



# Konstrukciju progresējošs sabrukums – drošas būvniecības drauds



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



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

Pēdējās desmitgadēs, īpaši pēc 11. septembra teroraktiem un citām ēku avārijām, daudzu inženieru uzmanība tika vērsta uz problēmu, kas tiek dēvēta par konstrukciju progresējošo sabrukumu. Parasti sabrukumu sauc par progresējošu tad, kad kopējais sabrukūšais konstrukcijas apjoms vai laukums ir ievērojami lielāks par sākotnējās avārijas apjomu vai laukumu.

Pienākumu inženieriem paredzēt pasākumus progresējoša sabrukuma novēršanai vidēja un liela izmēra ēkām paredz arī Latvijā spēkā esošie Eirokodeksi (standarts LVS EN 1991-1-7) un citi pasaules būvkonstrukciju projektēšanas standarti un normatīvi.

## Progresējošā sabrukuma jēdziens

Dažādos avotos rodamas diezgan līdzīgas progresējoša sabrukuma definīcijas.

Progresējošais sabrukums (*progressive collapse* – angļu val., *прогрессирующее обрушение* – krievu val.) ir konstrukcijas vai tās ievērojamas daļas sabrukšana, ko rada kāds elements vai nelielas daļas sabrukums.

Dažos avotos šī procesa raksturošanai izmanto jēdzienu *neproporcionāls sabrukums (disproportionate collapse)* vai *lavīnveidīgs sabrukums (лавинообразное обрушение)*. Termins *progresējošais sabrukums* raksturo procesa mehānismu, bet termins *neproporcionāls sabrukums* – sekas. Jēdzienu būtība ir identiska, jo neproporcionāla sabrukšana parasti ir progresējoša.

Problēmas kontekstā bieži lieto terminu *robustums* jeb *dzīvotspēja (robustness* – angļu val., *живучесть* – krievu val.). Tā ir konstrukcijas spēja adaptēties jaunām, neparedzamām situācijām, pretoties kaitīgām iedarbībēm, pilnīgi vai daļēji veikt savu funkciju, mainoties sistēmas struktūrai un uzvedībai.

## Avāriju ierosinātāji

Raksts balstīts uz PSRS statistikas datus minētiem iemesliem par to, kas izraisa vietējo avāriju un pēc tam ēkas progresējošo sabrukumu. Līdzīga statistika droši vien ir arī citās valstīs.

- **Būvniecības laikā pieļautas kļūdas.** Padomju literatūra liecina, ka no 1981. līdz 1985. gadam Krievijā 65% ēku avāriju izraisīja kļūdišanās būvniecības laikā. 25% avāriju notika darba tehnoloģijas neievērošanas dēļ, bet 40% negadījumu izraisīja atkāpes no projekta.

- **Kļūdas projektēšanā.** Vērojamas reti, taču tām parasti ir nopietnas sekas. Krievijā 1981. – 1985. gadā 4% būvju avāriju izraisīja kļūdaini projekti.

- **Nekvalitatīvi materiāli.** 1981. – 1985. gadā Krievijā 20% negadījumu noticis tāpēc, ka izmantots projektam neatbilstošs materiāls, detaļas vai konstrukcijas.

- **Nepareiza ekspluatācija.** Konstrukciju samitrināšana var radīt pārslodzi un paātrināt koroziju. 1981. – 1985. gadā Krievijā 11% avāriju izraisīja ekspluatācijas noteikumu neievērošana, ugunsgrēki, sprādzieni un mehānismu sitieni.

- **Pārslodze.** Standartos slodze tiek noteikta ar 95% varbūtību, pielieto arī papildu drošības koeficientu. Taču pastāv minimāla iespēja slodzi pārsniegt. Piemēram, sniega slodze Rīgā 2009. un 2010. gada ziemā bija 120 kg/m<sup>2</sup>, līdz Eirokodeksa ieviešanai projektēja namus ar 70 kg/m<sup>2</sup>, pēdējās desmitgadēs – 80 kg/m<sup>2</sup>. Slodzes var būt lielākas par projektētajām arī tad, ja telpas bez īpašas pārbaudes izmanto citiem nolūkiem, piemēram, noliktavu ierīko dzīvojamajā mājā.

- **Nekvalificēta rekonstrukcija un remonts, vandalisms.** Ja rekonstrukciju veic neprasmīgs meistars, iespējamās avārijas. Joprojām gadās, ka ailas sienā ierīko bez pastiprināšanas.

- **Nesošo elementu korozija un novecošana.** Ja konstrukcija ir ekspluatēta ilgāk par tās paredzamo mūžu vai ir pakļauta paātrinātai korozijai un netiek veikta atbilstoša kontrole, tās nestspēja ievērojami samazinās.

- **Zemestrīces, vētras, plūdi, noslidējumi, karsta kritenes.** Būvkonstrukciju projektēšanas praksē Latvijā šīs parādības parasti neņem vērā, kaut to iespēja nav izslēgta.

- **Ģeoloģisko apstākļu kļūdaini novērtējums.**

- **Aerodinamisko īpašību, arī specifisku svārstību, ignorēšana (flaters, virpuļi).**

- **Transporta vai mehānismu trieciens.** Ja ēka ir blakus brauktuvei, tā var būt pakļauta transportlīdzekļa avārijai, tiltu balstos iespējama ūdens transporta ietriekšanās, bet ēkas ar helikoptera nosēšanās laukumu var ciest, ja lidaparāts gāžas. Trieciena slodzi būvkonstrukcijām var radīt arī pacelšanas mehānismi un iekšējais transports.

● **Gāzes vai citu vielu sprādzieni, ugunsgrēki.** Ja ēka pieslēgta gāzes apgādei vai tajā tiek uzglabātas sprādzienbīstamas vielas, tā ir pakļauta sprādziena iedarbībai. Ugunsgrēks var mazināt konstrukcijas nestspēju un radīt dažādas avārijas.

● **Terorisms un karš.** Mūsdienās liels drauds drošībai ir terorisms. Arī militāri konflikti bieži saistīti ar ēku konstrukciju pakļaušanu sprādzienam.

Visi minētie gadījumi var radīt progresējošu citu konstruktīvo elementu sabrukumu. Tāpēc ir svarīgi paredzēt pasākumus pret progresējošo sabrukumu, jo avārijas iemesli var būt ļoti dažādi – iedomājami un neiedomājami.

Aplūkosim zināmākos būvkonstrukciju progresējošo sabrukuma gadījumus.

**Ronan Point nams Londonā**

Progresējošā sabrukuma jēdzienu sāka lietot pēc avārijas *Ronan Point* ēkā Londonā. 23 stāvu tipveida dzīvojamā saliekamā dzelzsbetona māju Apvienotajā Karalistē būvēja 1966. – 1968. gadā. Torņa tipa ēkā bija 44 divstābu un 66 vienstābas dzīvokļi, pa pieciem stāvu. Būve aizņēma 25×18 metru laukumu un bija 64 metrus augsta. Ēkā izmantotas lielpaneļu konstrukcijas pēc tipveida projekta. Bija paredzēti divu veidu paneļi – dzelzsbetona pārsegumu paneļi un nestiegti sienas betona paneļi.

Nupat ekspluatācijā nodotajā mājas 18. stāva stūra dzīvokli 1968. gada 16. maijā nogranda sprādziens. Sabruka ēkas stūris visa nama augstumā. Četri cilvēki gāja bojā, 17 tika ievainoti. Par laimi, jaunā būve vēl nebija pilnīgi apdzīvota.

Nelaiemes iemesls – gāzes sprādziens. Aptuveni pulksten 5.45 dzīvokļa iemītniece iegājuši virtuvē, lai uzvārītu tēju. Tiklīdz aizdegusi sērkokociņu, nograndis sprādziens. Sieviete izdevies izdzīvot, jo eksplozijas vilnis viņu aizmetis uz istabas otru galu. Lai cik dīvaini ne liktos, lietoto gāzes plīti īpašniece ņēmusi līdzi arī uz jauno dzīvesvietu.

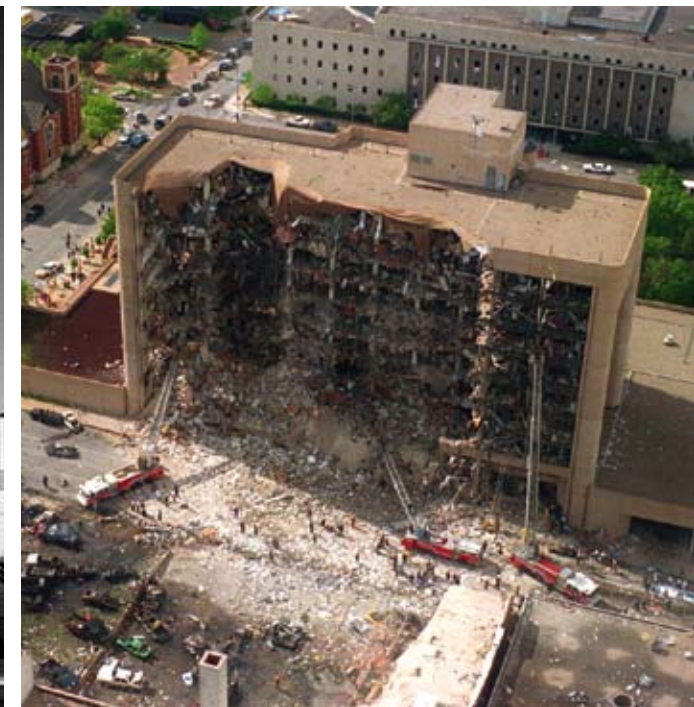
Sprādzienā tika izsisti nesošie fasādes stūra paneļi, kas balstīja augšējās konstrukcijas. Tā kā netika nodrošināta paneļu nepārtraukta darbība un piepūļu pārdalīšanas iespēja, augstāko stāvu konstrukcijas nokrita uz 18. stāvu un veicināja mājas sabrukšanu. Dažās sekundēs ēkas stūris sabruka līdz pat pamatiem. Vietējais sabrukums izplatījās uz konstrukcijām, kas netika skartas tieši ar sprādzienu, līdz ar to šo procesu var uzskatīt par progresējošo sabrukumu.

Izmeklēšanas komisija secināja, ka gāzes sprādziena varbūtība pilsētās ir astoņi gadījumi uz vienu miljonu dzīvojamu māju, no kuriem tikai 3,5 gadījumos var būt bojātas nesošās konstrukcijas. Vēlāk šie skaitļi kritizēti kā pārmērīgi augsti. Pēc pētnieciskā darba tika ieviesti vairāki grozījumi Lielbritānijas un citu valstu būvnormatīvos. Galvenokārt tie vērsti uz lielpaneļu ēku nepārtrauktības nodrošināšanu – tika definētas prasības paneļu savienojumiem uzņemt stiepes un bīdes spēkus, ieviests minimālais stieģrojuma apjoms sienām utt. Tika noteiktas stingrākas prasības

gāzes izmantošanai. Francijas augstceltnēs to aizliedza lietot.



Alfred P. Murrah Federal Building pirms un pēc terorakta 1995. gadā.



Alfred P. Murrah Federal Building Oklahomā

**Alfred P. Murrah Federal Building Oklahomā**

Diskusijas par progresējošo sabrukumu rosināja arī Alfred P. Murrah Federal Building uzspriecināšana 1995. gada 19. aprīlī. Monolitā dzelzsbetona deviņstāvu ēka Amerikas Savienotajās Valstīs (ASV) tika būvēta no 1974. līdz 1976. gadam. Nams pildīja administratīvās funkcijas, un sprādziena brīdī tajā bija 646 personas. Teroraktā dzīvību zaudēja 168 cilvēki.

Automašīnā pie ēkas bija atstātas divas tonnas sprāgstvielu. Eksplozijas dēļ tika izsis-

tas apakšējā stāva trīs kolonnas. Sabrukuma zona strauji izplatījās. 12 800 m<sup>2</sup> lielajā ēkā tiešā sprādziena dēļ cieta tikai 540 m<sup>2</sup> jeb 4% , bet progresējošais sabrukums iznīcināja 5400 m<sup>2</sup> jeb 42%.

Viens no galvenajiem iemesliem, kas radīja tik pamatīgu nogruvumu, bija neveiksmīga shēma – pirmā un otrā stāva kolonnas tika izvietotas ar divreiz lielāku soli nekā 3. – 9. stāvā esošās. Otrā stāva pārseguma līmenī tika izveidots masīvs režģis, kas balstīja katru otro kolonnu. Pirmā stāva kolonnas avārija izraisīja režģa sabrukumu un avārijas izplatību milzīgā zonā. Šī avārija rosināja jaunus pētījumus par progresējošo sabrukumu.



Ronan Point nams pēc gāzes eksplozijas 18. stāva dzīvoklī 1968. gadā.







Universālveikals *Sampoong* pēc sabrukšanas 1995. gadā.



Ēka *Skyline Towers* Virdžīnijā.

### Universālveikals *Sampoong* Seulā

Dienvidkorejā 1995. gadā, sabrūkot universālveikalam *Sampoong*, gāja bojā 502 cilvēki. Nelaiemes cēlonis bija nesošo kolonnu izņemšana, lai palielinātu vietu eskalatoriem, un palikušo kolonnu pārslodze, kas nebija iekļauta projektā. Augšējo stāvu kolonnu bojājumu dēļ 24 stundās ēka pilnībā sabruka.

### Daudzdzīvokļu ēka *Skyline Towers* Virdžīnijā

ASV uzbūvētā 26 stāvu ēka tā arī netika nodota ekspluatācijā. Būvniecības kļūdas dēļ augšējā stāva pārseguma veidņi tika noņemti pārāk agri. Tā kā netika sasniegta nepieciešamā betona stiprība, pārsegums zaudēja šķērsspēka nestspēju un sabruka. Nokritis konstrukcija izraisīja pārslodzi apakšējā stā-



Dhakagarment (*Rana Plaza*) biroju komplekss Bangladešā pēc sabrukuma 2013. gadā.

va pārsegumā, kas veicināja progresējošo sabrukumu. 1973. gadā notikušais nelaiemes gadījums, kurā gāja bojā 14 strādnieki, radīja 12,5 miljonu dolāru zaudējumus.

### Dhakagarment (*Rana Plaza*) biroju komplekss Bangladešā

Konstrukciju pārslodzes dēļ sabrūkot biroju kompleksam *Rana Plaza* 2013. gada 24. aprīlī, dzīvību zaudēja 1134 cilvēki. Šis gadījums uzskatāms par nāvējošāko katastrofu konstrukciju ārkārtas sabrukšanas dēļ.

### Citi gadījumi

- Plaši aprakstīta **Pasaules Tirdzniecības centra** sabrukšana ASV, Ņujorkā. Tērauda karkasa ēkās terorakta dēļ nācās izņemt vairākas kolonnas, daudzām kolonnām avarējušie pārsegumi vairs nebija noturīgi. Samazinoties pārslodzei kolonnu nestspējai, ugunsgrēka dēļ tie sabruka. Ēkas daļas virs avārijas vietas krita un radīja ievērojamu dinamisku ietekmi uz apakšējām konstrukcijām. Tas veicināja progresējošo sabrukumu ēkas augstumā. Traģiskais gadījums aktualizēja progresējošā sabrukuma tēmu.

- Maskavā 2004. gada 14. februārī sabruka **akvaparka *Transvaļ-park*** jumta konstrukcijas. Avārijas dienā tās bija pakļautas ievērojamai sniega un temperatūras slodzei. Sabrukums sācies ar vienas kolonnas avāriju, kuras iemesli nav skaidri. Tas provocējis blakus esošo kolonnu pārslodzi. Lielaiduma pārsegumam bija izņemti vairāki balsti, un tas sabruka. Toreiz dzīvību zaudēja 28 cilvēki un 193 guva traumas.

- **Haengju tilts** Seulā Dienvidkorejā sabruka būvniecības laikā 1992. gadā. Saspringta dzelzsbetona tilta kopējais garums bija 1460 metri, platums – 14,5 m, trim centrālajiem laidumiem izmantotas vanšu konstrukcijas ar shēmu 100 m + 120 m + 100 m, pārējie laidumi ir 60 m. Pagaidu balsta sabrukums centrālajā 120 m laidumā būvniecības laikā radīja ķēdes reakciju – tilta laiduma konstrukcijas 800 m garumā starp deformāciju šuvēm sabruka.

- **L'Ambiance Plaza** ASV, Konektikutā, Bridžportā, sabruka būvniecības laikā 1987. gadā. Negadījumā dzīvību zaudēja 28 strādnieki. 16 stāvu ēkā ar tērauda kolonnām un paceļamiem dzelzsbetona pārsegumiem nebija parei-



zi nostiprināts viens ar materiāliem pārslēgots pārsegums, un sabruka visa būve.

Sarakstu varētu turpināt ilgi, jo incidentu skaits, ko rada būvkonstrukciju progresējošais sabrukums, ir liels. Tas liecina par problēmas aktualitāti un to, ka projektēšanas un būvniecības laikā rūpīgi jāanalizē progresējošā sabrukuma iespējas.

### Tipoloģija un mehānisms

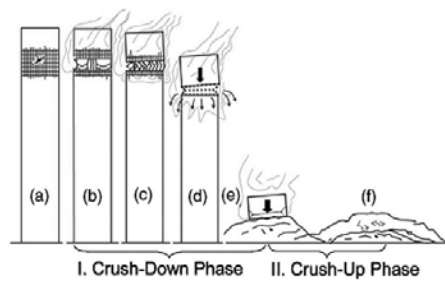
Progresējošajam sabrukumam ir vairāki tipi. Iepazīstināšu ar Hamburgas Universitātes profesora Ūves Staroseka izstrādāto klasifikāciju.

**Pankūktipa sabrukums** jeb *pancake-type collapse*, kam raksturīgs:

- vertikālo nesošo elementu, kas uzņem galvenokārt vertikālas slodzes – kolonnu, sienu, pilastru –, sākotnēja sabrukšana;
- konstrukcijas elementu atdalīšanās un krišana pa vertikāli;
- gravitācijas potenciālā enerģija tiek pārvērsta kinētiskajā;
- krītošo elementu iedarbība uz pārējām konstrukcijām;
- vertikālie nesošie elementi sabrūk spiedes spēka dēļ, ko izraisa krītošo elementu dinamiskā iedarbība;
- sabrukums veidojas vertikāli.



Pankūktipa sabrukums desmitstāvu ēkā pēc zemestrīces Islamabadā 2005. gadā.



Pasaules Tirdzniecības centra sabrukšanas shēma.

Kritušie pārsegumi atgādina pankūku kaudzi. Spilgts piemērs ir Pasaules Tirdzniecības centra sabrukšana Ņujorkā 2001. gada 11. septembrī. Kad lidmašīnu darbības zonā kolonnas zaudēja nestspēju, ēkas augšējā daļa gāzās un akumulēja kinētisko enerģiju. Saskaroties ar ēkas apakšējo daļu, kas vēl nebija bojāta, milzīgais dinamiskais spēks pārsniedza reālo nestspēju.

Šim tipam raksturīga atsevišķu daļu atdalīšanās, potenciālās enerģijas atbrīvošana un ievērojama dinamiskā spēka rašanās. Sabrukums izplatās vertikāla dinamiska spēka dēļ. Galveno piepūļu virziens nesošos elementos pirms sabrukuma (spiedes spēki kolonnās un sienās) un sabrukuma virziens ir vertikāli, tāpat paralēli.



Takomas tilts 1940. gadā sabruka aerodinamiska flatera dēļ.

**Rāvējslīdzēja tipa sabrukums** jeb *zipper-type collapse* bija vērojams Vašingtonā 1940. gada 1. jūlijā atklātajam Takomas tiltam. Jau tā paša gada 7. novembrī aerodinamiskā flatera jeb plivināšanās dēļ vantīm bija pārmērīga piepūle un tilts sabruka. Pēc pirmās troses pārplīšanas tika pārslēgtas blakus esošās vantis. Kad tās plīsa, ūdeni iegāzās liels brauktuves posms.

ASV Saspringto konstrukciju institūta (*Post-Tensioning Institute*) rekomendācijas vanšu tiltu projektēšanā paredz, ka jebkuras troses zudums nedrīkst mazināt stabilitāti un veicināt konstrukcijas sabrukumu. Tiek rekomendēts apskatīt slogojuma kombinācijas un veikt konstrukcijas analīzi ar troses pārrāvumu. Šāda prasība bieži tiek izvirzīta arī citām līdzīgām konstrukcijām, lai novērstu rāvējslīdzēja tipa sabrukumu, ko rada vienas troses pārrāvums.

Līdzīgs mehānisms ir atbalsta sienām ar enkuriem gruntī. Progresējošo sabrukumu var veicināt viena vai dažu enkuru nestspējas zaudēšana. Arī smago akustisko griestu sabrukšana kinoteātros un citās ēkās atbilst rāvējslīdzēja tipa sabrukumam, jo to rada viena vai dažu griestu enkuru defekti.

Minētajos gadījumos rāvējslīdzēja tipa sabrukums saistāms ar stiepto elementu avāriju.

Galvenās rāvējslīdzēja tipa sabrukšanas pazīmes:

- viena vai dažu nesošo elementu sākotnējs sabrukums;
- slodzes, ko turēja šie elementi, pārdalīšana uz atlikušajām līdzīgajām konstrukcijām;
- pārdaloties uz nesagrautām konstrukcijām, slodzei ir dinamisks raksturs;
- statiskā slodze un konstrukcijas dinamiskā reakcija izraisa piepūļu koncentrāciju uz nesošiem elementiem, kas pēc uzbūves un funkcijas ir līdzīgi jau sabrukušajiem elementiem un atrodas tiem blakus vai tuvumā;
- šo elementu pārslodze un sabrukšana;
- sabrukšanas attīstības virziens ir perpendikulārs galvenajiem spēkiem elementos.

Raksturīgas īpašības ir spēku pārdalīšana alternatīvos ceļos, statiskās un dinamiskās slodzes koncentrācija uz nākamā sabrukošā elementa. Veidojoties šādam sabrukumam, dinamiskās slodzes var arī nebūt vai arī, ja tā ir, dinamiskai komponentei nav tik lielas nozīmes kā pankūktipa sabrukuma gadījumā.

Vēl kāda atšķirība – galveno piepūļu elementa (pirms tā sabrukuma) un sabrukuma progresijas virziens nav paralēli, bet ir ortogonāli. Šāda uzvedība atbilst konstruktīvai shēmai ar paralēliem nesošiem elementiem, nevis shēmai ar slodzes pārnesanu pa taisnu ceļu «ķēdē». Sabrukums attīstās, ja alternatīvi slodzes pārnesanas ceļi, kuriem realitātē ir tendence veidoties, tiek pārslēgti un sagrūst.

Citi piemēri – vanšu tīkls vai membrāna, kura pārraujas, veidojoties sākotnējam relatīvi nelielam defektam; nepārtraukta sija, kurai viens laidums sabrūk liecē pie blakus esošo laidumu pārslodzes; nepārtrauktais pārsegums balstīts uz daudzām lokanām kolonnām, un, sabrūkot vienai, tiek noslogotas blakus esošās, kas izraisa sabrukumu.

**Domino tipa sabrukumam** jeb *domino-type collapse* ir šādas pazīmes:

- viena elementa sākotnēja apgāšanās;
- šī elementa leņķveida kritiens uz apakšējo malu;



Domino tipa progresējošo sabrukumu elektropārvades līnijā Vācijā 2005. gadā izraisīja apledojuma radīta slodze.

- gravitācijas potenciālās enerģijas transformācija kinētiskajā enerģijā;
- krītošā elementa iedarbība uz blakus esošo līdzīgu elementu;
- šī iedarbība veido horizontālo spēku uz blakus esošo elementu, kuram ir gan statiskais, gan dinamiskais raksturs;
- blakus esošā elementa apgāšanās horizontālas slodzes dēļ;
- sabrukuma attīstība apgāšanas virzienā.

Dinamiskās slodzes rašanās ir līdzīga pankūktipa progresējošajai sabrukšanai. No otras puses, galvenie spēki krītošos elementos (tie ir izraisīti ar gravitāciju) ir ortogonāli sabrukuma attīstības virzienam, nesošie elementi eksistē kā paralēlo nesošo elementu sistēma. Tieši tāpēc ir vērts atdalīt domino tipa progresējošo sabrukumu kā atsevišķu tipu.

Tam raksturīga atsevišķu elementu apgāšanās. Cita īpatnība saistīta ar sabrukumu pārnesošo spēku, kas ir horizontāls spiedes (retāk stiepes) spēks starp elementu virsmām, kurš izraisa nākamā elementa apgāšanos.

Galvenais spēks, kas veicina elementa sabrukumu, ir vertikāls. Tātad atšķirībā no iepriekš minētiem progresējošā sabrukuma tipiem inicējošā spēka un galvenā spēka virzieni nav paralēli. Domino tipa sabrukums notiek sistēmas vājības dēļ pret spēkiem, kas nedarbojas galveno spēku virzienā.

Jebkuri atsevišķi elementi, kas ir jutīgi pret apgāšanos un ir novietoti ar zināmu soli pa horizontāli, piemēram, domino kauliņu rinda, var šādi sabrukt. Jutīgums pret apgāšanos nozīmē, ka elements ir nestabils. To var vērot atsevišķo sastatņu rindā vai daudzslaiduma tiltos, ja balsta augstums pārsniedz laidumu.

Cits piemērs ir elektropārvades līniju balstu avārijas. 2005. gadā Vācijā pie Mīnsteres tika bojāti vairāk nekā 50 līnijas balsti.

**Nestabilitātes tipa sabrukums** jeb *instability-type collapse* vērojams sistēmas ģeometriskā mainīguma dēļ. Neliela iedarbe – neprecizitāte, sānu slodze – var izraisīt lielas deformācijas un sabrukumu. To var novērst, veidojot elementus, kas sasaista galvenās nesošās

konstrukcijas un nodrošina to ģeometrisko nemainīgumu (saišu sistēma). Līdzīga loma ir elementiem, kas nodrošina spiestu konstrukciju noturību, piemēram, saites starp kopņu augšējām joslām.

Šim sabrukuma tipam ir vairākas pazīmes:

- saites vai cita noturību un ģeometrisku nemainīgumu garantējoša elementa sākotnējais sabrukums;
- primāram spiestam nesošam elementam vairs netiek nodrošināts ģeometriskais nemainīgums vai noturība;
- spiesto elementu sabrukums, kas saistīts ar noturības/stabilitātes zaudējumu;
- sabrukuma attīstība uz citiem nestabiliem elementiem, ja tādi ir.

**Šķērsriezuma tipa sabrukums** jeb *section-type collapse*. Ja liecē vai stiepē esošai sijai šķērsgriezumā ir plaša, atlikušajai šķērsgriezuma daļai nākas izturēt visu slodzi. Sprieguma koncentrācija plaisas galā var veicināt tās attīstību un šķērsriezuma sabrukumu. Tas var būt uzskatāms par progresējošo sabrukumu mikrolīmenī. Protams, tas ir visai abstrakts pieņēmums, bet ēkas progresējošajam un stieptā šķērsriezuma sabrukumam var būt līdzība. Vislielākā analogija iespējama šķērsriezuma un rāvējslēdzēja tipa progresējošajam sabrukumam, tikai homogēns šķērsriezums tiek aizvietots ar atsevišķo elementu rindu. Pēc elastības teorijas spriegumi plaisas galā tiecas pie bezgalības, ja vājinājuma rādiuss tiecas pie nulles. Līdzīgi rāvējslēdzēja tipa sabrukumam spēki koncentrējas uz sabrukuma vietai vistuvākā elementa.

**Jaukta tipa sabrukums** jeb *mixed-type collapse*. Ne visi fiksētie progresējošā sabrukuma gadījumi piemērojami šīs klasifikācijas kategorijām. Nereti vērojama dažādu tipu sabrukšana. Ja grūti definēt vienu dominējošo veidu, tā ir jaukta tipa sabrukšana. Tas vairāk raksturīgs konstrukcijām ar līdzīgiem izmēriem visos virzienos, piemēram, vidēja augstuma ēkām, kam ir 5 – 12 stāvi.



Bankers Trust pēc terorakta 2001. gadā.

### Veiksmīgi gadījumi

Tomēr dažreiz, lai gan ir ievērojami bojājumi, neveidojas progresējošais sabrukums. Šādu piemēru analīze ļauj veiksmīgi izstrādāt dažādas stratēģijas.

Pozitīvs piemērs ir *Bankers Trust* ēka Ņujorkā. 170,7 metru augstā 40 stāvu biroju celtnē tika uzbūvēta 1974. gadā. Nama konstruktīvā shēma – tērauda rāmja karkass ar stingriem mezgliem. Būvei ir 8x8 kvadrātveida kolonnu tīkls ar 7,9 metru soli. Ēkas rāmis veidots, stingri sajūdzot kolonnas un rīģeļus no platplauktu dubultām T-sijām. Pārseguma sekundāro siju kārtu veidoja dubultas T-veida sijas ar 2,6 metru soli, kas ar skrūsvienojumiem sajūgtas ar galvenajām sijām. Tām pāri stieptas pārseguma plātnes no 3,81 cm augsta profilēta tērauda klāja un 6,35 cm bieza betona slāņa.

*Bankers Trust* atradās pāri ielai pretim Pasaules Tirdzniecības centra tornim Nr. 2. 2001. gada 11. septembra teroraktā gāzoties Pasaules Tirdzniecības centra otrajam tornim,





Pentagons pēc avārijas.



Šarla de Golla lidosta pēc avārijas.

ar tā detaļām nopietni novājināts *Bankers Trust* nesošais karkass. Nojaukta kolonna pie fasādes no 8. līdz 18. stāvam. Daudzos stāvos ievērojamā laukumā bija iznīcināts pārsegums. Taču, neraugoties uz šiem bojājumiem, sabrukšana nav progresējusi. Neskaitot rāmja un pārsegumu daļas tiešā ietekmes zonā un dažos stāvos zem tās, būvkonstrukcijas ir saglabājušas pietiekamu stiprību un ir ekspluatējamās.

Šis incidents rosināja izpētīt cietušo kon-

strukciju un labāk izprast, kas šādos apstākļos notiek ar lielo tērauda karkasu. Pēc avārijas tika nolemts, ka nav racionāli ēku rekonstruēt, tika pieņemts lēmums to nojaukt. Būve demontēta 2007. – 2009. gadā.

Vēl viens veiksmīgs piemērs, kad nav radies progresējošais sabrukums, ir avārija Šarla de Golla lidostā Parīzē un Pentagona ēkā Virdžīnijā ASV.

Nekvalitatīvas būvniecības un projektā pieļauto kļūdu dēļ 2004. gada 23. maijā Šarla

de Golla lidostā Parīzē sabruka jumts un gāja bojā četri cilvēki.

2001. gada 11. septembrī ASV aizsardzības ministrijas ēka Pentagons bija pakļauta lidmašīnas triecienam. Sabruka milzīgas konstrukcijas, bija daudz upuru.

Minētajiem gadījumiem ir kopīga pozitīva pazīme – avārija skāra tikai vienu ēkas segmentu starp deformācijas šuvēm. Sabrukums neattīstījās uz blakus esošām konstrukcijām aiz deformāciju šuvēm. Šie piemēri liek domāt par segmentāciju kā efektīvu paņēmieni progresējošā sabrukuma novēršanai.

Cits piemērs ir par tiltu Austrālijai piederošajā Tasmānijas salas galvaspilsētā Hobartā. Kuģa trieciena dēļ 1975. gada 5. janvārī sabruka divi balsti. Vairāk nekā kilometru garajā tiltā ar 21 laidumu sabruka tikai trīs laidumi, kas tieši balstījās uz avarējušajiem balstiem. Tilta sijai bija brīva balstījuma shēma, līdz ar to šie trīs laidumi neaizvilka līdzīgu visu pārējo konstrukciju. Pēc neilga laika tilts tika atjaunots un veiksmīgi ekspluatēts.

Minētie gadījumi rāda, ka ir iespējams izveidot drošu progresējošajam sabrukumam nepakļautu konstrukciju.



Tasmānijas tilts pēc kuģa trieciena.

Ņemot vērā aktuālas tendences ilgtspējīgā būvniecībā, ir nepieciešamas racionālas stratēģijas progresīva sabrukuma iespējas mazināšanai un novēršanai bez pārmērīga materiālu patēriņa un arhitektoniski piemērojamās gabarītos. Progresējošā sabrukuma problēma nenozīmē, ka tagad mums būtu jādzīvo pazemes bunkuros, taču būvniecības industrijai jāatrod optimāls veids pietiekami drošu ēku būvniecībai, kas spētu pārdzīvot iedomājamās un neiedomājamās avārijas.

Žurnāla nākamajos numuros – par būvnormatīvu prasībām, labo praksi un dažādiem risinājumiem. **BI**

#### Izmantotie avoti:

Stratossek U. Progressive collapse of structures – London: Thomas Telford, 2009.

Starossek U. Typology of progressive collapse // Engineering Structures, Sept. 2007, Vol. 29, No. 9, P. 2302-2307.

Recommendations for stay cable design, testing and installation – Phoenix: PTI Cable-Stayed Bridge Committee, 2007.

Аварийзданий и сооружений на территории Российской Федерации в 2003 году – Москва: Общероссийский общественный фонд *Центр качества строительства*, 2004.

Шкинев А. Н. Аварии в строительстве, 4-е издание – Москва: Стройиздат, 1984.