



Saliekamā dzelzsbetona augstceltnes



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



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

Jau gandrīz 70 gadus Latvijā un pasaulē izmanto saliekamā dzelzsbetona konstrukcijas, arī augstceltņu būvniecībā. Tehnoloģijai ir savas īpatnības, kas atbilstīgi jānovērtē.

Saliekamā dzelzsbetona konstrukcijām piemīt virkne pozitīvu īpašību – ātra montāža, labi kontrolējama kvalitāte, iespēja būt sarežģītos klimatiskajos apstākļos, mazāks cilvēku skaits būvlaukumā un iespēja transportēt gatavas konstrukcijas lielā attālumā – tas sekmē tehnoloģijas aktīvu izmantošanu arī mūsdienās. Konstrukciju popularitāti noteic nozarē vēroja-

mās tendences arvien vairāk izmantot iepriekš izgatavotus elementus vai pat veselus moduļus.

Viena no pirmajām

Pirmā augstceltne Latvijā un toreizējā PSRS un, iespējams, arī viena no pirmajām pasaulē, kas uzbūvēta no saliekamā dzelzsbetona konstrukcijām, ir 107 m augstā Latvijas Zi-

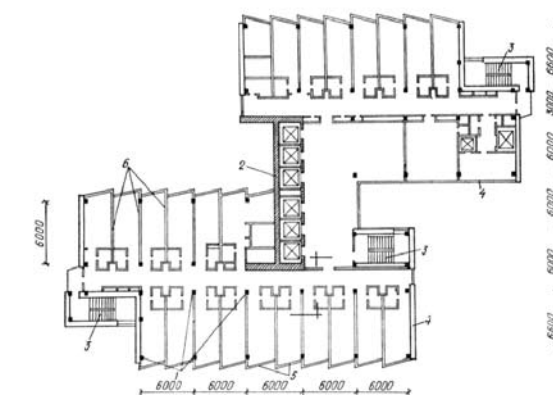


Saliekamā dzelzsbetona konstrukciju izmantošana LZA ēkas jeb Kolhoznieku nama būvniecībā, 20. gadsimta 50. gadi. Attēls no forum.myriga.info.

nātņu akadēmija jeb Kolhoznieku nams Rīgā. Ēkas būvniecībā no 1952. līdz 1958. gadam lietotas saliekamā dzelzsbetona kolonnas un rīģeļi. Sametinot būvlaukumā kolonnu stiegrojumu un monolitizējot savienojuma mezglus, iegūts stingrais ēkas nesošais karkass. Toreiz jaunā būvniecības tehnoloģija īpaši uzsvēta, un šī pieredze sekmēja tālāko saliekamā dzelzsbetona izmantošanu.

Ir zināms, ka Kolhoznieku nams ir pirmā tik augsta saliekamā dzelzsbetona ēka agrākajā Padomju savienībā. Mēs neesam atraduši daudzas līdzīgas to gadu saliekamā dzelzsbetona ēkas pasaulē, tāpēc esam pārliecināti, ka Rīgas Zinātņu akadēmijai ir rekordi arī pasaules mērogā. Līdzīgas ēkas tolaik būvēja galvenokārt no tērauda karkasiem.

Kopš tā laika saliekamā dzelzsbetona konstrukcijas plaši izmantotas būvniecībā, kaut parasti augstākām ēkām saliekamais dzelzsbetons kombinēts ar monolitā dzelzsbetona stinguma kodolu. Tāda konstruktīvā shēma izmantota 1972.–1980. gadā Maskavas centrālā tūristu nama celtniecībā ar ievērojamo 138 m augstumu.



Centrālais tūristu nams Maskavā un tā konstruktīvā shēma – monolīts kodols un saliekamā dzelzsbetona karkass apkārt. Attēls no archi.ru.



Het Strijkijzer ēka Hāgā slejas 132 m augstumā.



Hāgas saliekamā dzelzsbetona augstceltne būvniecības laikā. Attēli no wikipedia.org.



Tornis The Breaker slejas 165 m augstumā.

Attēls no hajihassan.com.

Salikšanas ātrums

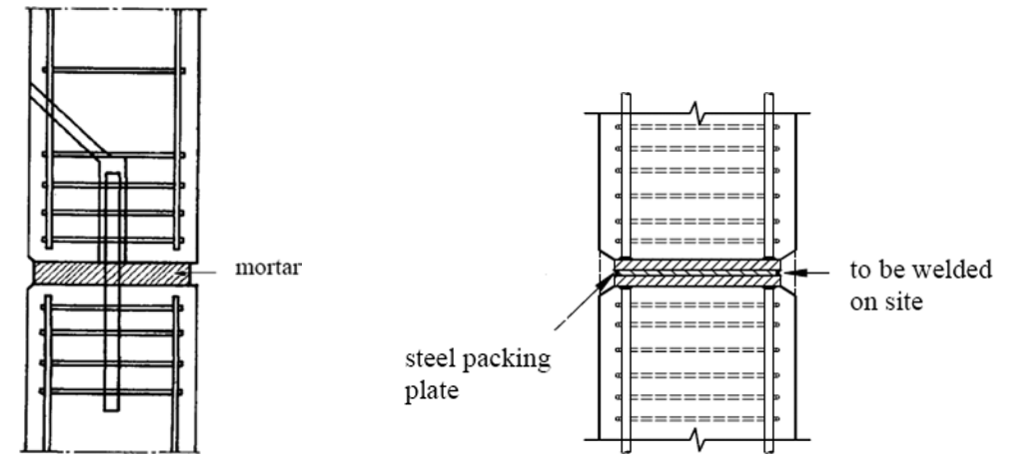
Holandes pilsētā Hāgā 2005.–2007. gadā uz-būvēta 132 m augsta ēka *Het Strijkijzer*, kas tolaik uzskatīta par augstāko saliekamā dzelzsbetona ēku pasaulē. Tehnoloģijas ļāva panākt iespaidīgu būvniecības tempu – divi stāvi nedēļā, pabeidzot celtni divu gadu laikā.

Ātrums ir viena no saliekamā dzelzsbetona galvenajām priekšrocībām, salīdzinot ar monolīto dzelzsbetonu.

Patlaban par visaugstāko saliekamā dzelzsbetona ēku pasaulē uzskatāms 165 m augstais tornis *The Breaker* Bahreinā, kas pabeigts 2015. gadā. Īpaša iezīme tam ir ekscentriski novietotais stinguma kodols pie torņa malas. Tāda konfigurācija vēja ietekmē rada ievērojamu papildu vērpi ēkas kodolā.

Risinājumi konstruēšanā

Saliekamā dzelzsbetona augstceltņu projektē-



Saliekamā dzelzsbetona kolonnu savienojumos pie lielām slodzēm kolonnu šķērsriezumu samazinošo kurpju vietās izmantotas iebetonējamas stiegras vai sametināmas tērauda detaļas [fib Bulletin No. 43 Structural connections for precast concrete buildings].

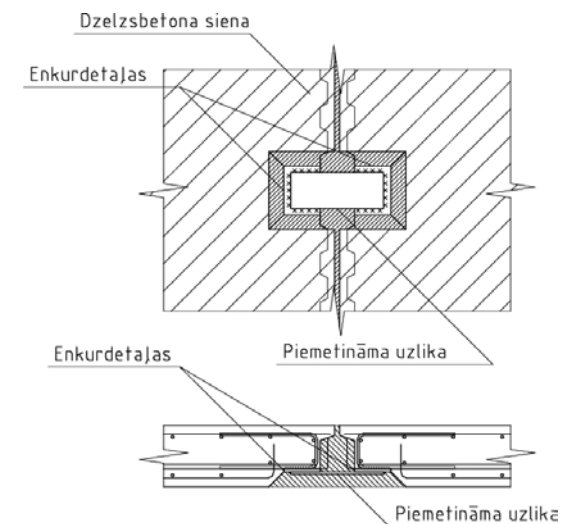
šanā ir līdzīgi risināmi uzdevumi kā tērauda un monolītā dzelzsbetona augstceltnēs, kaut katrai tehnoloģijai ir savas īpatnības.

Sākot plānot saliekamā dzelzsbetona ēku, jārēķinās, ka racionāli būs ortogonāli un regulāri plānojumi, zem pārsegumu plātnēm jāieplāno rīģeļi ar saliekamā dzelzsbetona elementu gabarītiem. Ar to jārēķinās gan augstceltnēm, gan mazstāvu saliekamā dzelzsbetona ēkām. Savukārt tērauda sijas ir opcija, kas sadārdzinās būvniecību.

Sākotnēji saliekamais dzelzsbetons pie mums izmantots ēkās ar augstumu līdz četriem pieciem stāviem. Tādēļ jārēķinās, ka tik populārās kolonnu kurpes ļoti slogotām kolonnām nebūs piemērotas – tās ievērojami samazina kolonnas šķērsriezumu un neļauj pilnvērtīgi izmantot caurejošo kolonnu stiegrojumu.

Sienu paneļu savienošanai nav piemērotas mikstās montāžas cilpas – to nestspēja ir nepietiekama, tās izmantojamas kā galvenais sienu paneļu savienotājs tikai mazstāvu mājās, kurām karkasu veido lielpaneļu sienas un pārsegumu plātnes.

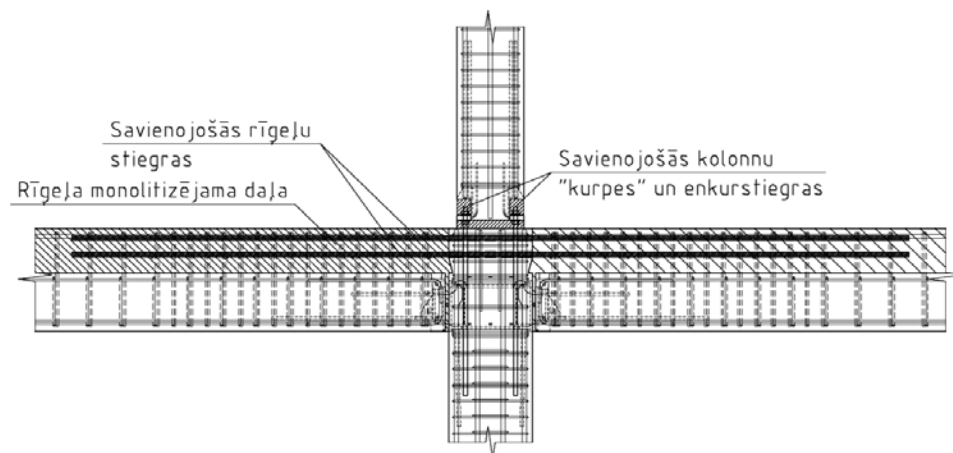
Sienu paneļus daudzstāvu sienu mājām var stiprināt ar stiegrojumu starpstāvu šuvēs, ja izdodas atrisināt stiegru enkurošanu. Redzam, ka visbiežāk pasaules praksē sienu pa-



Saliekama dzelzsbetona sienu savienojums ar metināmām uzlikām.

neļu stiprināšanai izmantota iebetonēto enkurdetaļu sametināšana.

Skandināvi un vairāki Latvijas saliekamā dzelzsbetona būvētāji plaši lieto metinātas detaļas arī mazstāvu būvniecībā. Tās dod ievērojamu stingumu karkasam jau montāžas laikā pirms miksto cilpu savienojumu monolīzēšanas, paātrinot būvniecību.



Saliekama dzelzsbetona karkasa mezgls ar elementu savstarpējo savienojošo stiegrojumu, kas nodrošina robustuma prasību izpildi.

Saprātīga slodzes rezerve

Nav jāpārspīlē ar metināšanas kvalitātes kontroli saistītās problēmas, kas mūsdienās nereti kļūst par šķērslī šīs metodes izmantošanai būvlaukumā. Projektos jārod iespējas neprasiēt rentgena vai ultraskaņas pārbaudes metinājumiem – jāparedz saprātīga noslodzes rezerve, kas ļauj iztikt ar vizuālām metināšanas kvalitātes pārbaudēm. Ir racionāli jāvērtē katras metodes paneļu savienošanas metodes priekšrocības. Taču esam pārliecināti, ka augstceltņu būvniecībā metinātie paneļu savienojumi būs pārāki, bieži vien neaizstājami.

Viens no apstākļiem, kas ierobežo saliekamā dzelzsbetona konstrukciju izmantošanu, ir pacelšanas tehnikas jauda. Ir pamatoti izmantot pēc iespējas lielākus elementus, tas palielina montāžas ātrumu un mazina savienojumu skaitu. Tomēr torņu celtspeja var kļūt par ierobežojumu, īpaši daudzslāņu fasādes sienām. Izšķirīgi tas ir augstceltnēm. Palielinoties ēkas augstumam, pieaug arī elementu gabarīti, to pacelšanas un montāžas laiks.

Mūsu praksē *Z-Towers* augstceltņu būvniecības laikā apskatīta iespēja lietot saliekamā dzelzsbetona konstrukcijas. Tomēr būvlaukumā jau uzstādīto celtni celtspeja bija pietiekama tikai pārseguma dobo paneļu montāžai,

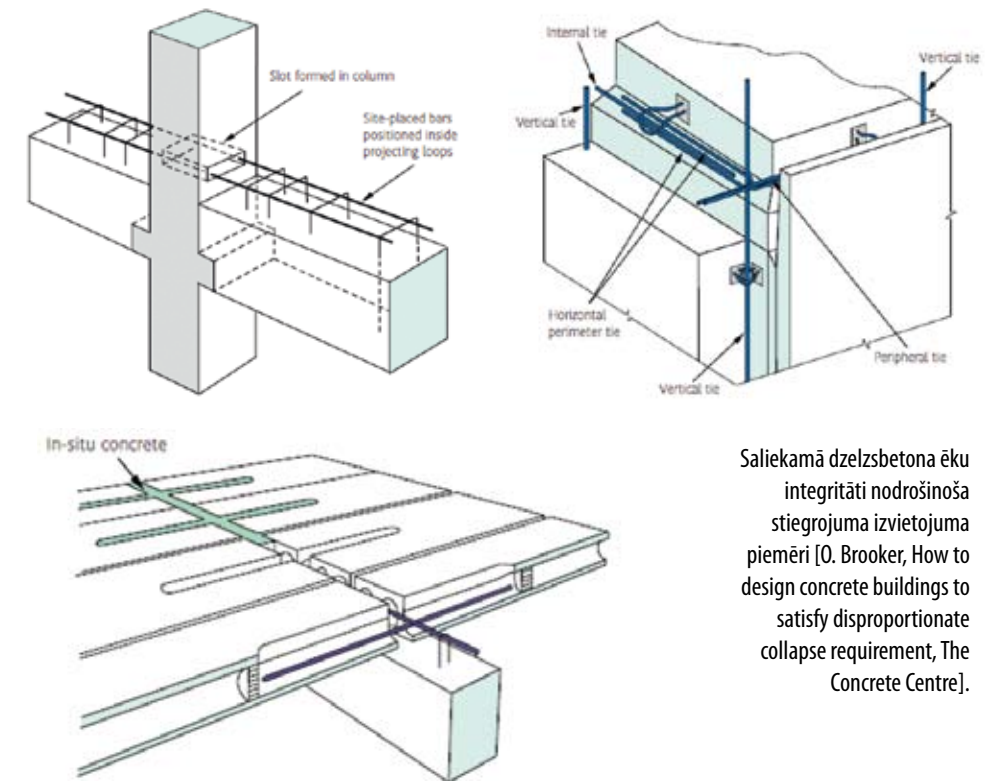
bet neatbilda lielākiem un smagākiem elementiem. Sākotnēji ēkas arhitektūra nebija plānota kā saliekamā dzelzsbetona konstrukcija, un tas kavēja pāriešanu uz šo tehnoloģiju. Tāpēc lēmumam par būvniecībā izmantojamo pacelšanas tehniku un tās parametriem jābūt pieņemtam jau projektēšanas sākumposmā – ar to ir jāsāk.

Robustums un integritāte karkasos

Kopumā saliekamām dzelzsbetona konstrukcijām ir aktuāla ēkas robustuma jeb kopējas integritātes prasību nodrošināšana. Ēkas elementiem jābūt pietiekami sasaistītiem, lai kādas iedomājamas vai neiedomājamās avārijas vai kļūdas dēļ visa celtnē nesabrukta kā karšu namiņš, bet paliktu stabila, sabrukumam skatot tikai vienu lokālu zonu.

Eirokodekss noteic, kā ēkām virs 15 stāviem ir vajadzīga kompleksa progresējoša sabrukuma scenāriju analīze. Tas ir veiksmīgi risināms, starp saliekamajiem elementiem lietojot monolītas joslas ar savienojošo stiegrojumu. Alternatīvs risinājums var būt elementu savienošās tērauda uzlikas, kas ir piemināmas pie elementu ielikamajām detaļām, kaut šajā gadījumā īpaša uzmanība jāvelta metināšanas kvalitātei un ilgmūžībai.

Augstceltnēs summējās un izceļas visi tie



Saliekamā dzelzsbetona ēku integritāti nodrošina stiegrojuma izvietojuma piemēri [O. Brooker, How to design concrete buildings to satisfy disproportionate collapse requirement, The Concrete Centre].

efekti, kas mazstāvu un vidēja augstuma ēku būvniecībā par sevi neliek manīt. Līdzīgi kā vējš, kas uz trīsstāvu ēkas noslodzēm atstās iespaidu tikai dažu procentu robežās, bet atsevišķiem augstceltņu elementiem būs galvenais piepūļu iemesls. Līdzīgi arī montāžas neprecizitāšu radītās ekscentritātes pie ievērojami lielākām slodzēm radīs krietni iespaidīgākus gadījuma lieces momentus.

Svarīgi elementus sasaistīt

Tādēļ ir nozīmīgi ne tikai nodrošināt alternatīvos slodžu ceļus robustuma prasību izpildei, bet arī veidot konstrukciju savstarpēji integrētāku. Ir svarīgi sasaistīt pārseguma plātnes ar rīģeļiem ne tikai balstos, bet arī pa kontūru, rast iespēju visus iepriekš izgatavotos elementus samonolitizēt, visām monolitizējamajām stiegrām nodrošināt atbilstīgu enkurojumu. Ar monolitizēšanu saliekamā dzelz-

sbetona būve tuvojas monolītā betona konstrukcijai.

Ļoti daudzas potenciālās problēmas novērš saliekamā dzelzsbetona konstrukcijas monolitizēšana. Rekomendējamas ir kompozītās sijas – virs saliekamās dzelzsbetona sijas daļas paredzama monolītā dzelzsbetona daļa, kurā var izvietot gan stiegrojumu, kas nodrošinās augšējo stāvu iekāršanas kolonnas zaudēšanas gadījumā, gan arī pārseguma plātņu enkurojumu.

Filigrānās plātnes

Jādomā par plašāku filigrāno plātņu izmantošanu pie kāpņutelpām un citur, kur mazstāvu apbūvē plaši izmanto masīvas saliekamā dzelzsbetona plātnes. Masīvo plātņu galvenais trūkums – tās ar kopējo konstrukciju ir jāsavieno ar iebetonējamām detaļām. Tās ir salīdzinoši dārgas pret pašu nestspēju, bet augstceltnēs ir ievērojami lielākas jau ar aprēķinu

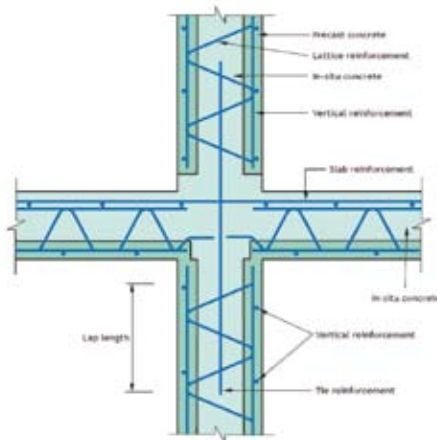
noteiktās sagaidāmās piepūles, nemaz nerunājot par citām iepriekš neprognozējamām gadījuma piepūlēm.

Tādēļ filigrānās plātnes, kas ļauj virs saliekamās plātnes daļas izvietot un pārējā konstrukcijā monolitizēt konstruktīvu stiebrojumu, ir ļoti efektīgs risinājums. Aprēķinot, cik maksās pacelt lieku grozu ar betonu monolitizēšanai iepretī tam, cik maksās detaļas masīvā saliekamā betona plātnē, kas jāsaskrūvē ar pārējo konstrukciju – lielas izredzes uzvarēt ir monolitizēšanai.

Slīpāki par Pizu

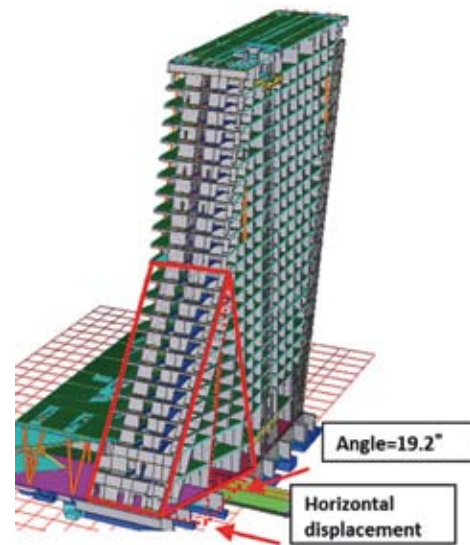
Ne tik augsts, bet visnotaļ izaicinošs saliekamā dzelzsbetona projekts ir divi 77 m augsti 24 stāvu torņi *Bella Hotel* Kopenhāgenā Dānijā. Tie ir uzbūvēti ar vidējo ~15° slīpumu – Pizas torņa sagāzuma slīpums ir tikai 4°, un savstarpēji savienoti ar tiltu augšstāvu līmenī. Tik liela torņa slīpums būtu sarežģīts uzdevums arī monolitā dzelzsbetona konstrukcijām.

Ēka ir veidota, izmantojot saliekamā dzelzsbetona sienas ar atsevišķiem monolitizējamiem posmiem un joslām pārsegumu līmenī, kā arī dobus pārseguma paneļus un saliekamā



Saliekamā dzelzsbetona ēku integritāti nodrošina stiebrojuma izvietojuma piemēri, izmantojot filigrānās plātnes un sienas [O. Brooker, How to design concrete buildings to satisfy disproportionate collapse requirement, The Concrete Centre].

dzelzsbetona riģeļus ar monolitizējamu augšpusi. Monolīto joslu izmantošana ļāva efektīvi nodot lielās horizontālās piepūles, kas veidojas ēkas slīpuma dēļ starp saliekamajiem elementiem, un aizvadīt tās uz pamatiem.



Slīpie *Bella Hotel* torņi Kopenhāgenā [Dahl, K. K. B. (2014). *Bella Sky Hotel* – taking precast concrete to the limit. *Structural Concrete*, 15(4), 441–447. doi:10.1002/suco.201400017]. Attēls no facadeworld.com.

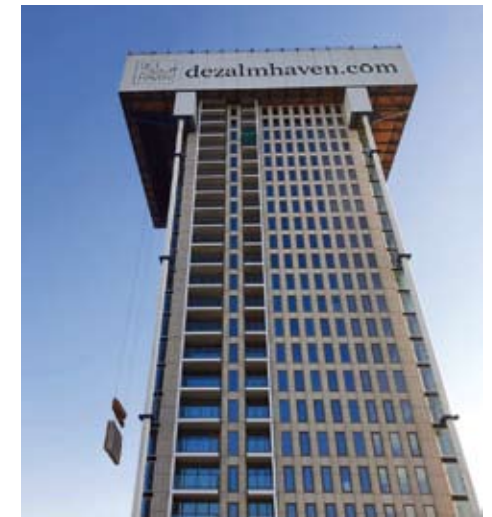
Paceļamā platforma

Visai neparasta lielo elementu pacelšanas tehnoloģija izmantota pašlaik Holandē būvējamā pasaules augstākajā saliekamā dzelzsbetona ēkā *De Zalmhaven* Roterdamā. 215 m augstais nams top ar paceļamās tērauda platformas palīdzību, kas izveidota ap ēku ar divsiju celtniem.

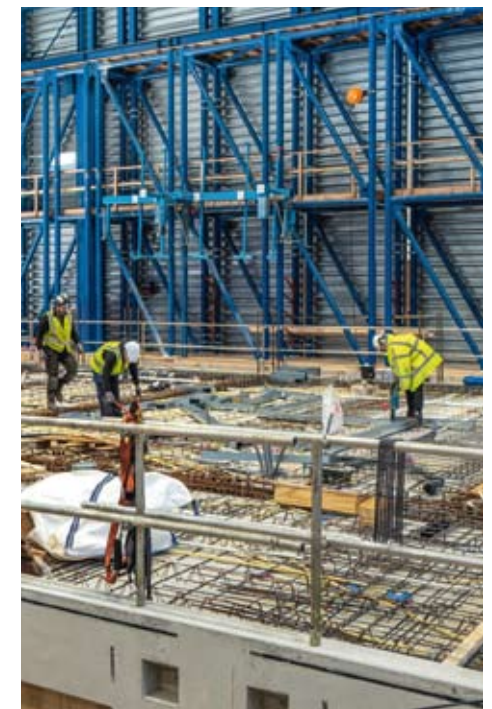
Pateicoties platformas konsoles izvirzījumiem, siju celtni spēj izbaukt ārpus būvējamās ēkas kontūras un celt paneļus tieši no automašīnām. Tas ļauj sasniegt iespaidīgu 40 t celtspēju, un platformas profilētā tērauda apšuvums pasargā celtniekus no stipra vēja un lietus, nodrošinot ļoti komfortablus darba apstākļus – salīdzināmus ar rūpnīcas cehu. Pēc stāva būvniecības pabeigšanas platforma ar hidraulisko domkratu tiek pacelta pa visu stāvu augstāk.

De Zalmhaven ēkā Roterdamā izmanto fasādes elementus ar gatavu ārējo apdari un iemontētiem logiem, kas paātrina būvniecību. Pārsegumi veidoti no saliekamām filigrānām plātnēm ar monolitizējamu augšpusi, kas ļauj iestrādāt plātnē nelielas inženierkomunikācijas un iegūt kopējo ēkas integritāti ar savienojošo stiebrojumu. Sagaidāms, ka pēc būvniecības pabeigšanas 2022. gadā šī būs visaugstākā saliekamā dzelzsbetona ēka pasaulē.

Saliekamā dzelzsbetona konstrukcijas ir labs veids, kā efektīvi un ātri uzbūvēt lielu ēku. Tomēr lēmumam par šīs tehnoloģijas izmantošanu jābūt pieņemtam projektēšanas sākumā un konsekventi ievērotam visā projektēšanas un būvniecības laikā. Tas ir komandas darbs. Arī arhitektam jārespektē saliekamā dzelzsbetona konstruēšanas pamatprincipi, būvniekam jāiesaistās procesā maksimāli ātri, jāprognozē atbilstošas transportēšanas un montāžas iespējas, jāpiedalās variantu tāmēšanā. Pasaules prakse rāda, ka vienots un mērķtiecīgs komandas darbs ļauj sasniegt iespaidīgus rezultātus, būvējot saliekamā dzelzsbetona debeskrapjus. Bl



Patlaban Roterdamā topošā 215 m augstā ēka *De Zalmhaven*. Attēls no projekta [Twitter](https://twitter.com) konta.



De Zalmhaven 215 m augstās celtnes būvniecībā izmanto slīdošo konsolplatformu un siju celtnus ar 40 t celtspēju, kas ļauj pacelt lielus dzelzsbetona elementus un nodrošina komfortablus darba apstākļus celtniekiem augstumā. Attēls no dezalmhaven.com.