

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Būvniecības fakultāte
Transporta un mašīnzinības fakultāte

Amjad Khabaz

**AR ĪSĀM ŠĶIEDRĀM STIEGROTU BETONU KVAZI-PLASTISKO
PLĪSUMU ANALĪZE**

**Promocijas darba kopsavilkums
Darbs iesniegts "RTU P-04" promocijas padomē**

Zinātniskais vadītājs
Dr. sc. ing., profesors
Andrejs Krasņikovs

Rīga 2009

UDK (.....)
EI

Khabaz A. Ar īsām šķiedrām stiegrotu betonu kvazi-plastisko plīsumu analīze. Promocijas darba kopsavilkums.-R.:RTU, 2009.-pp....

Iespiests saskaņā ar RTU Mehānikas Institūta 2009.gada lēmumu, protokola Nr.....

ISBN

SATURS

VISPĀRĒJA INFORMĀCIJA PAR PROMOCIJAS DARBU	4
Tēmas nozīme	4
Pētījumu mērķis	4
Pētījumu metodika	5
Pētījumu priekšmets	5
Pētījumu zinātniskā novitāte	5
Pētījumu praktiskā nozīme	6
Promocijas darba uzbūve	7
Rezultātu aprobācija un publikācijas	7
PROMOCIJAS DARBA SASTĀVS	7
SECINĀJUMI	10
A. KHABAZ PUBLIKĀCIJU SARAKSTS	10
ATSAUCES	11

VISPĀRĒJA INFORMĀCIJA PAR PROMOCIJAS DARBU

Tēmas nozīme

Pēdējos gados novērojama fibrobetona attīstība, šis kompozītmateriāls tiek veiksmīgi izmantots dažādās būvniecības objektos. Konkurētspējīgas izmaksas un formu veidošanas iespējas rosina domāt par fibrobetona izgatavošanas tehnoloģijas attīstīšanu, kas būtu piemērota gan dažāda veidu šķiedru lietošanai, gan dažādu īpašību betona matricām.

Pēdējos gados ir būtiski augusi būvniecībā ikdienā izmantotā betona spiedes pretestība. Betons ar spiedes stiprību 50-60 MPa, kas nesen tika uzskatīts par augstas stiprības betonu mūsdienās tiek aizvietots ar 120-150 MPa stipru betonu, piemēram, debesskrāpju un citās augsti noslogotās konstrukcijās. Diemžēl, jo lielāka ir betona stiprība, jo trauslāks ir tā sabrukums. Efektīvs paņēmieni šī trūkuma novēršanai ir īsu tērauda šķiedru pievienošana betona maisījumam. Kamēr parastais betons saplaisā jau pie mazām deformācijām, fibrobetons spēj uzņemt slodzi arī pēc plaisu parādīšanās pateicoties spriegumu pārnesšanas mehānismam caur šķiedrām. Būvniecībā visbiežāk izmantotās šķiedras ir no tērauda vai arī no nemetāliskiem materiāliem – stikla šķiedra, oglekļa šķiedra, aramida šķiedra. Šis pētījums veltīts, lai eksperimentāli izpētītu ar stikla, oglekļa un tērauda šķiedrām stiegtu betona izgatavošanas tehnoloģijas, formēšanas paņēmienus un fibrobetona mehāniskās stiprības īpašības.

Pētījumu mērķis

Pētījumu mērķis ir ar īsām šķiedrām stiegrotā betona mehānisko un tehnoloģisko īpašību izpētīšana. Parametru izpēte, kas iespaido fibrobetona mehānisko un konstruktīvo darbu, kā arī izgatavošanas tehnoloģija, kas nodrošina vienmērīgu šķiedru izkliedi pa betona tilpumu un nodrošina šķiedru iemaisīšanu bez mehāniskiem bojājumiem ir darba pamatproblēmas.

Pētījumu metodika

Eksperimentālie pētījumi tika veikti saskaņā ar nacionālajiem standartiem un starptautiskām rekomendācijām attiecībā uz šķiedru izraušanas un siju lieces eksperimentiem. Pētījumā tiek pielietotas arī vairākas teorētiskās metodes, pēc kurām iegūtie parametrus var salīdzināt ar eksperimentāli iegūtajiem un prognozēt to ietekmi uz galvenajām mehāniskajām un fizikālajām fibrobetona īpašībām.

Šķiedru izraušanas (pull-out) eksperimenti stikla, oglekļa un taisnām tērauda šķiedrām ir precīzi mikromehānikas eksperimenti, kuriem nepieciešams ievērot precizitātes prasības un nodrošināt piemērotus paraugu izgatavošanas un eksperimentālās testēšanas apstākļus. Tas pats tika attiecināts arī uz lieces eksperimentos izmantotajiem paraugiem.

Pētījumu priekšmets

Fibrobetona iestrādājamības īpašību uzlabošana bija darbietilpīga un atrastie risinājumi labākām iemaisīšanas metodēm apkopotu šajā pētījumā kā rekomendācijas lai veicinātu maksimāli efektīvu šķiedru izmantošanu fibrobetonā. Šķiedru izraušanas mehānisms ir jāveic detalizēti, lai apzinātu visus svarīgākos parametrus un saprastu faktisko šķiedru darbību fibrobetonā.

Liektās fibrobetona sijās, plaisāšana sākas šķēlumā, kuram atbilst zemākais šķiedru daudzums. Tādēļ šis pētījums tika veikts ar mērķi uzlabot šķiedru efektīvu sadalījumu un izkliedi pa visu fibrobetona tilpumu un tādējādi uzlabot arī fibrobetona elementu lieces stiprību.

Noslēgumā tika noskaidroti parametri, kas tieši ietekmē fibrobetona mehāniskās un konstruktīvās īpašības.

Pētījumu zinātniskā novitāte

Speciāla slapjās iemaisīšanas ar vibrācijām tehnoloģija tika izstrādāta fibrobetoniem ar šķiedru (stikla un oglekļa) tilpuma daļu betonā $0 < V_f < 4\%$. Tika izstrādāts analītiskais modelis pētot atsevišķas šķiedras grimšanu betonā, kad tas tiek pakļauts vibrācijām, kurš tika skaitliski aprēķināts un novērtēts stikla, oglekļa un tērauda šķiedrām. Eksperimentāli tika konstatēts, ka izmantojot sausās iemaisīšanas paņēmieni nav iespējams nodrošināt vienmērīgu šķiedru sadalījumu pa betona maisījuma tilpumu, kad šķiedru tilpuma daļa pārsniedz 0.4%.

Tika izveidoti analītiskie un skaitliskie (GEM) modeļi atsevišķai šķiedrai un šķiedru kūlim 2D un 3D gadījumā. Modeļi attiecināmi gan uz perfektu šķiedras un matricas kopdarbību, gan arī uz daļēji atdalītu šķiedras un matricas saskarsmes virsmu, kā arī uz šķiedru un šķiedru kūļu izslīdēšanas procesu, izmantojot dažādus berzes koeficientus, šķiedrai slīdot pa betona virsmu un slīdot pa apkārt esošo šķiedru virsmu (kūlī). Iegūtie mikro-mehānisko parametru skaitliskie rezultāti tika salīdzināti ar eksperimentālajiem rezultātiem. Tika noteikts, ka stikla šķiedras un betona virsmas berzes koeficients ir vienāds ar 0.2, kritiskais vienas šķiedras garums ir 1 mm un kritiskais šķiedru kūļa garums ir 10 mm. Tika noteikts šķiedru izraušanas spēks un pārvietojums atsevišķai šķiedrai un šķiedru kūlim.

Tika izstrādāts konstruktīvo plaisu prognozēšanas modelis, kas raksturo materiāla kvazi-plastisko darbu. Modelis bāzēts uz atsevišķu šķiedru un šķiedru kūļu izraušanas eksperimentālajiem datiem. Tādējādi var tikt noteikta fibrobeta stiprība un pēc plaisāšanas darbība. Modelētie rezultāti tika salīdzināti ar eksperimentāli pārbaudītu fibrobeta siju eksperimentu datiem. Modelis efektīvi ļauj prognozēt fibrobeta siju mehāniskās īpašības un ļauj noteikt nepieciešamo šķiedru daudzumu fibrobeta atkarībā no nepieciešamās stiprības un plaisāšanas izturības.

Pētījumu praktiskā nozīme

- a- Izstrādāta iemaisīšanas **tehnoloģija** stikla, oglekļa un tērauda šķiedrām fibrobeta, izmantojot slapjo iemaisīšanas paņēmienu. Zināšanas par maisījuma granulometriju fibrobeta
- b- Izstrādāti skaitliskie **modeļi**: atsevišķas šķiedras grimšana beta; 2D un 3D mikro-mehāniskam izraušanas procesam atsevišķai šķiedrai; modelis šķiedru kūļa izraušanai no beta; makro plaisu prognozēšanas modelis.
- c- Iegūti **skaitliski rezultāti** izmantojot iepriekš minētos modeļus. Zināma stikla, oglekļa un tērauda šķiedru kustība (grimšana) beta, pieliekot ārējās vibrācijas. Iegūti **skaitliskie rezultāti** par šķiedru un šķiedru kūļu izraušanas spēku, pārvietojumu un spriegumiem.

Promocijas darba uzbūve

Šajā promocijas darbā ir kopsavilkums, 6 nodaļas, secinājumi un 2 pielikumi. Darbā ir 281 lpp., 197 attēli, 16 tabulas, atsauču sarakstā ir minēti 32 darbi.

Rezultātu aprobācija un publikācijas

Promocijas darba pētījumu rezultāti prezentēti un publicēti starptautiskās konferencēs un semināros:

- Latvijas Betona Savienības 18.Zinātniski tehniskā konference, Rīgas Tehniskā universitāte, 2009.gada 28.maijā.
- Promocijas padomes RTU P-06 seminārā 2009.gada 27.maijā.
- RTU Transporta un mašīnzinību fakultātes Mehānikas institūta seminārā 2009.gada 25.maijā.
- RTU Starptautiskajā zinātniskajā konferencē 2008.gada 15.oktobrī.
- Latvijas Betona Savienības 17.Zinātniski tehniskā konference 2008.gada 12.jūnijā.
- 15. Starptautiskajā zinātniskajā konferencē MECHANICS OF COMPOSITE MATERIALS, 2008.gada 26-30 maijam. Rīgā, Latvijā.
- RTU Transporta un mašīnzinību fakultātes Mehānikas institūta seminārā 2008.gada 4.martā.
- *5th International Conference Fiber Concrete 2009 Technology, Design, Application, 17th – 18th September 2009, Prague.*

Galvenie slēdzieni iekļauti vienā patenta pieteikumā un 7 zinātniskajās publikācijās.

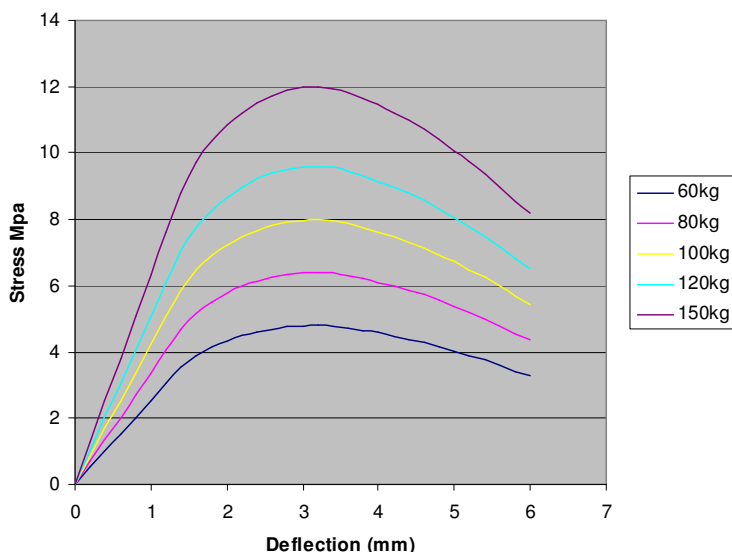
Visbeidzot, pētījums tika veikts kā daļa no ES finansēta starptautiska projekta „Sustainable Construction of Underground Transport Infrastructures (SCOUT)”. Projekta rezultāti tika izmantoti 4 reģionālos zinātniskos projektos.

PROMOCIJAS DARBA SASTĀVS

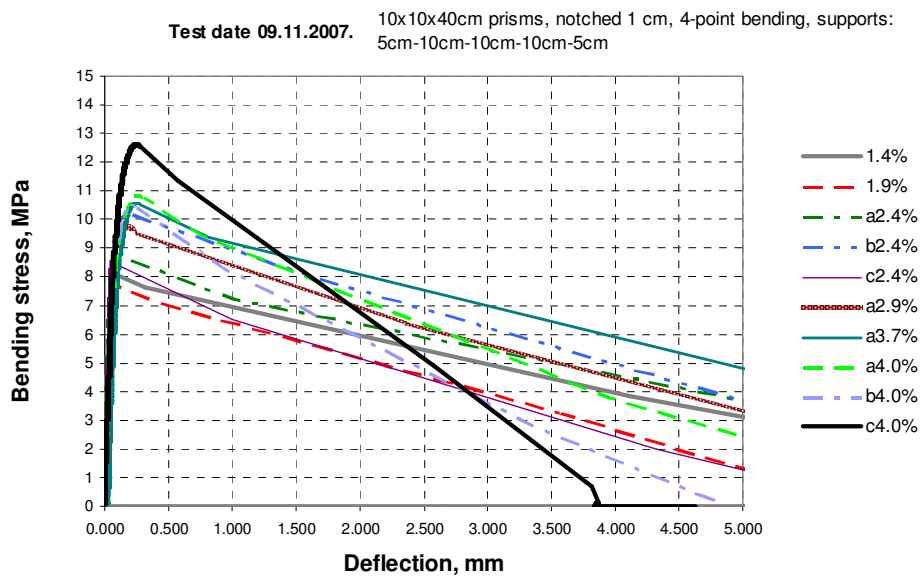
Promocijas darba sastāvā ir 7 nodaļas, pirmā no tām veltīta literatūras apskatam kas atspoguļo sākotnējo informāciju, kas bija pieejama pirms pētījumu veikšanas. Iegūtā informācija bija izejas punkts pētījumā ietverto problēmu definēšanā, balstoties uz jau veiktiem fibrobetona pētījumiem un tajos iegūtajiem rezultātiem un secinājumiem attiecībā uz

pielietošanas iespējām un materiāla izmantošanas priekšrocībām. Otrajā nodaļā aprakstītas fibrobeta maisījuma iemaisīšanas un formēšanas problēmas un kā tās tika atrisinātas, piedāvājot jaunu šķiedru iemaisīšanas tehnoloģiju. Trešajā nodaļā aprakstīti fibrobeta paraugu mikro-mehāniski un makro-mehāniski pētījumi, kas veikti gan ar eksperimentālam gan ar skaitliskām metodēm. Prezentēta jauna metodika ar kuras palīdzību iespējams noteikt faktisko šķiedras un betona matricas berzes koeficientu. Tādējādi šķiedru izraušanās mehānisms tiek pilnībā izprasts un izanalizēts.

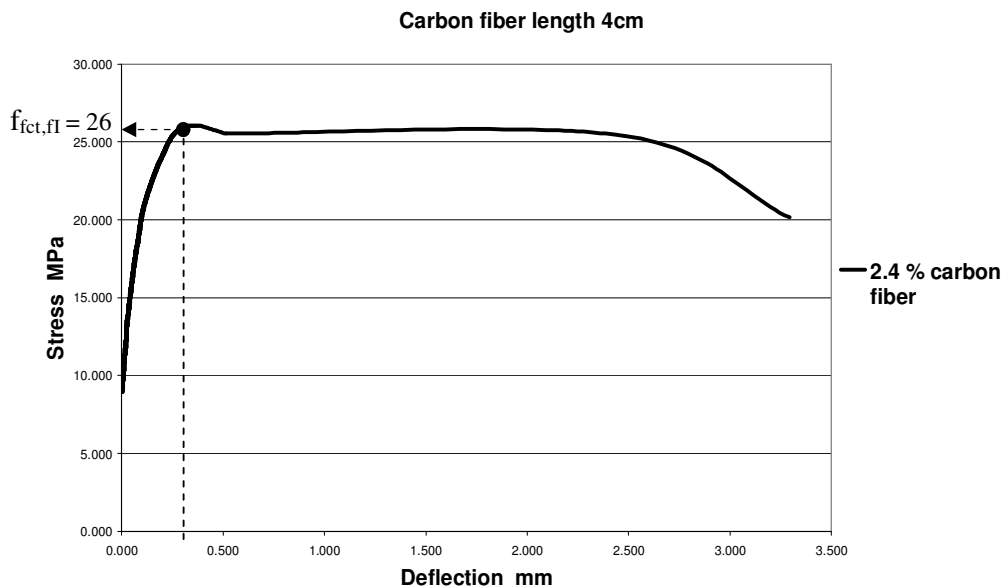
Ceturtnā nodaļa veltīta eksperimentāliem fibrobeta siju paraugu pētījumiem. Eksperimentālie rezultāti salīdzināti ar teorētiskajiem rezultātiem. Piektajā nodaļā apkopoti rezultāti, kas balstīti uz jaunu izstrādātu fibrobeta elementu konstruktīvās darbības prognozēšanas metodi. Modelējot tiek prognozēta fibrobeta siju paraugu darbība un tā tiek salīdzināta ar faktiskajiem siju lieces eksperimentu rezultātiem. Sestajā nodaļā aplūkoti šobrīd visbiežāk izmantotie standarti un projektēšanas rekomendācijas attiecībā uz fibrobetonu. Esošie standartu un rekomendāciju dokumenti salīdzināti ar promocijas darba pētījumos iegūtajiem rezultātiem un secinājumiem. Visbeidzot galvenie secinājumi tiek apkopoti septītajā nodaļā, kur arī izvirzīti papildinoši ieteikumi esošajiem standartiem, kas virzīti uz vienota Eiropas normatīva izstrādāšanu fibrobeta konstrukcijām.



1.att. Spriegumu – izlieces diagrammas tērauda šķiedru fibrobeta sijām 4 punktu liecē ar dažādiem šķiedru daudzumiem betona sastāvā
Tērauda šķiedru garums 6 mm, diametrs 0.16 mm



2.att. Spriegumu – izlieces diagrammas stikla šķiedru fibrobetona sijām 4 punktu lieces slogojumā (šķiedru daudzums no 1.4% to 4% pēc betona tilpuma, šķiedru garums 12mm



3.att. Oglekļa šķiedru fibrobetona darbība lieces slogojumā. Spriegumu – izlieču diagramma

SECINĀJUMI

- Uzlabota stikla šķiedru fibrobeta iemaisīšanas tehnoloģija.
- Stikla šķiedru sastāvu var palielināt no 0.4% līdz 4% pēc tilpuma.
- Ērta iemaisīšana un ieklāšana, izmantojot vibrēšanas paņēmienus.
- Berzes koeficients stikla šķiedrām betona matricā, saskaņā ar pētījumu rezultātiem vienāds ar 0.2.
- Kritiskais vienas stikla šķiedras garums noteikts vienāds ar 1mm, stikla šķiedru kūlim kritiskais garums vienāds ar 10mm.
- Esošajās rekomendācijās uzrādītie koeficienti stikla šķiedru fibrobeta ir jāmaina. Ieteikums lietot $\eta_2 = 0.25$ uzrādītā 0.4 vietā.
- Skaitliskais modelis plīsumu darbības prognozēšanai tika izstrādāts, iegūstot labu korelāciju ar eksperimentālajiem pētījumiem.
- Promocijas darba pētījumu rezultāti var papildināt esošos standartus un rekomendācijas.

A. KHABAZ PUBLIKĀCIJU SARAKSTS

Patenti:

1. *V.Lapsa, A.Krasnikovs, M.Eiduks, A.Khabaz, "Rotācijas reometrs", Latvijas patents Nr. 13919, 10 oktobris, 2007.*

Publikācijas:

1. *A. Krasnikovs, A. Khabaz, G.Shahmenko and V. Lapsa. "GLASS AND CARBON FIBER CONCRETE MICROMECHANICAL AND MACROMECHANICAL PROPERTIES", Sc. Proceedings of Riga Technical University, Transport and Engineering, 6 Vol.28, Latvia, 2008, p.132-141.*

2. A.Krasnikovs, A. Pupurs and A. Khabaz. “ *Mechanical Behaviour of Fibre reinforced Concrete With Glass, Steel and Carbon Fibers*”, *Book of Abstracts: MCM-2006 15th International Conference on Mechanics of Composite Materials, May 26-30, 2008, Riga, Latvia, P.155.*
3. V.Lapsa, A.Krasnikovs, A.Khabaz and I.Klavinsh. “*Steel Fibre Reinforced Concrete with Oriented Fibers*”, *Book of Abstracts: MCM-2006 15th International Conference on Mechanics of Composite Materials, May 26-30, 2008, Riga, Latvia, P.163.*
4. A.Krasnikovs, A.Khabaz and O.Kononova,. “ *Numerical 2D Investigation of Non-metallic (glass and carbon) Fiber Micro-mechanical Behavior in Concrete Matrix*”, *Sc. Proceedings of Riga Technical University, Architecture and Construction Science (Submitted for publication 2009).*
5. G.Shahmenko, A.Krasnikovs and A. Khabaz. " *Concrete Matrix Mechanical Properties Influence on Fibre Reinforced Concrete Mechanical Behaviour* “, *Proceedings of 5th International Conference Fibre Concrete2009 Technology, Design, Application, 17th – 18th September 2009, Prague P.231-236.*
6. A.Krasnikovs, O.Kononova and A. Khabaz. “*Fracture and Post-cracking Behaviour Prediction for Glass and Carbon Fibre Reinforced Concrete Construction Members*”, *Proceedings of 5th International Conference Fibre Concrete2009 Technology, Design, Application, 17th – 18th September 2009, Prague P.161-166.*
7. A.Krasnikovs, O.Kononova, A.Khabaz and J. Viba. “*Fiber concrete non-linear fracture control through fresh concrete flow numerical simulation*”, *Accepted for publication in “International Journal of Vibroengineering” ISSN 1392-8716 (September 2009).*

ATSAUCES

1. *Fachvereinigung Faserbeton e.V.-, " Glassfibre reinforced concrete: practical design and structural analysis/"*, Beton-Verl., 1995

2. *EC Proposal N° CRAFT-BES2-5315 / Contract N° BRST-CT98-5232, " Structural applications of glass-fibre reinforced concrete components (STRUCTA-GRC) ", Project Coordinator: Dott. Ing. Giuseppe PERSANO ADORNO – Istituto Giordano (IT)*
3. *<http://www.concretenetwork.com/glass-fiber-reinforced-concrete/mix.html>, " Mixes and Materials for GFRC "*
4. *http://en.wikipedia.org/wiki/Glass_fiber_reinforced_concrete, " Glass fiber reinforced concrete "*
5. *<http://www.concretecountertops.net/library.item.57/introduction-to-gfrc-glass-fiber-reinforced-concrete.html>, "Introduction to GFRC (Glass Fiber Reinforced Concrete)"*
6. *G.B. Kim K. Pilakoutas and P. Waldron , article" Finite element analysis of thin GFRC panels reinforced with FRP", Construction and Building Materials Volume 23, Issue 2, February 2009, Pages 930-942*
7. *P. Purnell *, J. Beddows,article, " Durability and simulated ageing of new matrix glass fibre reinforced concrete ", Cement & Concrete Composites 27 (2005) 875–884*
8. *D. Hull and T. W. Clyne," An Introduction to Composite Materials ", Second Edition,1996, Cambridge University Press*
9. *Peter Bartos, article," Review paper: Bond in fibre reinforced cements and concretes", The International Journal of Cement Composites, Volume 3, Number 3, August 1981*
10. *prEN 1170-1 to 8: Test methods for glassfibre reinforced cement, Sept. 1993.*
11. *Fibrous Concrete, Concrete International, The Construction Press, Lancaster, 1980.*

12. *Manual for Quality Control For Plants and Production of Glass Fibre Reinforced Concrete Products*, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, 1991.
13. *RILEM Symposium 1978, Testing and Test Methods of Fibre Cement Composites*, edited by N. R. Swamy, The Construction Press, Lancaster, 1978.
14. *Bund Güteschutz Beton- und Stahlbetonfertigteile e. V.: Vorläufige Richtlinien für die Prüfung und Güteüberwachung von Erzeugnissen aus Faserbeton*, Ausgabe 1985.
15. Marita L. Berndt, Aristodimos J. Philippacopoulos, article, "Incorporation of fibres in geothermal well cements", *Geothermics* 31 (2002) 643–656.
16. B. Mobasher and Cheng Yu Li-I, "Effect of Interfacial Properties on the Crack Propagation in Cementitious Composites ", *Advn Cem Bas Mat* 1996;4:93-105.
17. A.Krasnikovs V.Lapsa and M.Eiduks, "NON-TRADITIONAL REINFORCEMENT FOR CONCRETE COMPOSITES - STATE OF THE ART ", Riga Technical University, Latvia, 2007.
18. Atef Badra, Ashraf F. Ashourb, Andrew K. Platten, Article, "Statistical variations in impact resistance of polypropylene fibre-reinforced concrete ", *International Journal of Impact Engineering* 32 (2006) 1907–1920.
19. <http://www.chem.wisc.edu/~newtrad/CurrRef/BDGTopic/BDGtext/BDGGraph.html>.
20. G.Shahmenko, J.Birsh. " Application of method of multi-objective optimization for concrete mix design ", – *Scientific Proceedings of RTU*. 2, vol., 4. Riga, 2003., P. 224.-232.
21. B.R.Maidl, " *Steel Fiber Reinforced Concrete* ", Ernst &Ysohn, 1995.
22. J.Viba, *Academic scientific lectures, Faculty of Transport and Mechanical Engineering-RTU-Latvia*.

23. A. Zhamu, W.H. Zhong, J.J. Stone, " *Experimental study on adhesion property of UHMWPE fiber/nano-epoxy by fiber bundle pull-out tests*", *Composites Science and Technology*, Volume 66, Issue 15, 1 December 2006, Pages 2736-2742.
24. Esteves, Mário A. Barbosa, " *Improving the adhesion of poly(ethylene terephthalate) fibers to poly(hydroxyethyl methacrylate) hydrogels by ozone treatment: Surface characterization and pull-out tests*", *Polymer*, Volume 46, Issue 23, 14 November 2005, Pages 9840-9850
Lino Ferreira, Marta B. Evangelista, M Cristina L. Martins, Pedro L. Granja, José L.
25. B. Banholzer, W. Brameshuber, W. Jung, " *Analytical evaluation of pull-out tests—The inverse problem* ", *Cement and Concrete Composites*, Volume 28, Issue 6, July 2006, Pages 564-571.
26. Xiaolong Lu, Yi Zhang, Jiarui Xu, " *Influence of fiber morphology in pull-out process of chain-shaped fiber reinforced polymer composites* ", *Scripta Materialia*, Volume 54, Issue 9, May 2006, Pages 1617-1621.
27. Eng Ly, Mahmood Tabaddor, Charles Aloisio, Karofilis Konstadinidis, Tim Goddard, Karl I. Jacob, " *Coating failure in the pull-out of a multiply-coated optical fiber* ", *Polymer Testing*, Volume 24, Issue 8, December 2005, Pages 953-962.
28. J. Brandstetter, K. Kromp, H. Peterlik, R. Weiss, " *Effect of surface roughness on friction in fibre-bundle pull-out tests* ", *Composites Science and Technology*, Volume 65, Issue 6, May 2005, Pages 981-988.
29. A.Krasnikovs, " *Modeling The Non-Linear Fracture of Steel Fibre Reinforced Concrete*", *Presentation of MCM international conference, Riga Technical University, 26-30 May, 2008, Riga-Latvia.*

30. *W.C. Tang, T.Y. Lo, R.V. Balendran, "Bond performance of polystyrene aggregate concrete (PAC) reinforced with glass-fibre-reinforced polymer (GFRP) bars", Article, Building and Environment, 2006.*
31. *Jongsung Sim, Cheolwoo Park*, Do Young Moon, "Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures", Article, Composites: Part B 36 (2005) 504–512, Available online 9 June 2005.*
32. *S. Frondistou-Yannas, " Flexural strength of concrete with randomly oriented glass fibers", Magazine of concrete research : Vol. 29, No. 100 : September 1977.*

**PROMOCIJAS DARBS
NOMINĒTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI
RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai publiski prezentēts un aizstāvēts 2009.gada Rīgas Tehniskajā universitātē TM Fakultātē, Rīgā, Ezermalas 6, Telpā

OFICIĀLIE RECENZENTI

Asoc. Profesors, Dr.sc.ing. A. Januševskis
Rīgas Tehniskā Universitāte, Mehānikas institūts

Akadēmiķis J. Jansons
Latvijas Zinātņu akadēmijas viceprezidents,
Polimēru mehānikas institūta direktors

Profesors, Dr.sc.ing. A. Korjakins
Rīgas Tehniskā Universitāte,
Būvmateriālu prof. grupas vadītājs

APSTIPRINĀJUMS

Es šeit apstiprinu, ka esmu šī promocijas darba autors, kurš tiek nodots izskatīšanai Rīgas Tehniskajā Universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav ticis iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Amjad Khabaz(Paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, tajā ir kopsavilkums, 6 nodaļas, secinājumi, 2 pielikumi, 197 attēli, 16 tabulas, kopumā 281 lpp. Atsaucēs ir 32 darbu saraksts.