hitrost vrtenja naj bo med 1 min^{-1} in 10 min^{-1} .

Med testom se niti vijak niti podložka pod matico ne smeta vrteti. Če med testom pride do rotacije ali vijaka ali podložke pod matico, je potrebno fenomen zabeležiti in test nadomestiti z novim testom.



Slika 4.1: Merilna naprava za določanje momenta prednapetja vijakov

4.2.5.4 Ovrednotenje rezultatov testov

Meritve privojnega momenta so bile opravljene na Inštitutu za metalne konstrukcije v Ljubljani. Testirani so bili trije vijačni sklopi. Rezultati meritev so v našem primeru posamezni koeficienti trenja v navoju vijaka pri prednapetju vijaka k_i (Tabela 4.1). Potek sile v odvisnosti od momenta privitja je prikazan na grafu str. 28. Privojni moment M_i lahko izračunamo neposredno iz dobljenih koeficientov trenja, kot sledi

$$M_i = k_i d F_{p,C}, \quad (4.2)$$

Kjer je:

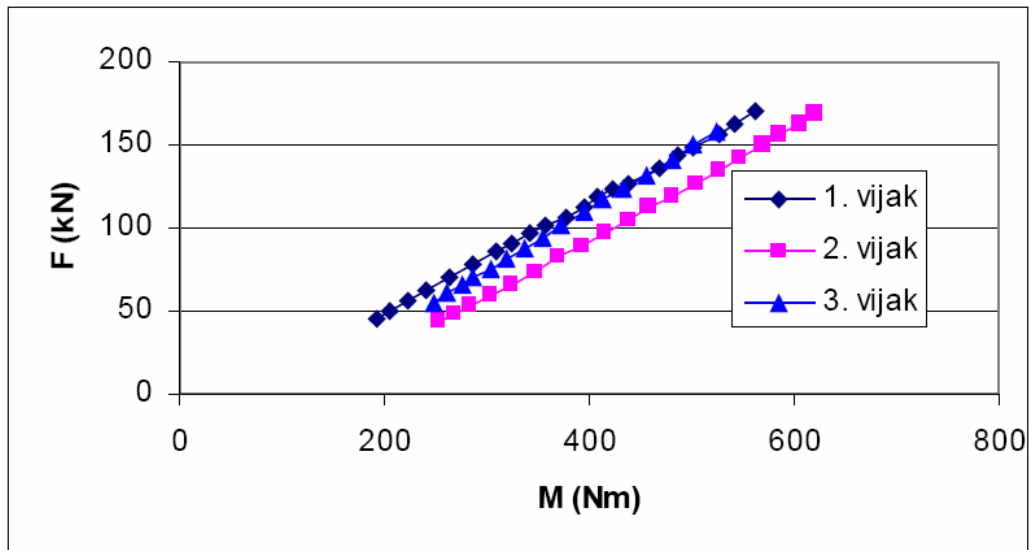
k_i koeficienti trenja v navoju vijaka

d nominalni premer vijaka

$F_{p,C}$ sila prednapetja

Tabela 4.1: Koeficienti trenja v navoju vijaka

	Vijak 1	Vijak 2	Vijak 3	Srednja vrednost k_m
Koeficient trenja k_i	0,168	0,187	0,166	0,173



Potek sile v vijaku v odvisnosti od momenta privitja (IMK, poročilo št. P 27xxx, 12/2007)

Kriterije sprejemljivosti dobljenih vrednosti privojnih momentov, za momentno oziroma kombinirano metodo prednapetja, prikazuje sledeča tabela.

Dovoljena razlika e_M med najnižjo in najvišjo vrednostjo izmerjenega privojnega momenta (Tabela H.1, EN 1090-2:2007, str. 170)

Število testov	3	4	5	6
$e_M = (M_{\max} - M_{\min}) / M_m$	0,25	0,30	0,35	0,40

Posamezne vrednosti momentov prednapetja izračunamo iz enačbe 4.2, kot sledi

$$M_1 = k_1 d F_{pC} = 0,168 \cdot 0,02m \cdot 171,5kN = 576N m \quad (4.3)$$

$$M_2 = k_2 d F_{pC} = 0,187 \cdot 0,02m \cdot 171,5kN = 641N m \quad (4.4)$$

$$M_3 = k_3 d F_{pC} = 0,166 \cdot 0,02m \cdot 171,5kN = 569N m \quad (4.5)$$

Srednja vrednost

$$M_m = \frac{\sum_i M_i}{n} = \frac{576N m + 641N m + 569N m}{3} = 595N m \quad (4.6)$$

Razlika med najnižjo in najvišjo vrednostjo izmerjenega privojnega momenta, za tri teste, je

$$e_M = \frac{M_{\max} - M_{\min}}{M_m} = \frac{641N m - 569N m}{595N m} = 0,12 \leq 0,25 \quad \checkmark \quad (4.7)$$

4.2.5.5 Določitev privojnega momenta

Vrednost privojnega momenta M_i , ki zagotavlja potrebno nominalno minimalno silo prednapetja $F_{p,C}$, se določi z upoštevanjem k-faktorja (4.2.5.1). Mi smo izbrali kombinirano metodo prednapetja zato, moramo privojni moment določiti za razred K1. Privojni moment je torej

$$M_i = k_m d F_{p,C} = 0,173 \cdot 0,02m \cdot 171,5kN = 593N m \quad (4.8)$$

4.2.5.6 Kombinirana metoda

Privijanje vijakov poteka v dveh korakih:

V začetnem koraku privijanja uporabimo momentni ključ, nastavljen na 75% privojnega momenta M_i . Prvi korak mora biti kompletno izvršen na vseh vijakih spoja, pred začetkom drugega koraka. Prvi korak prednapenjanja je priporočljivo izvesti v vsaj dveh korakih, zaradi enakomernejšega prednapetja vijakov.

Mi smo prvi korak prednapetja izvedli v dveh fazah. V prvi fazi prednapetja smo vse vijake privili s 50% privojnega momenta, kar znaša

$$M = 50\% M_i = 0,5 \cdot 593 Nm = 296,5 Nm . \quad (4.9)$$

Dejansko smo v začetni fazi vijake prednapeli z momentom $300 Nm$, zaradi nizke natančnosti skale momentnega ključa. V drugi fazi prvega koraka prednapetja pa smo, kot je zahtevano v standardu, vse vijake prednapeli na 75% privojnega momenta, kar znaša

$$M = 75\% M_i = 0,75 \cdot 593 Nm = 445 Nm . \quad (4.10)$$



Slika 4.2: Fiksiranje preizkušanca in prednapenjanje vijakov

V drugem in zadnjem koraku, se matico vijaka dodatno zavrti za kot, določen v standardu. Pri tem je potrebno označiti pozicijo glave in matice vijaka, kar nam omogoča lažjo kontrolo izvedene rotacije. Poleg tega, z označbami lažje kontroliramo potencialno rotacijo glave vijaka pri obračanju matice vijaka, in obratno. Potrebno dodatno rotacijo določimo iz tabele str. 31.

Kot je razvidno iz omenjene tabele, je v našem primeru dodatna rotacija matice vijaka 90° , saj je skupni nominalna debelina pločevin in podložk večja od dvakratnika nominalnega premera vijaka, tj.

$$\left. \begin{aligned} t &= 4mm + 10mm + 20mm + 10mm + 4mm = 48mm \\ 2d &= 2 \cdot 20mm = 40mm \end{aligned} \right\} 2d \leq t \leq 6d$$

Kombinirana metoda: dodatna rotacija (Tabela 21, EN 1090-2:2007, str. 61)

Skupna nominalna debelina t povezanih delov (vključno z vsemi podložkami). $d =$ nominalni premer vijaka	Kot obrata, dodan v drugi fazi prednapetja
$t < 2d$	60°
$2d \leq t \leq 6d$	90°
$6d \leq t \leq 10d$	120°

4.2.6 Testna procedura za določanje tornega količnika spoja

Najprej, je potrebno testirati pet preizkušancev. Štiri preizkušance se obremenjuje z normalno hitrostjo, tj. trajanje testa približno 10 do 15 minut. Peti preizkušanec se testira na lezenje.

Preizkušanci morajo biti testirani v preskuševalnem stroju. Razmerje med obtežbo in zdrsom mora biti zabeleženo.

Zdrs, je definiran kot relativni pomik med bližnjima točkama na zunanji in notranji pločevini v smeri vzbujanja obtežbe. Pomiki morajo biti merjeni na vsakem koncu preizkušanca ločeno. Za vsak konec preizkušanca, se pomik izračuna kot povprečje pomikov na vsaki strani preizkušanca.

Obtežba pri zdrsuh za posamezni spoj, F_{Si} , je definirana kot obtežba, pri kateri je pomik enak 0,15 mm.

Peti preizkušaneec obremenimo z 90% povprečne obtežbe pri zdrsuh, F_{Sm} , prvih štirih preizkušancev (povprečje osmih vrednosti).

V primeru, da je pri petem preizkušancu razlika pomikov, merjena po petih minutah in po treh urah po obremenitvi s polno silo, manjša od 0,002 mm, se obtežba pri zdrsuh za peti preizkušaneec določi ne enak način kot pri prvih štirih preizkušancih. V nasprotnem primeru se mora izvesti podaljšan preizkus lezenja, v skladu s točko 4.2.7.

Če standardna deviacija s_{Fs} desetih vrednosti, dobljenih pri prvih petih preizkušancih, presega 8% povprečne vrednosti, morajo biti testirani dodatni preizkušanci. Maksimalno število testnih preizkušancev, vključno s prvimi petimi, se izračuna kot

$$n > \left(\frac{s}{3,5} \right)^2, \quad (4.1)$$

kjer je:

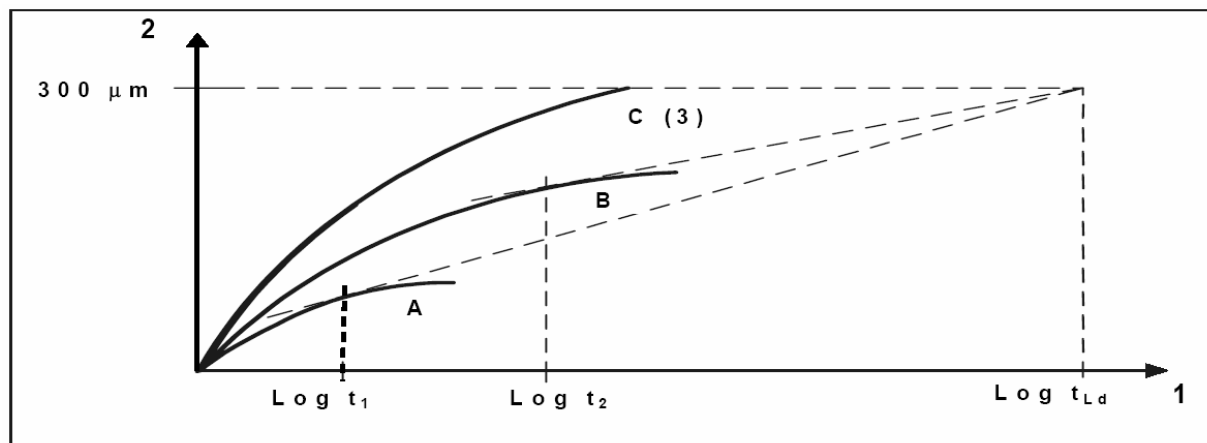
n število preizkušancev

s standardna deviacija s_{Fs} prvih petih preizkušancev, torej desetih vrednosti, kot procent povprečne vrednosti

4.2.7 Podaljšan preizkus lezenja

Pri podaljšanem testu lezenja je potrebno testirati vsaj tri preizkušance, torej šest spojev.

Preizkušavec se obremeni z obtežbo, ki se določi glede na rezultate testov iz 4.2.4 in na podlagi izkušenj iz predhodnih podaljšanih testov lezenja.



Opomba: t_{Ld} življenjska doba konstrukcije
 t_1 minimalno trajanje za test A
 t_2 minimalno trajanje za test B
(3) Obtežba (torni količnik) za test C je prevelik-a.

Pojasnilo:

1: logaritmični čas

2: pomik

Uporaba krivulje "pomik – logaritmični čas" za razširjen test lezenja (prEN 1090-2:2007-8 (E), str. 166)

Izrisati je potrebno krivuljo "pomik – logaritmični čas" (zgornja slika), s čimer dokažemo, da izbrana obtežba, ki je bila določena z uporabo predvidene trdnosti injekcijske mase pri bočnem pritisku, ne bo povzročila pomika večjega od 0,3 mm v življenjski dobi konstrukcije 50 let, če le ta ni definirana drugače. Krivuljo "pomik – logaritmični čas" se lahko linearno ekstrapolira takoj, ko je možno tangento določiti z zadostno natančnostjo.

4.2.8 Rezultati testov

Individualna vrednost tornega količnika se določi kot:

$$\mu_i = \frac{F_{Si}}{4 F_{p,C}}$$

Povprečna vrednost obtežbe pri zdrsuh F_{Sm} in njena standardna deviacija s_{Fs} se določita kot:

$$F_{Sm} = \frac{\sum F_{Si}}{n}, \quad s_{Fs} = \sqrt{\frac{(F_{Si} - F_{Sm})^2}{n-1}}$$

Povprčna vrednost tornega količnika μ_m in njegova standardna deviacija se določita kot:

$$\mu_m = \frac{\sum \mu_i}{n}, \quad s_{\mu} = \sqrt{\frac{(\mu_i - \mu_m)^2}{n-1}}$$

Karakteristična vrednost tornega količnika se določi ob upoštevanju 5% fraktile z vrednostjo zaupanja 75%.

Za deset vrednosti, $n = 10$, petih preizkušancev, se lahko kot karakteristična vrednost vzame srednjo vrednost minus 2,05 krat standardna deviacija.

Razen, če ni potreben podaljšan test lezenja, se za nominalno vrednost trdnosti injekcijske mase pri bočnem pritisku vzame njena karakteristična vrednost.

Pri podaljšanem testu lezenja, se za nominalno vrednost trdnosti injekcijske mase pri bočnem pritisku vzame vrednost, ki dokazano zadosti predvideni omejitvi lezenja, glej 4.2.7.

Torni količnik, določen z uporabo vijakov trdnostnega razreda 10.9, se lahko uporabi tudi za vijake trdnostnega razreda 8.8.

Alternativno se lahko izvede ločene teste z vijaki trdnostnega razreda 8.8. Torni količnik, določen z uporabo vijakov trdnostnega razreda 8.8, ni dopustno uporabljati za vijake trdnostnega razreda 10.9.

4.3 Določitev nosilnosti na bočni pritisk po EN 1090-2

4.3.1 Splošno

Postopek izvedbe eksperimentov za določitev računske vrednosti bočne nosilnosti injekcijske mase $f_{b, resin}$ je identičen postopku za določitev tornega količnika (glej 4.2). Vrednost $f_{b, resin}$ mora biti takšna, da bo lezenje v predvideni življenjski dobi spoja oziroma konstrukcije manjše od 0,3 mm.

4.3.2 Pomembni podatki

Veljavnost rezultatov testov za barvane površine je omejena na primere, kjer so vse pomembne spremenljivke podobne spremenljivkam testnih vzorcev.

Kot pomembne spremenljivke se smatrajo sledeče:

- Kompozicija premaza, pri čemer se upošteva tudi metoda proizvodnje premaza in uporabljena razredčila.
- Postopek obdelave površin in postopki nanašanja primarnih nanosov premazov v primerih večslojnih nanosov.
- Maksimalna debelina premazov.
- Postopek sušenja. Postopek sušenja mora biti zabeležen ali z referenco na javno objavljena priporočila ali z detajlnim opisom dejansko izvedenega postopka.
- Minimalni časovni interval med nanosom premazov in obremenitvijo spoja.
- Kvaliteta vijakov.

4.3.3 Preizkušanci

Preizkušanci morajo dimenzijsko ustrezati spojem, prikazanim na sliki str. 23 v 4.2.3

Material mora ustrezati standardom EN 10025-2 do 6.

Da zagotovimo enaki debelini obeh notranjih pločevin, je potrebno obe pločevini narediti iz istega kosa materiala. Montirani morata biti v originalni relativni poziciji.

Pločevine morajo biti ravne in gladke, s čimer omogočimo popolni kontakt med stikovanimi pločevinami. Le tako preprečimo uhajanje smole med pločevinami.

Pločevine morajo imeti natančno izrezane robove tako, da ti robovi ne ovirajo točnega naleganja pločevin. Robovi morajo biti primerno ravni, da zagotovimo dober stik obdelanih površin pri prednapetju vijakov.

Postopek sušenja mora biti zabeležen ali z referenco na javno objavljena priporočila ali z detajlnim opisom dejansko izvedenega postopka.

Preizkušanci morajo biti stikovani tako, da vijaki nosijo v nasprotni smeri vzbujanja natezne sile.

4.3.4 Testna procedura za določanje nosilnost na bočni pritisk $f_{b, resin}$

Testna procedura je enaka kot pri določevanju tornega količnika (4.2.6)

4.3.5 Podaljšan preizkus lezenja

Postopek podaljšanega preizkusa lezenja je enak kot pri določevanju tornega količnika (4.2.7)

4.3.6 Rezultati testov

Vrednotenje rezultatov testov je enako kot pri tornem količniku (4.2.8).

5 Dimenzioniranje po EC3

5.1 Splošno

Injektirani vijaki se lahko uporabljajo kot nadomestilo običajnim vijakom in zakovicam v kategoriji spojev A, B in C.

Kategorije vijačenih spojev (SIST EN 1993-1-8:2004, str. 24).

Kategorija	Kriterij	Opombe
Strižni spoji		
A običajni strižni spoji	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Prednapenjanje ni zahtevano. Uporabljajo se vijaki trdnostnih razredov od 4.6 do 10.9.
B torni spoji v mejnem stanju uporabnosti	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Prednapeti vijaki 8.8 ali 10.9.
C torni spoji v mejnem stanju nosilnosti	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Prednapeti vijaki 8.8 ali 10.9.

5.2 Projektna nosilnost po SIST EN 1993-1-8

Podan postopek projektiranja se uporablja za spoje z vijaki trdnostnega razreda 8.8 in 10.9. Komplet vijakov, vključno z maticami in podložkami, mora izpolnjevati zahteve iz referenčnih standardov 4. skupine (SIST EN 14399-1)

Mejna strižna obremenitev vijakov v kategoriji spojev A ne sme presežati manjše od naslednjih dveh vrednosti tj. projektna strižna nosilnost vijaka $F_{v,Ed}$ in projektna nosilnost injekcijske mase na bočni pritisk $f_{b,Rd,resin}$.

Prednapeti injektirani vijaki se uporabljajo za spoje kategorije B in C, za katere je potrebno uporabiti vijake trdnostnega razreda 8.8 in 10.9.

Projektna strižna obremenitev vijakov v kategoriji spojev B pri mejnem stanju uporabnosti in projektna strižna obremenitev vijakov v kategoriji spojev C pri mejnem stanju nosilnosti ne smeta presegati vsote torne nosilnosti vijakov in nosilnosti injekcijske mase na bočni pritisk. Dodatno strižna obremenitev vijakov v kategoriji spojev B in C v mejnem stanju nosilnosti ne sme presegati projektne strižne nosilnosti in projektne nosilnosti na bočni pritisk.

Projektno nosilnosti injekcijske mase $F_{b,Rd,resin}$ lahko določimo v skladu z naslednjim izrazom:

$$F_{b,Rd,resin} = \frac{k_t k_s t_{b,resin} \beta f_{b,resin}}{\gamma_{M4}}, \quad (5.1)$$

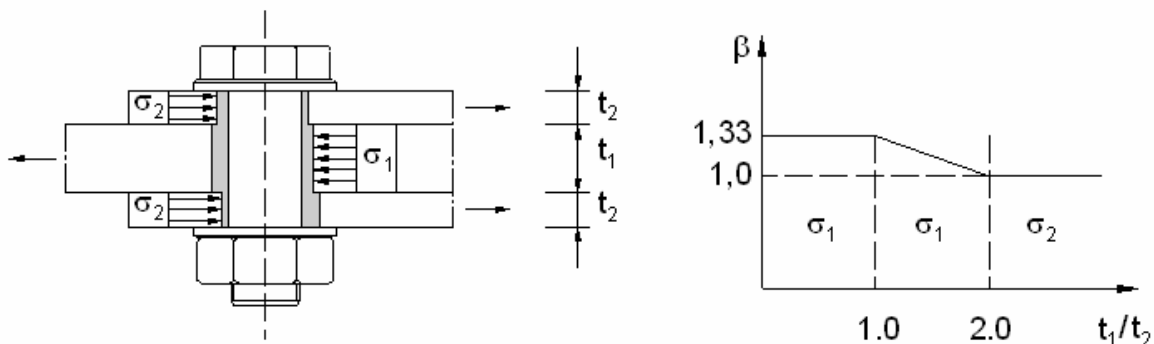
kjer je:

- $F_{b,Rd,resin}$ projektna nosilnost injektiranega vijaka na bočni pritisk
- β koeficient, odvisen od razmerja debelin spojenih pločevin (preglednica spodaj)
- $f_{b,Rd,resin}$ trdnost injekcijske mase pri bočnem pritisku
- $t_{b,resin}$ sodelujoča debelina injekcijske mase pri bočnem pritisku (preglednica spodaj)
- k_t 1,0 pri mejnem stanju uporabnosti (dolgotrajna obremenitev)
1,2 pri mejnem stanju nosilnosti
- k_s 1,0 pri običajnih luknjah ali $(1,0 - 0,1 \cdot m)$ pri povečanih luknjah
- m razlika, v mm, med premerom običajne in povečane luknje. V primeru kratkih podaljšanih lukenj, določenih v referenčnih standardih 7. skupine, je $m = 0,5$

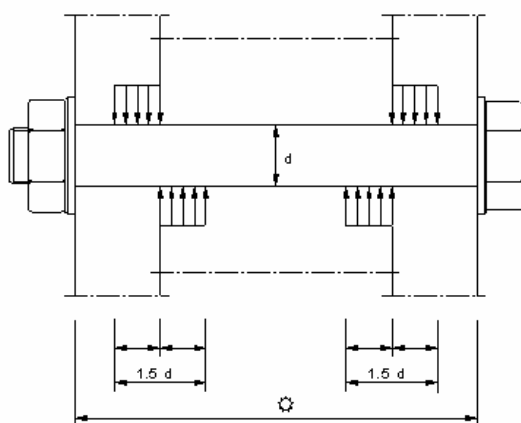
Vrednosti β in $t_{b,resin}$ (SIST EN 1993-1-8:2004, str. 31).

t_1 / t_2	β	$t_{b,resin}$
$\geq 2,0$	1,0	$2 t_2 \leq 1,5 d$
$1,0 < t_1 / t_2 < 2,0$	$1,66 - 0,33 (t_1 / t_2)$	$t_1 \leq 1,5 d$
$\leq 1,0$	1,33	$t_1 \leq 1,5 d$

Pri izračunu nosilnosti na bočni pritisk za dolge vijake, s spojno dolžino večjo od $3d$, je potrebno sodelujočo debelino $t_{b,resin}$ pri bočnem pritisku navzgor omejiti z vrednostjo $3d$.



**Vrednosti koeficienta β v odvisnosti od razmerja debelin spojenih pločevin
(SIST EN 1993-1-8:2004, str. 31).**



**Zgornja meja sodelujoče debeline pločevin pri dolgih injektiranih vijakih
(SIST EN 1993-1-8:2004, str. 31).**

6 Eksperimentalno delo

6.1 Splošno

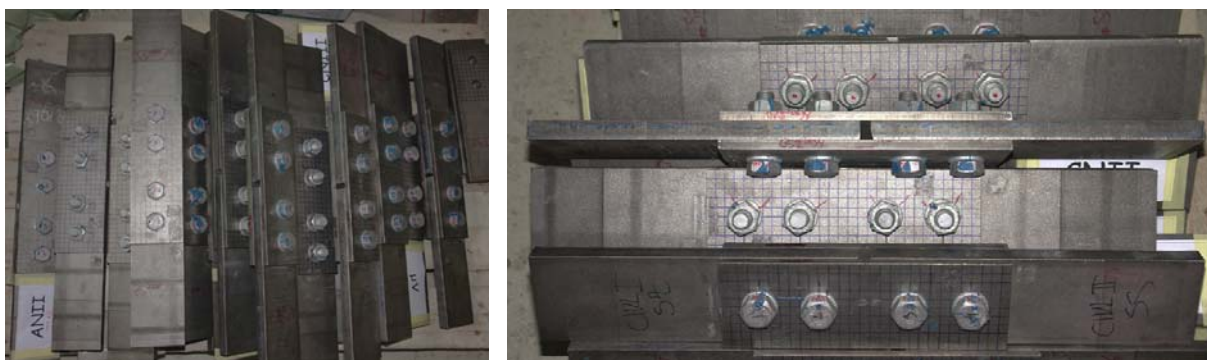
Eksperimentalno delo smo izvajali v laboratoriju Fakultete za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani. Pločevine in vijake je dobavil Trimo d.d. Vsi spoji so bili sestavljeni v laboratoriju FGG. Pločevine, uporabljene v navadnih strižnih spojih, imajo na zunanji ploskvi narisano mrežo, gostote $1\text{cm} \times 1\text{cm}$. Pravi pomen mreže se opazi šele pri testih, kjer je prišlo do plastičnih deformacij jekla. O tem v nadaljevanju. Na 21 preizkušancih smo testirali štiri različne vrste spojev, in sicer (preglednica 6.1):

- torne spoje,
- injektirane strižne spoje in
- injektirane torne spoje,

na katerih smo opravili naslednje tipe testov, kot sledi

- določanje obtežbe pri zdrsu,
- lezenje in
- ciklične teste.

Uporabljeni spoji so dimenzijsko ustrezali direktivam standarda EN 1090-2, opisanim v poglavjih 4.2 in 4.3 (Slika 6.1).



Slika 6.1: Standardni preskušanci

Preglednica 6.1: Pregled opravljenih testov

Št.	Spoj	Vrsta spoja	Tip testa
1	<i>ANN</i>	Strižni	Navadni vijaki v strigu; monotono natezni
2	<i>ANI</i>	Injektirani	Monotono natezni
3	<i>ANII</i>	Injektirani	Monotono natezni
4	<i>ANIII</i>	Injektirani	Monotono natezni
5	<i>ANIV</i>	Injektirani	Monotono natezni
6	<i>ANEI</i>	Injektirani	Monotono natezni; ekscentrični
7	<i>ANEII</i>	Injektirani	Monotono natezni; ekscentrični
8	<i>ANCikII</i>	Injektirani	Ciklični; konstantna frekvenca 0,05 Hz ,
9	<i>ANCikIII</i>	Injektirani	Ciklični; spremenljiva frekvenca do $\nu = 4$ Hz ,
10	<i>ANCikIII</i>	Injektirani	Ciklični; naraščajoča amplituda; frekvenca 0,05 Hz
11	<i>ANCikIV</i>	Injektirani	Ciklični; naraščajoča amplituda; frekvenca 0,05 Hz
12	μI	Torni	Monotono natezni
13	μII	Torni	Monotono natezni
14	μIII	Torni	Monotono natezni
15	μIV	Torni	Monotono natezni
16	<i>CNI</i>	Torni	Monotono natezni; injektirani vijaki
17	<i>CNII</i>	Torni	Monotono natezni; injektirani vijaki
18	<i>CNIII</i>	Torni	Monotono natezni; injektirani vijaki
19	<i>CNIV</i>	Torni	Monotono natezni; injektirani vijaki
20	<i>ACreep</i>	Injektirani	Lezenje
21	$\mu Creep$	Torni	Lezenje
22	<i>CCreep</i>	Torni	Lezenje; injektirani

Najprej, je bila predvidena uporaba jekla S235 in visoko nosilnih vijakov 8.8. Zaradi težav z dobavo, smo bili primorani uporabiti visoko nosilne vijake 10.9. Posledično, smo morali preiti na kvaliteto jekla S355, saj je bilo potrebno zagotoviti, da bo v spojih merodajna nosilnost

injektiranega vijaka na bočni pritisk. To, bi sicer lahko dosegli tudi s spremembo dimenzij preizkušancev, na primer z večjo širino pločevin b in večjim e_1 , vendar so dimenzije preizkušancev predpisane v standardu EN 1090-2. Pri kontroli nosilnosti, smo predvideli nosilnost injekcijske mase na bočni pritisk $f_{b, resin} = 200 MPa$, s čimer smo si zagotovili rezervo, pri zagotavljanju predvidenega merodajnega porušnega mehanizma, saj je bila pričakovana nosilnost injekcijske mase na bočni pritisk, v razponu od $f_{b, resin} = 150 MPa$ do maksimalno $f_{b, resin} = 200 MPa$. Računske karakteristične nosilnosti naših preizkušancev so, kot sledi

- Strižni injektirani spoj

$$n \cdot F_{b, Rk, resin} = 192 \text{ kN} \leq F_{b, Rk} = 645.7 \text{ kN} \leq \begin{cases} N_{pl, Rk} = 710 \text{ kN} \\ N_{u, Rk} = 716 \text{ kN} \\ n \cdot m \cdot F_{v, Rk} = 753.6 \text{ kN} \end{cases}$$

- Prednapeti injektirani spoj, za MSU in MSN (predpostavimo $\mu = 0,5$)

$$n \cdot F_{b, Rk, resin, MSU (MSN)} + n \cdot F_{s, Rk} = 503 (535) \text{ kN} \leq F_{b, Rk} = 645.7 \text{ kN} \leq \begin{cases} N_{pl, Rk} = 710 \text{ kN} \\ N_{u, Rk} = 716 \text{ kN} \\ n \cdot m \cdot F_{v, Rk} = 753.6 \text{ kN} \end{cases}$$

Pred začetkom testiranja smo konice pločevin ravnali v stiskalnici (Slika 6.2), saj jih zaradi neravnosti ni bilo mogoče vpeti v natezno napravo.



Slika 6.2: Ravnanje pločevin

Vsi testi so bili izvedeni v univerzalnem preizkuševalnem stroju imenovanem Instron. Za zapisovanje rezultatov je bil uporabljen sistem Dewetron. (Slika 6.3, 6.4).

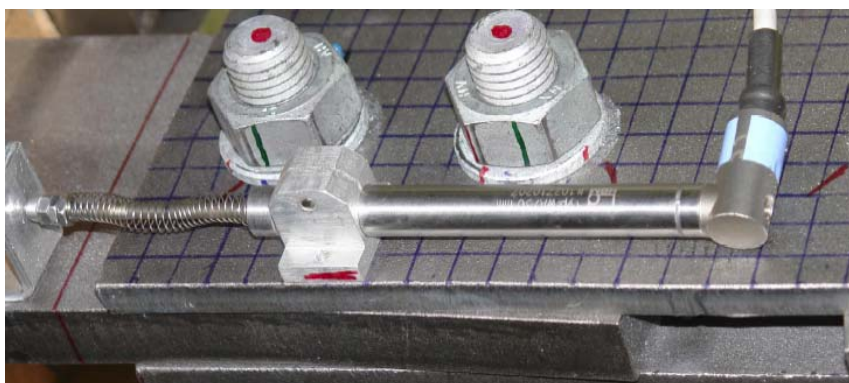


Slika 6.3: Instron



Slika 6.4: Z leve proti desni: Instron, konzola za upravljanje, Dewetron

V primerih določanja sile pri zdrs, smo vodili pomik glavi Instrona. Pomike smo merili z induktivnimi merilci pomikov (Slika 6.5), katerih natančnost je $0,01mm$.



Slika 6.5: Induktivni pretvornik

Pri testih lezenja smo vodili silo v glavi Instrona, saj smo morali vzdrževati konstantno silo cca. 3 ure, po dosegu polne sile. V teh primerih nismo uporabili induktivnih merilcev, temveč

dve mehanski urici Mitutoyo (Slika 6.6) z natančnostjo 1/1000 mm. Merilna urica je sestavljena iz tipala z zobato letvijo, ki sledi deformacijam konstrukcije in iz ohišja, ki ga pritrdimo na stojalo. Beleženje rezultatov je elektronsko.



Slika 6.6: Merilna urica

Ciklične teste smo vodili preko povprečja pomikov dveh ekstenziometrov (Slika 6.7). Ekstenziometer je sestavljen iz dveh nožic, ki sta fiksno pritrjeni na konstrukcijo. Uporabljena ekstenziometra imata bazni pomik $\pm 5 \text{ mm}$.



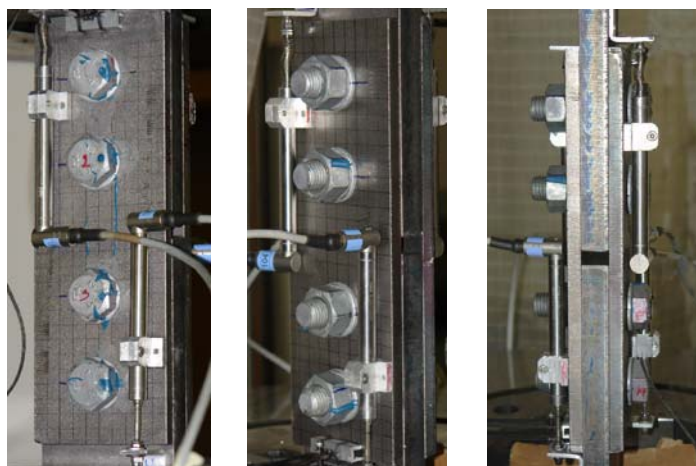
Slika 6.7: Ekstenziometer

6.2 Standardni testi za določanje sile pri zdrs

Silo pri zdrs so določali s standardnimi testi po EN 1090-2 pri strižnih injektiranih, tornih in prednapetih injektiranih spojih.

V primerih določevanja sile pri zdrs, F_{si} , smo vodili pomik glave Instrona. Silo pri zdrs, F_{si} , smo določevali pri strižnih injektiranih, prednapetih injektiranih in tornih spojih. Pomike smo merili z merilci pomikov z natančnostjo $0,01mm$.

Na vsakem preizkušancu so bili pritrjeni štirje induktivni merilci pomikov z označbami IND101, IND102, IND103 in IND104. Induktivni merilci so bili zaradi preglednosti, enostavnosti in lažje obdelave podatkov na vseh preizkušancih nameščeni v enakem zaporedju. Induktivni merilec pomikov IND101 je bil nameščen na sprednji strani preizkušanca, spodaj desno, IND102 na sprednji strani, zgoraj levo, IND103 na zadnji strani, spodaj desno gledano od zadaj, in IND104 na zadnji strani, zgoraj levo (Slika 6.8).



Slika 6.8: Montaža induktivcev (pogled od spredaj, zadaj, s strani)

Pomike smo vodili preko glave Instrona, zato so bili pomiki induktivnih merilcev, zaradi elastičnih deformacij na delih pločevin izven našega merilnega območja in drugih vplivov, tri do petkrat manjši od pomika glave Instrona. Induktivni merilci so bili priklopljeni direktno na sistem Dewetron, ki je preko programske opreme Dewesoft zapisoval podatke o preiskavi, kot

so trajanje preiskave v sekundah, silo v glavi Instrona, pomik glave Instrona in pomike induktivnih merilcev.

6.2.1 Torni spoji

Preizkušanci so bili označeni z oznakami μI , μII , μIII , μIV in μV ,
kjer je:

μ torni spoj, za določitev tornega količnika
 I, II, III, IV zaporedno število testa

Preizkušanci μI , μII , μIII in μIV so bili normalno natezno obremenjeni tako, da smo pomik 0,15 mm dosegli v času 10 do 15 minut.

6.2.1.1 Rezultati testov

Izmerjene sile pri zdrsu F_{Si} , preizkušancev μI , μII , μIII in μIV , so

$$F_{S,\mu I,spodaj} = 259,5 \text{ kN}$$

$$F_{S,\mu I,zgoraj} = 251,2 \text{ kN}$$

$$F_{S,\mu II,spodaj} = 264,3 \text{ kN}$$

$$F_{S,\mu II,zgoraj} = 255,5 \text{ kN}$$

$$F_{S,\mu III,spodaj} = 291,9 \text{ kN}$$

$$F_{S,\mu III,zgoraj} = 286,1 \text{ kN}$$

$$F_{S,\mu IV,spodaj} = 237,0 \text{ kN}$$

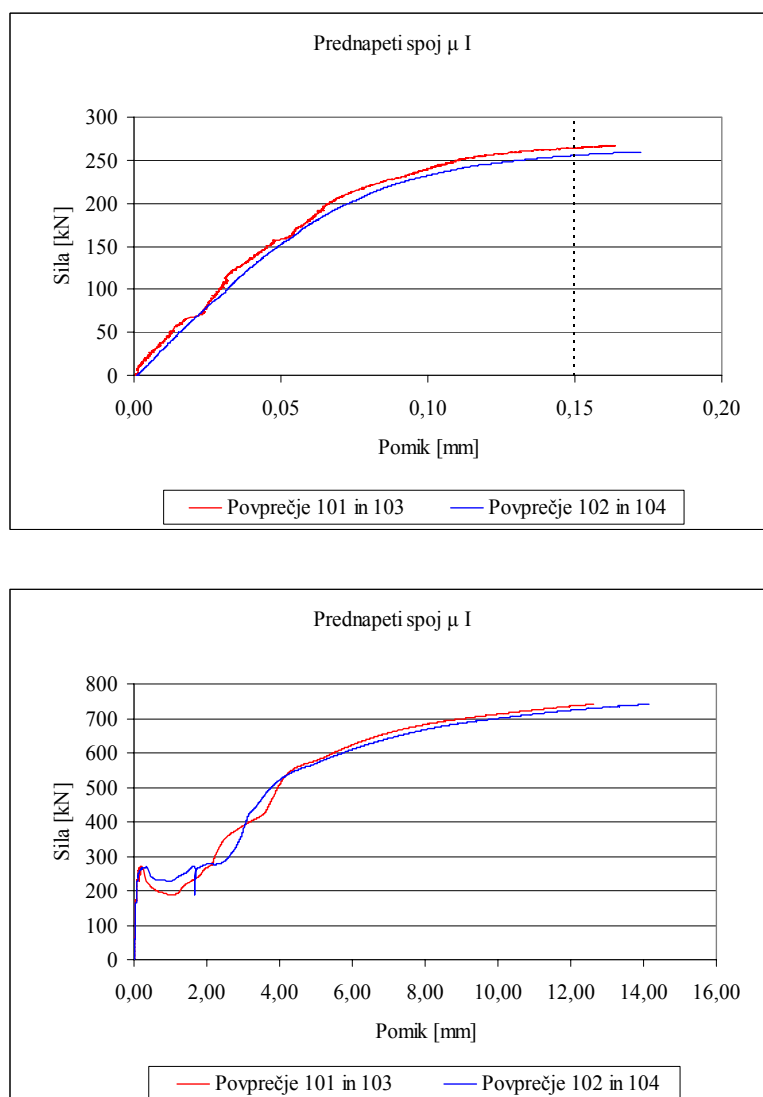
$$F_{S,\mu IV,spodaj} = 244,3 \text{ kN}$$

Povprečna vrednost obtežbe pri zdrsu F_{Sm} , vseh osmih vrednosti je, kot sledi

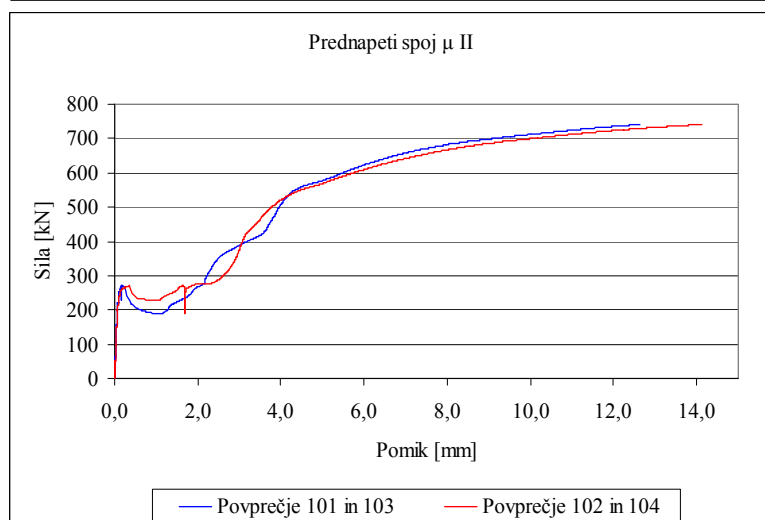
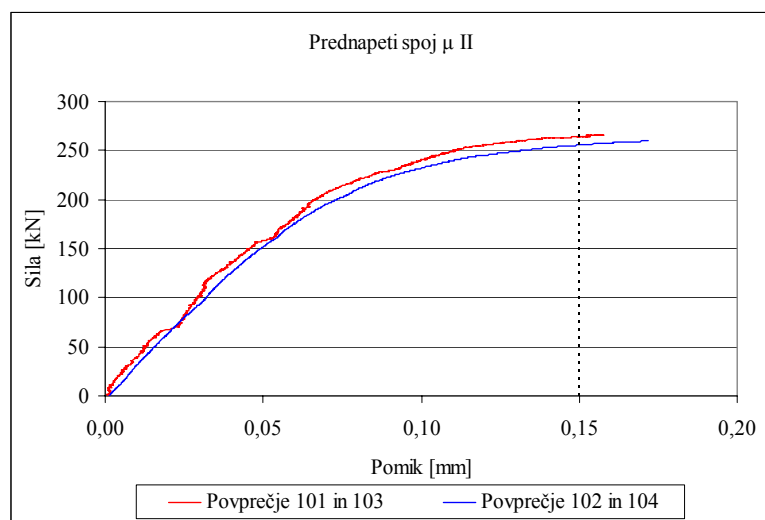
$$F_{Sm} = \frac{\sum F_{Si}}{n} = 261,2 \text{ kN}$$

Diagrami »sila – pomik«, dobljeni za posamezne preskušance μI , μII , μIII in μIV , so prikazani na slikah 6.09 do 6.12. Diagrama na sliki 6.13 prikazujejo povprečne vrednosti diagramov preskušancev μI , μII , μIII in μIV .

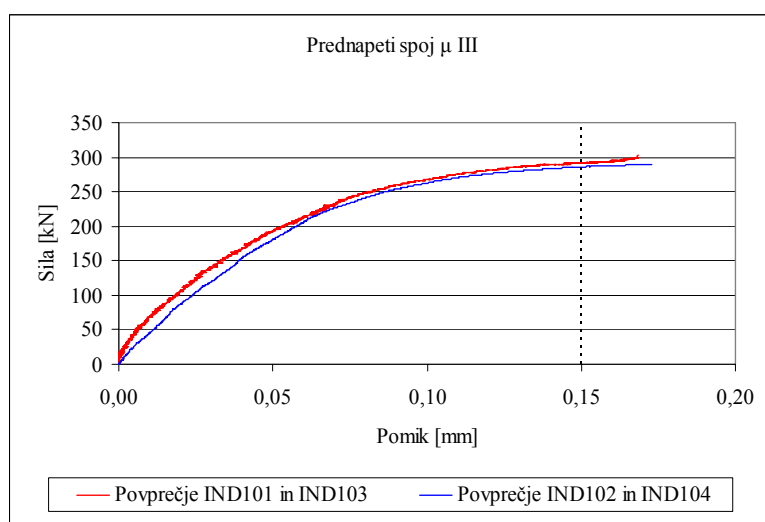
Iz diagramov je razvidno, da pri pomiku 0,15 mm ni zdrsa. Zdrs se pojavi pri pomiku med 0,20 ÷ 0,25 mm (Slika 6.9).



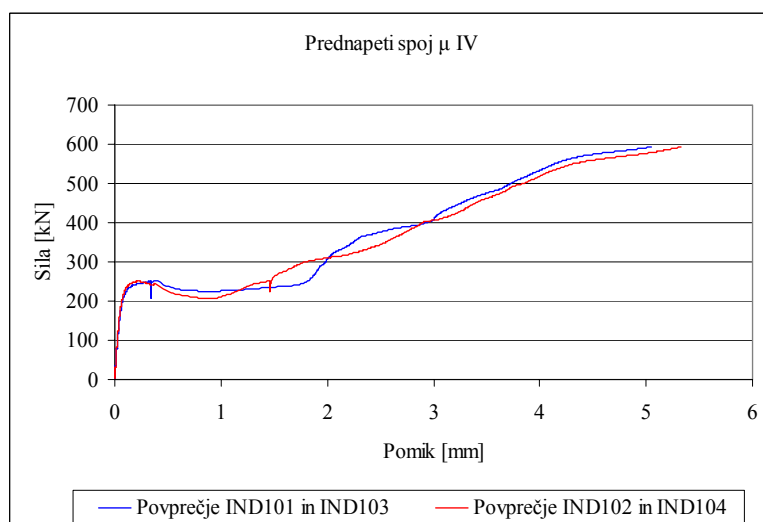
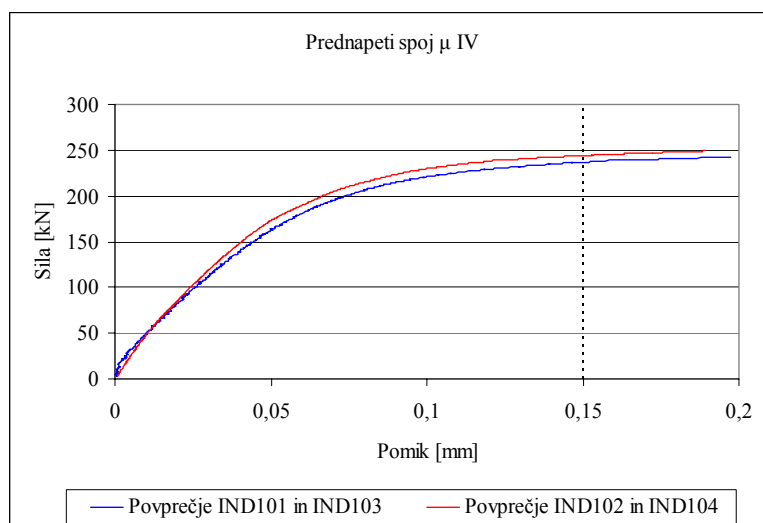
Slika 6.9: Diagram »sila – pomik« za μI



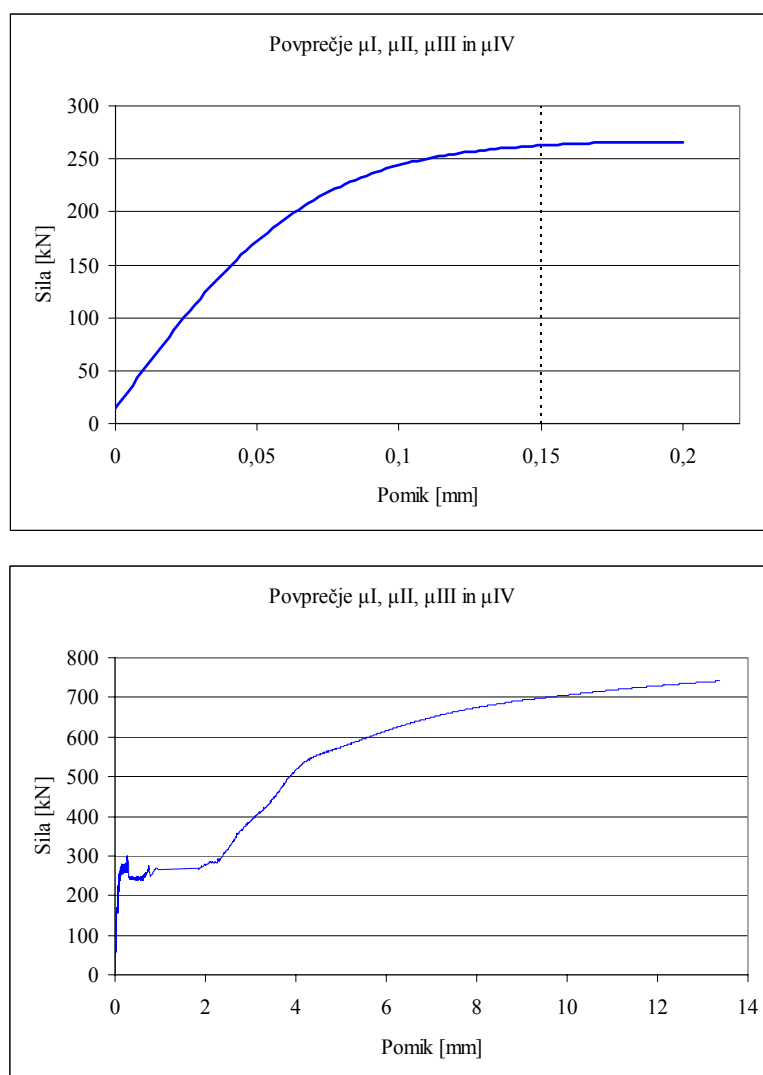
Slika 6.10: Diagram »sila – pomik« za μ II



Slika 6.11: Diagram »sila – pomik« za μ III



Slika 6.12: Diagram »sila – pomik« za μIV



Slika 6.13: Povprečje diagramov μI , μII , μIII in μIV

6.2.2 Strižni injektirani spoji

Preizkušanci so bili označeni kot *ANI*, *ANII*, *ANIII* in *ANIV*, kjer je:

- | | |
|-----------------------|---|
| <i>A</i> | spoj A kategorije |
| <i>N</i> | navadni natezni preizkus |
| <i>E</i> | ekscentrična postavitev vijakov v luknjah za vijake |
| <i>I, II, III, IV</i> | zaporedno število testa |

Preizkušanci *ANI*, *ANII*, *ANIII* in *ANIV* so bili normalno natezno obremenjeni tako, da smo pomik $0,15\text{ mm}$ dosegli v času 10 do 15 minut.

6.2.2.1 Rezultati testov

Izmerjene sile pri zdrsru F_{Si} , preizkušancev *ANI*, *ANII*, *ANIII* in *ANIV*, so

$$F_{S,ANI,spodaj} = 185,1\text{ kN}$$

$$F_{S,ANI,zgoraj} = 166,3\text{ kN}$$

$$F_{S,ANII,spodaj} = 186,9\text{ kN}$$

$$F_{S,ANII,zgoraj} = 182,0\text{ kN}$$

$$F_{S,ANIII,spodaj} = 174,3\text{ kN}$$

$$F_{S,ANIII,zgoraj} = 188,5\text{ kN}$$

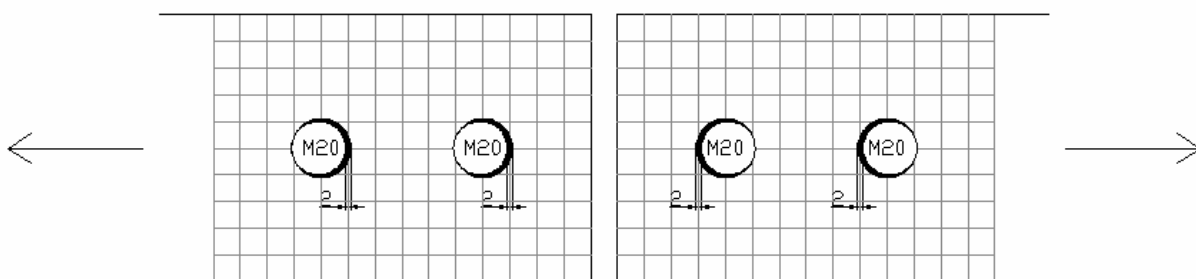
$$F_{S,ANIV,spodaj} = 171,2\text{ kN}$$

$$F_{S,ANIV,spodaj} = 177,7\text{ kN}$$

Povprečna vrednost obtežbe pri zdrsru F_{Sm} je, kot sledi

$$F_{Sm} = \frac{\sum F_{Si}}{n} = 179,0\text{ kN}$$

Dodatno smo naredili teste, pri ekscentrični oziroma zamaknjeni postavitvi vijakov. Tako smo imeli na strani, kjer pri nateznem obremenjevanju vijak pritiska na pločevino, maksimalno možno debelino injekcijske mase, to je 2 mm .



Slika 6.14: Ekscentrična postavitev vijakov pri notranjih pločevinah

Izmerjene sile pri zdrsru F_{Si} , preizkušancev *ANEI* in *ANEII*, so

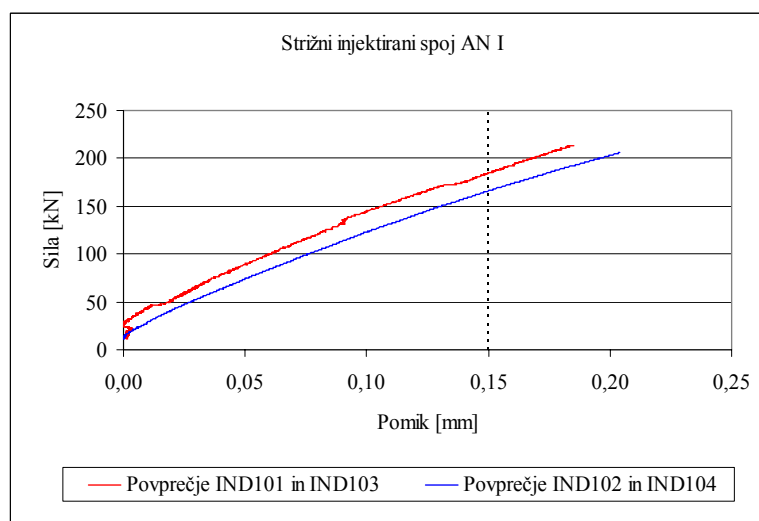
$$F_{S,ANEI,spodaj} = 152,6 \text{ kN} \qquad F_{S,ANEI,zgoraj} = 152,6 \text{ kN}$$

$$F_{S,ANEII,spodaj} = 155,7 \text{ kN} \qquad F_{S,ANEII,zgoraj} = 152,7 \text{ kN}$$

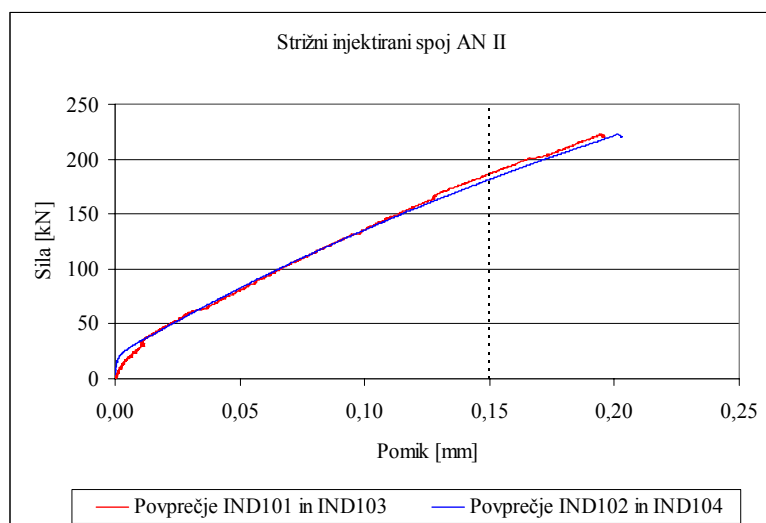
Povprečna vrednost obtežbe pri zdrsru F_{Sm} je, kot sledi

$$F_{Sm} = \frac{\sum F_{Si}}{n} = 153,4 \text{ kN}$$

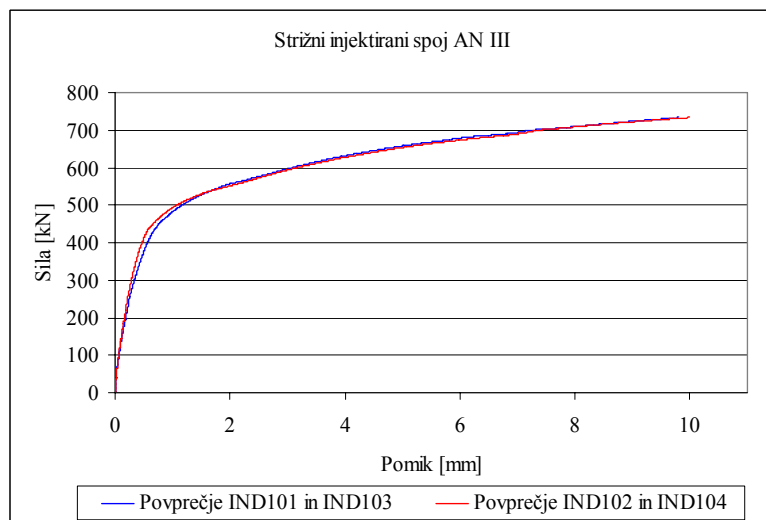
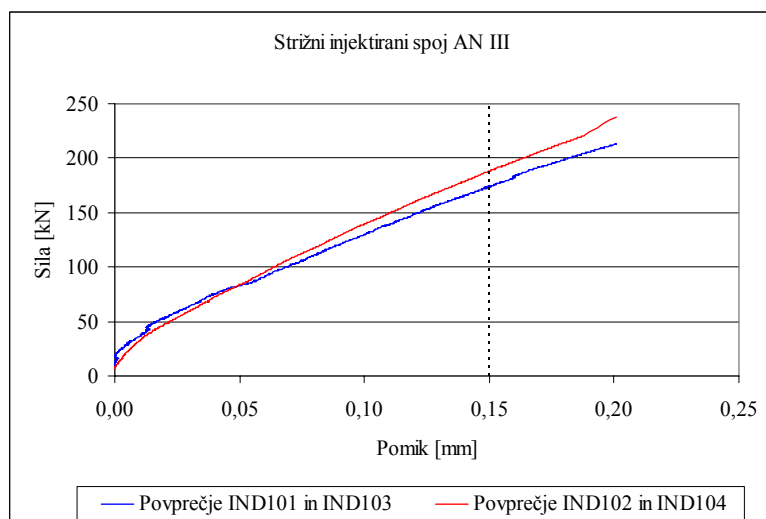
Diagrami »sila – pomik«, posameznih preizkušancev *ANI*, *ANII*, *ANIII* in *ANIV* ter *ANEI* in *ANEII*, so prikazani na slikah 6.15 do 6.19 in 6.20 do 6.22.



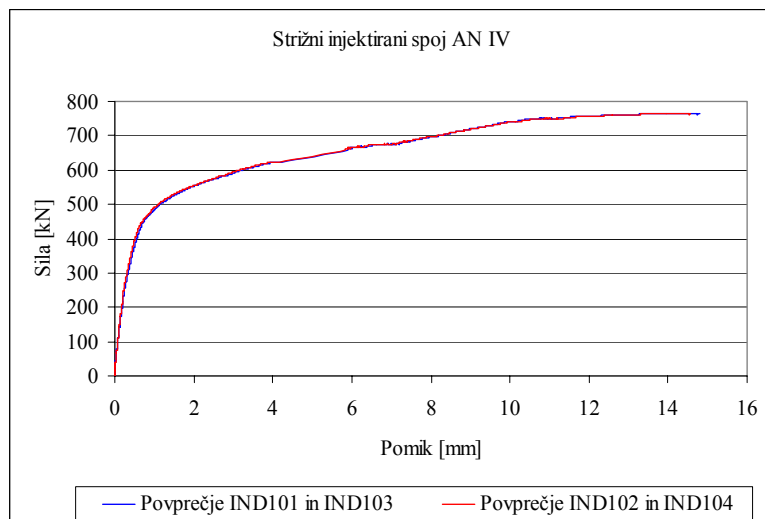
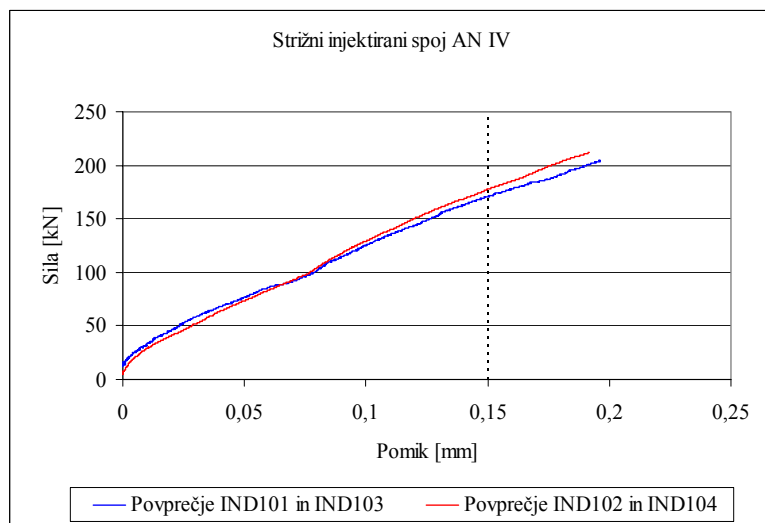
Slika 6.15: Diagram »sila – pomik« za *ANI*



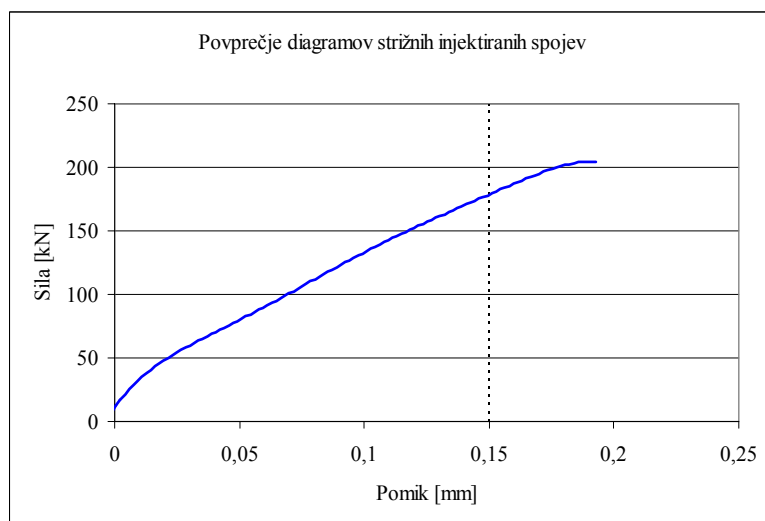
Slika 6.16: Diagram »sila – pomik« za ANII



Slika 6.17: Diagram »sila – pomik« za ANIII

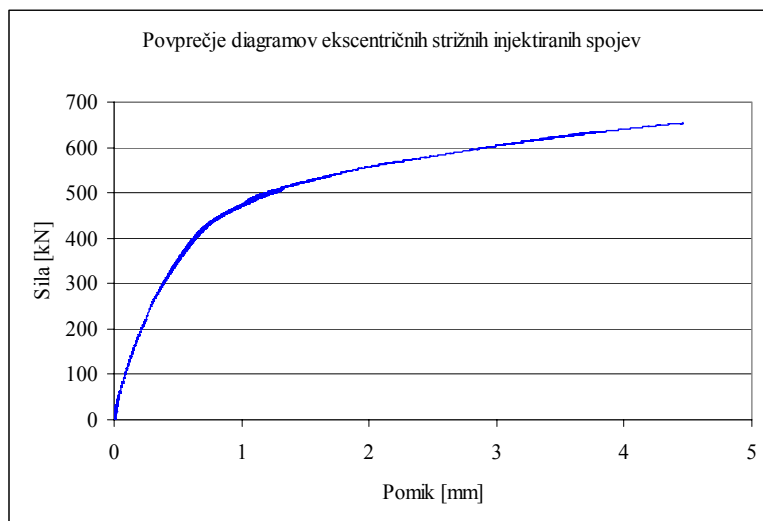


Slika 6.18: Diagram »sila – pomik« za ANIV

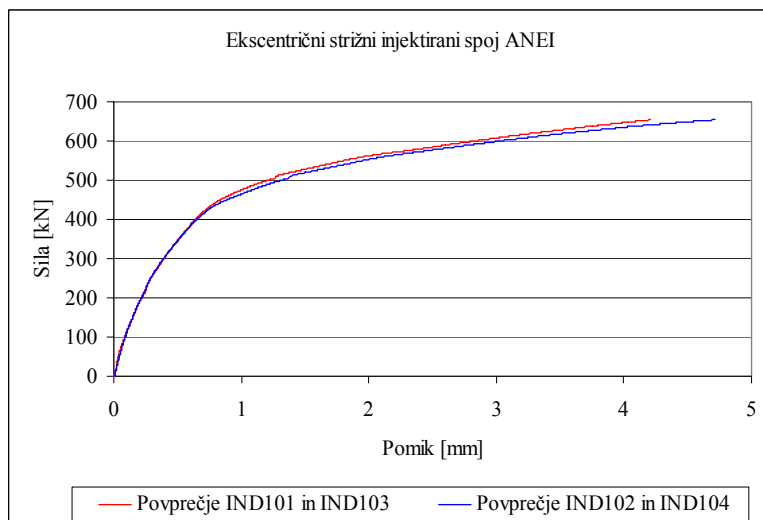
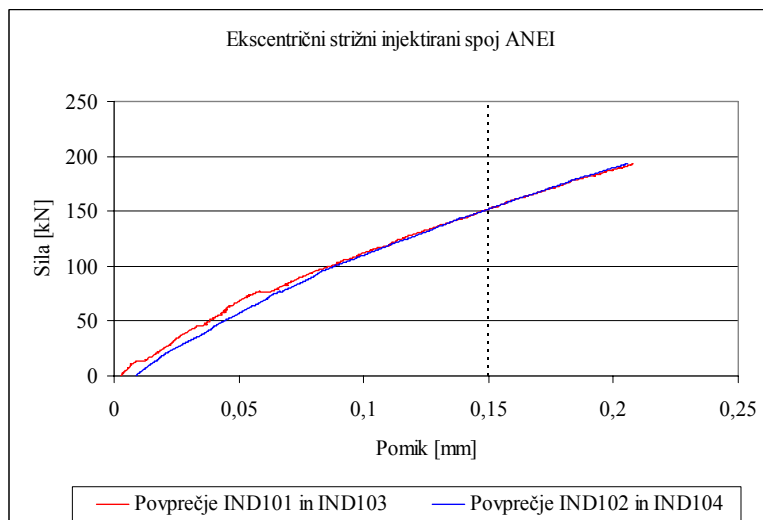


se nadaljuje...

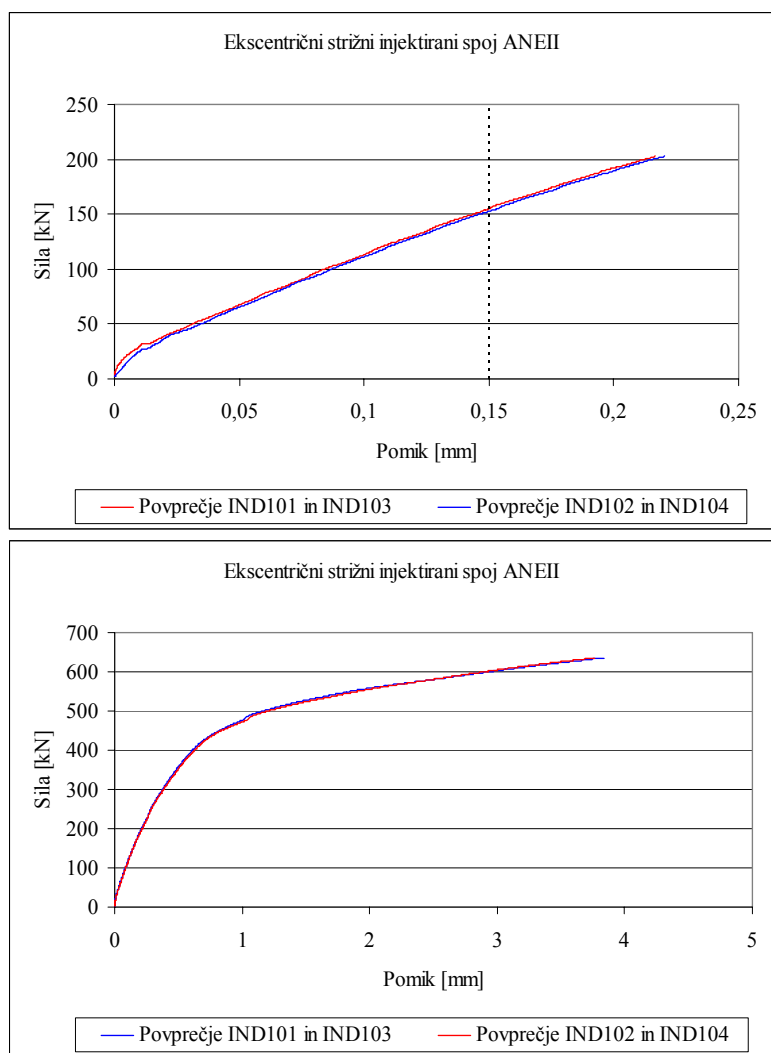
... nadaljevanje



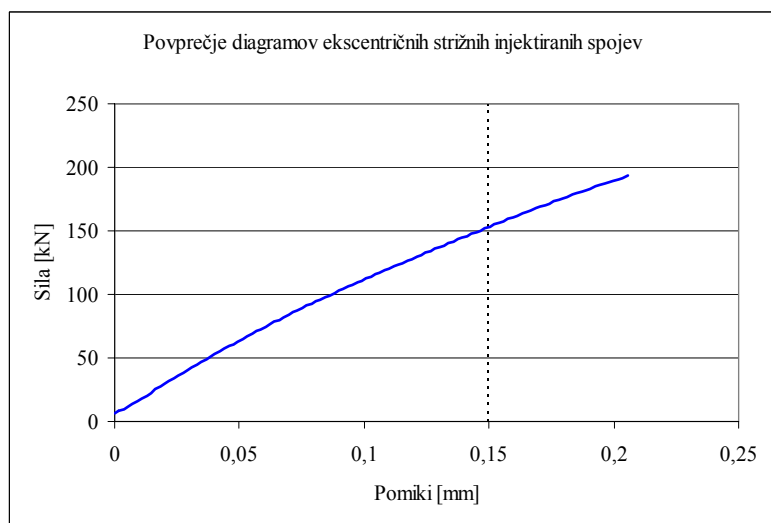
Slika 6.19: Povprečje diagramov »sila – pomik« za ANI, ANII, ANIII in ANIV



Slika 6.20: Diagram »sila – pomik« za ANEI

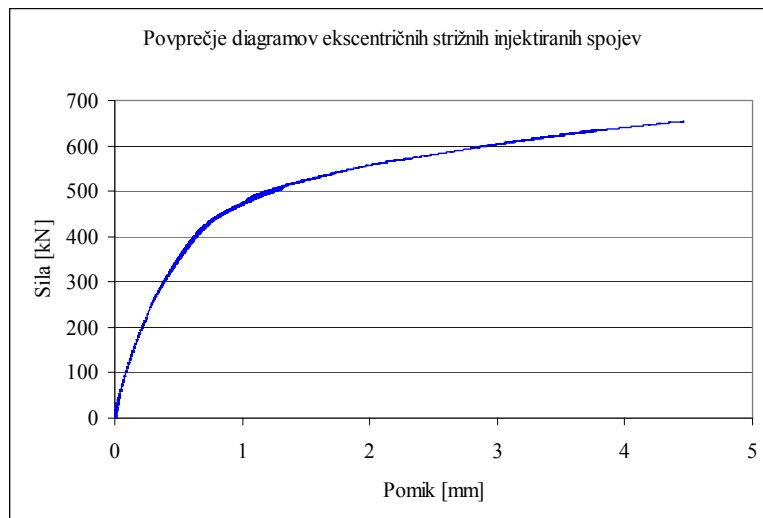


Slika 6.21: Diagram »sila – pomik« za



se nadaljuje...

... nadaljevanje



Slika 6.22: Povprečje diagramov »sila – pomik« za ANEI in ANEII

6.2.3 Prednapeti injektirani spoji

Preizkušanci so bili označeni z oznakami *CNI*, *CNII*, *CNIII* in *CNIV*, kjer je:

<i>C</i>	spoj C (B) kategorije
<i>N</i>	navadni natezni preizkus
<i>I, II, III, IV</i>	zaporedno število testa

Preizkušanci *CNI*, *CNII*, *CNIII* in *CNIV* so bili normalno natezno obremenjeni tako, da smo pomik 0,15 mm dosegli v času 10 in 15 minut.

6.2.3.1 Rezultati testov

Izmerjene sile pri zdrsu F_{Si} , preizkušancev *CNI*, *CNII*, *CNIII* in *CNIV*, so

$$F_{S,CNI,spodaj} = 302,2 \text{ kN}$$

$$F_{S,CNI,zgoraj} = 320,2 \text{ kN}$$

$$F_{S,CNII,spodaj} = 324,8 \text{ kN}$$

$$F_{S,CNII,zgoraj} = 303,5 \text{ kN}$$

$$F_{S,CNIII,spodaj} = 348,8 \text{ kN}$$

$$F_{S,CNIII,zgoraj} = 337,9 \text{ kN}$$

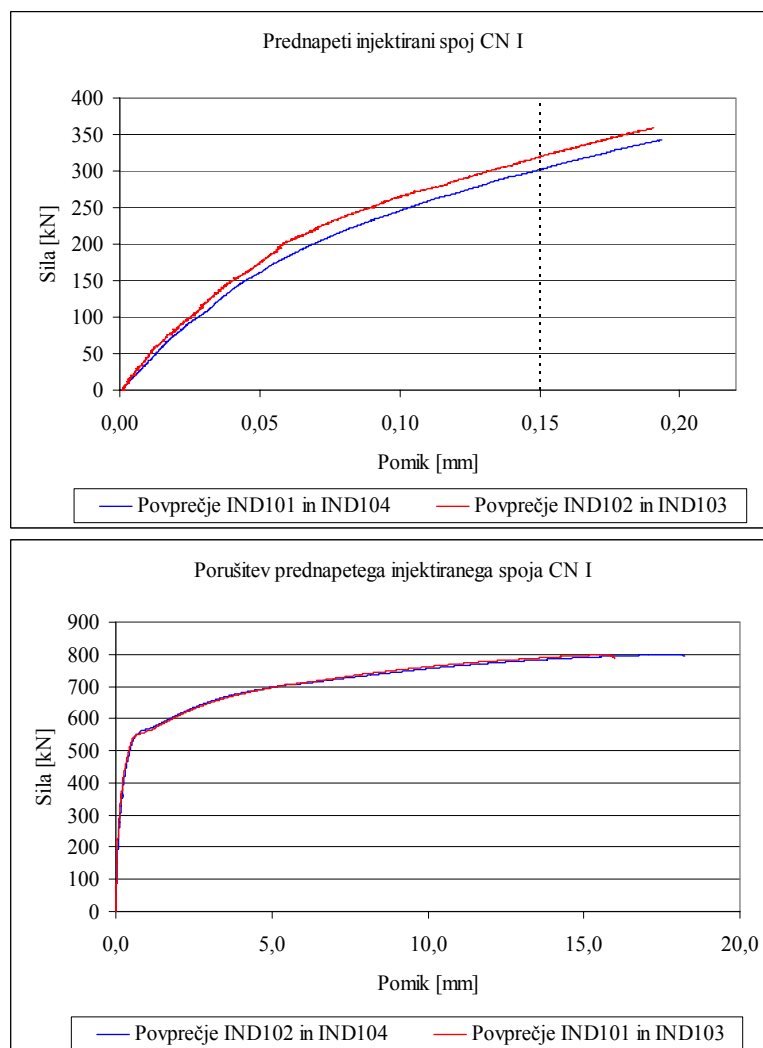
$$F_{S,CNIV,spodaj} = 323,4 \text{ kN}$$

$$F_{S,CNIV,spodaj} = 331,3 \text{ kN}$$

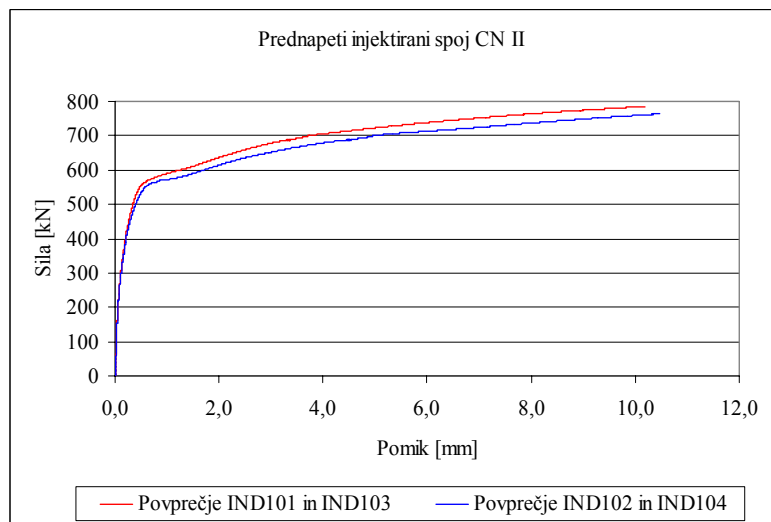
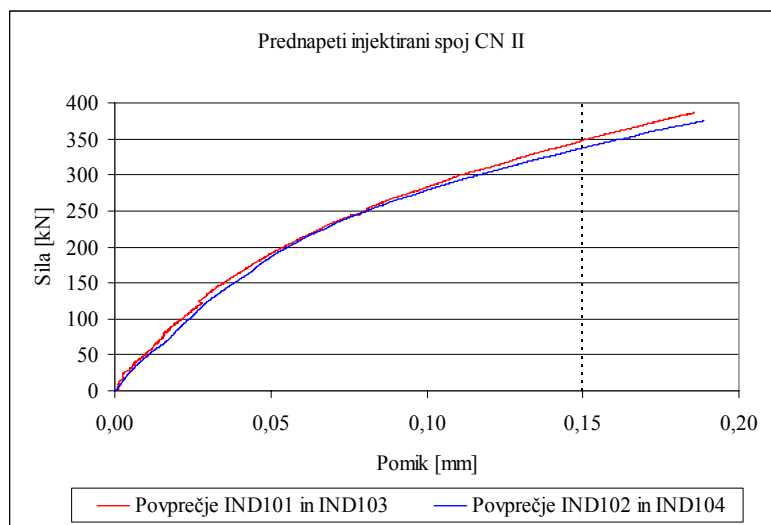
Povprečna vrednost obtežbe pri zdrs F_{Sm} je, kot sledi

$$F_{Sm} = \frac{\sum F_{Si}}{n} = 324 \text{ kN}$$

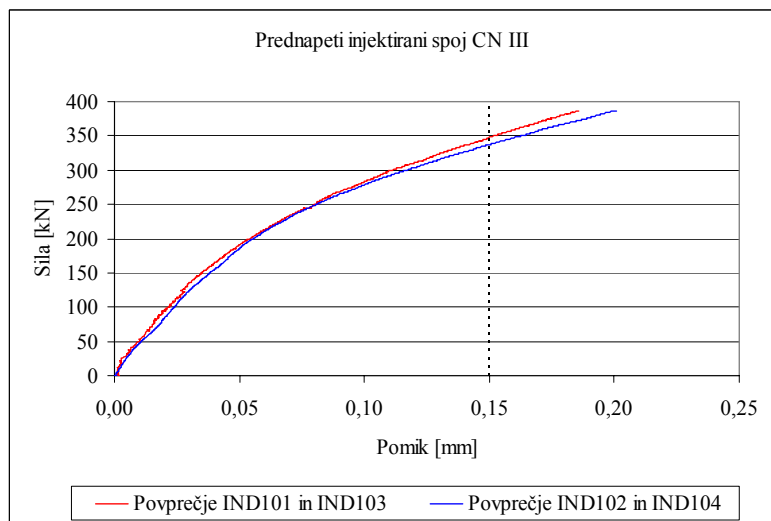
Diagrami »sila – pomik«, posameznih preizkušancev $CNI, CNII, CNIII$ in $CNIV$, so prikazani na naslednjih slikah.



Slika 6.23: Diagram »sila – pomik« za CNI

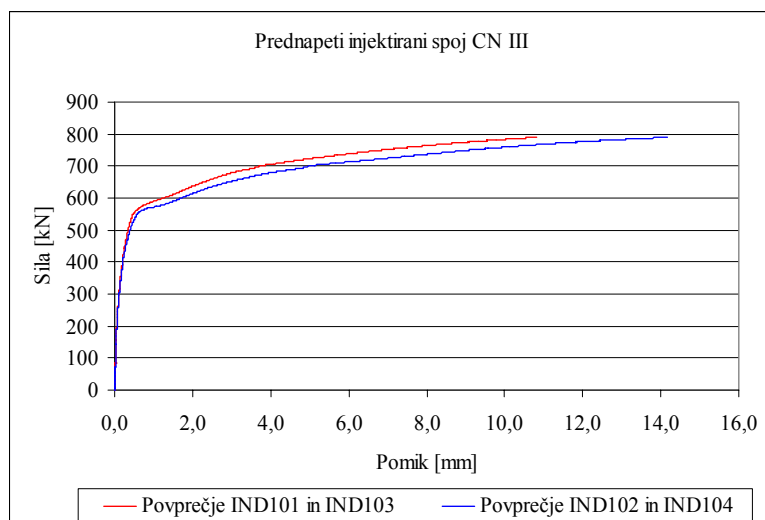


Slika 6.24: Diagram »sila – pomik« za CNII

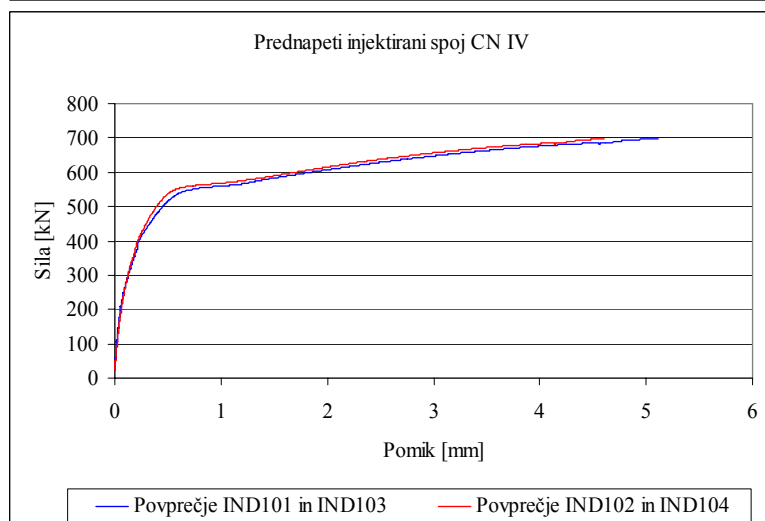
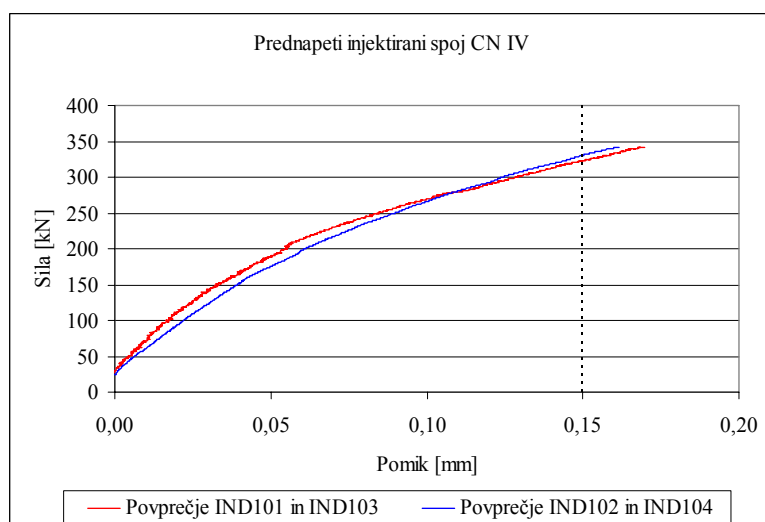


se nadaljuje...

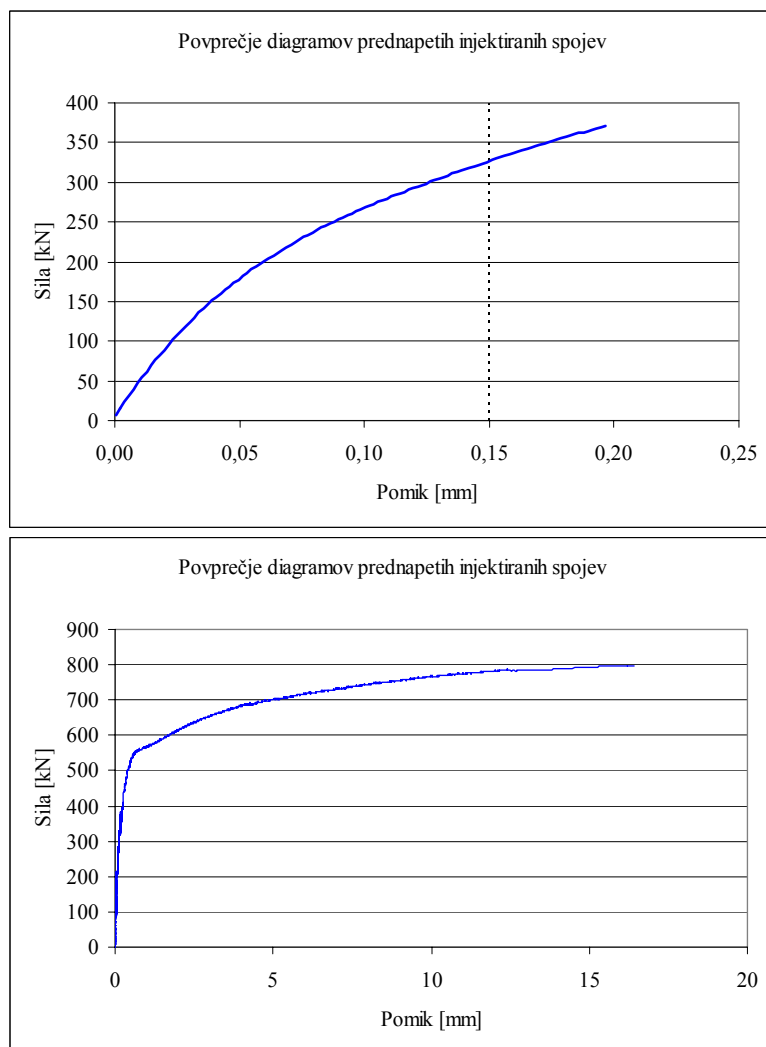
... nadaljevanje



Slika 6.25: Diagram »sila – pomik« za CNIII



Slika 6.26: Diagram »sila – pomik« za CNIV



Slika 6.27: Povprečje diagramov »sila – pomik« za *CNI*, *CNII*, *CNIII* in *CNIV*

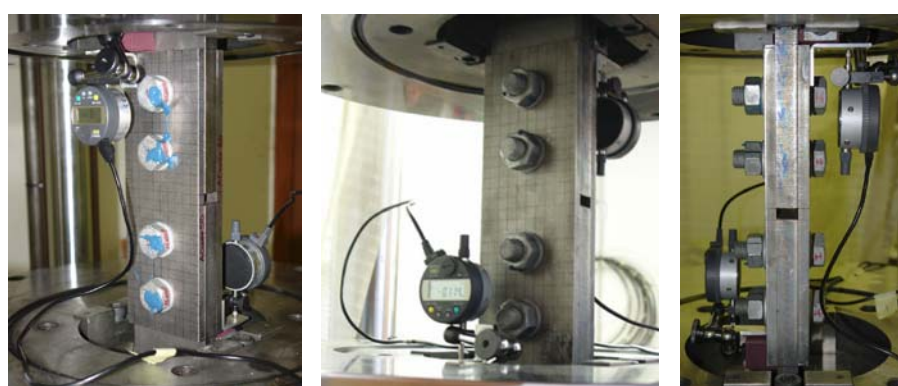
6.3 Lezenje

Pri testih lezenja smo vodili silo v glavi Instrona, saj smo morali vzdrževati konstantno silo cca. 3 ure, po dosegu polne sile. Uporabili smo dve mehanski urici Mitutoyo. (Slika 6.28).



Slika 6.28: Pritrditev merilne urice na stojalo

Ena merilna urica je bila pritrjena na sprednji strani preizkušanca, zgoraj levo, medtem, ko je bila druga urica pritrjena na hrbtni strani preizkušanca, spodaj levo, gledano iz zadnje strani (Slika 6.29). Merilni urici sta bili priklopljeni neposredno na sistem Dewetron. Rezultate smo zapisovali s programsko opremo DasyLab. Uporaba Dewsofta ni bila mogoča, saj bi bilo potrebno dopisati programsko kodo, ki bi Dewsoftu omogočala prejemanje podatkov preko portov, na katerih sta bili priklopljeni merilni urici.



Slika 6.29: Merilni urici na preizkušancu

Pri lezenju preizkušance obremenimo z 90% povprečne sile pri zdrsu prvih štirih preizkušancev F_{Sm} , to je povprečje osmih vrednosti.

6.3.1 Torni spoj

Preizkušanece smo obremenjevali s hitrostjo, predpisano v EN 1090-2 za teste za določitev sile pri zdrs, to je 10 do 15 minut za doseg ciljne sile. Silo smo dosegli v 750 s, to je 12,5 min.

Povprečna vrednost obtežbe pri zdrs F_{Sm} , osmih vrednosti, je

$$F_{Sm} = \frac{\sum F_{Si}}{n} = 261,2 \text{ kN}$$

Sila pri testu lezenja torej znaša

$$F_{S,Creep} = 90\% F_{Sm} = 0,90 \cdot 261,2 \text{ kN} = 235,1 \text{ kN} .$$

To silo, lahko sicer podamo Instronu z zelo veliko natančnostjo, vendar pa sila kljub temu med testom niha, zaradi nihanja električnega toka, okoliških tresljajev in drugih zunanjih dejavnikov, ki povzročajo odstopanja razreda približno 1% , kar pri sili 235,1 kN pomeni odstopanja razreda $\pm 2 \div 3 \text{ kN}$ (Preglednica 6.2).

Preglednica 6.2: Nihanje sile pri tornem spoju, zaradi motenj

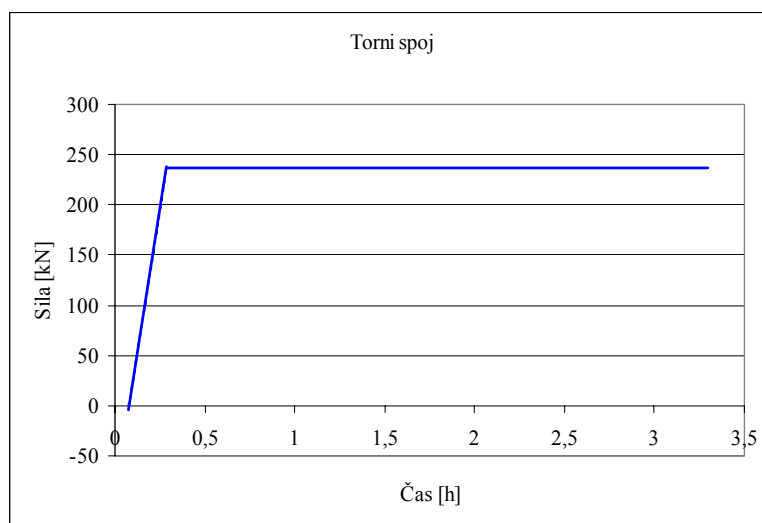
Čas [h]	SILA [kN]
...	
2,274	234,6
2,277	234,5
.	.
.	.
.	.
2,299	235,8
2,302	235,9
2,304	236,8
.	.
.	.
.	.

se nadaljuje...

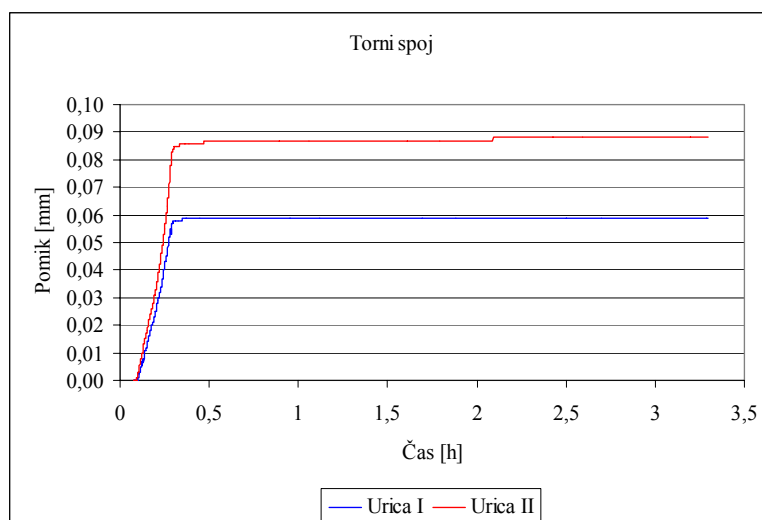
... nadaljevanje

2,485	236,2
2,488	238,0
2,491	237,6
	...

Rezultati testa lezenja so prikazani na diagramih na slikah 6.30 in 6.31.



Slika 6.30: Diagram »sila – pomik« pri eksperimentu lezenja



Slika 6.31: Diagram »pomik – čas« pri eksperimentu lezenja

Povprečni pomik zaradi lezenja, v času od 5 min do 3 h po dosegu polne sile $F_{S,Creep}$, pri tornem spoju znaša 0,001 mm. V predvidenem času, je prišlo na mestu merilne urice 2 do pomika 0,002 mm. Na diagramu, ti dve tisočinki pomika predstavljata dva skoka krivulje, v časih 0,5 h in 2,1 h. Na mestu merilne urice 1, do pomika sploh ni prišlo. Ker smo izpolnili kriterij mejnega pomika pri lezenju, 0,002 mm, obtežbo pri zdrs, za peti preizkušanelec serije tornih spojev, določimo na enak način kot pri prvih štirih preizkušancih.

Preizkušanelec, je pri določevanju sile pri zdrs imel oznako $\mu NCreep$, kjer je:

μ	spoj, za določitev tornega količnika
N	navadni natezni preizkus
$Creep$	preizkušanelec, predhodno uporabljen v preizkusu lezenja

Preizkušanelec, smo obremenjevali s standardno hitrostjo tako, da smo pomik 0,15 mm dosegli v času 10 do 15 minut.

6.3.1.1 Rezultati testa

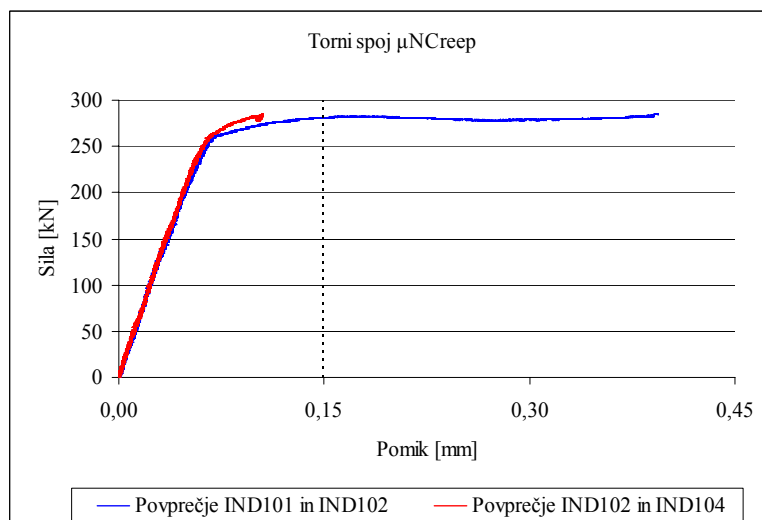
Izmerjeni sile pri zdrs F_{Si} , preizkušanca $\mu NCreep$, sta

$$F_{S,\mu NCreep,spodaj} = 281,3 \text{ kN}$$

$$F_{S,\mu NCreep,zgoraj} = 285,8 \text{ kN}$$

Iz diagrama »Sila – pomik« (Slika 6.32) je razvidno, da je v spodnjem spoju preizkušanca $\mu NCreep$, kjer sta bila montirana induktivna merilca pomikov IND101 in IND103, prišlo do izrazitejšega lezenja pri sili 260 kN, kar se vidi v spremembi naklonskega kota krivulje, na mestu prvega preloma krivulje. Pri sili približno 282 kN je lezenje postalo izrazitejše, kar ponazarja drugi padec krivulje. Od tu naprej, se je pomik povečeval ob konstantni sili, kar je razvidno iz praktično vodoravnega poteka krivulje »Sila – pomik«. Krivulji, ki predstavlja povprečje induktivnih merilcev IND102 in IND104, se naklon prav tako zmanjša pri sili približno 260 kN. Pri pomiku 0,10 mm se krivulja praktično zravna, kar pomeni, da bo potek

krivulje v nadaljevanju enak poteku krivulje, induktivnih merilcev IND101 in IND103. Povprečni pomik vseh induktivnih merilcev je pri sili 285 kN, ko smo prenehali z obremenjevanjem, znašal 0,25 mm.



Slika 6.32: Diagram »Sila – pomik« pri tornem spoju $\mu NCreep$

6.3.2 Strižni injektirani spoj

Preizkušanece smo obremenjevali s hitrostjo, predpisano v EN 1090-2 za teste za določitev sile pri zdrs, to je 10 do 15 minut za doseg ciljne sile. Silo smo dosegli v 750 s, to je 12,5 min.

Povprečna vrednost obtežbe pri zdrs F_{Sm} , osmih vrednosti, je

$$F_{Sm} = \frac{\sum F_{Si}}{n} = 179,0 \text{ kN} .$$

Sila za test lezenja torej znaša

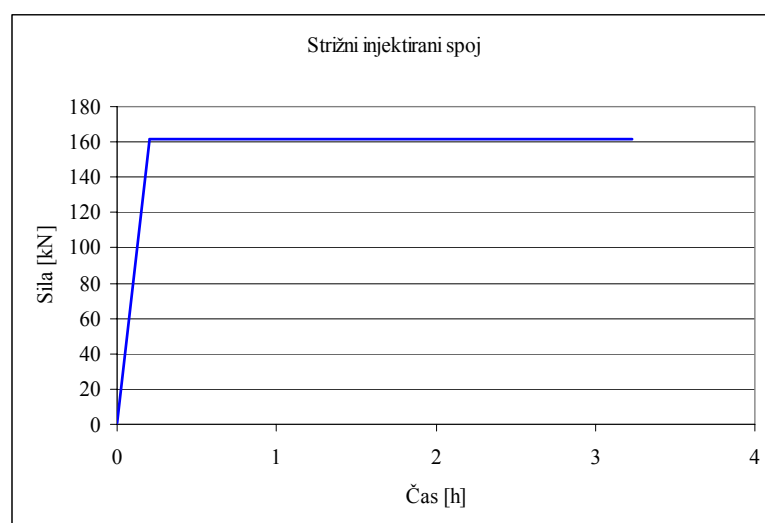
$$F_{S,Creep} = 90\% F_{Sm} = 0,90 \cdot 179,0 \text{ kN} = 161,1 \text{ kN} .$$

To silo podamo Instronu z veliko natančnostjo, vendar pa sila kljub temu med testom niha, zaradi nihanja električnega toka, okoliških tresljajev in drugih zunanjih dejavnikov, ki povzročajo odstopanja razreda približno 1% , kar pri sili 161,1 kN pomeni odstopanja razreda $\pm 2 \text{ kN}$ (Preglednica 6.2).

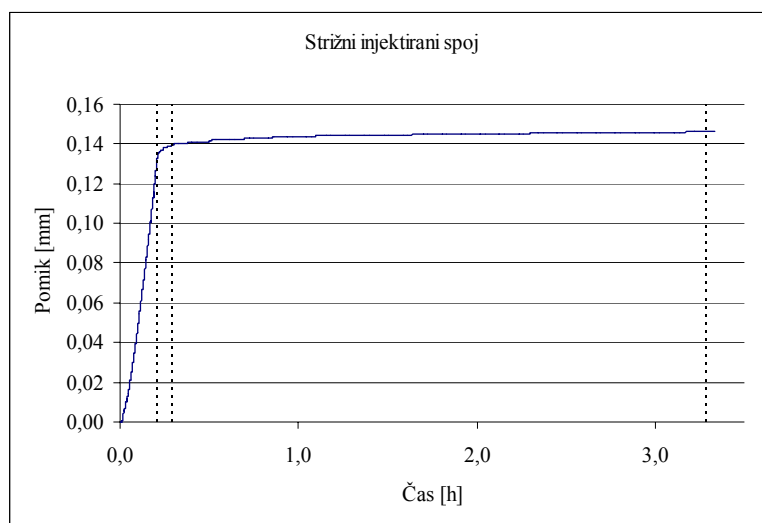
Preglednica 6.3: Nihanje sile pri strižnem injektiranem spoju, zaradi motenj

Čas [min]	SILA [kN]
...	
35.29	159.7
35.34	159.8
.	.
.	.
.	.
35.74	160.6
35.79	161.0
35.84	161.3
.	.
.	.
.	.
36.14	162.5
36.19	163.4
36.24	163.6
	...

Rezultati lezenja do prikazani na diagramih, na slikah 6.33 do 6.37

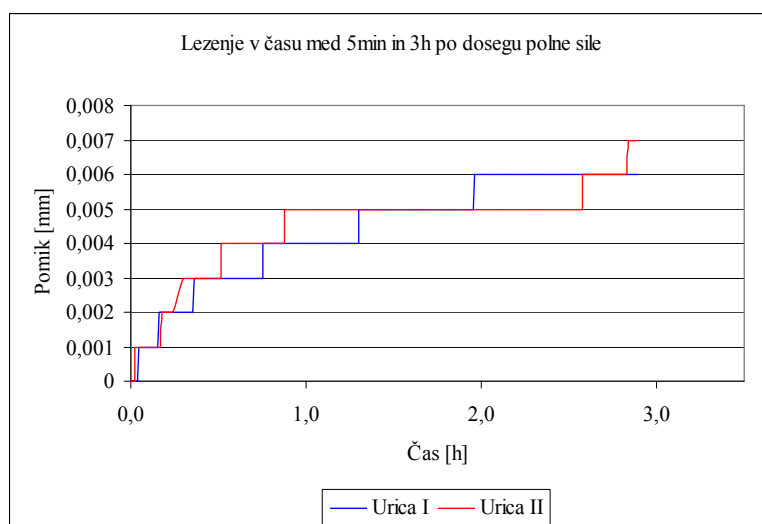


Slika 6.33: Diagram »Sila – čas« pri ACreep



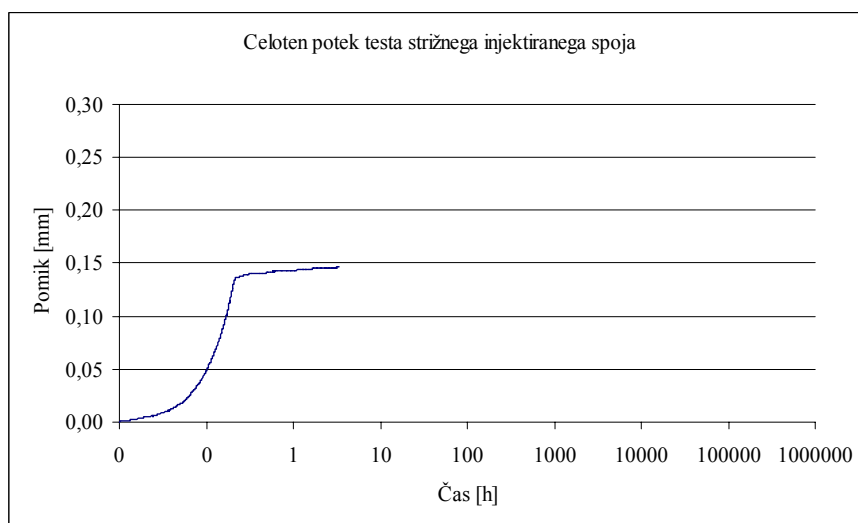
Slika 6.34 Diagram »Pomik – čas« pri $ACreep$

Prva črtkana navpičnica pomeni čas doseganja polne sile pri lezenju, $F_{S,Creep}$, 12,5 min. Druga predstavlja čas 5 minut po doseganju polne sile $F_{S,Creep}$, ki pomeni začetek merjenja pomikov zaradi lezenja. Tretje črtkana navpičnica je narisana v času 3 h po doseganju polne sile $F_{S,Creep}$ in pomeni konec testa.

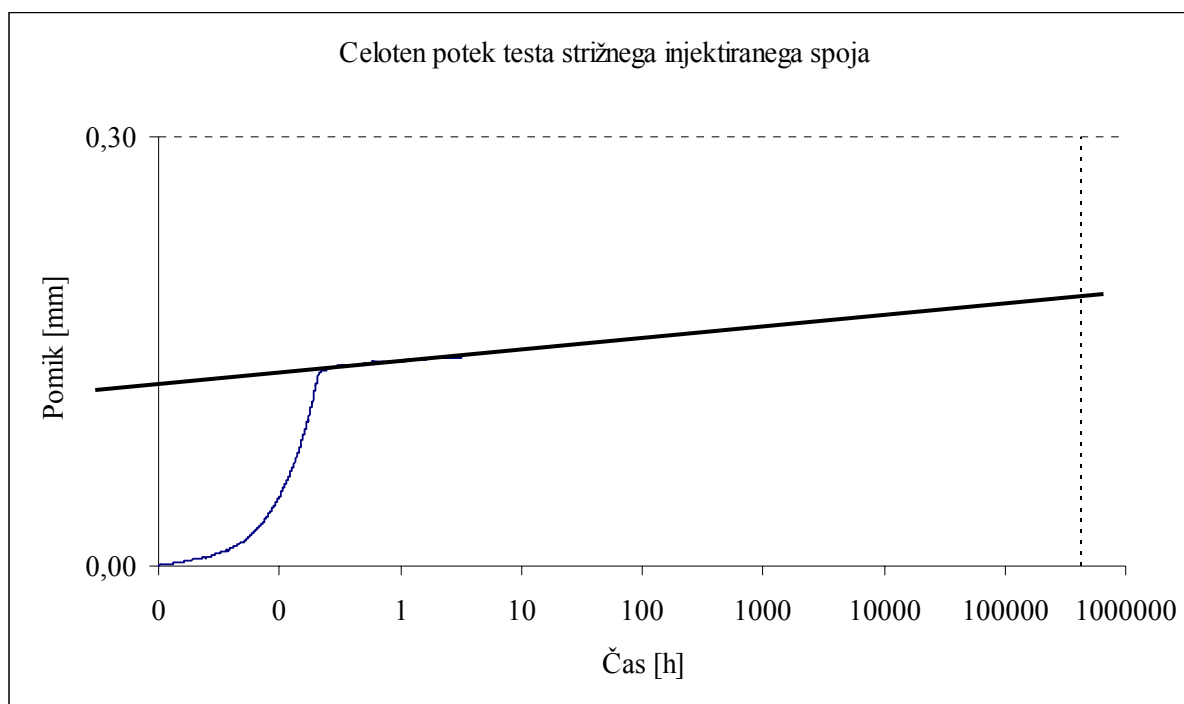


Slika 6.35: Lezenje spoja $ACreep$

Na diagramu, slika 6.35, čas 0 pomeni čas 5 minut po doseganju polne sile pri lezenju $F_{S,Creep}$.



Slika 6.36: Diagram »Sila – čas« celotnega obremenjevanja pri $ACreep$



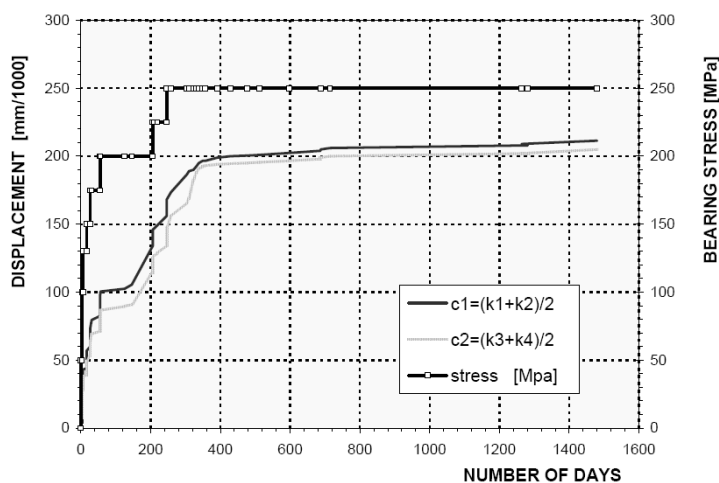
Slika 6.37: Diagram »Sila – logaritmični čas« pri $ACreep$

Diagrama 6.33 in 6.34 prikazujeta potek sile v odvisnosti od časa in potek pomika v odvisnosti od časa. Na diagramu 6.35 je prikazan pomik zaradi lezenja, v času med 5 min in 3h po dosegu polne sile $F_{S,Creep}$. Iz diagrama je razvidno, da je pomik zaradi lezenja strižnega injektiranega spoja $0,007\text{ mm}$. Diagrama 6.36 in 6.37 prikazujeta pomik v odvisnosti od

logaritmičnega časa, v razponu od 0 do 50 let. Diagram 6.39 se razlikuje od diagrama 6.38 po tangenti na krivuljo lezenja, ki jo je mogoče izrisati, zaradi relativno linearnega poteka krivulje lezenja, kor je razvidno iz diagrama 6.38.

Lezenje, v času od 5 min do 3 h po dosegu polne sile $F_{S,Creep}$, pri strižnem injektiranem spoju torej znaša 0,007 mm. Ker smo presegli mejno vrednost pomika 0,002 mm, podano v EN 1090-2, je potrebno narediti razširjen test lezenja in s tem dodatno preizkusiti vsaj tri dodatne preizkušance, torej šest spojev. Pri tem je potrebno dokazati, da bo pomik zaradi lezenja pri obtežbi s silo $F_{S,Creep}$ manjši od 0,3 mm, v življenjski dobi konstrukcije 50 let, če le ta ni definirana drugače.

V našem primeru je torej potrebno narediti dodatne teste, ki pa jih nismo naredili predvsem zaradi časovnih omejitev, saj lahko stabilizacija krivulje lezenja pri takšnih testih traja tudi več let. Kot dokaz prilagam spodnjo sliko, iz katere je razvidno, da po skoraj štirih letih obremenitve še vedno ni prišlo do popolne stabilizacije krivulje lezenja.



Bočni pritisk in pomik zaradi lezenja (Injecton bolts to repair old bridges)

Iz poteka tangente na diagramu 6.37 je sicer razvidno, da je pomik na presečišču tangente in časa 50 let manjši od 0,200 mm, vendar pa bi bilo potrebno zaradi potrebne večje natančnosti narediti časovno daljši preizkus lezenja. Zadovoljili smo se s tem dokazom zadovoljili. Posledično smo za peti preskušaneec določili silo pri zdrsru na enak način kot pri prvih štirih preskušancih.

Preizkušanelec je imel oznako *ANCreep*, kjer je:

A	spoj A kategorije
N	navadni natezni preizkus
Creep	preizkušanelec, predhodno uporabljen v preizkusu lezenja

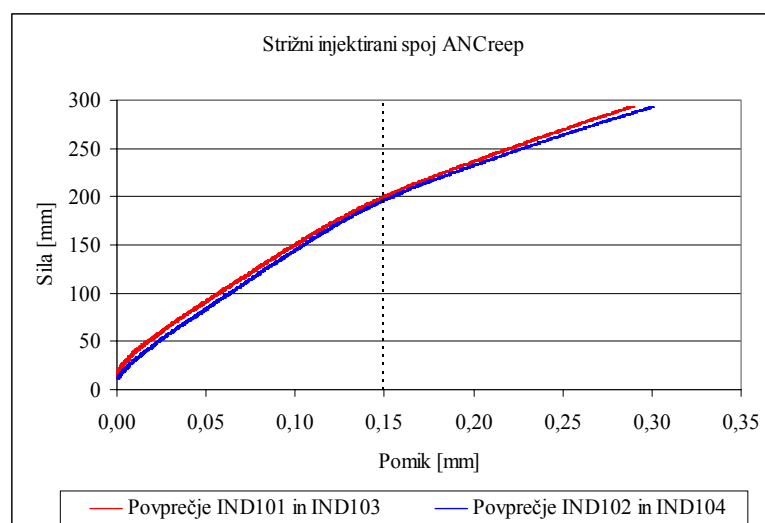
Preizkušanelec je bil obremenjen s standardno hitrostjo tako, da smo pomik $0,15\text{ mm}$ dosegli v času med 10 in 15 minut.

6.3.2.1 Rezultati testa

Izmerjeni sile pri zdrsi F_{Si} , preizkušanceca *ANCreep*, sta

$$F_{S,ANCreep,spodaj} = 201,5\text{ kN}$$

$$F_{S,ANCreep,zgoraj} = 197,4\text{ kN}$$



Slika 6.38: Diagram »Sila – pomik« za strižni injektirani spoj

6.3.3 Prednapeti injektirani spoji

Preizkušanelec smo obremenjevali s hitrostjo, predpisano v EN 1090-2 za teste za določitev sile pri zdrsu, to je 10 do 15 minut za doseg ciljne sile. Silo smo dosegli v času 13,5 min.

Povprečna vrednost obtežbe pri zdrsru F_{Sm} , osmih vrednosti, je

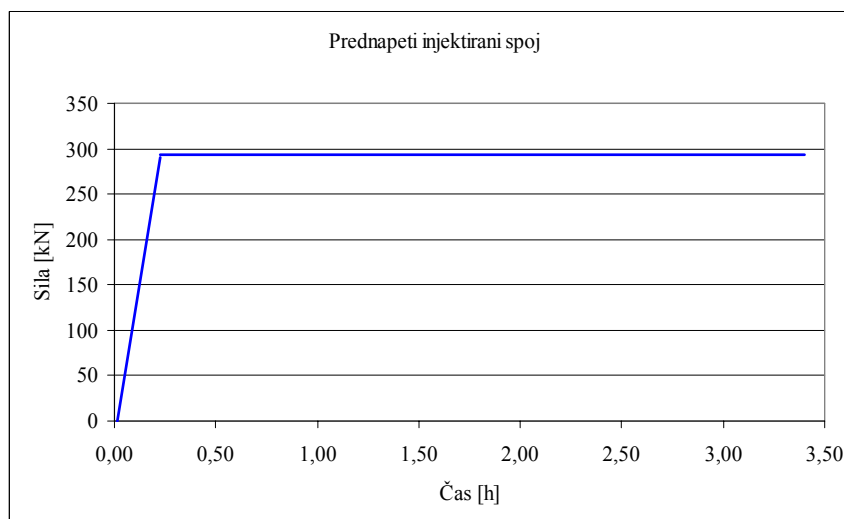
$$F_{Sm} = \frac{\sum F_{Si}}{n} = 324,0 \text{ kN}$$

Sila, pri eksperimentu lezenja, torej znaša

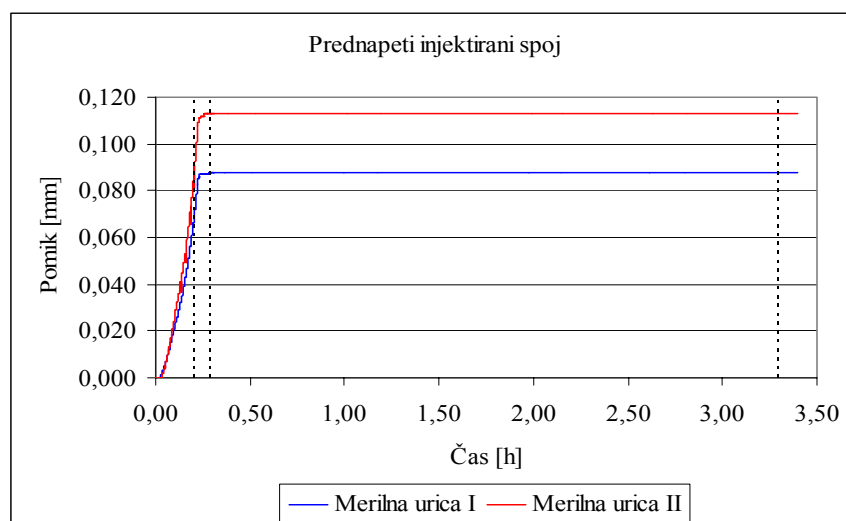
$$F_{S,Creep} = 90\% F_{Sm} = 0,90 \cdot 324,0 \text{ kN} = 291,6 \text{ kN}$$

To silo, lahko sicer podamo Instronu z zelo veliko natančnostjo, vendar pa sila kljub temu med testom niha, zaradi nihanja električnega toka, okoliških tresljajev in drugih zunanjih dejavnikov, ki povzročajo odstopanja razreda približno 1% , kar pri sili 291,6 kN pomeni odstopanja razreda $\pm 3 \text{ kN}$.

Rezultati lezenja so prikazani na slikah ,diagramih, 6.39 in 6.40.



Slika 6.39: Diagram »Sila – čas«



Slika 6.40: Diagram »Pomik – čas«

Lezenje, v času od 5 min do 3 h po dosegu polne sile $F_{S,Creep}$, pri prednapetem injektiranem spoju znaša 0,000 mm. Ker smo izpolnili kriterij mejnega pomika zaradi lezenja 0,002 mm, obtežbo pri zdrs za peti preizkušanec določimo na enak način kot pri prvih štirih preizkušancih.

Preizkušanec je pri določevanju sile pri zdrs imel oznako $CNCCreep$, kjer je:

C	spoj C (B) kategorije
N	navadni natezni preizkus
$Creep$	preizkušanec, predhodno uporabljen v preizkusu lezenja

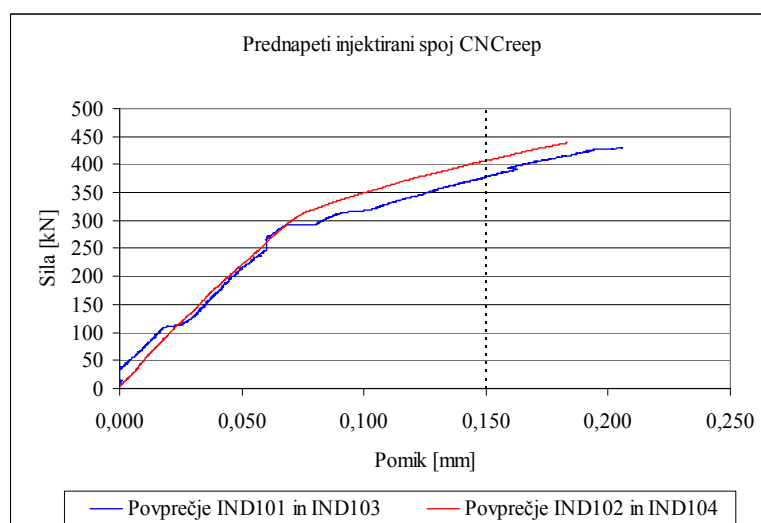
Preizkušanec smo obremenjevali s standardno hitrostjo tako, da smo pomik 0,15 mm dosegli v času 10 in 15 minut.

6.3.3.1 Rezultati testa

Izmerjeni sile pri zdrs F_{Si} , preizkušanca $CNCCreep$, sta

$$F_{S,CNCCreep,spodaj} = 388,6 \text{ kN}$$

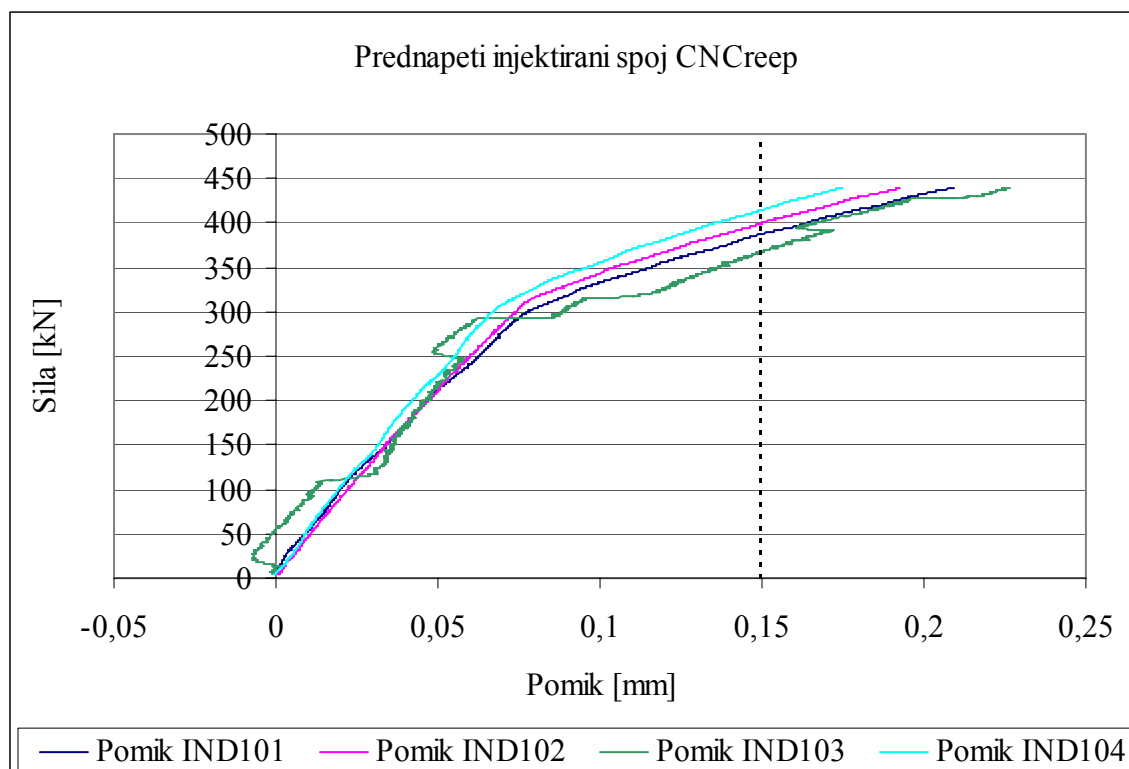
$$F_{S,CNCCreep,zgoraj} = 407,9 \text{ kN}$$



Slika 6.41: Diagram »Sila – pomik« pri CNCreep

Krivulja, ki predstavlja silo, v odvisnosti od povprečja pomikov induktivnih merilcev pomikov IND101 in IND103, je precej nenavadna. Iz slike 6.42, kjer so izrisani pomiki posameznih induktivnih merilcev, je razvidno, da je prišlo do treh skokov pomika le pri induktivnem merilcu IND103, ki je bil nameščen na zadnji strani preizkušanca, levo spodaj. Pomik induktivnega merilca je po vsakem skoku prišel na ustrezno vrednost. Jedra induktivnih merilcev IND101 in IND103 so bila na kotnik fiksirana z matico. Zato lahko sklepamo, da je prišlo do skokov pomika zaradi napake pri fiksiranju jedra.

Tretji skok krivulje, induktivnega merilca IND103, se razteza ravno čez območje, kjer je potrebno odčitati silo pri zdrs. Krivulji IND101 in IND103 se po končanem skoku, pri sili 405 kN in pomiku $0,160 \text{ mm}$, pokrivata. Zato predpostavimo, da je sila pri zdrs $F_{S,IND101}$, odčitana pri pomiku $0,150 \text{ mm}$ induktivnega merilca IND101 enaka sili pri zdrs $F_{S,IND101,IND103}$, odčitani pri povprečnem pomiku $0,150 \text{ mm}$ induktivnih merilcev IND101 in IND103. Posledično, v statistični obdelavi rezultatov računamo s silo pri zdrs $F_{S,IND101}$ in ne s predpisano $F_{S,IND101,IND103}$.



Slika 6.42: Diagram »Sila – pomik« pri CNCreep

6.4 Obdelava in vrednotenje rezultatov

6.4.1 Torni spoji

Minimalna sila prednapetja, določena v 4.2.5 je

$$F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s = 0,7 \cdot 100 \text{ kN/cm}^2 \cdot 2,45 \text{ cm}^2 = 171,5 \text{ kN}$$

Izmerjene vrednosti sil pri zdrsu F_{Si} , preizkušancev μI , μII , μIII , μIV in $\mu NCreep$, so

$$F_{S,\mu I,spodaj} = 259,5 \text{ kN}$$

$$F_{S,\mu I,zgoraj} = 251,2 \text{ kN}$$

$$F_{S,\mu II,spodaj} = 264,3 \text{ kN}$$

$$F_{S,\mu II,zgoraj} = 255,5 \text{ kN}$$

$$F_{S,\mu III,spodaj} = 291,9 \text{ kN}$$

$$F_{S,\mu III,zgoraj} = 286,1 \text{ kN}$$

$$F_{S,\mu IV,spodaj} = 237,0 \text{ kN}$$

$$F_{S,\mu IV,spodaj} = 244,3 \text{ kN}$$

$$F_{S,\mu NCreep,spodaj} = 281,3 \text{ kN}$$

$$F_{S,\mu NCreep,spodaj} = 285,8 \text{ kN}$$

Posamezne vrednosti tornega količnika se določijo, kot sledi

$$\mu_1 = \frac{F_{S,\mu I,spodaj}}{4 F_{p,C}} = \frac{259,5 \text{ kN}}{4 \cdot 171,5 \text{ kN}} = 0,38$$

$$\mu_2 = \frac{F_{S,\mu I,zgoraj}}{4 F_{p,C}} = \frac{251,2 \text{ kN}}{4 \cdot 171,5 \text{ kN}} = 0,37$$

$$\mu_3 = \frac{F_{S,\mu II,spodaj}}{4 F_{p,C}} = \frac{264,3 \text{ kN}}{4 \cdot 171,5 \text{ kN}} = 0,39$$

$$\mu_4 = \frac{F_{S,\mu II,zgoraj}}{4 F_{p,C}} = \frac{255,5 \text{ kN}}{4 \cdot 171,5 \text{ kN}} = 0,37$$

$$\mu_5 = \frac{F_{S,\mu III,spodaj}}{4 F_{p,C}} = \frac{291,9 \text{ kN}}{4 \cdot 171,5 \text{ kN}} = 0,43$$

$$\mu_6 = \frac{F_{S,\mu III,zgoraj}}{4 F_{p,C}} = \frac{286,1 \text{ kN}}{4 \cdot 171,5 \text{ kN}} = 0,42$$

$$\mu_7 = \frac{F_{S,\mu IV,spodaj}}{4 F_{p,C}} = \frac{237,0 \text{ kN}}{4 \cdot 171,5 \text{ kN}} = 0,35$$

$$\mu_8 = \frac{F_{S,\mu IV,zgoraj}}{4 F_{p,C}} = \frac{244,3 \text{ kN}}{4 \cdot 171,5 \text{ kN}} = 0,36$$

$$\mu_9 = \frac{F_{S,\mu NCreep,spodaj}}{4 F_{p,C}} = \frac{281,3 \text{ kN}}{4 \cdot 171,5 \text{ kN}} = 0,41$$

$$\mu_{10} = \frac{F_{S,\mu NCreep,zgoraj}}{4 F_{p,C}} = \frac{285,8 \text{ kN}}{4 \cdot 171,5 \text{ kN}} = 0,42$$

Povprečna vrednost sile pri zdrsu F_{Sm} in njena standardna deviacija s_{Fs} se določita, kot sledi

$$F_{Sm} = \frac{\sum F_{Si}}{n} = 261,2 \text{ kN}$$

$$s_{Fs} = \sqrt{\frac{(F_{Si} - F_{Sm})^2}{n-1}} = 19,2$$

V primeru, da standardna deviacija s_{Fs} , desetih vrednosti obtežbe pri zdrsu, presega 8% srednje vrednosti obtežbe pri zdrsu F_{Sm} , je potrebno testirati dodatne preizkušance. Število vseh potrebnih preizkušancev, vključno s prvimi petimi, se določi kot

$$n > \left(\frac{s}{3,5} \right)^2$$

Kjer je

n število preizkušancev

s standardna deviacija s_{Fs} prvih petih preizkušancev, izražena kot procent
srednje vrednosti obtežbe pri zdrsu F_{Sm}

V našem primeru, je delež standardne deviacije s enak

$$s = \frac{s_{Fs}}{F_{Sm}} = \frac{19,2 \text{ kN}}{261,2 \text{ kN}} \cdot 100 \% = 7,4 \%,$$

torej testiranje dodatnih preizkušancev ni potrebno.

Povprečna vrednost tornega količnika μ_m in njegova standardna deviacija s_μ se določita, kot sledi

$$\mu_m = \frac{\sum \mu_i}{n} = 0,39 \qquad s_\mu = \sqrt{\frac{(\mu_i - \mu_m)^2}{n-1}} = 0,03 \text{ kN}$$

Karakteristična vrednost tornega količnika se določi z upoštevanjem 5% fraktila z vrednostjo zaupanja 75%.

V primeru desetih vrednosti tornega količnika, $n = 10$, petih preizkušancev, se karakteristična vrednost tornega količnika vzame kot srednja vrednost minus 2,05 krat standardna deviacija.

V primeru, da razširjen preizkus lezenja ni potreben, je nominalna vrednost tornega količnika enaka njegovi karakteristični vrednosti.

V našem primeru se, saj imamo deset vrednosti, karakteristična vrednost tornega količnika določi, kot sledi

$$\mu_k = \mu_m - 2,05 s_\mu = 0,39 - 2,05 \cdot 0,03 = 0,33$$

Ker razširjen test lezenja ni potreben, je nominalna vrednost tornega količnika enaka

$$\mu = \mu_k = 0,33$$

Torne površine razdelimo v razrede, v skladu s spodnjimi vrednostmi.

$\mu \geq 0,50$	razred A
$0,40 \leq \mu < 0,50$	razred B
$0,30 \leq \mu < 0,40$	razred C
$0,20 \leq \mu < 0,30$	razred D

Torni količnik je precej pod pričakovanim, saj bi morale biti dobavljene pločevine po dogovoru peskane. V nasprotju, pa so bile le te zelo umazane in mastne tako, da smo kljub čiščenju pločevin z acetonom neposredno pred sestavljanjem spojev, dobili torni količnik 0,33, kar pomeni razred pločevine C.

6.4.2 Strižni injektirani spoji

Glede na to, da razširjenega testa lezenja nismo izvedli in, da smo s tangento na krivuljo lezenja na diagramu »Pomik – logaritmični čas« (6.39) dokazali, da bo lezenje v 50 letih manjše od 0,2 mm medtem, ko je mejni pomik 0,3 mm, bomo v nadaljevanju operirali z desetimi vrednostmi sile pri zdrsru F_{Si} .

Izmerjene vrednosti sil pri zdrsru F_{Si} , preizkušancev ANI, ANII, ANIII, ANIV in ANCreep,

so

$$F_{S,ANI,spodaj} = 185,1 \text{ kN}$$

$$F_{S,ANI,zgoraj} = 166,3 \text{ kN}$$

$$F_{S,ANII,spodaj} = 186,9 \text{ kN}$$

$$F_{S,ANII,zgoraj} = 182,0 \text{ kN}$$

$$F_{S,ANIII,spodaj} = 174,3 \text{ kN}$$

$$F_{S,ANIII,zgoraj} = 188,5 \text{ kN}$$

$$F_{S,ANIV,spodaj} = 171,2 \text{ kN}$$

$$F_{S,ANIV,zgoraj} = 177,7 \text{ kN}$$

$$F_{S,ANCreep,spodaj} = 201,5 \text{ kN}$$

$$F_{S,\mu NCreep,zgoraj} = 197,4 \text{ kN}$$

Kot je razvidno iz zgornjih vrednosti F_{Si} , sta sili pri zdrsu $F_{S,ANCreep,spodaj}$ in $F_{S,\mu NCreep,spodaj}$ preizkušanca *ANCreep*, ki je bil predhodno podvržen testu lezenja, precej višji kot pri ostalih štirih preizkušancih. To je verjetno posledica utrditve materiala, saj je očitno pri pomiku, nastalem v testu lezenja, že prišlo do lokalne plastifikacije pločevin na mestih, kjer vijak pri pritiska na pločevino. Enak pojav je opazen tudi pri prednapetem injektiranem spoju, vendar pa je tam povečanje sil pri zdrsu še nekoliko večje.

Povprečna vrednost sile pri zdrsu F_{Sm} in njena standardna deviacija s_{Fs} se določita, kot sledi

$$F_{Sm} = \frac{\sum F_{Si}}{n} = 183,1 \text{ kN}$$

$$s_{Fs} = \sqrt{\frac{(F_{Si} - F_{Sm})^2}{n-1}} = 11,2 \text{ kN}$$

V primeru, da standardna deviacija s_{Fs} , desetih vrednosti obtežbe pri zdrsu, presega 8% srednje vrednosti obtežbe pri zdrsu F_{Sm} , je potrebno testirati dodatne preizkušance. Število vseh potrebnih preizkušancev, vključno s prvimi petimi, se določi kot

$$n > \left(\frac{s}{3,5} \right)^2$$

Kjer je

n število preizkušancev

s standardna deviacija s_{Fs} prvih petih preizkušancev, izražena kot procent
srednje vrednosti obtežbe pri zdrsu F_{Sm}

V našem primeru, je delež standardne deviacije s enak

$$s = \frac{s_{Fs}}{F_{Sm}} = \frac{11,2 \text{ kN}}{183,1 \text{ kN}} \cdot 100 \% = 6,1 \%,$$

torej testiranje dodatnih preizkušancev ni potrebno.

Karakteristična vrednost sile pri zdrsuh se določi z upoštevanjem 5% fraktile z vrednostjo zaupanja 75%.

V primeru desetih vrednosti F_{Si} , $n=10$, petih preizkušancev, se karakteristična vrednost vzame kot srednja vrednost minus 2,05 krat standardna deviacija.

V primeru, da razširjen preizkus lezenja ni potreben, je nominalna vrednost sile pri zdrsuh enaka njegovi karakteristični vrednosti.

V našem primeru se, saj imamo deset vrednosti, karakteristična vrednost sile pri zdrsuh določi, kot sledi

$$F_{Sk} = F_{Sm} - 2,05 s_m = 183,1 \text{ kN} - 2,05 \cdot 11,2 \text{ kN} = 160,1 \text{ kN}$$

Karakteristično vrednost trdnosti injekcijske mase pri bočnem pritisku $f_{b, resin}$, določimo iz obrnjenega izraza za dimenzioniranje, podanega v EN 1993-1-8. Ker računamo s karakterističnimi vrednostmi, moramo seveda izpustiti varnostni faktor, ki pa je v primeru računa nosilnosti injektiranega vijaka na bočni pritisk tako ali tako enak $\gamma_4 = 1,0$.

$$f_{b, resin} = \frac{F_{b, Rd, resin}}{N k_t k_s d t_{b, resin} \beta},$$

kjer je

N število vijakov v spoju = 2

$F_{b,Rd,resin}$	projektna nosilnost injektiranega vijaka na bočni pritisk. V našem primeru je $F_{b,Rd,resin} = F_{Sk} \cdot$
β	koeficient, odvisen od razmerja debelin spojenih pločevin
$t_{b,resin}$	sodelujoča debelina injekcijske mase pri bočnem pritisku (preglednica spodaj)
k_t	1,0 pri mejnem stanju uporabnosti (dolgotrajna obremenitev) 1,2 pri mejnem stanju nosilnosti
k_s	1,0 pri običajnih luknjah ali (1,0 – 0,1 m) pri povečanih luknjah
m	razlika, v mm, med premerom običajne in povečane luknje. V primeru kratkih podaljšanih lukenj, določenih v referenčnih standardih 7. skupine, je $m = 0,5$

Vrednosti, zgornjih koeficientov (glej 9.2), so $\beta = 1,0$, $t_{b,resin} = 20mm$, $k_t = 1,0$ in $k_s = 1,0$.

Karakteristična vrednost trdnosti injekcijske mase pri bočnem pritisku $f_{b,resin}$, je torej, kot sledi

$$f_{b,resin} = \frac{F_{b,Rd,resin}}{N k_t k_s d t_{b,resin} \beta} = \frac{160,1 kN}{2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,0 cm \cdot 2,0 cm \cdot 1,0} = 20,1 kN / cm^2 = 201 MPa \approx 200 MPa$$

Vrednost trdnosti injekcijske mase pri bočnem pritisku $f_{b,resin} = 200 MPa$ je pravzaprav razveseljiva, saj je bila pričakovana vrednost nekje med 150 MPa in max 200 MPa.

Začetni testi v Stevinovem laboratoriju so dali rezultat $f_{b,resin} = 130 MPa$, pri uporabi enake injekcijske mase.

Pri sanaciji mostu, v Oranienburgu pri Berlinu, Nemčija, so leta 1996 v Stevinovem laboratoriju, na tehniški univerzi v Delftu, naredili nove teste. Pokazali so, da bi se računaska vrednost trdnosti injekcijske mase pri bočnem pritisku $f_{b,resin}$ lahko dvignila iz dosedanjih 130 MPa na 150 MPa, morda celo 200 MPa.

Seveda, pa bi bilo potrebno narediti še kakšen dodatni test lezenja, strižnih injektiranih spojev, s čimer bi lahko dobljeno vrednost 200 MPa dodatno podprli.

6.4.3 Ekscentrični strižni injektirani spoji

Silo pri zdrs, smo določevali na dveh preizkušancih, z ekscentrično postavitvijo vijakov. Pri sestavljanju spojev smo notranji pločevini spoja, potisnili eno proti drugi. S tem je na strani vijaka, ki med obremenitvijo nalega na pločevino nastala reža, velikosti 2 mm . S tem smo dobili najbolj ekstremno neugodno možno postavitev vijakov.

Izmerjene vrednosti sil pri zdrs F_{Si} , preizkušancev AEI in $AEII$, so

$$F_{S,AEI,spodaj} = 152,6 \text{ kN}$$

$$F_{S,AEI,zgoraj} = 152,6 \text{ kN}$$

$$F_{S,AEII,spodaj} = 155,7 \text{ kN}$$

$$F_{S,AEII,zgoraj} = 152,7 \text{ kN}$$

Povprečna vrednost sile pri zdrs F_{Sm} in njena standardna deviacija s_{Fs} se določita, kot sledi

$$F_{Sm} = \frac{\sum F_{Si}}{n} = 153,4 \text{ kN}$$

$$s_{Fs} = \sqrt{\frac{(F_{Si} - F_{Sm})^2}{n-1}} = 1,5 \text{ kN}$$

Kljub temu, da imamo samo štiri vrednosti, karakteristično vrednost sile pri zdrs določimo, kot sledi

$$F_{Sk} = F_{Sm} - 2,05 s_m = 153,4 \text{ kN} - 2,05 \cdot 1,5 \text{ kN} = 150,3 \text{ kN}$$

Karakteristično vrednost trdnosti injekcijske mase pri bočnem pritisku $f_{b, \text{resin}}$, določimo iz obrnjenega izraza za dimenzioniranje, podanega v EN 1993-1-8, glej 6.4.2. Kot sledi

$$f_{b, \text{resin}, E} = \frac{F_{b, Rd, \text{resin}}}{N k_t k_s d t_{b, \text{resin}} \beta} = \frac{150,3 \text{ kN}}{2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 1,0} = 18,8 \text{ kN} / \text{cm}^2 = 188 \text{ MPa}$$

V primerjavi z običajno postavitvijo vijakov, je nosilnost injekcijske mase na bočni pritisk manjša za:

$$\left(1 - \frac{f_{b, \text{resin}, E}}{f_{b, \text{resin}}}\right) \cdot 100 \% = \left(1 - \frac{188 \text{ MPa}}{200 \text{ MPa}}\right) \cdot 100 \% = 6 \%$$

6.4.4 Prednapeti injektirani spoji

Izmerjene vrednosti sil pri zdrsu F_{Si} , preizkušancev *CNI*, *CNII*, *CNIII*, *CNIV* in *CNCreep*, so

$$F_{S, \text{CNI}, \text{spodaj}} = 302,2 \text{ kN}$$

$$F_{S, \text{CNI}, \text{zgoraj}} = 320,2 \text{ kN}$$

$$F_{S, \text{CNII}, \text{spodaj}} = 324,8 \text{ kN}$$

$$F_{S, \text{CNII}, \text{zgoraj}} = 303,5 \text{ kN}$$

$$F_{S, \text{CNIII}, \text{spodaj}} = 348,8 \text{ kN}$$

$$F_{S, \text{CNIII}, \text{zgoraj}} = 337,9 \text{ kN}$$

$$F_{S, \text{CNIV}, \text{spodaj}} = 323,4 \text{ kN}$$

$$F_{S, \text{CNIV}, \text{spodaj}} = 331,3 \text{ kN}$$

$$F_{S, \text{CNCreep}, \text{spodaj}} = 388,6 \text{ kN}$$

$$F_{S, \mu \text{NCreep}, \text{zgoraj}} = 407,9 \text{ kN}$$

Povprečna vrednost sile pri zdrsu F_{Sm} in njena standardna deviacija s_{Fs} se določita, kot sledi

$$F_{Sm} = \frac{\sum F_{Si}}{n} = 338,8 \text{ kN}$$

$$s_{Fs} = \sqrt{\frac{(F_{Si} - F_{Sm})^2}{n-1}} = 15,9 \text{ kN}$$

V primeru, da standardna deviacija s_{Fs} , desetih vrednosti obtežbe pri zdrsu, presega 8% srednje vrednosti obtežbe pri zdrsu F_{Sm} , je potrebno testirati dodatne preizkušance. Število vseh potrebnih preizkušancev, vključno s prvimi petimi, se določi kot

$$n > \left(\frac{s}{3,5}\right)^2,$$

kjer je

n število preizkušancev

s standardna deviacija s_{Fs} prvih petih preizkušancev, izražena kot procent
srednje vrednosti obtežbe pri zdrsru F_{Sm}

V našem primeru, je delež standardne deviacije s enak

$$s = \frac{s_{Fs}}{F_{Sm}} = \frac{11,2 \text{ kN}}{183,1 \text{ kN}} \cdot 100 \% = 6,1 \%,$$

torej testiranje dodatnih preizkušancev ni potrebno.

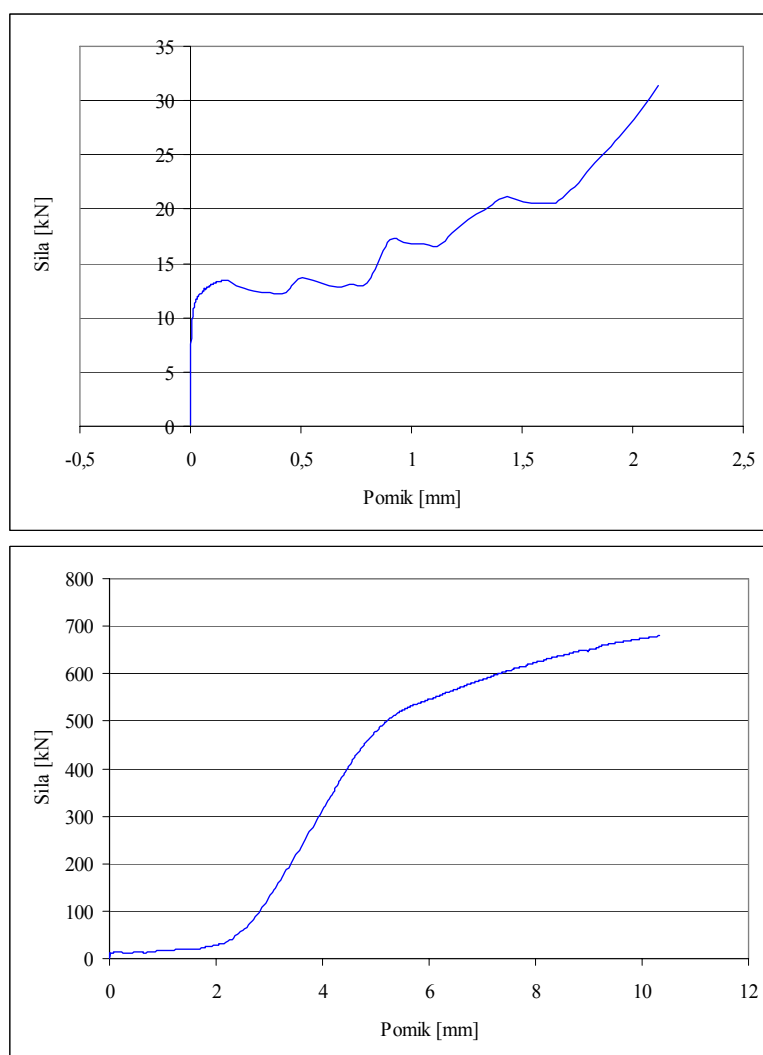
Karakteristično vrednost sile pri zdrsru določimo, kot sledi

$$F_{Sk} = F_{Sm} - 2,05 s_m = 338,8 \text{ kN} - 2,05 \cdot 15,9 \text{ kN} = 306,2 \text{ kN}$$

6.5 Primerjava spojev

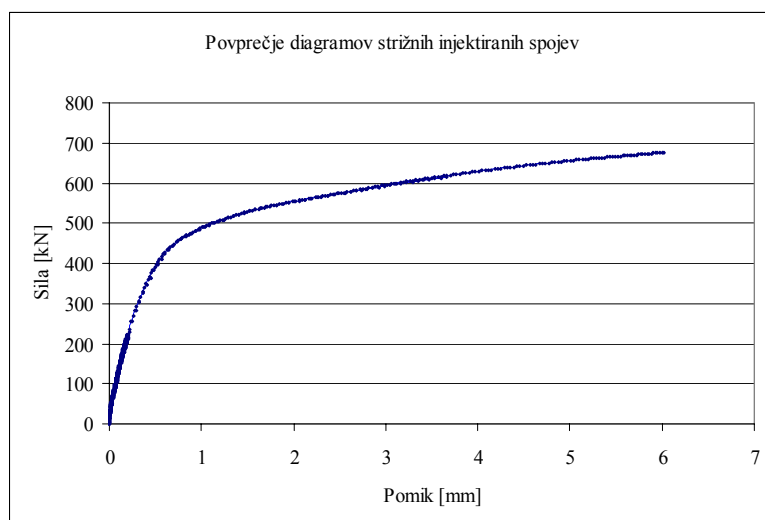
V tem odseku je narejena primerjava diagramov vseh tipov spojev. Dodan je tudi diagram navadnega strižnega spoja, ki smo ga naredili pred začetkom ostalih testov, zaradi preizkusa materiala in preizkusa vpetja preizkušanca v Instron. Diagrami strižnega injektiranega spoja, prednapetega injektiranega spoja in tornega spoja so prikazani, kot povprečje diagramov, rezultatov, vseh preizkušancev ustreznega tipa spoja. Torej, vsak izmed diagramov predstavlja povprečje petih preizkušancev oziroma desetih spojev. Izjema je navadni strižni spoj, saj smo testirali le en preizkušaneec, torej dva spoja.

Na naslednjih slikah so prikazani posamični diagrami povprečij, posameznih tipov spojev.

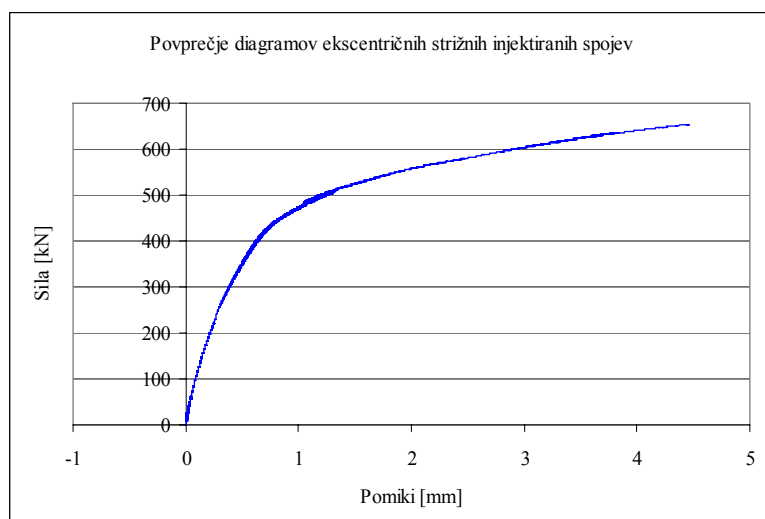


Slika 6.43: Diagram »Sila – pomik« za navaden strižni spoj

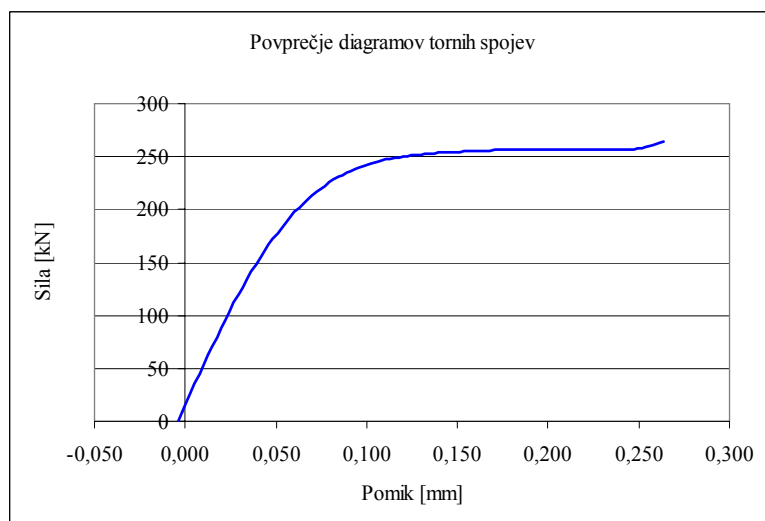
Na sliki 6.43 sta prikazana diagrama »Sila – pomik« za navadni »testni« strižni spoj. Obremenjevanje smo ustavili pri pomiku 10 mm. Zgoraj, je diagram »Sila – pomik« izrisan do pomika 2 mm, saj se šele pri tej povečavi začetnega dela diagrama lepo vidi stopničast del na začetku krivulje. Štiri »stopničke« predstavljajo postopno naleganje štirih vijakov na pločevino.



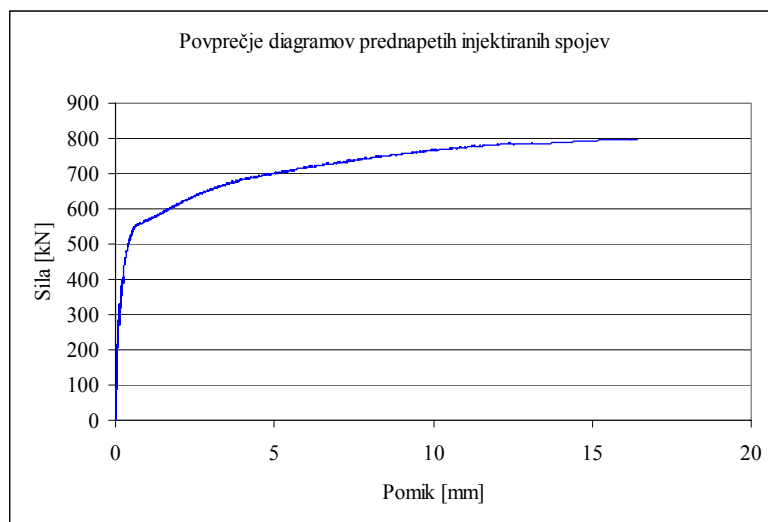
Slika 6.44: Povprečje diagramov strižnih injektiranih spojev



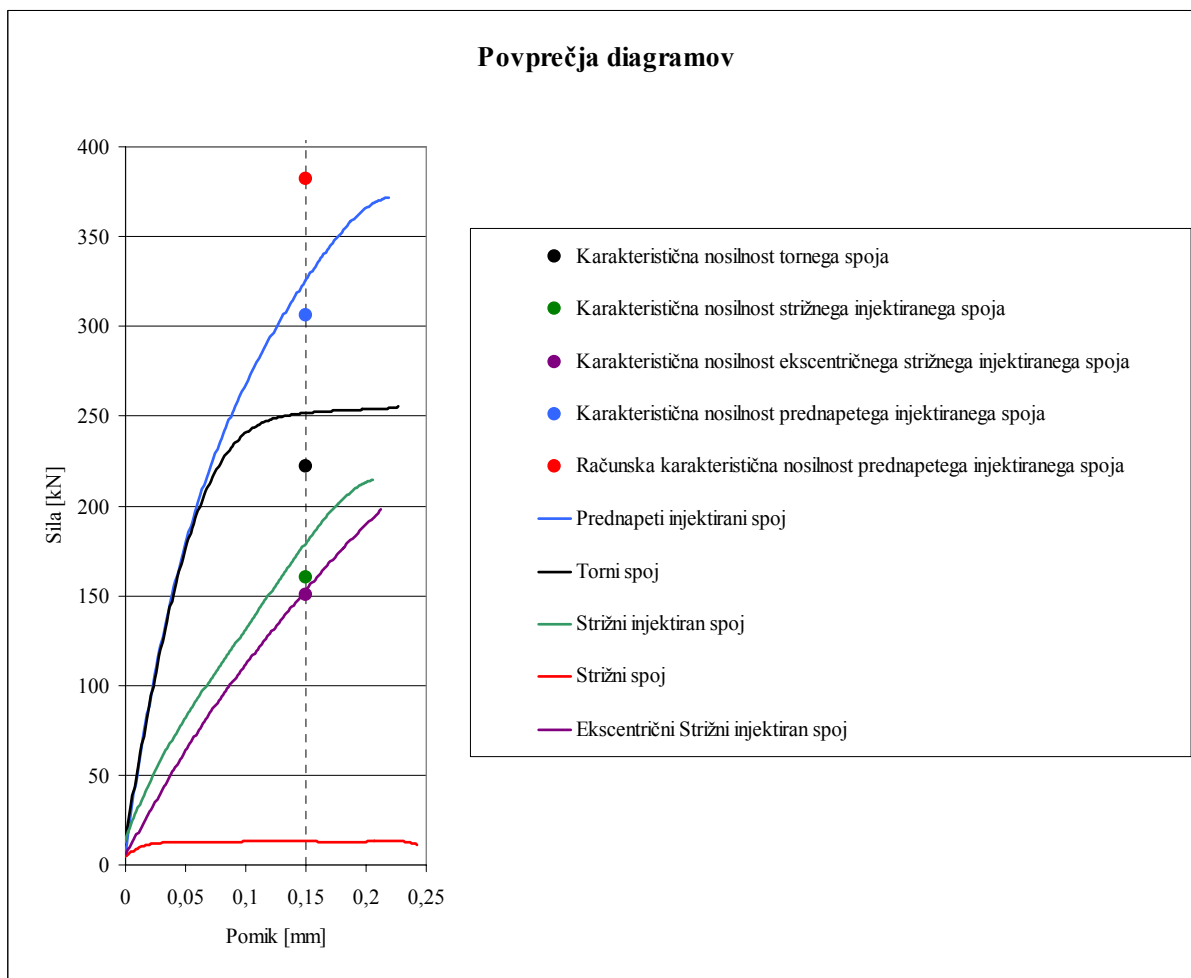
Slika 6.45: Povprečje diagramov ekscentričnih strižnih injektiranih spojev



Slika 6.46: Povprečje diagramov tornih spojev

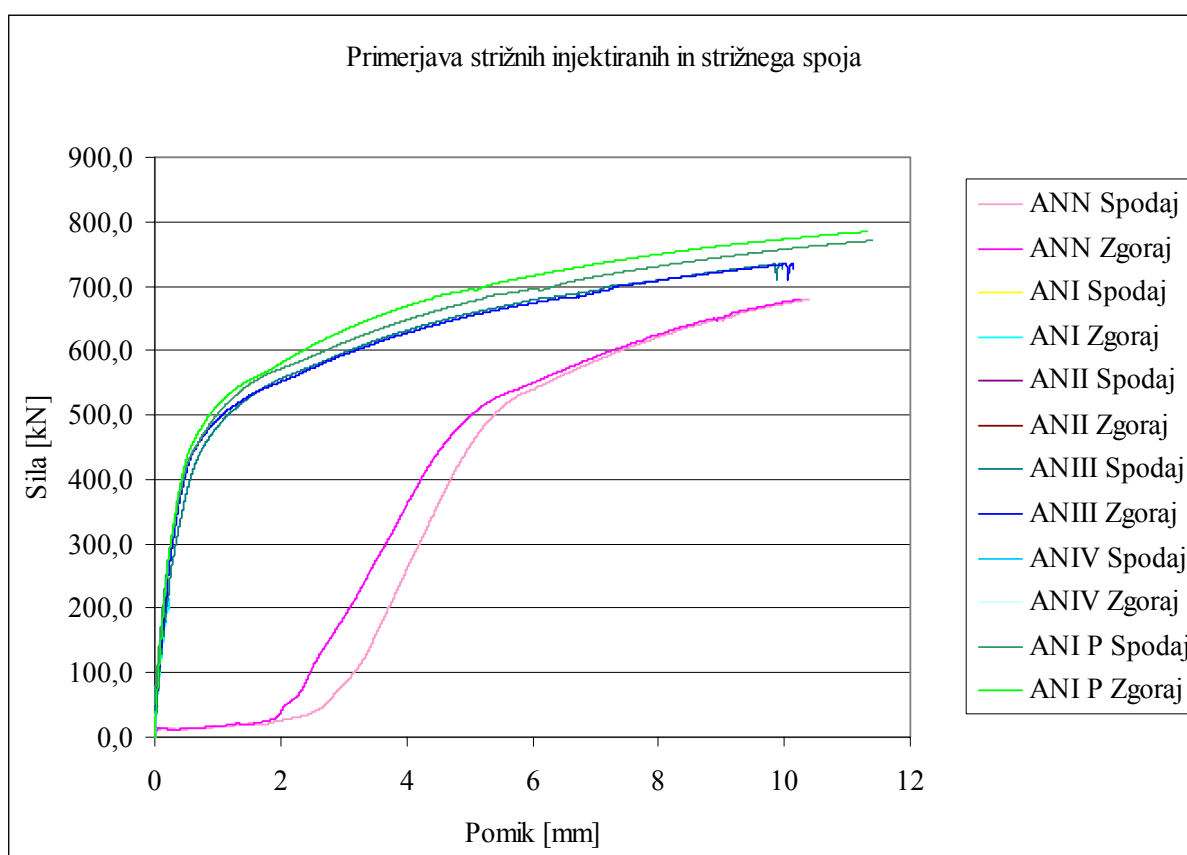


Slika 6.47: Povprečje diagramov prednapetih injektiranih spojev



Slika 6.48: Povprečja diagramov in točke karakterističnih nosilnosti

Obnašanje strižnih injektiranih spojev je bilo v primerjavi z navadnimi strižnimi spoji zelo togo. Iz primerjave tornega in prednapetega injektiranega spoja ugotovimo, da se krivulji pri pomiku približno $0,05\text{ mm}$ ločita, saj torni spoj začne lesti. Od te točke dalje je togost prednapetega injektiranega spoja precej večja od togosti tornega spoja. Odziv prednapetih injektiranih spojev je torej precej boljši od tornih spojev. S tem smo potrdili do sedaj znane ugotovitve. Karakteristično nosilnost prednapetega injektiranega spoja po SIST EN 1993-1-8 dosežemo šele pri pomiku približno $0,2\text{ mm}$. Po SIST EN 1993-1-8 je karakteristična nosilnost prednapetega injektiranega spoja definirana z vsoto odpornosti strižnega injektiranega in prednapetega spoja pri pomiku $0,15\text{ mm}$. Točke na diagramu (Slika 6.48) predstavljajo karakteristične nosilnosti posameznih tipov spojev.



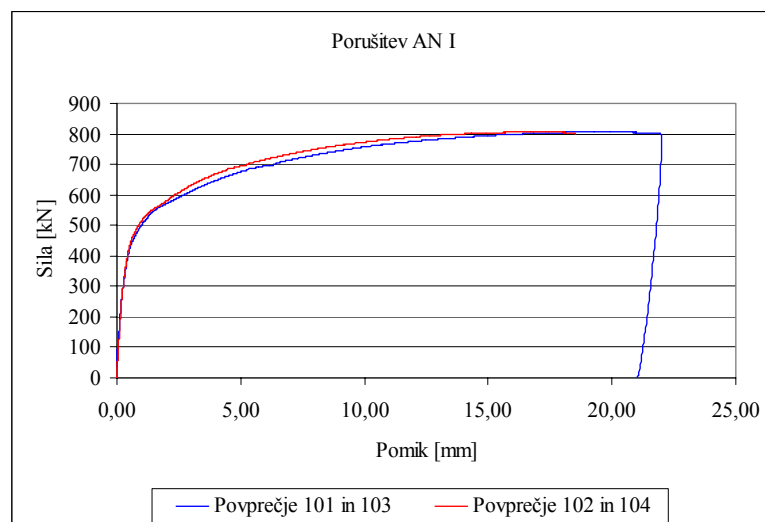
Slika 6.49: Primerjava strižnih injektiranih in strižnega spoja

Na sliki 6.51, je lepo viden raztros rezultatov, pri preizkušancih *ANI*, *ANII*, *ANIII* in *ANIV*, *ANN* in *ANIP*. Pri tem je *ANIP* preizkušanec *ANI*, ki smo ga naknadno obremenili do porušitve, glej poglavje 6.6.

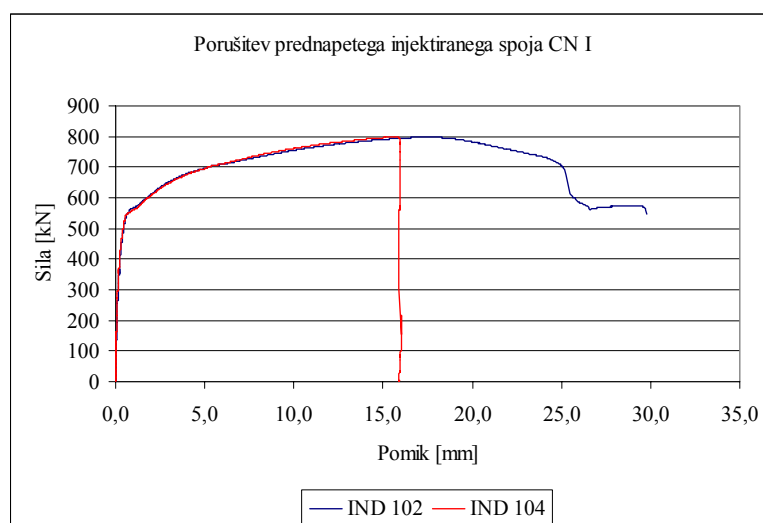
6.6 Porušitev preizkušancev

Do porušitve smo vodili preizkušanca *CNI* in *ANI*. Pri tako veliki obremenitvi, injekcijska masa ne igra več nobene vloge zato, je do porušitve pri obeh preizkušancih prišlo pri podobni obremenitvi.

Obremenjevanje preizkušanca *ANI* smo prekinili takoj po začetku lezenja pri konstantni sili medtem, ko smo preizkušanec *CNI* obremenjevali do popolne porušitve. Po razstavljanju obeh spojev, ki je potekalo kar z macolo, smo tako videli začetek trganja pločevine in njeno popolno porušitev. Preizkušanec *ANI* se je porušil pri sili 806 kN, *CNI* pa pri sili 798 kN. Sili sta po pričakovanjih seveda približno enaki. Diagrama obremenjevanja obeh preizkušancev sta prikazana na naslednjih dveh slikah.



Slika 6.50: Diagrama »Sila – pomik« pri porušitvi ANI

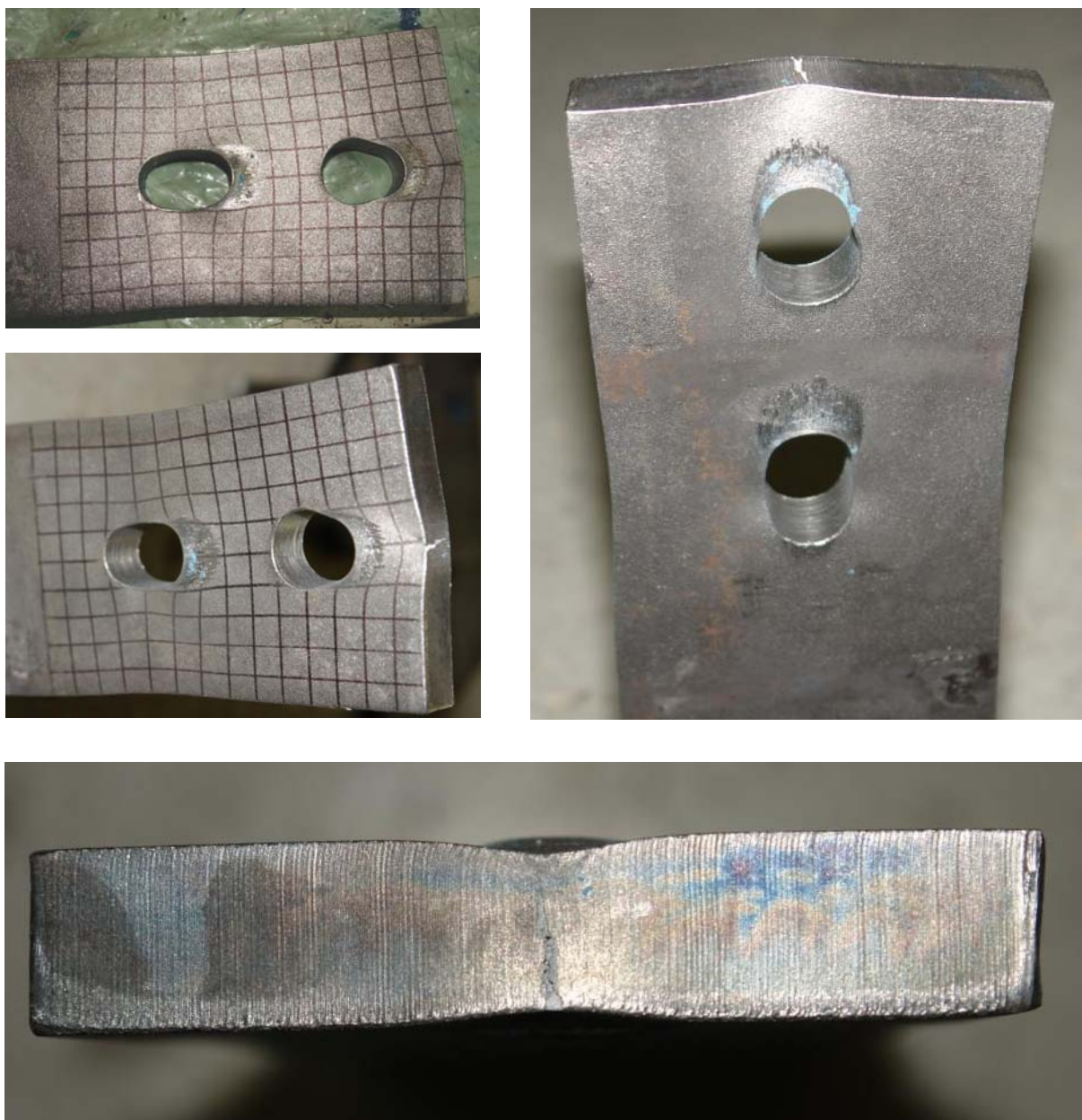


Slika 6.51: Diagrama »Sila – pomik« pri poružitvi CNI

Pri poružitvi *CNI* smo imeli zaradi varnosti induktivnih merilcev pomikov montirana le dva induktivna merilca, IND102 in IND104. IND102 je bil montiran spredaj zgoraj, IND104 pa spodaj zadaj.

Do poružitve preizkušanca *CNI* je prišlo v zgornjem vijaku. To je posledica nekaj večje obremenitve zgornjega vijaka, saj je bližje mestu obremenjevanja preizkušanca, tj. Instronove čeljusti. Pri pretrganju zgornjega vijaka, je vsa obtežba padla na spodnji vijak, ki je tako močno pritisnil na že plastificirano pločevino, da je prišlo do poružitve notranje pločevine na mestu e_1 . To nam nazorno prikaže skok krivulje na diagramu pri pomiku cca. 25 mm.

Velika ovalizacija lukenj in začetek poružitve neto prereza, notranje pločevine preizkušanca *ANI*, je lepo vidna na slikah str. 92.



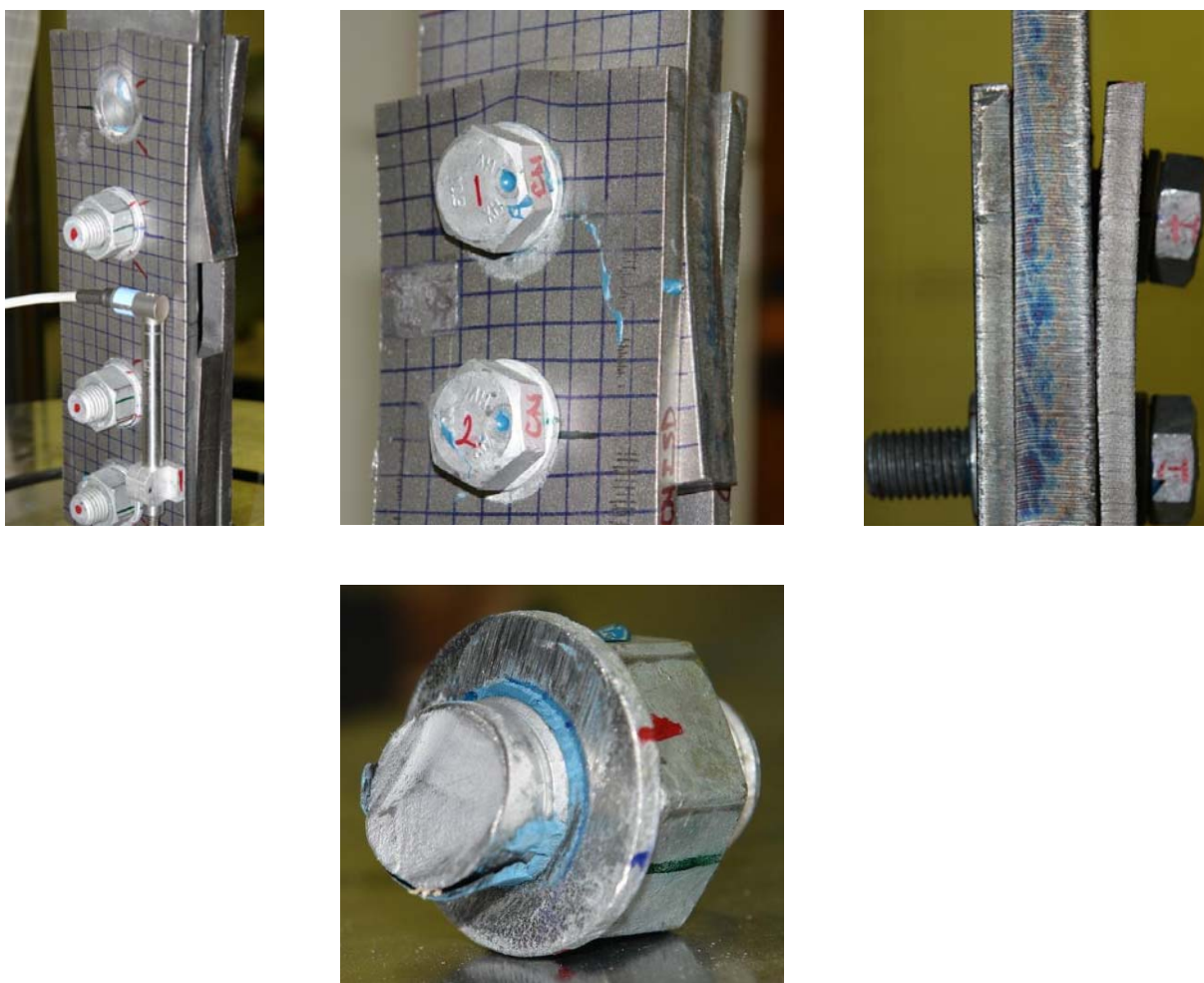
Slika 6.52: Ovalizacija in začetek trganja notranje pločevine pri ANI

Na sklopu slik 6.53 so vidne deformacije injekcijske mase. Iz vidnega lahko sklepamo, da injekcijska masa prenese ogromne plastične deformacije brez porušitve v smislu razpok in v končni fazi razpada mase.

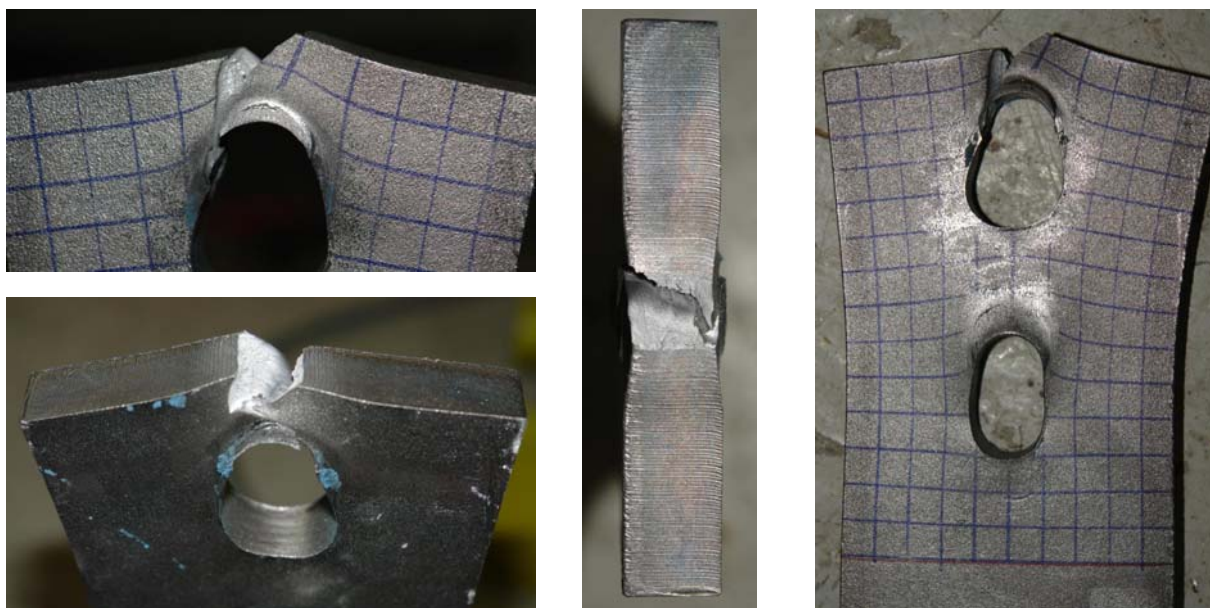


Slika 6.53: Deformacije injekcijske mase

Deformacije preskušanca *CNI* in vijakov ter deformacije notranje pločevine pri poružitvi preskušanca so vidne na slikah 6.54 in 6.55.



Slika 6.54: Deformacije preizkušanca *CNI* in vijakov pri poružitvi



Slika 6.55: Porušitev notranje pločevine po neto prerezu

6.7 Ciklični testi

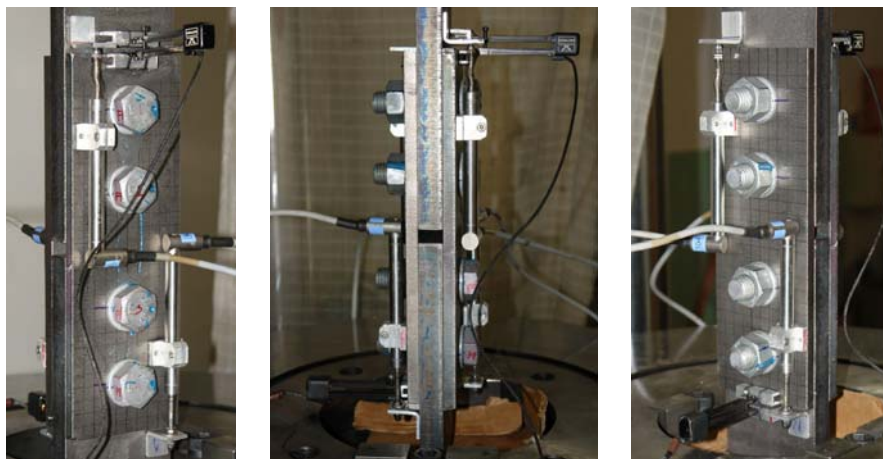
Naredili smo naslednja dva tipa cikličnih testov (preglednica 6.4):

- S konstantno amplitudo pomikov $\pm 0,135 \text{ mm}$ (Slika 6.57)
- Z naraščajočo amplitudo pomikov in konstantno frekvenco $0,05 \text{ Hz}$

Ciklične teste smo vodili preko povprečja pomikov dveh ekstenziometrov.

Prvi ekstenziometer je bil nameščen na sprednji strani preizkušanca, centrično zgoraj, medtem, ko je bil drugi nameščen na zadnji strani, prav tako centrično, vendar spodaj. Dodatno smo na preizkušance namestili induktivne merilce pomikov IND101, IND102, IND103 in IND104, ki so bili nameščeni identično kot pri ostalih testih (Slika 6.56).

Ciklično smo obremenjevali le strižne injektirane spoje, saj bi pri prednapetih injektiranih spojih, pri tako majhnih pomikih, dobili obnašanje tornih spojev, kar pomeni, da obnašanja injekcijske mase pri ciklični obremenitvi ne bi ugotovili.

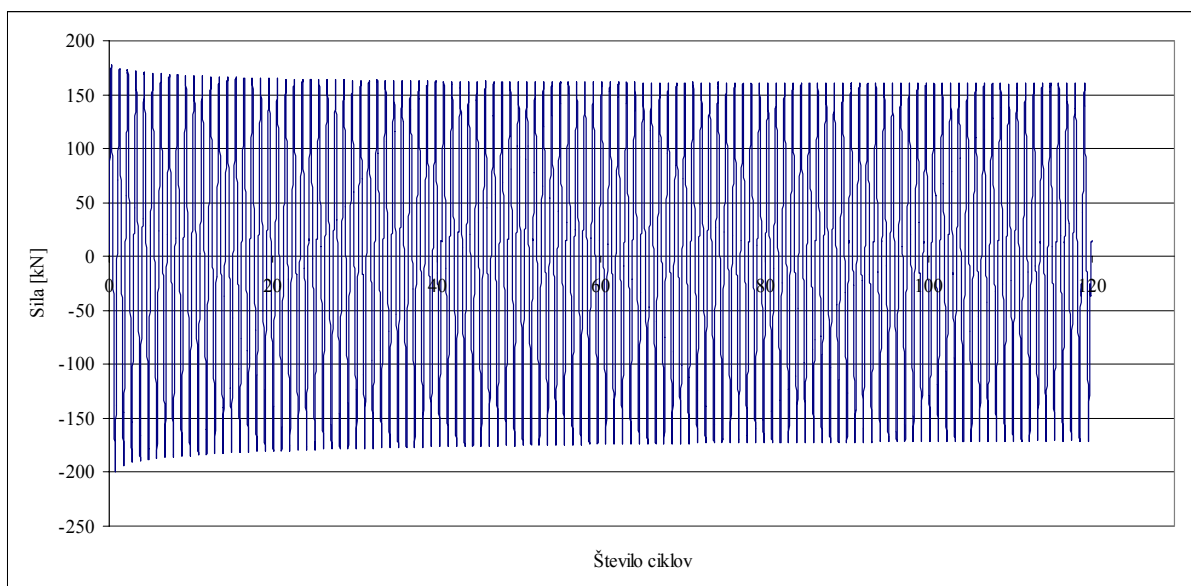


Slika 6.56: Montaža merilnih inštrumentov

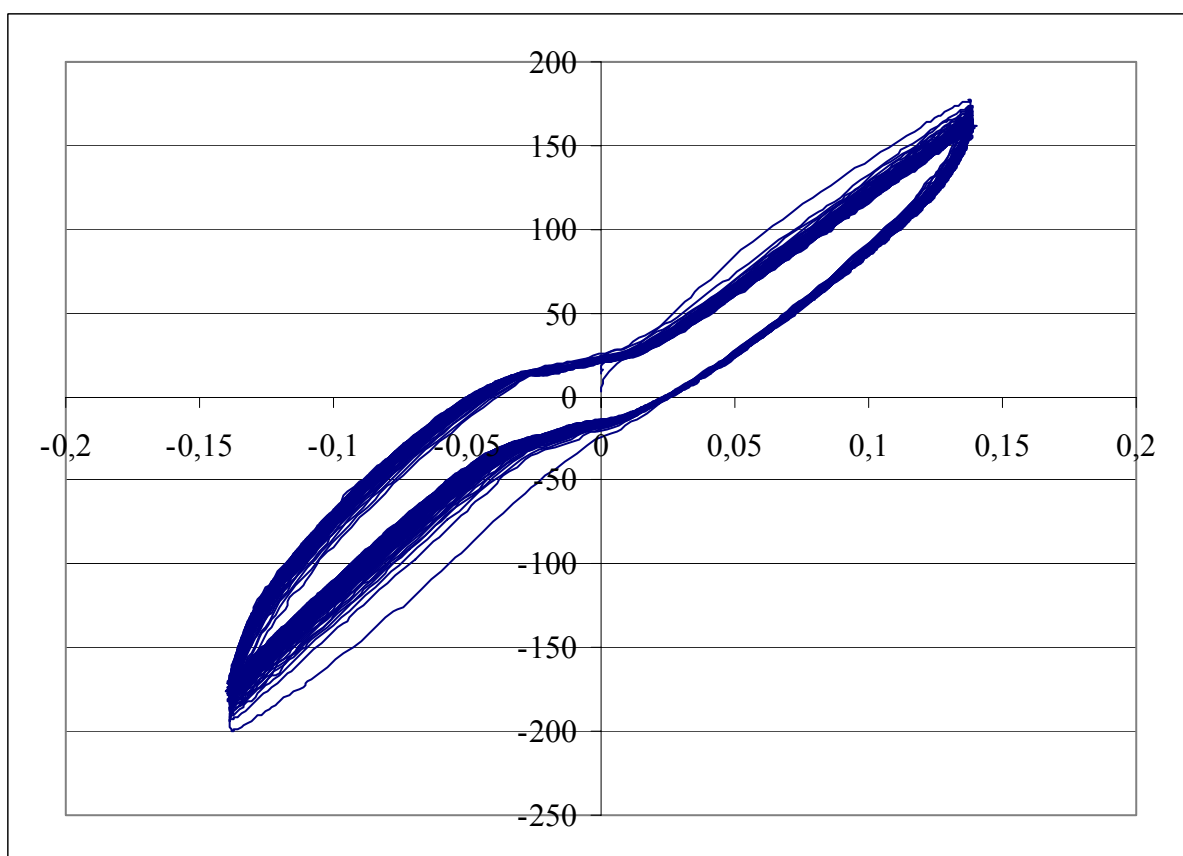
Preglednica 6.4: Podatki za ciklične teste

Frekvenca [Hz]	Hod ekstenziometra [mm]	Pomik		Število ciklov
		% · 0,150mm	[mm]	
0,05	5	90	0,135	120
4	5	90	0,135	8000
0,05	5	40	0,060	3
		60	0,090	3
		80	0,120	3
		100	0,150	3
		120	0,180	3
		140	0,210	3
		160	0,240	3
		180	0,270	3
		200	0,300	3
		250	0,375	3
		300	0,450	3
		350	0,525	3
		400	0,600	3
		500	0,750	3
667	1,001	3		
1000	1,500	3		
1334	2,001	3		

ACikli smo obremenjevali s konstantno frekvenco $\nu = 0,05 \text{ Hz}$ pri konstantni amplitudi pomikov $\pm 0,135 \text{ mm}$. Naredili smo 120 ciklov (Slika 6.57). Diagram »Sila – pomik« za *ACikli* je prikazan na sliki 6.58.



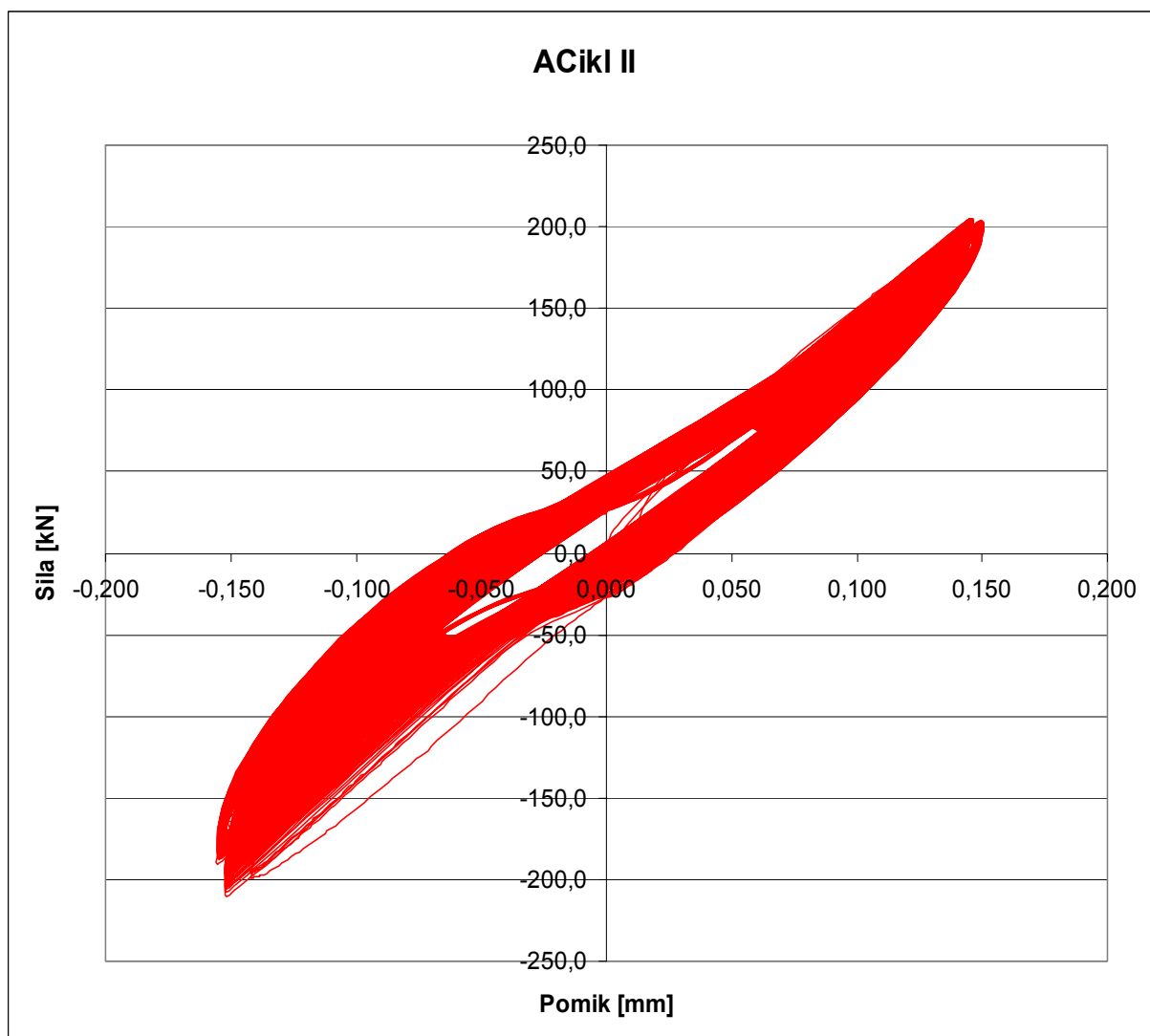
Slika 6.57: Diagram »Sila – število ciklov« pri konstantni amplitudi pomikov



Slika 6.58: Diagram »Sila – pomik« pri cikličnem obremenjevanju ACikII

Izstopajoča histerezna zanka na predstavlja prvi cikel. V tem ciklu je smo dosegli silo 176,9 kN . V prvih 40 ciklih sila počasi pada in se nato ustali pri približno 160 kN . Na sliki 6.58 se padanje sile ponazarja oženje histereznih zank.

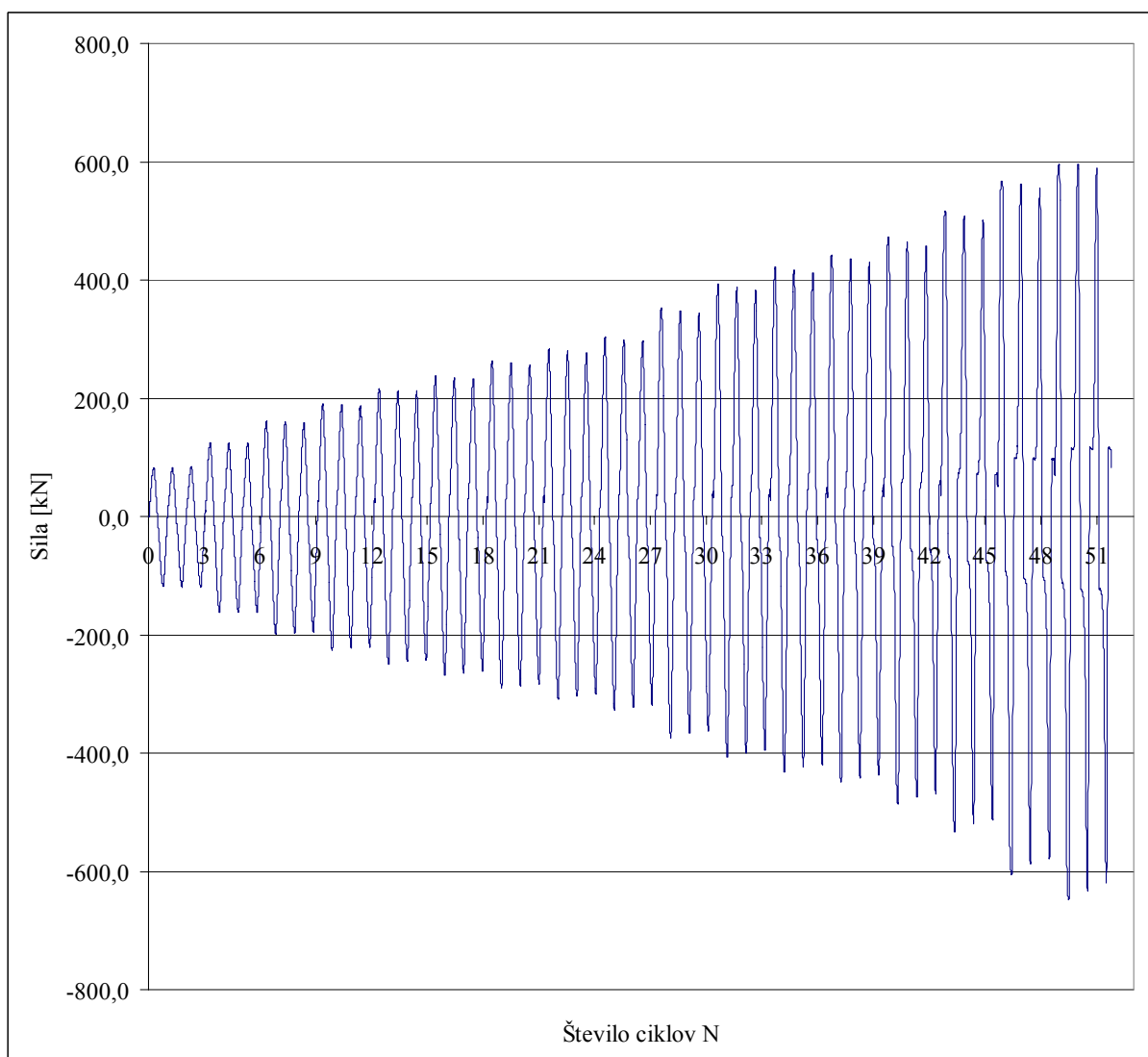
Preizkušane *ACikIII* smo obremenjevali s frekvenco $\nu = 4 \text{ Hz}$ pri konstantni amplitudi pomikov $\pm 0,135 \text{ mm}$. Do frekvence $\nu = 4 \text{ Hz}$ smo prišli postopoma. Preskušane smo namreč obremenjevali postopoma s frekvencami $\nu = 0,5 \text{ Hz}$ do $N = 199$ ciklov, $\nu = 1,0 \text{ Hz}$ do $N = 640$ ciklov, $\nu = 3 \text{ Hz}$ do $N = 5500$ in $\nu = 4 \text{ Hz}$ do 8000 ciklov. Diagram »Sila – pomik« preskušanca *ACikIII* prikazuje slika 6.59.



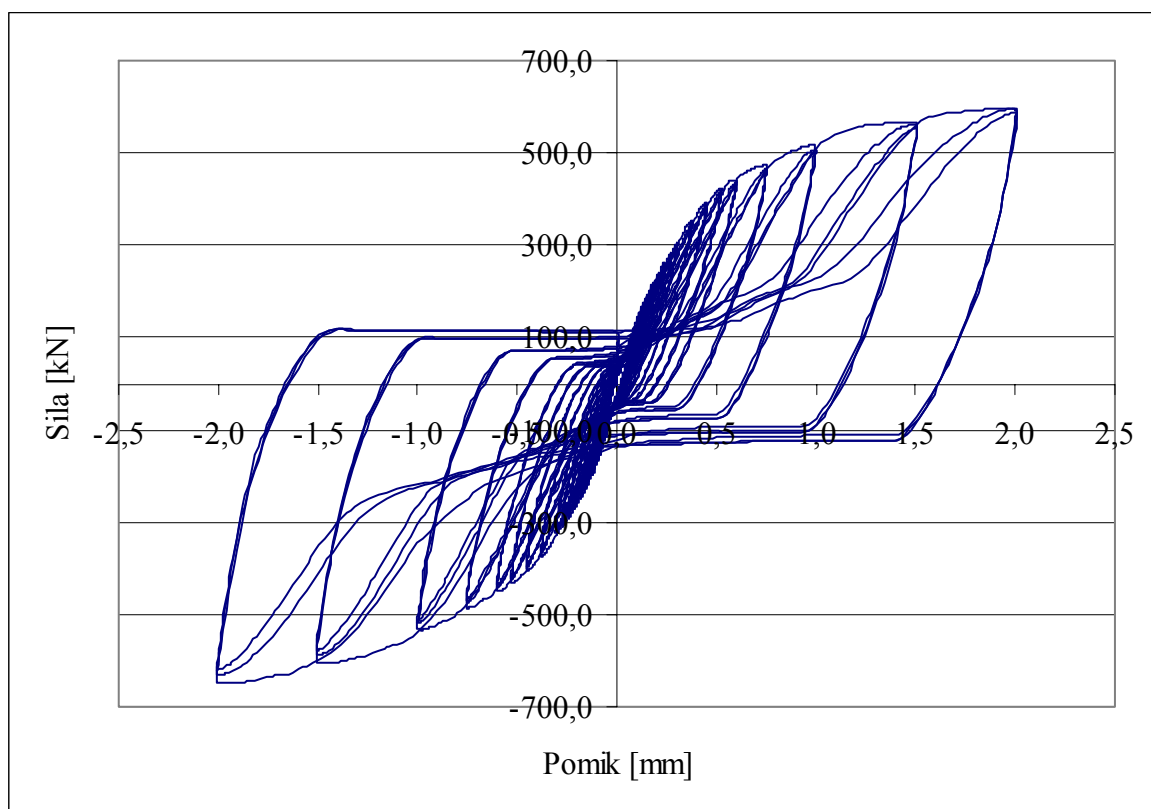
Slika 6.59: Diagrama »Sila – pomik« pri cikličnem obremenjevanju *ACikIII*

Tudi tu edina precej izstopajoča histerezna zanka predstavlja prvi cikel. Na koncih histereznih zank so opazni manjši skoki, ki pa so verjetno posledica spreminjanja frekvenc, saj se pri povečanju frekvence zaradi dinamičnih vplivov delno spremeni tudi amplituda pomika kljub temu, da je nastavitev amplitude enaka. Gre za to, da pri majhni frekvenci glava Instrona brez problema sledi spremembam smeri medtem, ko pri visokih frekvencah zaradi vplivov dinamike in zelo težke glave Instrona, v primerjavi s preskušancem, brez dodatnih nastavitvev ne moremo več doseči zelenega pomika.

Preizkušanca *ACiklIII* in *ACiklIV* smo obremenjevali po enakem postopku (Preglednica 6.4). Diagrama »Sila – število ciklov« in »Sila – pomik« sta prikazana na slika 6.60 in 6.61.

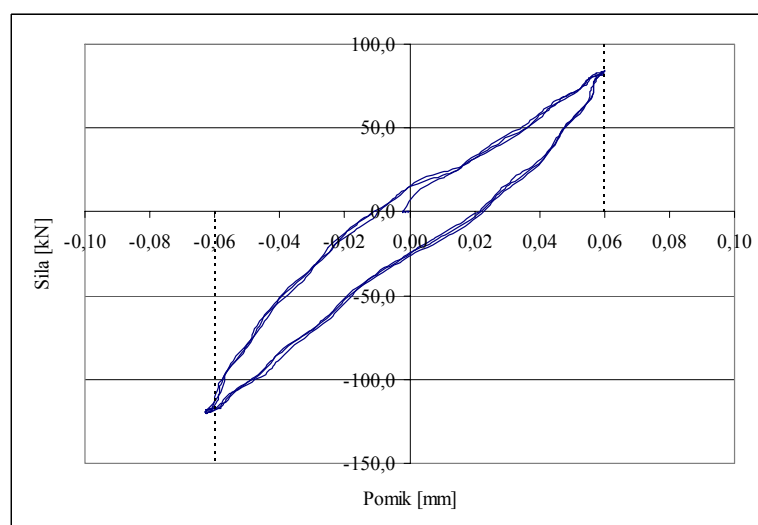


Slika 6.60: Diagram »Sila – število ciklov« pri preizkušancih *ACiklIII* in *ACiklIV*

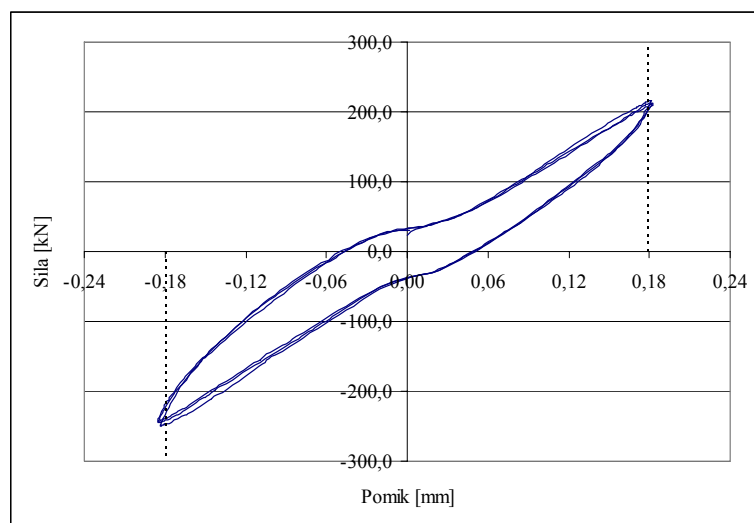


Slika 6.61: Diagram »Sila – pomik« pri ACiklIII in ACiklIV

Naslednje slike prikazujejo histerezne zanke pri različnih amplitudah pomikov. Na vsakem diagramu so izrisane po tri histerezne zanke pri enaki amplitudi. Pri vsaki amplitudi pomikov smo namreč naredili tri cikle, kar je razvidno iz diagramov na slikah 6.60 in 6.61.

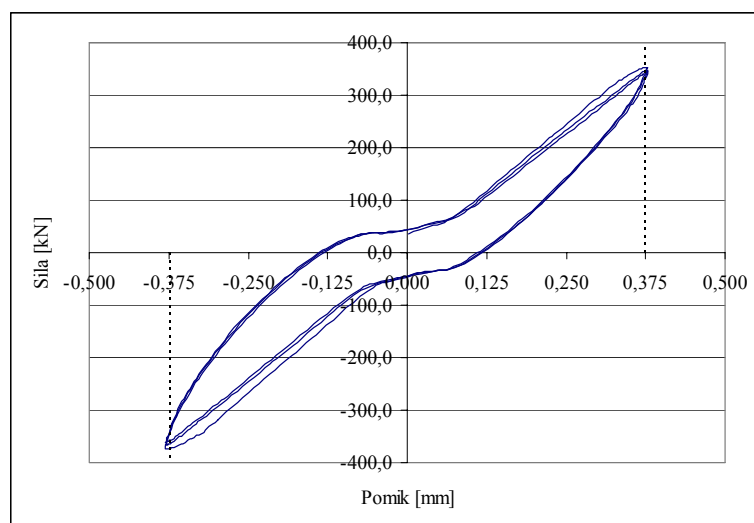


Slika 6.62: Histerezne zanke pri 1. amplitudi $\pm 0,06$ mm



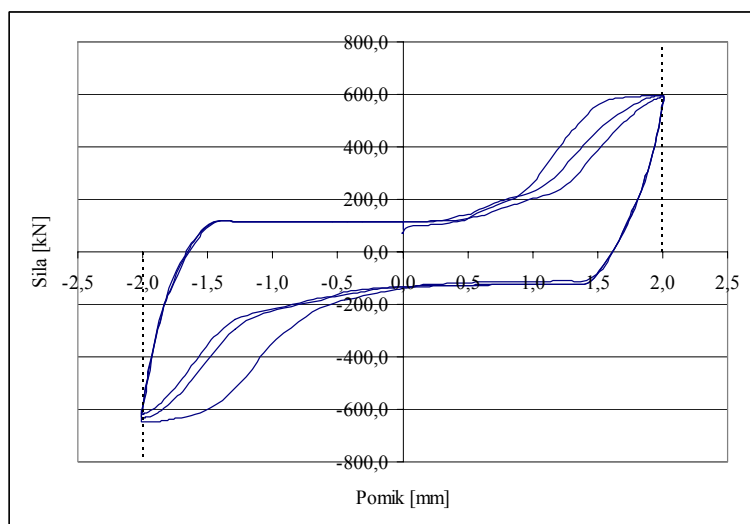
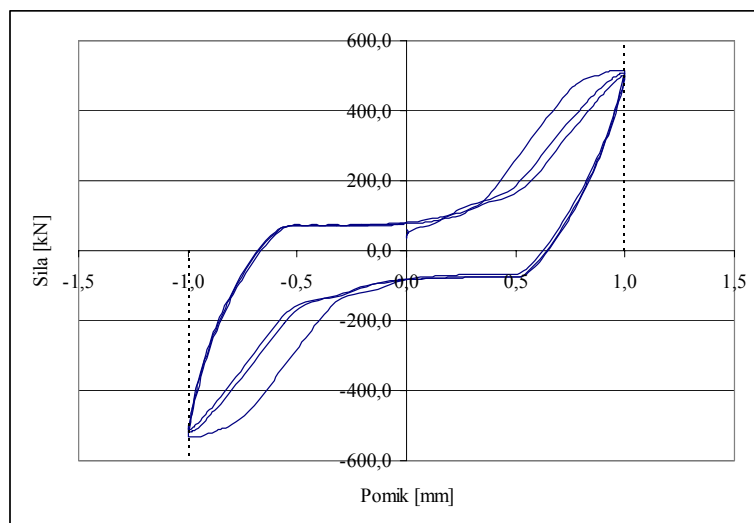
Slika 6.63: Histerezne zanke pri amplitudi $\pm 0,18$ mm

Pri peti amplitudi se opazi pojav »pinching efekta«, ki pri večanju amplitud pomikov postaja bolj izrazit. Pri amplitudi pomikov $\pm 0,375$ mm je efekt že zelo izrazit (Slika 6.64).



Slika 6.64: Histerezne zanke pri amplitudi $\pm 0,375$ mm

Na sliki 6.65 sta prikazana diagrama »Sila – pomik« pri amplitudah pomikov 1,0 in 2,0 mm. Z vsakim ciklom je vidno padanje togosti spoja. Sila pri tem ne pada.



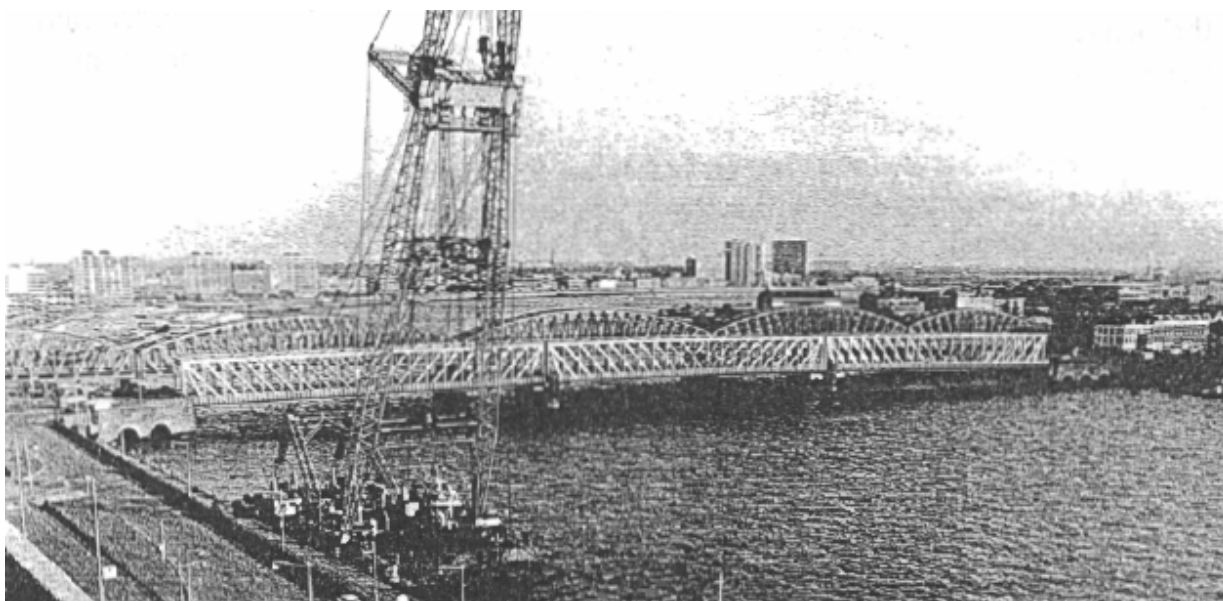
Slika 6.65: Histerezne zanke pri amplitudah pomikov $\pm 1,0$ mm in $\pm 2,0$ mm

7 PRIMERI USPEŠNE UPORABE

7.1 Zamenjava slabih zakovic

Kadar je pri starih kovičenih konstrukcijah potrebna zamenjava slabih zakovic, uporaba novih zakovic praktično ni možna, saj kvalificirana delovna sila ni več razpoložljiva. Zamenjava s prednapetimi vijaki v splošnem ni možna, zaradi nizkega tornega količnika v starih konstrukcijah (barva med pločevinami). Možna rešitev je uporaba vijakov s točnim naleganjem. Vendar pa je ta rešitev draga zaradi potrebnega razširjanja lukenj. Injektirani vijaki so se izkazali za zelo zanesljivo in relativno poceni alternativo.

Od 1970 so injektirani vijaki standardna praksa na Nizozemskem, pri sanacijah starih železniških in cestnih mostov. Porušitev injektiranih vijakov do sedaj še ni bila zabeležena.

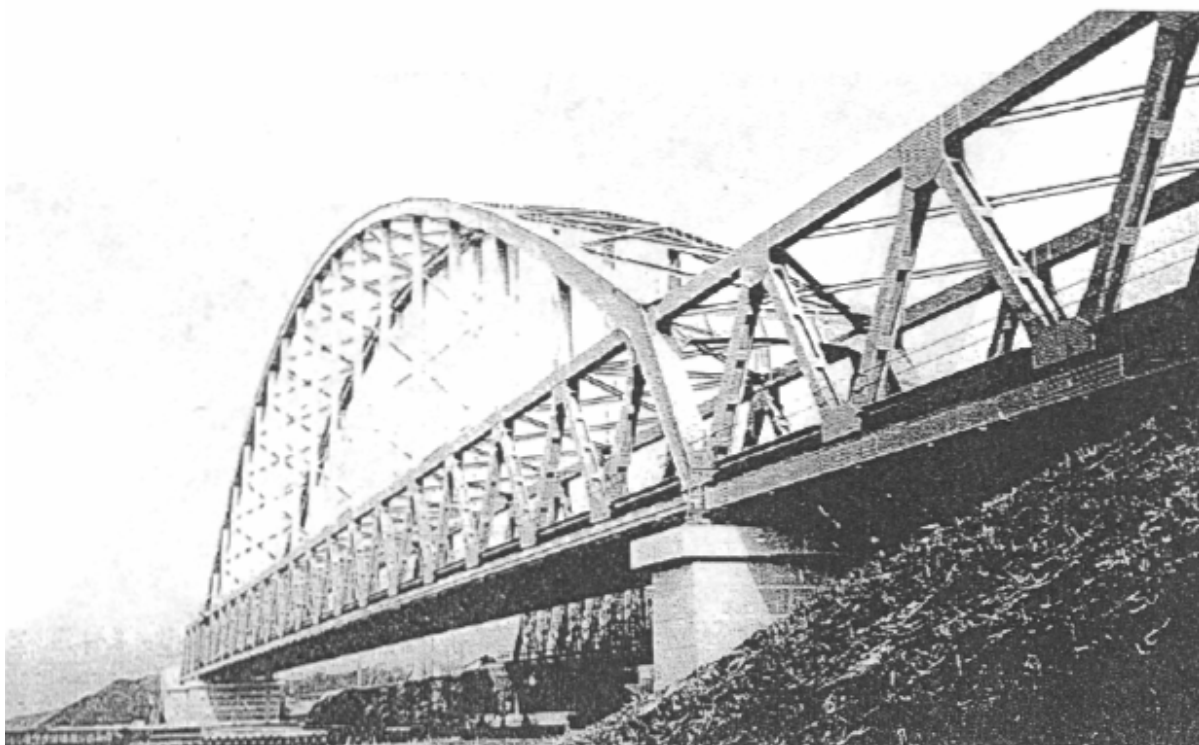


Kovičen most v Rotterdamu, kjer so bili pri sanaciji uporabljeni injektirani vijaki (ECCS N°79, 1994, str. 34)

7.2 Novi mostovi

Za Nizozemske železnice je uporaba prednapetih injektiranih vijakov, pri novih mostovih, stalna praksa. Prednosti so odpornost proti hipni obtežbi, odpornost na utrujanje in odpornost proti notranji koroziji. Prav tako, je kompaktnost spojev pomemben faktor.

Dodatno, so prednapeti in običajni injektirani vijaki pogosto uporabljeni v novih cestnih mostovih.



Železniški most v Weespu, Nizozemska 1971 (ECCS N°79, 1994, str. 36)

7.3 V statično obremenjenih konstrukcijah

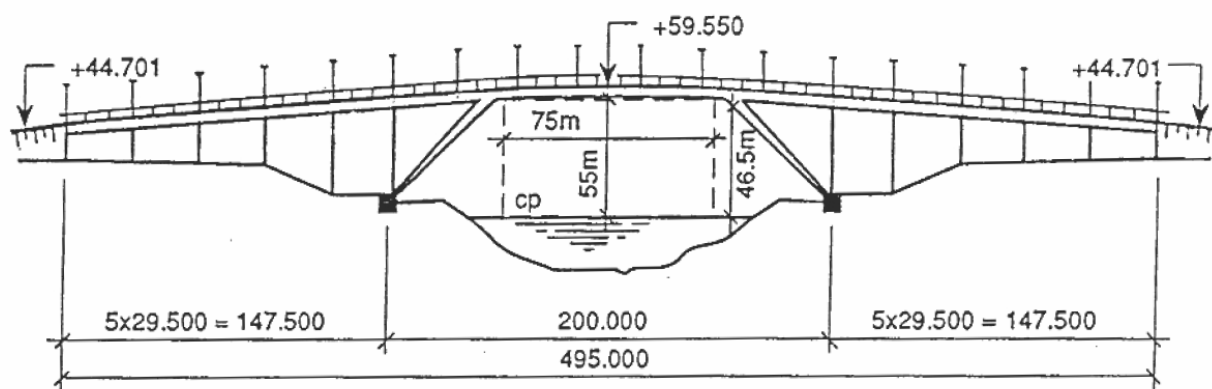
Včasih, zaradi zahtev uporabnosti ali zahtev stabilnosti zdrs v spojih, ki nosijo na bočni pritisk ni dovoljen, uporaba prednapetih vijakov lahko povzroči probleme kot so:

- obdržati spoje nepobarvane medtem, ko so ostali deli premazani z rdečo osnovo
- prednapenjanje na visoko ležečih delih konstrukcije
- potrebno umerjanje samo zaradi nekaj vijakov...

V takšnih situacijah so navadni injektirani vijaki uporabljeni kot alternativa.

7.4 Most v Curaçau

Med montažo mostu leta 1967, je prišlo do porušitve zaradi pretrganja visoko nosilnih sidrnih palic, glej naslednji sliki. Izkazalo se je, da so delavci namestili te visoko nosilne palice v betonski sidrni blok tako, da so jih začasno privarili na ojačilno armaturo temelja. Posledica je bila krhka porušitev med montažo glavnega loka mostu. Pri ponovni izgradnji mostu so bile namesto sidrnih palic uporabljene jeklene pločevine, skupne debeline 140 mm (25 + 30 + 30 + 30 + 25 mm).

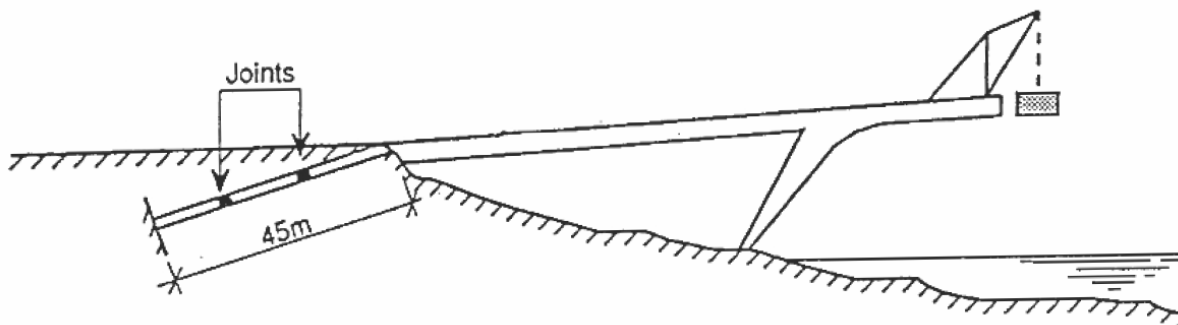


Most v Curaçau (ECCS N°79, 1994, str. 37)

V spojih so bili predvideni vijaki s točnim naleganjem $M29 \times 180$. Med namestitvijo teh vijakov, so bile odkrite napake v pozicijah lukenj za vijake. Širjenje lukenj bi bilo zelo drago

in časovno zamudno, zato je bila sprejeta odločitev, da se uporabi injektirane vijake $M27 \times 180$. Injektiranje vseh 1500 vijakov je trajalo le 6 dni.

Po končani izgradnji mostu, so bile sidrne pločevine odstranjene. Preverjenih je bilo tudi nekaj vijakov. Ugotovljeno je bilo, da so bile vse luknje za vijake popolnoma zapolnjene z maso.



Skica mostu v Curaçau med izgradnjo z jeklenimi pločevinami v sidrnem sistemu (ECCS N°79, 1994, str. 37).

7.5 Mlin na veter

Med zagonom in zaustavitvijo mora spoj, med menjalnikom in osnovno pločevino, ki ga povezuje z mlinom prenesti ogromne sile. Te sile so povzročile zdrs, kadar je bil vijačen spoj narejen z visoko nosilnimi prednapetimi vijaki M39. Po določenem času je prišlo do porušitve vijakov. Problem je bil rešen z montažo injektiranih vijakov.

7.6 Most v Oranienburgu

V pripravah na sanacijo, starega kovičenega mostu (1934) preko reke Havel v Oranienburgu blizu Berlina, je bila ugotovljena močna korozija stojine glavnega nosilca. Točna stopnja korozije je bila ugotovljena šele, ko so odstranili betonsko voziščno konstrukcijo. Močno korozijo je povzročilo dotekanje dežja in umazanije v prostor med jeklom in betonom skozi vsa leta.

Prvotna debelina pločevin je bila 14 mm. Zaradi korozije se je debelina zmanjšala na 10mm in celo 0 mm na nekaterih mestih, povprečno na 9 mm.



Vzorec korozije na nivoju voziščne konstrukcije (INJECTION BOLTS TO REPAIR OLD BRIDGES, str. 37).

Sanacija z varjenjem ojačilnih pločevin na korodirane dele ni bila možna, zaradi slabih varilnih karakteristik starega jekla. Prav tako, kovičenje ni prišlo v poštev zaradi nedostopnosti dobre opreme in izurjene delovne sile. Vijaki s točnim naleganjem so bili kot možnost sanacije izključeni, zaradi visoke cene. Uporaba prednapetih vijakov je bila označena kot slaba rešitev, ker je bil zaradi neravnih korodiranih površin stojine in prisotnosti ostankov barve torni količnik zelo majhen. Na spodnji sliki je prikazana montaža 700 M24 injektiranih vijakov.



**Injektiranje v izdelavi (levo) in pogled na ojačitve glavnega nosilca (desno).
(INJECTION BOLTS TO REPAIR OLD BRIDGES, str. 37).**

8 Rezultati testov Stevinovega laboratorija

8.1 Izbira najboljše smole

Med raziskavo, v Stevinovem laboratoriju na tehnični univerzi v Delftu, je bilo testiranih več različnih smol. Kot najboljša smola se je izkazala dvokomponentno smola "Araldit", proizvajalca Ciba-Geigy: 11 masnih delov SW 404 z enim masnim delom trdilca HY 404.

Bočna nosilnost te smole je bila $f_{b, \text{resin}} = 150 \text{ N} / \text{mm}^2$.

Zaradi zdravstvenih razlogov, so v Ciba-Geigy spremenili recept trdilca. Nov trdilec HY 2404 je zamenjal prej toksičnega HY 404. Iz tehničnih specifikacij je bilo razvidno, da ima nova mešanica smole za približno 15% nižjo tlačno in bočno trdnost. Z namenom, določiti vrednost tlačne in bočne nosilnosti nove smole $f_{b, \text{resin}}$, so bili potrebni novi testi. Prvi rezultati opravljenih testov v Stevinovem laboratoriju so pokazali, da je nosilnost nove smole približno $f_{b, \text{resin}} = 130 \text{ N} / \text{mm}^2$.

8.2 Nosilnost na bočni pritisk pri povečanih luknjah

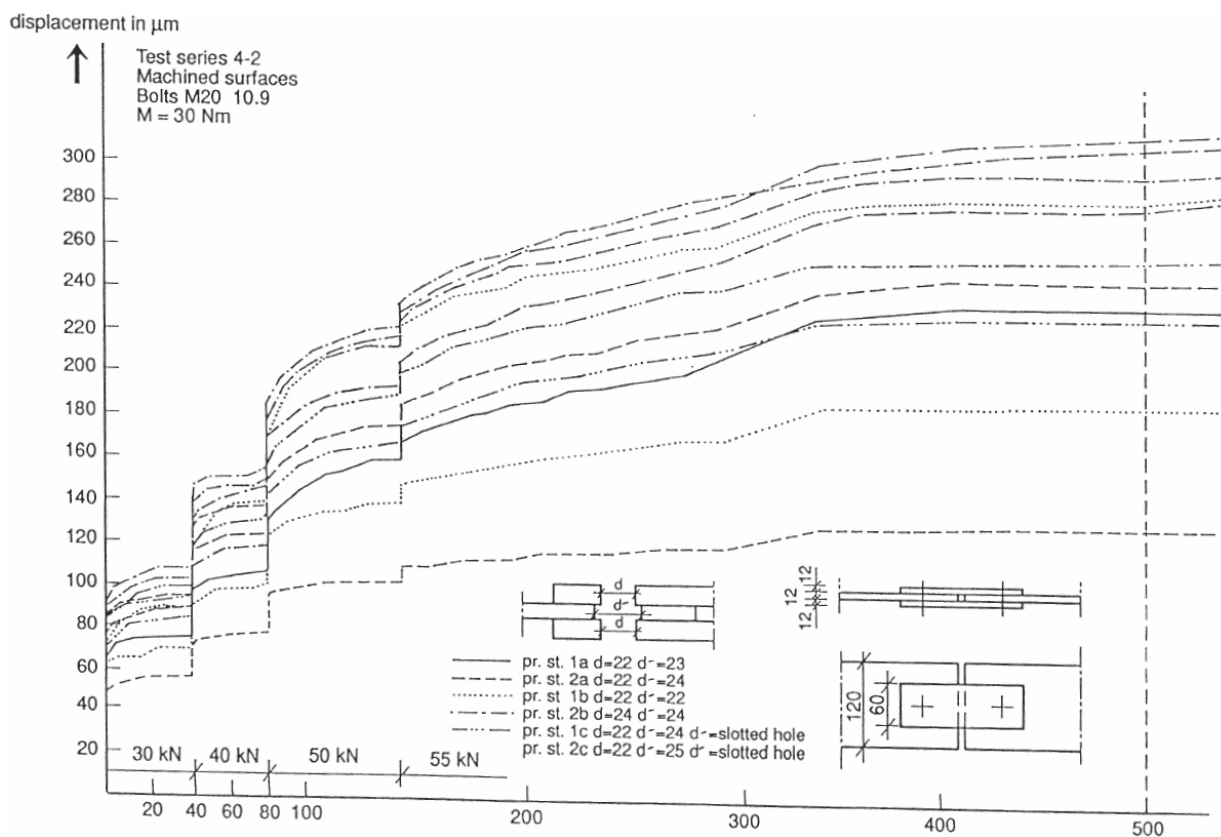
Na sliki str. 29 je prikazanih nekaj rezultatov preizkusov lezenja, pri povečanih luknjah za vijake. Podatki so sledeči:

- vijaki M20, 10.9; standardna odprtina za vijake 2mm;
- $t_1 = t_2 = 12 \text{ mm}$; $\beta \cdot f_{b, \text{resin}} = \frac{4}{3} \cdot 150 = 200 \text{ N} / \text{mm}^2$;
- premer lukenj v pokrovnih pločevinah je d in v glavni pločevini d' ;
- testna vzorca 1c in 2c imata podaljšane luknje v glavni pločevini

Opravljeni so bili tudi testi z $d' = 26 \text{ mm}$ in testi s podaljšanimi luknjami 22–26 mm in 22-30 mm.

Podatki testnih vzorcev (ECCS N°79, 1994, str. 38).

Test	d [mm]	d' [mm]	$k_s \beta f_{b,resin}$ [N/mm ²]	$\sigma_{b,resin}$ at 0,3mm [N/mm ²]
1a	22	23	$0,90 \cdot 200 = 180$	> 204
2a	22	24	$0,80 \cdot 200 = 160$	> 204
1b	22	22	$1,00 \cdot 200 = 200$	> 204
2b	24	24	$0,80 \cdot 200 = 160$	> 204
1c	22	24-22	$0,90 \cdot 200 = 180$	> 204
2c	22	25-22	$0,85 \cdot 200 = 170$	> 204



Rezultati testov lezenja pri povečanih luknjah (ECCS N°79, 1994, str. 39).

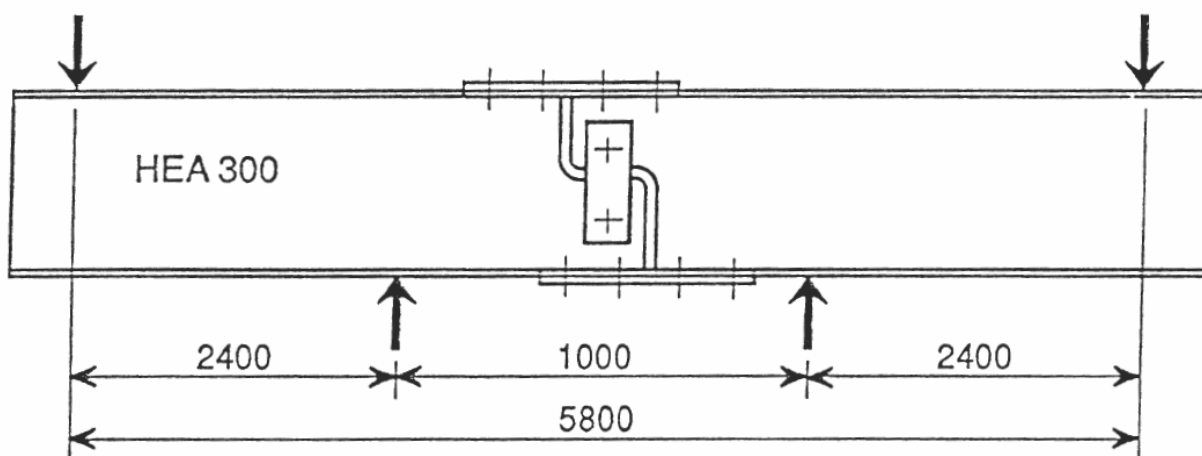
8.3 Vpliv temperature na bočno nosilnost

Testi lezenja so bili opravljeni pri temperaturi 20°C in pri 55°C . Izkazalo se je, da je pri temperaturi 55°C $f_{b,resin} = 0,85 f_{b,resin,20^{\circ}\text{C}}$.

Kratki intervali visokih temperatur, do 80°C poleti pri izpostavljenih konstrukcijah, nimajo dejanskega vpliva na obnašanje spojev.

8.4 Odpornost na utrujanje

V vseh testih je prišlo do pretrganja bodisi pločevin bodisi vijakov. Spodnja slika prikazuje testni vzorec ene izmed testnih serij, v katerem je bil preizkušen enostaven preklopni spoj. Kategorija detajla, določena s testi, je bila vsaj 180. Testi so pokazali, da je odpornost na utrujanje saniranih spojev (zamenjava slabih zakovic) z injektiranimi vijaki boljša od spojev, saniranih z vijaki s točnim naleganjem, ki naj bi imeli enako odpornost na utrujanje kot kovičeni spoji.



Testni vzorec ene izmed serij z enostavnim preklopnim spojem in injektiranimi vijaki
(ECCS N°79, 1994, str. 40).

8.5 Injektiranje in sušenje

Vsi spodaj naštetih podatki se nanašajo na proizvode SW404/HY404 oziroma SW404/HY2404 proizvajalca Ciba-Geigy.

8.5.1 Dodajanje in mešanje

Smola in trdilec sta pakirana v majhnih kovinskih posodah. Dodajanje poteka tako, da stremo vsebino kovinske posode s trdilcem v kovinsko posodo s smolo in potem premešamo z uporabo električnega ali kompresorskega mešalca. Vsebina v kovinski posodi se nato strese v sekundarno kovinsko posodo in ponovno premeša. S tem zagotovimo, da je vsebina dobro premešana.

8.5.2 Uporabnost zmesi

Uporabnost zmesi pri 20°C je med 15 in 20 minut.

8.5.3 Voda

Testi so pokazali znatno zmanjšanje bočne nosilnosti injekcijske mase ob prisotnosti vode.

8.5.4 Viskoznost

Viskoznost je takšna, da je morda potrebna uporaba modelarske gline, za preprečitev iztekanja smole iz injektiranega vijaka, posebno pri višjih temperaturah. Pri temperaturi nižji od 10°C je potrebno predhodno segrevanje.

8.5.5 Čas sušenja

Čas sušenja, za dosego polne bočne nosilnosti pri temperaturi 20°C , je 24 ur. Čas znatno narašča z nižanjem temperature. Če, na primer pri sanaciji železniškega mostu, želimo doseči 80% polne nosilnosti v treh urah, moramo segreti spoj na 50°C . Pri novejši zmesi SW404/HY2404, je čas sušenja daljši.

9 RAČUNSKI PRIMERI

9.1 Vijačeni preklopni spoj natezne vezi

Dimenzioniraj vijačeni preklopni spoj natezne vezi HEA 400 na podano obtežbo. Najprej spoj dimenzioniraj z uporabo običajnih vijakov, nato pa še z uporabo injektiranih vijakov. Zaradi primerjave, v vsakem primeru uporabi enake vijake.

9.1.1 Material

Natezna vez: S 235, $f_y = 23.5 \text{ kN} / \text{cm}^2$, $f_u = 36.0 \text{ kN} / \text{cm}^2$

Vezna pločevina: S 235, $f_y = 23.5 \text{ kN} / \text{cm}^2$, $f_u = 36.0 \text{ kN} / \text{cm}^2$

Vijaki 8.8: $f_{ub} = 80.0 \text{ kN} / \text{cm}^2$

Injekcijska masa: $f_{b, \text{resin}} = 150 \text{ MPa}$

9.1.2 Obremenitev

$$N_{Ed} = 0.7 N_{pl, Rd} = 0.7 A \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0.7 \cdot 159 \text{ cm}^2 \cdot \frac{23.5 \text{ kN} / \text{cm}^2}{1.0} = 2802.4 \text{ kN}$$

9.1.3 Dimenzioniranje spoja z običajnimi vijaki

Obremenitev v spoju se prerazporedi v razmerju togosti.

$$A_f = b_f t_f = 30 \text{ cm} \cdot 1.9 \text{ cm} = 57 \text{ cm}^2$$

$$A_w = A - 2A_f = 159 \text{ cm}^2 - 2 \cdot 57 \text{ cm}^2 = 45 \text{ cm}^2$$

Oсна sila, ki odpade na eno pasnico:

$$N_{f,Ed} = \frac{A_f}{A} N_{Ed} = \frac{57 \text{ cm}^2}{159 \text{ cm}^2} \cdot 2802.4 \text{ kN} = 1004.6 \text{ kN}$$

Oсна sila, ki odpade na stojino:

$$N_{w,Ed} = \frac{A_w}{A} N_{Ed} = \frac{45 \text{ cm}^2}{159 \text{ cm}^2} \cdot 2802.4 \text{ kN} = 793.1 \text{ kN}$$

- **Spoj v področju pasnic**

Izberemo vijake M 24 8.8

Strižna ravnina poteka skozi steblo vijaka, $A_s = 4.52 \text{ cm}^2$

- Kontrola strižne nosilnosti; SIST EN 1993-1-8, Točka 3, Preglednica 3.4, Str. 29

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \cdot 80 \text{ kN/cm}^2 \cdot 4.52 \text{ cm}^2}{1.25} = 173.6 \text{ kN}$$

m število strižnih ravnin = 1

n število vijakov

Iz enačbe $N_{f,Rd} \leq m \cdot n \cdot F_{v,Rd}$ določimo število vijakov:

$$n \geq \frac{N_{f,Ed}}{m F_{v,Rd}} = \frac{1004.6 \text{ kN}}{1 \cdot 173.6 \text{ kN}} = 5.8$$

Izberemo število vijakov $n = 6$.

- Razporeditev vijakov; SIST EN 1993-1-8, Točka 3, Preglednica 3.3, Str. 25

$$d_0 = d + 2 \text{ mm} = 24 \text{ mm} + 2 \text{ mm} = 26 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}e_1 &\approx 2 \cdot d_0 = 2 \cdot 26 \text{ mm} = 52 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 60 \text{ mm} \\e_2 &\geq 1.5 \cdot d_0 = 1.5 \cdot 26 \text{ mm} = 39 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 80 \text{ mm} \\p_1 &\approx 3 \cdot d_0 = 3 \cdot 26 \text{ mm} = 78 \text{ mm} \rightarrow 80 \text{ mm} \\p_2 &\approx 3 \cdot d_0 = 3 \cdot 26 \text{ mm} = 78 \text{ mm} \rightarrow 140 \text{ mm} \\b_v &= 2e_2 + p_2 = 300 \text{ mm}\end{aligned}$$

Kontrola dolžine spoja, SIST EN 1993-1-8, Točka 3.8, Str. 31

$$L_j = 3 \cdot p_1 = 2 \cdot 80 \text{ mm} = 160 \text{ mm} \leq 15 \cdot d = 15 \cdot 24 \text{ mm} = 360 \text{ mm} \quad \checkmark$$

- Kontrola bočnih pritiskov; SIST EN 1993-1-8, Točka 3, Preglednica 3.4, Str. 29

Bočni pritisk na robnem vijaku:

$$\begin{aligned}k_1 &= \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{80}{22} - 1,7; 2,5\right) = 2,5 \\ \alpha_d &= \frac{e_1}{3d_0} = \frac{60}{3 \cdot 26} = 0,77 \\ \alpha_b &= \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \left(0,77; \frac{80}{36}; 1,0\right) = 0,77 \\ t &= \min(t_f; t_v) = \min(19 \text{ mm}; \geq t_f) = 19 \text{ mm} \\ F_{b,Rd}^n &= \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,77 \cdot 36 \text{ kN/cm}^2 \cdot 2,4 \text{ cm} \cdot 1,9 \text{ cm}}{1,25} = 252,8 \text{ kN}\end{aligned}$$

Bočni pritisk na notranjem vijaku:

$$\begin{aligned}k_1 &= \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{80}{22} - 1,7; 2,5\right) = 2,5 \\ \alpha_d &= \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} = \frac{80}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} = 0,78 \\ \alpha_b &= \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \left(0,78; \frac{80}{36}; 1,0\right) = 0,78 \\ t &= \min(t_f; t_v) = \min(19 \text{ mm}; \geq t_f) = 13,5 \text{ mm} \\ F_{b,Rd}^n &= \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,78 \cdot 36 \text{ kN/cm}^2 \cdot 2,4 \text{ cm} \cdot 1,9 \text{ cm}}{1,25} = 256,1 \text{ kN}\end{aligned}$$

Kontrola nosilnosti skupine vijakov

$$m \cdot F_{v,Rd} \geq \max(F_{b,Rd}^r; F_{b,Rd}^n)$$

$$1 \cdot 173.6 \text{ kN} = 173.6 \text{ kN} \geq \max(252.8 \text{ kN}; 256.1 \text{ kN}) = 256.1 \text{ kN} \quad \times$$

Nosilnost spoja

$$N_{f,Ed} = 1004.6 \text{ kN} \leq m \cdot n \cdot F_{v,Rd} = 1 \cdot 6 \cdot 173.6 \text{ kN} = 1041.6 \text{ kN} \quad \checkmark$$

- **Kontrola bruto in neto prereza**

Pasnica

Bruto prerez, SIST EN 1993-1-1, Točka 6.2.3, Str. 51

$$N_{f,Ed} \leq N_{pl,Rd} = \frac{A_f f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$1004.6 \text{ kN} \leq \frac{59 \text{ cm}^2 \cdot 23.5 \text{ kN/cm}^2}{1.0} = 1386.5 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Neto prerez, SIST EN 1993-1-1, Točka 6.2.3, Str. 51

$$A_{net} = A_f - 2d_0 t_f = 59 \text{ cm}^2 - 2 \cdot 2.6 \text{ cm} \cdot 1.9 \text{ cm} = 47.12 \text{ cm}^2$$

$$N_{f,Ed} \leq N_{u,Rd} = \frac{0.9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$1004.6 \text{ kN} \leq \frac{0.9 \cdot 47.12 \text{ cm}^2 \cdot 36 \text{ kN/cm}^2}{1.25} = 1221.4 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Vezna pločevina ob pasnici:

$$b_v = b_f = 300 \text{ mm}$$

$$t_v = 20 \text{ mm} > t_f$$

$$l_v = 2 \cdot (p_1 + e_1) \cdot 2 + \Delta = 2 \cdot (80 \text{ mm} + 60 \text{ mm}) \cdot 2 + 5 \text{ mm} = 565 \text{ mm}$$

Ker so dimenzije vezne pločevine enake oz. večje od dimenzij pasnice, kontrola nosilnosti ni potrebna, saj je nosilnost vezne pločevine večja.

- **Spoj v področju stojine**

Izberemo vijake M 24 8.8

Strižna ravnina poteka skozi steblo vijaka, $A_s = 4.52 \text{ cm}^2$

- Kontrola strižne nosilnosti; SIST EN 1993-1-8, Točka 3, Preglednica 3.4, Str. 29

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \cdot 80 \text{ kN/cm}^2 \cdot 4.52 \text{ cm}^2}{1.25} = 173.6 \text{ kN}$$

m število strižnih ravnin = 2

n število vijakov

Iz enačbe $N_{w,Rd} \leq m \cdot n \cdot F_{v,Rd}$ določimo število vijakov:

$$n \geq \frac{N_{w,Ed}}{m F_{v,Rd}} = \frac{793.1 \text{ kN}}{2 \cdot 173.6 \text{ kN}} = 2.3$$

Izberemo parno število vijakov $n = 6$.

- Razporeditev vijakov; SIST EN 1993-1-8, Točka 3, Preglednica 3.3, Str. 25

$$h_v = 2 e_2 + 2 p_2 = 2 \cdot 50 \text{ mm} + 2 \cdot 80 \text{ mm} = 260 \text{ mm}$$

$$h_v = 260 \text{ mm} \leq h - 2t_f - 2r = 390 \text{ mm} - 2 \cdot 19 \text{ mm} - 2 \cdot 27 \text{ mm} = 298 \text{ mm} \quad \checkmark$$

- Kontrola bočnih pritiskov; SIST EN 1993-1-8, Točka 3, Preglednica 3.4, Str. 29

Bočni pritisk na robnem vijaku:

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{50}{26} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 d_0} = \frac{60}{3 \cdot 26} = 0,77$$

$$\alpha_b = \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \left(0,77; \frac{80}{36}; 1,0\right) = 0,77$$

$$t = \min(t_w; 2 t_{v,w}) = \min(11 \text{ mm}; 2 \cdot 8 \text{ mm}) = 11 \text{ mm}$$

$$F_{b,Rd}^n = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,77 \cdot 36 \text{ kN/cm}^2 \cdot 2,4 \text{ cm} \cdot 1,1 \text{ cm}}{1,25} = 146,4 \text{ kN}$$

Bočni pritisk na notranjem vijaku:

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{50}{26} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$\alpha_d = \frac{p_1}{3 d_0} - \frac{1}{4} = \frac{80}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} = 0,78$$

$$\alpha_b = \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \left(0,78; \frac{80}{36}; 1,0\right) = 0,78$$

$$t = \min(t_w; 2 t_{v,w}) = \min(11 \text{ mm}; 2 \cdot 8 \text{ mm}) = 11 \text{ mm}$$

$$F_{b,Rd}^n = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,78 \cdot 36 \text{ kN/cm}^2 \cdot 2,6 \text{ cm} \cdot 1,1 \text{ cm}}{1,25} = 160,6 \text{ kN}$$

$$N_{w,Ed} = n^r F_{b,Rd}^r + n^n F_{b,Rd}^n$$

$$n^r = 3 \quad \text{število robnih vijakov}$$

$$n^n = 3 \quad \text{število notranjih vijakov}$$

$$793,1 \text{ kN} \leq 3 \cdot 146,4 \text{ kN} + 3 \cdot 160,6 \text{ kN} = 921 \text{ kN} \quad \checkmark$$

• **Kontrola bruto in neto prereza**

Stojina

Bruto prerez, SIST EN 1993-1-1, Točka 6.2.3, Str. 51

$$N_{w,Ed} \leq N_{pl,Rd} = \frac{A_w f_y}{\gamma_{M0}}$$
$$793.1 \text{ kN} \leq \frac{45 \text{ cm}^2 \cdot 23.5 \text{ kN/cm}^2}{1.0} = 1057.5 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Neto prerez, SIST EN 1993-1-1, Točka 6.2.3, Str. 51

$$A_{net} = A_w - 2d_0 t_w = 45 \text{ cm}^2 - 2 \cdot 2.6 \text{ cm} \cdot 1.1 \text{ cm} = 39.28 \text{ cm}^2$$
$$N_{w,Ed} \leq N_{u,Rd} = \frac{0.9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$
$$793.1 \text{ kN} \leq \frac{0.9 \cdot 39.28 \text{ cm}^2 \cdot 36 \text{ kN/cm}^2}{1.25} = 1018.1 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Vezni pločevini ob pasnici:

$$A_v = 2 b_v t_v = 2 \cdot 2.6 \text{ cm} \cdot 0.8 \text{ cm} = 41.6 \text{ cm}^2$$

Bruto prerez, SIST EN 1993-1-1, Točka 6.2.3, Str. 51

$$N_{w,Ed} \leq N_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}}$$
$$793.1 \text{ kN} \leq \frac{41.6 \text{ cm}^2 \cdot 23.5 \text{ kN/cm}^2}{1.0} = 977.6 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Neto prerez, SIST EN 1993-1-1, Točka 6.2.3, Str. 51

$$A_{net} = A_v - 4d_0 t_w = 41.6 \text{ cm}^2 - 4 \cdot 2.6 \text{ cm} \cdot 0.8 \text{ cm} = 33.28 \text{ cm}^2$$
$$N_{w,Ed} \leq N_{u,Rd} = \frac{0.9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$
$$793.1 \text{ kN} \leq \frac{0.9 \cdot 33.28 \text{ cm}^2 \cdot 36 \text{ kN/cm}^2}{1.25} = 862.6 \text{ kN} \quad \checkmark$$

9.1.4 Dimenzioniranje spoja z uporabo injektiranih vijakov

Obremenitev v spoju se prerazporedi v razmerju togosti.

$$A_f = b_f t_f = 30 \text{ cm} \cdot 1.9 \text{ cm} = 57 \text{ cm}^2$$

$$A_w = A - 2A_f = 159 \text{ cm}^2 - 2 \cdot 57 \text{ cm}^2 = 45 \text{ cm}^2$$

Oсна sila, ki odpade na eno pasnico:

$$N_{f,Ed} = \frac{A_f}{A} N_{Ed} = \frac{57 \text{ cm}^2}{159 \text{ cm}^2} \cdot 2802.4 \text{ kN} = 1004.6 \text{ kN}$$

Oсна sila, ki odpade na stojino:

$$N_{w,Ed} = \frac{A_w}{A} N_{Ed} = \frac{45 \text{ cm}^2}{159 \text{ cm}^2} \cdot 2802.4 \text{ kN} = 793.1 \text{ kN}$$

- **Spoj v področju pasnic**

Izberemo vijake M 24 8.8

Strižna ravnina poteka skozi steblo vijaka, $A_s = 4.52 \text{ cm}^2$

- Kontrola strižne nosilnosti; SIST EN 1993-1-8, Točka 3, Preglednica 3.4, Str. 29

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \cdot 80 \text{ kN/cm}^2 \cdot 4.52 \text{ cm}^2}{1.25} = 173.6 \text{ kN}$$

m število strižnih ravnin = 2

n_v število vijakov

Iz enačbe $N_{w,Rd} \leq m \cdot n_v \cdot F_{v,Rd}$ določimo število vijakov:

$$n_v \geq \frac{N_{w,Ed}}{m F_{v,Rd}} = \frac{1004.6 \text{ kN}}{2 \cdot 173.6 \text{ kN}} = 2.9$$

- Kontrola bočnih pritiskov; SIST EN 1993-1-8, Točka 3.6.2, Str. 30, 31

Projektna nosilnost injektiranega vijaka na bočni pritisk:

β	koeficient, odvisen od razmerja debelin spojenih pločevin
$f_{b,resin}$	trdnost injekcijske mase pri bočnem pritisku
$t_{b,resin}$	sodelujoča debelina injekcijske mase pri bočnem pritisku
k_s	pri mejnem stanju nosilnosti = 1.2
k_t	pri običajnih luknjah = 1.0

Vrednosti β in $t_{b,resin}$; SIST EN 1993-1-8, Točka 3.6.2, Preglednica 3.5, Str. 31

$$t_1 = t_f = 19 \text{ mm}$$

$$t_2 = t_v = 15 \text{ mm}$$

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{19 \text{ mm}}{15 \text{ mm}} = 1.27$$

Ker je $1.0 \leq t_1/t_2 \leq 2.0$ sledi:

$$\beta = 1.66 - 0.33 \left(\frac{t_1}{t_2} \right) = 1.66 - 0.33 \left(\frac{19}{15} \right) = 1.24$$

$$t_{b,resin} = t_1 = 19 \text{ mm} \leq 1.5 d = 1.5 \cdot 24 \text{ mm} = 36 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$F_{b,Rd,resin} = \frac{k_t k_s d t_{b,resin} \beta f_{b,resin}}{\gamma_{M4}} = \frac{1.0 \cdot 1.2 \cdot 2.4 \text{ cm} \cdot 1.9 \text{ cm} \cdot 1.24 \cdot 15 \text{ kN/cm}^2}{1.0} = 101.8 \text{ kN}$$

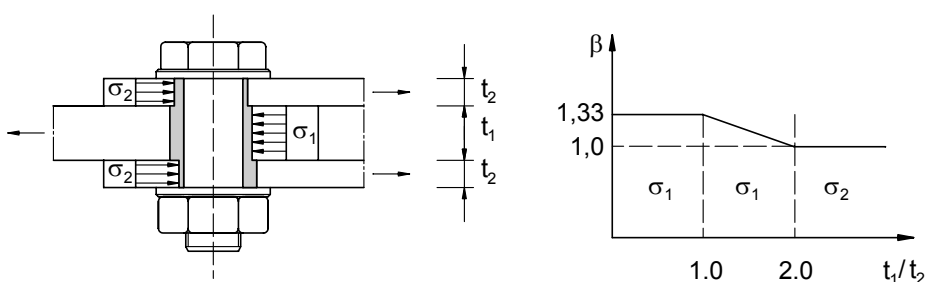
Iz enačbe $N_{f,Rd} \leq n_{b,resin} \cdot F_{b,Rd,resin}$ določimo število vijakov:

$$n_{b,resin} \geq \frac{N_{f,Ed}}{F_{b,Rd,resin}} = \frac{1004.6 \text{ kN}}{101.8 \text{ kN}} = 9.9$$

Potrebno število vijakov:

$$n = \max(n_v; n_{b,resin}) = \max(2.8; 9.9) = 9.9$$

Izberemo parno število vijakov $n=10$.



Vrednosti koeficienta β v odvisnosti od razmerja debelin spojenih pločevin (prEN 1993-1-8 :
 2004 (E), str. 31)

Vrednosti β in $t_{b,resin}$ (prEN 1993-1-8:2004 (E), str. 31)

t_1 / t_2	β	$t_{b,resin}$
$\geq 2,0$	1,0	$2 t_2 \leq 1,5 d$
$1,0 < t_1 / t_2 < 2,0$	$1,66 - 0,33 (t_1 / t_2)$	$t_1 \leq 1,5 d$
$\leq 1,0$	1,33	$t_1 \leq 1,5 d$

- Razporeditev vijakov; SIST EN 1993-1-8, Točka 3, Preglednica 3.3, Str. 25

$$d_0 = d + 2mm = 24mm + 2mm = 26mm$$

$$e_1 \approx 2 \cdot d_0 = 2 \cdot 26mm = 52mm \rightarrow e_1 = 60mm$$

$$e_2 \geq 1.5 \cdot d_0 = 1.5 \cdot 26mm = 39mm \rightarrow e_2 = 80mm$$

$$p_1 \approx 3 \cdot d_0 = 3 \cdot 26mm = 78mm \rightarrow 80mm$$

$$p_2 \approx 3 \cdot d_0 = 3 \cdot 26mm = 78mm \rightarrow 140mm$$

$$b_v = 2e_2 + p_2 = 300mm$$

Kontrola dolžine spoja, SIST EN 1993-1-8, Točka 3.8, Str. 31

$$L_j = 4 \cdot p_1 = 4 \cdot 80 \text{ mm} = 320 \text{ mm} \leq 15 \cdot d = 15 \cdot 24 \text{ mm} = 360 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Nosilnost spoja

$$N_{f,Ed} = 1004.6 \text{ kN} \leq n \cdot F_{b,Rd, \text{resin}} = 10 \cdot 101.8 \text{ kN} = 1018 \text{ kN} \quad \checkmark$$

- **Kontrola bruto in neto prereza**

Pasnica

Bruto prerez, SIST EN 1993-1-1, Točka 6.2.3, Str. 51

$$N_{f,Ed} \leq N_{pl,Rd} = \frac{A_f \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$
$$1004.6 \text{ kN} \leq \frac{59 \text{ cm}^2 \cdot 23.5 \text{ kN/cm}^2}{1.0} = 1386.5 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Neto prerez, SIST EN 1993-1-1, Točka 6.2.3, Str. 51

$$A_{net} = A_f - 2d_0t_f = 59 \text{ cm}^2 - 2 \cdot 2.6 \text{ cm} \cdot 1.9 \text{ cm} = 47.12 \text{ cm}^2$$
$$N_{f,Ed} \leq N_{u,Rd} = \frac{0.9A_{net}f_u}{\gamma_{M2}}$$
$$1004.6 \text{ kN} \leq \frac{0.9 \cdot 47.12 \text{ cm}^2 \cdot 36 \text{ kN/cm}^2}{1.25} = 1221.4 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Vezne pločevine ob pasnici:

$$b_{v,zg} = b_f = 300 \text{ mm}$$

$$b_{v,sp} = 2e_2 = 2 \cdot 80 \text{ mm} = 160 \text{ mm}$$

$$t_{v,zg} = t_{v,sp} = t_v = 15 \text{ mm}$$

$$l_v = 2 \cdot (4p_1 + 2e_1) + \Delta = 2 \cdot (4 \cdot 80 \text{ mm} + 2 \cdot 60 \text{ mm}) + 5 \text{ mm} = 885 \text{ mm}$$

$$b_{v,sp} = 160 \text{ mm} \leq \frac{b - t_w - 2r}{2} = \frac{390 \text{ mm} - 11 \text{ mm} - 2 \cdot 27 \text{ mm}}{2} = 162.5 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Bruto prerez, SIST EN 1993-1-1, Točka 6.2.3, Str. 51

$$A_v = t_v (b_{v,zg} + 2 b_{v,sp}) = 1.5 \text{ cm} \cdot (30 \text{ cm} + 2 \cdot 16 \text{ cm}) = 93 \text{ cm}^2$$

$$N_{f,Ed} \leq N_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$1004.6 \text{ kN} \leq \frac{93 \text{ cm}^2 \cdot 23.5 \text{ kN/cm}^2}{1.0} = 2185.5 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Neto prerez, SIST EN 1993-1-1, Točka 6.2.3, Str. 51

$$A_{net} = A_v - 4d_0 t_v = 93 \text{ cm}^2 - 4 \cdot 2.6 \text{ cm} \cdot 1.5 \text{ cm} = 77.4 \text{ cm}^2$$

$$N_{f,Ed} \leq N_{u,Rd} = \frac{0.9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$1004.6 \text{ kN} \leq \frac{0.9 \cdot 77.4 \text{ cm}^2 \cdot 36 \text{ kN/cm}^2}{1.25} = 2006.2 \text{ kN} \quad \checkmark$$

- **Spoj v področju stojine**

Izberemo vijake M 24 8.8

Strižna ravnina poteka skozi steblo vijaka, $A_s = 4.52 \text{ cm}^2$

- Kontrola strižne nosilnosti; SIST EN 1993-1-8, Točka 3, Preglednica 3.4, Str. 29

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \cdot 80 \text{ kN/cm}^2 \cdot 4.52 \text{ cm}^2}{1.25} = 173.6 \text{ kN}$$

m število strižnih ravnin = 2

n število vijakov

Iz enačbe $N_{w,Rd} \leq m \cdot n_v \cdot F_{v,Rd}$ določimo število vijakov:

$$n_v \geq \frac{N_{w,Ed}}{m F_{v,Rd}} = \frac{793.1 \text{ kN}}{2 \cdot 173.6 \text{ kN}} = 2.3$$

- Kontrola bočnih pritiskov; SIST EN 1993-1-8, Točka 3.6.2, Str. 30, 31

Projektna nosilnost injektiranega vijaka na bočni pritisk:

$$F_{b,Rd,resin} = \frac{k_t k_s d t_{b,resin} \beta f_{b,resin}}{\gamma_{M4}}$$

Vrednosti β in $t_{b,resin}$; SIST EN 1993-1-8, Točka 3.6.2, Preglednica 3.5, Str. 31

$$t_1 = t_w = 11 \text{ mm}$$

$$t_2 = t_{v,w} = 8 \text{ mm} \geq t_w \quad \checkmark$$

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{11 \text{ mm}}{8 \text{ mm}} = 1.375$$

Ker je $1.0 \leq t_1 / t_2 \leq 2.0$ sledi:

$$\beta = 1.66 - 0.33 \left(\frac{t_1}{t_2} \right) = 1.66 - 0.33 \left(\frac{11}{8} \right) = 1.206$$

$$t_{b,resin} = t_1 = 11 \text{ mm} \leq 1.5 d = 1.5 \cdot 24 \text{ mm} = 36 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$F_{b,Rd,resin} = \frac{k_t k_s d t_{b,resin} \beta f_{b,resin}}{\gamma_{M4}} = \frac{1.0 \cdot 1.2 \cdot 2.4 \text{ cm} \cdot 1.1 \text{ cm} \cdot 1.206 \cdot 15 \text{ kN/cm}^2}{1.0} = 57.3 \text{ kN}$$

Iz enačbe $N_{f,Rd} \leq n_{b,resin} \cdot F_{b,Rd,resin}$ določimo število vijakov:

$$n_{b,resin} \geq \frac{N_{w,Ed}}{F_{b,Rd,resin}} = \frac{793.1 \text{ kN}}{57.3 \text{ kN}} = 13.8$$

Potrebno število vijakov:

$$n = \max(n_v; n_{b, \text{resin}}) = \max(2.2, 13.3) = 13.3$$

Izberemo število vijakov $n=15$.

- Razporeditev vijakov; SIST EN 1993-1-8, Točka 3, Preglednica 3.3, Str. 25

$$d_0 = d + 2 \text{ mm} = 24 \text{ mm} + 2 \text{ mm} = 26 \text{ mm}$$

$$e_1 \approx 2 d_0 = 2 \cdot 26 \text{ mm} = 52 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 60 \text{ mm}$$

$$e_2 \geq 1.5 d_0 = 1.5 \cdot 26 \text{ mm} = 39 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 40 \text{ mm}$$

$$p_1 \approx 3 d_0 = 3 \cdot 26 \text{ mm} = 78 \text{ mm} \rightarrow 80 \text{ mm}$$

$$p_2 \geq 2.4 d_0 = 2.4 \cdot 26 \text{ mm} = 62.4 \text{ mm} \rightarrow 70 \text{ mm}$$

$$h_v = 2 e_2 + 2 p_2 = 2 \cdot 40 \text{ mm} + 2 \cdot 70 \text{ mm} = 220 \text{ mm}$$

$$h_v = 290 \text{ mm} \leq h - 2t_f - 2r = 390 \text{ mm} - 2 \cdot 19 \text{ mm} - 2 \cdot 27 \text{ mm} = 298 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Kontrola dolžine spoja, SIST EN 1993-1-8, Točka 3.8, Str. 31

$$L_j = 4 p_1 = 4 \cdot 80 \text{ mm} = 320 \text{ mm} \leq 15 \cdot d = 15 \cdot 24 \text{ mm} = 360 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Nosilnost spoja (merodajna je nosilnost injektiranega vijaka na bočni pritisk)

$$N_{w,Ed} = 793.1 \text{ kN} \leq n \cdot F_{b,Rd, \text{resin}} = 15 \cdot 57.3 \text{ kN} = 859.5 \text{ kN} \quad \checkmark$$

- **Kontrola bruto in neto prereza**

Stojina

Bruto prerez, SIST EN 1993-1-1, Točka 6.2.3, Str. 51

$$N_{w,Ed} \leq N_{pl,Rd} = \frac{A_w f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$793.1 \text{ kN} \leq \frac{45 \text{ cm}^2 \cdot 23.5 \text{ kN / cm}^2}{1.0} = 1057.5 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Neto prerez, SIST EN 1993-1-1, Točka 6.2.3, Str. 51

$$A_{net} = A_w - 3 d_0 t_w = 45 \text{ cm}^2 - 3 \cdot 2.6 \text{ cm} \cdot 1.1 \text{ cm} = 36.42 \text{ cm}^2$$

$$N_{w,Ed} \leq N_{u,Rd} = \frac{0.9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$793.1 \text{ kN} \leq \frac{0.9 \cdot 36.42 \text{ cm}^2 \cdot 36 \text{ kN / cm}^2}{1.25} = 944 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Vezni pločevini ob pasnici:

$$A_v = 2 b_v t_v = 2 \cdot 29 \text{ cm} \cdot 0.8 \text{ cm} = 46.4 \text{ cm}^2$$

Bruto prerez, SIST EN 1993-1-1, Točka 6.2.3, Str. 51

$$N_{w,Ed} \leq N_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$793.1 \text{ kN} \leq \frac{46.4 \text{ cm}^2 \cdot 23.5 \text{ kN / cm}^2}{1.0} = 1090.4 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Neto prerez, SIST EN 1993-1-1, Točka 6.2.3, Str. 51

$$A_{net} = A_v - 6 d_0 t_w = 46.4 \text{ cm}^2 - 6 \cdot 2.6 \text{ cm} \cdot 0.8 \text{ cm} = 33.92 \text{ cm}^2$$

$$N_{w,Ed} \leq N_{u,Rd} = \frac{0.9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$793.1 \text{ kN} \leq \frac{0.9 \cdot 33.92 \text{ cm}^2 \cdot 36 \text{ kN / cm}^2}{1.25} = 879.2 \text{ kN} \quad \checkmark$$

9.2 Vijačeni prednapeti preklopni spoj natezne vezi

Dimenzioniraj vijačeni preklopni spoj natezne vezi z navadnimi in prednapetimi injektiranimi vijaki.

9.2.1 Material

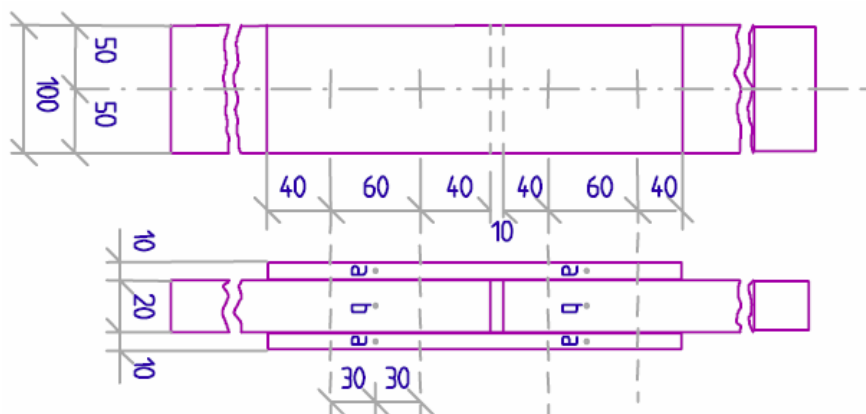
Natezna vez: S 355, $f_y = 35.5 \text{ kN / cm}^2$, $f_u = 51.0 \text{ kN / cm}^2$

Vežna pločevina: S 355, $f_y = 35.5 \text{ kN / cm}^2$, $f_u = 51.0 \text{ kN / cm}^2$

Vijaki 10.9: $f_{ub} = 100.0 \text{ kN / cm}^2$

Injekcijska masa: $f_{b,resin} = 200 \text{ MPa}$

9.2.2 Geometrija



Standardni preizkušaneec (prEN 1090-2:2007-08, str. 164)

9.2.3 Dimenzioniranje spoja z navadnimi injektiranimi vijaki

Zaradi primerjave z rezultati testov, so nosilnosti računane za karakteristično in računsko stanje posebej.

- **Površina prereza**

$$A = b \cdot t = 10 \text{ cm} \cdot 2.0 \text{ cm} = 20 \text{ cm}^2$$

- **Vijaki**

Izberemo vijake M 20 10.9

Strižna ravnina poteka skozi steblo vijaka, $A_s = 3.14 \text{ cm}^2$

- **Kontrola strižne nosilnosti**; SIST EN 1993-1-8, Točka 3, Preglednica 3.4, Str. 29

$$F_{v,Rk} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A = 0.6 \cdot 100 \text{ kN/cm}^2 \cdot 3.14 \text{ cm}^2 = 188.4 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \cdot 100 \text{ kN/cm}^2 \cdot 3.14 \text{ cm}^2}{1.25} = 150.7 \text{ kN}$$

γ_{M2} parcialni varnostni faktor (1.25 za računsko stanje, 1.0 za karakteristično stanje)

m število strižnih ravnin = 2

n število vijakov = 2

- **Razporeditev vijakov**; SIST EN 1993-1-8, Točka 3, Preglednica 3.3, Str. 25

$$d_0 = d + 2 \text{ mm} = 20 \text{ mm} + 2 \text{ mm} = 22 \text{ mm}$$

$$e_1 = 40 \text{ mm}$$

$$e_2 = 50 \text{ mm}$$

$$p_1 = 60 \text{ mm}$$

$$b_v = 2e_2 = 100 \text{ mm}$$

Kontrola dolžine spoja, SIST EN 1993-1-8, Točka 3.8, Str. 31

$$L_j = p_1 = 60 \text{ mm} \leq 15 \cdot d = 15 \cdot 20 \text{ mm} = 300 \text{ mm} \quad \checkmark$$

- **Kontrola bočnih pritiskov;** SIST EN 1993-1-8, Točka 3, Preglednica 3.4, Str. 29

Bočni pritisk na robnem vijaku:

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{50}{22} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 d_0} = \frac{40}{3 \cdot 22} = 0,606$$

$$\alpha_b = \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \left(0,606; \frac{100}{51}; 1,0\right) = 0,606$$

$$F_{b,Rk}^r = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t = 2,5 \cdot 0,606 \cdot 51 \text{ kN/cm}^2 \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm} = 309,1 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd}^r = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,606 \cdot 51 \text{ kN/cm}^2 \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm}}{1,25} = 247,2 \text{ kN}$$

Bočni pritisk na notranjem vijaku:

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{50}{22} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} = \frac{60}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} = 0,66$$

$$\alpha_b = \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \left(0,66; \frac{100}{51}; 1,0\right) = 0,66$$

$$F_{b,Rk}^n = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t = 2,5 \cdot 0,66 \cdot 51 \text{ kN/cm}^2 \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm} = 336,6 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd}^n = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,66 \cdot 51 \text{ kN/cm}^2 \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm}}{1,25} = 269,3 \text{ kN}$$

γ_{M2} parcialni varnostni faktor

Nosilnost na bočni pritisk:

$$F_{b,Rk} = n^r F_{b,Rk}^r + n^n F_{b,Rk}^n = 1 \cdot 309,1 \text{ kN} + 1 \cdot 336,6 \text{ kN} = 645,7 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = n^r F_{b,Rd}^r + n^n F_{b,Rd}^n = 1 \cdot 247,2 \text{ kN} + 1 \cdot 269,3 \text{ kN} = 516,5 \text{ kN}$$

n^r število zunanjih vijakov = 1

n^n število notranjih vijakov = 1

- **Nosilnost injektiranega vijaka na bočni pritisk**

Vrednosti β in $t_{b, \text{resin}}$: SIST EN 1993-1-8, Točka 3.6.2, Preglednica 3.5, Str. 31

$$t_1 = 20 \text{ mm}$$

$$t_2 = 10 \text{ mm}$$

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{20 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = 2.0$$

Ker je $t_1 / t_2 \geq 2.0$ sledi:

$$\beta = 1.0$$

$$t_{b, \text{resin}} = 2 t_2 = 2 \cdot 10 \text{ mm} = 20 \text{ mm} \leq 1.5 d = 1.5 \cdot 20 \text{ mm} = 30 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$F_{b, Rk, \text{resin}} = F_{b, Rd, \text{resin}} = \frac{k_t k_s d t_{b, \text{resin}} \beta f_{b, \text{resin}}}{\gamma_{M4}} = \frac{1.2 \cdot 1.0 \cdot 2.0 \text{ cm} \cdot 2.0 \text{ cm} \cdot 1.0 \cdot 20 \text{ kN} / \text{cm}^2}{1.0} = 96 \text{ kN}$$

γ_{M4} parcialni varnostni faktor

- **Kontrola bruto in neto prereza**

Bruto prerez, SIST EN 1993-1-1, Točka 6.2.3, Str. 51

$$N_{pl, Rk} = N_{pl, Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{20 \text{ cm}^2 \cdot 35.5 \text{ kN} / \text{cm}^2}{1.0} = 710 \text{ kN}$$

Neto prerez, SIST EN 1993-1-1, Točka 6.2.3, Str. 51

$$A_{net} = A - d_0 t = 20 \text{ cm}^2 - 2.2 \text{ cm} \cdot 2.0 \text{ cm} = 15.6 \text{ cm}^2$$

$$N_{u, Rk} = 0.9 A_{net} f_u = 0.9 \cdot 15.6 \text{ cm}^2 \cdot 51 \text{ kN} / \text{cm}^2 = 716.0 \text{ kN}$$

$$N_{u, Rd} = \frac{0.9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \cdot 15.6 \text{ cm}^2 \cdot 51 \text{ kN} / \text{cm}^2}{1.25} = 572.8 \text{ kN}$$

- **Kontrola nosilnosti**

Z naslednjim pogojem zagotovimo porušitev najprej v injekcijski masi in nato po bruto prerezu pločevine.

- **Karakteristično stanje**

$$n \cdot F_{b,Rk, resin} \leq F_{b,Rk} \leq \begin{cases} N_{pl,Rk} \\ N_{u,Rk} \\ n \cdot m \cdot F_{v,Rk} \end{cases}$$

$$2 \cdot 96 \text{ kN} = 192 \text{ kN} \leq 645.7 \text{ kN} \leq \begin{cases} 710.0 \text{ kN} \\ 716.0 \text{ kN} \\ 2 \cdot 2 \cdot 188.4 \text{ kN} = 753.6 \text{ kN} \end{cases} \quad \checkmark$$

- **Projektno stanje**

$$n \cdot F_{b,Rd, resin} \leq F_{b,Rd} \leq \begin{cases} N_{pl,Rd} \\ N_{u,Rd} \\ n \cdot m \cdot F_{v,Rd} \end{cases}$$

$$2 \cdot 96 \text{ kN} = 192 \text{ kN} \leq 516,5 \text{ kN} \leq \begin{cases} 710.0 \text{ kN} \\ 572,8 \text{ kN} \\ 2 \cdot 2 \cdot 150,7 \text{ kN} = 602,8 \text{ kN} \end{cases} \quad \checkmark$$

9.2.4 Dimenzioniranje spoja s prednapetimi injektiranimi vijaki

- **Površina prereza pločevin**

$$A = b \cdot t = 10 \text{ cm} \cdot 2.0 \text{ cm} = 20 \text{ cm}^2$$

- **Vijaki**

Izberemo vijake M 20 10.9

Strižna ravnina poteka skozi steblo vijaka, $A_s = 3.14 \text{ cm}^2$

Strižna ravnina pri prednapetju vijaka, $A_s = 2.45 \text{ cm}^2$

- **Torna nosilnost vijaka;** SIST EN 1993-1-8, Točka 3.9, Str. 32

Polna sila prednapetja:

$$F_{p,C} = 0.7 f_{ub} A_s = 0.7 \cdot 100 \text{ kN/cm}^2 \cdot 2.45 \text{ cm}^2 = 171.5 \text{ kN}$$

Pločevine bodo peskane. Predviden razred torne površine je torej A. Torni količnik, ki ustreza razredu A je $\mu = 0.5$. Glede na predvideno zaporedje porušitev, opisano v prejšnji točki, smo s tem tornim količnikom na varni strani. Točni torni količnik bomo določili s testi, po standardu prEN 1090-2:2007-08.

$$F_{s,Rk} = k_s n \mu F_{p,C} = 1.0 \cdot 2 \cdot 0.5 \cdot 171.5 \text{ kN} = 171.5 \text{ kN}$$

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C} = \frac{1.0 \cdot 2 \cdot 0.5}{1.10} \cdot 171.5 \text{ kN} = 155.9 \text{ kN}$$

$$F_{s,Rd,ult} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3,ser}} F_{p,C} = \frac{1.0 \cdot 2 \cdot 0.5}{1.25} \cdot 171.5 \text{ kN} = 137.2 \text{ kN}$$

k_s faktor oblike luknje za vijake

n število tornih površin

μ torni količnik

γ_{M3} parcialni varnostni faktor

$\gamma_{M3,ser}$ parcialni varnostni faktor za MSU = 1.1

- **Projektna nosilnost injektiranega vijaka na bočni pritisk**

Vrednosti β in $t_{b,resin}$; SIST EN 1993-1-8, Točka 3.6.2, Preglednica 3.5, Str. 31

$$t_1 = 20 \text{ mm}$$

$$t_2 = 10 \text{ mm}$$

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{20 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = 2.0$$

Ker je $t_1 / t_2 \geq 2.0$ sledi:

$$\beta = 1.0$$

$$t_{b,resin} = 2 t_2 = 2 \cdot 10 \text{ mm} = 20 \text{ mm} \leq 1.5 d = 1.5 \cdot 20 \text{ mm} = 30 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$F_{b,Rk,resin,MSN} = F_{b,Rd,resin,MSN} = \frac{k_t k_s d t_{b,resin} \beta f_{b,resin}}{\gamma_{M4}} = \frac{1.2 \cdot 1.0 \cdot 2.0 \text{ cm} \cdot 2.0 \text{ cm} \cdot 1.0 \cdot 20 \text{ kN/cm}^2}{1.0} = 96 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rk,resin,MSU} = F_{b,Rd,resin,MSU} = \frac{k_t k_s d t_{b,resin} \beta f_{b,resin}}{\gamma_{M4}} = \frac{1.0 \cdot 1.0 \cdot 2.0 \text{ cm} \cdot 2.0 \text{ cm} \cdot 1.0 \cdot 20 \text{ kN/cm}^2}{1.0} = 80 \text{ kN}$$

- **Kontrola bruto in neto prereza**

Bruto prerez, SIST EN 1993-1-1, Točka 6.2.3, Str. 51

$$N_{pl,Rk} = N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{20 \text{ cm}^2 \cdot 35.5 \text{ kN/cm}^2}{1.0} = 710 \text{ kN}$$

γ_{M2} parcialni varnostni faktor (1.0 za računsko stanje, 1.0 za karakteristično stanje)

Neto prerez, SIST EN 1993-1-1, Točka 6.2.3, Str. 51

$$A_{net} = A - d_0 t = 20 \text{ cm}^2 - 2.2 \text{ cm} \cdot 2.0 \text{ cm} = 15.6 \text{ cm}^2$$

$$N_{net,Rk} = N_{net,Rd} = \frac{A_{net} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{15.6 \text{ cm}^2 \cdot 35.5 \text{ kN/cm}^2}{1.00} = 553.8 \text{ kN}$$

- **Kontrola nosilnosti**

Z naslednjim pogojem zagotovimo, najprej porušitev v injekcijski masi, nato pa sledi porušitev po bruto prerezu površine.

- **Karakteristično stanje**

$$n \cdot F_{b,Rk, resin, MSN(MSU)} + n \cdot F_{s,Rk} \leq F_{b,Rk} \leq \begin{cases} N_{pl,Rk} \\ N_{u,Rk} \\ n \cdot m \cdot F_{v,Rk} \end{cases}$$

Spoj B kategorije:

$$2 \cdot 80 \text{ kN} + 2 \cdot 171.5 \text{ kN} = 503 \text{ kN} \leq 645.7 \text{ kN} \leq \begin{cases} 710.0 \text{ kN} \\ 716.0 \text{ kN} \\ 2 \cdot 2 \cdot 188.4 \text{ kN} = 753.6 \text{ kN} \end{cases} \quad \checkmark$$

Spoj C kategorije:

$$2 \cdot 96 \text{ kN} + 2 \cdot 171.5 \text{ kN} = 535 \text{ kN} \leq 645.7 \text{ kN} \leq \begin{cases} 710.0 \text{ kN} \\ 553.8 \text{ kN} \\ 2 \cdot 2 \cdot 188.4 \text{ kN} = 753.6 \text{ kN} \end{cases} \quad \checkmark$$

- **Projektno stanje**

$$n \cdot F_{b,Rd, resin, MSN(MSU)} + n \cdot F_{s,Rd} \leq F_{b,Rd} \leq \begin{cases} N_{pl,Rd} \\ N_{u,Rd} \\ n \cdot m \cdot F_{v,Rd} \end{cases}$$

Spoj B kategorije:

$$2 \cdot 80 \text{ kN} + 2 \cdot 155,9 \text{ kN} = 315,9 \text{ kN} \leq 516,5 \text{ kN} \leq \begin{cases} 710,0 \text{ kN} \\ 572,8 \text{ kN} \\ 2 \cdot 2 \cdot 150,7 \text{ kN} = 602,8 \text{ kN} \end{cases} \quad \checkmark$$

Spoj C kategorije:

$$2 \cdot 96 \text{ kN} + 2 \cdot 137,2 \text{ kN} = 466,4 \text{ kN} \leq 516,5 \text{ kN} \leq \begin{cases} 710,0 \text{ kN} \\ 553,8 \text{ kN} \\ 2 \cdot 2 \cdot 150,7 \text{ kN} = 602,8 \text{ kN} \end{cases} \quad \checkmark$$

10 Zaključki

Injektirani vijaki so odlična alternativa za zamenjavo slabih zakovic v starih kovičenih konstrukcijah in dobra rešitev za ojačanje korodiranih pločevin še posebno, kjer je nemogoče uporabiti visoko nosilne prednapete vijake.

Z nateznimi preskusi strižnih injektiranih spojev smo določili nosilnost injekcijske mase na bočni pritisk 200 Mpa.

Ugotovili smo zelo togo obnašanje strižnih injektiranih spojev v primerjavi z navadnimi strižnimi spoji in precej bolj togo obnašanje prednapetih injektiranih spojev v primerjavi s tornimi spoji. S seštevanjem diagramov strižnih injektiranih spojev in tornih spojev smo z vrednostmi prišli precej nad diagram prednapetih injektiranih spojev. S tem smo ugotovili, da seštevanje vrednosti, kot pri računski projektni nosilnosti, realno ni možno.

S testi lezenja smo pokazali, da so pomiki zaradi lezenja pri strižnih injektiranih, tornih in prednapetih injektiranih spojih, v življenjski dobi 50 let, precej manjši od mejne vrednosti 0,3 mm.

Ciklično smo obremenjevali štiri strižne injektirane spoje z različnimi frekvencami in amplitudami pomikov in pri tem ugotovili zelo dobro obnašanje strižnih injektiranih spojev pri cikličnem obremenjevanju.

Viri

European recommendations for bolted connections with injection bolts, 1994.Brussel, Belgium. ECCS publication N°79, 41 str.

Gresingt A. M., Sedlacek G., Paschen M. Injection bolts to repair old bridges. Delft University of Technology, The Netherlands, RWTH Aachen, Germany, 12 str.

EUROCODE 3, Projektiranje jeklenih konstrukcij – 1.8. del: Projektiranje spojev.
EN 1993-1-8, maj 2005

Execution of steel structures and aluminium structures – Part 2: Technical requirements for steel structures – stage 49.
prEN 1090-2:2007-08 (E)

Vijačni sestavi brez predhodne strukturne obremenitve – 1. del: Splošne zahteve.
OSIST prEN 15048-1 : 2004, december 2004

Visokotrnostne prednapete vijačne zveze za kovinske konstrukcije – 1. del: Splošne zahteve.
SIST EN 14399-1 : 2005, maj 2005

Visokotrnostne prednapete vijačne zveze za kovinske konstrukcije – 2. del: Preskus ustreznosti predobremenitve.
SIST EN 14399-2 : 2005, maj 2005

Visokotrnostne prednapete vijačne zveze za kovinske konstrukcije – 4. del: Sistem HV – Sklopi vijaka s šestrobo glavo in matico.
SIST EN 14399-4 : 2005, maj 2005

Visokotrnostne prednapete vijačne zveze za kovinske konstrukcije – 5. del: Ploščate podložke.
SIST EN 14399-5 : 2005, maj 2005

Visokotrnostne prednapete vijačne zveze za kovinske konstrukcije – 6.del: Ploščate posnete podložke.
SIST EN 14399-6 : 2005, maj 2005