

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
Građevinski fakultet

Hrvoje Rak

ARMIRANJE ASFALJNIH SLOJEVA KOLNIKA GEOMREŽOM

Zagreb, 2013.

Ovaj rad izrađen je u Zavodu za prometnice građevinskog fakulteta u Zagrebu pod vodstvom dr.sc. Tatjana Rukavina i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2012/2013.

SADRŽAJ

1. GEOSINTETICI	1
1.1 Uvod	1
1.2 Povijest	3
1.3 Osnovni materijali - polimeri	4
1.4 Proizvodnja vlakana i pređe	7
1.4.1 Filamenti.....	7
1.4.2 Višefilamentna pređa	7
1.4.3 Pređa od uskih traka	8
2. GEOTEKSTIL	9
2.1 Proizvodnja netkanih tekstila	9
2.1.1 Proizvodnja netkanih tekstila od kratkih vlakana	9
2.1.2 Proizvodnja netkanih tekstila od filamentnih vlakana (spun-bonded postupak)	10
2.2 Proizvodnja tkanih tekstila	11
2.2.1 Građa tkanih tekstila - vezovi	11
2.2.2 Građa i svojstva tkanih tekstila.....	12
2.3 Pleteni tekstili	13
3. GEOMREŽE	14
3.1 Proizvodnja polimernih mreža tipa NETLON	14
3.2 Proizvodnja polimernih mreža tipa TENSAR	16
3.3 Poliesterske mreže za armiranje asfalta i tla	17
4. UPOTREBA GEOMREŽA PRI ARMIRANJU KOLNIKA	17
4.1 Općenito	17
4.2 Karakteristike geomreža	20
4.3 Postavljanje geomreža	22
4.4 Upotreba geomreža kod postojećih kolnika	24
5. ISPITIVANJE VLAČNIH KARAKTERISTIKA PREMA HRN EN ISO 10319	26
5.1 Uređaj za ispitivanje	26
5.2 Postupak ispitivanja	27

5.3	Rezultati ispitivanja	30
6.	MODELIRANJE KOLNIČKE KONSTRUKCIJE	31
6.1	Analiza rezultata	36
7.	ZAKLJUČAK	40
8.	ZAHVALE	41
9.	LITERATURA	42
10.	SAŽETAK	43
11.	SUMMARY	44
12.	PRILOZI	45
12.1	PRILOG 1 - Rezultati ispitivanja vlačnih karakteristika geomreže prema HRN EN ISO 10319	45
12.2	PRILOG 2 - Rezultati deformacija i naprezanja slojeva kolničke konstrukcije	47
12.3	PRILOG 3 - Naprezanja u dimenzioniranim kolničkim konstrukcijama dobivena računalnim programom CYRCLY	62

1. GEOSINTETICI

1.1 Uvod

Geosintetici su se prvi put značajnije počeli primjenjivati u graditeljstvu prije više od 50 godina, u Nizozemskoj, kada je nakon katastrofalnih poplava koje su uništile oko 150000 ha tla, počela obnova uništenih područja. Od tada se njihova primjena intenzivno širi. Geosintetici se rabe u svim područjima graditeljstva, kao što su; prometnice, hidrotehničke građevine, podzemne građevine, mostovi, objekti zaštite okoliša, a često se koriste i u poljoprivredi i šumarstvu.

Budući da su prvi značajniji proizvodi takve vrste bili sintetički tekstili, a da je njihova primjena najviše bila povezana sa zemljanim građevinama (prometnice, hidrotehnika), svi slični proizvodi isprva su nazivani geotekstilima. Kako je, međutim, ubrzo ušao u primjenu i znatan dio proizvoda koji se nikako ne bi mogli svrstati u tekstile (npr. mreže, folije, kompoziti), uveden je općenitiji naziv "geosintetici".

Ipak, za sada je to naziv koji se najopćenitije i najčešće rabi za niz industrijskih proizvoda od umjetnih materijala koji se upotrebljavaju u raznim područjima graditeljstva. Geosintetici se proizvode u obliku folije (membrane), što je povoljno za mnoga tehnička rješenja jer:

- brzo se postavljaju,
- zamjenjuju prirodne materijale,
- daju bolja, i sigurnija, projektna rješenja,
- imaju jaku podršku proizvođača,

ali mogu se i primijetiti i nedostaci:

- dugoročna svojstva smola, od kojih su neki polimeri napravljeni, moraju se ispitati s obzirom na oksidiranje, svjetlost i razrjeđivače,
- kod zahtjevnijeg tla javlja se problem začepljivanja geosintetika koji služe za filtraciju,
- kod rukovanja, skladištenja i ugradnje treba se paziti na kontrolu kvalitete, zbog ujednačenih značajki u konstrukciji [1].

Prema građi i svrhama za koje se upotrebljavaju, geosintetici se mogu podijeliti na:

- geotekstile,
- geomreže,
- geomembrane,
- geokompozite.

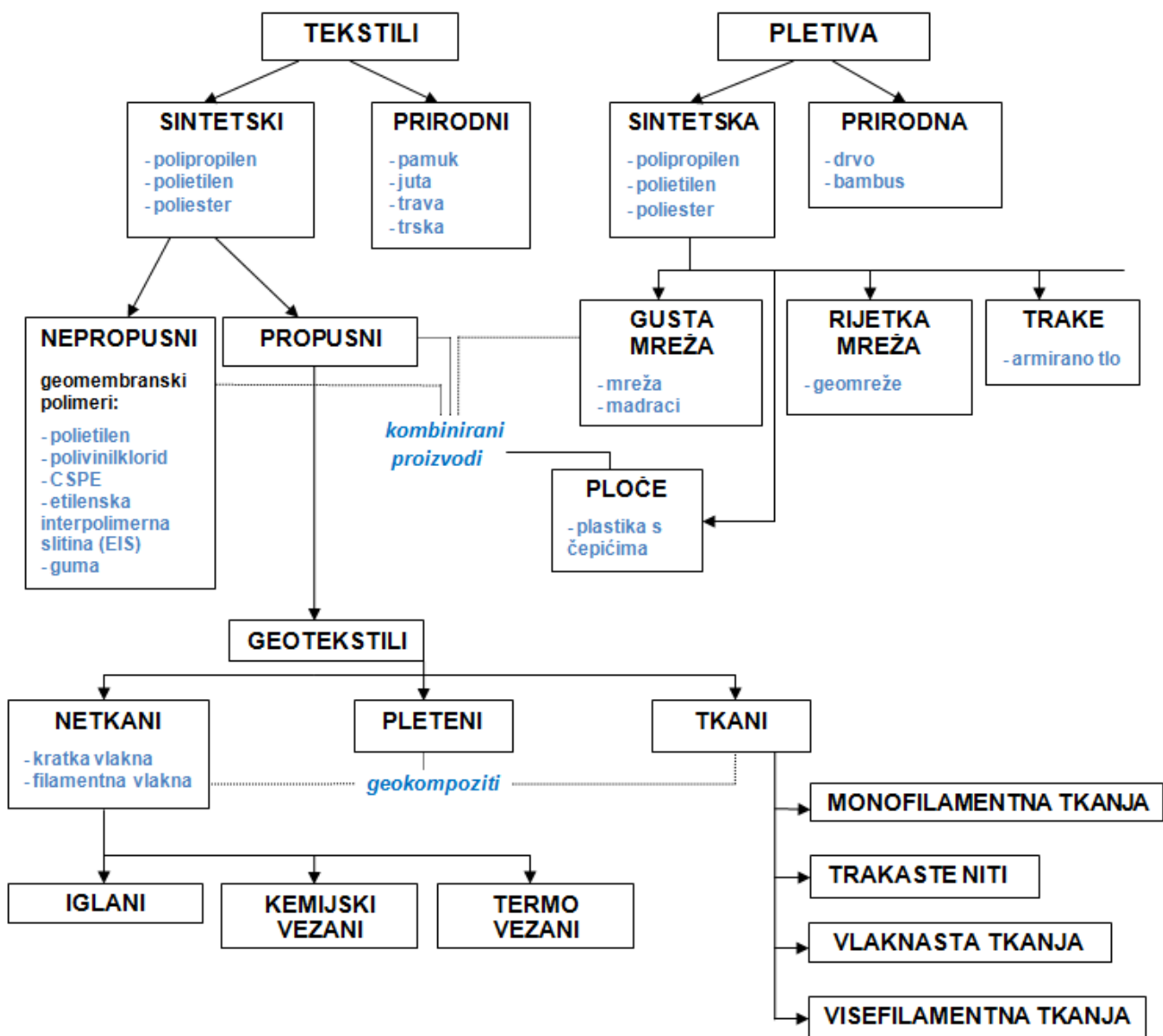
Geotekstili se sastoje od posebno složenih i učvršćenih vlakana, tako da najčešće imaju izgled i građu neke vrste "filca". U tlu, odnosno građevinama, obavljaju više funkcija kao što su: razdvajanje, armiranje, filtriranje i dreniranje.

Geomreže su geosintetici otvorene građe kod kojih su otvori mnogo veći od dimenzija materijala. Glavna im je svrha armiranje, a u nekim slučajevima mogu služiti i za razdvajanje materijala.

Geomembrane su nepropusne folije, a služe za brtvljenje, odnosno sprječavaju prolaz vode ili plinova.

Geokompoziti su složeni materijali koji se sastoje od geotekstila i geomreža ili od geomembrana i geomreža, ili kombinacije tih materijala s drugim materijalima, a služe za prije spomenute funkcije i njihove kombinacije.

Navedene materijale proizvodi tekstilna industrija i industrija plastičnih proizvoda. Sirovine za proizvodnju geosintetika su raznovrsni polimerni materijali. Za neke se vrste geosintetika (geotekstili) moraju najprije od polimera proizvesti vlakna, dok se druge vrste mogu proizvoditi izravno iz polimera, [1].



Slika 1. Podjela geosintetika [1]

1.2 Povijest

Korištenja raznih materijala za ojačanje seže tisućama godina u prošlost. Geosintetici su se, u antičkom Rimu koristili pri konstrukciji prometnica za stabilizaciju rubova. Korišteni su prirodni materijali, tkanina ili vegetacija (vrbovo pruće) koji su se miješali s tlom radi poboljšanja kvalitete cesta, naročito kada su se ceste radile na nestabilnim tlima. U Egiptu su pronađeni tragovi na kosinama nekih piramida, te u obrambenim zidovima [1].

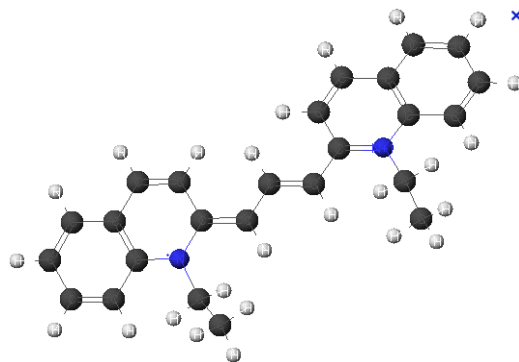
Glavni problem prilikom korištenja prirodnih materijala (pamuk, vuna itd.) u podzemnom okolišu je biorazgradljivost do koje dolazi djelovanjem raznih mikroorganizama u tlima. S otkrićem polimera sredinom 20. stoljeća pojavio se puno otporniji materijal. Kada se takav materijal pravilno izradi njegova svojstva se mogu predvidjeti i stoljećima unaprijed čak i u agresivnim okolišima.

Prvi znanstveni radovi na temu korištenja geosintetika u filtarskim slojevima te kao ojačanja tla pojavili su se 1960-ih godina u SAD-u.. Godine 1977. na Pariškoj konferenciji okupljeni su mnogi rani proizvođači i korisnici geosintetika. Međunarodno geosintetsko društvo (International Geosynthetics Society (IGS)) osnovano je 1982. Godine.

Brojna sveučilišta organiziraju katedre za geosintetike, a gotovo sve obrazovne institucije uključuju teme o geosinteticima u geotehničke, hidrotehničke i predmete zaštite okoliša. Geosintetici su dostupni svugdje u svijetu te je njihova primjena golema i u stalnom porastu, [2].

1.3 Osnovni materijali - polimeri

Kao osnovni materijali - sirovine za proizvodnju geosintetika upotrebljavaju se polimerni materijali, čiji je glavni izvor petrokemijska industrija. Ti su materijali sastavljeni od vrlo velikih molekula (makromolekula) koje se pak sastoje od brojnih malih jedinica, sličnog oblika, takozvanih monomera. Da bi se monomeri mogli povezati u makromolekule te tako stvoriti polimere, moraju proći kroz proces polimerizacije. Taj je proces (povezivanje) shematski prikazan na slici 2 [2].



Slika 2. Povezivanje monomera u makromolekulu [3]

Polimeri, kao sirovina, imaju oblik praha ili zrnaca, a proizvode ih posebne kemijske industrije. Postoje tri glavne skupine polimernih materijala: termoplastici, termosetici i elastomeri. Njihova svojstva ovise o njihovoj građi, ali zajedničko im je svojstvo osjetljivost prema temperaturi. Zagrijavanje omogućuje njihovo oblikovanje ili posebno strukturiranje [4].

Glavne vrste polimernih materijala od kojih se proizvode geosintetici jesu: poliamid, poliester, polietilen, polipropilen i polivinilklorid. Postoje i druge vrste polimernih materijala, ali je njihova primjena u graditeljstvu vrlo mala, pa se ovdje o njima neće govoriti. Svi navedeni polimerni materijali pripadaju skupini termoplastika.

Osnovna tehnička svojstva najčešće upotrebljivanih polimera predočena su u tablici 1 [1].

Tablica 1. Osnovna tehnička svojstva najčešće upotrebljavanih polimera [1]

Osnovna tehnička svojstva	Poliester (PES)	Poliamid (PA)	Polietilen (PE)	Polipropilen (PP)
Gustoća (g/cm ³)	1,36 - 1,38	1,14	0,95 - 0,96	0,90 - 0,92
Temperatura taljenja (°C)	256	218 / 258	130	165
Prirast vlažnosti				
pri 21° C i 65 % relativne vlažnosti zraka (%)	0,2 - 0,5	3,5 - 4,5	0	0
pri 24° C i 95 % relativne vlažnosti zraka (%)	0,8 - 1,0	6,0 - 9,0	0	0
Čvrstoća na kidanje pojedinačnih vlakana				
- kod normalne klime (daN/mm ²)	35 - 90	45 - 70	32 - 65	35 - 90
- kod vlažnih vlakana u % od normirane vrijednosti (%)	95 - 100	80 - 90	100	100
Rastezanje do kidanja pojedinačnih vlakana				
- kod normalne klime (%)	15 - 40	30 - 80	15 - 30	15 - 30
- kod vlažnih vlakana u % od normirane vrijednosti (%)	100 - 105	105 - 125	100	100
Sklonost puzanju	mala	mala	vrlo velika	velika
Postojanost protiv:				
- razrijeđenih kiselina	dobra	dobra	vrlo dobra	vrlo dobra
- koncentriranih kiselina	srednja	srednja	srednja	srednja
- razrijeđenih lužina	dobra	dobra	dobra	vrlo dobra
- koncentriranih lužina	loša	srednja	srednja	srednja
- mikroorganizama (trulež, plijesan)	vrlo dobra	dobra	vrlo dobra	vrlo dobra
- svjetlosti	dobra	dobra do loša	vrlo dobra do srednja	loša

1.4 Proizvodnja vlakana i pređe

Vlakna, odnosno filamenti proizvode se postupkom istiskivanja, odnosno ekstruzije rastopljenih polimera u posebnim postrojenjima.

Sirovina (zrnca polimera - čips) najprije se zagrijava i topi u pužastom istiskivaču, a zatim vodi kroz posebne crpke koje mjere potrebnu količinu polimera te ga tlače kroz filter i matricu s velikim brojem rupica. Istisnute niti potom se hlade zrakom ili vodom.

Nakon istiskivanja filamenti i folije izlažu se procesu sušenja, i termičke stabilizacije istezanjem, čime se molekularni lanci u njima uzdužno usmjeruju i time znatno poboljšavaju mehanička svojstva proizvoda. Oblici vlakana i pređe mogu biti različiti. Budući da o tome ovise svojstva završnih proizvoda - geotekstila, potrebno je nešto reći barem o onim oblicima vlakana koji se najčešće upotrebljavaju [1].

1.4.1 Filamenti

Filamenti su pojedinačne niti, proizvedene prije opisanim postupkom istiskivanja, vrlo velike, teoretski beskonačne, dužine. Oblik (presjek) im je najčešće kružni, a promjer iznosi od 0,1 do 1 mm [1].

1.4.2 Višefilamentna pređa

Višefilamentna pređa sastavljena je od snopova vrlo tankih filamenata. Takva se pređa proizvodi izravno postupkom istiskivanja, gdje se mnogo (oko 200) ohlađenih tankih filamenata smota zajedno. Uobičajeni promjer jednog filamenta iznosi oko 25 μm .

Zbog velike efektivne površine takve višefilamentne pređe, njezina su tehnička obrada i izvlačenje učinkoviti, pa se postižu bolja mehanička svojstva. Krutost je takve pređe pri savijanju također znatno manja nego, primjerice, kod pojedinačnog filamenta istoga promjera. Završni proizvodi od višefilamentne pređe odlikuju se, stoga, dobrom savitljivošću [1].

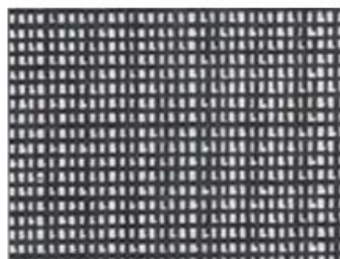
1.4.3 Pređa od uskih traka

Trake se, kako je već rečeno, mogu proizvoditi tako da se istiskuju kroz matricu s mnogo otvora ili se mogu izrezivati i iz široke folije. I u jednom i u drugom slučaju podvrgavaju se istezanju radi poboljšanja mehaničkih svojstava.

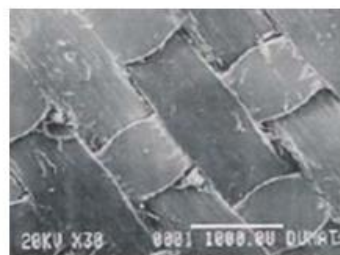
Širina traka može biti od 1 do 15 mm, a debljina 20 do 80 μm . Dužina im je teoretski beskonačna [5].

Trake mogu biti pojedinačne ili povezane. Postoji i postupak takozvane fibrilacije, čime se dobiva profilirana površina i posebni oblici, trakaste pređe. Takva se pripremljena pređa od traka posebice upotrebljava za proizvodnju geotekstila.

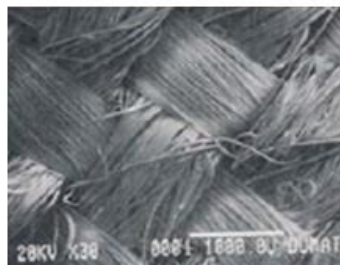
Tijekom proizvodnje materijalu se mogu dodavati razne tvari radi postizanja potrebnih svojstava (antioksidanti, antistatički dodaci, biocidi i dr.) [1].



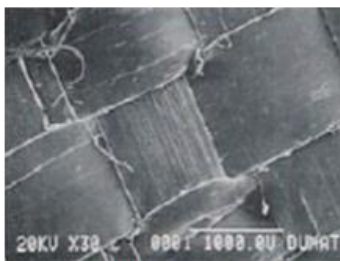
tkani monofilamentni tekstil



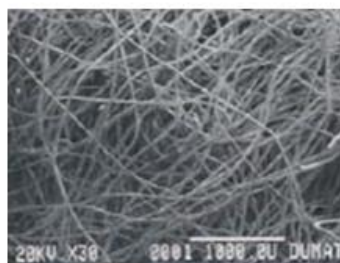
impregnirani pleteni monofilament



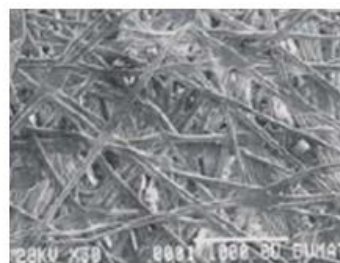
tekstil od tkanog multifilamenta



tekstil tkan od uskih traka



netkani iglani tekstil



termo vezani netkani tekstil

Slika 3. Prikaz raznih vrsta tekstila [5]

Na slici 3, u prvom redu lijevo prikazan je tkani monofilamentni tekstil, a desno impregnirani pleteni monofilament. U drugom redu lijevo je tekstil od tkanog multifilamenta, dok je s desne strane prikazan tekstil tkan od uskih traka. U trećem redu lijevo je netkani iglani tekstil, a desno termo vezani netkani tekstil [1].

2. GEOTEKSTIL

2.1 Proizvodnja netkanih tekstila

Prema definiciji, netkani tekstili su dobiveni mehaničkim i/ili kemijskim i/ili termičkim sastavljanjem kontinuiranih (filament) ili diskontinuiranih (stopel) vlakana položenih u slojeve, bez primjene tkanja, pletenja ili njihove kombinacije.

Postoje brojni načini proizvodnje netkanih tekstila. Svima su im zajednička četiri proizvodna koraka: priprema vlakana, izrada runa, učvršćenje runa i naknadna obrada. Znatne su razlike u procesima za svaki od tih koraka. Posebno za izradu runa (vlakana složenih u rahli sloj pripremljen za daljnju obradu) postoji više načina (mehanički, aerodinamični, hidrodinamički, kemijski). Učvršćenje runa moguće je također ostvariti na razne načine - mehanički, kemijski, termički. Postoje znatne razlike u proizvodnji netkanih tekstila s obzirom na vrstu vlakana od kojih se proizvode, tj. jesu li posrijedi kratka, tzv. stopel vlakna ili su to dugačka vlakna - filamenta.

2.1.1 Proizvodnja netkanih tekstila od kratkih vlakana

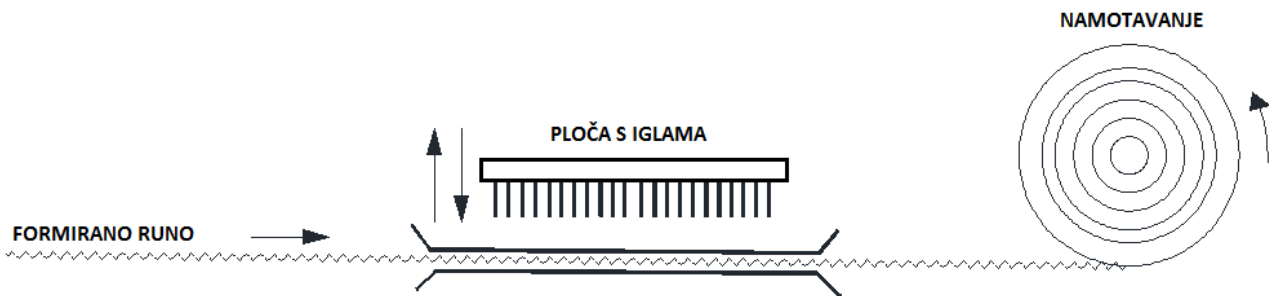
Kratka (stopel) vlakna proizvode se sječenjem filamenta na dužinu prikladnu za obradu u proizvodnji netkanih tekstila pomoću odgovarajućih postupaka.

Dužina kratkih vlakana obično iznosi oko 80 mm. Linijska masa može im znatno varirati - od 0,15 do 3 texa. U cjelovitom postupku proizvodnje, izrada runa čini vrlo važnu fazu, jer o načinu njegove izrade uvelike ovise svojstva konačnoga proizvoda - geotekstila. Kad je posrijedi mehanički način, runo se radi od prethodno izmiješanih vlakana pomoću tzv. grebenaljki - uređaja koji raspoređuju vlakna, čisti ih i usmjerava na željeni način.

Aerodinamičnim načinom pak, vlakna se podižu strujom zraka i hvataju se na sitastim bubnjevima, gdje tako nastaje runo. Značajka je toga postupka što su vlakna u runu "slučajno" usmjerena, tj. postoji znatna izotropnost runa.

Hidrodinamički način u načelu je sličan aerodinamičnom, samo medij za transport vlakana nije zrak nego voda. Taj je postupak inspiriran postupkom proizvodnje papira. Učvršćenje runa, kako je već rečeno, može se obaviti mehaničkim, kemijskim ili termičkim načinom.

Mehanički se runo učvršćuje postupkom takozvanog "iglanja" (slika 4), to jest višestruko se probada, runo brojnim kukastim iglama pri čemu se vlakna vrlo jako zamrse i zapletu [1].



Slika 4. Shema izrade netkanih tekstila od kratkih vlakana postupkom "iglanje" [1]

Kemijsko učvršćivanje obavlja se pomoću vezivnih sredstava koja na mjestima preklapanja vlakana stvaraju čvrste spojeve te tako učvrste i povezu runo. Vezivnih je sredstava za tu namjenu mnogo. Često je za njihovo isparavanje i stvrdnjavanje potrebna viša temperatura, pa se vezivom obrađeno dodatno suši i grije [1].

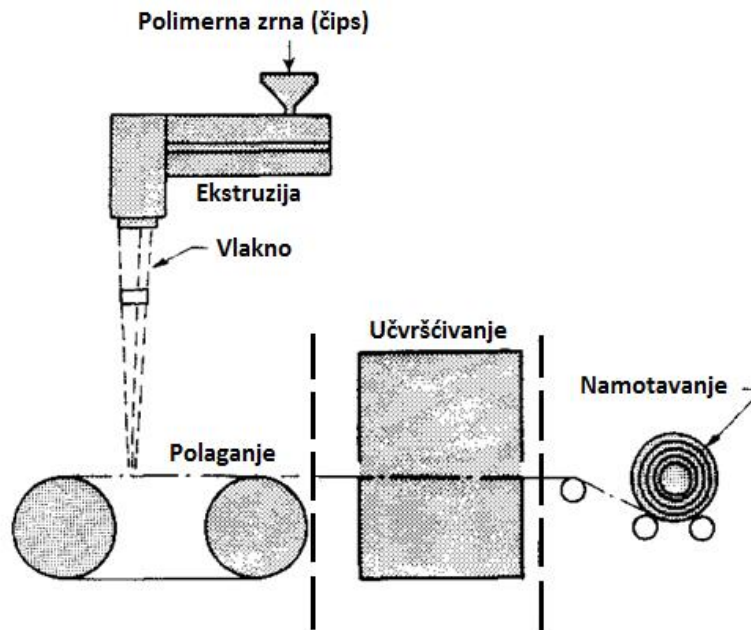
Termičko učvršćivanje se izvodi na način da se jače zagrijava runo u kojemu se obično nalaze i vlakna čija je temperatura taljenja niža. Uz zagrijavanje primjenjuje se i tlačenje, čime se postiže da se rastaljena vlakna dobro slijepe i povežu.

Postupkom izrade netkanih tekstila od kratkih vlakana proizvode se netkani tekstili površinske gustoće od 100 do 1000 g/m², odnosno debljine i do 5 mm [1].

2.1.2 Proizvodnja netkanih tekstila od filamentnih vlakana (spun-bonded postupak)

Netkani tekstil od filamentne pređe može se proizvoditi od prethodno izrađenih filamenata namotanih na kolutove, ili od filamenata neposredno ekstrudiranih u istom postupku (slika 5). Filamenti se u snopovima razastiru na transportnu traku i zatim dalje obrađuju. Moguće je postići kontroliranu usmjerenost vlakana, što je značajno za konačna svojstva netkanog tekstila.

Učvršćenje runa postiže se mehaničkim, kemijskim ili termičkim načinom, kao i u prijašnjem primjeru. Tim se postupkom postiže bolja kakvoća netkanog tekstila. Površinska je masa te vrste geotekstila 100 do 500 g/m², a debljina i do 3 mm [1].



Slika 5. Shema izrade netkanih tekstila od kontinuiranih vlakana [1]

2.2 Proizvodnja tkanih tekstila

Tkani su tekstili načinjeni od dva ili više nizova vlakana. Postupak se tkanja sastoji u tome da se isprepleću nizovi niti u međusobno okomitom položaju. Niz niti koji ide uzdužno (u smjeru proizvodnje) zove se osnova, a niz niti okomitih na taj smjer, potka.

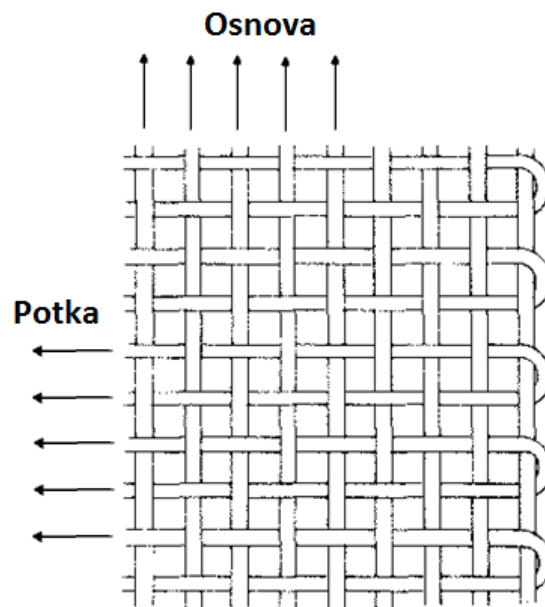
Tkanje se obavlja posebnim strojevima koji mogu proizvoditi razne vrste tekstila. Niti osnove i potke u tkanom tekstilu mogu biti položene i istkane na razne načine. Način na koji su položene niti zove se vez [2].

2.2.1 Građa tkanih tekstila - vezovi

Vez uvelike određuje mehanička i fizička svojstva tkanine. Za određene namjene upotrebljavaju se posebni vezovi.

Niti u tkanini teku izmjenično po donjoj i gornjoj strani tkanine. Vezovi se predočuju shemama na kojima niti osnove idu u "vertikalnom" smjeru, a niti potke u "horizontalnom".

Na shematskim prikazima vez je određen najmanjom jedinicom koja se ponavlja. Na preklopima se nit provlači s površine na donju stranu, ili obratno (slika 6). Dva, uzastopna preklopa jedne niti čine jedan preplet (ili povezivanje) kod netkanog tekstila [1].



Slika 6. Shematski prikaz veza [1]

2.2.2 Građa i svojstva tkanih tekstila

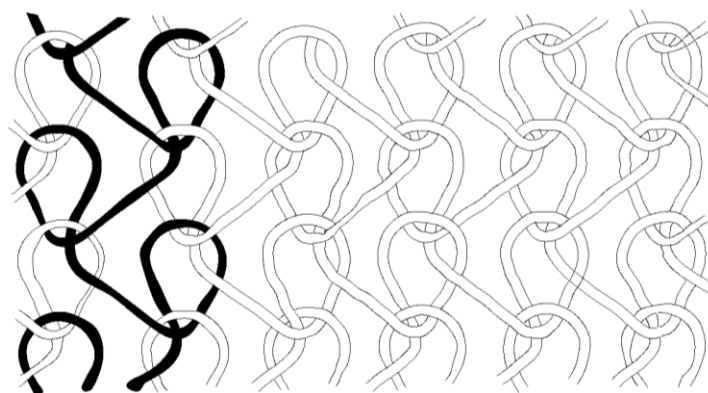
Tkani su sintetični geotekstili načelno čvršći od netkanih tekstila, pa se većinom primjenjuju onda kad je najvažnija funkcija armiranje. No, mogu se upotrebljavati i za druge namjene, jer se njihova građa i svojstva mogu mijenjati.

Velik utjecaj na svojstva geotekstila, uz opisane načine tkanja (vezove), ima i vrsta vlakna od kojih su načinjeni. Ako su geotekstili istkani od monofilamentnih vlakana, oni imaju dosta otvora, i pružaju ravnomjerno mali otpor protjecanju vode. Veličina otvora određena je razmakom između monofilamenata u tkanini i njihovom debljinom. Te se veličine mogu mijenjati kako bi se prilagodile traženim zahtjevima. Monofilamentne tkanine načinjene su najčešće od polietilena ili polipropilena.

Geotekstili od višefilamentnih vlakana načinjeni su od višefilamentne pređe koja može biti sukana ili nesukana. Takvi geotekstili imaju gušću građu i izgled "sukna". Obično se izrađuju od poliamida ili poliestera. Geotekstili načinjeni od trakastih niti odlikuju se dobrom savitljivošću. Trakaste se niti mogu dobiti istiskivanjem kroz odgovarajuće matrice ili izrezivanjem istegnutih folija. Materijal je polietilen ili polipropilen. Debljina tkanih geotekstila ograničena je debljinom vlakana od kojih su proizvedeni. Ako se želi imati geotekstile veće čvrstoće, može se povećati debljina niti. To, međutim, ima ograničenje jer se s povećanjem debljine niti smanjuje njena savitljivost [6].

2.3 Pleteni tekstili

Pleteni se tekstili proizvode strojnim pletenjem usporednih niti, pri čemu mjesta dodira nisu posebno spojena. Načini pletenja mogu biti različiti. U graditeljstvu se najviše upotrebljavaju tekstili proizvedeni tzv. Raschel postupkom (slika 7). Takvi tekstili se ne mogu lako rasplesti. Svojstva pletenih tekstila mogu se poboljšati uvođenjem dodatnih niti, što povećava debljinu i djeluje na stabilnost. Pleteni tekstili su dvodimenzionalne mreže, tj. strukture s poprilično velikim otvorima [6].



Slika 7. Građa pletenog tekstila izrađenog Raschel postupkom [1]

3. GEOMREŽE

Geomreže su plošni proizvodi koji imaju otvore znatno veće od dimenzija materijala koji ih tvore. Postoji više načina proizvodnje mreža. Jedan je od načina proizvodnje je zavarivanje vlakana ili traka prethodno položenih na određene razmake. Oblik otvora može biti pravokutan ili romboidan. Spajanje se može izvesti termičkim, kemijskim ili mehaničkim načinom. Kod novijih načina, s istom površinskom masom proizvoda postižu se znatno bolja svojstva. Ti će postupci stoga, kao i zbog svoje posebnosti, biti nešto detaljnije opisani [2].

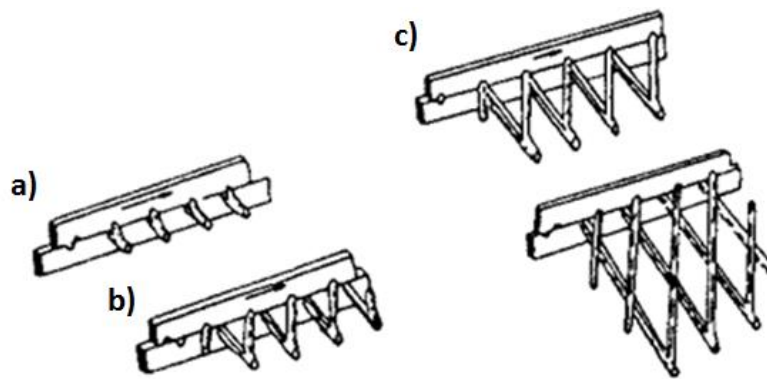
3.1 Proizvodnja polimernih mreža tipa NETLON

Mreže Netlon proizvode se od različitih polimernih materijala kao što su polietilen, polivinilklorid, polipropilen i ekspanzirani polistiren. Primjenjuje se poseban tehnološki postupak istiskivanja kroz matricu, tzv. *ekstruzija*. Tehnologija proizvodnje vrlo je prilagodljiva, tako da se na istom postrojenju mogu lako proizvesti mreže raznih veličina, oblika, otvora, raznih debljina filamenata i dimenzija. Osim u graditeljstvu, te se mreže primjenjuju i u mnogim drugim oblastima.

Mreže Netlon proizvedene ekstruzijom obično su plošnog oblika, ali mogu biti i cjevaste. Materijali za njihovu proizvodnju su prije spomenuti polimeri, ali može se upotrijebiti i bilo koji drugi ili sintetična guma. Boja mreže može biti različita, a postiže se pigmentom koji se dodaje osnovnom materijalu.

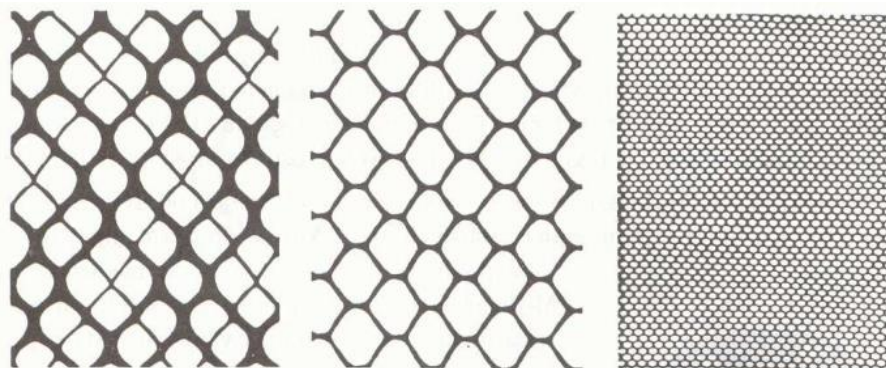
Postupak ekstruzije mreža Netlon provodi se pomoću dvije matrice koje se okreću u suprotnom smjeru. Niti se dobivaju dijeljenjem toka od međusekcije do međusekcije.

Međusekcija nastaje kada se pri okretanju matrica urezi na unutrašnjoj i vanjskoj matrici poklope i tada se istiskuje nit. Kada se urezi pomaknu iz međusekcije, istiskuju se dvije niti, slika 8a. Ako se jedna matrica zaustavi, a druga nastavi okretanjem, dobiva se mreža kao na slici 8b, a ako se matrice okreću u suprotnim smjerovima, dobiva se mreža prikazana na slici 8c [1].



Slika 8. Način izrade mreža Netlon [1]

Na slici 9, prikazani su različiti oblici mreža Netlon. Ako želimo da mreža bude stabilna u dva smjer, onda je u tu svrhu pogodan kvadratičan oblik mreže (okaca). Takva se mreža dobiva okretanjem samo jedne matrice, što uzrokuje da se mreža okreće oko valjka. Okretni nož rasijeca mrežu, a valjci za izvlačenje izvlače je pod kutom od 45°. Tako nastaje plošni oblik mreže s istegnutim nitima u dva smjera [1].

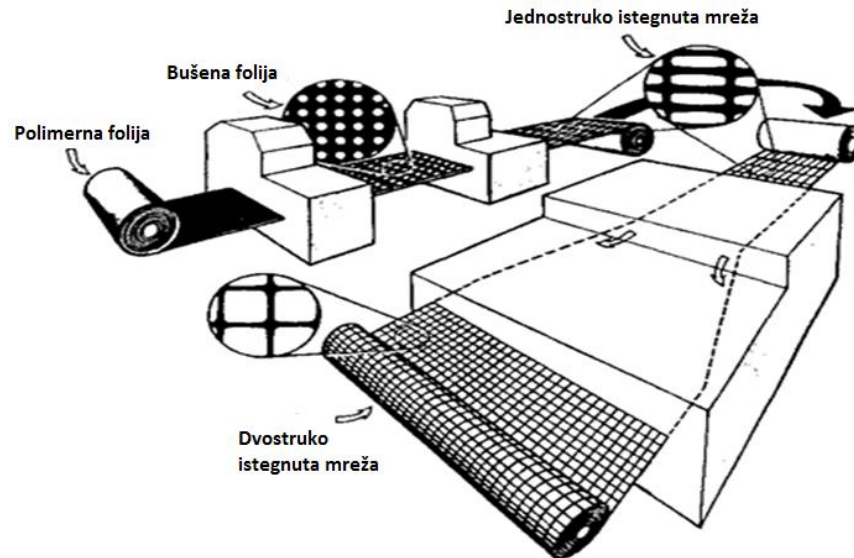


Slika 9. Oblik mreže Netlon [1]

Dvosmjerno istezanje izvodi se dva puta. Neposredno po napuštanju ekstruzijske linije mreža se isteže pomoću valjaka koji se okreću različitim brzinama u zagrijanoj vodenoj kupki, a zatim propuštanjem kroz stroj s valjcima pomoću kojeg se istežu poprečne niti mreže. Pri tom istezanju dolazi do molekuskog usmjerenja materijala koje mu povećava mehanička svojstva [7].

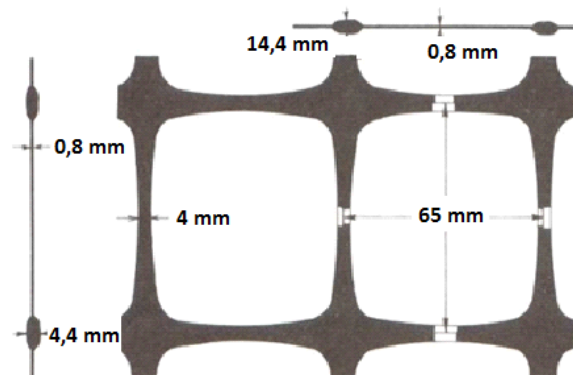
3.2 Proizvodnja polimernih mreža tipa TENSAR

Još bolja svojstva mreže postižu se sustavom Tensar, čiji je temelj istezanje bušenih folija [1]. Sustav je shematski prikazan na slici 10.



Slika 10. Shema proizvodnje mreža sustava Tensar [1]

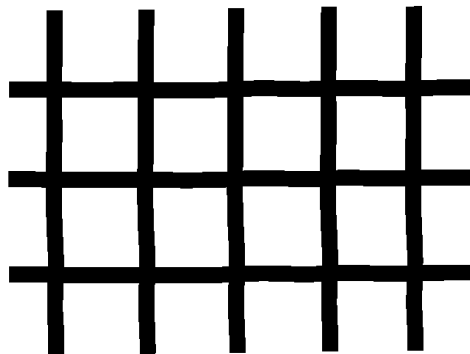
Kao osnovni materijal primjenjuju se folije od polipropilena ili polietilena visoke gustoće. Posebnim alatima buše se otvori u folijama, pri čemu oblik, veličina i raspored otvora određuju konačni tip mreže. Uz kontrolirano zagrijavanje folije se najprije izvlače u uzdužnom, a zatim i u poprečnom smjeru. Izvlačenjem se prvobitno nepravilno usmjereni dugački lanci molekula polimera istežu i usmjeravaju prema izvlačenju, a time se uvelike poboljšavaju mehanička svojstva [1]. Mreža Tensar prikazana je na slici 11.



Slika 11. Izgled i dimenzije mreže Tensar [1]

3.3 Poliesterske mreže za armiranje asfalta i tla

To je posebna vrsta mreža (slika 12) koja je razvijena za potrebe armiranja asfaltnih slojeva, a upotrebljava se i za armiranje tla. Takve se mreže u svijetu, a i kod nas, u te svrhe rabe već dvadesetak godina [7].



Slika 12. Poliesterska mreža za armiranje asfalta [1]

Sastav materijala - poliester, osigurava mrežama dobra mehanička svojstva te dovoljnu otpornost prema visokim temperaturama kakve imaju asfaltne mješavine (do 160° C) tijekom polaganja.

Mreže imaju pravokutna okca, dimenzija 20 x 20, 30 x 30 ili 40 x 40 mm. Mreže su izrađene tkanjem od kontinuiranih filamenata [7]. Posebno je važno da mreže imaju površinsku obradu koja omogućuje dobro sljepljivanje s asfaltom. Mreže su obično široke do 2 m. Poliesterska mreža za armiranje asfalta prikazana je na slici 12 [8].

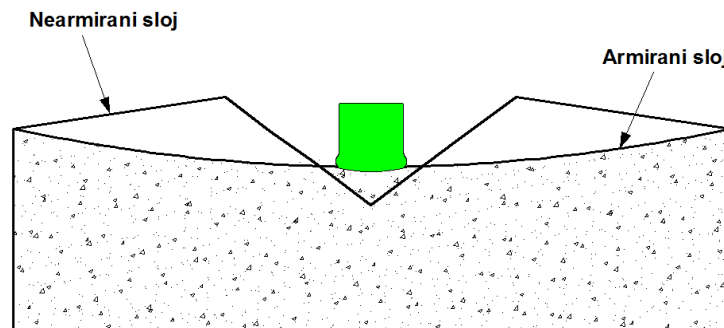
4. UPOTREBA GEOMREŽA PRI ARMIRANJU KOLNIKA

4.1 Općenito

Primjena geomreža u kolničkim konstrukcijama traje već više od 20 godina. One se primjenjuju kod cesta, ulica, aerodroma, parkinga, itd. Efekti primjene geomreža su poboljšanje mehaničkih svojstava kolničkih konstrukcija (mogućnost prenošenja većeg i učestalijeg opterećenja i manja pojava deformacija), produljenje vijeka trajanja,

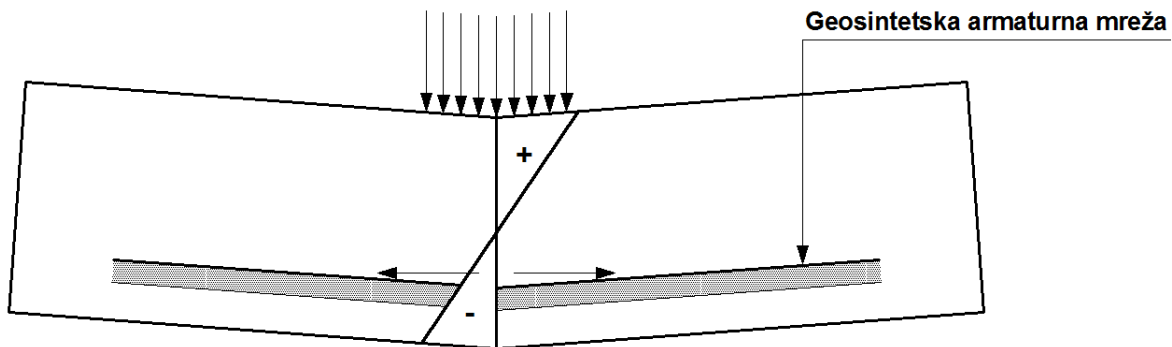
podizanje udobnosti vožnje, smanjenje troškova građenja i održavanja, što sve rezultira ekonomičnošću primjene.

Poznato je da kolnička konstrukcija preuzima prometno opterećenje te ga prenosi na posteljicu. Na slici 13, vidljiva je manja deformacija armiranog sloja kolničke konstrukcije nego što je to slučaj s nearmiranim slojem [9].



Slika 13. Prikaz učinkovitosti primjene geosintetske armaturne mreže u asfaltnim kolnicima [9]

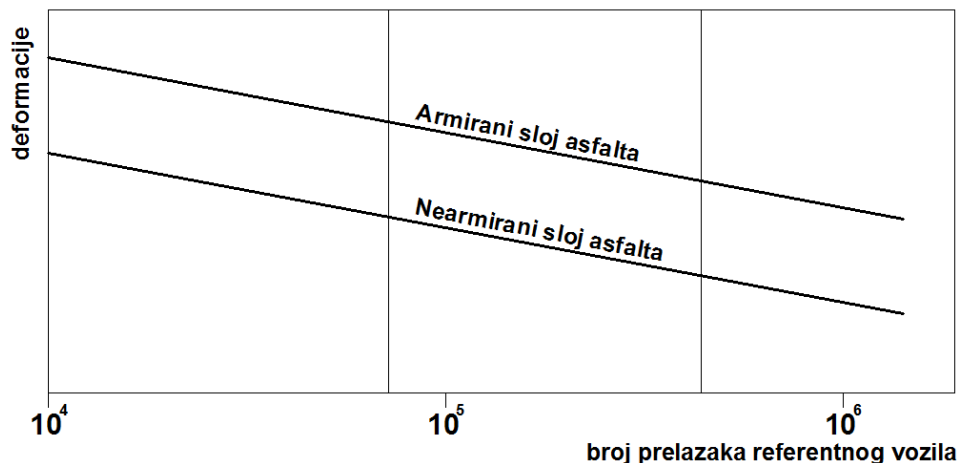
Geosintetska armaturna mreža se postavlja u zoni vlačnih naprezanja, slika 14. To mjesto je, s obzirom na dosadašnja istraživanja i iskustva, u bitumeniziranim nosivim slojevima. U tim slojevima postavljena geosintetska armatura preuzima posmična i vlačna naprezanja, do granice svoje nosivosti [9].



Slika 14. Prikaz pravilnog postavljenja armature [9]

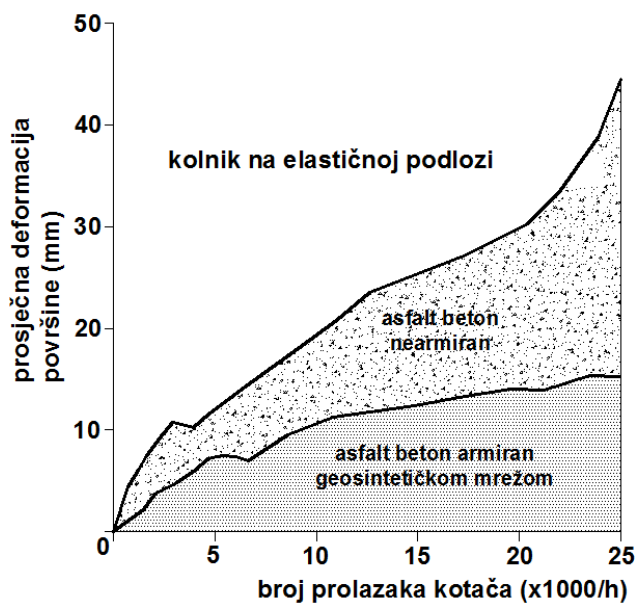
Mnoge institucije u razvijenim zemljama svijeta bave se istraživanjem armiranja asfaltnih slojeva. Uglavnom se dobivaju pozitivni rezultati i ističe korist pri armiranju slojeva asfalta ukoliko se pravilno obavi izbor geosintetske armaturne mreže i ukoliko se ona

pravilno postavi. Na slici 15, prikazan je dijagram zamora asfaltnih slojeva izrađen na temelju rezultata brojnih istraživanja provedenih u svijetu [9].



Slika 15. Prikaz zamora armiranog i nearmiranog asfaltnog sloja u ovisnosti o broju prelazaka referentnog vozila [9]

Dokazani učinak primjene geosintetske armaturne mreže u asfaltnim kolnicima na fleksibilnoj podlozi prikazan je na slici 16. Iz dijagrama se uočavaju veće deformacije kolničkog zastora koji nije armiran, od armiranog kolničkog zastora, pri istom prometnom opterećenju [10].



Slika 16. Prikaz deformiranja nearmiranog i armiranog sloja asfalta na fleksibilnoj podlozi [9]

4.2 Karakteristike geomreža

Pri primjeni geosintetskih mreža kao armature u kolničkim konstrukcijama, važno je znati i definirati nekoliko tehničkih fenomena.

Pod utjecajem prometnog opterećenja habajući i nosivi slojevi kolničke konstrukcije deformiraju se u smislu *napete membrane*. U tim se slojevima javljaju vlačna i posmična naprezanja koje slojevi izrađeni od asfaltne mješavine ne mogu podnijeti, što dovodi do stvaranja pukotina koje s vremenom napreduju te dolazi do pojave oštećenja. Vlačna i posmična naprezanja u asfaltnim slojevima kolničke konstrukcije doprinose stvaranju plastičnog tečenja asfaltne mase i deformacija veoma štetnih za kolničku konstrukciju. Neophodno je da se vlačne sile koje se pojavljuju u asfaltnim slojevima preuzmu s odgovarajućim materijalom. Jedan od tih materijala je i odgovarajuća geosintetska armaturna mreža [9].

Ona u kolničkoj konstrukciji ima funkciju preuzimanja posmičnih i vlačnih naprezanja, tj. služi kao armatura asfaltnih slojeva, ovisno o svojim deformacijskim svojstvima.

Usporedimo li armiranje betona s čeličnom armaturom i armiranje asfalta s geosintetskom armaturom, mogu se uočiti znatne razlike, [10]. U armiranom asfaltu ne postoji jaka prionjivost (adhezija) između asfalta i geosintetske armature, kao što je to slučaj u armiranom betonu između betona i čelika. Ona iznosi oko 100 kPa, a izduženje geosintetske armature je, u principu, veće od izduženja asfalta. Nedostatak prionjivosti kod armiranog asfalta nadoknađuje se primjenom geosintetskih armaturnih mreža s otvorima veličine od 2 - 5 cm. Mineralna zrna asfaltne mješavine uklješte se u otvore geosintetske armature mreže čime im se sprječava pomicanje te masa ostaje u ravnoteži. Geosintetska armaturna mreža na taj način povezuje zrna mineralnog agregata asfalta i zamjenjuje nedostatak adhezije.

Izduženje asfalta je oko 2%, a modul krutosti asfalt betona iznosi $E = 5,5 - 12$ GPa, ovisno o frekvencijama pri ispitivanju, a što je povezano sa prometnim opterećenjem i temperaturom pri kojoj se mjerenje obavlja. Izduženje geosintetskih armaturnih mreža kreće se od 3 do preko 20%, ovisno o vrsti geosintetskog materijala od kojeg su izrađene [9]. Maksimalna izduženja različitih geosintetskih materijala prikazani su u tablici 2.

Tablica 2. Maksimalno izduženje geosintetskih materijala [9]

Materijal	Maksimalno izduženje
Polietilen (PE)	> 20%
Polipropilen (PP)	20 %
Poliester	12 %
Polivinilalkohol	6 %
Aramid	3 %
Staklena vlakna	3 %

Razliku u izduženju asfalta i geosintetskog materijala ne može se nadoknaditi adhezijom, već izborom geosintetskog materijala koji ima približno jednako izduženje kao asfalt, a to su materijali s većim deformacijskim svojstvima, npr. geosintetska armaturna mreža sa staklenim vlaknima ili od vlakana aramida [11].

U početku, pri djelovanju opterećenja od prometa na armirani asfaltni sloj, kada još nisu dosegnute maksimalne vrijednosti naprezanja, geosintetska armaturna mreža preuzima naprezanja i minimalno se deformira, tako da se ta deformacija ne primjećuje u asfaltnom sloju. Kasnije, s povećanjem opterećenja asfaltnog sloja, ukoliko geosintetska mreža ima slabija svojstva deformabilnosti od asfalta, ona će popustiti i pojaviti će se deformacije. Ako su deformabilna svojstva geosintetske mreže i asfalta približno ista tada će geosintetska armatura i asfaltna masa djelovati zajedno i stabilnost sloja će biti veća.

Nosivost geosintetske armaturne mreže treba osigurati većim faktorom sigurnosti. Geosintetske mreže od poliestera (PET) pri izduženju od 2% dostižu 20% svoje maksimalne čvrstoće. Geosintetska mreža od polivinilalkohola (PVA) pri izduženju od 2 % dostiže do 40 % svoje nosivosti. Geosintetska mreža od aramida (A), pri izduženju od 2 % dostiže vrijednost od 50 % svoje maksimalne čvrstoće. Polipropilenske (PE) i poliesterske (PET) mreže pri izduženju od 2 % dostižu vrijednost od 5 - 10 % svoje maksimalne čvrstoće. To znači da je u asfaltno slojeve kolnika potrebno stavljati geosintetsku armaturnu mrežu s većom nosivošću kako bi ona pri izduženju od 2 %

mogla preuzeti što veću silu. Geosintetske mreže od polipropilena (PP) i polietilena (PE) trebaju biti primijenjene s faktorom sigurnosti $F_s = 10 - 20$, a to znači da vlačna naprezanja u armaturi trebaju biti 10 - 20 puta veća od vlačnih naprezanja u asfaltnom sloju. Pri primjeni poliesterske (PET) geosintetske mreže potrebno je primijeniti faktor sigurnosti $F_s = 5$.

Mreže od polivinilalkohola (PVA) moguće je primijeniti s faktorom $F_s = 2,50$, a geosintetske mreže od aramida (A) s faktorom $F_s = 2,0$. Primjenom navedenog načina izbora sintetičkih mreža uvelike će se smanjiti deformacije kolničkih zastora, tj. produžiti životni vijek [11].

Za armiranje kolnika najčešće se koriste polipropilenske (PP), polietilenske (PE) i poliesterske (PET) mreže. Ne treba zaboraviti napomenuti da su mreže od polivinilalkohola (PVS) i aramida (A) znatno skuplje od prije navedenih, i to je razlog zašto se rjeđe upotrebljavaju [9].

U svakom slučaju, geomreža koja se koristi kao armatura kolnika treba ispunjavati sljedeće zahtjeve:

- da preuzme vlačnu silu veću od 80 kN/m',
- da joj je maksimalna deformacija manja od 3 %,
- točka taljenja min. 165 C,
- da veličina otvora mreže bude 2 - 2,5 puta veća od maksimalne veličine zrna agregata,
- da je otporna na ulja, tekuća goriva, soli, kiseline, mikroorganizme, ...,
- da je otporna na UV zračenje,
- ... [11].

4.3 Postavljanje geomreža

Mreže se postavljaju na pripremljenu podlogu, bilo da se radi o gradnji novih ili rekonstrukciji postojećih kolničkih konstrukcija. Priprema habajućeg sloja starog kolnika sastoji se od pomnog čišćenja površine od prljavštine i uklanjanja eventualnog nevezanog materijala, saniranja lokalno oštećenih mjesta (udarne rupe), a ako je površina kolnika neravna ili slomljena, potrebno je izraditi tanki izravnavajući sloj. Ukoliko se habajući sloj uklanja glodanjem, potrebno je površinu prije postavljanja

geomreže dobro očistiti. Podlogu je potrebno poprskati emulzijom, kako bi mreža što bolje nalegla. Ukoliko se žele povećati reološka, adhezijska ili kohezivna svojstva emulzija dodaje im se polimer. Viskoznost bitumena koji je razrijeđen u emulziji treba biti 60%. Prskanje emulzije obavlja se u količini od 1,10 do 1,30 kg/m². Da bi mreža što bolje prijanjala na podlogu, najčešće je sa svoje donje strane tvornički obložena tankim netkanim geotekstilom, u cilju osiguranja boljeg nalijevanje mreže na podlogu. [11].

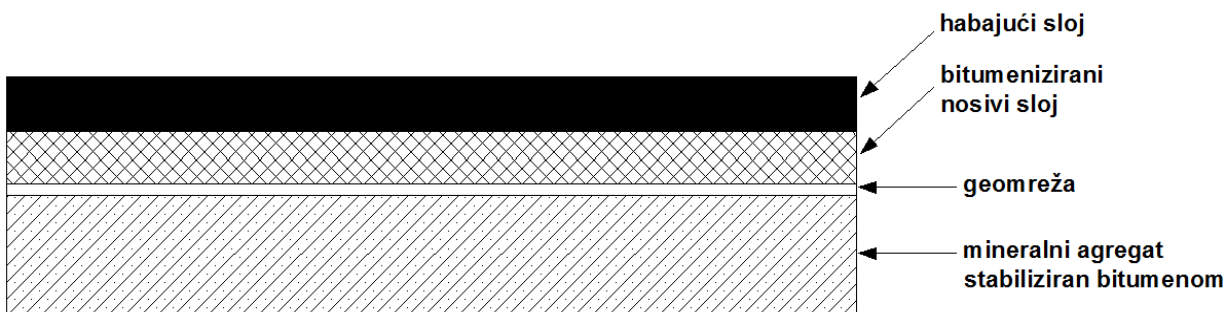
Geosintetska armaturna mreža na manjim gradilištima može se postavljati ručno, dok na većim gradilištima treba primijeniti jednostavan uređaj koji se učvrsti na utovarivač ili traktor. Uređaj se sastoji od metalnog okvira s osovinom koja se provuče kroz otvor role mreže, te od elementa s gumenom trakom ili četkom pri razini podloge. Pri kretanju traktora mreža se odmotava s role, a gumena traka je pritišće i lijepi za poprskanu podlogu. Na taj se način geomreža može kvalitetno postaviti na podlogu, bez stvaranja nabora [11]. Na slici 17, prikazano je strojno postavljanje geomreže na pripremljenu površinu.



Slika 17. Strojno postavljanje geomreže [12]

Pri postavljanju, geosintetske armaturne mreže preklapaju se za 150 mm u poprečnom smislu, a u uzdužnom 250 mm. Preklapanje se ne mora izvoditi ukoliko se spajanje mreža izvodi HDPE trakom. Najmanja debljina asfalta koji prekriva mrežu iznosi 40 mm, a on se najčešće ugrađuje finišeom. Primjena geosintetskih mreža kao armature, ukoliko je pravilno izabrana i postavljena, može produžiti vijek trajanja kolničke konstrukcije za 2 - 3 puta ili smanjiti debljinu asfaltnog sloja za 30 - 40 %.

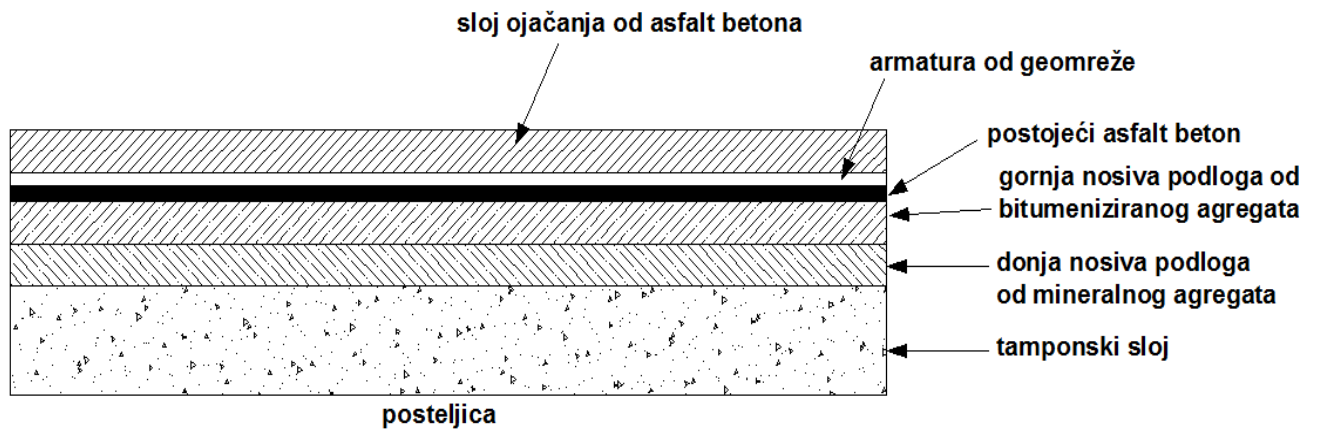
Na slici 18, prikazana je kolnička konstrukcija čiji su habajući i gornji nosivi sloj izrađeni od asfaltnih mješavina, a donji nosivi sloj od mineralnog agregata stabiliziranog bitumenom. Geosintetska armaturna mreža postavljena je preko donjeg nosivog sloja [9].



Slika 18. Prikaz položaja geomreže kod gradnje novih kolničkih konstrukcija [9]

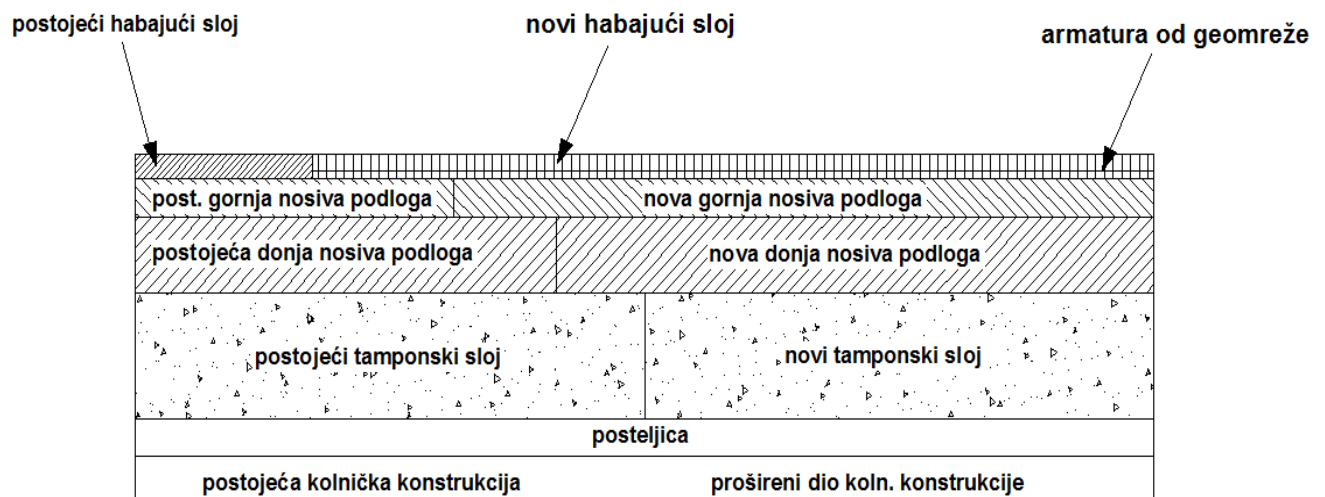
4.4 Upotreba geomreža kod postojećih kolnika

Pri sanaciji postojećih kolnika, geomreža se postavlja preko postojećeg habajućeg sloja. Taj sloj treba pripremiti prije postavljanja mreže i novog habajućeg sloja. Priprema se sastoji od čišćenja površine, saniranja otvorenih dijelova površine kolnika i eventualnoj izradi izravnavajućeg sloja od asfalt betona. Ukoliko se habajući sloj uklanja uz pomoć stroja (glodalice), tada je prije postavljanja geomreže potrebno dobro očistiti površinu. Geomrežu, isto kao i kod gradnje novih kolnika, treba postavljati preko podloge koja je poprskana emulzijom. Na slici 19, prikazan je način primjene geomreže prilikom sanacije postojećeg kolnika.



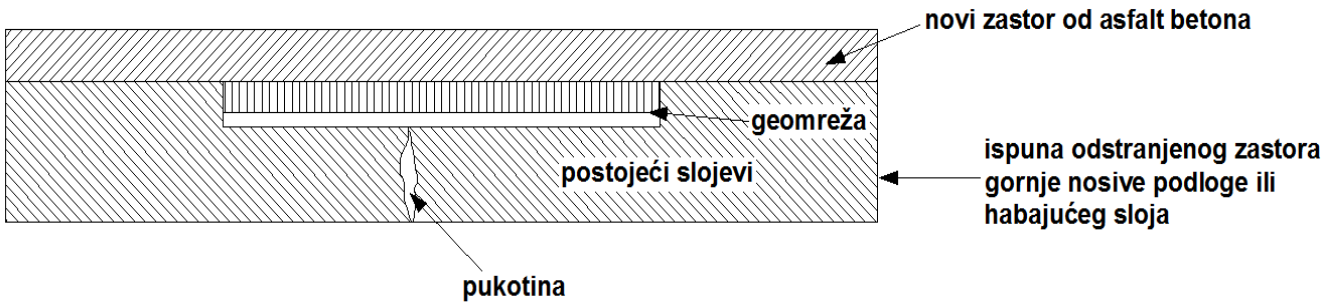
Slika 19. Prikaz primjene geomreža pri sanaciji postojećih kolnika [9]

Kod rekonstrukcija kolničkih konstrukcija, tj. proširenja kolnika, geosintetska armaturna mreža ima značajnu funkciju. Ona sprječava odvajanje stare i nove kolničke konstrukcije na mjestu njihovog spoja. Način postavljanja geomreže pri proširenju kolnika prikazan je na slici 20 [9].



Slika 20. Primjer upotrebe geomreže pri proširenju kolnika [9]

Primjena geomreža pri saniranju pukotina na površini kolnika prikazana je na slici 21.



Slika 21. Primjena geomreža pri sanaciji pukotina na površini kolnika

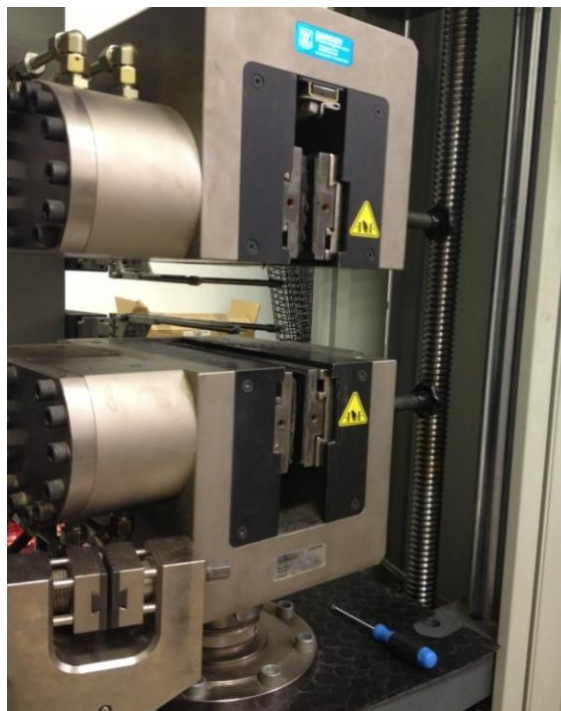
Kod velikih prometnih opterećenja koja djeluju na kolničku konstrukciju, razmatra se i primjena dvostruke armature, ali ta mogućnost još je u eksperimentalnoj fazi [11].

5. ISPITIVANJE VLAČNIH KARAKTERISTIKA PREMA HRN EN ISO 10319

Postupak određivanja vlačne čvrstoće geotekstila na širokim trakama opisan je u normi HRN EN 10319, Geotextiles - Wide-width tensile test. Opisani se postupak koristi se za tkane i netkane geotekstile, geokompozite i geomreže, uz odgovarajuću prilagodbu dimenzija ovisno o tipu geosintetika [13].

5.1 Uređaj za ispitivanje

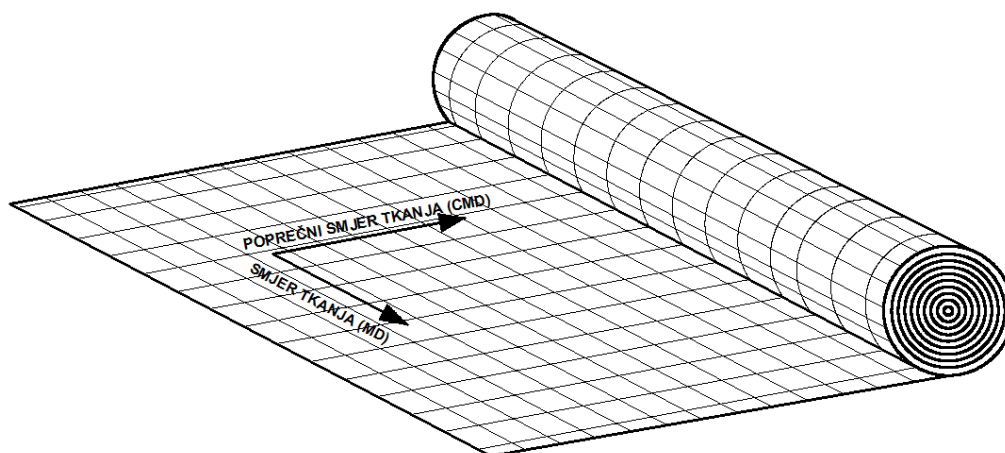
Uređaj za ispitivanje vlačne čvrstoće (kidalica) ima konstantni prirast istezanja, po normi ISO 7500-1, u kojoj je prirast izduženja uzorka proporcionalan s vremenom. Uređaj je opremljen s čeljustima dovoljno dugim da prihvate cijelu duljinu uzorka bez klizanja i oštećenja. S obzirom na to da se radi o ispitivanju geomreža, u čeljusti uređaja postavljeni su gumeni podložni umetci da bi se spriječilo kidanje uzorka. Pri ispitivanju korišten je mehanički ekstenzometar, slika 22 [13].



Slika 22. Prikaz ekstenzometra

5.2 Postupak ispitivanja

Uzorak za ispitivanje je geosintetska armaturna mreža HaTelit, XP50. Širina uzorka iznosi 200 mm, a duljina 100 mm. Ispituju se vlačne karakteristike 5 uzoraka u smjeru izrade (MD) i 5 uzoraka okomito na smjer izrade (CMD), slika 23. Svaki uzorak sadrži 5 vlačnih elemenata, a odabir uzoraka je u skladu sa normom ISO 9862 [13].



Slika 23. Prikaz smjera izrade geomreže

Istezanje uzorka mjeri se pomoću ekstenzometra, slika 22. Referentne točke za ekstenzometar su u sredini uzorka na razmaku od 60 mm, slika 25. Između tih točaka treba se nalaziti barem jedan čvor.

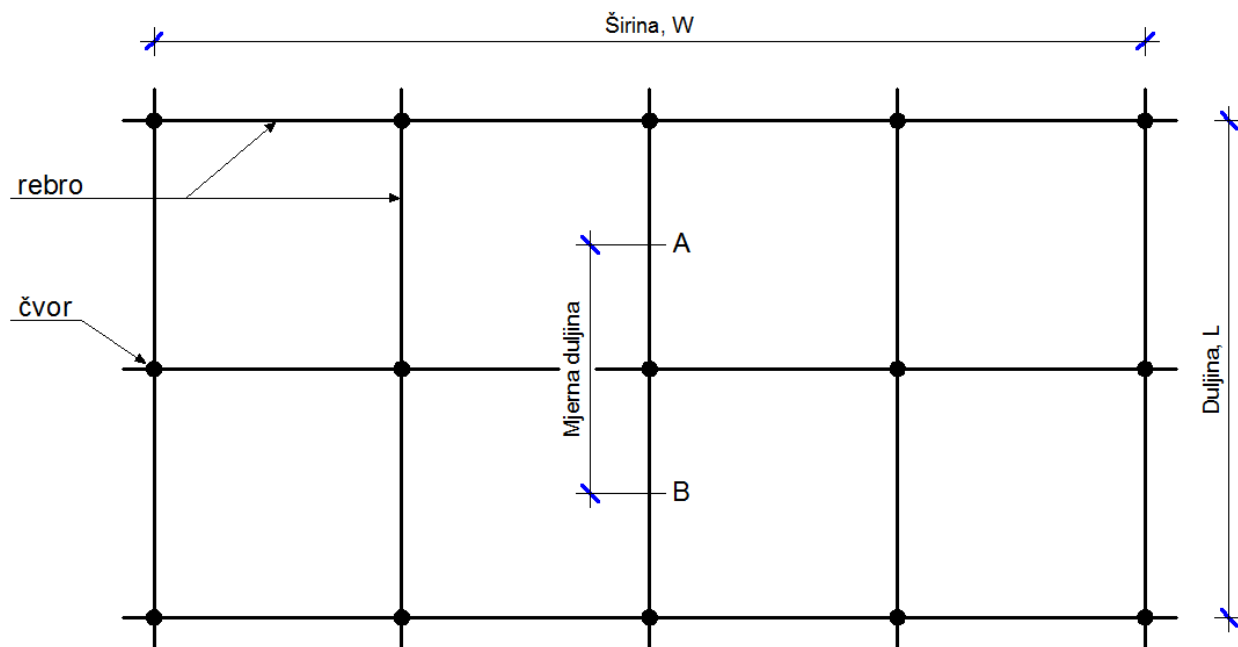
Uzorak se prihvati cijelom duljinom u čeljusti kidalice, pri čemu treba paziti na paralelnost uzorka. Zatim se uzorak uzdužno rasteže do pucanja. Prirast naprezanja je stalan i iznosi 20 ± 5 % po minuti. Nakon pucanja uzorka uređaj se zaustavlja te se bilježi maksimalna sila pri pucanju uzorka, tangenti modul elastičnosti i maksimalno izduženje uzorka, s tolerancijom $\pm 0,2\%$. Zatim se uređaj poništi na početnu vrijednost te se isti postupak ponavlja za drugi uzorak [13].

Odluku o odbacivanju rezultata mjerenja treba bazirati na ponašanju uzorka tijekom ispitivanja. U nedostatku ostalih kriterija, slom na udaljenosti manjoj od 5 mm od čeljusti uređaja, i na 50% vrijednosti ispod ostalih vrijednosti lomova treba odbaciti. Ostali lomovi se razmatraju osim ako se ne događaju zbog poznatih manjkavosti uzorka [14].

Na slici 24, prikazan je uzorak geomreže postavljen u kidalicu [13].



Slika 24. Uzorak geomreže pravilno postavljen u ekstenziometar



Slika 25. Primjer uzorka geosintetske armaturne mreže [15]

5.3 Rezultati ispitivanja

Tablica 3. Rezultati vlačnog ispitivanja geomreže Hatelit XP50, u smjeru izrade (MD)

Ispitni uzorak	Vlačna čvrstoća F_{max} (sila prekida) [kN/m]	Izduženje pri F_{max} (sili prekida) [%]	Modul elastičnosti E [MPa]
HaTelit XP50 #1	41,72	4.61	627.95
HaTelit XP50 #2	41,52	4.87	578.86
HaTelit XP50 #3	41,57	4.53	615.89
HaTelit XP50 #4	42,96	4.93	593.83
HaTelit XP50 #5	41,03	4.31	623.15
Aritmetička sredina	41,76	4,65	607,94
Standardna devijacija	0,72	0,25	20,85
Varijanca	1,72	5,46	3,43

Tablica 4. Rezultati vlačnog ispitivanja geomreže Hatelit XP50, okomito na smjer izrade (CMD)

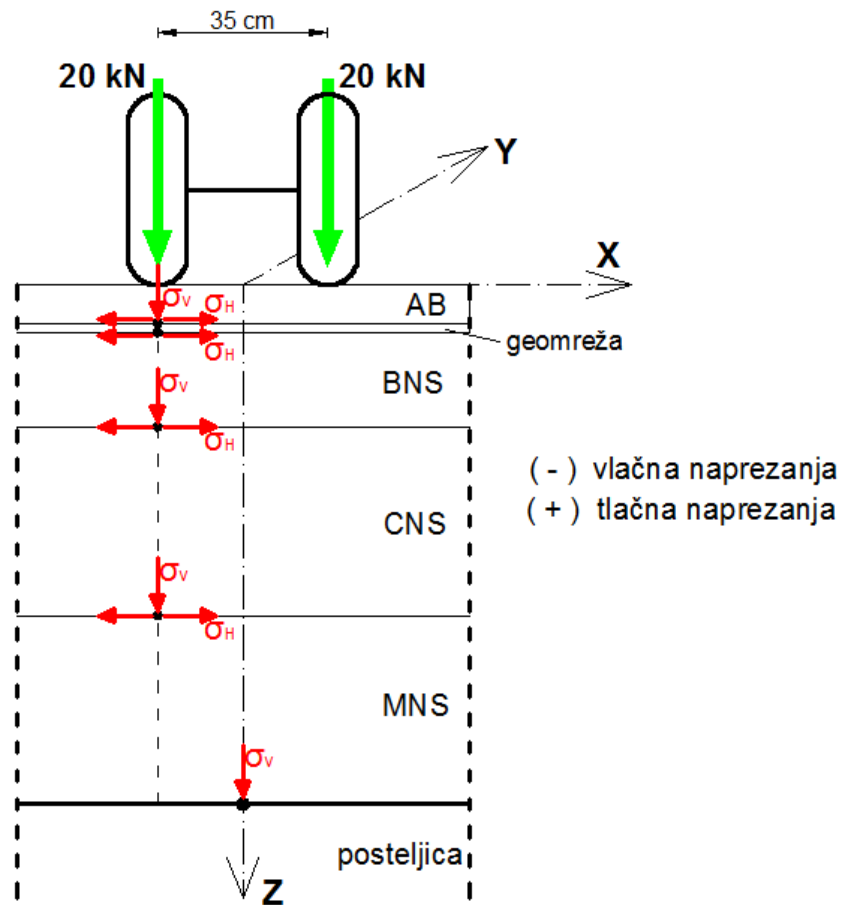
Ispitni uzorak	Vlačna čvrstoća F_{max} (sila prekida) [kN/m]	Izduženje pri F_{max} (sili prekida) [%]	Modul elastičnosti E [MPa]
HaTelit XP50 #1	60,74	5,07	672,61
HaTelit XP50 #2	57,26	6,07	653,46
HaTelit XP50 #3	59,73	6,41	606,12
HaTelit XP50 #4	58,20	6,48	683,49
HaTelit XP50 #5	61,51	5,56	644,94
Aritmetička sredina	59,49	5,92	652,12
Standardna devijacija	1,75	0,60	29,89
Varijanca	2,95	10,05	4,58

6. MODELIRANJE KOLNIČKE KONSTRUKCIJE

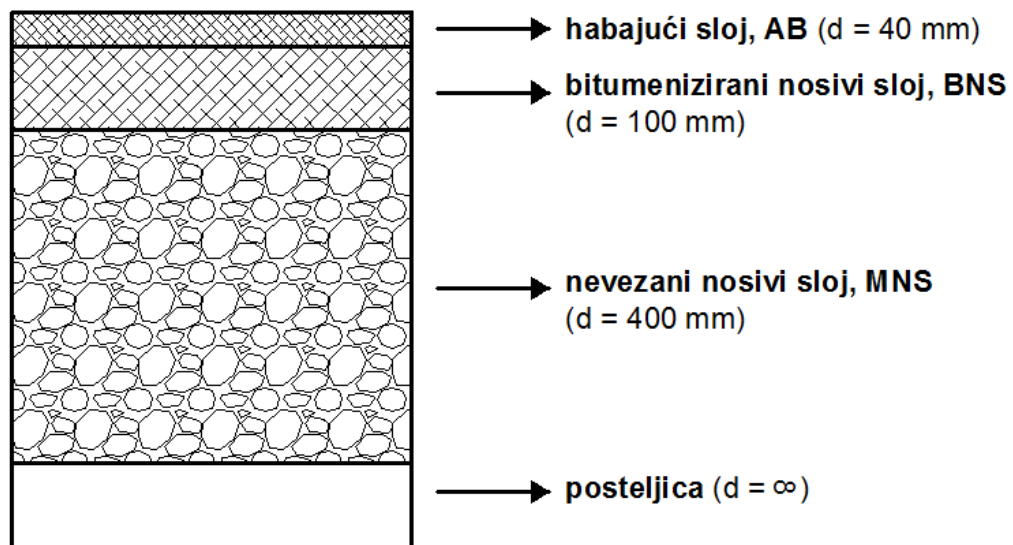
U računalnom programu *Circlly* izrađeno je pet različitih modela kolničke konstrukcije, slike 27-31. Ispitivanjem vlačnih karakteristika (poglavlje 5) geosintetske armaturne mreže HaTelit XP50, dobiveni su moduli elastičnosti geomreže: u smjeru izrade $E_1 = 607,94$ MPa, i okomito na smjer izrade mreže $E_2 = 652,12$ MPa. Za potrebe modeliranja kolničke konstrukcije koja u sebi sadrži geomrežu, odabran je modul elastičnosti geomreže u smjeru izrade ($E = 608$ MPa), dok je Poissonov koeficijent ν preuzet iz literature. U tablicama 5 i 6, prikazane su debljine slojeva te modul elastičnosti E i Poissonov koeficijent ν , za svaki sloj kolničke konstrukcije, s obzirom na godišnje doba (zima, proljeće/jesen, ljeto).

S obzirom na to da maksimalne veličine horizontalnih naprezanja i deformacija, koje su najvažnije za ponašanje materijala, većinom nastaju s donje strane vezanih slojeva (asfaltnih i cementom stabiliziranih), a da je na vertikalne tlačne deformacije najosjetljivija posteljica, na slici 26 prikazane su točke u kojima smo proračunavali deformacije i naprezanja [16].

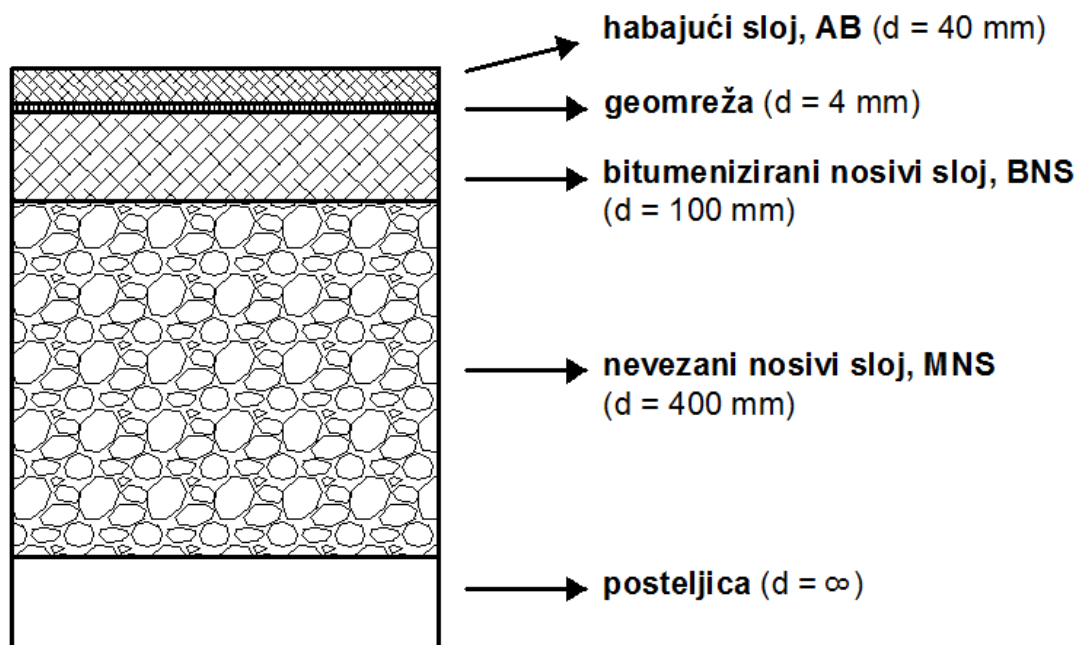
Za ekvivalentno osovinsko opterećenje (slika 26), dobiveni su rezultati deformacija i naprezanja svakog sloja pojedine kolničke konstrukcije, za sva četiri godišnja doba: ljeto, zima, proljeće i jesen (prilog 2). U prilogu 3 dani su dijagrami naprezanja asfaltnih slojeva svih pet modeliranih konstrukcija, za svako godišnja doba.



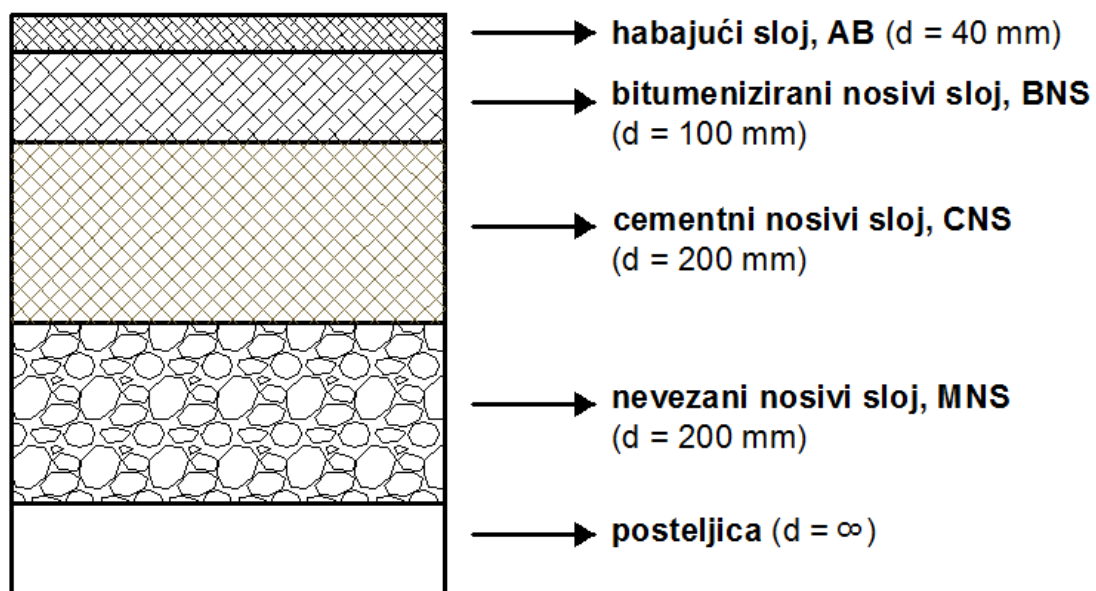
Slika 26. Modeliranje ekvivalentnog osovinskog opterećenja [16]



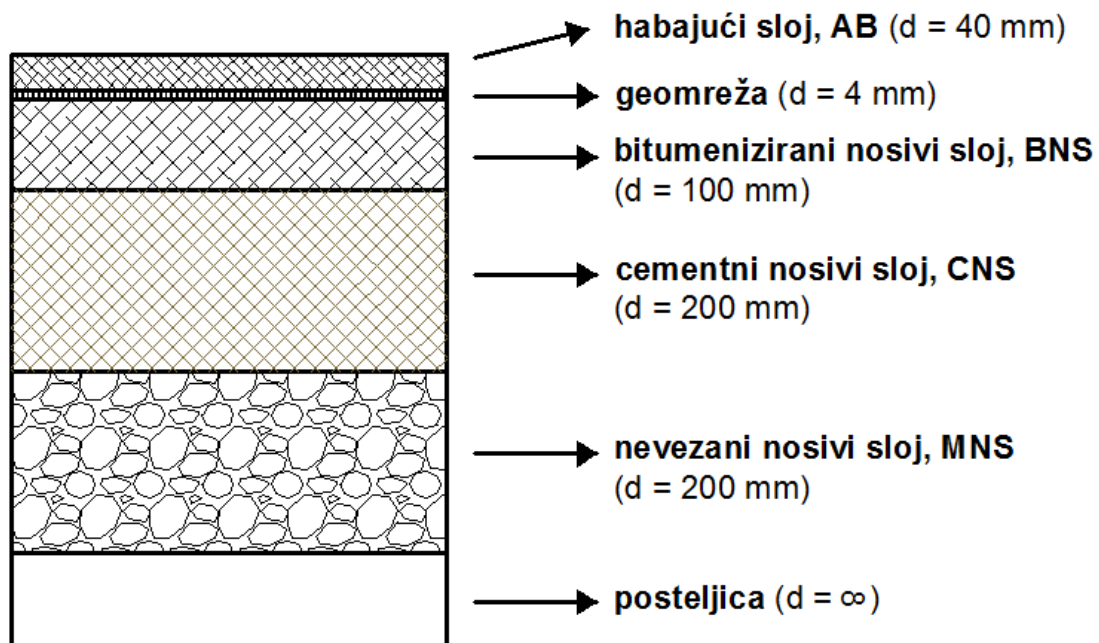
Slika 27. Kolnička konstrukcija 1 (bez CNS-a i bez geomreže)



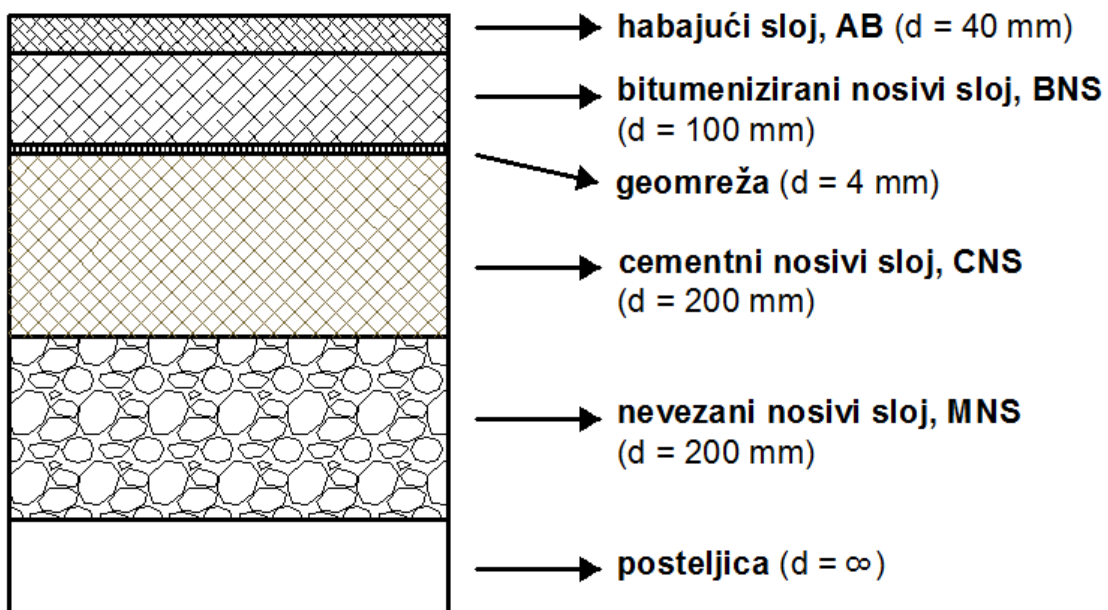
Slika 28. Kolnička konstrukcija 2 (bez CNS-a, geomreža)



Slika 29. Kolnička konstrukcija 3 (CNS, bez geomreže)



Slika 30. Kolnička konstrukcija 4 (CNS, geomreža ispod AB sloja)



Slika 31. Kolnička konstrukcija 5 (CNS, geomreža ispod BNS-a)

Tablica 5. Debljine slojeva kolničkih konstrukcija bez CNS-a

sloj	debljina sloja d [mm]	E [MPa] v (Poisson)		
		zima	proljeće/jesen	ljetno
AB	40	10000 0,35	4000 0,42	2000 0,47
geomreža	4	608 0,30	608 0,30	608 0,30
BNS	100	8000 0,37	7500 0,39	5000 0,43
MNS	400	600 0,35	300 0,35	450 0,35
posteljica	∞	100 0,35	100 0,35	100 0,35

Tablica 6. Debljine slojeva kolničkih konstrukcija s CNS-om

sloj	debljina sloja d [mm]	E [MPa] v (Poisson)		
		zima	proljeće/jesen	ljetno
AB	40	10000 0,35	4000 0,42	2000 0,47
geomreža	4	608 0,30	608 0,30	608 0,30
BNS	100	8000 0,37	7500 0,39	5000 0,43
CNS	200	7500 0,25	7500 0,25	7500 0,25
MNS	200	600 0,35	300 0,35	450 0,35
posteljica	∞	100 0,35	100 0,35	100 0,35

6.1 Analiza rezultata

Analizom rezultata proračuna naprezanja i deformacija u kritičnim presjecima kolničke konstrukcije (s donje strane asfaltnih slojeva, habajućeg AC_{surf} i bitumeniziranog nosivog sloja AC_{base}) bez cementom stabiliziranog nosivog sloja (tablica 7), primjetno je njihovo smanjenje u kolničkoj konstrukciji s geomrežom u odnosu na konstrukciju bez geomreže za sve razmatrane tipove kolničkih konstrukcija. U proljetnom i jesenskom periodu smanjenje naprezanja i deformacija iznosi 15 %, dok u ljetnom periodu smanjenje iznosi 7 %. Smanjenje naprezanja, odnosno deformacija najveće je u zimskom razdoblju i iznosi 39 %.

Asfaltni slojevi kolničke konstrukcije skloni su pojavi pukotina pri niskim temperaturama. Naime, asfaltna mješavina je temperaturno osjetljiv materijal tako da pri niskim temperaturama postaje kruća te na taj način i podložnija pojavi pukotina i pri manjim vrijednostima naprezanja. Ugradnjom geosintetske armaturne mreže, kako je vidljivo iz tablice 7, te prethodno provedene analize upravo u zimskom periodu dolazi do smanjenja razine naprezanja čime se smanjuje mogućnost pojave pukotina u asfaltnim slojevima.

Tablica 7. Rezultati naprezanja i deformacija asfaltnih slojeva kolničke konstrukcije bez CNS-a

		sloj	KOLNIČKA KONSTRUKCIJA BEZ CNS-a			
			BEZ MREŽE		S MREŽOM (ispod AB sloja)	
			XX	YY	XX	YY
ZIMA	σ [MPa]	AB	0,539	0,6099	0,2437	0,2867
		BNS	-1,039	-1,225	-0,8068	-0,9491
	ϵ [$\mu\text{m/m}$]	AB	12,16	21,74	-7,74	-1,94
		BNS	-76,09	-108,0	-61,50	-85,86
PROLJEĆE / JESEN	σ [MPa]	AB	0,654	0,7039	0,5578	0,6016
		BNS	-1,012	-1,198	-1,029	-1,212
	ϵ [$\mu\text{m/m}$]	AB	26,38	44,09	8,98	24,55
		BNS	-76,99	-111,3	-78,54	-112,5
LJETO	σ [MPa]	AB	0,6544	0,684	0,6106	0,6381
		BNS	-0,7503	-0,8805	-0,7516	-0,8796
	ϵ [$\mu\text{m/m}$]	AB	24,08	45,08	-6,0860	14,08
		BNS	-84,63	-121,9	-84,94	-121,6

Analizom rezultata proračuna naprezanja i deformacija u kritičnim presjecima kolničke konstrukcije s cementom stabiliziranim nosivim slojem (tablica 8), primjetno je njihovo smanjenje u kolničkoj konstrukciji s geomrežom u odnosu na konstrukciju bez geomreže. U proljetnom i jesenskom periodu smanjenje naprezanja i deformacija iznosi 14 %, dok u ljetnom periodu smanjenje iznosi 6 %. Smanjenje naprezanja, odnosno deformacija, kao i u prethodnom slučaju, najveće je u zimskom periodu i iznosi 56 %. Naprezanja, odnosno deformacije u kolničkoj konstrukciji s geomrežom postavljenom ispod habajućeg sloja su manja nego u konstrukciji s geomrežom postavljenom ispod BNS-a.

Uspoređujući smanjenja naprezanja i deformacija u kolničkoj konstrukciji s CNS-om i u konstrukciji bez CNS-a, vidljivo je da geomreža veći utjecaj ima u kolničkoj konstrukciji s cementom stabiliziranim nosivim slojem, i to za oko 17 % u zimskom periodu, dok su smanjenja u proljetnom, ljetnom i jesenskom periodu gotovo podjednaka.

Tablica 8. Rezultati naprežanja i deformacija asfaltnih slojeva kolničke konstrukcije s CNS-om

		sloj	KOLNIČKA KONSTRUKCIJA S CNS-om					
			BEZ MREŽE		S MREŽOM			
					ispod AB sloja		ispod BNS-a	
			XX	YY	XX	YY	XX	YY
ZIMA	σ [MPa]	AB	0.4879	0.5456	0.2130	0.2271	0.4052	0.4255
		BNS	-0.7778	-0.9204	0.0600	0.0518	-0.0675	-0.087
	ϵ [$\mu\text{m}/\text{m}$]	AB	9.0020	16.79	-10.21	-8.3020	3.559	6.294
		BNS	-58.99	-83.41	-7.8750	-9.2820	-15.86	-19.19
PROLJEĆE / JESEN	σ [MPa]	AB	0.5082	0.5180	0.4369	0.4438	0.5146	0.5247
		BNS	0.0998	0.0934	0.1022	0.0961	-0.0295	-0.0455
	ϵ [$\mu\text{m}/\text{m}$]	AB	5.2720	8.7590	-8.3390	-5.8940	6.861	10.42
		BNS	-6.2740	-7.4560	-6.5010	-7.6250	-15.33	-18.29
LJETO	σ [MPa]	AB	0.5497	0.5529	0.5142	0.5167	0.5548	0.5579
		BNS	0.1924	0.1911	0.2928	0.2939	0.0726	0.0646
	ϵ [$\mu\text{m}/\text{m}$]	AB	-5.1500	-2.7840	-32.35	-30.47	-2.681	-0.3835
		BNS	-4.1520	-4.5290	-4.2630	-4.6420	-16.02	-18.32

7. ZAKLJUČAK

Geosintetici se koriste u svim područjima graditeljstva, pa tako i u građenju cesta. Geosintetici zamjenjuju prirodne materijale i prednosti su im što se brzo postavljaju te pružaju bolja i sigurnija projektna rješenja. Geosintetici se, prema građi i svrhama za koje se upotrebljavaju, dijele na geotekstile, geomembrane, geokompozite i geomreže koje smo detaljno obradili.

Geosintetske armaturna mreža, postavljena u asfaltne slojeve kolničke konstrukcije, imaju funkciju preuzimanja vlačnih i posmičnih naprezanja, tj. služi kao armatura asfaltnih slojeva. Time se povećava stabilnost i nosivost kolnika, smanjuje nastanak pukotinskih oštećenja i produljuje životni vijek konstrukcije.

Provedenim ispitivanjem vlačnih karakteristika geosintetske armaturne mreže HaTelit XP50, dobiveni su moduli elastičnosti u smjeru izrade i okomito na smjer izrade mreže. U računalnom programu Circlly modelirani su različiti tipovi kolničkih konstrukcija, sa i bez geomreže. Analizom rezultata proračuna naprezanja i deformacija vidljivo je njihovo smanjenje u kolničkim konstrukcijama s geomrežom u odnosu na konstrukcije bez geomreže, posebice u zimskom periodu u kojem smanjenje iznosi 39 - 56 %, ovisno o tome radi li se o kolničkoj konstrukciji s cementom stabiliziranim nosivim slojem ili bez njega.

Asfaltni slojevi kolničke konstrukcije sklone su pojavi pukotina pri niskim temperaturama zbog smanjene krutosti. Kako je vidljivo iz rezultata proračuna naprezanja i deformacija, ugradnjom geosintetske armaturne mreže njihovo smanjenje je najveće upravo zimi, čime se smanjuje mogućnost pojave pukotina u asfaltnim slojevima.

8. ZAHVALE

Zahvaljujem se prof.dr.sc. Tatjani Rukavini i asistentici Josipi Domitrović na pomoći i stručnim savjetima koji su mi uvelike olakšali izradu ovog rada.

9. LITERATURA

- [1] Babić, B.: *Geosintetici u građevinarstvu*, HDGI, Zagreb, 1995.
- [2] G.M.A.: *Handbook of geosynthetics*, 2. izdanje, 2012.
- [3] www.thecatalyst.org, (posjećeno: 22.11.2012.)
- [4] Industrija poliestera Varaždin: *Primjena poliestera u graditeljstvu*, Zagreb, 1994.
- [5] www.gmanow.com, (posjećeno: 22.11.2012.)
- [6]. Koerner, R.: *Designing with Geosynthetics*, 2005.
- [7] Nazzal, M.D.: *Field evaluation of in-situ test technology for Q(C)/Q(A) during construction of pavement layers and embankments*, Doktorska radnja, Louisiana, 2007.
- [8] Wu, H., Huang, B., Zhang, Z.: *Evaluation of the Reinforcement Effect of Geogrids in Pavement Base Using Loaded Wheel Tester (LWT)*, Shanghai, 2009.
- [9]. Mitrović, P.: *Primena plastičnih materijala pri građenju puteva*, Beograd, 2007
- [10] Al-Qadi, I., Dessouky, S.: *Geogrid-Reinforced Low-Volume Flexible Pavements: Pavement Response and Geogrid Optimal Location*, San Antonio, 2012.
- [11] *Zbornik radova, Šesto Hrvatsko savjetovanje o održavanju cesta*, Šibenik, 2012.
- [12] www.tensarcorp.com, (posjećeno: 25.11.2012.)
- [13] CEN: *European standard - EN ISO 10319*, 1995.
- [14] www.esi.info, (posjećeno: 14.4.2013.)
- [15] Tomašković, T.: *Diplomski rad*, Građevinski fakultet , Zagreb, 2012.
- [16] Babić, B.: *Projektiranje kolničkih konstrukcija*, Zagreb, 1997.

10. SAŽETAK

Hrvoje Rak

Armiranje asfaltnih slojeva kolnika geomrežom

U radu su prikazani razni geosintetski materijali koji se koriste u cestogradnji. Opisani su postupci njihove proizvodnje i ugradnje, a posebna pozornost posvećena je geosintetskim armaturnim mrežama. Pojava pukotina u kolniku, uslijed djelovanja prometnog opterećenja i klimatskih okolnosti najčešći je oblik oštećenja kolničke konstrukcije. Da bi se to spriječilo, u kolničku konstrukciju ugrađuje se geosintetska armaturna mreža koja preuzima dio vlačnih naprezanja i time povećava stabilnost i nosivost same konstrukcije. Suvremena rješenja, koja uključuju geosintetske armaturne mreže ugrađene između nosivog i veznog, odnosno habajućeg sloja kod novoizgrađenih kolnika odnosno starog kolnika i asfaltnih slojeva pojačanja, u praksi su se pokazala kao odlično rješenje .

U radu je provedeno ispitivanje vlačnih karakteristika geosintetske armaturne mreže te su prikazani rezultati naprezanja i deformacija kolničkih konstrukcija bez i sa geomrežom. Zaključeno je da su deformacije i naprezanja u asfaltnim slojevima kolničke konstrukcije s geomrežom manja nego u konstrukciji bez mreže, naročito u zimskom periodu kada je vjerojatnost nastanka pukotinskih oštećenja najveća.

Ključne riječi: geosintetici, kolnička konstrukcija, armiranje, geomreže.

11. SUMMARY

Hrvoje Rak

Geogrid reinforcement of asphalt pavements

The paper presents various geosynthetic materials used in road construction. The procedures of their production and installation are described. Special attention is given to the reinforcement geogrids and their use. Cracks in pavement structure which occur due to traffic loads and climate effects, are the most common type of pavement damage. To prevent that, geogrid in pavement structure takes the tensile strain and thereby increases stability and load capacity of pavement structure. Innovative solutions, which include geogrid between the base and binder or surface asphalt layer in a new constructed pavement, as well as between old, cracked pavement and the new asphalt overlay, proved to be an effective solution.

Within the research the tensile strength of the geogrid were tested, and the results of strains and deformations in pavement structures with and without geogrid. It was concluded that the occurrence of strains and deformations in the asphalt layers of the pavement structure with geogrid is lower than in the structure without geogrid, especially during the winter period when the possibility of fracture damage is greatest.

Key words: geosynthetics, pavement structure, reinforcement, geogrid.





12. PRILOZI

12.1 PRILOG 1 - Rezultati ispitivanja vlačnih karakteristika geomreže prema HRN EN ISO 10319

Parameter table:

Customer	: Hrvoje Rak	Specimen number	: 001
Tester	: Josipa Domitrović, dipl. inž. građ	Test type	: Tensile Strength
Test standard	: HR EN ISO 10319	Test direction	: CMD
Material	: HaTelit	Bundles/Specimen	: 5
Load cell	: 100 kN	Date	: 24.04.2013.
Extensometer (path)	: Multisens		
Specimen grips	: DEMGEN M 100 HY-ME-2XL		
Machine data	: 100N5A WN:155595		
	Crosshead travel monitor WN:155595		
	Force sensor ID:0 WN:155199 100 kN		
	Multisens WN:155201		

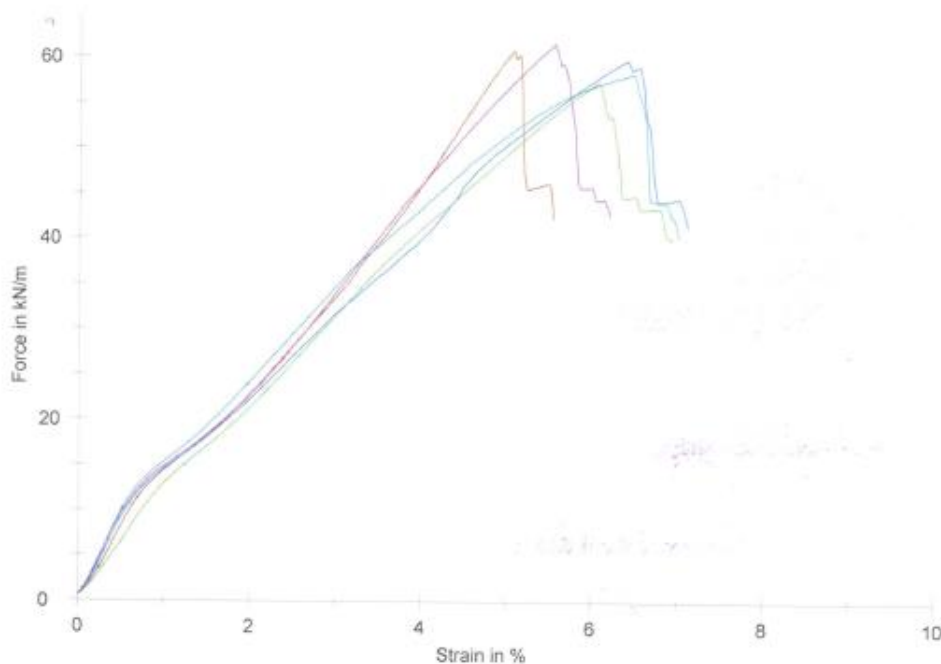
Results:

Legends	Nr	Fmax. kN/m	ε Fmax. %	E-Modulus MPa
	1	60,74	5,07	672,61
	2	57,26	6,07	653,46
	3	59,73	6,41	606,12
	4	58,20	6,48	683,49
	5	61,51	5,56	644,94

Statistics:

Series	Fmax. kN/m	ε Fmax. %	E-Modulus MPa
n = 5			
x	59,49	5,92	652,12
s	1,75	0,00	29,89
v	2,95	10,05	4,58

Series graphics:

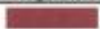





Slika 1.1 Rezultati ispitivanja vlačnih karakteristika geosintetske armaturne mreže okomito na smjer izrade

Parameter table:

Customer	: Hrvoje Rak	Specimen number	: 001
Tester	: Josipa Domitrović, dipl. inž. građ	Test type	: Tensile Strength
Test standard	: HR EN ISO 10319	Test direction	: MD
Material	: HaTelit	Bundles/Specimen	: 5
Load cell	: 100 kN	Date	: 24.04.2013.
Extensometer (path)	: Multisens		
Specimen grips	: DEMGEN M 100 HY-ME-2XL		
Machine data	: 100N5A WN:155595		
	: Crosshead travel monitor WN:155595		
	: Force sensor ID:0 WN:155199 100 kN		
	: Multisens WN:155201		

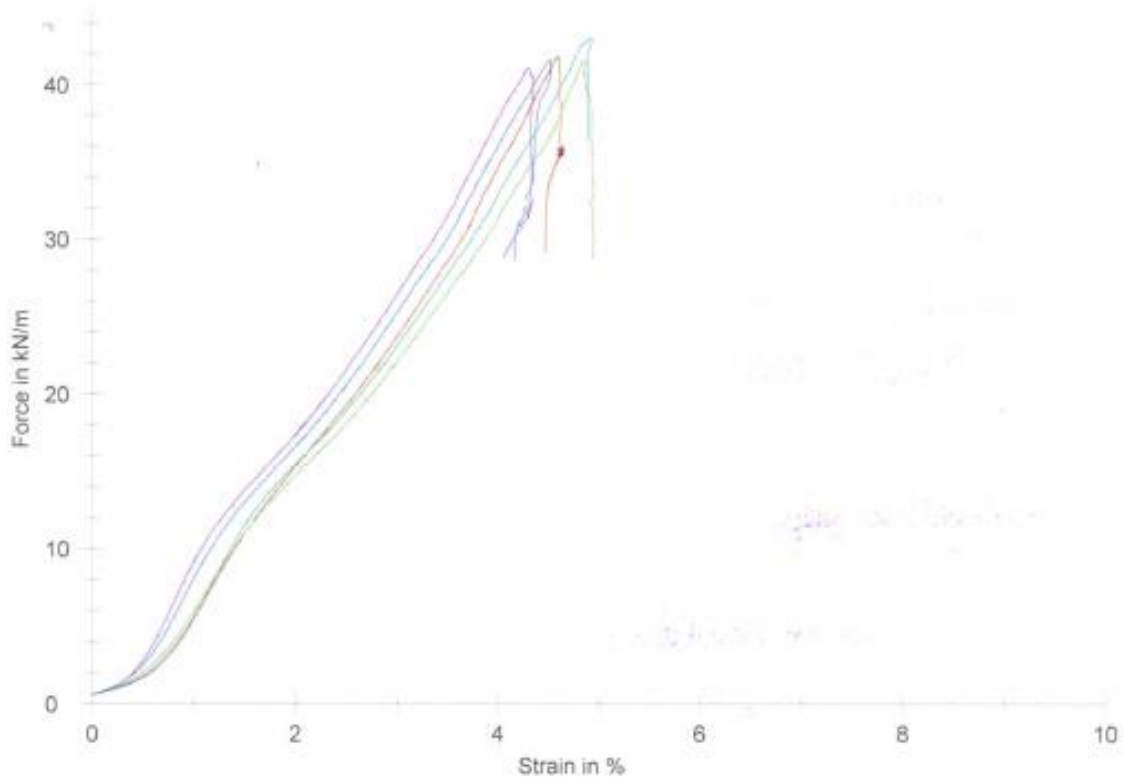
Results:

Legends	Nr	Fmax. kN/m	ε Fmax. %	E-Modulus MPa
	1	41,72	4,61	627,95
	2	41,52	4,87	578,86
	3	41,57	4,53	615,89
	4	42,96	4,93	593,83
	5	41,03	4,31	623,15

Statistics:

Series n = 5	Fmax. kN/m	ε Fmax. %	E-Modulus MPa
x	41,76	4,65	607,94
s	0,72	0,25	20,85
y	1,72	6,46	3,43

Series graphics:



Slika 1.2 Rezultati ispitivanja vlačnih karakteristika geosintetske armaturne mreže u smjeru izrade

12.2 PRILOG 2 - Rezultati deformacija i naprezanja slojeva kolničke konstrukcije

Tablica 2.1 Deformacije i naprezanja kolničke konstrukcije 1 (zima)

Godišnje doba: ZIMA			
Kolnička konstrukcija 1 (bez CNS-a, bez geomreže)			
DEFORMACIJE [$\mu\text{m}/\text{m}$]			
	XX	YY	ZZ
AB	$0.1216 \times 10^{+2}$	$0.2174 \times 10^{+2}$	$0.1803 \times 10^{+2}$
BNS	$-0.7609 \times 10^{+2}$	$-0.1080 \times 10^{+3}$	$0.1125 \times 10^{+3}$
MNS	$-0.5816 \times 10^{+2}$	$-0.7085 \times 10^{+2}$	$0.1857 \times 10^{+3}$
NAPREZANJA [MPa]			
	XX	YY	ZZ
AB	0.5390	0.6099	0.5824
BNS	-1.0390	-1.2250	0.6225×10^{-1}
MNS	0.5946×10^{-3}	-0.3454×10^{-3}	0.1866×10^{-1}

Tablica 2.2 Deformacije i naprezanja kolničke konstrukcije 2 (zima)

Godišnje doba: ZIMA			
Kolnička konstrukcija 2 (bez CNS-a, geomreža)			
DEFORMACIJE [$\mu\text{m/m}$]			
	XX	Y	ZZ
AB	-7.7400	-1.9400	$0.4451 \times 10^{+2}$
mreža	$0.1791 \times 10^{+2}$	$0.2721 \times 10^{+2}$	$0.7310 \times 10^{+3}$
BNS	$-0.6150 \times 10^{+2}$	$-0.8586 \times 10^{+2}$	$0.9350 \times 10^{+2}$
MNS	$-0.5966 \times 10^{+2}$	$-0.7382 \times 10^{+2}$	$0.1752 \times 10^{+3}$
NAPREZANJA [MPa]			
	XX	YY	ZZ
AB	0.2437	0.2867	0.6307
mreža	0.2806	0.2850	0.6141
BNS	-0.8068	-0.9491	0.9830×10^{-1}
MNS	-0.8106×10^{-3}	-0.1860×10^{-2}	0.1659×10^{-1}

Tablica 2.3 Deformacije i naprezanja kolničke konstrukcije 3 (zima)

Godišnje doba: ZIMA			
Kolnička konstrukcija 3 (CNS, bez geomreže)			
DEFORMACIJE [$\mu\text{m/m}$]			
	XX	YY	ZZ
AB	9.0020	$0.1679 \times 10^{+2}$	$0.2294 \times 10^{+2}$
BNS	$-0.5899 \times 10^{+2}$	$-0.8341 \times 10^{+2}$	$0.9024 \times 10^{+2}$
CNS	$-0.5883 \times 10^{+2}$	$-0.7967 \times 10^{+2}$	$0.1369 \times 10^{+3}$
MNS	$-0.5995 \times 10^{+2}$	$-0.7390 \times 10^{+2}$	$0.1759 \times 10^{+3}$
NAPREZANJA [MPa]			
	XX	YY	ZZ
AB	0.4879	0.5456	0.5912
BNS	-0.7778	-0.9204	0.9358×10^{-1}
CNS	-0.1318×10^{-1}	-0.1770×10^{-1}	0.2931×10^{-1}
MNS	-0.8088×10^{-3}	-0.1842×10^{-2}	0.1666×10^{-1}

Tablica 2.4 Deformacije i naprezanja kolničke konstrukcije 4 (zima)

Godišnje doba: ZIMA			
Kolnička konstrukcija 4 (CNS, geomreža ispod AB sloja)			
DEFORMACIJE [$\mu\text{m/m}$]			
	XX	YY	ZZ
AB	$-0.1021 \times 10^{+2}$	-8.3020	$0.5191 \times 10^{+2}$
mreža	7.0350	$0.1013 \times 10^{+2}$	$0.8023 \times 10^{+3}$
BNS	-7.8750	-9.2820	$0.2991 \times 10^{+2}$
CNS	$-0.2431 \times 10^{+2}$	$-0.3277 \times 10^{+2}$	$0.2057 \times 10^{+2}$
MNS	$-0.2591 \times 10^{+2}$	$-0.3105 \times 10^{+2}$	$0.8358 \times 10^{+2}$
NAPREZANJA [MPa]			
	XX	YY	ZZ
AB	0.2130	0.2271	0.6732
mreža	0.2907	0.2922	0.6627
BNS	0.6003×10^{-1}	0.5181×10^{-1}	0.2807
CNS	-0.2554	-0.3061	0.1391×10^{-1}
MNS	0.3810×10^{-3}	-0.1136×10^{-6}	0.8491×10^{-2}

Tablica 2.5 Deformacije i naprezanja kolničke konstrukcije 5 (zima)

Godišnje doba: ZIMA			
Kolnička konstrukcija 5 (CNS, geomreža ispod BNS-a)			
DEFORMACIJE [$\mu\text{m/m}$]			
	XX	YY	ZZ
AB	3.559	6.294	33.99
BNS	-15.86	-19.19	38.08
mreža	-2.020	-2.337	$0.2942 \times 10^{+3}$
CNS	-24.43	-33.12	20.76
MNS	-26.29	-31.70	84.94
NAPREZANJA [MPa]			
	XX	YY	ZZ
AB	0.4052	0.4255	0.6306
BNS	-0.0675	-0.087	0.2475
mreža	0.1007	0.1006	0.2392
CNS	-0.2570	-0.3091	0.0142
MNS	0.3826×10^{-3}	-0.1829×10^{-4}	0.8622×10^{-2}

Tablica 2.6 Deformacije i naprezanja kolničke konstrukcije 1 (proljeće / jesen)

Godišnje doba: PROLJEĆE / JESEN			
Kolnička konstrukcija 1 (bez CNS-a, bez geomreže)			
DEFORMACIJE [$\mu\text{m/m}$]			
	XX	YY	ZZ
AB	$0.2638 \times 10^{+2}$	$0.4409 \times 10^{+2}$	7.9310
BNS	$-0.7699 \times 10^{+2}$	$-0.1113 \times 10^{+3}$	$0.1259 \times 10^{+3}$
MNS	$-0.6835 \times 10^{+2}$	$-0.8567 \times 10^{+2}$	$0.2114 \times 10^{+3}$
NAPREZANJA [MPa]			
	XX	YY	ZZ
AB	0.6540	0.7039	0.6020
BNS	-1.0120	-1.1980	0.8246×10^{-1}
MNS	-0.1059×10^{-3}	-0.1388×10^{-2}	0.2062×10^{-1}

Tablica 2.7 Deformacije i naprezanja kolničke konstrukcije 2 (proljeće / jesen)

Godišnje doba: PROLJEĆE / JESEN			
Kolnička konstrukcija 2 (bez CNS-a, geomreža)			
DEFORMACIJE [$\mu\text{m/m}$]			
	XX	YY	ZZ
AB	8.98	$0.2455 \times 10^{+2}$	$0.3847 \times 10^{+2}$
mreža	$0.3029 \times 10^{+2}$	$0.4826 \times 10^{+2}$	$0.7311 \times 10^{+3}$
BNS	$-0.7854 \times 10^{+2}$	$-0.1125 \times 10^{+3}$	$0.1277 \times 10^{+3}$
MNS	$-0.6766 \times 10^{+2}$	$-0.8482 \times 10^{+2}$	$0.2093 \times 10^{+3}$
NAPREZANJA [MPa]			
	XX	YY	ZZ
AB	0.5578	0.6016	0.6408
mreža	0.2982	0.3066	0.6260
BNS	-1.0290	-1.2120	0.8337×10^{-1}
MNS	-0.1002×10^{-3}	-0.1371×10^{-2}	0.2042×10^{-1}

Tablica 2.8 Deformacije i naprezanja kolničke konstrukcije 3 (proljeće / jesen)

Godišnje doba: PROLJEĆE / JESEN			
Kolnička konstrukcija 3 (CNS, bez geomreže)			
DEFORMACIJE [$\mu\text{m}/\text{m}$]			
	XX	YY	ZZ
AB	5.2720	8.7590	$0.5269 \times 10^{+2}$
BNS	-6.2740	-7.4560	$0.2770 \times 10^{+2}$
CNS	$-0.2549 \times 10^{+2}$	$-0.3434 \times 10^{+2}$	$0.2162 \times 10^{+2}$
MNS	$-0.2810 \times 10^{+2}$	$-0.3363 \times 10^{+2}$	$0.7999 \times 10^{+2}$
NAPREZANJA [MPa]			
	XX	YY	ZZ
AB	0.5082	0.5180	0.6417
BNS	0.9977×10^{-1}	0.9340×10^{-1}	0.2831
CNS	-0.2676	-0.3207	0.1506×10^{-1}
MNS	-0.6269×10^{-3}	-0.1137×10^{-2}	0.9347×10^{-2}

Tablica 2.9 Deformacije i naprezanja kolničke konstrukcije 4 (proljeće / jesen)

Godišnje doba: PROLJEĆE / JESEN			
Kolnička konstrukcija 4 (CNS, geomreža)			
DEFORMACIJE [$\mu\text{m/m}$]			
	XX	YY	ZZ
AB	-8.3390	-5.8940	$0.7650 \times 10^{+2}$
mreža	6.5860	$0.1016 \times 10^{+2}$	$0.8077 \times 10^{+3}$
BNS	-6.5010	-7.6250	$0.2847 \times 10^{+2}$
CNS	$-0.2550 \times 10^{+2}$	$-0.3434 \times 10^{+2}$	$0.2162 \times 10^{+2}$
MNS	$-0.2797 \times 10^{+2}$	$-0.3349 \times 10^{+2}$	$0.9107 \times 10^{+2}$
NAPREZANJA [MPa]			
	XX	YY	ZZ
AB	0.4369	0.4438	0.6759
mreža	0.2923	0.2939	0.6669
BNS	0.1022	0.9608×10^{-1}	0.2909
CNS	-0.2677	-0.3207	0.1504×10^{-1}
MNS	0.4865×10^{-3}	0.7769×10^{-4}	0.9305×10^{-2}

Tablica 2.10 Deformacije i naprezanja kolničke konstrukcije 5 (proljeće / jesen)

Godišnje doba: PROLJEĆE / JESEN			
Kolnička konstrukcija 5 (CNS, geomreža ispod BNS-a)			
DEFORMACIJE [$\mu\text{m/m}$]			
	XX	YY	ZZ
AB	6.861	10.42	49.70
BNS	-15.33	-18.29	39.19
mreža	-0.4584	-0.3848	$0.3129 \times 10^{+3}$
CNS	-25.84	-35.09	22.03
MNS	-28.40	-34.28	92.60
NAPREZANJA [MPa]			
	XX	YY	ZZ
AB	0.5146	0.5247	0.6353
BNS	-0.0295	-0.0455	0.2646
mreža	0.1093	0.1093	0.2558
CNS	-0.2717	-0.3272	0.0155
MNS	0.4813×10^{-3}	0.4622×10^{-4}	0.0094

Tablica 2.11 Deformacije i naprezanja kolničke konstrukcije 1 (ljetno)

Godišnje doba: LJETO			
Kolnička konstrukcija 1 (bez CNS-a, bez geomreže)			
DEFORMACIJE [$\mu\text{m/m}$]			
	XX	YY	ZZ
AB	$0.2408 \times 10^{+2}$	$0.4508 \times 10^{+2}$	$-0.1073 \times 10^{+2}$
BNS	$-0.8463 \times 10^{+2}$	$-0.1219 \times 10^{+3}$	$0.1642 \times 10^{+3}$
MNS	$-0.7401 \times 10^{+2}$	$-0.9484 \times 10^{+2}$	$0.2241 \times 10^{+3}$
NAPREZANJA [MPa]			
	XX	YY	ZZ
AB	0.6554	0.6840	0.6080
BNS	-0.7503	-0.8805	0.1197
MNS	-0.7035×10^{-3}	-0.2247×10^{-2}	0.2138×10^{-1}

Tablica 2.12 Deformacije i naprezanja kolničke konstrukcije 2 (ljetno)

Godišnje doba: LJETO			
Kolnička konstrukcija 2 (bez CNS-a, geomreža)			
DEFORMACIJE [$\mu\text{m/m}$]			
	XX	YY	ZZ
AB	-6.0860	$0.1408 \times 10^{+2}$	$0.5008 \times 10^{+2}$
mreža	$0.2083 \times 10^{+2}$	$0.4149 \times 10^{+2}$	$0.7896 \times 10^{+3}$
BNS	$-0.8494 \times 10^{+2}$	$-0.1216 \times 10^{+3}$	$0.1642 \times 10^{+3}$
MNS	$-0.7331 \times 10^{+2}$	$-0.9383 \times 10^{+2}$	$0.2220 \times 10^{+3}$
NAPREZANJA [MPa]			
	XX	YY	ZZ
AB	0.6106	0.6381	0.6871
mreža	0.3086	0.3182	0.6682
BNS	-0.7516	-0.8796	0.1195
MNS	-0.6928×10^{-3}	-0.2213×10^{-2}	0.2118×10^{-1}

Tablica 2.13 Deformacije i naprezanja kolničke konstrukcije 3 (ljetno)

Godišnje doba: LJETO			
Kolnička konstrukcija 3 (CNS, bez geomreže)			
DEFORMACIJE [$\mu\text{m/m}$]			
	XX	YY	ZZ
AB	-5.1500	-2.7840	$0.6017 \times 10^{+2}$
BNS	-4.1520	-4.5290	$0.2795 \times 10^{+2}$
CNS	$-0.2680 \times 10^{+2}$	$-0.3629 \times 10^{+2}$	$0.2288 \times 10^{+2}$
MNS	$-0.3057 \times 10^{+2}$	$-0.3672 \times 10^{+2}$	$0.1006 \times 10^{+3}$
NAPREZANJA [MPa]			
	XX	YY	ZZ
AB	0.5497	0.5529	0.6386
BNS	0.1924	0.1911	0.3047
CNS	-0.2814	-0.3384	0.1663×10^{-1}
MNS	0.6142×10^{-3}	0.1591×10^{-3}	0.1033×10^{-1}

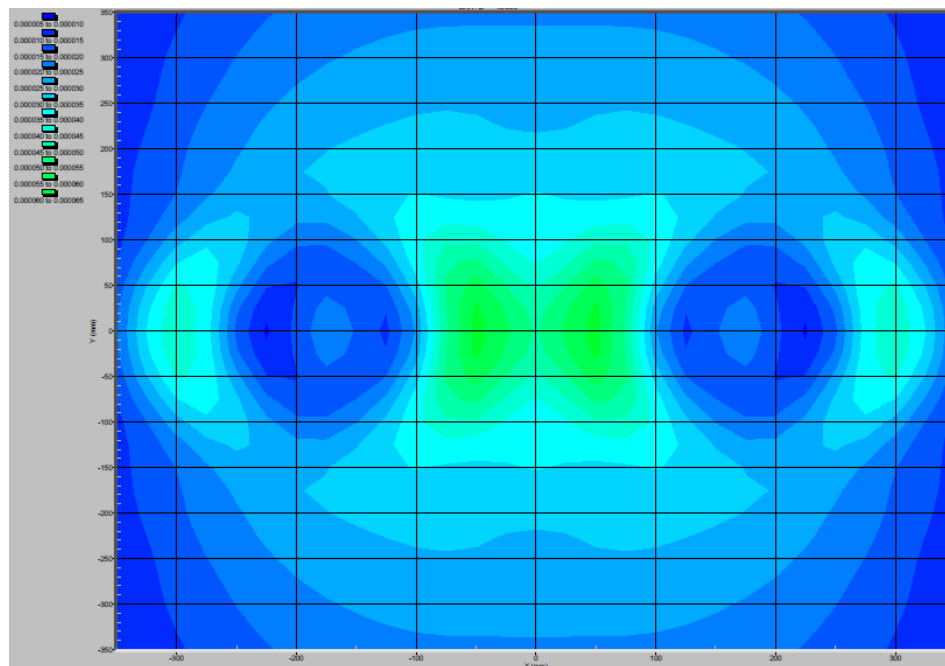
Tablica 2.14 Deformacije i naprezanja kolničke konstrukcije 4 (ljetno)

Godišnje doba: LJETO			
Kolnička konstrukcija 4 (CNS, geomreža)			
DEFORMACIJE [$\mu\text{m/m}$]			
	XX	YY	ZZ
AB	$-0.3235 \times 10^{+2}$	$-0.3047 \times 10^{+2}$	$0.1152 \times 10^{+3}$
mreža	-9.3730	-6.8250	$0.8633 \times 10^{+3}$
BNS	-4.2630	-4.6420	$0.2827 \times 10^{+2}$
CNS	$-0.2670 \times 10^{+2}$	$-0.3613 \times 10^{+2}$	$0.2278 \times 10^{+2}$
MNS	$-0.3040 \times 10^{+2}$	$-0.3650 \times 10^{+2}$	$0.1001 \times 10^{+3}$
NAPREZANJA [MPa]			
	XX	YY	ZZ
AB	0.5142	0.5167	0.7149
mreža	0.2928	0.2939	0.7009
BNS	0.1930	0.1917	0.3068
CNS	-0.2804	-0.3369	0.1655×10^{-1}
MNS	0.6124×10^{-3}	0.1605×10^{-3}	0.1028×10^{-1}

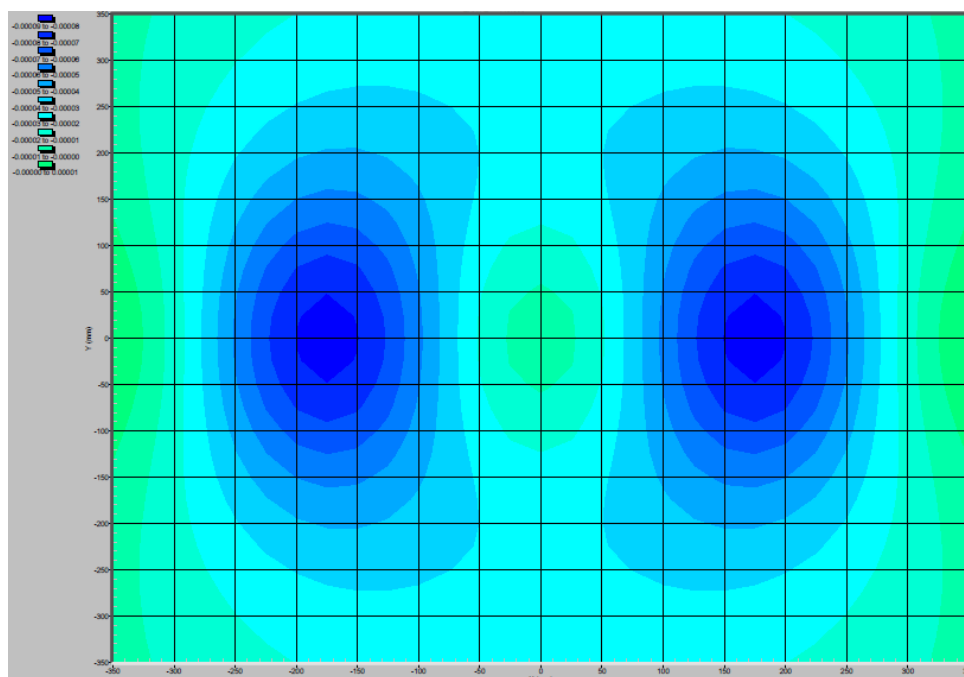
Tablica 2.15 Deformacije i naprezanja kolničke konstrukcije 5 (ljetno)

Godišnje doba: LJETO			
Kolnička konstrukcija 5 (CNS, geomreža ispod BNS-a)			
DEFORMACIJE [$\mu\text{m/m}$]			
	XX	YY	ZZ
AB	-2.681	-0.3835	55.46
BNS	-16.02	-18.32	46.32
mreža	1.192	1.845	$0.3415 \times 10^{+3}$
CNS	-27.11	-36.95	23.24
MNS	-30.75	-37.18	$0.1013 \times 10^{+3}$
NAPREZANJA [MPa]			
	XX	YY	ZZ
AB	0.5548	0.5579	0.6339
BNS	0.0726	0.0646	0.2906
mreža	0.1214	0.1217	0.2806
CNS	-0.2851	-0.3442	0.0170
MNS	0.6035×10^{-3}	0.1269×10^{-3}	0.0104

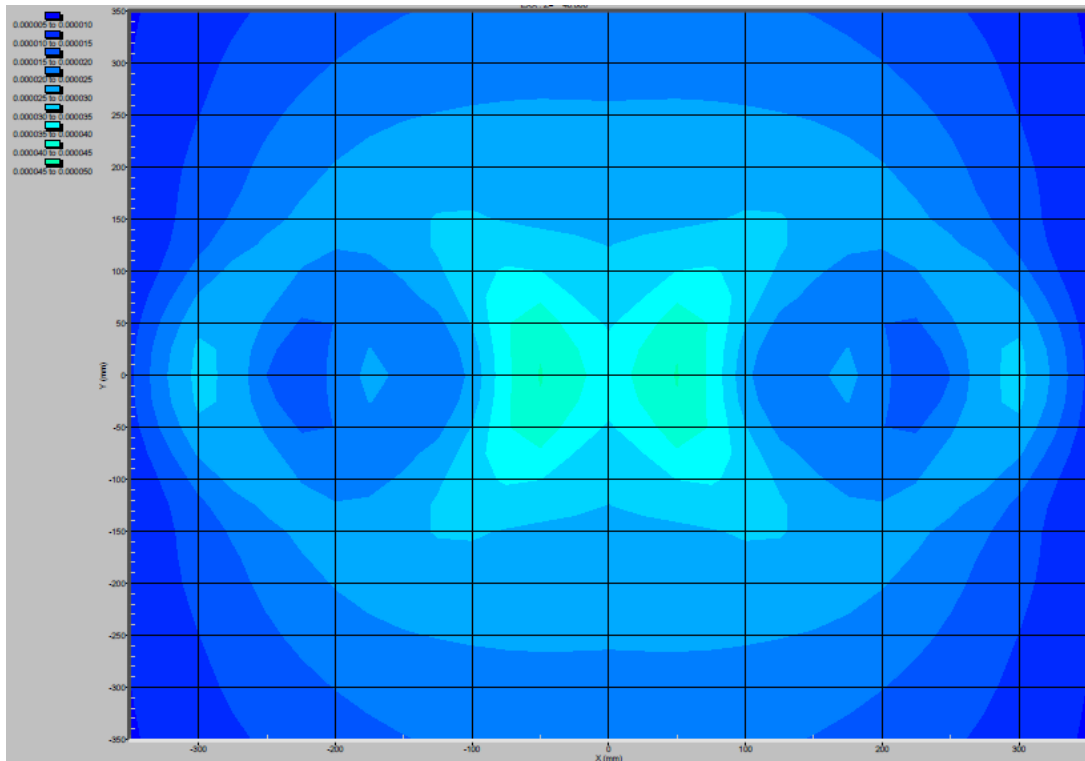
12.3 PRILOG 3 - Naprezanja u dimenzioniranim kolničkim konstrukcijama dobivena računalnim programom CYRCLY



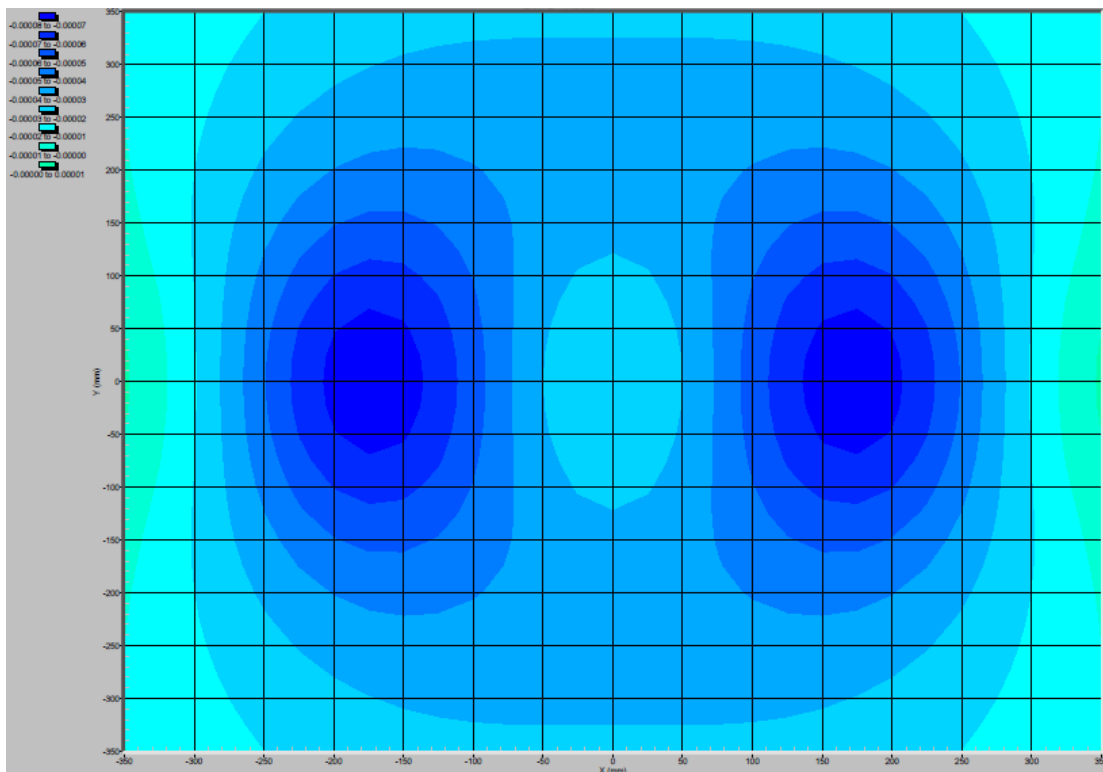
Slika 3.1 Kolnička konstrukcija 1 - naprezanja u XX smjeru AB sloja (ljetno)



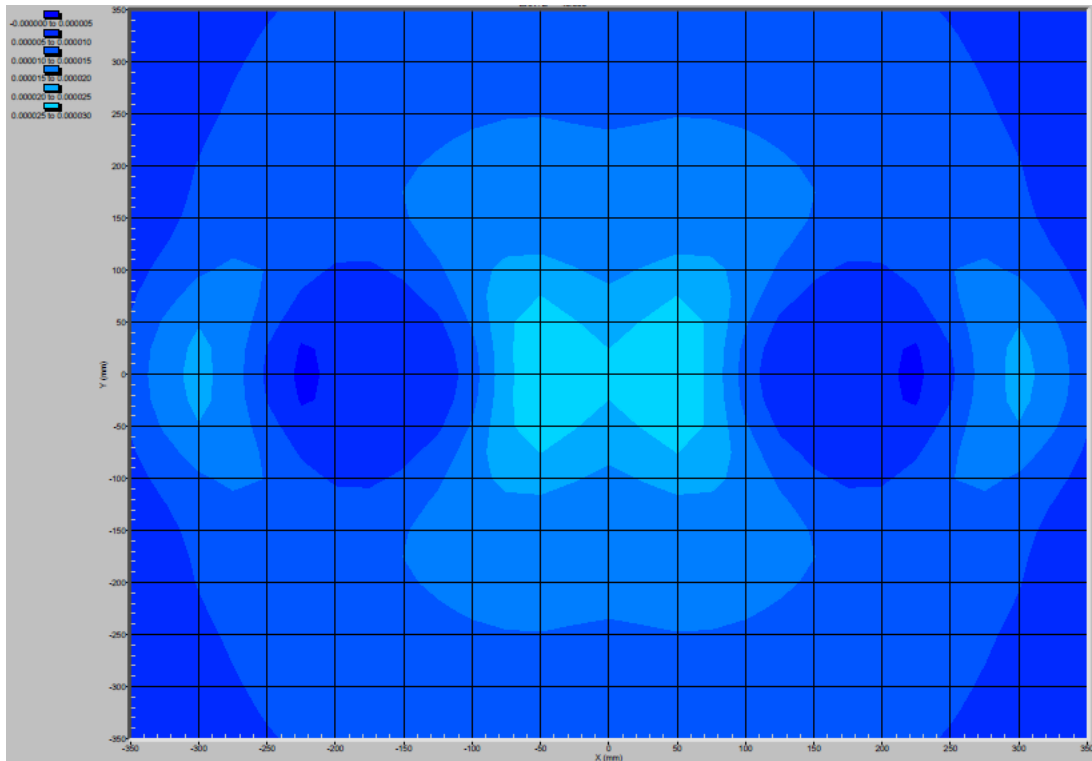
Slika 3.2 Kolnička konstrukcija 1 - naprezanja u XX smjeru BNS sloja (ljetno)



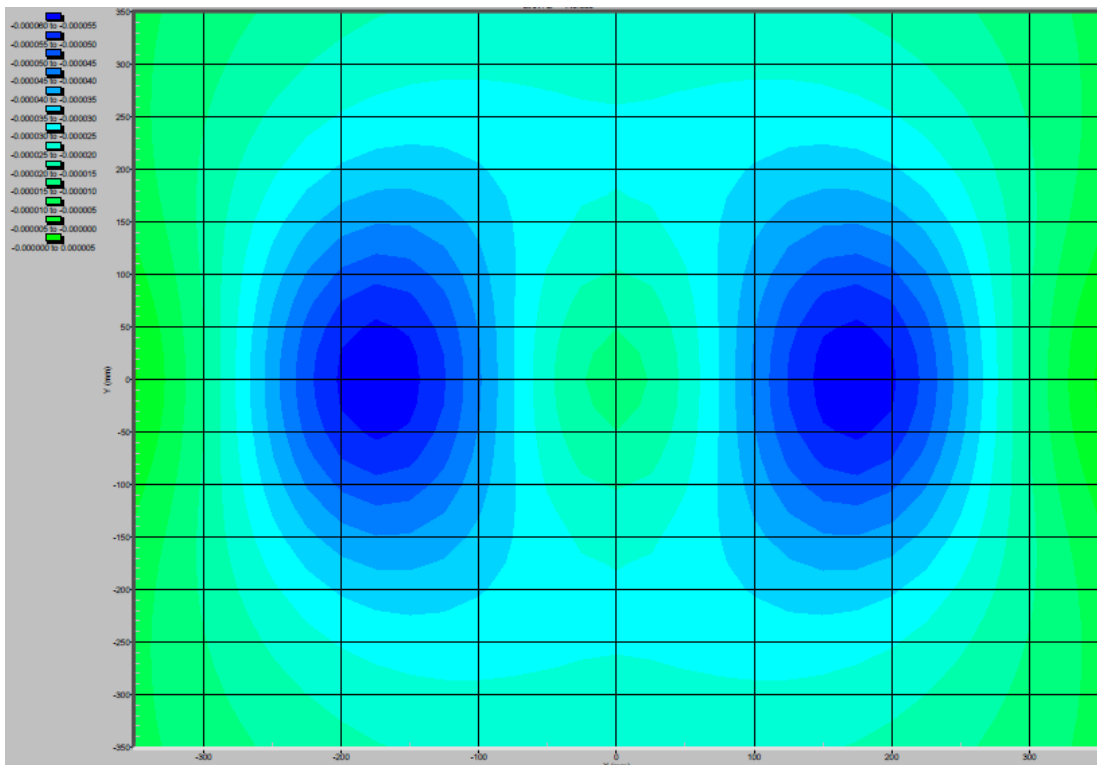
Slika 3.3 Kolnička konstrukcija 1 - naprezanja u XX smjeru AB sloja (proljeće/jesen)



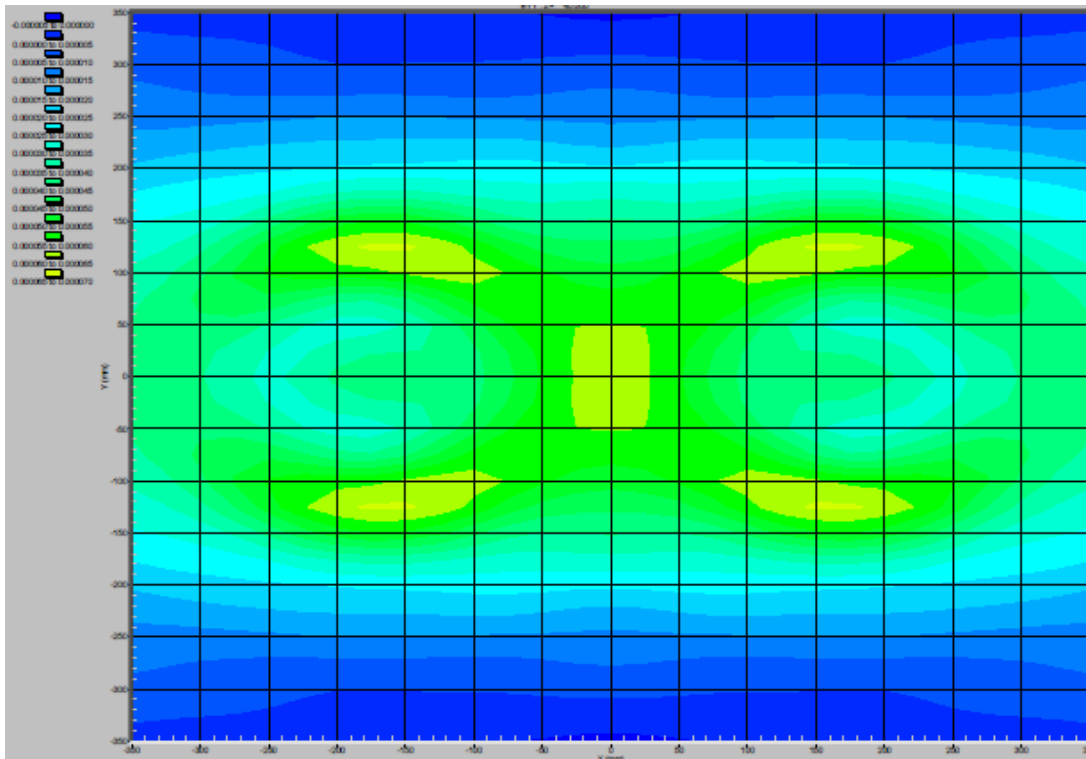
Slika 3.4 Kolnička konstrukcija 1 - naprezanja u XX smjeru BNS sloja (proljeće/jesen)



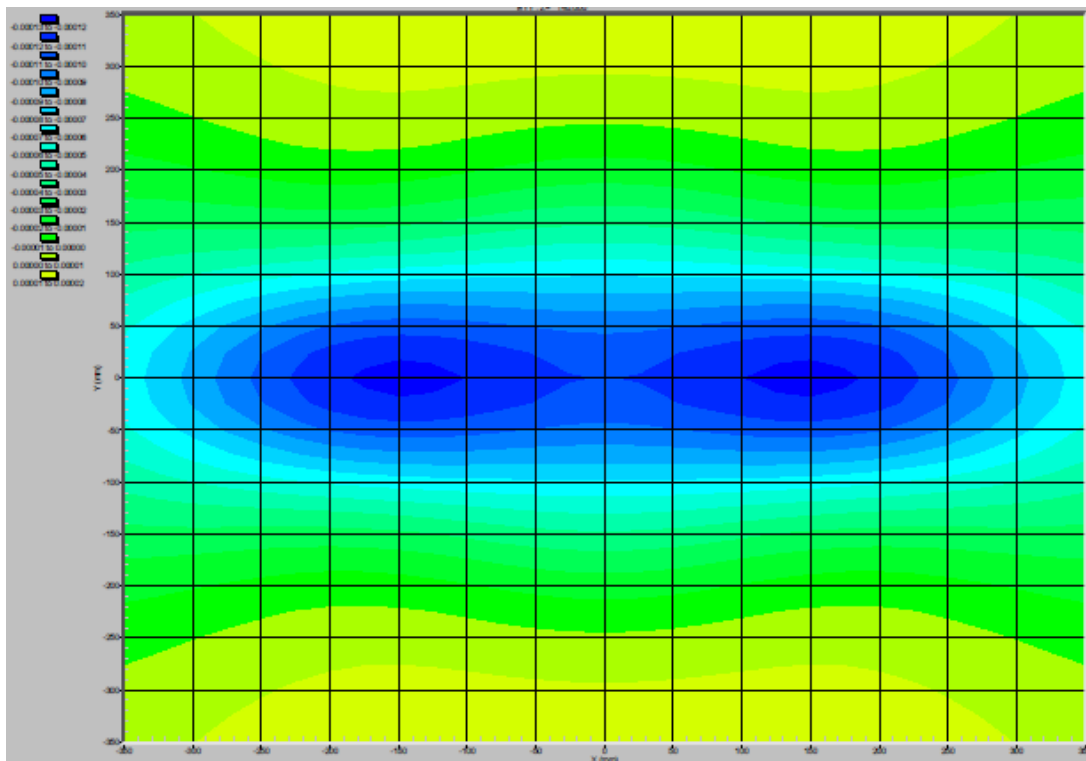
Slika 3.5 Kolnička konstrukcija 1 - naprezanja u XX smjeru AB sloja (zima)



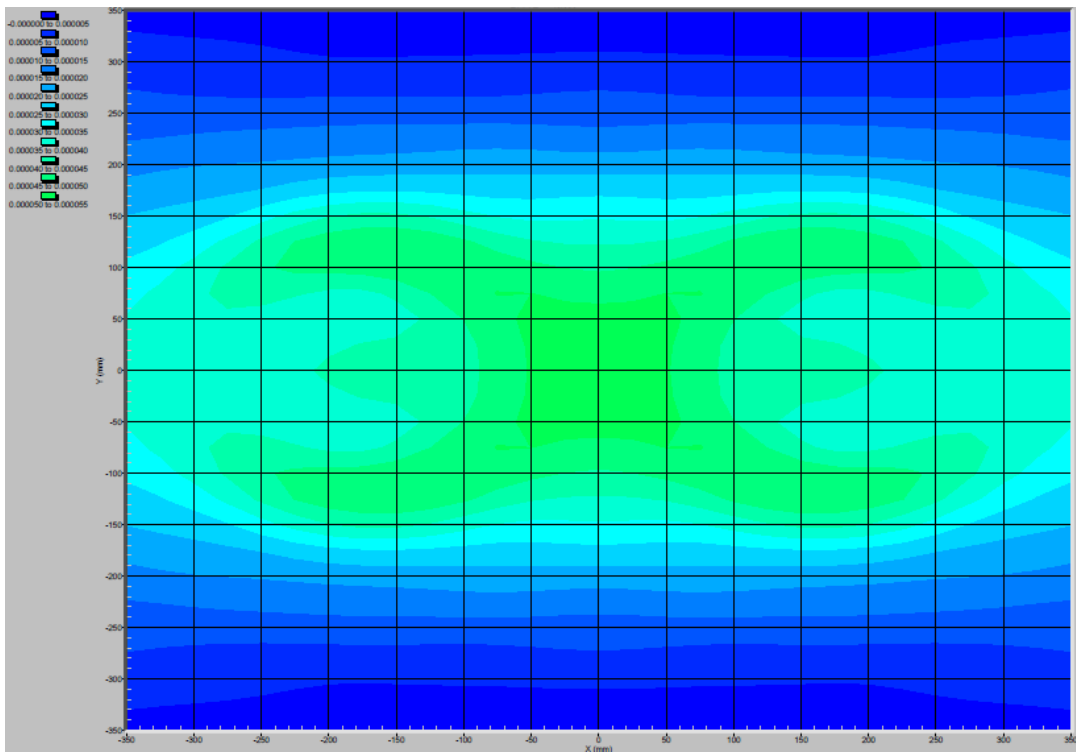
Slika 3.6 Kolnička konstrukcija 1 - naprezanja u XX smjeru BNS sloja (zima)



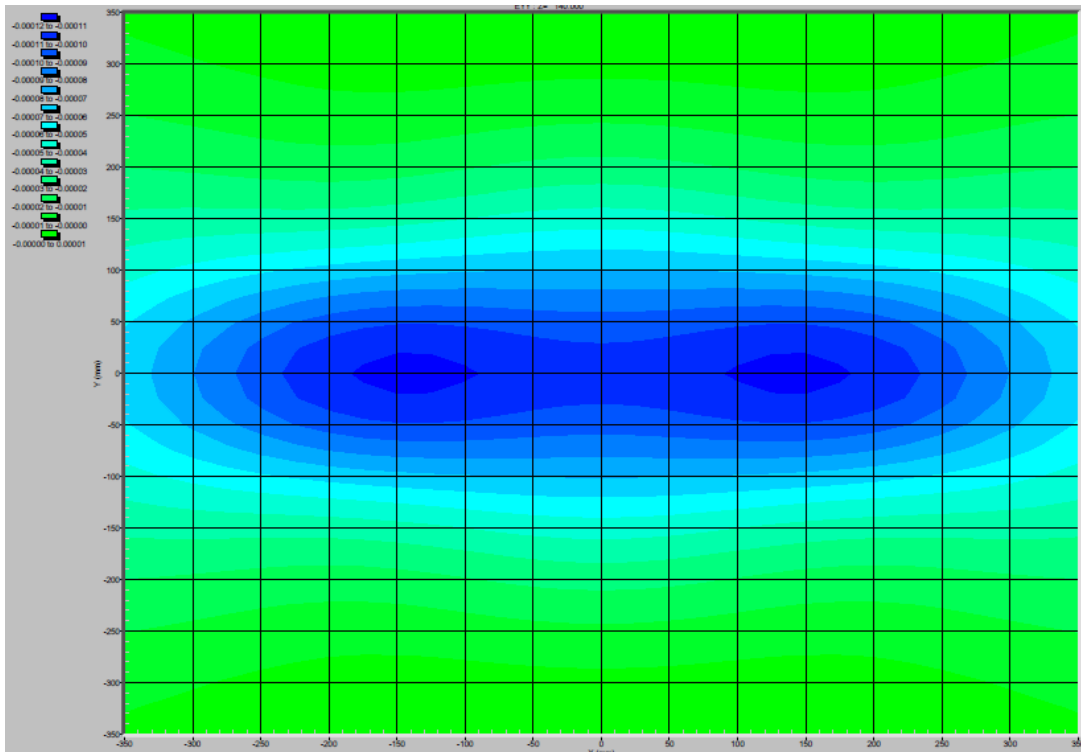
Slika 3.7 Kolnička konstrukcija 1 - naprezanja u YY smjeru AB sloja (ljet)



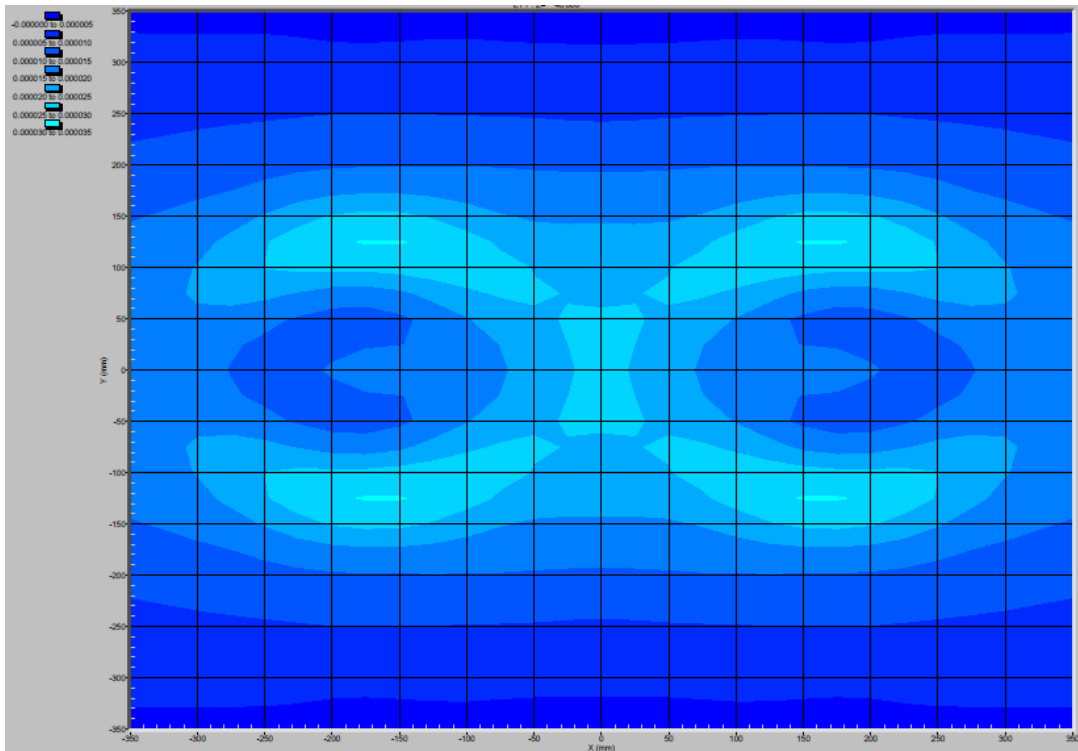
Slika 3.8 Kolnička konstrukcija 1 - naprezanja u YY smjeru BNS sloja (ljet)



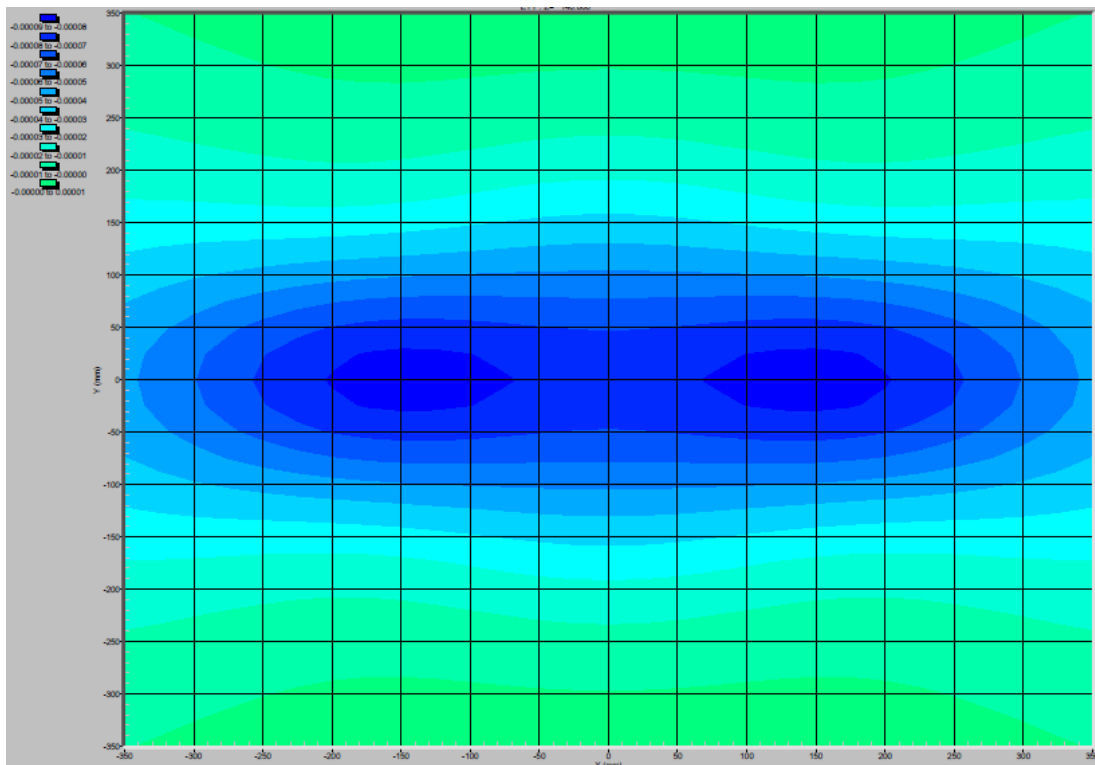
Slika 3.9 Kolnička konstrukcija 1 - naprezanja u YY smjeru AB sloja (proljeće/jesen)



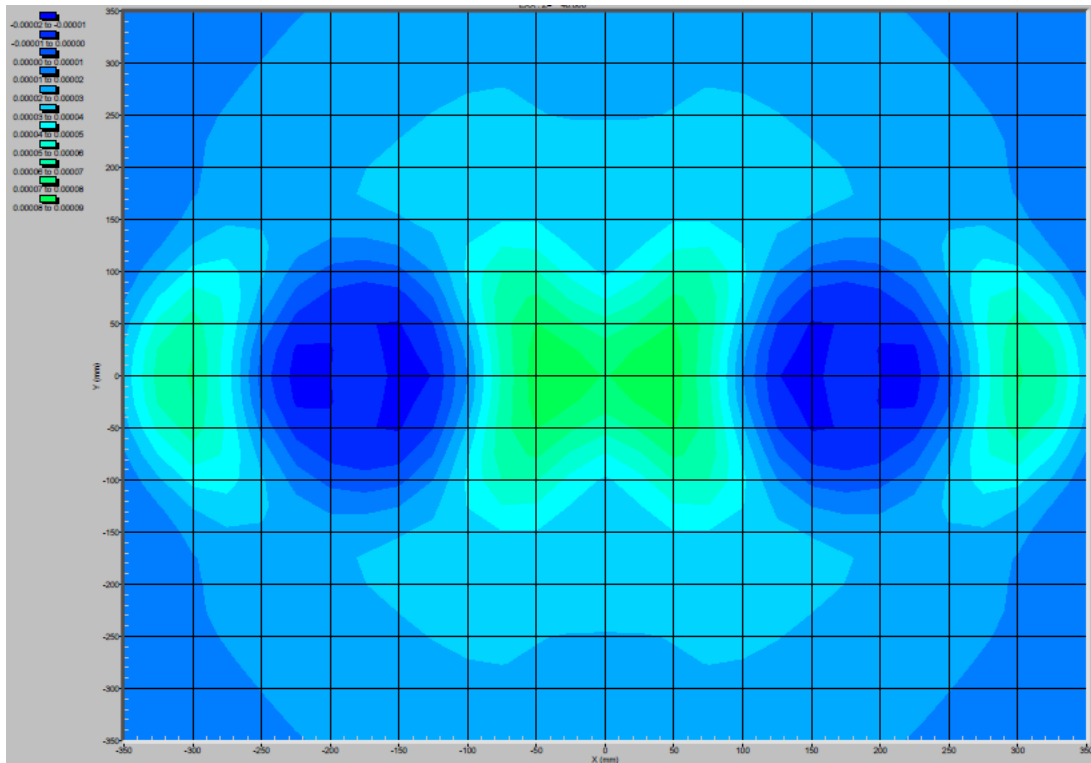
Slika 3.10 Kolnička konstrukcija 1 - naprezanja u YY smjeru BNS sloja (proljeće/jesen)



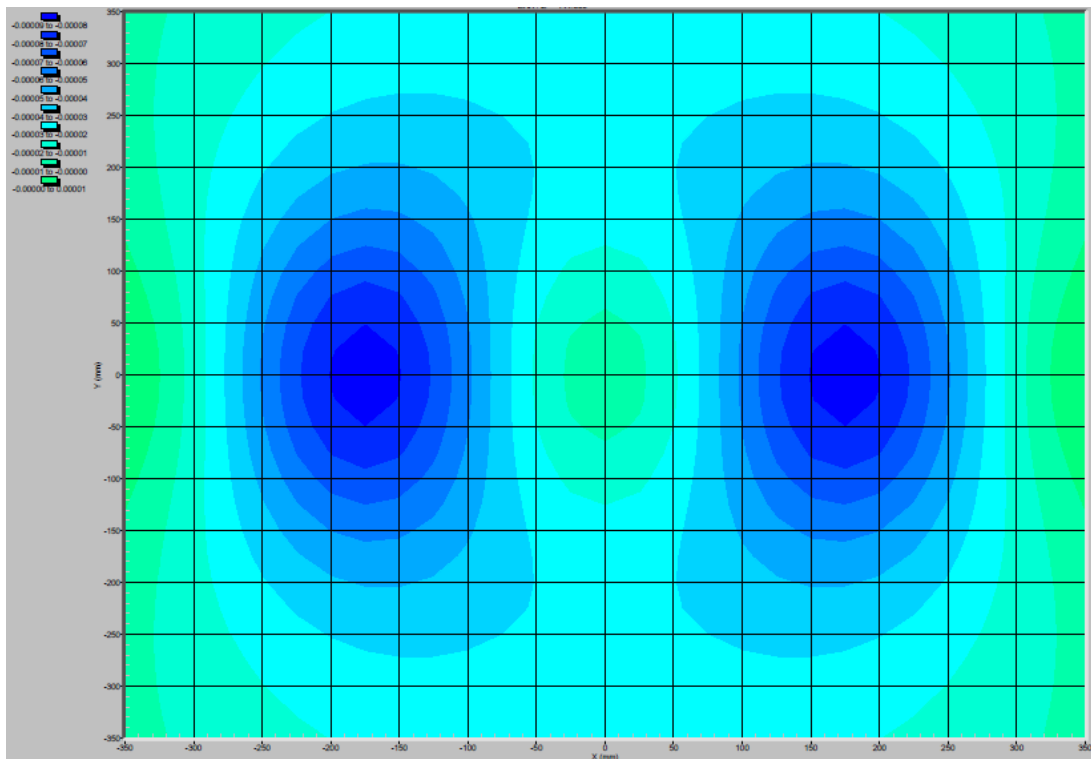
Slika 3.11 Kolnička konstrukcija 1 - naprezanja u YY smjeru AB sloja (zima)



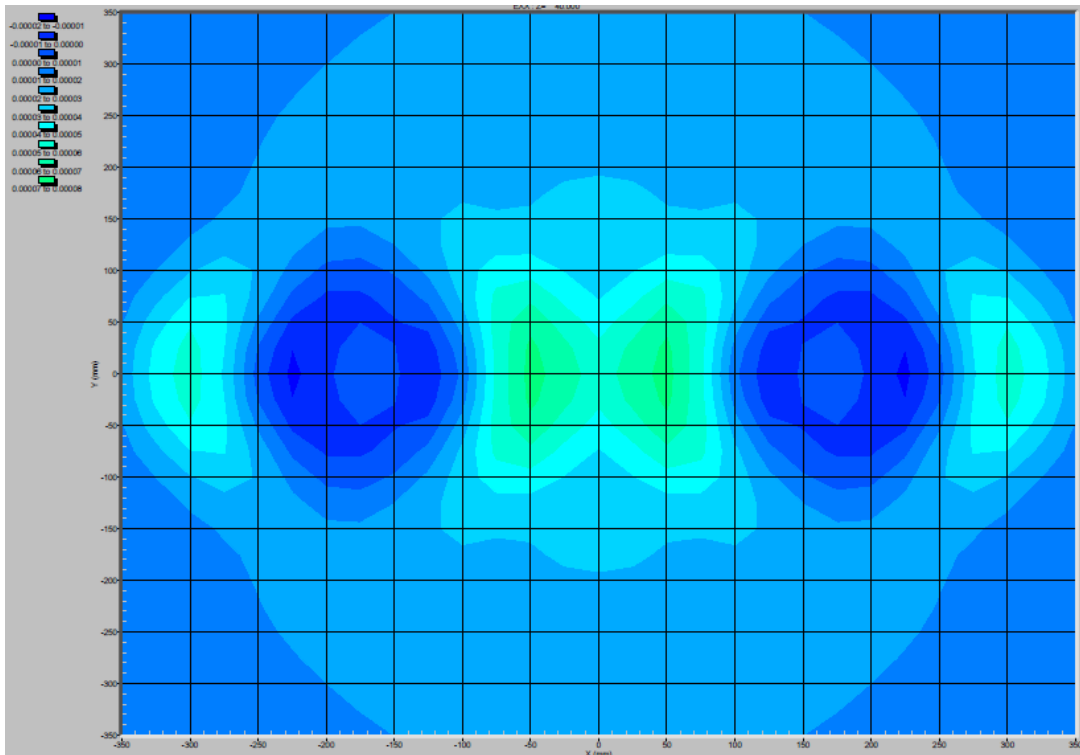
Slika 3.12 Kolnička konstrukcija 1 - naprezanja u YY smjeru BNS sloja (zima)



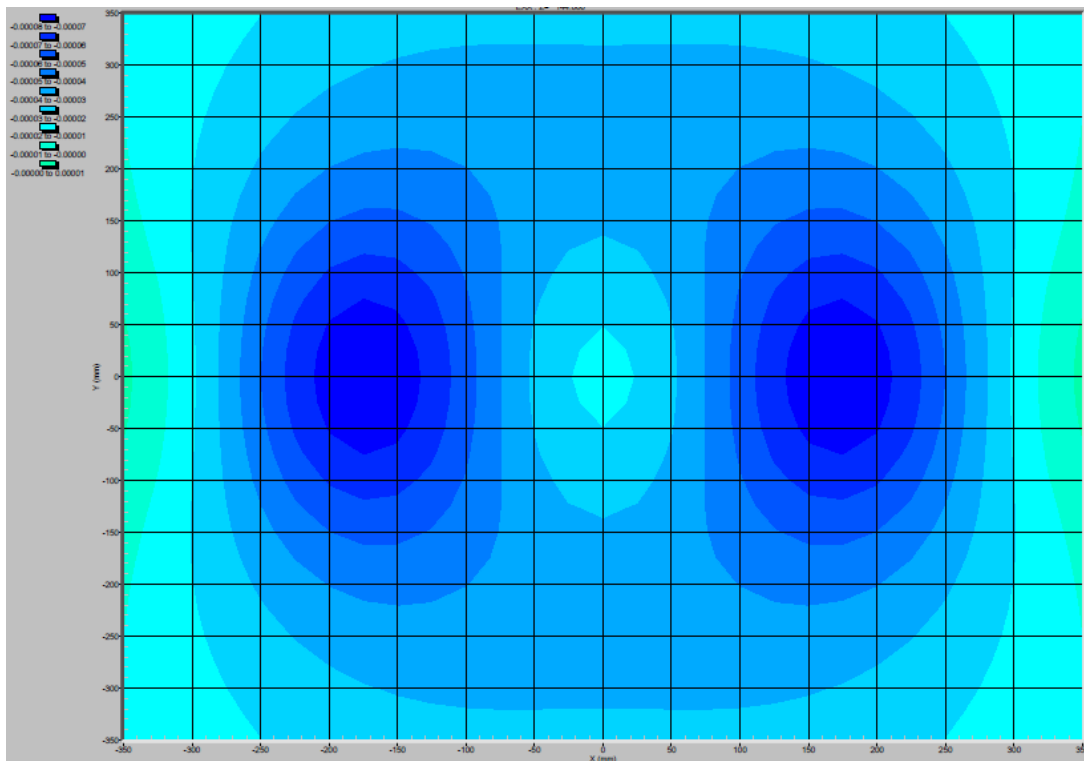
Slika 3.13 Kolnička konstrukcija 2 - naprezanja u XX smjeru AB sloja (ljet)



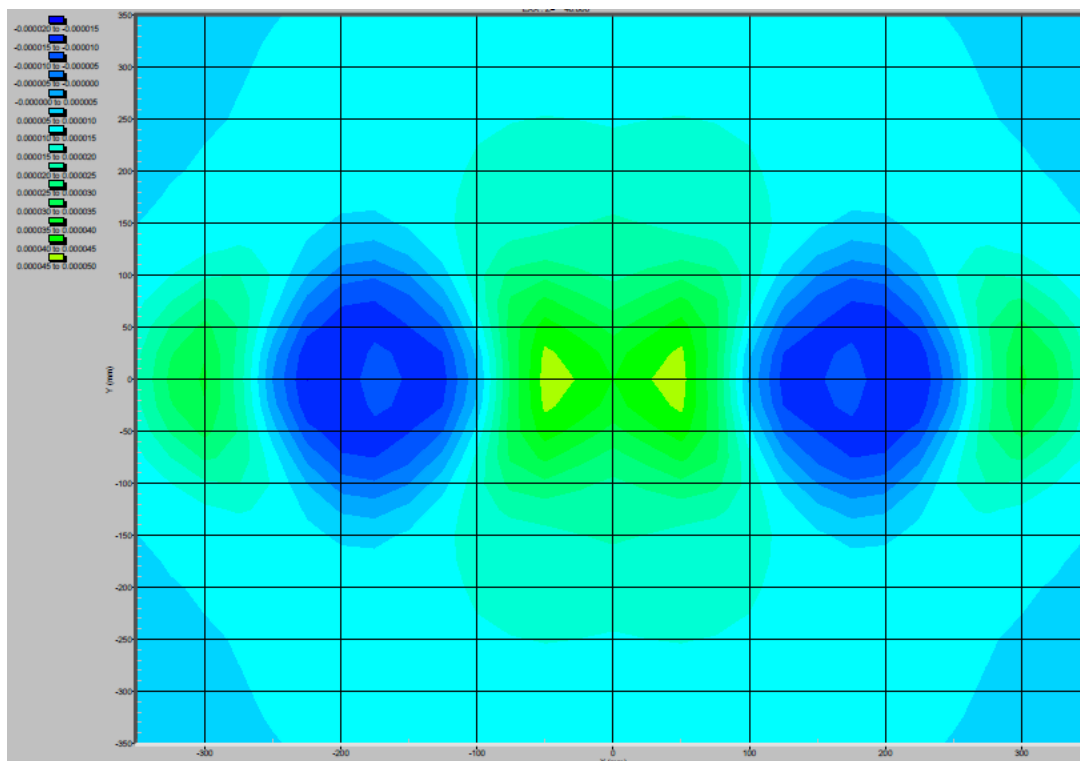
Slika 3.14 Kolnička konstrukcija 2 - naprezanja u XX smjeru BNS sloja (ljet)



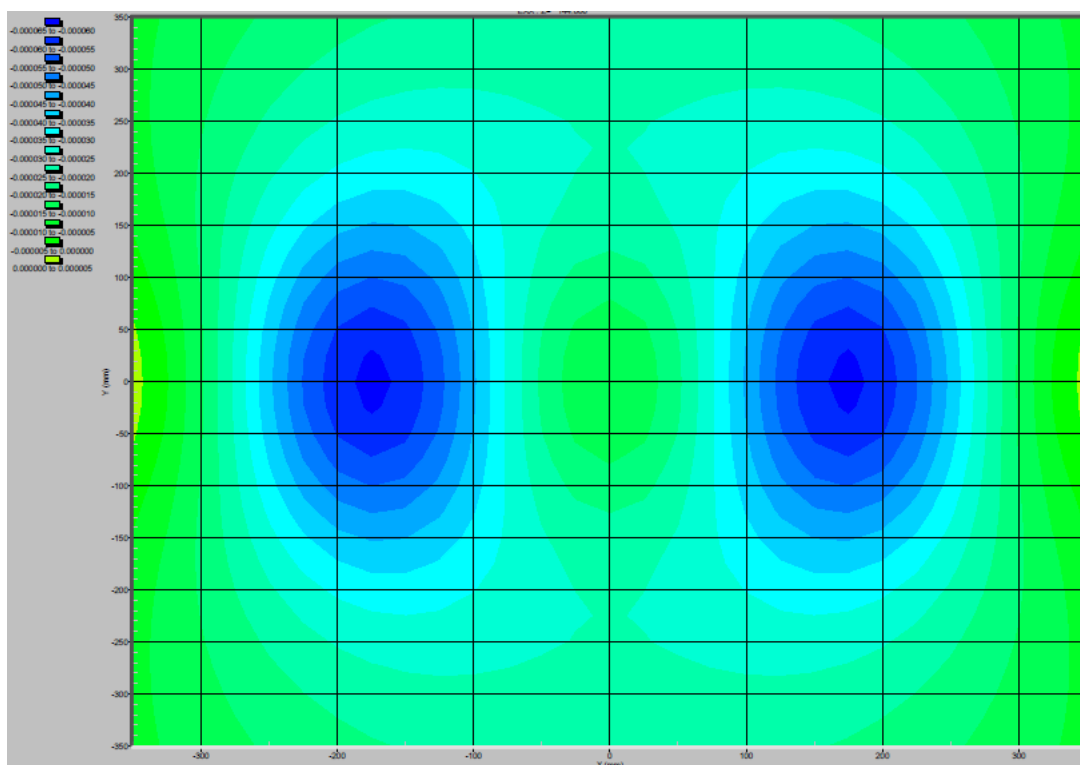
Slika 3.15 Kolnička konstrukcija 2 - naprezanja u XX smjeru AB sloja (proljeće/jesen)



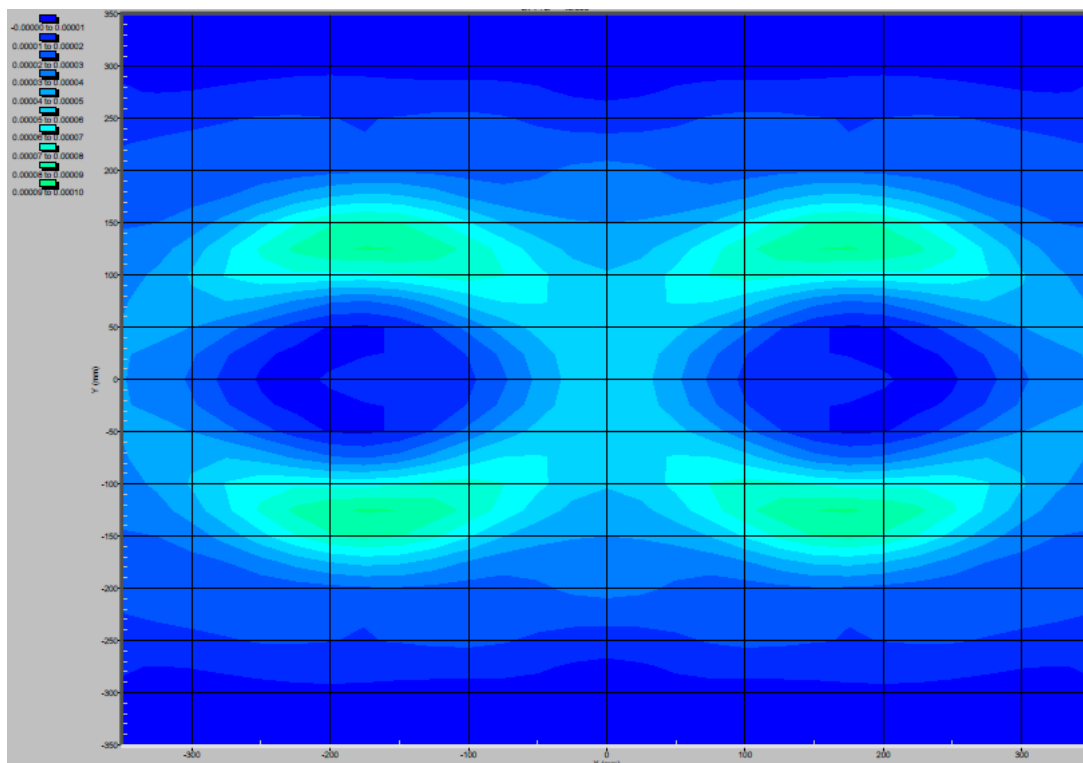
Slika 3.16 Kolnička konstrukcija 2 - naprezanja u XX smjeru BNS sloja (proljeće/jesen)



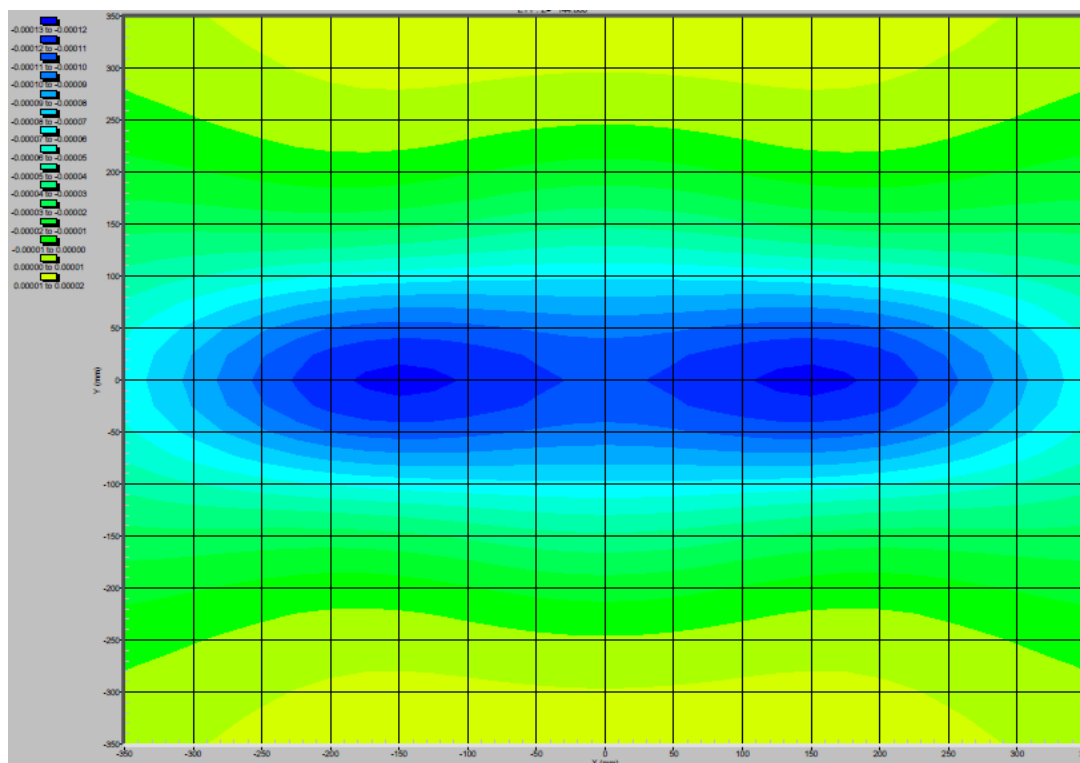
Slika 3.17 Kolnička konstrukcija 2 - naprezanja u XX smjeru AB sloja (zima)



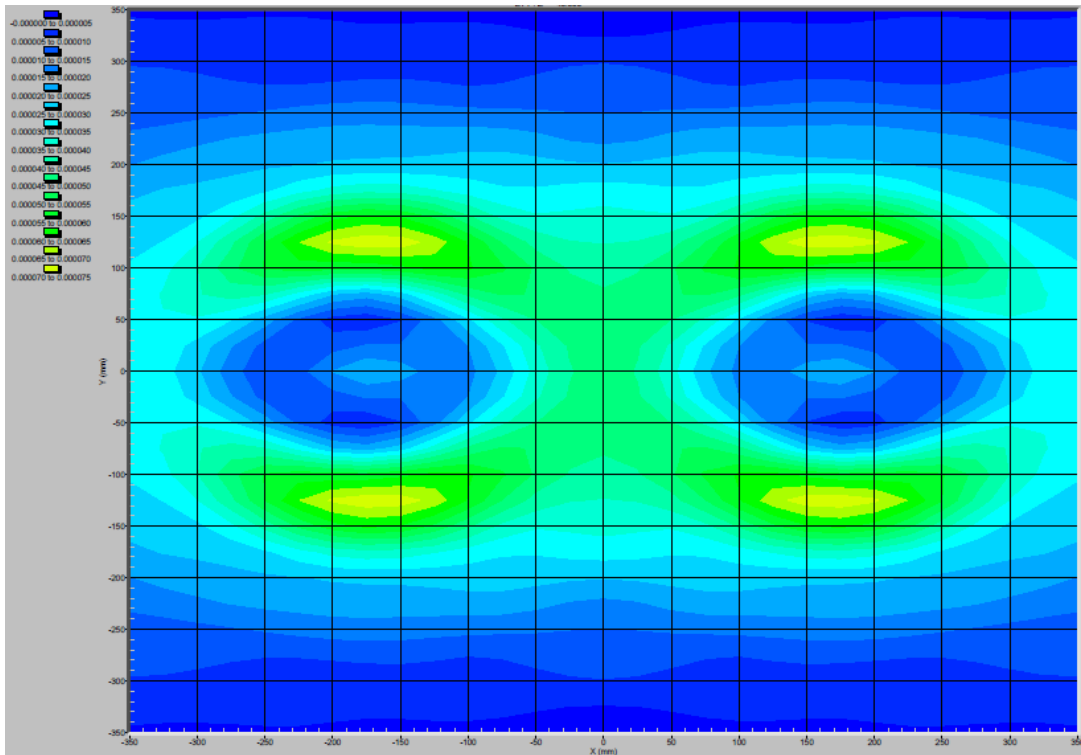
Slika 3.18 Kolnička konstrukcija 2 - naprezanja u XX smjeru BNS sloja (zima)



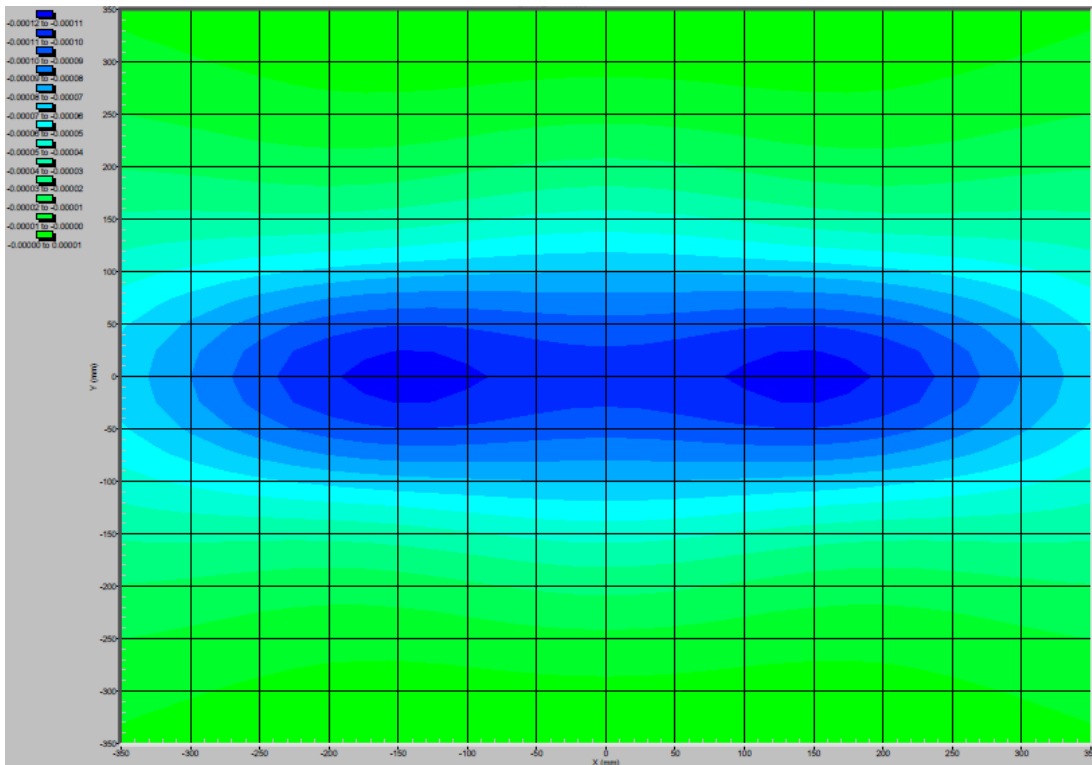
Slika 3.19 Kolnička konstrukcija 2 - naprezanja u YY smjeru AB sloja (ljet)



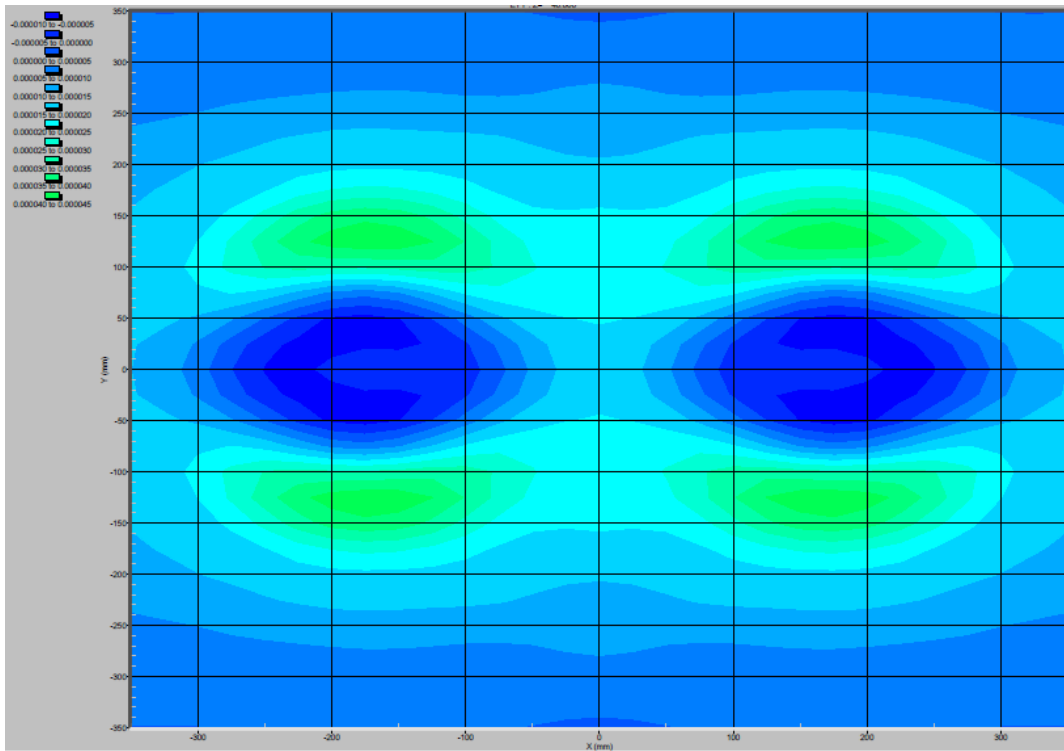
Slika 3.20 Kolnička konstrukcija 2 - naprezanja u YY smjeru BNS sloja (ljet)



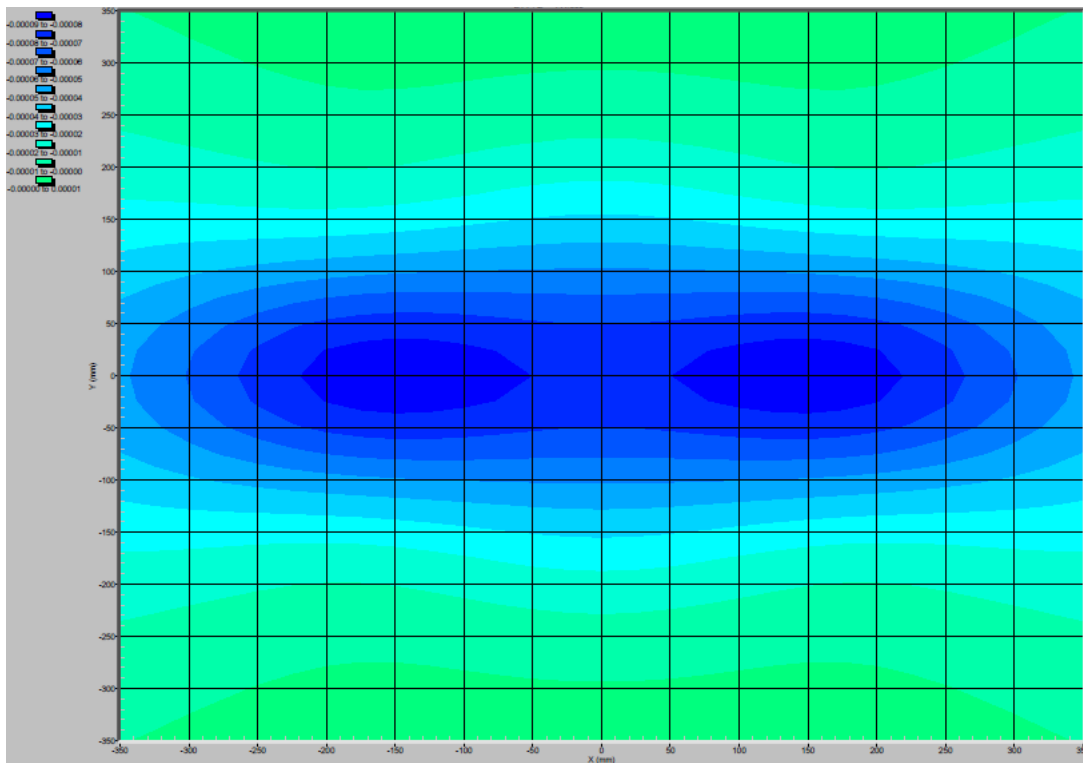
Slika 3.21 Kolnička konstrukcija 2 - naprezanja u YY smjeru AB sloja (proljeće/jesen)



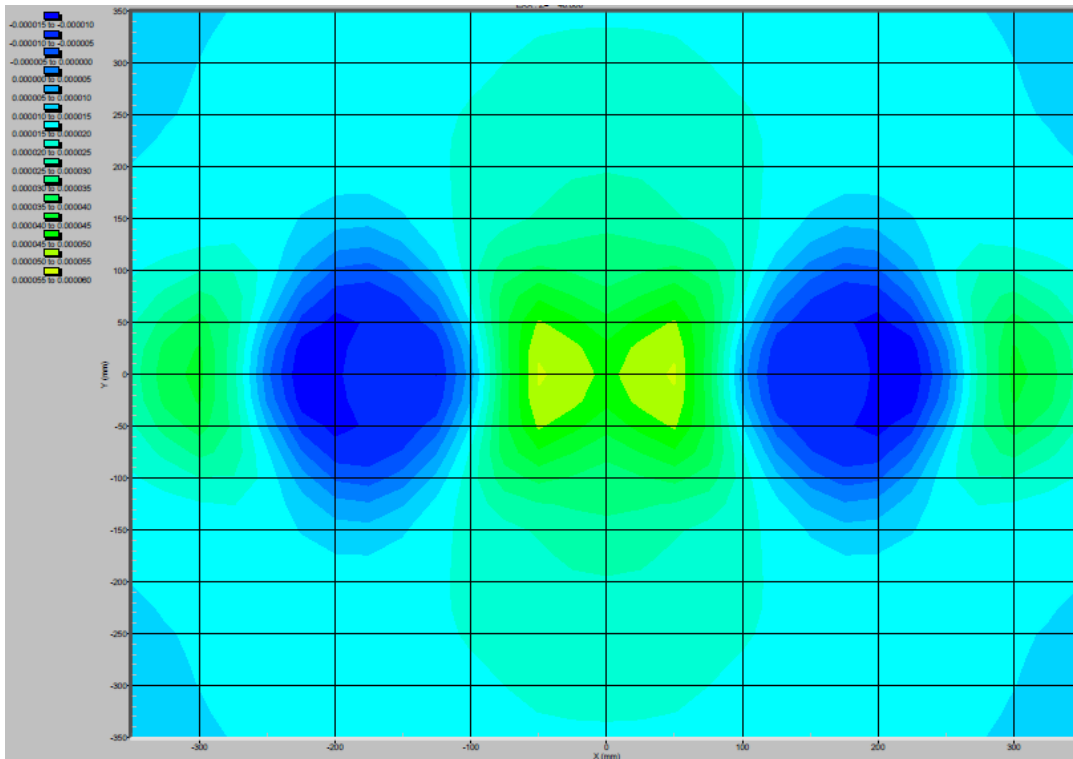
Slika 3.22 Kolnička konstrukcija 2 - naprezanja u YY smjeru BNS sloja (proljeće/jesen)



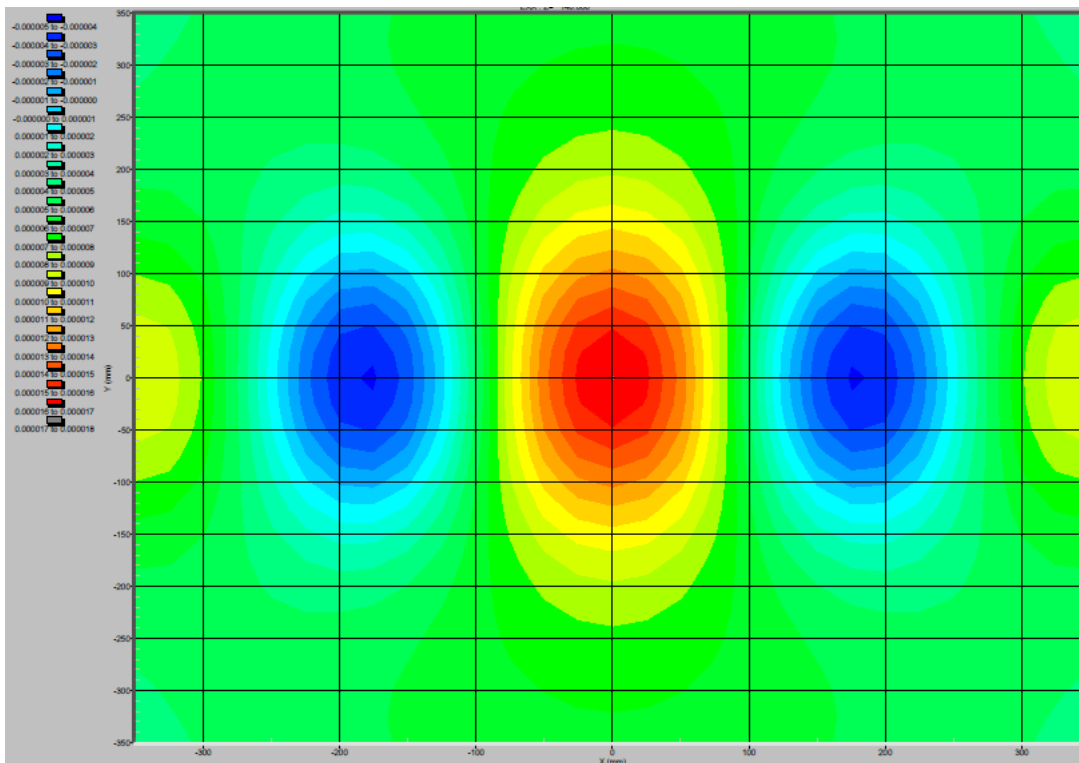
Slika 3.23 Kolnička konstrukcija 2 - naprezanja u YY smjeru AB sloja (zima)



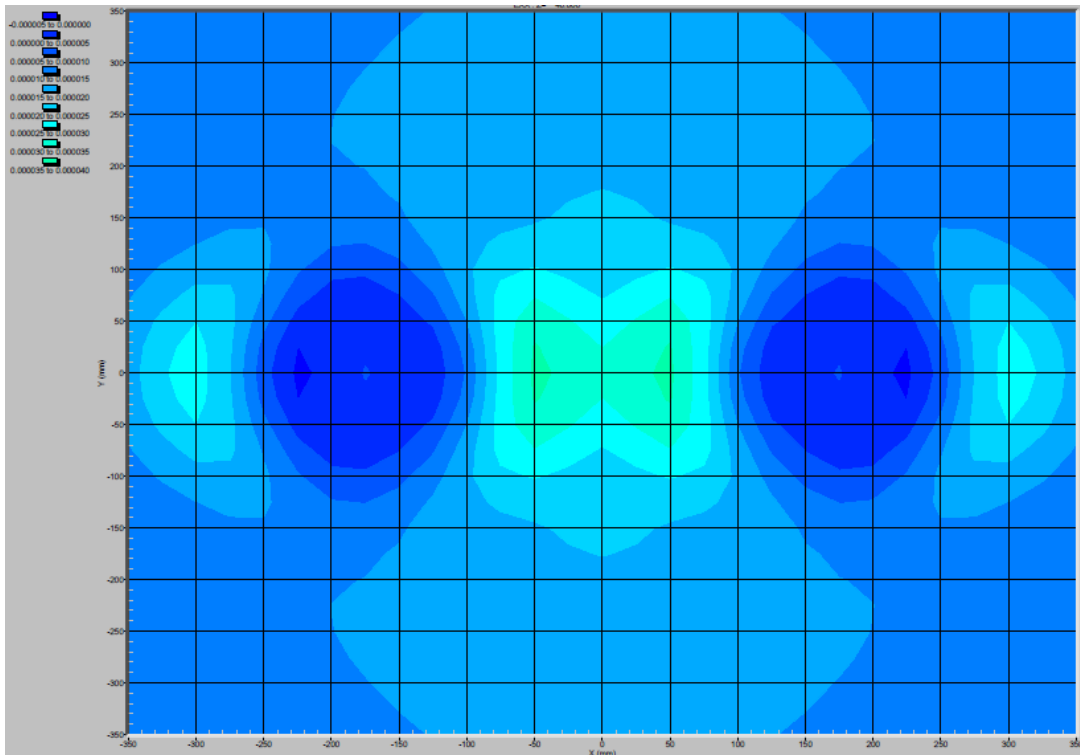
Slika 3.24 Kolnička konstrukcija 2 - naprezanja u YY smjeru BNS sloja (zima)



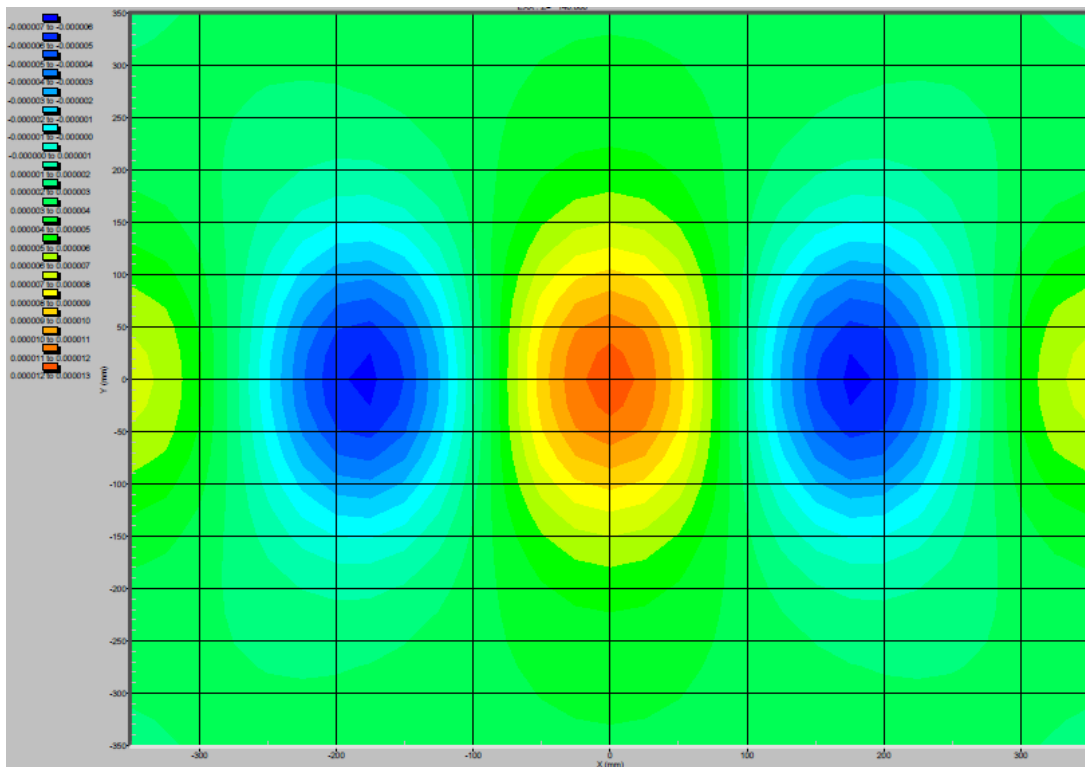
Slika 3.25 Kolnička konstrukcija 3 - naprezanja u XX smjeru AB sloja (ljet)



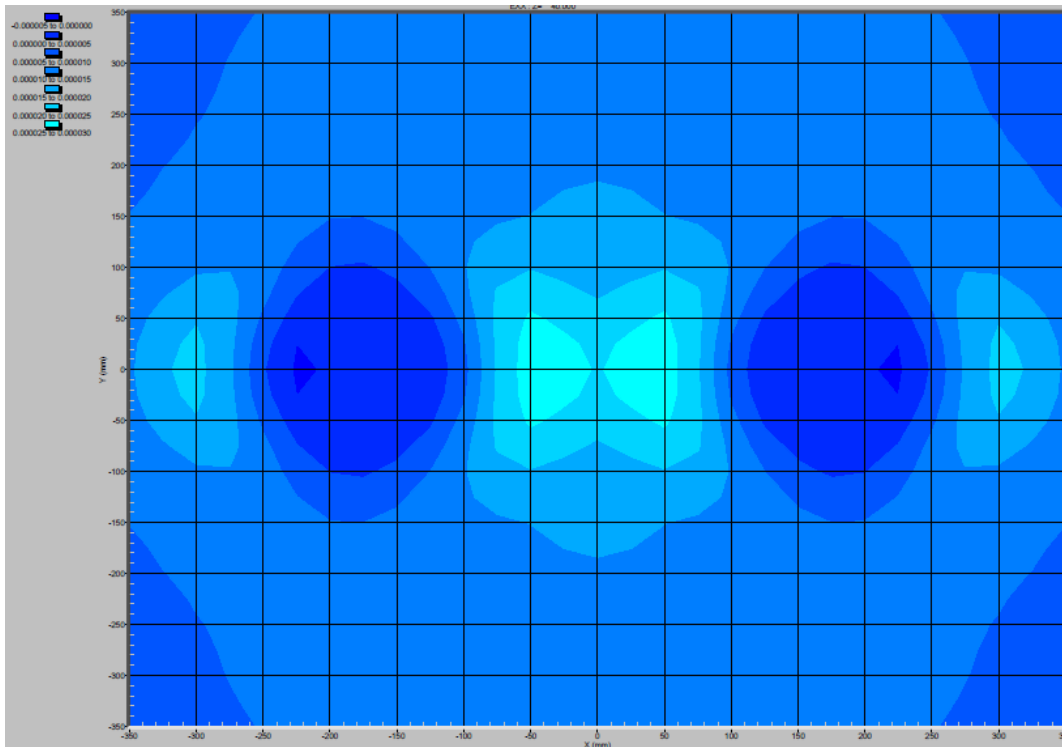
Slika 3.26 Kolnička konstrukcija 3 - naprezanja u XX smjeru BNS sloja (ljet)



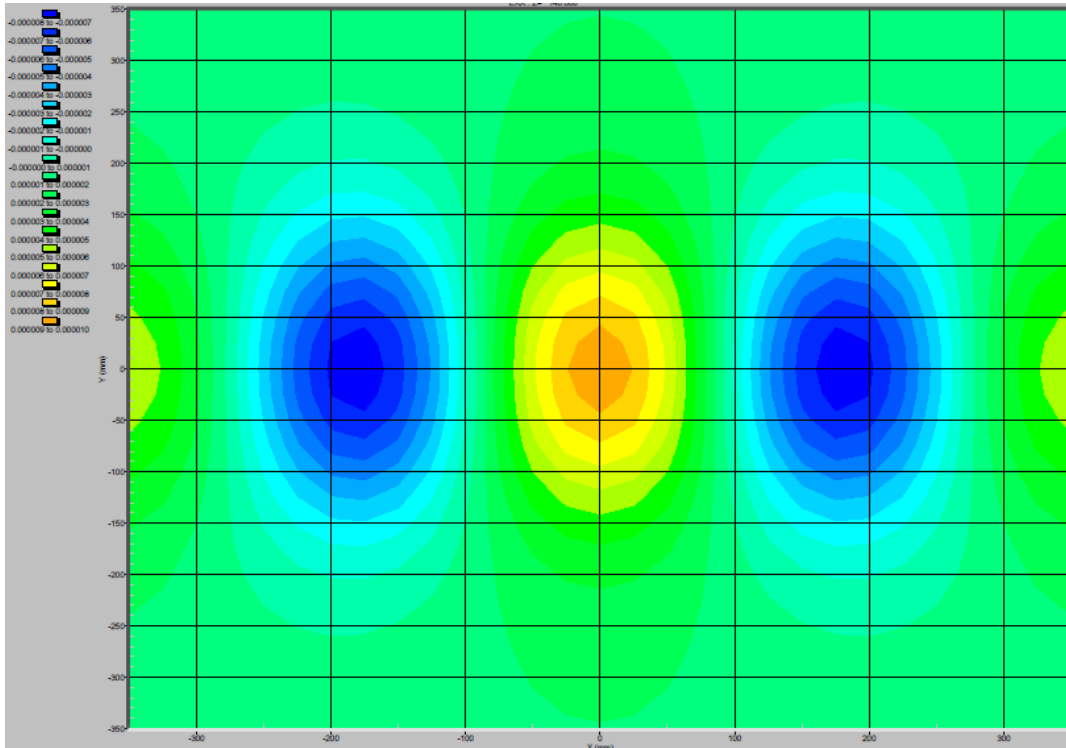
Slika 3.27 Kolnička konstrukcija 3 - naprezanja u XX smjeru AB sloja (proljeće/jesen)



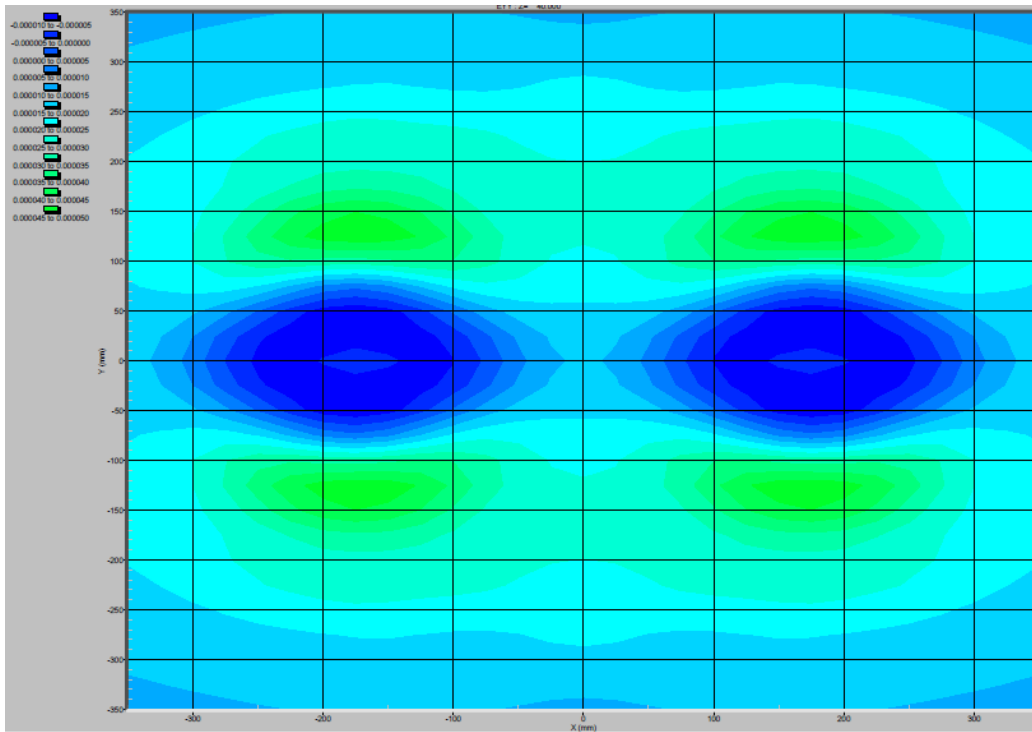
Slika 3.28 Kolnička konstrukcija 3 - naprezanja u XX smjeru BNS sloja (proljeće/jesen)



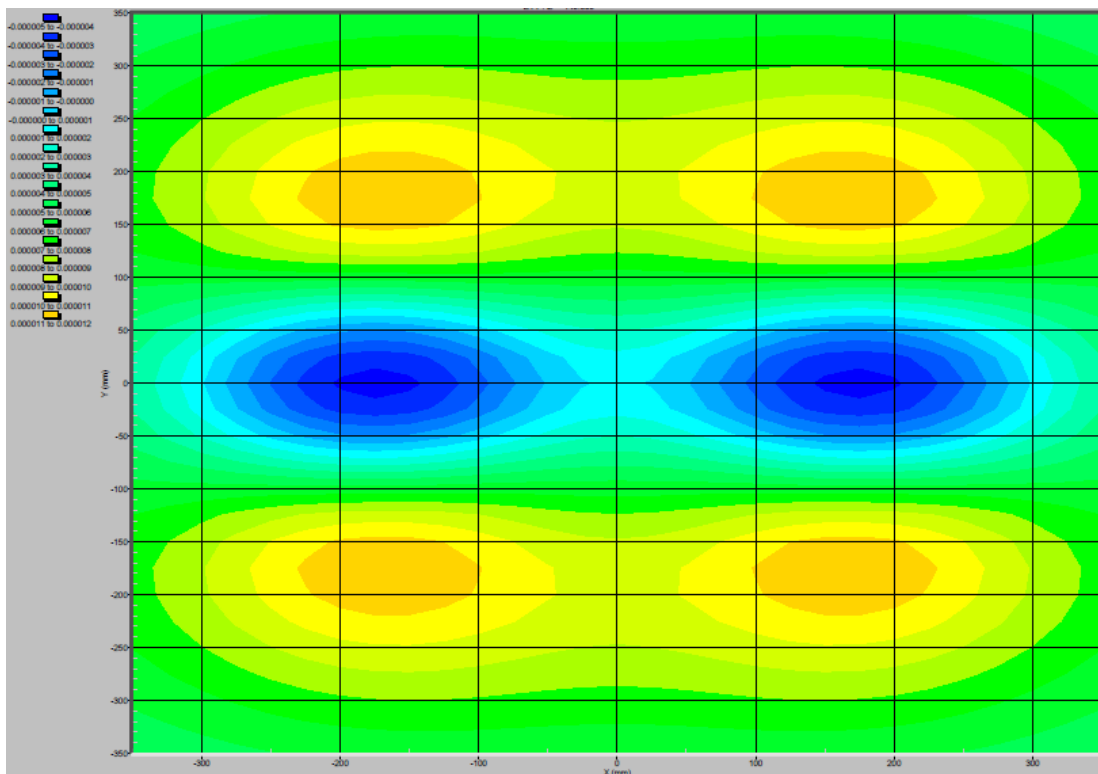
Slika 3.29 Kolnička konstrukcija 3 - naprezanja u XX smjeru AB sloja (zima)



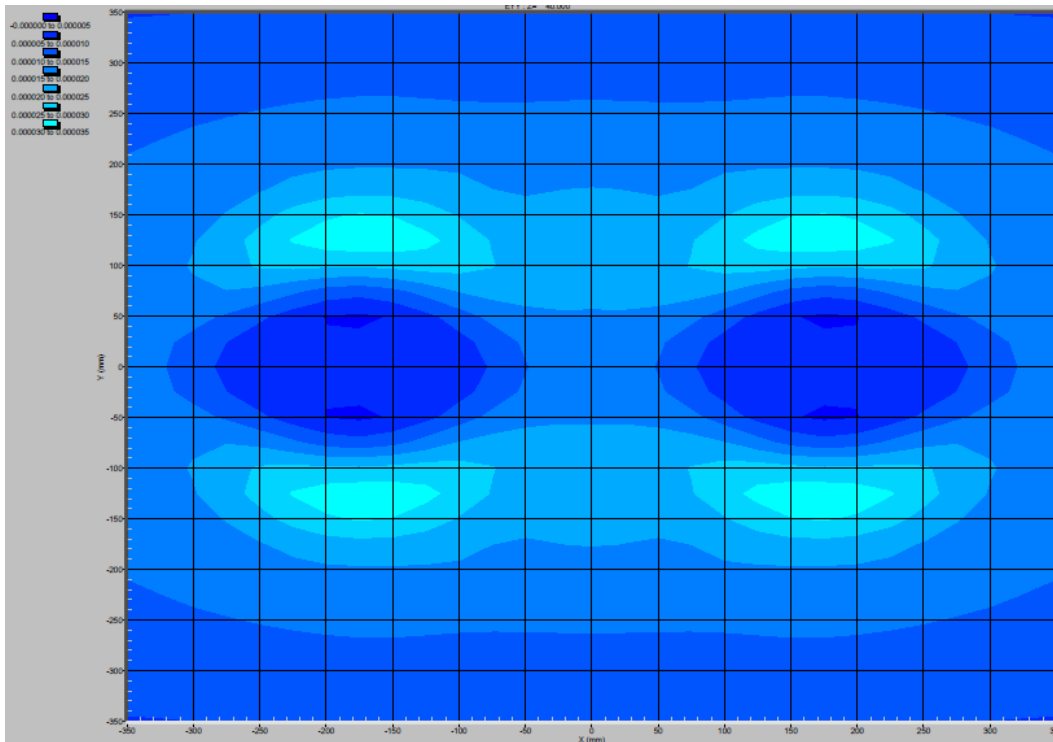
Slika 3.30 Kolnička konstrukcija 3 - naprezanja u XX smjeru BNS sloja (zima)



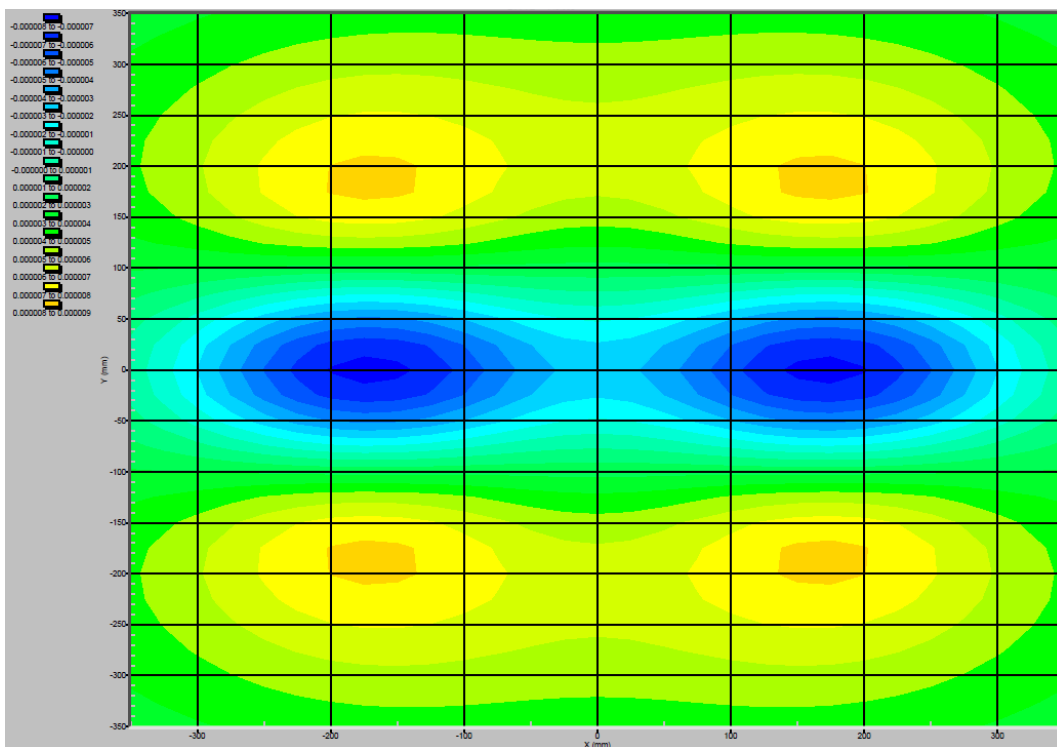
Slika 3.31 Kolnička konstrukcija 3 - naprezanja u YY smjeru AB sloja (ljet)



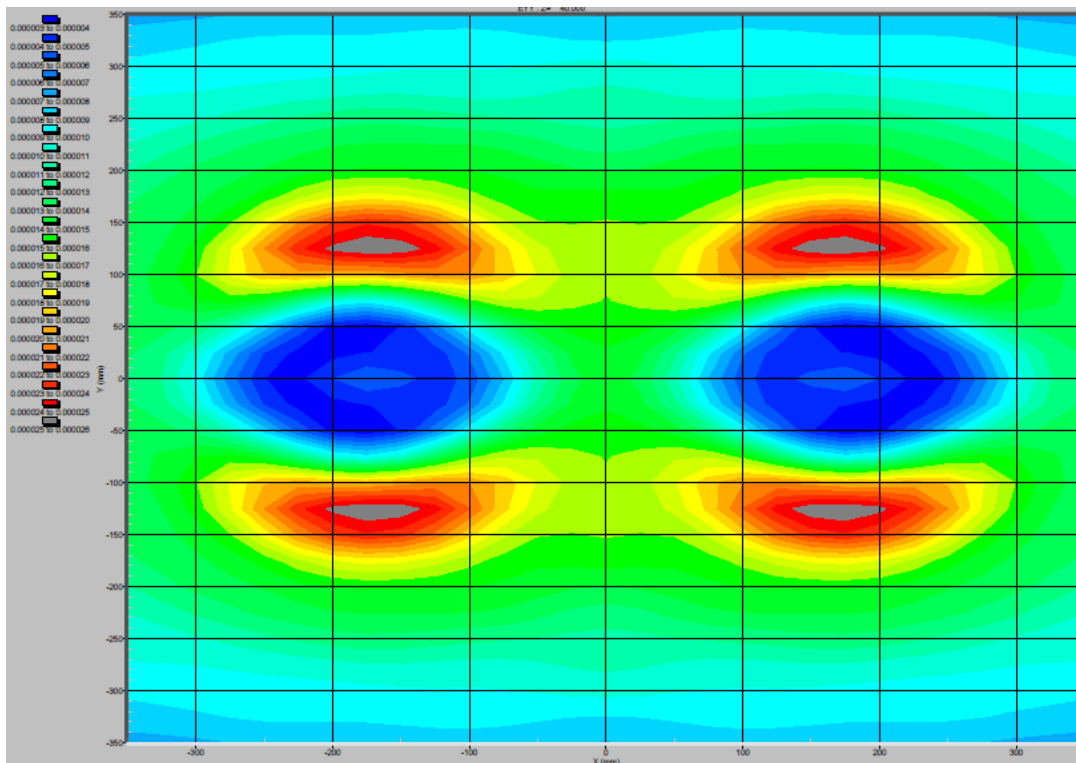
Slika 3.32 Kolnička konstrukcija 3 - naprezanja u YY smjeru BNS sloja (ljet)



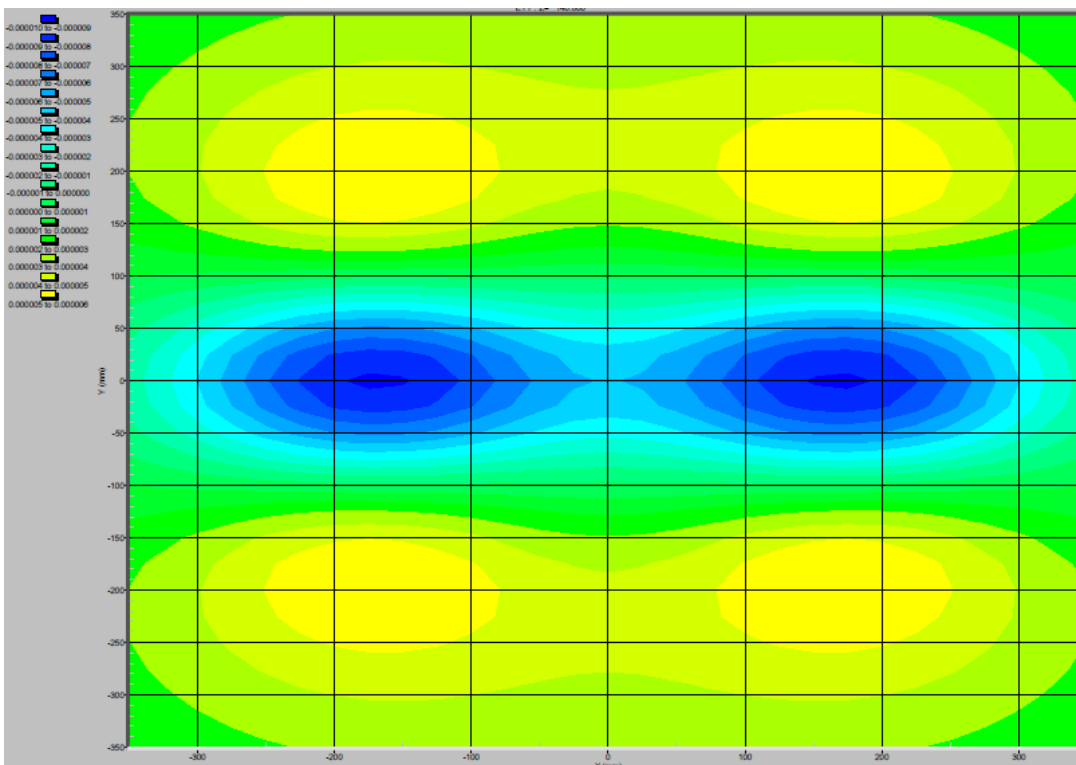
Slika 3.33 Kolnička konstrukcija 3 - naprezanja u YY smjeru AB sloja (proljeće/jesen)



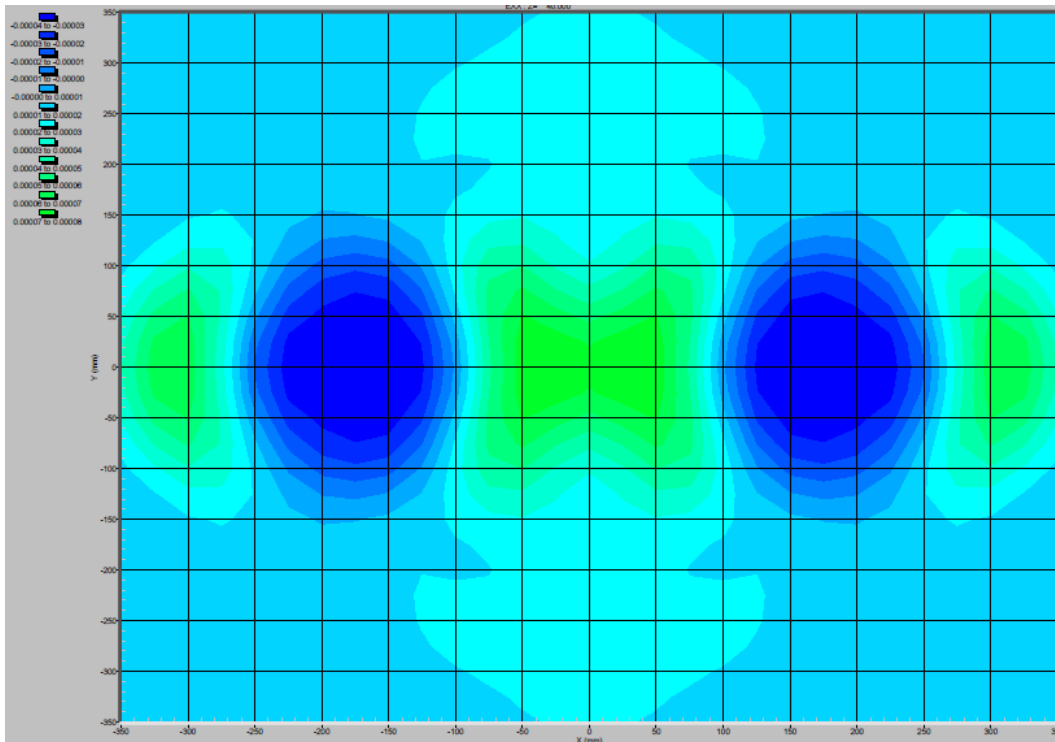
Slika 3.34 Kolnička konstrukcija 3 - naprezanja u YY smjeru BNS sloja (proljeće/jesen)



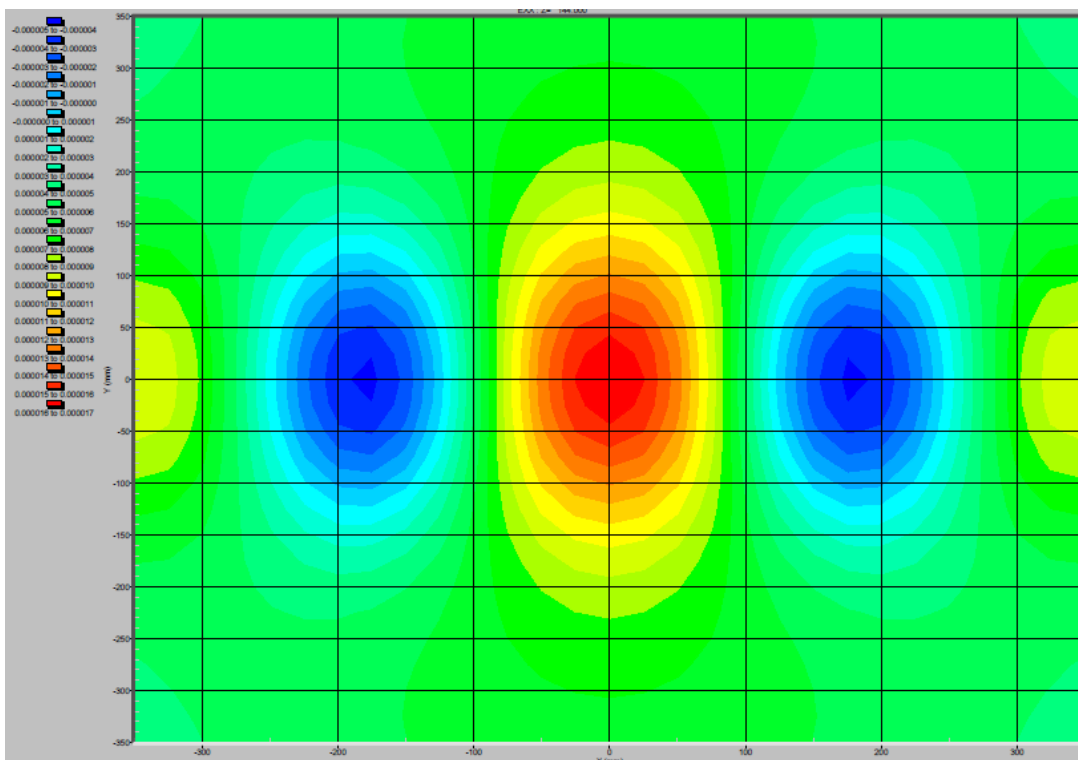
Slika 3.35 Kolnička konstrukcija 3 - naprezanja u YY smjeru AB sloja (zima)



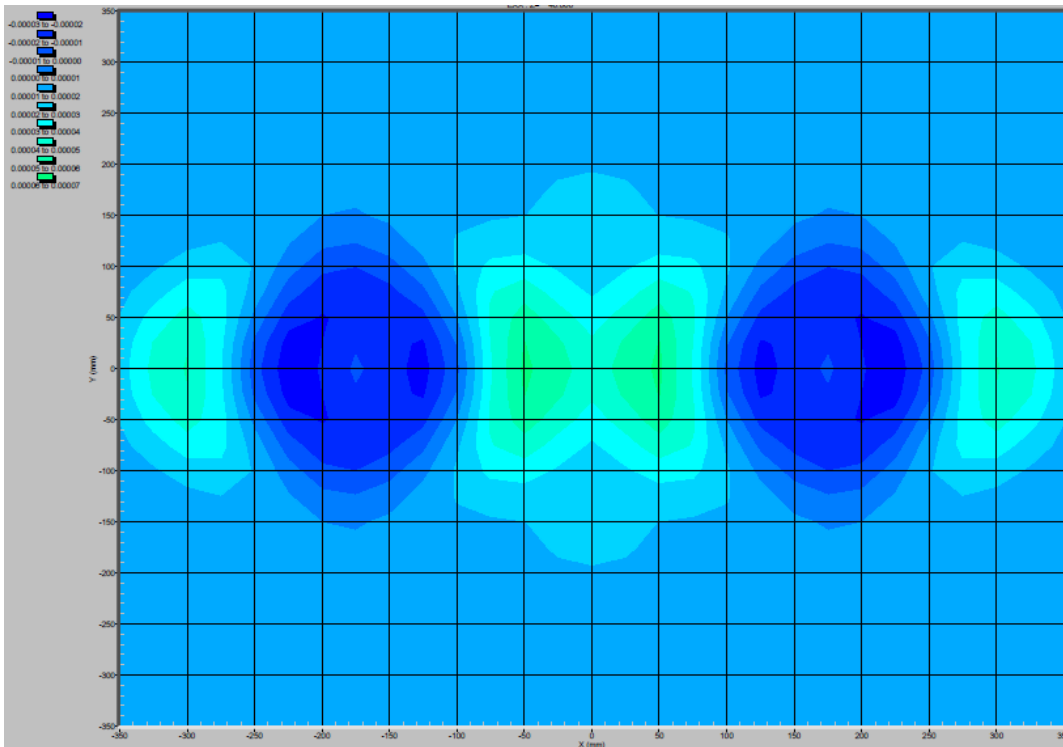
Slika 3.36 Kolnička konstrukcija 3 - naprezanja u YY smjeru BNS sloja (zima)



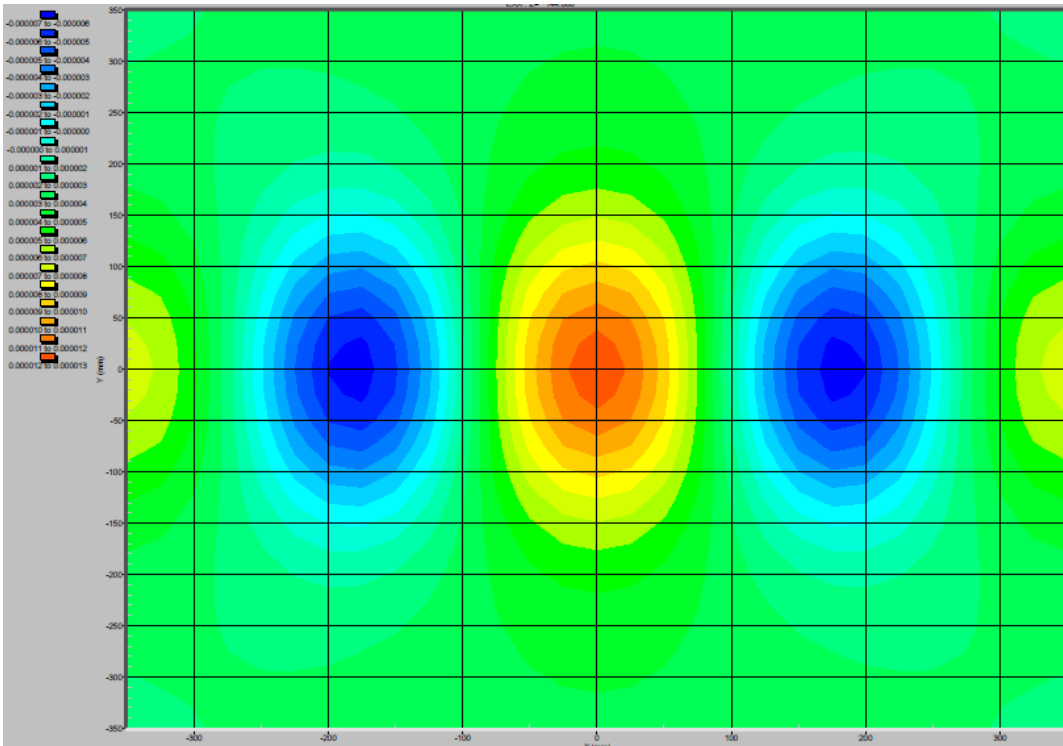
Slika 3.37 Kolnička konstrukcija 4 - naprezanja u XX smjeru AB sloja (ljet)



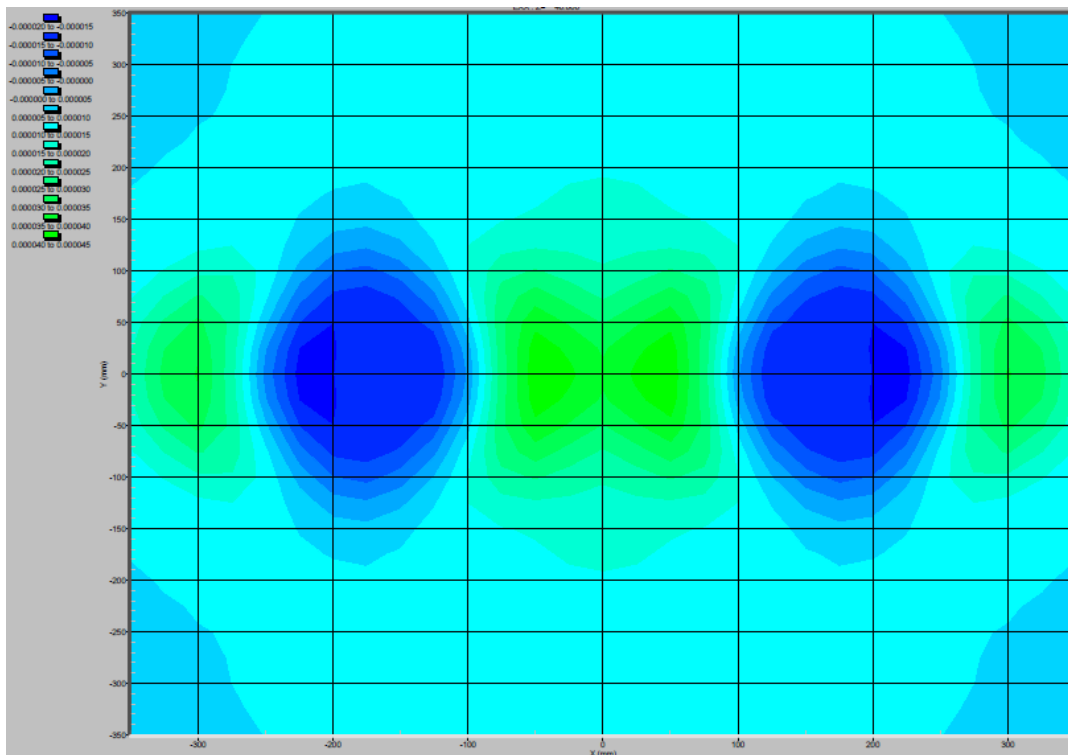
Slika 3.38 Kolnička konstrukcija 4 - naprezanja u XX smjeru BNS sloja (ljet)



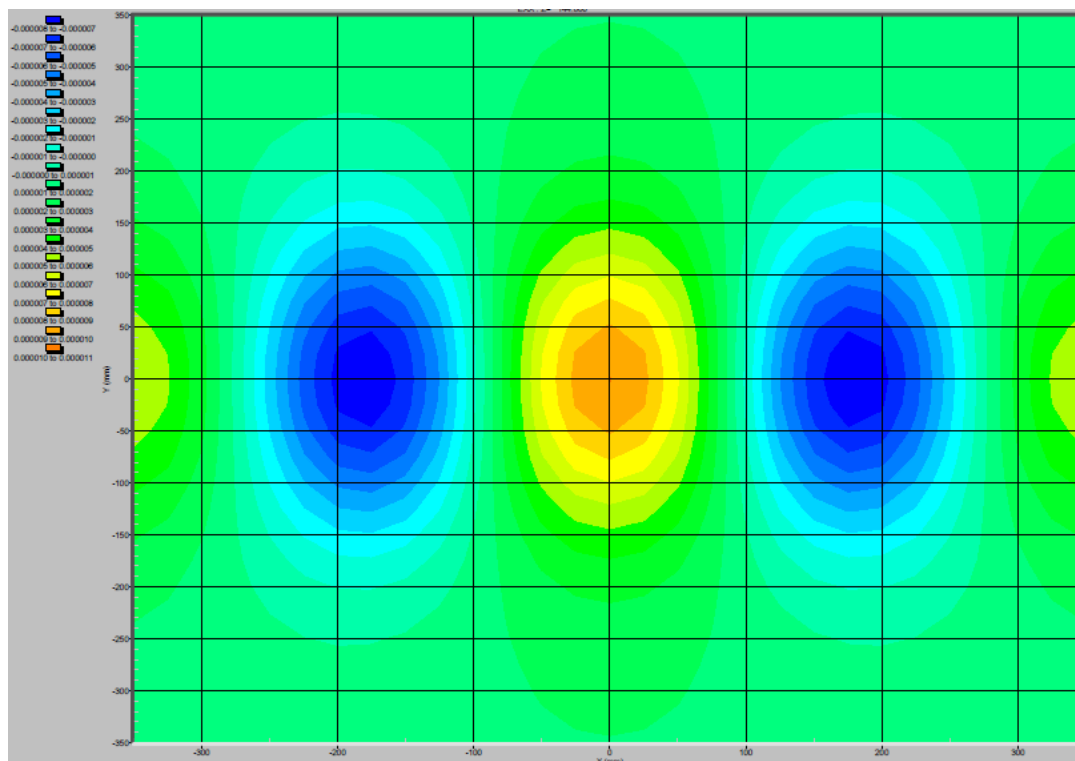
Slika 3.39 Kolnička konstrukcija 4 - naprezanja u XX smjeru AB sloja (proljeće/jesen)



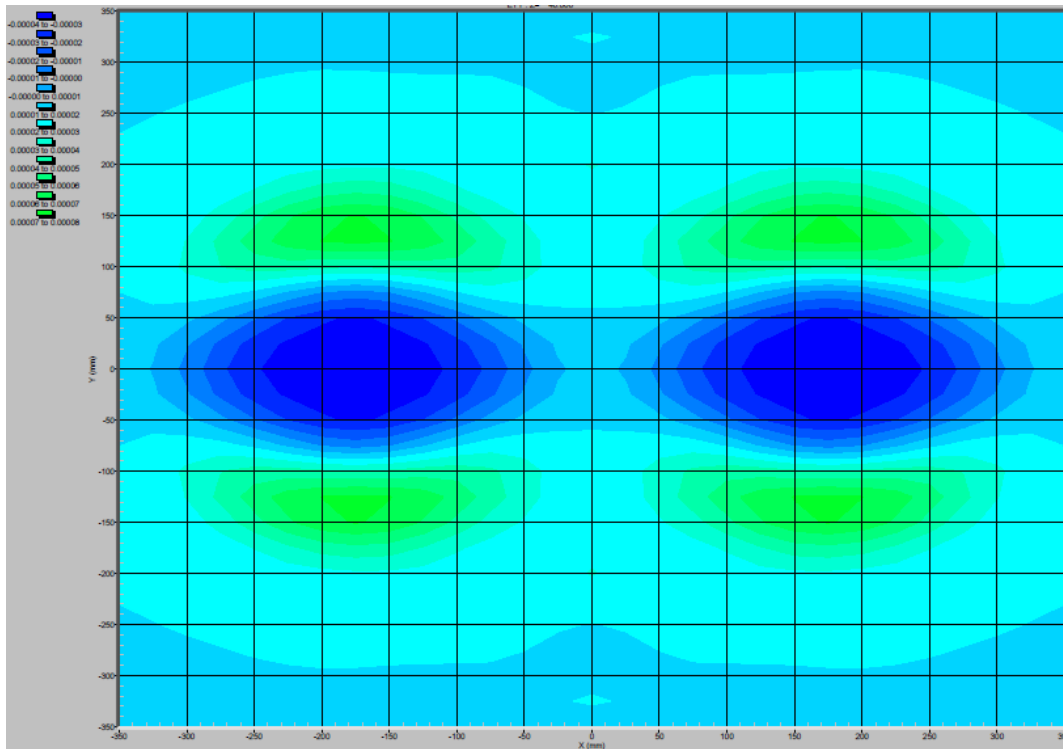
Slika 3.40 Kolnička konstrukcija 4 - naprezanja u XX smjeru BNS sloja (proljeće/jesen)



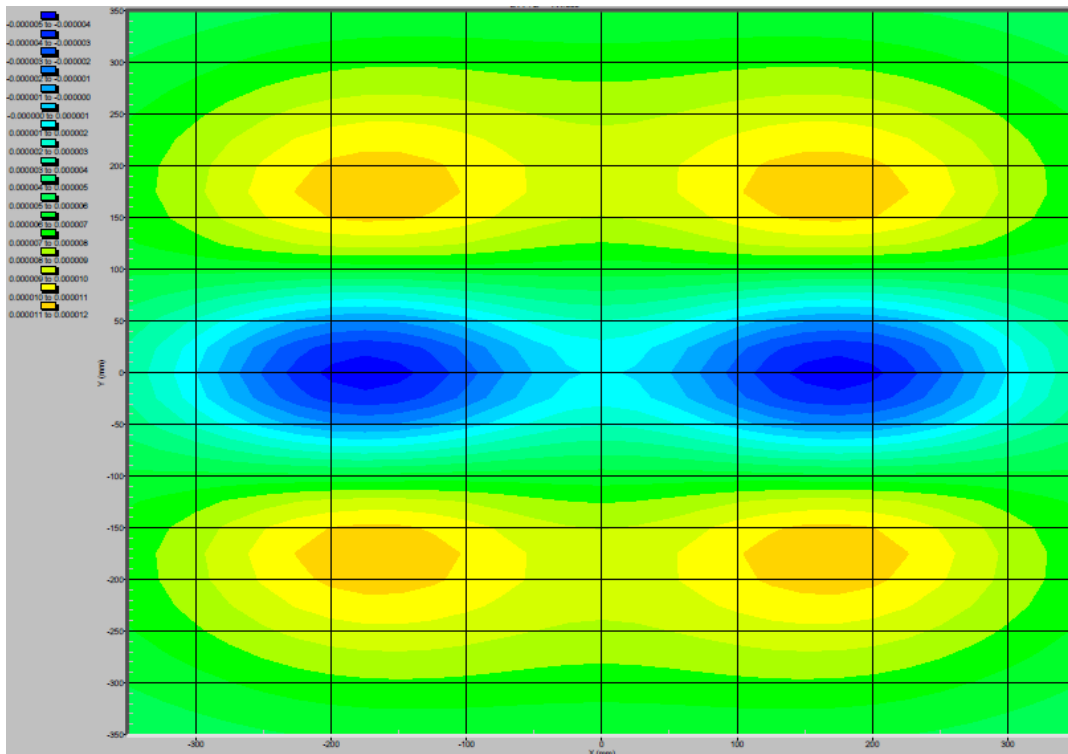
Slika 3.41 Kolnička konstrukcija 4 - naprezanja u XX smjeru AB sloja (zima)



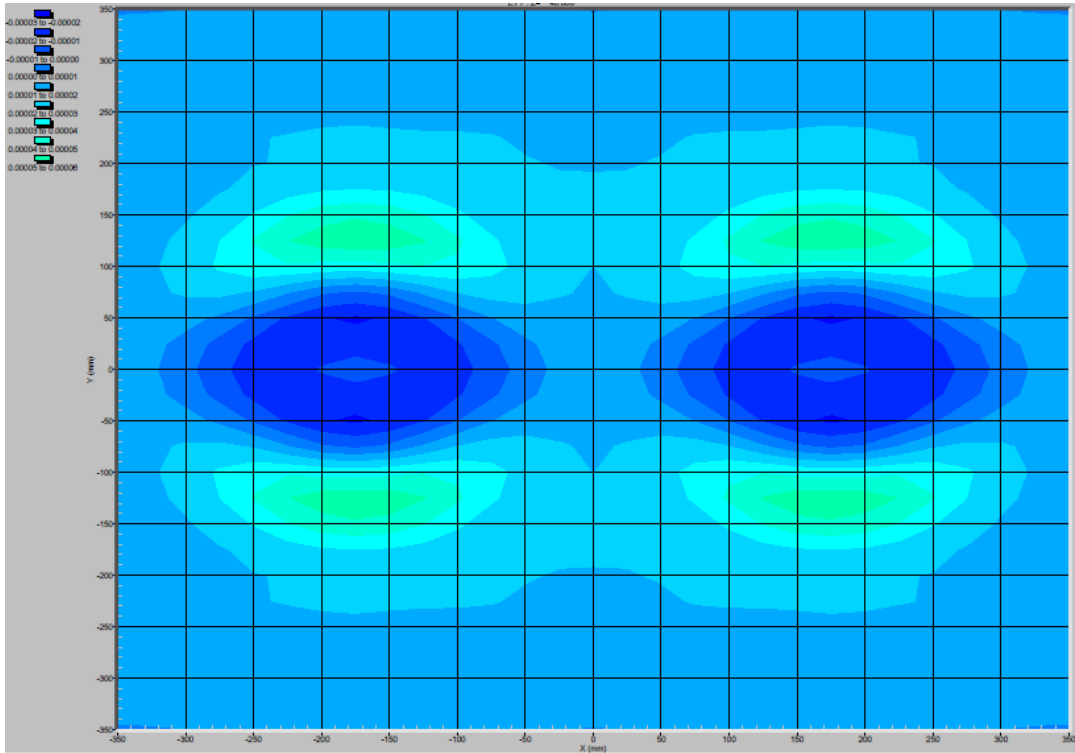
Slika 3.42 Kolnička konstrukcija 4 - naprezanja u XX smjeru BNS sloja (zima)



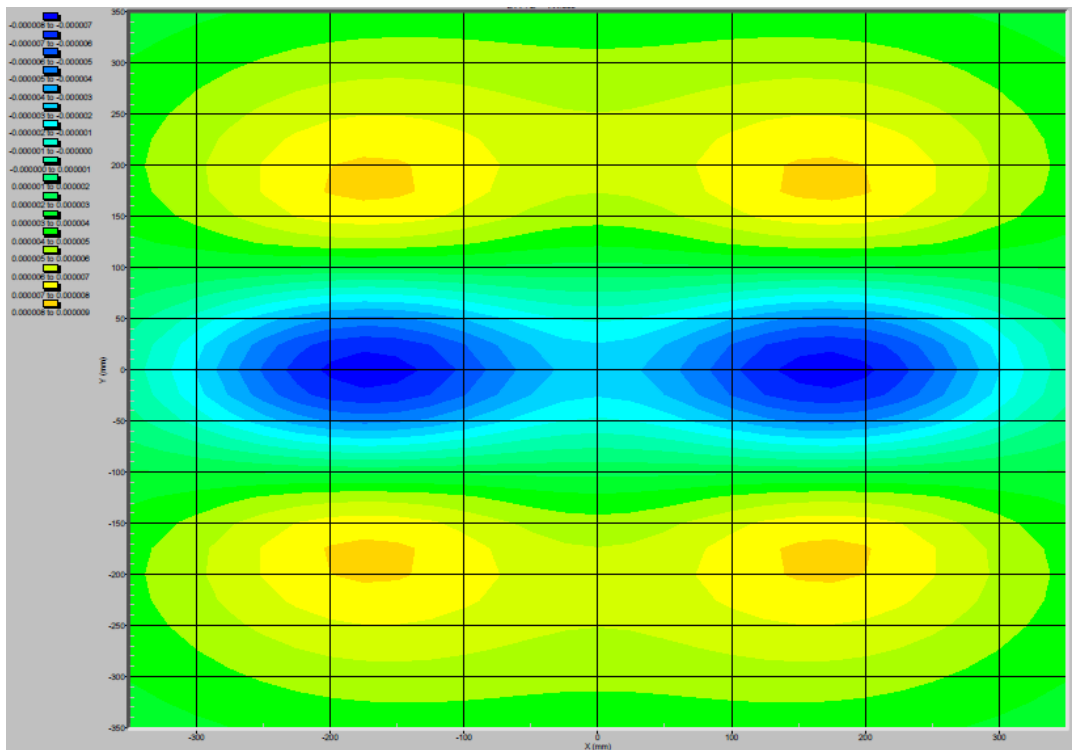
Slika 3.43 Kolnička konstrukcija 4 - naprezanja u YY smjeru AB sloja (ljet)



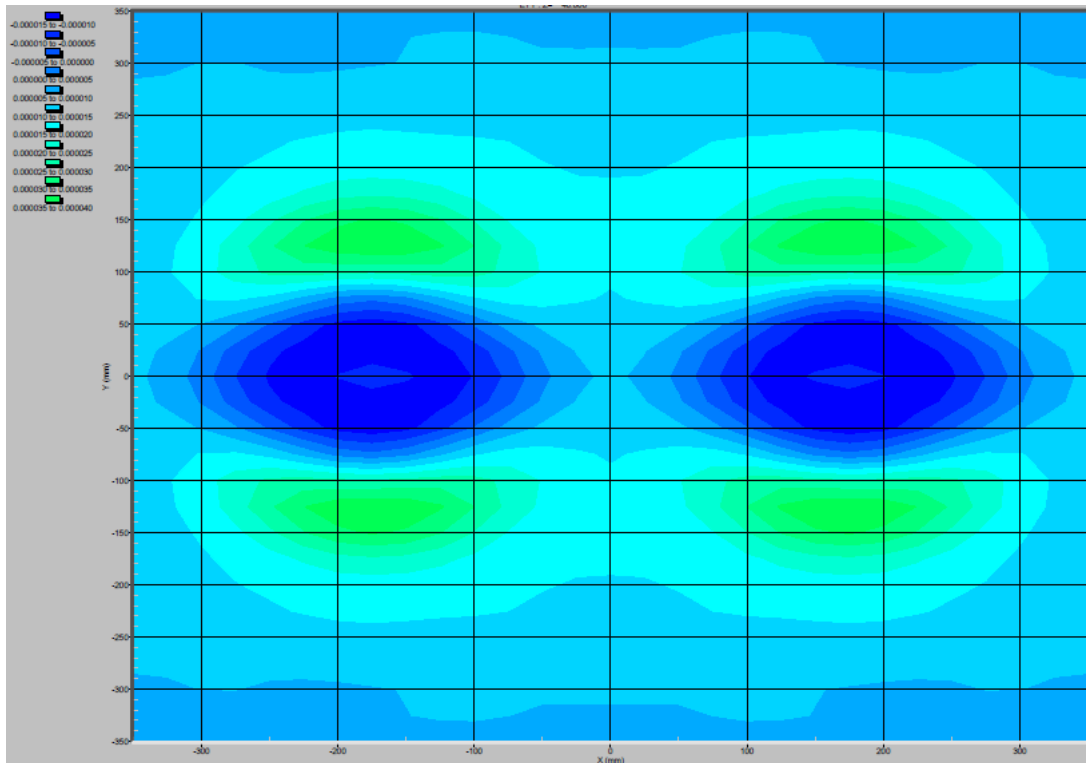
Slika 3.44 Kolnička konstrukcija 4 - naprezanja u YY smjeru BNS sloja (ljet)



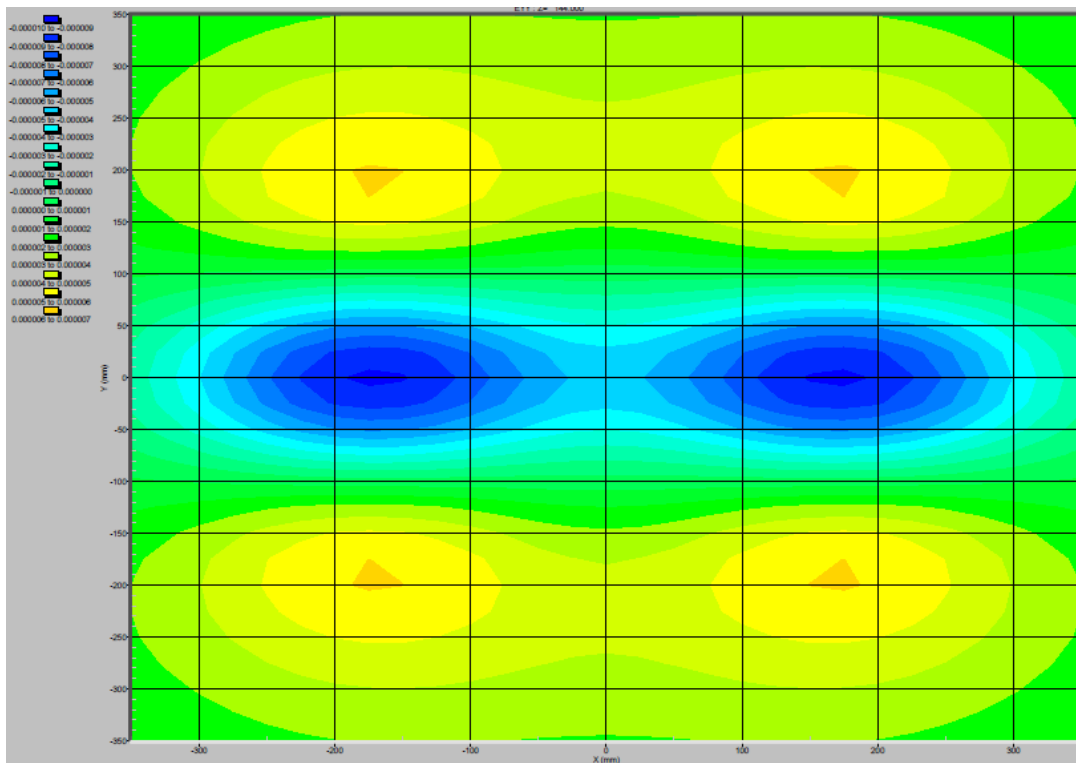
Slika 3.45 Kolnička konstrukcija 4 - naprezanja u YY smjeru AB sloja (proljeće/jesen)



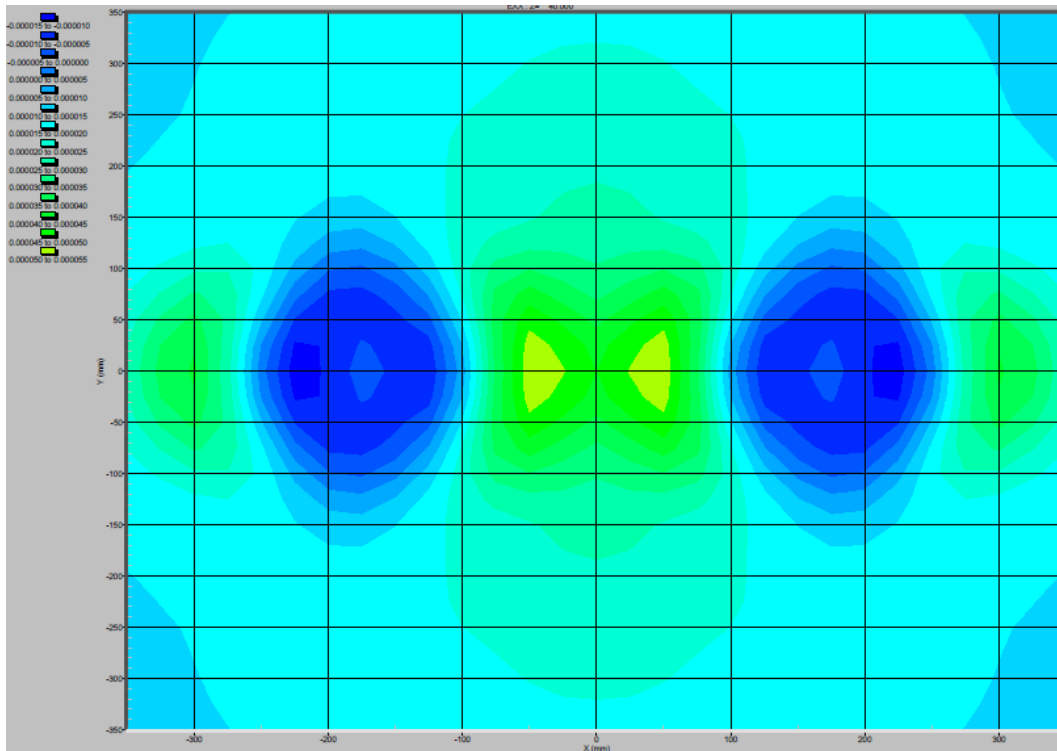
Slika 3.46 Kolnička konstrukcija 4 - naprezanja u YY smjeru BNS sloja (proljeće/jesen)



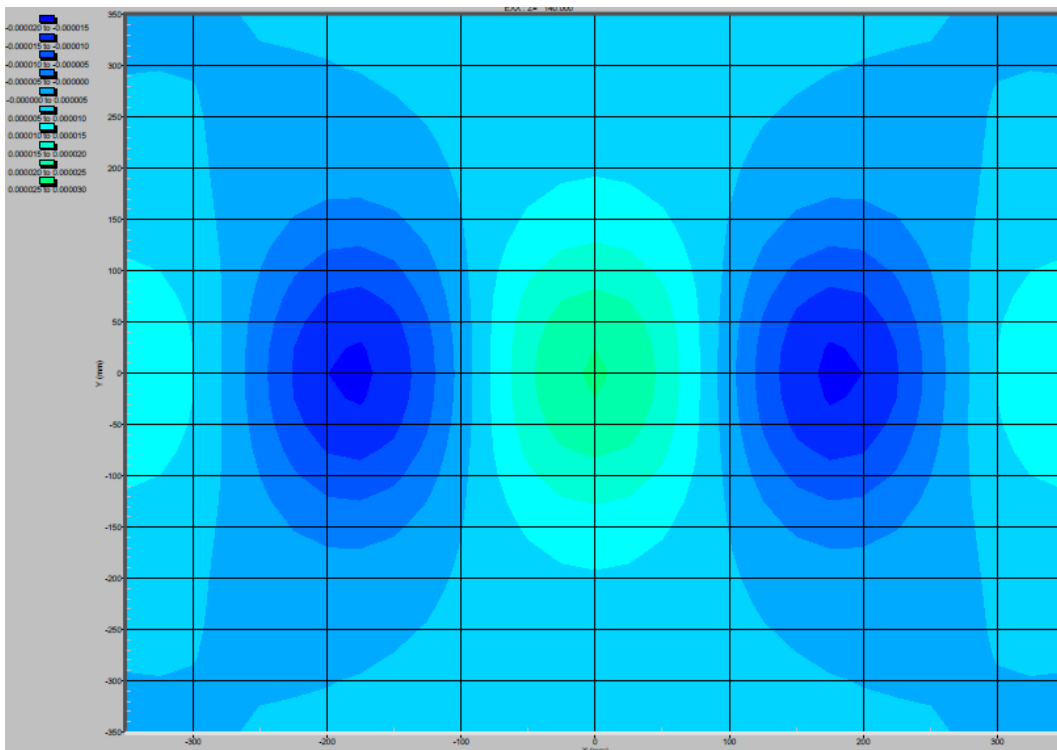
Slika 3.47 Kolnička konstrukcija 4 - naprezanja u YY smjeru AB sloja (zima)



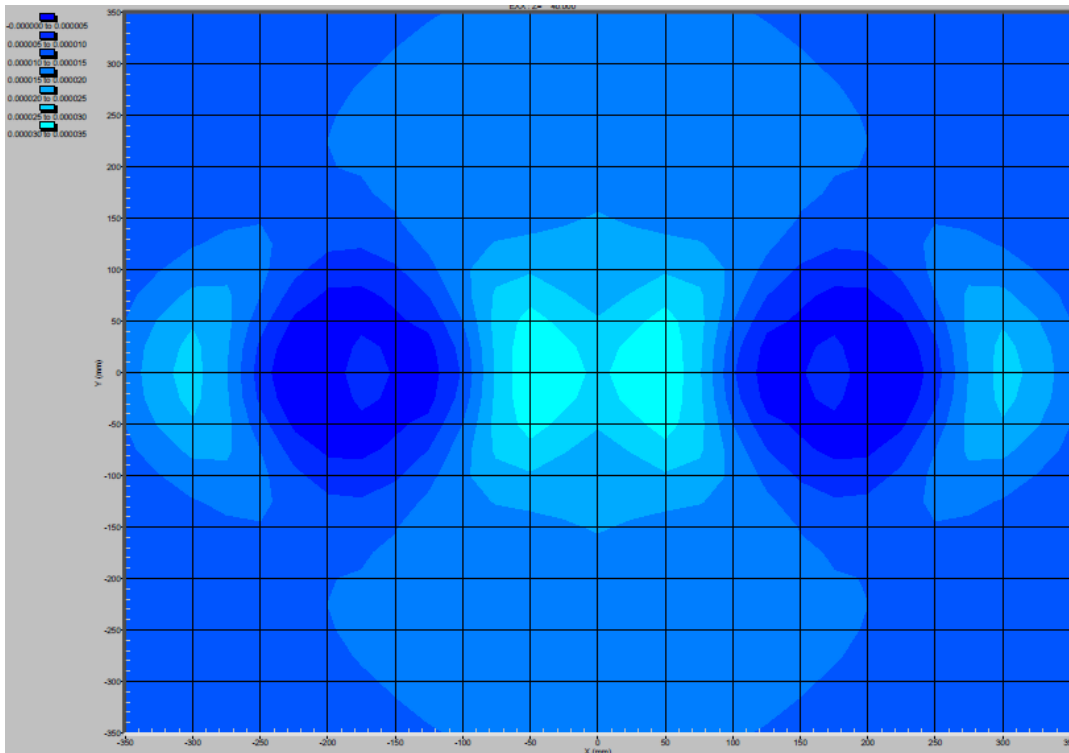
Slika 3.48 Kolnička konstrukcija 4 - naprezanja u YY smjeru BNS sloja (zima)



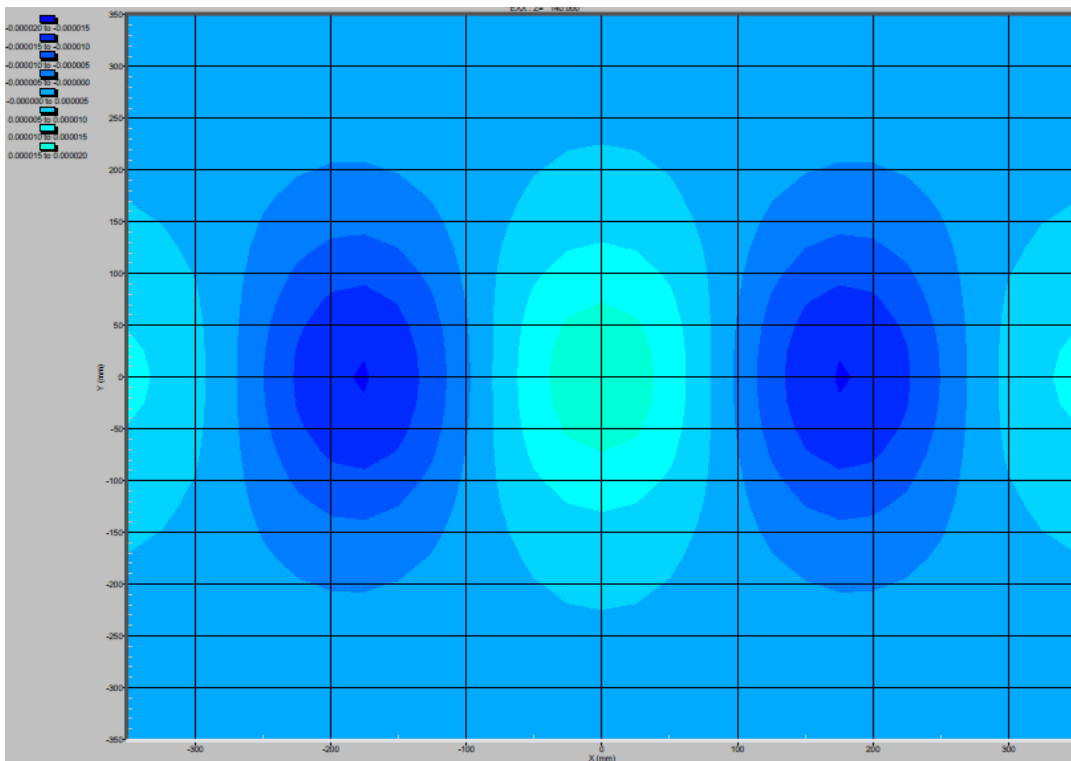
Slika 3.49 Kolnička konstrukcija 5 - naprezanja u XX smjeru AB sloja (ljet)



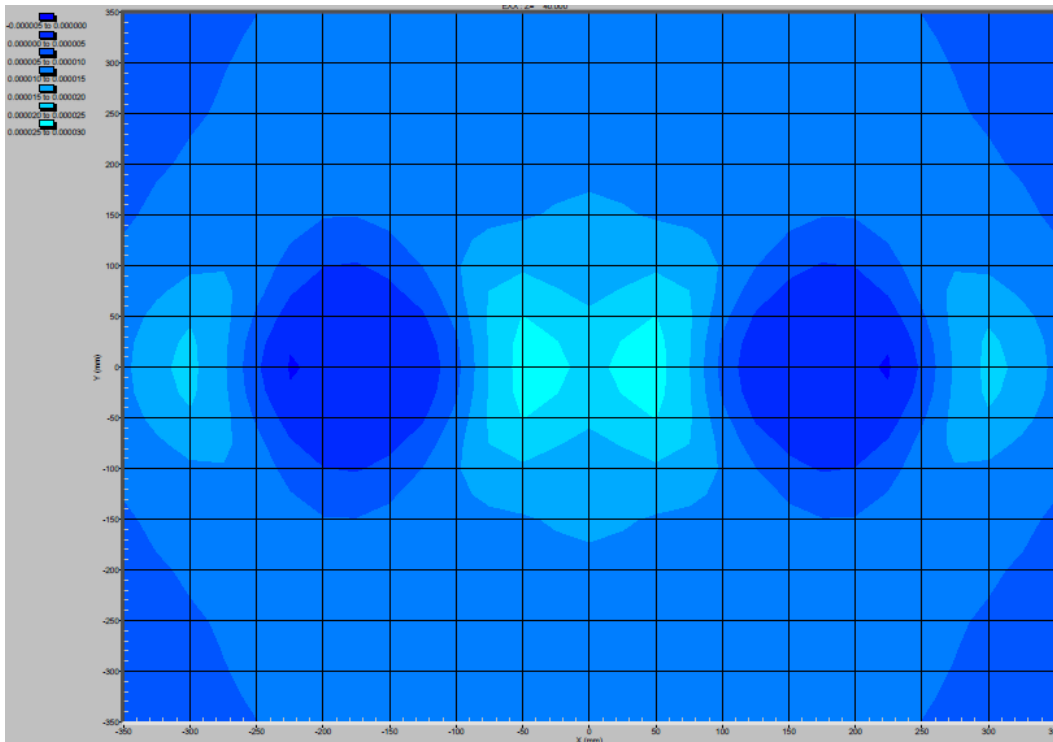
Slika 3.50 Kolnička konstrukcija 5 - naprezanja u XX smjeru BNS sloja (ljet)



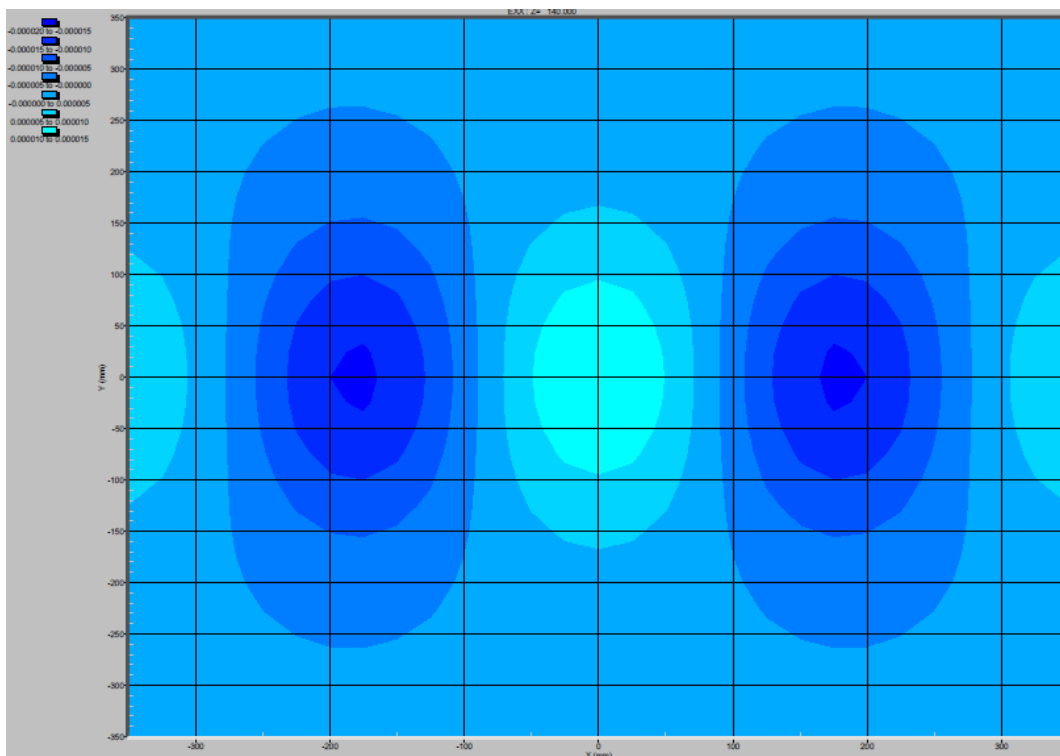
Slika 3.51 Kolnička konstrukcija 5 - naprezanja u XX smjeru AB sloja (proljeće/jesen)



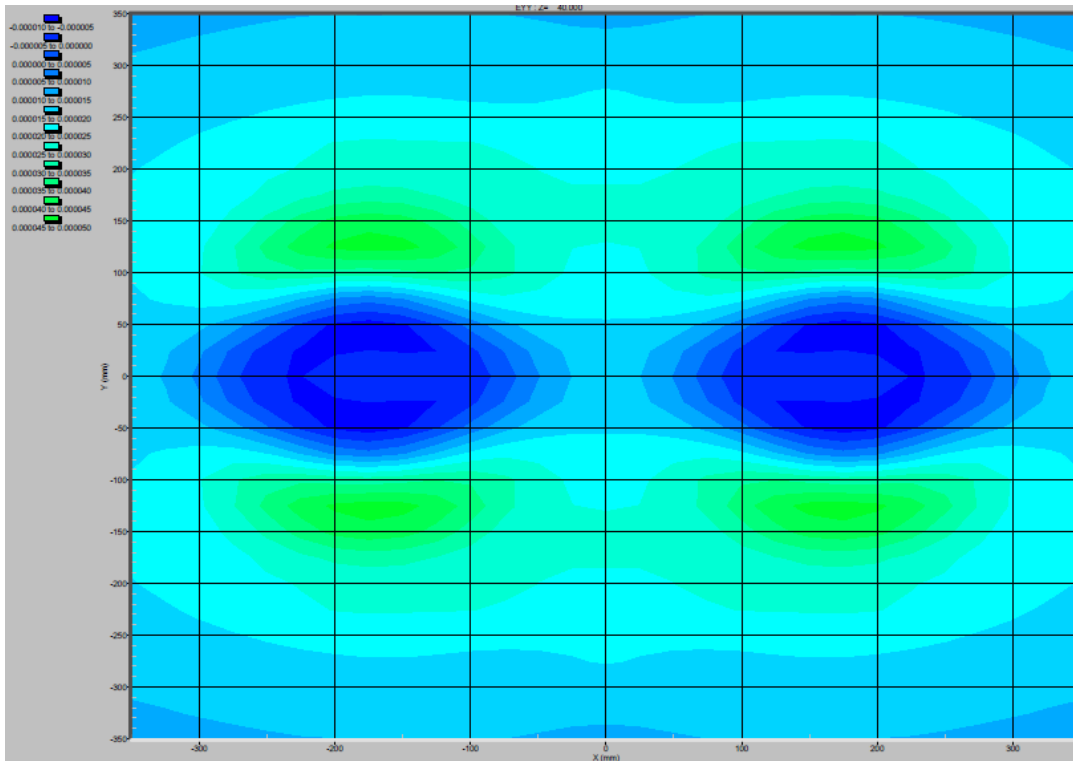
Slika 3.52 Kolnička konstrukcija 5 - naprezanja u XX smjeru BNS sloja (proljeće/jesen)



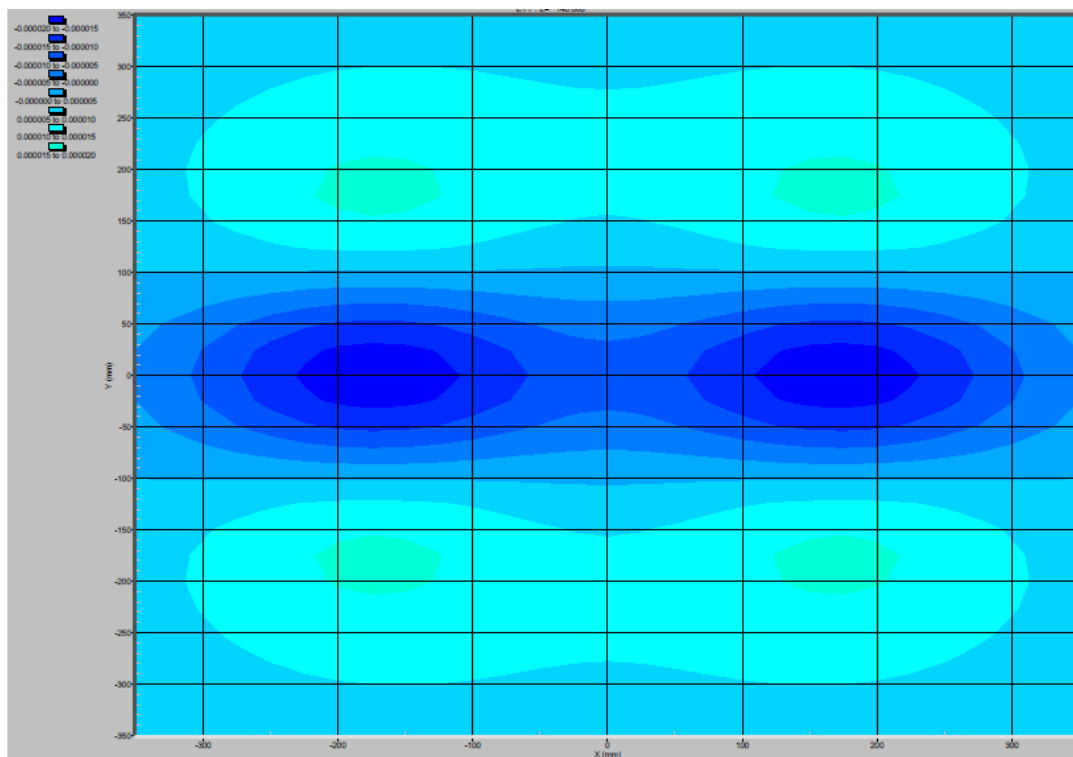
Slika 3.53 Kolnička konstrukcija 5 - naprezanja u XX smjeru AB sloja (zima)



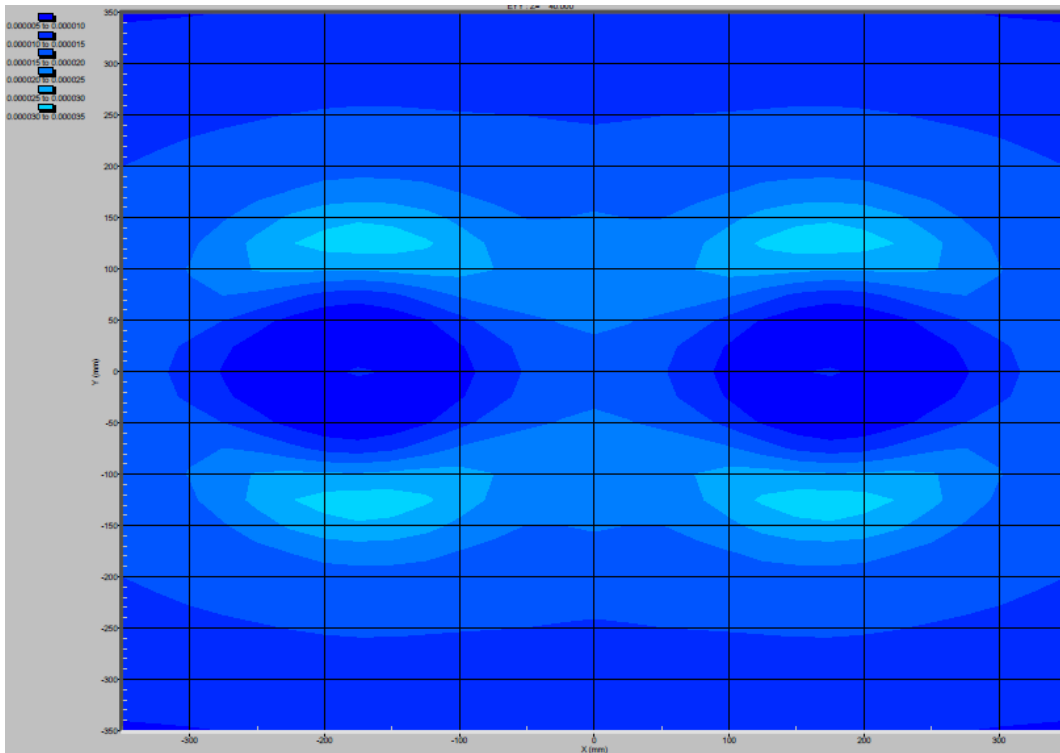
Slika 3.54 Kolnička konstrukcija 5 - naprezanja u XX smjeru BNS sloja (zima)



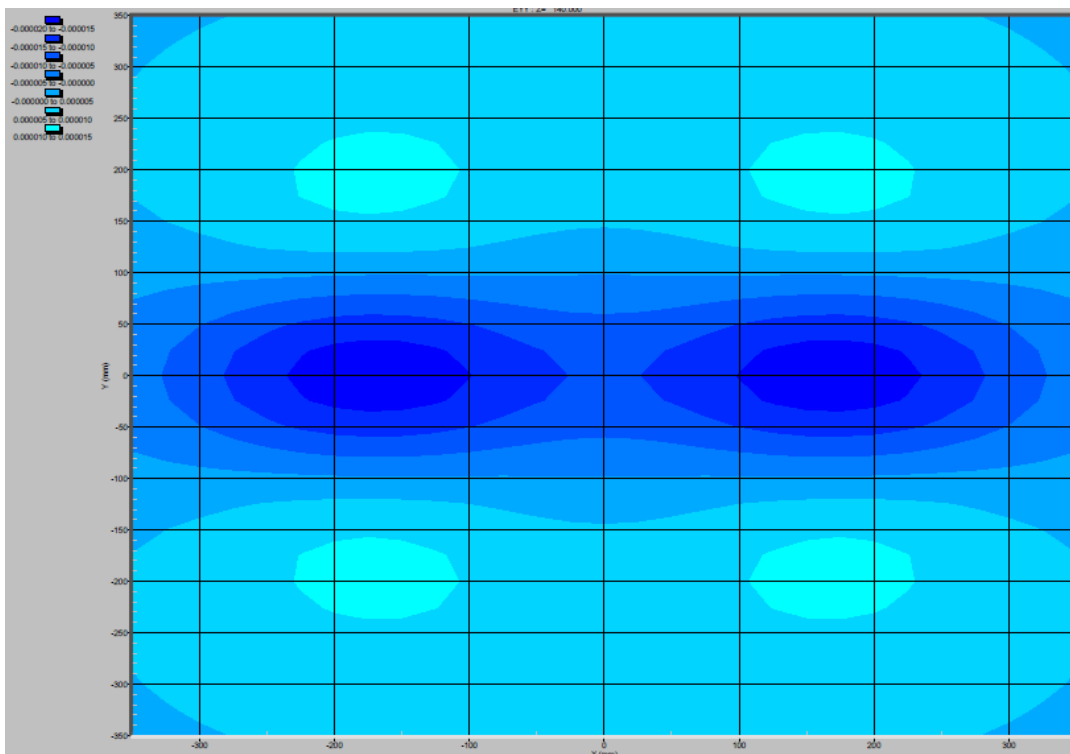
Slika 3.55 Kolnička konstrukcija 5 - naprezanja u YY smjeru AB sloja (ljet)



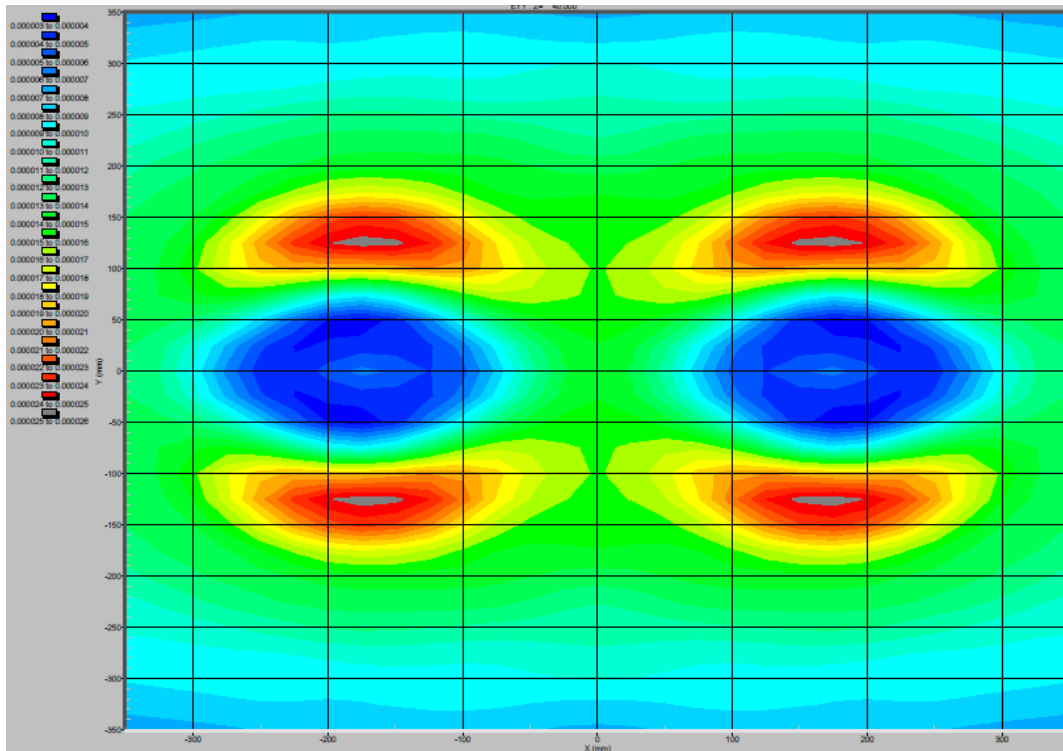
Slika 3.56 Kolnička konstrukcija 5 - naprezanja u YY smjeru BNS sloja (ljet)



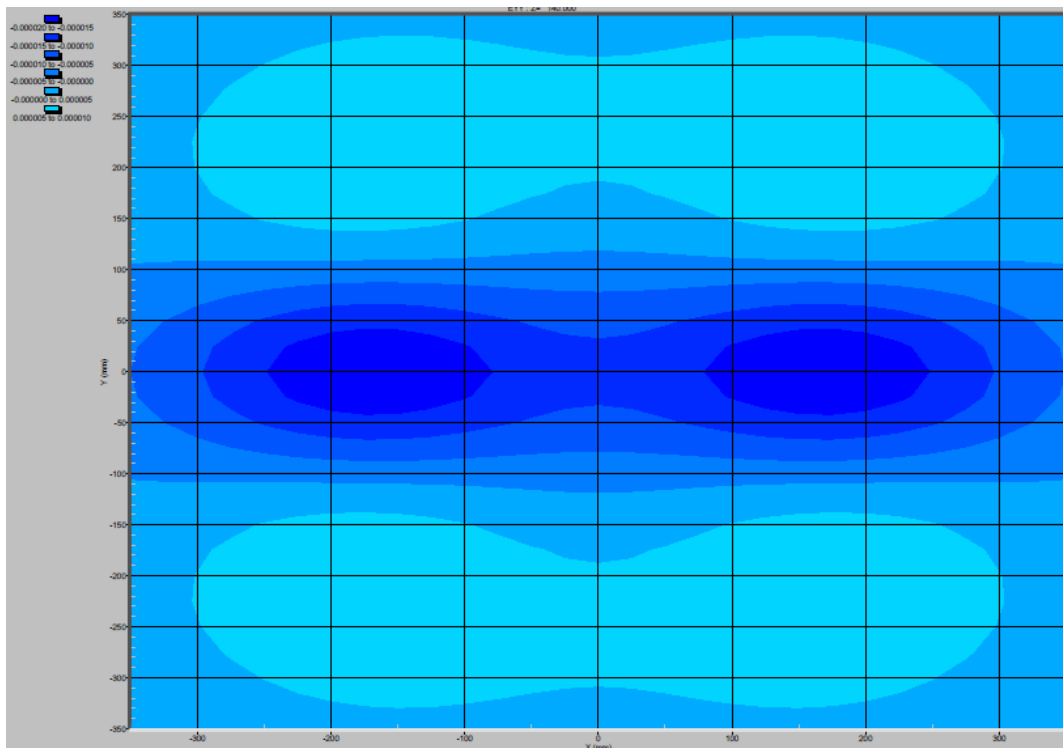
Slika 3.57 Kolnička konstrukcija 5 - naprezanja u YY smjeru AB sloja (proljeće/jesen)



Slika 3.58 Kolnička konstrukcija 5 - naprezanja u YY smjeru BNS sloja (proljeće/jesen)



Slika 3.59 Kolnička konstrukcija 5 - naprezanja u YY smjeru AB sloja (zima)



Slika 3.60 Kolnička konstrukcija 5 - naprezanja u YY smjeru BNS sloja (zima)