

Slutrapport till SBUF - Ärende nr 11777

Brandteknisk dimensionering av träkonstruktioner

(Ursprunglig rubrik Brandsäkra trähus 3)

Redovisning i relation till ansökan till SBUF juni 2007

Ändringar

Projektets titel och delar av syftet ändrades efter det att SBUF beviljat ansökan, på grund av önskemål från projektets huvudfinansiär Vinnova. Vinnova ville endast finansiera forskningsdelarna, men inte framtagning av en ny handbok. Projektets ändrades därför till Brandteknisk dimensionering av träkonstruktioner.

De tekniska delarna är desamma som i ursprunglig ansökan.

Mål

Projektets specifika mål enligt reviderad ansökan till Vinnova är

- ✓ Beräkningsmodeller för bärförmågan vid brand hos massiva träkonstruktioner, främst limmade flerskiktselement och lätta träkonstruktioner, typ I-reglar och balkar
- ✓ Beräkningsmodell för brandmotstånd hos trätrappor
- ✓ Utökade möjligheter att använda höga träfasader
- ✓ Specifiering av brandegenskaper hos trätak enligt europeisk metodik
- ✓ Dimensionering av brandstopp inuti träkonstruktioner
- ✓ Fakta om träbaserade beklädnaders brandskyddande funktion av bakomliggande materialskikt (t ex isolering)
- ✓ Specifiering av egenskaper och beständighet hos brandskyddat trä, särskilt vid utomhusanvändning
- ✓ Tekniska byten vid installation av boendesprinkler
- ✓ Rekommendationer för brandskyddsdokumentation av byggobjekt, särskilt höga trähus
- ✓ Rekommendationer för brandskydd på byggarbetsplatser

Dessa mål är i princip identiska med ansökan till SBUF (punkten C Genomförande).

Redovisning

Resultatredovisningen enligt reviderad ansökan till Vinnova skall följa ovan nämnda mål, medan redovisningen i ansökan till SBUF relaterades till kapitel till den nya handboken. Det tekniska innehållet är i praktiken detsamma.

Resultaten sammanfattas i bifogade dokument

- Slutrapport till Vinnova, sid 3
- Publikationslista, sid 10

Projektet har bl a lett till att:

- Brandmotståndet kan beräknas för fler typer av träkonstruktioner, dvs behovet av dyra provningar har minskat
- Träprodukter har bevisats uppfylla nya europeiska krav på brandskydd av bakomliggande skikt i en konstruktion
- Nya brandstopp inuti konstruktioner har dokumenterats
- Möjligheterna att använda trätrappor i utrymningsvägar har ökat
- Yttertak av trä har bevisats uppfylla europeiska brandkrav
- System för väderbeständighet hos brandskyddat trä har utvecklats
- Ny metodik har utvecklats, som ökar möjligheterna att använda mer trä genom s k tekniska byten vid installation av sprinkler
- Riktlinjer för brandskyddsdokumentation av höga trähus har tagits fram
- All ny information ska ingå i en ny version av handboken Brandsäkra trähus 3, som tas fram i nordisk-baltisk samverkan

Ekonomi i relation till ansökan till SBUF juni 2007

Kostnader (i kkr):

Delpjekt	Ansökan	Utfall
Beräkning av bärförmågan vid brand hos massiva limmade flerskiktselement och lätta träkonstruktioner, typ I-reglar och balkar *	Ansökt inom WW-N	1 650
Beräkning av brandmotstånd hos trätrappor (för t ex utrymningsvägar)	500	320
Modellering av brandspridning längs höga träfasader	700	55
Bestämning av brandegenskaper hos trätak enligt europeisk metodik	300	475
Dimensionering av brandstopp inuti träkonstruktioner	700	450
Bestämning av beklädnaders brandskyddande funktion av bakomliggande materialsikt *	500	660
System för beständighet hos brandskyddat trä, särskilt utomhus	300	430
Tekniska byten vid installation av boendesprinkler *	500	300
Riktlinjer för branddokumentation av byggobjekt	300	200
Riktlinjer för brandskydd på byggarbetsplats *	400	670
Koordinering		540
Summa	4 200	5 750

* ingår i samverkande projekt

Finansiering (i kkr):

Finansiär	Kontanta bidrag		
	Ansökan	Utfall	
Vinnova	1 500	3 700	
CBBT	500	500	
TCN	500	500	inkl Martinsons och Setra
TMF	100	100	
Byggmaterialtillverkare	600	450	Gyproc, Isover, Knauf, Masonite, Paroc
Byggföretag	500	500	SBUF/NCC
Brandforsk	500	0	
Summa	4 200	5 750	

Dessutom har deltagande företag bidragit med eget arbete för att medfinansiera Vinnovas andel, som får uppgå till högst 50 % av totala kostnader.

Slutrapport
för
Vinnova projekt 2008-00395

Brandteknisk dimensionering av träkonstruktioner

per 2010-09-30

Projektöversikt

Syfte och mål

Projektet Brandteknisk dimensionering av träkonstruktioner ska utveckla och tillämpa ny metodik för att beräkna och karakterisera brandegenskaperna hos trämaterial och träkonstruktioner samt göra resultaten lätt tillgängliga för olika målgrupper.

Förväntade effekter och resultat

Projektet kommer att resultera i ny kunskap om brandsäkert träbyggande som sprids till marknadens aktörer. Därmed kompletteras träbyggandets miljöfördelar med säkerhetskunnande som efterfrågas inte minst på exportmarknader, vilket bidrar till att ett förnybart byggnadsmaterial får ökad acceptans. Resultaten ska spridas till olika industriella och vetenskapliga målgrupper både nationellt och internationellt samt implementeras i europeisk standardisering.

Uppläggning och genomförande

Arbetet har utförts främst av forskare vid SP Trätek. Utförarna har omfattande erfarenhet av nationellt och internationellt arbete inom brandområdet och kommer dessutom att inleda nya samarbeten med svenska högskolor och universitet, främst VXU och LTU, för informationsöverföring. Arbetet bedrivs i nära samverkan med företrädare för trä-, bygg- och byggmaterialindustri. Referensgruppen består av deltagande industrier och forskare och har Anders Paulsson, Bjerking, som ordförande.

Samarbetspartners och samfinansiärer

Deltagande industrier är fyra industrigrupper, elva byggmaterialtillverkare, tre trähusföretag samt fyra ledande konsultföretag, dvs totalt 22 företag och organisationer.

Projekttid

2008-04-01 – 2010-09-30 enligt Vinnovas beslut inkl förlängning beviljad av Vinnova.

Mål

Projektets specifika mål är

1. Beräkningsmodeller för bärförmågan vid brand hos massiva träkonstruktioner, främst limmade flerskiktselement och lätta träkonstruktioner, typ I-reglar och balkar
2. Beräkningsmodell för brandmotstånd hos trätrappor
3. Utökade möjligheter att använda höga träfasader
4. Specifiering av brandegenskaper hos trätak enligt europeisk metodik
5. Dimensionering av brandstopp inuti träkonstruktioner och av installationer
6. Fakta om träbaserade beklädnaders brandskyddande funktion av bakomliggande materialskikt (t ex isolering)
7. Specifiering av egenskaper och beständighet hos brandskyddat trä, särskilt vid utomhusanvändning
8. Tekniska byten vid installation av sprinkler
9. Riktlinjer för branddokumentation av byggobjekt med särskild hänsyn till höga trähus
10. Rekommendationer för brandskydd på byggarbetsplatser

Läge vid projektet slut 2010-09-30

Projektet beviljades 2008-05-04. Startmöte med alla parter hölls 2008-05-27. Därefter har åtta projektmöten har hållits, det sista den 22 september 2010. Datum har anpassats till lägesrapporter till Vinnova.

Verksamhetsplan och samarbetsavtal har utarbetats och undertecknats av alla parter och sänts in till Vinnova den 2008-08-30 enligt kraven i beslutsbrevet. Lägesrapporter i relation till verksamhetsplanen har sänts in vid fyra tillfällen, den sista 2010-06-30.

Projektet har strukturerats i fyra delprojekt för att nå projektmålen enligt ovan:

A. Konstruktioner

- A-1 Bärförmåga vid brand hos nya typer av träkonstruktioner
- A-2 Dimensionering av brandstopp inuti träkonstruktioner och av installationer
- A-3 Bestämning av beklädnaders brandskyddande funktion av bakomliggande materialskikt
- A-4 Vindar och takfötter (ny del enl möte 20 nov 2008)

B. Brandkrav för trätrappor

- B-1 Brandkrav för trappor i utrymningsvägar

C. Material

- C-1 Begränsning av brandspridning längs höga träfasader
- C-2 Bestämning av brandegenskaper hos yttertak av trä enligt europeisk metodik
- C-3 Egenskaper och beständighet hos brandskyddat trä, särskilt utomhus

D. System

- D-1 Tekniska byten vid installation av sprinkler
- D-2 Riktlinjer för branddokumentation av byggobjekt med särskild hänsyn till höga trähus
- D-3 Rekommendationer för brandskydd på byggarbetsplats.

Slutrapport per delprojekt i relation till verksamhetsplanen

Delprojekt A - Konstruktioner

Ansvarig: Jürgen König, Joachim Schmid

Deltagande industrier:

Bjerkings, Brandskyddslaget, Gyproc, Isover, Knauf Danogips, Martinsons, Masonite, SBUF/NCC, Paroc, Setra, Termoträ, Träskivor, Plusshus

A-1 Bärförmåga vid brand hos nya typer av träkonstruktioner

Ansvarig: Jürgen König; Medverkande: Joachim Schmid

Mål: Modeller för bärförmåga vid brand hos limmade flerskiktsskivor och hos I-element.

Resultat:

Beräkningsmetodiken i Eurokod 5 har vidareutvecklats för både limmade flerskiktselement och för lätta I-element. Strukturmekanisk analys har utförts i samarbete med VXU.

Modellerna har först verifierats i SP Träteks nya modellbrandugn. Verifierande fullskaleprovningar för massiva konstruktioner har genomförts i samarbete med Martinsons och Setra och pågår i ett samarbete med det italienska institutet IValsa. Fullskaleprovningar för I-element planeras tillsammans med Masonite Beams.

En databas över nedfallstider vid brand för olika typer av gipsskivor har initierats i ett examensarbete tillsammans med KTH, analyser bedrivits inom ramen för ett doktorandarbete för att kunna ge regler för beräkningsmetoder och Eurokod 5.

Arbetena har redovisats i rapporter, papers, konferensbidrag och i en populärvetenskaplig artikel på svenska.

A-2 Dimensionering av brandstopp inuti träkonstruktioner och av installationer

Ansvarig: Joachim Schmid; Medverkande: Jürgen König och Birgit Östman.

Mål: Enkla dimensioneringsregler för brandstopp och olika typer av installationer i träkonstruktioner.

Resultat:

Information om dimensionering av brandstopp har samlats in främst från en kommande tysk katalog. Resultaten redovisas i den nordisk-baltiska handboken Brandsäkra trähus 3.

A-3 Bestämning av beklädnaders brandskyddande funktion av bakomliggande materialskikt

Ansvarig: Birgit Östman

Mål: Klassificering av träpanelers och träbaserade skivors brandskyddande funktion enligt ny europeisk metodik (provning enligt EN 14135 och klassificering enligt EN 13501-2). Klass K₁10, K₂10, K₂ 30, och K₂ 60 bör kunna uppnås. Klassificeringen ska införas i de europeiska produktstandarderna för träpaneler EN 14915 och träbaserade skivor EN 13986 och kunna användas för CE-märkning.

Resultat:

Brandprovningen för klass K₂10 och K₂30 har slutförts och redovisats till CWFT-gruppen, som ännu inte lämnat något utlåtande. Det tekniska arbetet beräknas kunna slutföras under fjärde kvartalet 2010, men tidpunkter för de politiska besluten (i EGF European Group of Fire Experts, dess undergrupp för CWFT Classification Without Further Testing och SC Standing Committee on Construction kan vi inte påverka.

Resultaten hittills ingår i den europeiska handboken *Fire safety in timber buildings* och presenterades bl a vid Interflam 2010. Fullständiga resultat redovisas i en SP rapport samt i minst en artikel i en internationell brand- o/e trätidskrift. De ska också ingå i den nordisk-baltiska handboken.

A-4 Vindar och takfötter

Ny del som identifierades vid projektmötet den 20 november 2008.

Ansvarig: Joakim Norén. Medverkande: Jürgen König, Joachim Schmid och Birgit Östman.

Mål: Brandmotstånd uppifrån för vindsbjälklag ska uppmärksammas och goda exempel tas fram.

Resultat:

Konstruktionslösningar som uppfyller andra byggnadstekniska krav har bedömts även ur brandsynpunkt.

Principer för bedömning av brandmotstånd uppifrån hos vindsbjälklag har tagits fram och ska redovisas i den nordisk-baltiska handboken.

Delprojekt B – Brandkrav för trappor

Ansvarig: Joakim Norén; Medverkande: Jürgen König, Joachim Schmid och Birgit Östman.

Deltagande industrier:

Bjerkings, SCC Trätrappor, Snickarlaget och Tina Wik Arkitekter

B-1 Brandkrav för trappor i utrymningsvägar

Mål: Tolkning av myndighetskrav på trappor i utrymningsvägar. Arkitekters och byggherrars motiv för att använda trätrappor ska exemplifieras av deltagande företag.

Resultat:

Ett förslag till tolkning av vilken statisk last som ska användas vid dimensionering enligt BBR tolkning av övriga brandkrav för trappor och trapphus har tagits fram i separata möten med deltagande industrier. Förslaget har skickats till Boverket, som muntligt meddelat att de accepterar förslaget. De delar som avser ytskiktsskrav finns med i Boverkets förslag till nytt brandkapitel som varit på remiss sommaren 2010.

Tolkningen ska ingå i den nordisk-baltiska handboken.

Delprojekt C - Material

Ansvarig: Birgit Östman

Deltagande industrier:

Bjerkings, Brandskyddslaget, Isover, Knauf Danogips, Martinsons, Paroc, Setra, Termoträ, Träskivor, Plusshus

C-1 Begränsning av brandspridning längs höga träfasader

Ansvarig: Birgit Östman

Mål: Utökade möjligheter att använda höga träfasader.

Resultat:

Arbetet har koncentrerats på konstruktivt brandskydd. Idén om att befintliga system för solskydd även kan fungera som brandskydd har presenterats för Solskyddsföreningen, men har inte lett förväntat intresse att gå vidare. Delprojektet har därför avslutats. Idén föreslås för fortsatt arbete i ett separat projekt.

C-2 Bestämning av brandegenskaper hos yttertak av trä enligt europeisk metodik

Ansvarig: Lazaros Tsantaridis

Mål: Klassificering av trätaks brandegenskaper enligt europeisk metodik.

Resultat:

Först identifierades vilka typer av trätak som ska ingå. Några deltagande företag har bidragit med exempel på konstruktionslösningar. Brandprov enligt den nya europeiska metodiken har genomförts med olika typer av trätak. Proven visar att takens utformning är viktig för resultatet. Vissa konfigurationer kan klara kraven, men inte andra. Provningarna är slutförda och arbete pågår med att identifiera vilka taktyper som klarar kraven enligt europeisk metodik.

Resultaten redovisas i en provnings- och en klassifikationsrapport samt i populärvetenskaplig form. De ska även ingå i den nordisk-baltiska handboken.

C-3 Egenskaper och beständighet hos brandskyddat trä, särskilt utomhus

Ansvarig: Lazaros Tsantaridis

Mål: Vedertagna system för egenskaper och beständighet hos brandskyddade träprodukter.

Resultat:

Ett nytt nordiskt system med bruksklasser för beständigheten hos brandskyddat trä vid inom- och utomhusanvändning har tagits fram i tidigare projekt. Detta system har vidareutvecklats till en europeisk standard prEN 15912, som varit på remiss under 2009. Remissvaren har behandlats och en reviderad version av den europeiska standarden har tagits fram hösten 2010.

En enkel metod för att förutsäga europeisk brandklassning av brandskyddat trä enligt EN 13501-1 genom brandprovning i liten skala enligt konkalorimetern ISO 5660 har tagits fram. Arbetet presenterades vid Interflam 2010.

En hemsida för brandskyddat trä med dokumenterade egenskaper har etablerats, www.brandskyddattra.info .

Delprojekt D - System

Ansvarig: Birgit Östman

Deltagande industrier:

Bjerkings, Knauf Danogips, Martinsons, SBUF/NCC, Setra, Snickarlaget, Träskivor, Plusshus

D-1 Tekniska byten vid installation av sprinkler

Ansvarig: Birgit Östman.

Mål: Nordiska riktlinjer för tekniska byten vid installation av sprinkler.

Resultat:

Arbetet bedrivs i nordisk samverkan, framförallt tillsammans med norska aktörer, se sid 7. En nordisk standard inom INSTA för installation av boendesprinkler har tagits fram i ett parallellt projekt och blev klar 2009. Metodik för att verifiera tekniska byten genom riskanalyser har utvecklats i ett doktorsarbete vid Lunds tekniska högskola. Ett utkast till metodik var på nordisk remiss under hösten 2010. Rapporten blir klar i december 2010. Samtidigt ska metodiken provas och kontrolleras av några olika typiska användare. Slutresultatet förväntas bli en nordisk standard.

Sprinklerprestanda har sammanställts av Cowi i Norge. Skillnaden mellan boendesprinkler och konventionell sprinkler ingår.

Metodiken och några exempel på tekniska byten ska ingå i den nordisk-baltiska handboken.

D-2 Riktlinjer för brandskyddsdocumentation av byggobjekt med särskild hänsyn till höga trähus

Ansvarig: Birgit Östman

Mål: Riktlinjer för branddokumentation av höga trähus.

Resultat:

Ett drygt tjugotal branddokumentationer från höga trähus har samlats in och analyserats. En matris med relevanta och befintliga data har upprättats och kommer att utgöra basen för kommande riktlinjer. Slutresultatet är rekommendationer för att underlätta arbetet med branddokumentation för höga trähus. Arbetet har bedrivits som ett examensarbete och beräknas vara klart i november 2010.

Rekommendationerna ska ingå i den nordisk-baltiska handboken.

D-3 Rekommendationer för brandskydd på byggarbetsplats

Ansvarig: Birgit Östman

Mål: Rekommendationer för brandskydd på byggarbetsplats.

Resultat:

Arbetet startade med att strukturera behovet av rekommendationer. Därefter har målsättningen vidgats till att åstadkomma mer generella rekommendationer, som även ska inkludera brandskydd under ombyggnadsarbeten. SBUF har beviljat medel till Brandskyddslaget för att samarbeta med SP Träteknik. Resultatet blir en SP rapport med rekommendationer för brandskydd på byggarbetsplats.

Rekommendationerna ska ingå i den nordisk-baltiska handboken.

Samverkan med andra projekt:

Projektet bedrivs i nära samverkan med följande projekt:

- ✓ Det europeiska projektet **FireInTimber**, Fire resistance of Innovative Timber structures, finansierat inom programmet WoodWisdom-Net. 14 partners i nio länder.

Mål: Europeisk guideline *Fire safety in timber buildings*.

Delprojekt A-1 Bärförmåga vid brand i det svenska projektet ingår i FireInTimber och modelleringarna har finansierats huvudsakligen i det europeiska projektet, medan verifierande provningar i modellskala och full skala ingår i det svenska projektet.

Delprojekt A-2 Brandstopp drar nytta av det europeiska projektet. Delprojekten A-3, A-4 och B-D i det svenska projektet är helt fristående.

Den europeiska handboken presenterades vid ett välbesökt seminarium i Berlin i mars 2010. Handboken publiceras som en SP rapport. En åttasidig sammanfattning finns tillgänglig på sju språk.

- ✓ Det nordiska projektet **Brandsäkra trähus 3**, finansierat av NICE, Nordic Innovation Centre. 15 partners i sju länder.

Resultaten från det svenska projektet ska tillsammans med annan ny information användas i det nordiska projektet och i den kommande nordisk-baltiska handboken. Ett utkast var på remiss under sommaren 2010. Handboken kommer att publiceras på svenska 2011, vi måste bli avvakta Boverkets nya version av brandkapitlet i BBR.

- ✓ Det nordiska projektet **Tekniska byten vid installation av sprinkler** (*Fire safety design with sprinklers*), finansierat av bl a Brandforsk, SBUF, myndigheter och industrigrupper.

Arbetet bedrivs i nära samarbete med främst LTH och Cowi i Norge. Resultatet ska bli riktlinjer för tekniska byten som ska publiceras på nordisk nivå och även kunna användas på europeisk nivå. Den grundläggande LTH rapporten blir klar i december 2010.

Denna lägesrapport har diskuterats vid projektmöte den 22 september 2010.

Stockholm oktober 2010.

Anders Paulsson
Ordförande

Birgit Östman
Projektledare

Publikationer från projekt Brandteknisk dimensionering av träkonstruktioner

(Vinnova dnr 2008-00395) (varav några i samverkan med det europeiska projektet FireInTimber)

1. König J: *The reduced cross-section method for light timber frame construction with solid timber members*. SP Report 2009:46.
2. Blyberg L, Olsson A, Källsner B: *Fire exposed light-frame timber walls – A study on the effect of geometrical reduction of a vertically loaded I-section stud*. Rapport Nr 51, Växjö universitet 2009.
3. Schmid J, König J: *Cross-laminated timber in fire*. SP Report 2010:11.
4. Just A: *Post protection behaviour of wooden wall and floor construction completely filled with glass wool*. SP Report 2010:28
5. Just A, Schmid J, König J: *Gypsum plasterboards used as fire protection – Analysis of a database*. SP Report 2010: 29.
6. Just A, Schmid J, König J: *The effect of insulation on charring of timber frame members*. SP Report 2010: 30.
7. Schmid J, Just A: *Prediction of load bearing resistance of timber beams in fire*. SP Report 2010:46, 2010
8. Östman B: *Fire protection ability of wood products*. SP Report 2010: 67.
9. Bengtson S, Dittmer T, Rohlén P, Östman B: *Brandskydd på byggarbetsplats – Vägledning*. SP Rapport 2010:68.
10. Tsantaridis L: *Fire properties of wood as exterior roof according to ENV 1187*. SP Test Report, 2010.
11. Tsantaridis L: *Fire properties of wood as exterior roof according to ENV 1187*. SP Classification Report, 2010.
12. Östman B: *Fire performance of wood-based panels*. Chapter 1 in Performance in Use and New Products of Wood Based Composites. Ed. Mizi Fan et al, Brunel University. COST Office, 2009.
13. Nystedt F: *Verifying design alternatives in buildings with fire sprinkler systems*. Lunds tekniska högskola, Report 3150, 2010.
14. Wahlström V: *Brandskyddsdokumentationer för höga trähus – Sammanställning, analys och förslag till riktlinjer*. Examensarbete X7002B, Brandingenjörsprogrammet, LTU, 2010.
15. Östman B: *Utvidgad europeisk brandklassning av träskivor*. Bygg & teknik 6/09, 2009.
16. Schmid J: *Nya modeller för att beräkna brandmotstånd hos träkonstruktioner*. Bygg & teknik 6/10, 2010.

Tillgängliga endast på papper (p g a copyright)

17. Tsantaridis L, Östman B: *Eco-efficient high fire performance wood-based products by chemical modification*. Proc 4th European Conf on Wood Modification, Ed Englund et al. Stockholm, 2009.
18. Schmid J, König J, Köhler J: *Design model for fire exposed cross-laminated timber*. Proc of the sixth International conference Structures in Fire, Lancaster, US, 2010.
19. Just A, Schmid J, König J: *Failure times of gypsum plasterboards*. Proc of the sixth International conference Structures in Fire, Lancaster, US, 2010.
20. Schmid J, König J, Köhler J: *Fire-exposed cross-laminated timber – Modelling and tests*. Proc WCTE 2010, Trentino, 2010.
21. Just A, Schmid J, König J: *Failure times of gypsum plasterboards*. Proc Interflam 2010, UK.
22. Östman B: *Fire protection ability of wood products – A status report*. Proc Interflam 2010, UK.
23. Tsantaridis L, Östman B, Hakkarainen T: *Euroclass predictions for developing wood based products with improved fire performance*. Proc Interflam 2010, UK.
24. Schmid J, König J, Köhler J: *Design model for fire exposed cross-laminated timber*. CIB-W18, 2010.
25. Östman B, Mikkola E: *European classes for the reaction to fire performance of wood-based panels*. Fire and Materials, 315-332, 2010.
26. Frangi A, König J: *Effect of increased charring on narrow side on rectangular cross-sections exposed on three or four sides (unprotected members) and charring of protected members*. Accepted for publication in Fire and Materials, 2010.
27. Just A, Schmid J, König J: *Gypsum plasterboards used as fire protection – Analysis of a database*. Submitted to Fire Safety Journal, 2010.
28. Tsantaridis L, Östman B: *Durability of the reaction to fire performance for FRT wood products at exterior applications – a ten year report*. Submitted to XII DBMC Conference, 2011.