



Pentagona ēka, kam 11. septembra terorakstos sagrāva tikai vienu segmentu.

Būvnormatīvu prasības konstrukciju progresējošā sabrukuma novēršanai



Normunds Tirāns,
Dr. sc. ing.,
SIA IG Kurbads
būvinženieris



Jans Veļičko,
Mg. sc. ing.,
SIA IG Kurbads
būvinženieris

Otrajā rakstā par progresējošo sabrukumu turpinām iepriekšējā *Būvinženiera* numurā aizsākto tēmu, analizējot būvnormatīvu prasības tā novēršanai.

Ēkas vai būves sabrukumu uzskata par progresējošu, ja viena konstruktīvā elementa sabrukums izraisa citu elementu sabrukumu un kopējais sabrukušais konstrukcijas apjoms vai laukums ir ievērojami lielāks par sākotnējās avārijas apjomu vai laukumu.

Pienākumu inženieriem paredzēt pasākumus progresējošā sabrukuma novēršanai vidēja un liela izmēra ēkām paredz gan Latvijā spēkā esošie Eirokodeksi, gan arī citi pasaules būvkonstrukciju projektēšanas standarti un normatīvi.

Galvenais kritērijs ir nevis ēkas izmērs, bet gan nozīmīgums, un galu galā nonākam pie secinājuma – jo augstāka ēka, jo lielākas prasības progresējošā sabrukuma novēršanai. Atšķirīgi būvnormatīvi paredz dažādas prasības, tomēr kopīgs ir tas, ka trīs un četrus stāvus augstām sabiedriskajām ēkām un piecstāvu dzīvojamajiem namiem prasības kļūst ievērojamāki nopietnākas.

Projektēšanas stratēģija

Patlaban būvkonstrukciju projektēšanas praksē tiek lietota noteikta stratēģija un metodika ēku progresējošā sabrukuma novēršanai:

1) konstrukcijas segmentācija un dališana mazākos neatkarīgos fragmentos – tā ir efektīva, bet daudzos gadījumos grūti īstenojama stratēģija, īpaši daudzstāvu būvēm (Pentagona ēka attēlā – izteikts piemērs);

2) atslēgas elementu (*Key element*) paredzēšana – kopējo ēkas stiprību un stabilitāti nodrošinošiem elementiem (atslēgas elementiem) tiek plānota palielināta nestspēja, kas ir pietiekama iedomājamo ārkārtēju slodžu uzņemšanai. Parasti atslēgas elementi ir kolonnas, sienas un citi karkasa elementi, un ar ārkārtēju slodzi tiek saprasts trieciens, ko izraisa sprādziens. Eirokodeksos šī slodze ir 34 kPa (3,4 t/m²) uz sienas kvadrātmetru. Šis ir pārliciecināts, tomēr ļoti dārgs risinājums.

Jāņem vērā, ka 34 kPa spiediena vērtība Eirokodeksos ir *mantojums* no vecākas paaudzes būvnormatīviem un atbilst *vidējam gāzes sprādzienam*. Ir izstrādātas speciālas metodikas, kur sniegtas gan lielākas, gan mazākas sprādziena spiediena vērtības atkarībā no daudziem faktoriem. Atslēgas elementiem jāspēj uzņemt ne tikai sprādziena slodzes, bet arī citas avārijas iedarbes;

3) alternatīvu slodžu ceļu metode – izņem ēkas elementus (atsevišķus atslēgas elementus) – kolonnas vai sienu posmus – un veic statiskos un dinamiskos aprēķinus, lai pārbaudītu konstrukcijas kopējo stabilitāti ārkārtas situācijā. Šī metode ir neaizstājama tā saukto nestandarta būvju progresējošā sabrukuma novērtēšanai, bet ir sarežģīta un darbietilpīga, tādēļ *standartsituācijām* tiek meklētas alternatīvas;

4) saitēšanas metodes – ēkas konstrukcijām atbilstoši standartu noteikumiem tiek paredzētas saites, kas spēj uzņemt stiepes spēkus un *uzkarināt* ēkas daļu kāda konstruktīva elementa sabrukuma brīdī uz citām nesabrukušajām daļām.



Attēlā redzama pilna izmēra slodzes pārbaude konstrukcijai, kuras progresējošā sabrukuma novēršana organizējama pēc saistīšanas metodes, aprēķiniem izmantojot alternatīvu slodžu ceļu metodi. Attēls no ascelibrary.org

Saitēšana ir visbiežāk piemērotā metode ēku konstrukciju nodrošināšanai pret progresējošu sabrukumu. Saitēšanas un alternatīvu slodžu ceļu metode ir līdzīga – tiek paredzēts, ka konstrukcijas spēj pārdalīt kāda sabrukuma elementa slodzi uz citiem un līdz ar to saglabā kopējo stabilitāti. Saitēšanas metode balstās uz iepriekš dotām standartizētām spēku vērtībām, kas noteiktas, pamatojoties uz pieņēmumiem par konstrukciju un sabrukuma mehānismu. Alternatīvu slodžu ceļu metode paredz konstrukcijas pilnu analīzi, balstoties uz būvmehānikas pamatprincipiem un būvnormatīvos dotām aprēķinu metodēm.

Vēl jāpiemin nekonstruktīvi aizsardzības pasākumi – drošības barjeras un līdzīgi paņēmieni, stingrāka būvniecības kvalitātes kontrole, ugunsdrošības līdzekļi utt. Šie pasākumi nav tieši saistīti ar ēkas konstrukcijām, bet var ievērojami mazināt progresējoša sabrukuma risku.

Būvnormatīvu prasības

Noteiktās prasības iespaido konstrukciju izmaksas, un dažādos avotos tās ir ļoti atšķirī-

gas. Turpinājumā – detalizēti par būvnormatīvu prasībām.

Latvijā spēkā esošajos būvnormatīvos minētas prasības projektēt atbilstoši Eirokodeksiem. **LVS EN 1991-1-7 (EC-1)** nosaka ēku un būvju dalīšanu to nozīmīguma seku klasēs un sniedz rekomendācijas saišu izvietojumam. Arī dzelzsbetona konstrukciju projektēšanas standartā **LVS EN 1992-1-1 (EC-2)** ir rekomendācijas saišu izvietojumam, tomēr domājam, ka šīs saites drīzāk izvirza prasības dzelzsbetona konstrukciju saistīšanai gadījumos, ja nav citas saites. EC-2 punktā 9.10.1.(1) P ir mājiens, ka šīs saites «nodrošina piepūļu pārdali pēc lokāla bojājuma un līdz ar to novērš visas konstrukcijas progresējošu sabrukumu», tomēr šo saišu lielumi ir niecīgi. Latvijas nacionālais pielikums paredz atšķirīgas EC-2 saišu vērtības. Taču šīs vērtības ir kļūdainas. Ceram, ka tuvākajā laikā tiks veikti grozījumi, pagaidām nav pamatoti tās apspriest. Tādēļ rekomendējam izpildīt **LVS EN 1991-1-7 (EC-1)** minēto, kas apmierina arī EC-2 prasības.

Alternatīvu slodžu ceļu metode Eirokodeksos pašlaik nav reglamentēta. Nav no-

teikts, kuras kolonnas jāizņem, lai veiktu alternatīvu slodžu ceļu pārbaudes (var domāt, ka jāpārrēķina tik reižu, cik kolonnu ir ēkā, katrā pārrēķinā izņemot citu kolonnu), nav detalizētas prasības par to, cik plats sienas posms jāizņem, nekas nav teikts arī par aprēķinā piemērojamiem krītošu konstrukciju dinamiskuma koeficientiem u. c. faktoriem, par metodiku nemaz nerunājot.

Diezgan laba un detalizēta informācija par alternatīvu slodžu metodi izklāstīta Amerikas Savienoto Valstu *Unified Facilities Criteria (UFC) – Design of Buildings to Resist Progressive Collapse UFC 4-023-03*. Šīs projektēšanas vadlīnijas nāk no ASV Aizsardzības ministrijas struktūrām (*U. S. Army Corps of Engineers* u. c.) un ir obligātas ASV valdības būvēm. Amerikas **UFC 4-023-03** iekļautas arī saišu vērtības.

Norādījumi par aprēķiniem progresējošā sabrukuma novēršanai atrodami arī FIB (*Fédération Internationale du Béton*) publi-

kācijās, diemžēl tikpat vāji detalizēti kā Eirokodeksos. Publikācijās sīki izskaidrota *Improved Tie Force Method*, viens no ievērojamākajiem tās autoriem ir inženieris Bings Li (Bing Li, Nanjangas tehnoloģiju universitāte, Singapūra). Saišu spēku aprēķiniem izmanto arī citas detalizētas metodikas. Par metodēm un to atšķirībām būvkonstruktorus aicinām skatīties detalizētu informāciju vietnē www.buvkonstrukcijas.lv.

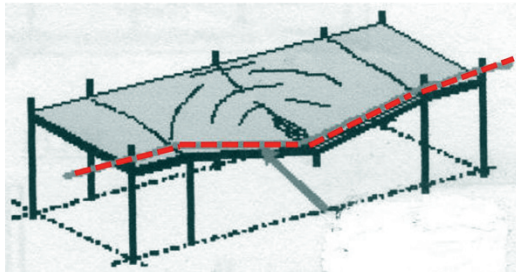
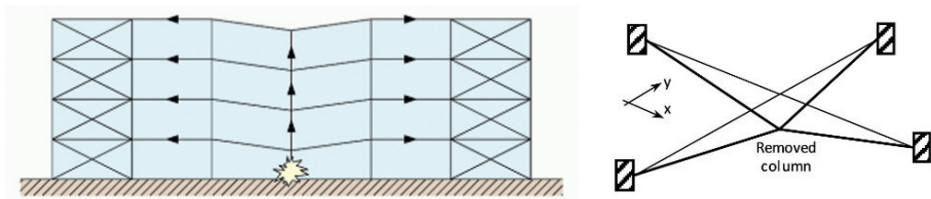
Saistīšanas pamatprincipi

Visās metodikās saistīšanas pamatprincipi balstās uz noteiktu mehāniku. Kad tiek izrauta kāda kolonna, pārsegums iekaras horizontālās saitēs. Līdzīgi kā veļas aukla uzkarinātā svara ietekmē nostiepjas uz leju, līdz tiek atrasts līdzsvars, arī pārsegumi uzkaras uz saitēm.

Paredzot atbilstošas stiprības saites, var novērst ēkas sabrukumu, kura dēļ iet bojā cilvēki, kaut arī ēka pēc kolonnas izraušanas vairs nebūs ne ekspluatējama, ne arī remontējama.



Līdzīga konstruktīvā shēma ir daudziem Latvijā būvētiem gājēju trošu tiltiem.



Attēlos shematiski parādīts mehānisms, kā mainās konstruktīvā shēma karkasa ēkai, izraujot brīvi izvēlētu kolonnu.

Piemērs no dzelzsbetona konstrukcijas testa, kas apliecina spēju monolītai konstrukcijai nodrošināt ~ 0,2 L (L – sākotnējais konstrukcijas laidums) izlieci sabrukuma brīdī (He Qiuping, Yi Weijian, 2011). Jo lielāka izliece, jo vairāk saite tur.



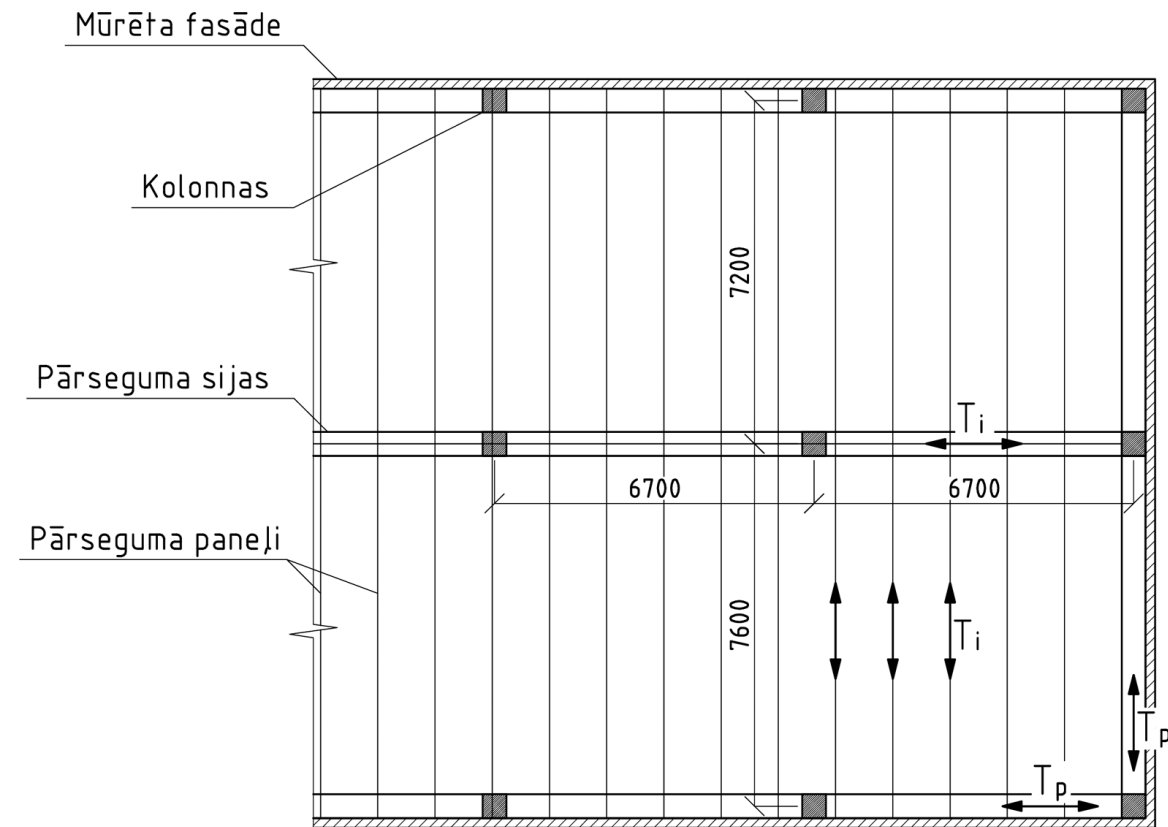
Šāds gadījums ir iespējams ne tikai teroristisku vai gāzes sprādzienu dēļ. Tas var rasties arī tad, ja kolonna tiek pārslogota, zaudē stiprību vai noturību ugunsgrēkā, tajā ietriecas auto, ir pieļautas kļūdas projektēšanas, būvniecības vai ekspluatācijas laikā. Būvnormatīvos šī prasība tiek definēta diezgan filozofiski: ir jānodrošinās gan pret tām ārkārtējām avārijas situācijām, kuras mēs spējam iedomāties, gan arī pret tām, kuras nevaram apjaust.

Ir vajadzīgi būvmehānikā balstīti aprēķini

atkarībā no vertikālās slodzes, leņķiem, dinamiskuma koeficientiem un empīriskiem pieņēmumiem.

Aprēķina piemērs un rezultāti

Mēs esam veikuši aprēķinus spēkiem, kādi jānodrošina saitēm tipveida piecstāvu daudzdzīvokļu dzīvojamajai ēkai. Šis nav konkrēts projekts, taču, pēc mūsu domām, ir izveidota tipiska Latvijas daudzdzīvokļu dzīvojamā ēka ar laidumiem un slodzēm.



Izejas dati aprēķinam

Pārseguma plātnes pastāvīga slodze, g_k , kPa (3,5 kPa HCS220 + 2,0 kPa grīda + 0,8 kPa starpsienas)	6,3
Pārseguma plātnes mainīgā slodze, q_k , kPa	2,0
Kvazi-pastāvīgās slodzes koeficients, ψ_2	0,3
Nenesošās fasādes sienas slodze, f_k , kN/m (dobu bloku siena, 240 mm)	16,1
Stāva tīrais augstums, m	2,80
Stāvu skaits, n	5
Laidums šķērsvirzienā, L_1 , m	7,6
Laidums šķērsvirzienā, L_2 , m	7,2
Laidums garenvirzienā, L , m	6,7

Attēlā shēmas saišu izvietojanai un pieņemtie dati saišu vērtību aprēķiniem.

	EN 1991-1-7	EN 1992-1-1 rekomendētās vērtības	UFC 4-023-03 Change 3 (2016), modificēts, koncentrējot saites	FIB 63 nelineārs aprēķins pie $\Delta_{cr} = 0,2L$	Li metode (An improved tie force method for progressive collapse resistance design)
lekšējās izkliedētas šķērsvirziena saites T_i , kN/m	56	20	195	272	
lekšējās koncentrētas garenvirziena saites T_i , kN	281	148	1273	1778	1379
Perimetrālās saites T_p , kN	141	76	994	1474	1070
Vertikālās saites	Viena pārseguma aprēķina slodze uz elementu	Viena pārseguma ārkārtēja slodze uz elementu	Vislielākā vertikālā slodze no viena stāva		
Saišu izvietojums	Perimetrālām saitēm jābūt izvietotām pa perimetru 1,2 m zonā. Lekšējām saitēm stingru norāžu nav, var būt gan koncentrētas, gan izkliedētas sietos	Visām saitēm jābūt vienmērīgi izkliedētām. Perimetrālās saites nevar būt koncentrētas sijās, ja vien nav pierādīta 0,2 rad rotācijas kapacitāte	Perimetrālām saitēm jābūt izvietotām pa perimetru 1,2 m zonā. Lekšējām saitēm stingru norāžu nav, var būt gan koncentrētas, gan izkliedētas sietos	Faktiski aprēķins paredz tikai koncentrētas saites sijās	

Tabulā spēki ēkas saitēs.

Jāatzīst, ka būvnormatīvi ir nonākuši pie atšķirīgām prasībām. Tabulā apkopotas dažādu būvnormatīvu prasības.

UFC 4-023-03 dotās saišu vērtības ir ievērojami lielākas par Eirokodeksos minētajām. Arī citās metodikās vērtības ir krietni augstākas par Eirokodeksu prasībām.

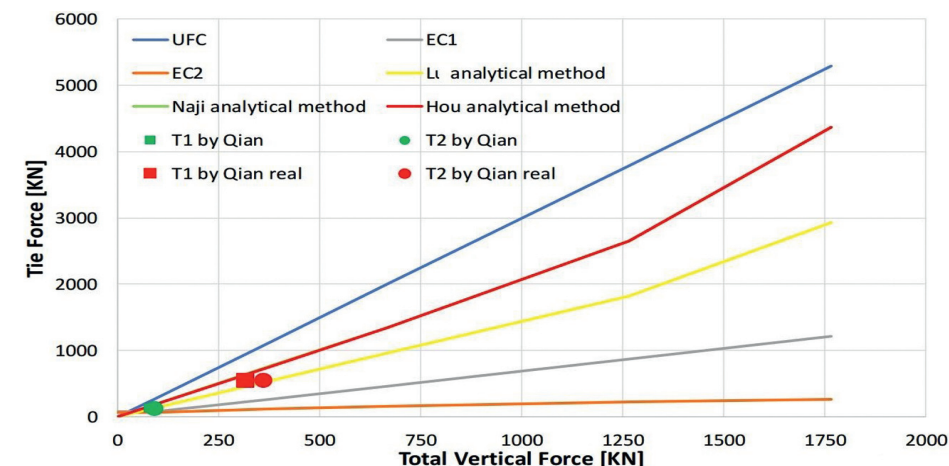
CEN darba grupas rezultāti

Jūnijā bija izdevība piedalīties Eiropas Standartizācijas komitejas CEN (European Committee for Standardization) Eirokodeksu Ro-

bustness darba grupā. Šī bija pirmā dalība darba grupā, tomēr pietiekama, lai justu kopējo noskaņojumu un virzību Eiropas valstu standartizācijas komitejās.

Darba grupā tika izskatītas prezentācijas, kurās ilustrēti eksperimentālie rezultāti un to salīdzinājums ar teorētiskajām, pēc dažādām metodikām aprēķinātām saišu spēku vērtībām.

Attēlā redzamas liknes, kas rāda teorētiskās saišu spēku vērtības pēc dažādiem normatīviem atkarībā no sabrukšanas kolonnas slodzes, kā arī punkti, kas ilustrē eksperimentos iegūtus rezultātus.



tus, proti, spēkus, pie kādiem eksperimentā saite pārplīsa. Šis ir tikai viens no grafikiem, kas ilustrē saišu vērtības atbilstoši dažādām metodikām, daudzos citos grafikos rezultāti bija ļoti līdzīgi.

No tā, tāpat kā no mūsu pašu aprēķiniem, varam secināt:

1) Eirokodeksu EC-1 prasītās saišu spēku vērtības ir ~ 4 reizes mazākas nekā Amerikas, mazākas arī par citu metodiku dotajām vērtībām; EC-2 prasītās rekomendētās vērtības šķiet pārāk mazas;

2) ASV UFC minētās saišu spēku vērtības ir lielākas par eksperimentāli noteiktajām; savukārt Eirokodeksos prasītās visos gadījumos bija mazākas par eksperimentāli noteiktajām. Kopējā aina liek domāt –, paredzot saites atbilstoši Eirokodeksiem, ļoti iespējams, ka tās avārijas situācijā nenostādās.

Nav tā, ka Eirokodeksos minētās saišu vērtības ir bezjēdzīgas. Saite nodrošina būvelementu sasaisti ar pārējām konstrukcijām tad, kad iedarbojas gadījuma rakstura triecienslodzes. Tomēr nepamatots šķiet apgalvojums – paredzot Eirokodeksos prasītās saišu vērtības, tiks novērstas ēkas progresējošais sabrukums kāda atslēgas elementa sabrukuma dēļ.

Secinājumi

Pēc dalības Robustness darba grupā radās vairāki secinājumi:

1) līdzīgi kā mēs Latvijā standartizācijas

tehniskajā komitejā STK 30 Būvniecība skatāmies uz to, kādi lēmumi tiek pieņemti citu Eiropas valstu standartizācijas organizācijās, arī CEN darba grupā liela uzmanība tiek pievērsta kaimiņiem, šoreiz Amerikas Savienotajās Valstīs un UFC 4-023-03;

2) tiek atzīts, ka nepieciešama detalizēta saitēšanas aprēķinu metodika, un apspriesta eksperimentālo rezultātu atbilstība pēc dažādām metodikām noteiktām saišu spēku vērtībām. Ir vienprātība par to, ka pašlaik Eirokodeksu prasības nav atbilstošas, tām nepieciešami labojumi;

3) tiek atzīts, ka saites pēc pilnas programmas radīs būvniecības sadārdzinājumu. Nav gaidāms kritisks sadārdzinājums monolitā dzelzsbetona ēkām, bet prasība paredzēt intensīvāku saitēšanu var radīt vērā ņemamu sadārdzinājumu gan saliekamā dzelzsbetona, gan arī koka (CLT un līmēta koka karkasu) daudzstāvu ēkām.

Vienprātības nav. Tomēr ir laba ziņa – pašlaik notiek ekstensīvi eksperimenti. Tuvākajā nākotnē ir iespēja izveidot eksperimentos balstītu metodiku, ja vien darba grupa spēs par to vienoties.

Apkopojums par praktiskiem konstruktīvās integritātes nodrošināšanas pasākumiem un labo praksi tiks sagatavots nākamajam Būvzinieris numuram. Plašāks aprēķinu kopsavilkums un cita informācija atrodama publikācijās vietnē www.buvkonstrukcijas.lv. BI