



Ekonomikas ministrija



INŽENIERU
KOMPETENCES
CENTRS

Tiešsaistes apmācību seminārs būvspeciālistiem un projektētājiem

ID Nr. EM 2023/28

Rīga, 2023



Ekonomikas ministrija



Training seminar / Apmācību seminārs

“SALIEKAMO DZELZSBETŅONU KONSTRUKCIJU PROJEKTĒŠANA”

DESIGN OF PRECAST CONCRETE STRUCTURES

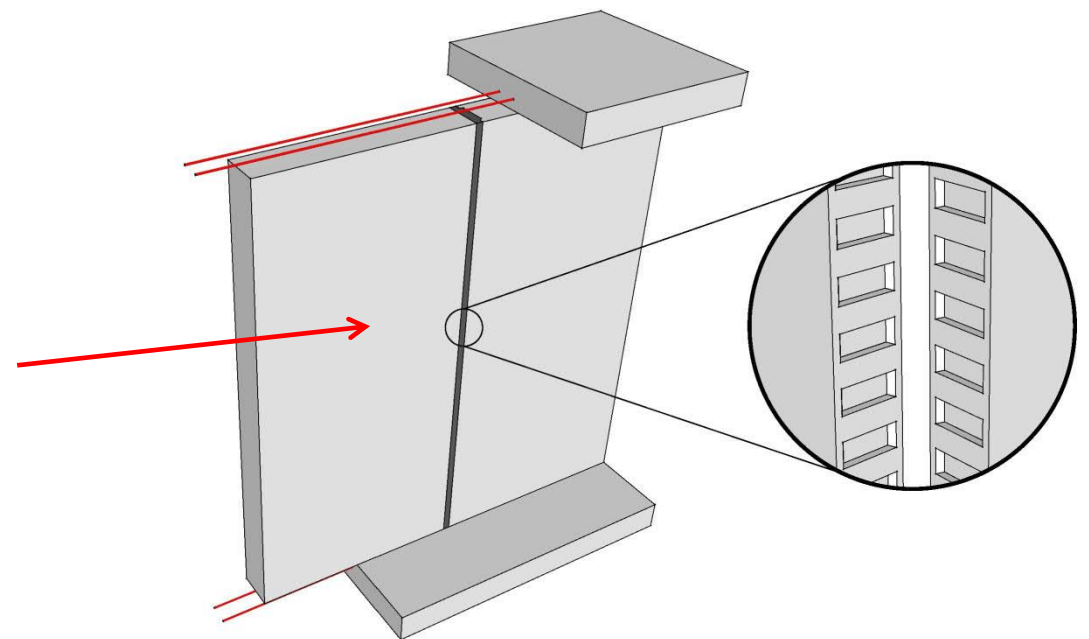
October 18th, 2023

Dick van Keulen (Nīderlande) un Gabriel Tarta (Rumānija)

Tuvāka iepazīšanās ar pasniedzēju:

- Diks van Keulens, PhD, MSc
- Konstrukciju projektēšanas firmas dibinātājs (INGENIEURSTUDIO **DCK**
 - Specializējies saliekamo dzelzsbetona ēku projektēšanā

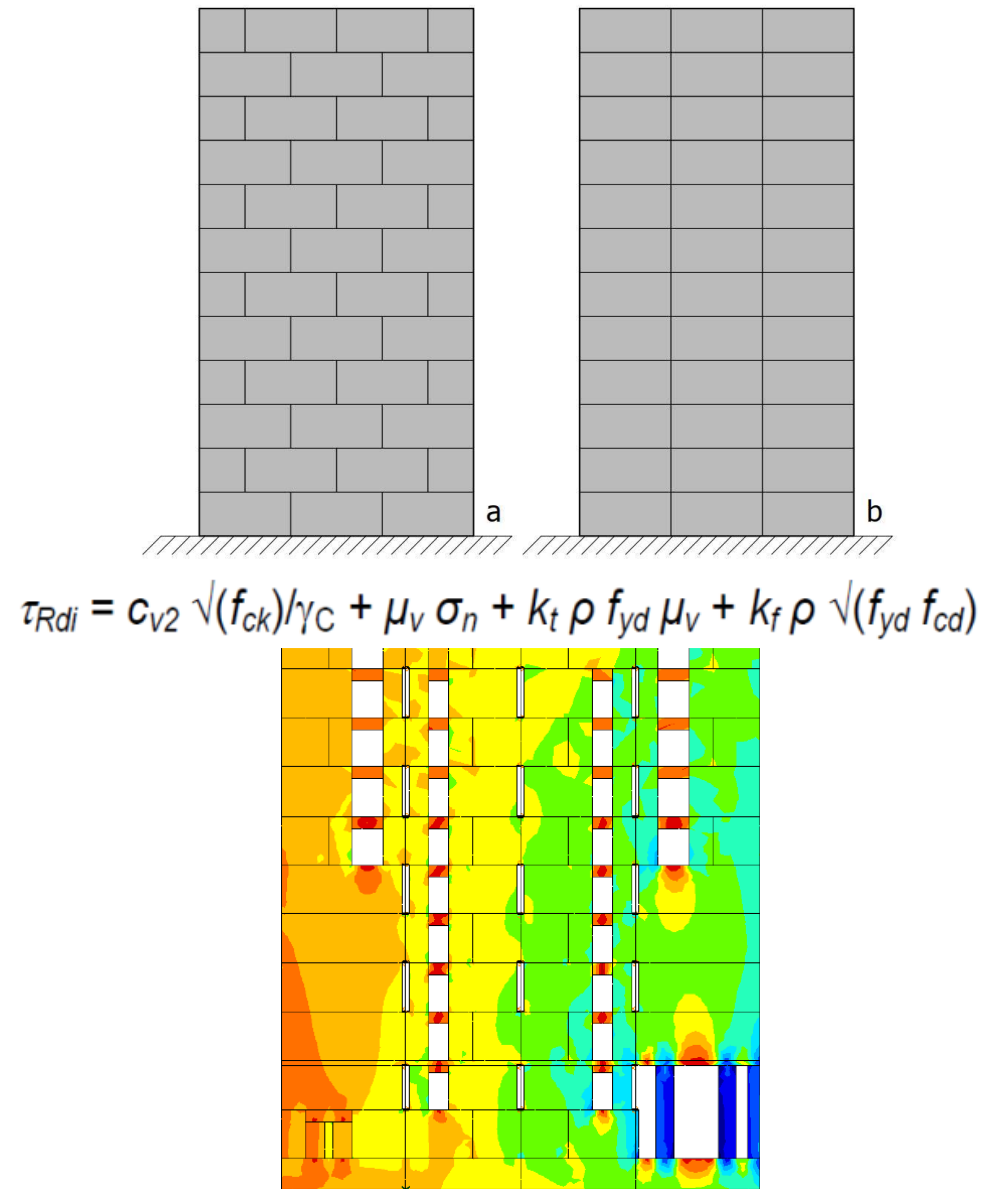
- Pētījumu tēmas, kas saistītas ar saliekamo betonu:
 - Daudzstāvu ēku projektēšana un celtniecība
 - Doktora pētījums “Šauri vertikālie javas savienojumi saliekamā betona bīdes sienām”
 - Būvkonstrukciju robustums
 - Vairāku komiteju loceklis



- **levads**
- Saliekamo dzelzsbetona būvkonstrukciju projektēšana un aprēķini:
 - Elementu izkārtojuma dizaina specifika
 - Prasības pašreizējos un nākamās paaudzes Eirokodeksos
 - GEM modelēšana un analīze konstrukcijām, kas sastāv no HCS un bīdes sienām
- Jautājumu un atbilžu sesija

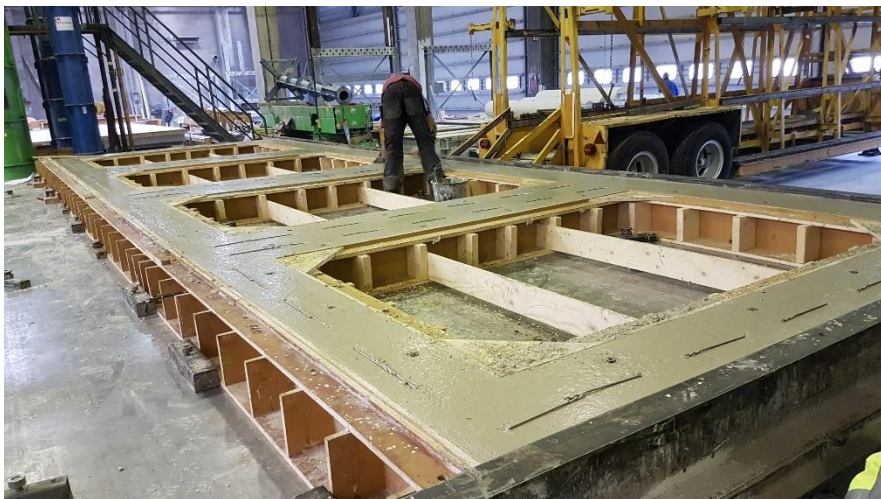
Ievads

- 1 daļa: Saliekamo dzelzsbetona būvkonstrukciju projektēšana un aprēķini:
 - Elementu izkārtojuma dizaina specifika
 - Prasības pašreizējos un nākamās paaudzes Eirokodeksos
 - GEM modelēšana un analīze konstrukcijām, kas sastāv no HCS un bīdes sienām



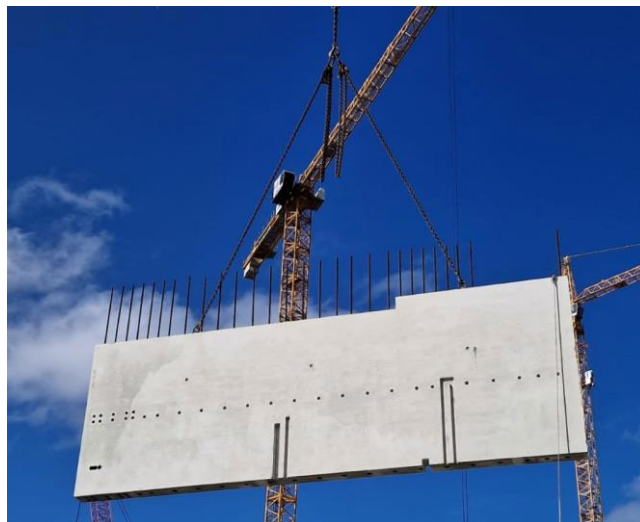
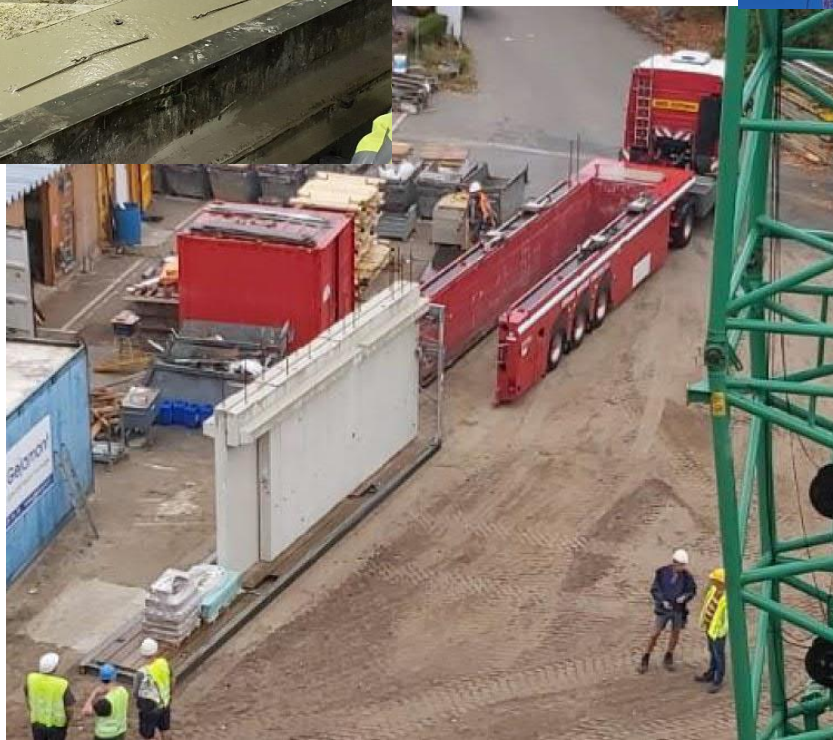
levads

Saliekamā dzelzsbetona būvniecības metode



Sienas elementa
celtniecība dzelzsbetona
rūpnīcā

Transports pa
publiskajiem ceļiem



Vertikālais transports



Montāža būvlaukumā



Kāpēc būvējam ar saliekamo dzelzsbetona konstrukciju?

- Tradicionālās būvlaukumos ir 3 trūkumi (netīrs, bīstams un sarežģīts)

Priekšrocības

- Gatavās sastāvdaļas ir tikai jāsamontē
- Augsta kvalitāte betona rūpnīcas ražošanas dēļ
- Mazāk sarežģīta loģistika būvlaukumos
- Liels būvniecības ātrums!

Trūkumi

- Salīdzinoši ilgs inženierijas process
- Nav elastības attiecībā uz novēlotām izmaiņām
- Ierobežots elementu izmērs un svars (autotransporta dēļ)



levads

Kad patiešām tiek gūti ieguvumi?

- Būvniecība bez tradicionālajām sastatnēm
- Gatavs fasādes elements (ieskaitot stiklotus rāmjus)
- Pašnesošās plātnes ar iepriekš piestiprinātiem balkoniem



levads

Bez sastatnēm uzbūvētu ēku piemēri



Maanplein Den Haag (70m)



De Brabander Tilburg (60m)



Grote Beer Rotterdam (70m)

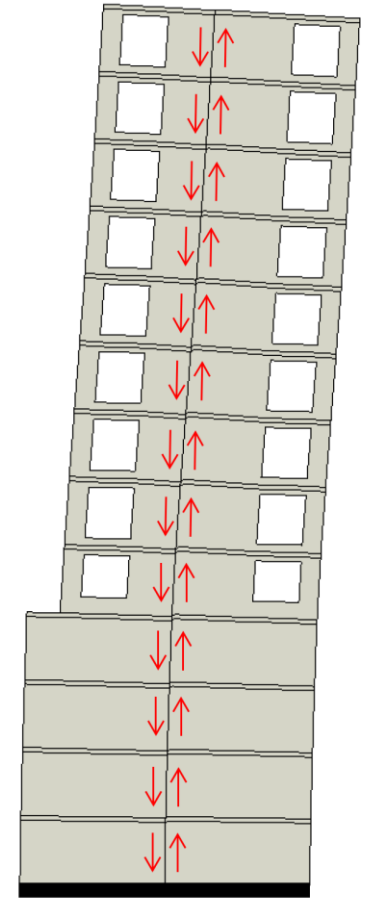
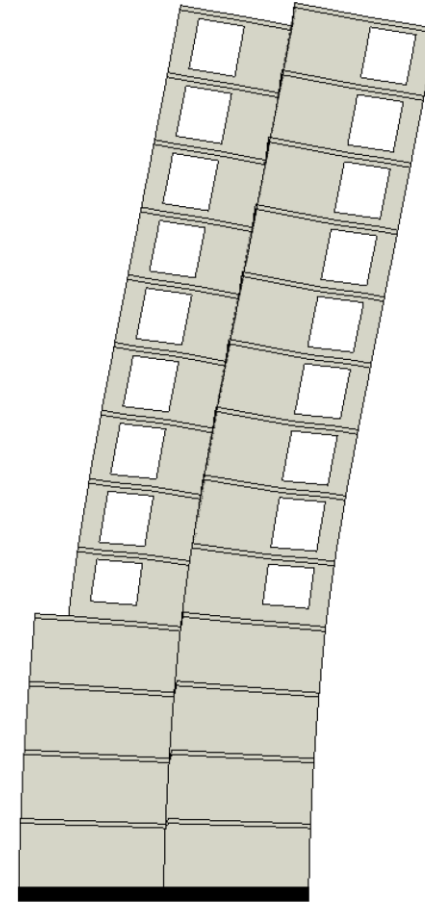
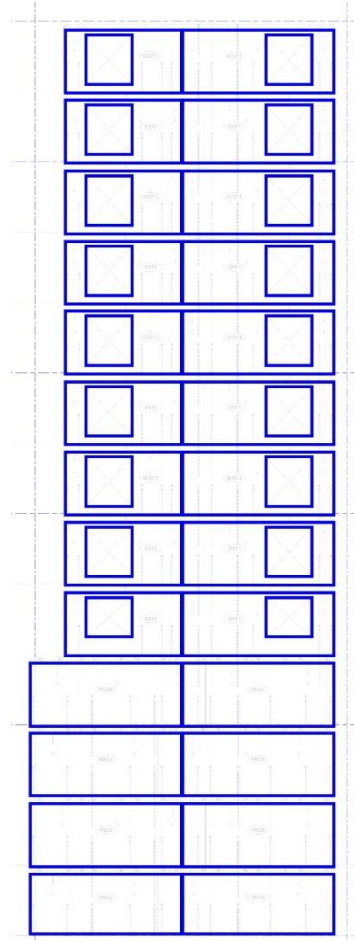
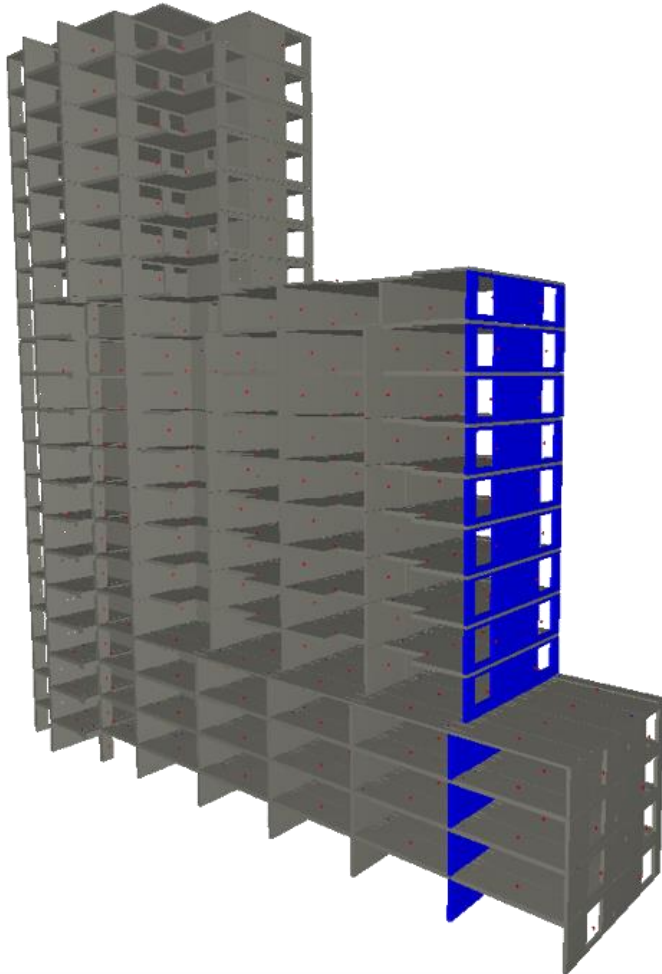


Zalmhaventoren Rotterdam (215m)

- Ievads
- Saliekamo dzelzsbetona būvkonstrukciju projektēšana un aprēķini:
 - Elementu izkārtojuma dizaina specifika
 - Prasības pašreizējos un nākamās paaudzes Eirokodeksos
 - GEM modelēšana un analīze konstrukcijām, kas sastāv no HCS un bīdes sienām
- Jautājumu un atbilžu sesija

Elementu izkārtojuma dizains

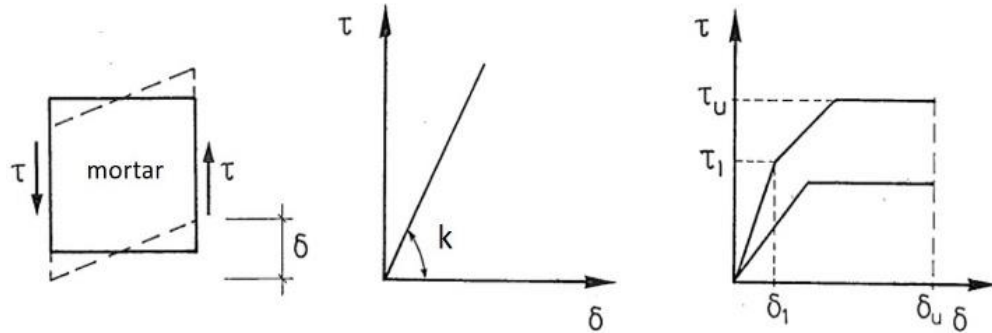
Elementu izkārtojuma dizaina specifika



Elementu izkārtojuma dizains

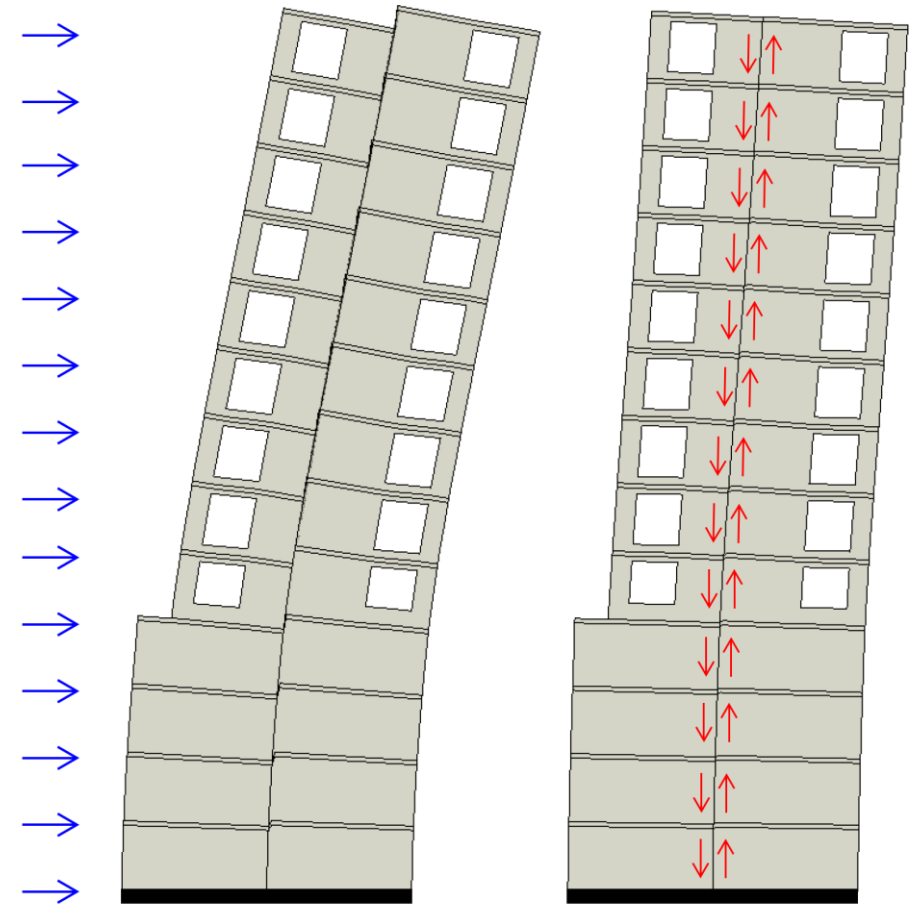
Elementu izkārtojuma dizaina specifika

- Vertikālā savienojuma bīdes uzvedība



Bīdes stingums $k = \frac{\tau}{\delta}$

Bīdes jauda τ_u



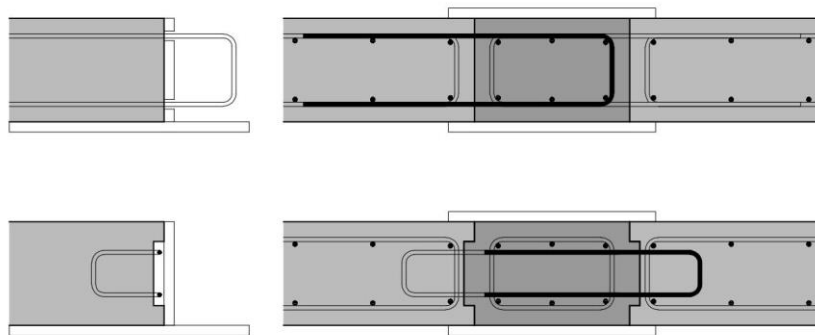
$k = 0$

$0 < k < \infty$

Elementu izkārtojuma dizains

Elementu izkārtojuma dizaina specifika

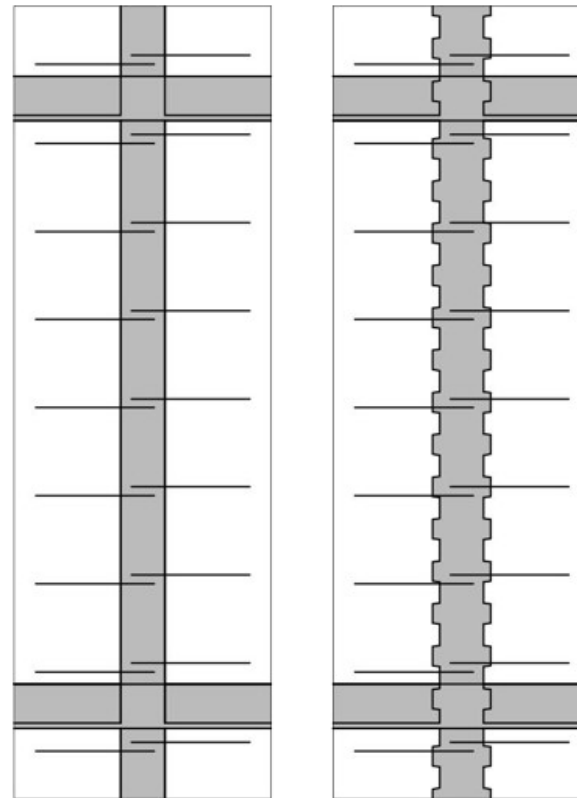
- Lieta cilpas savienojums
- Nepārtraukts savienojums
- Smago spēku pārvietošanai
- Ļoti darbietilpīgs!



Concrete factory

Construction site

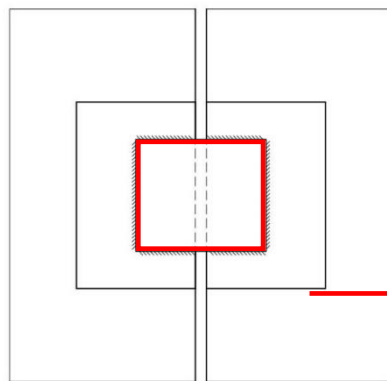
Rebend connection



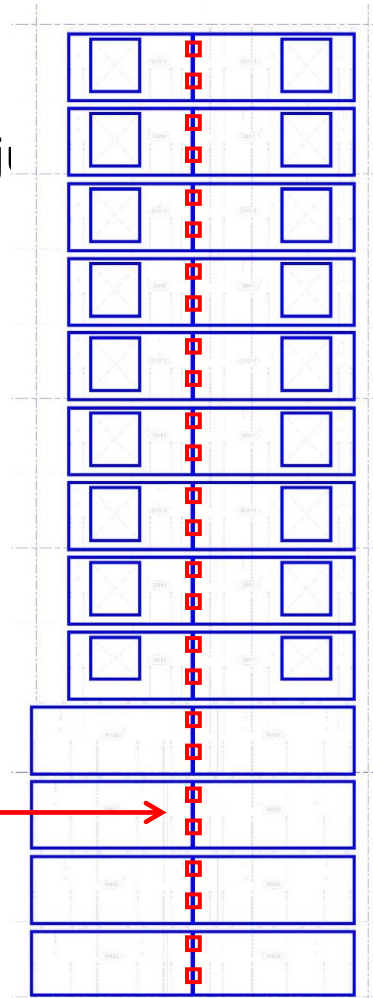
Elementu izkārtojuma dizains

Elementu izkārtojuma dizaina specifika

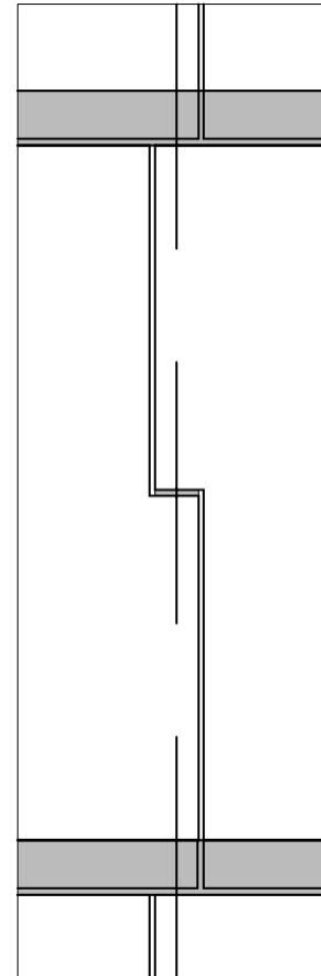
- Diskrēti savienojumi
 - Metinātu plātņu savienojumi
 - Korbela savienojums
 - Pieskrūvēts savienojums
- Savienojošie elementi



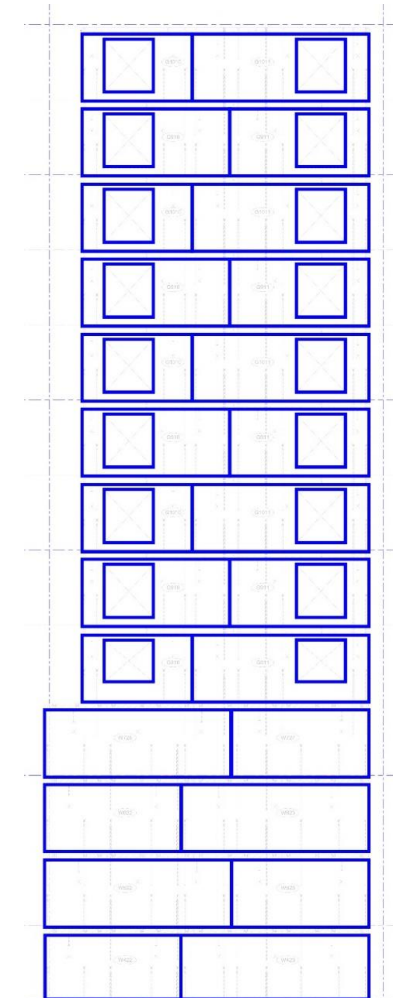
Welded connection



○ Korbela savienojums



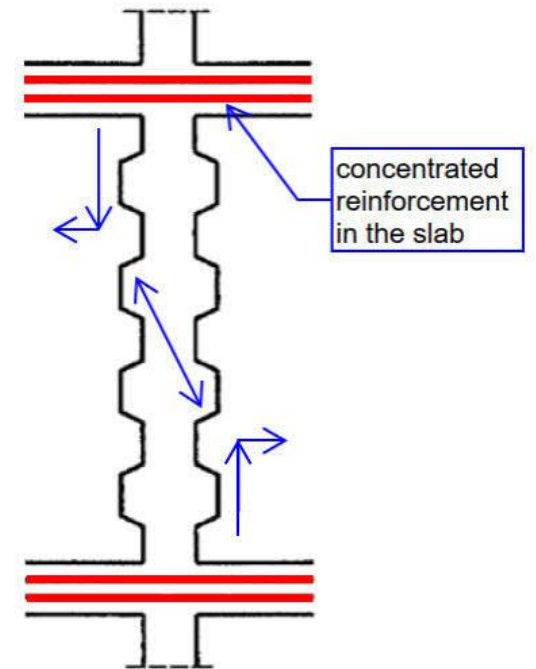
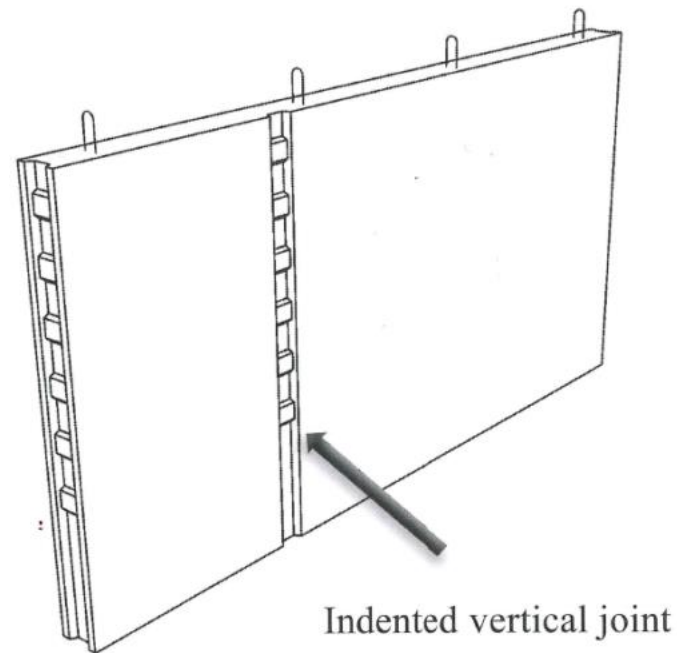
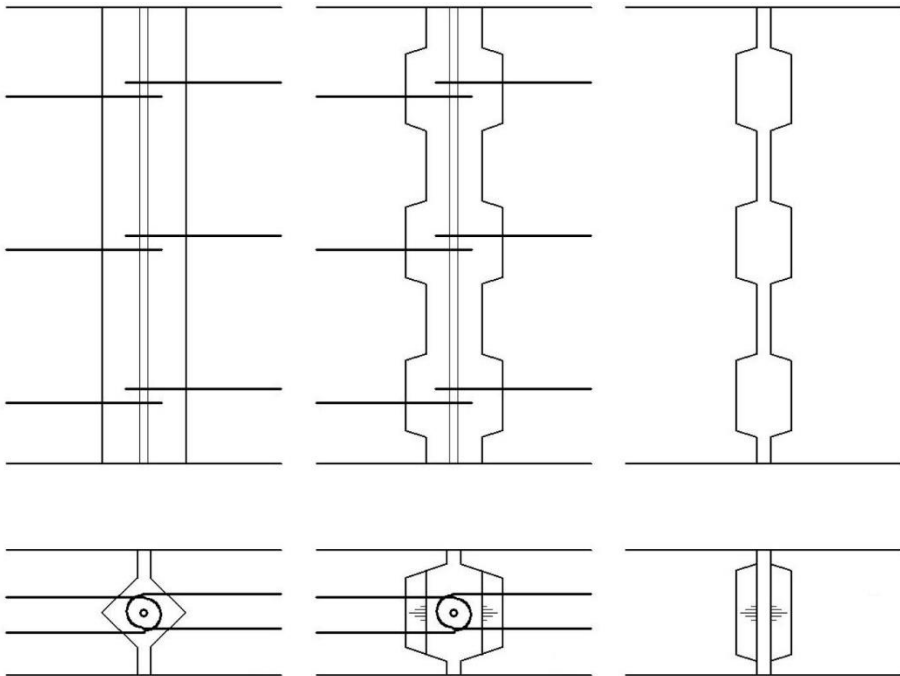
Savienojošie elementi



Elementu izkārtojuma dizains

Elementu izkārtojuma dizaina specifika

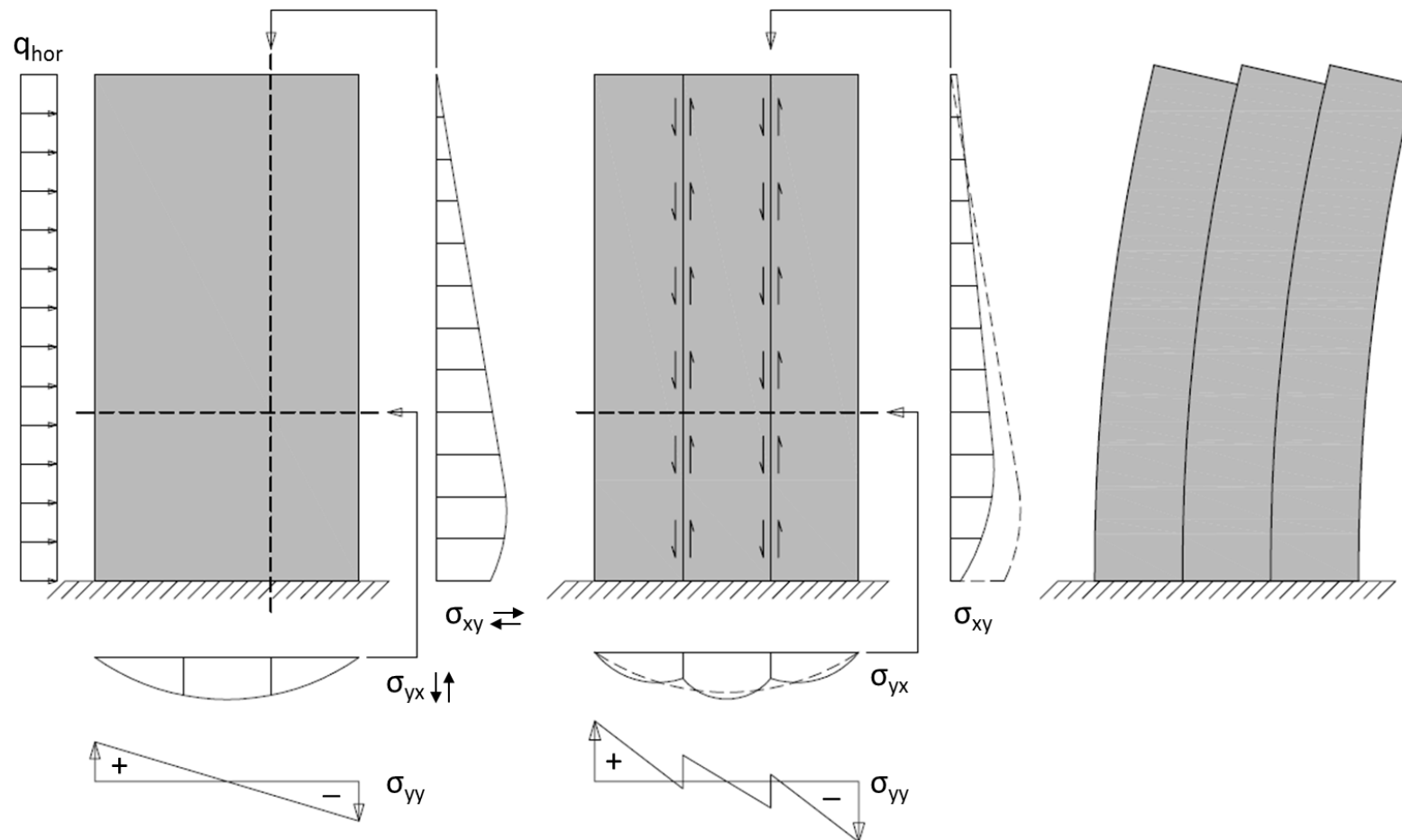
- Javas savienojumi
- Savienojumu kombinācijas (piemēram, profilētas javas savienojums ar metinātām plātnēm)



Elementu izkārtojuma dizains

Elementu izkārtojuma dizaina specifika

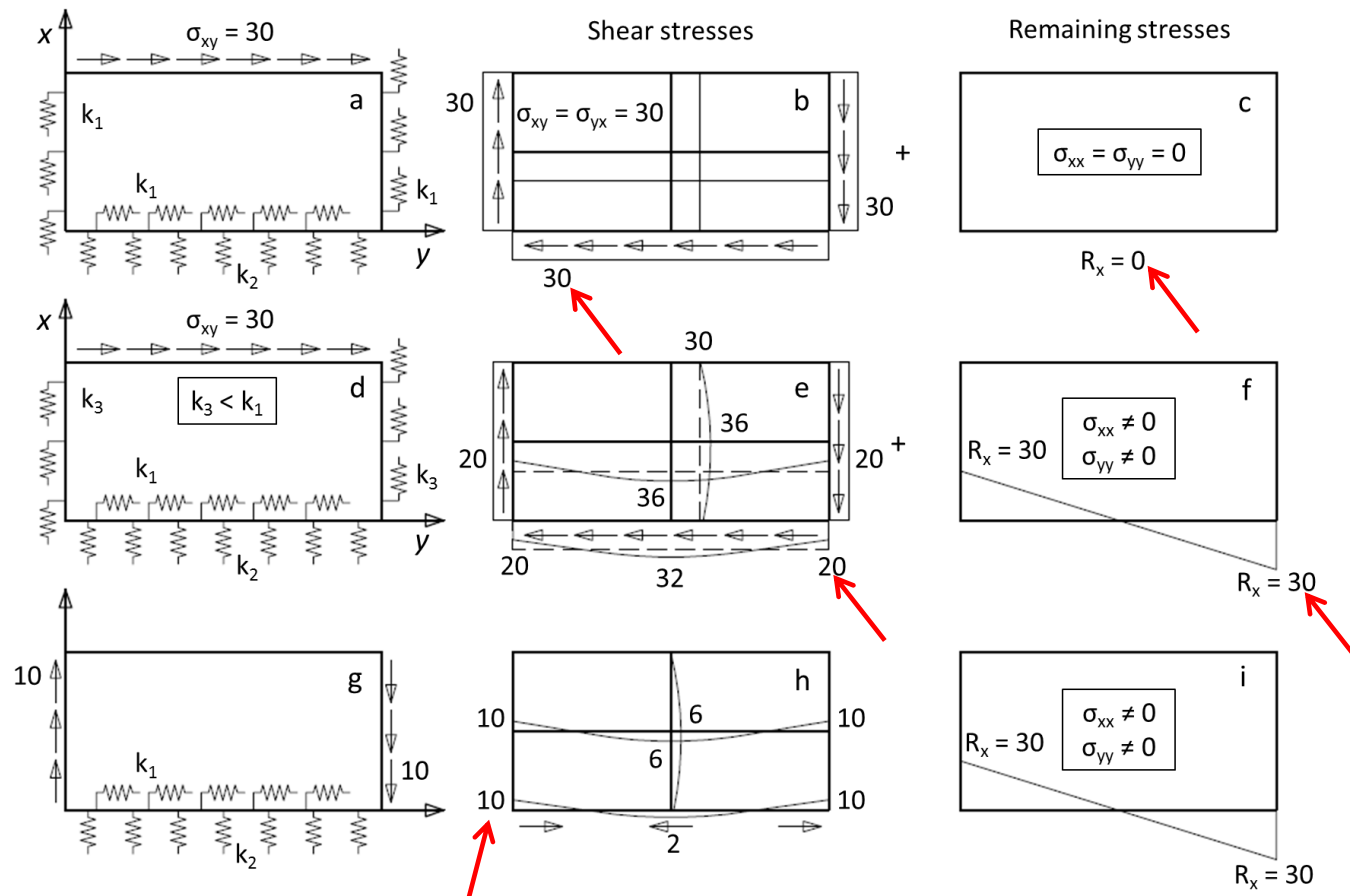
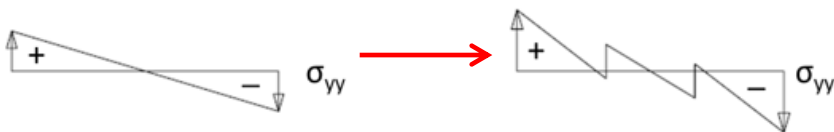
- Vertikālā bīdes savienojuma ietekme uz konsoles bīdes sienas uzvedību



Elementu izkārtojuma dizains

Elementu izkārtojuma dizaina specifika

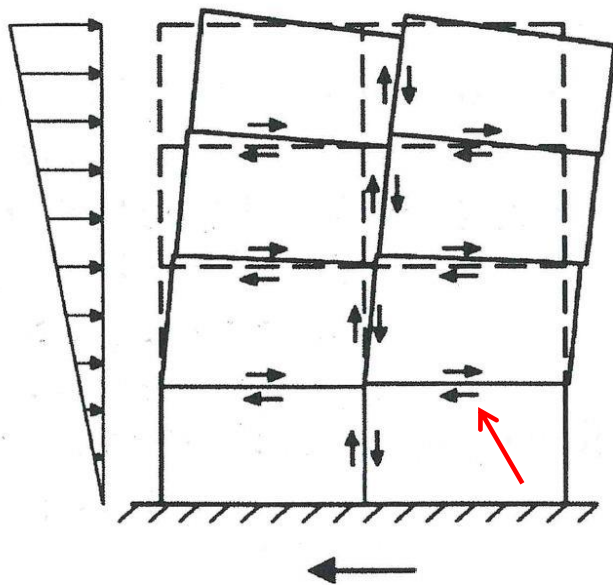
- Eksperimentējiet ar bīdes sprieguma sadalījumu
- Plātņu modelis ar vienmērīgiem bīdes spriegumiem un vertikālo balstu stingrību k_1 :
- Gadījumā ar samazinātu stingrību k_3 : atspoguļo samazinātu savienojuma bīdes stingrību:
 - Izraisa vertikālos (lieces) spriegumus R_x
- Atlikušie spriegumi (10), kas jāpārnes, saliekot trīs sienas elementu kaudzes:



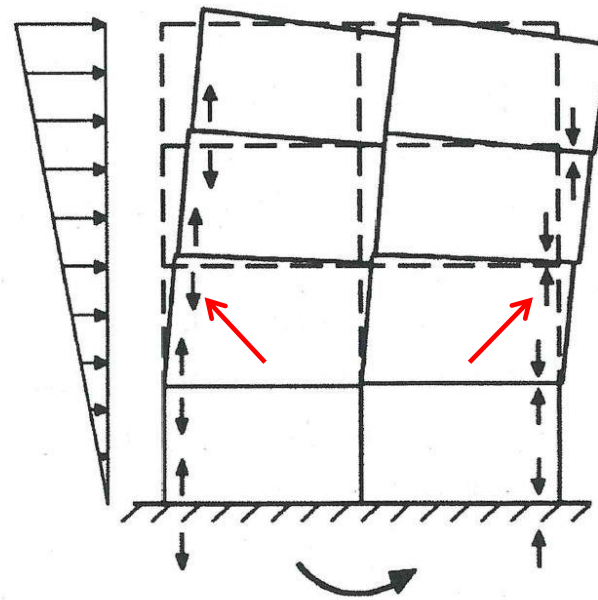
Elementu izkārtojuma dizains

Elementu izkārtojuma dizaina specifika

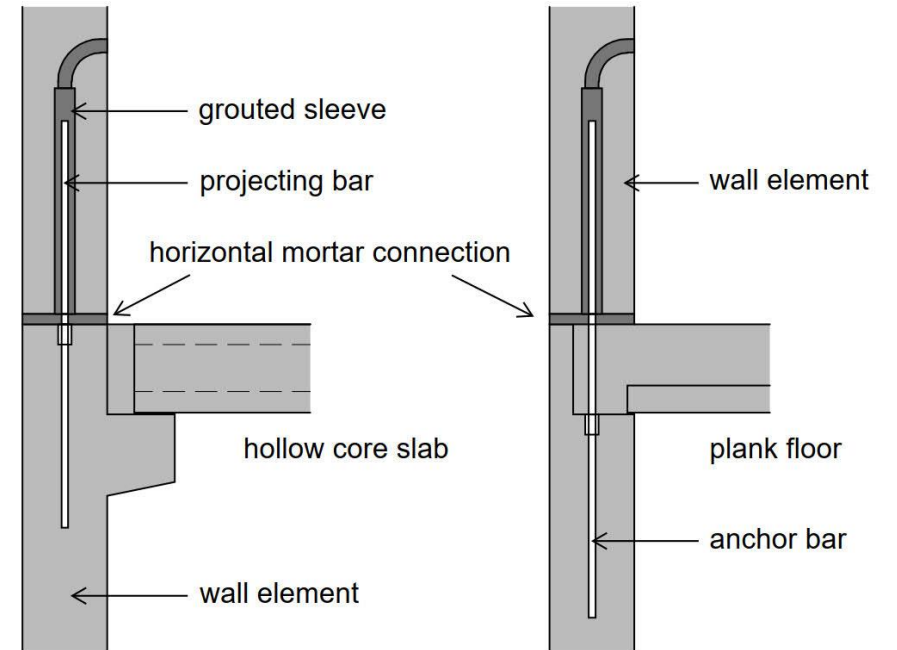
- Tradicionālais horizontālais javas savienojums



Shear forces



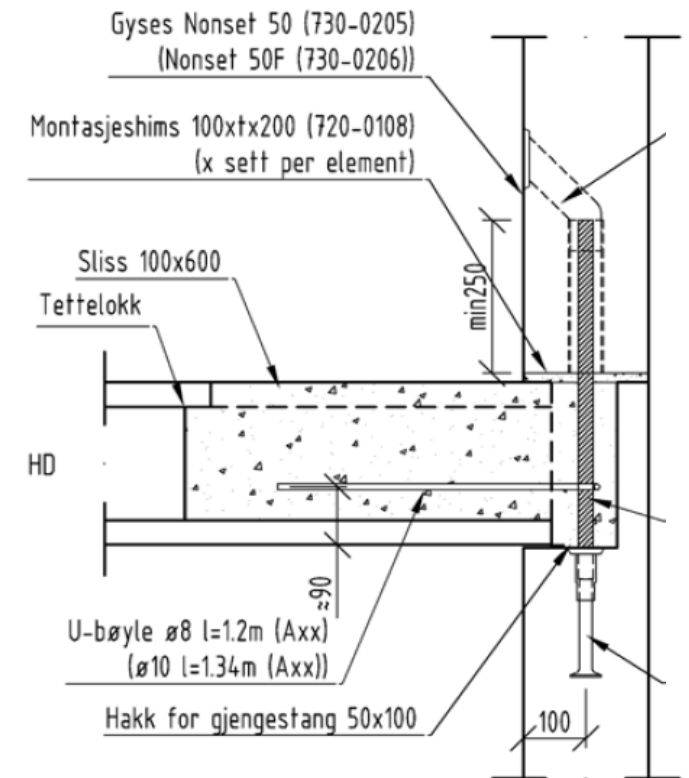
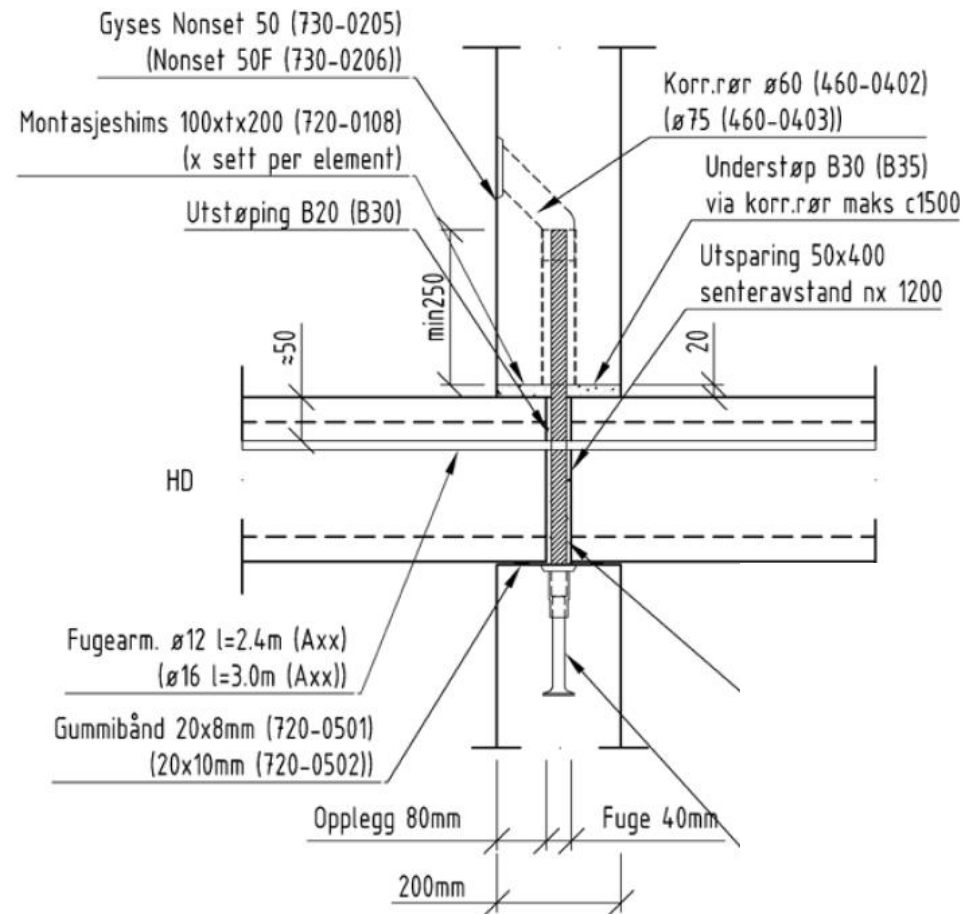
Bending moments
(Tension and Compression forces)



Elementu izkārtojuma dizains

Elementu izkārtojuma dizaina specifika

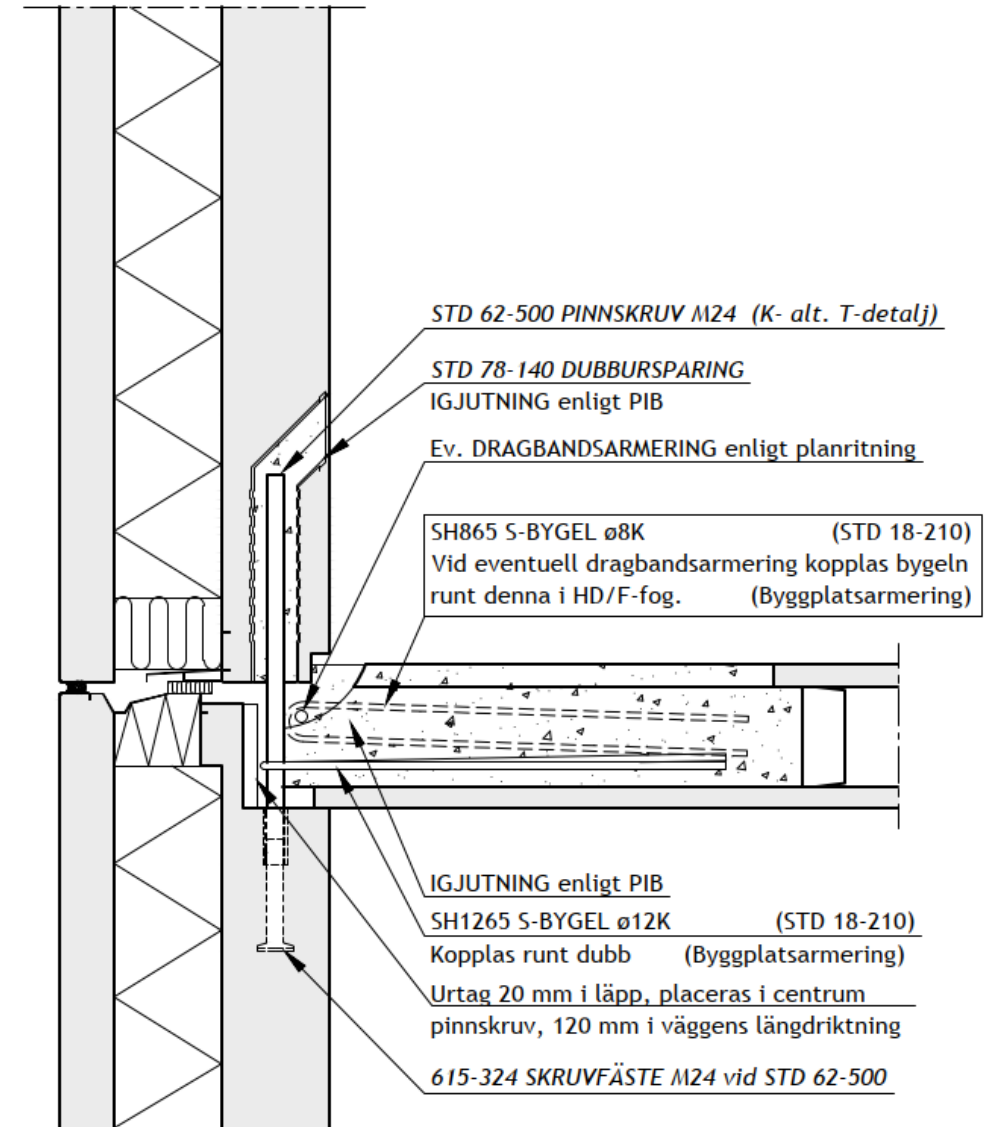
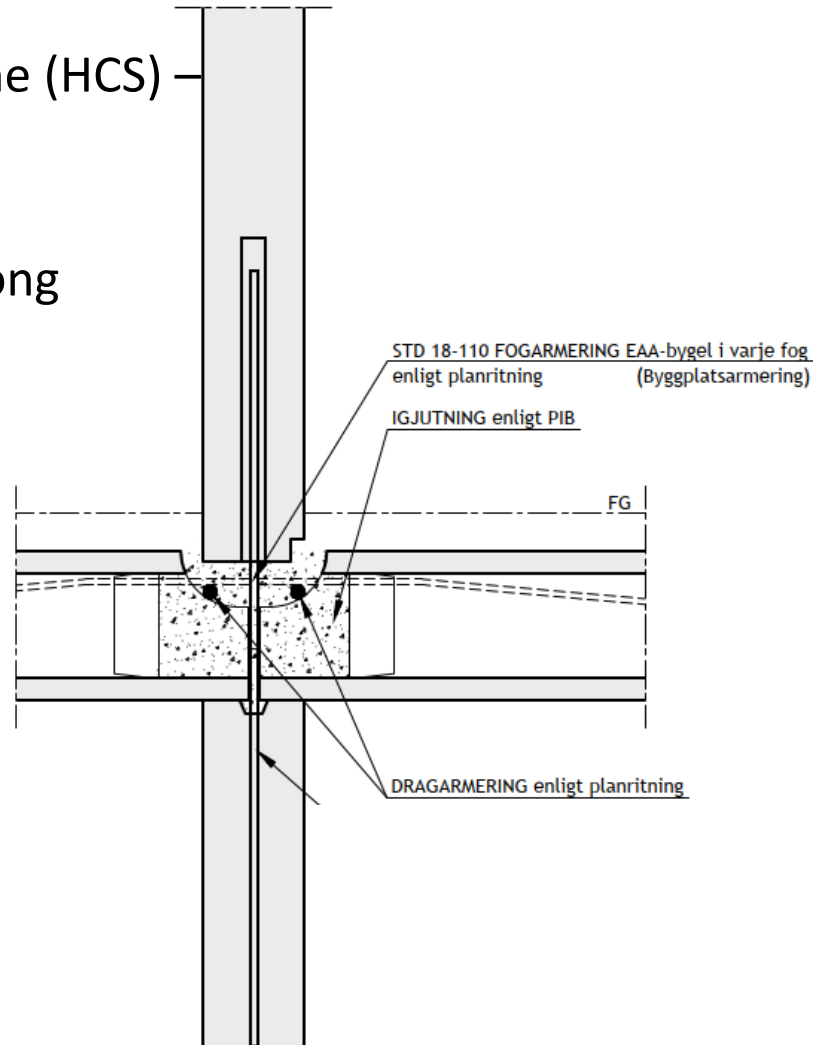
- Dobu serdeņu plātne (HCS) –
 - Sienu krustojumi
- Consolis Spennconn



Elementu izkārtojuma dizains

Elementu izkārtojuma dizaina specifika

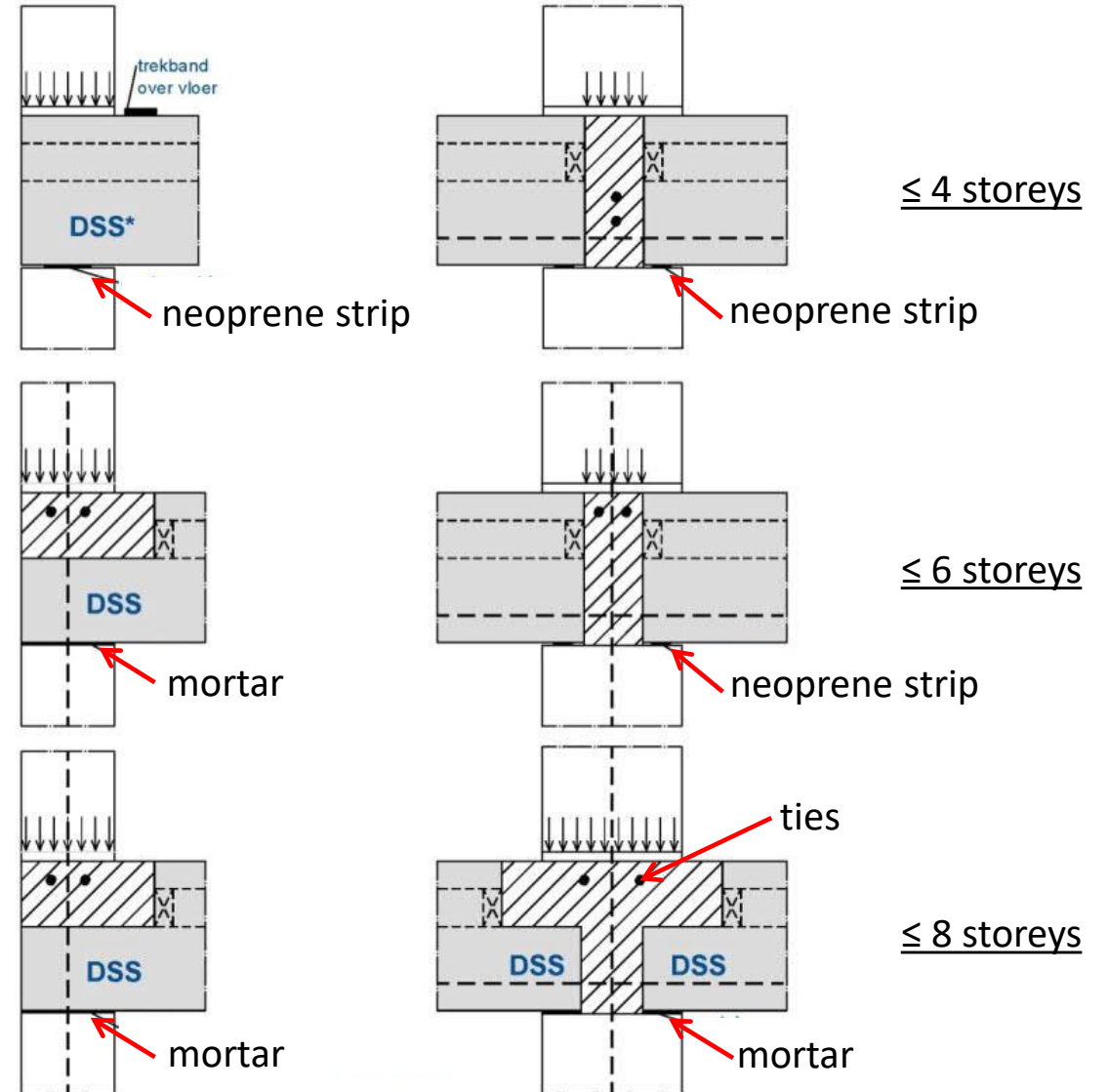
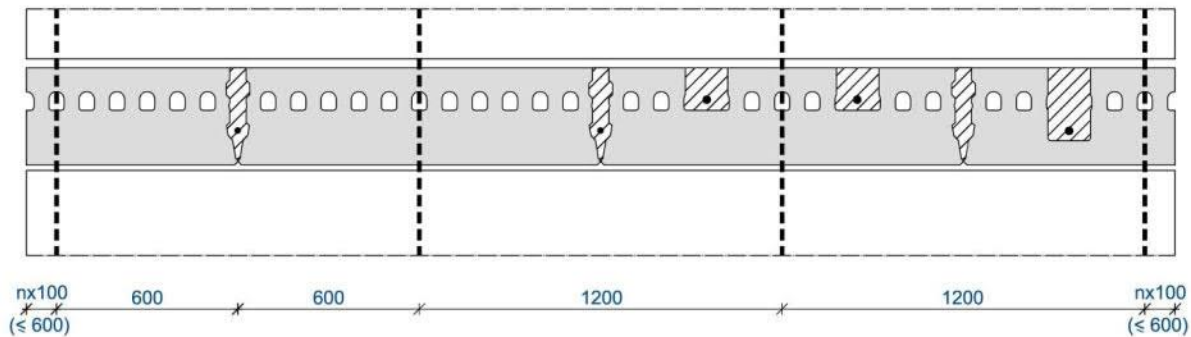
- Dobu serdeņu plātne (HCS)
Sienu krustojumi
- Consolis Strängbetong



Elementu izkārtojuma dizains

Elementu izkārtojuma dizaina specifika

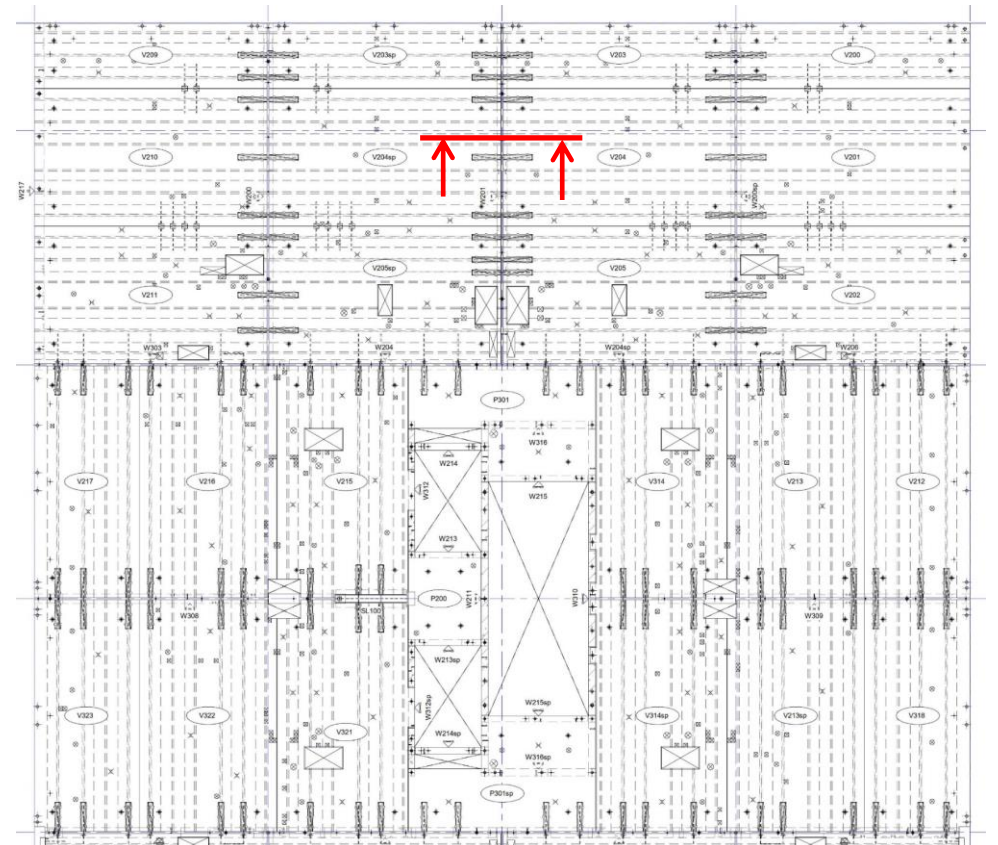
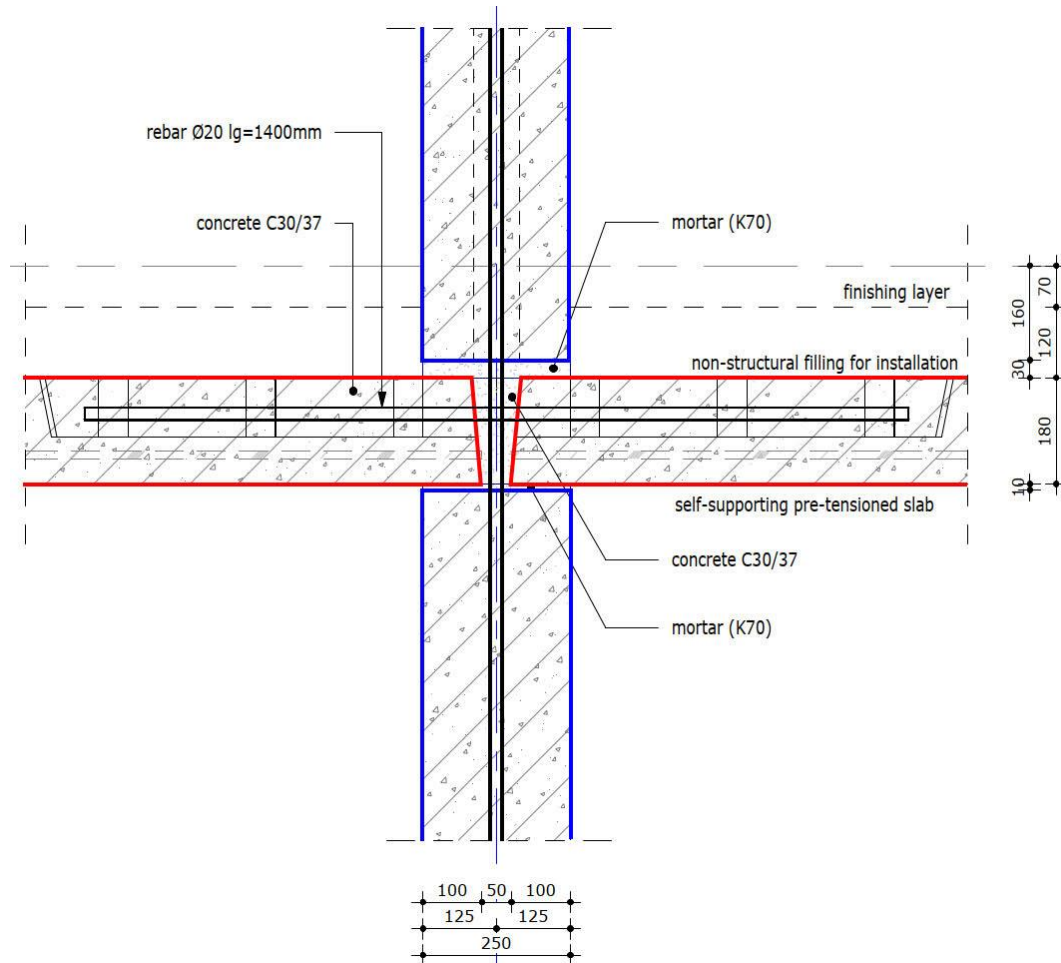
- Consolis VBI DDS koncepcija
- Daudzstāvu ēkām
- Neoprēna sloksnes uzklāšana ir ierobežota
- Horizontālā un vertikālā sasiešanas pastiprināšana



Elementu izkārtojuma dizains

Elementu izkārtojuma dizaina specifika

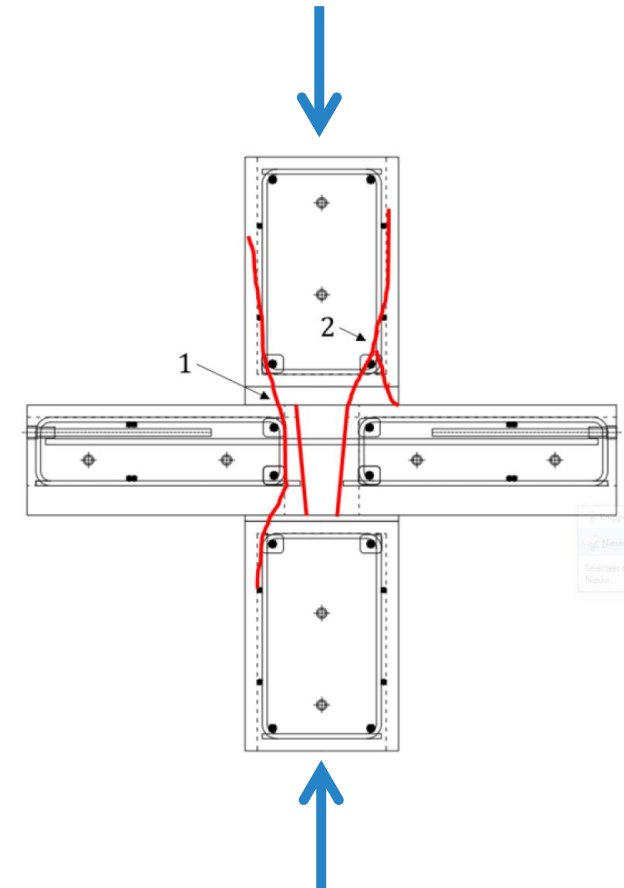
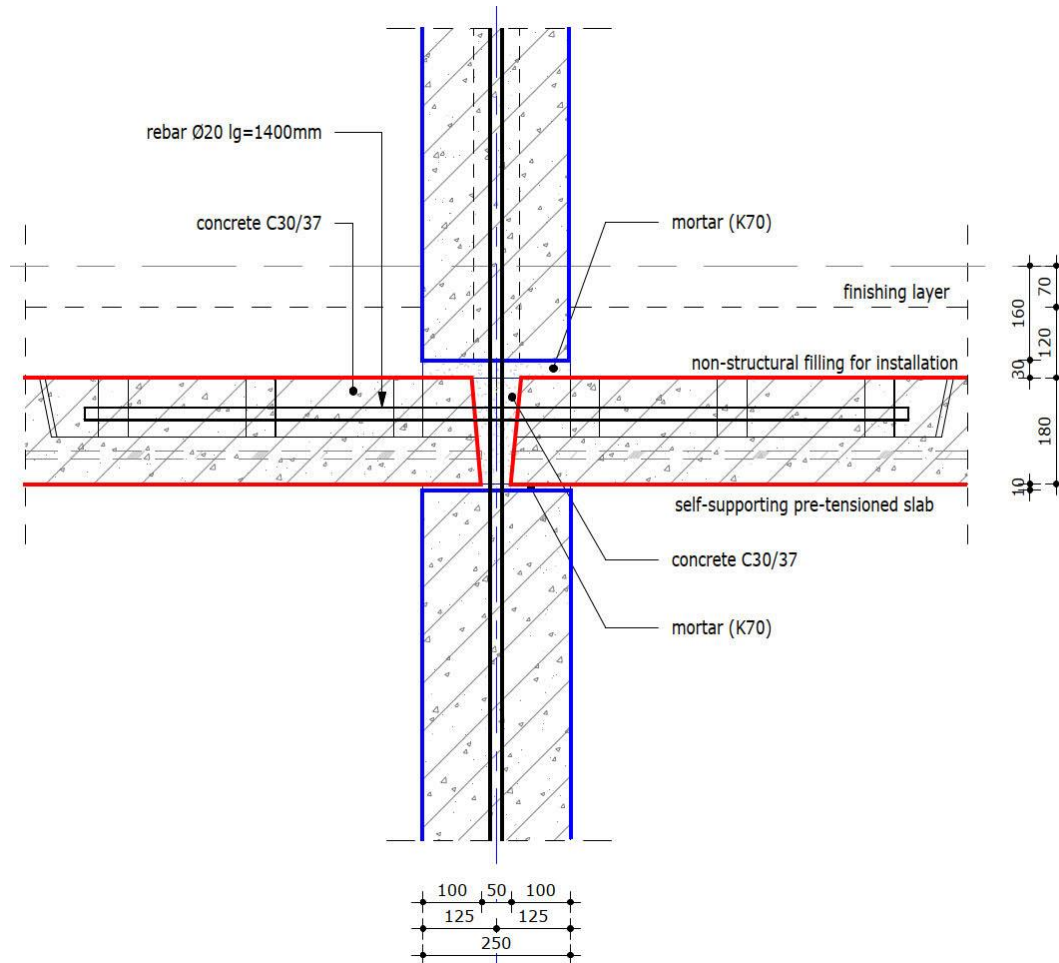
- Plātņu-Sienu krustojums daudzstāvu ēkām



Elementu izkārtojuma dizains

Elementu izkārtojuma dizaina specifika

- Vertikālo slodžu ietekme uz plātņu un sienu krustojumu



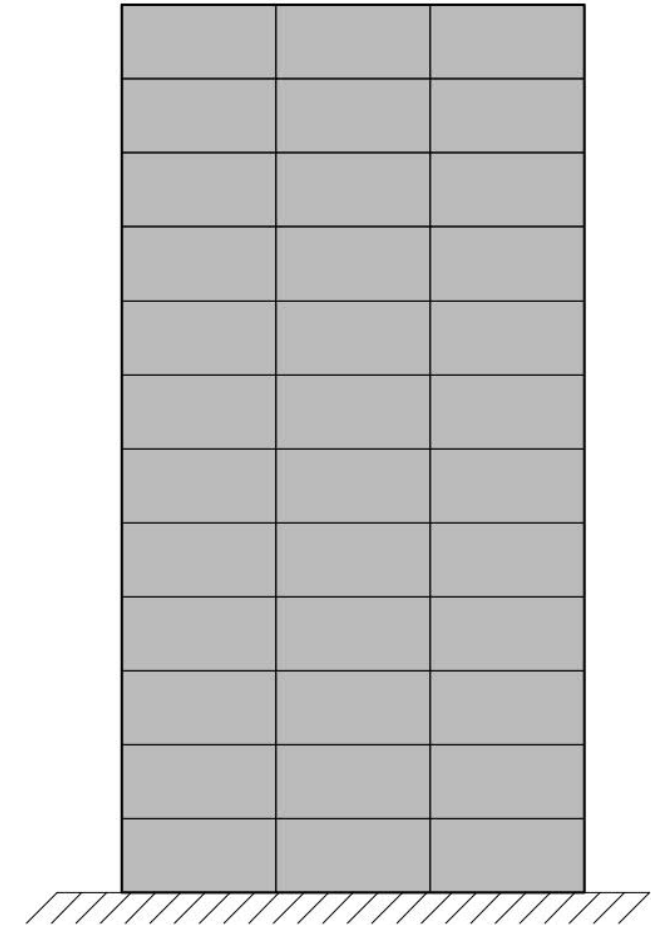
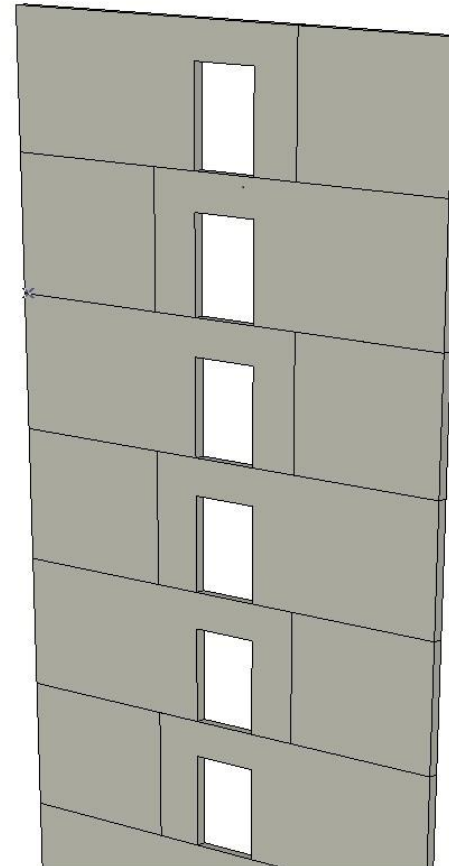
Elementu izkārtojuma dizains

Elementu izkārtojuma dizaina specifika

- Dobu serdes plātņu dizains, Gabriels Tarta

Saliekamā betona bīdes sienu konstrukciju sastāvs:

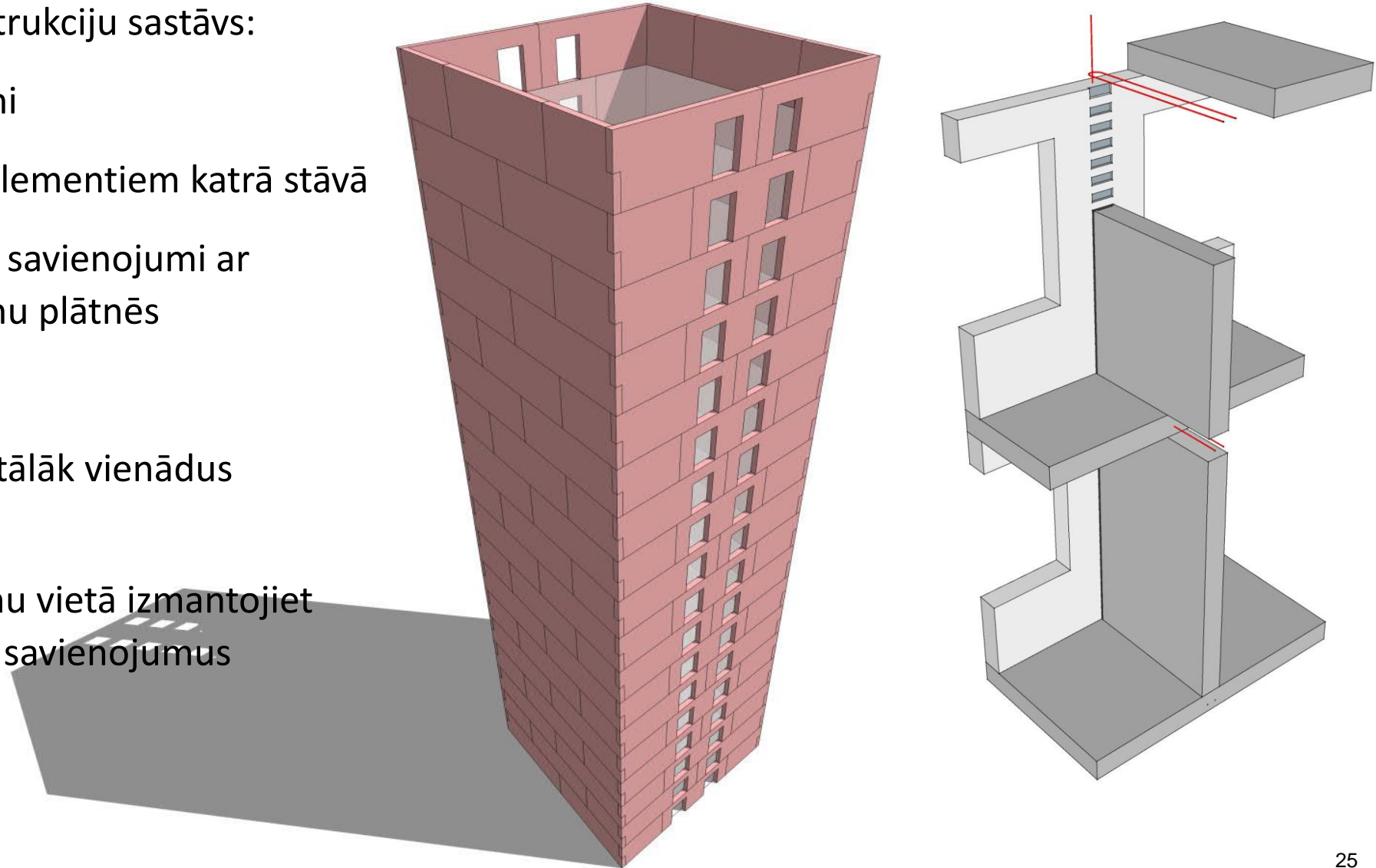
- Bloķējošo elementu izkārtojums vai
- Vertikāli sienu krāvumi ar vertikālu savienojumu
- Horizontālais javas savienojums
-
- Ierobežojiet siju un kolonnu skaitu
- Izveidojiet rāmjus ap logu un durvju atverēm
- Izvairieties no liešanas uz vietas betona konstrukcijas



Elementu izkārtojuma dizains

Saliekamā betona 3D konstrukciju sastāvs:

- Corbel stūru savienojumi
- Stūri ar savienojošiem elementiem katrā stāvā
- Vertikāli profilētas javas savienojumi ar «sasiešanas» stiebrojumu plātnēs
- Izveidojiet pēc iespējas tālāk vienādus elementus
- Tradicionālo savienojumu vietā izmantojiet saliekamā dzelzsbetona savienojumus



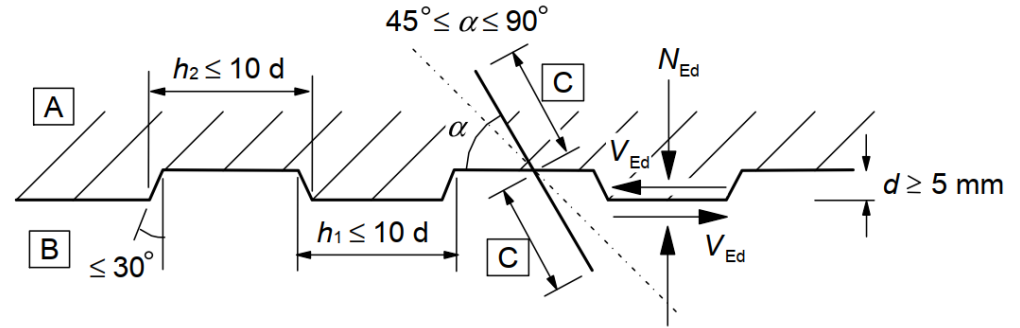
Norises plāns/ 10:00 – 11:40

- Ievads
- Saliekamo dzelzsbetona būvkonstrukciju projektēšana un aprēķini:
 - Elementu izkārtojuma dizaina specifika
 - Prasības pašreizējos un nākamās paaudzes Eirokodeksos
 - GEM modelēšana un analīze konstrukcijām, kas sastāv no HCS un bīdes sienām
- Jautājumu un atbilžu sesija

Eirokodeksa prasības

Interfeisa bīdes pārnese EN-1992-1-1:

- Sadaļa 6.2.5: No vecās uz jaunās betona saskarne

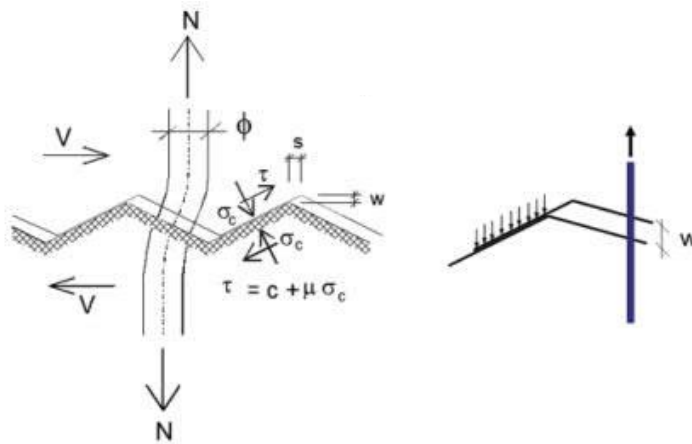
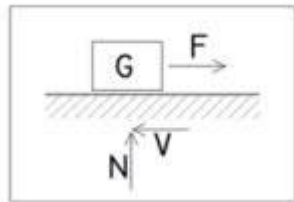


Atsevišķi bīdes mehānismi:

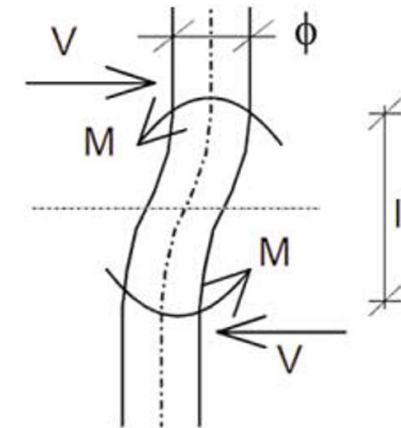
- Līmējošā saistīšanās + mehāniskā savienošānās:



- Berze:



- Dowel action:



Eirokodeksa prasības

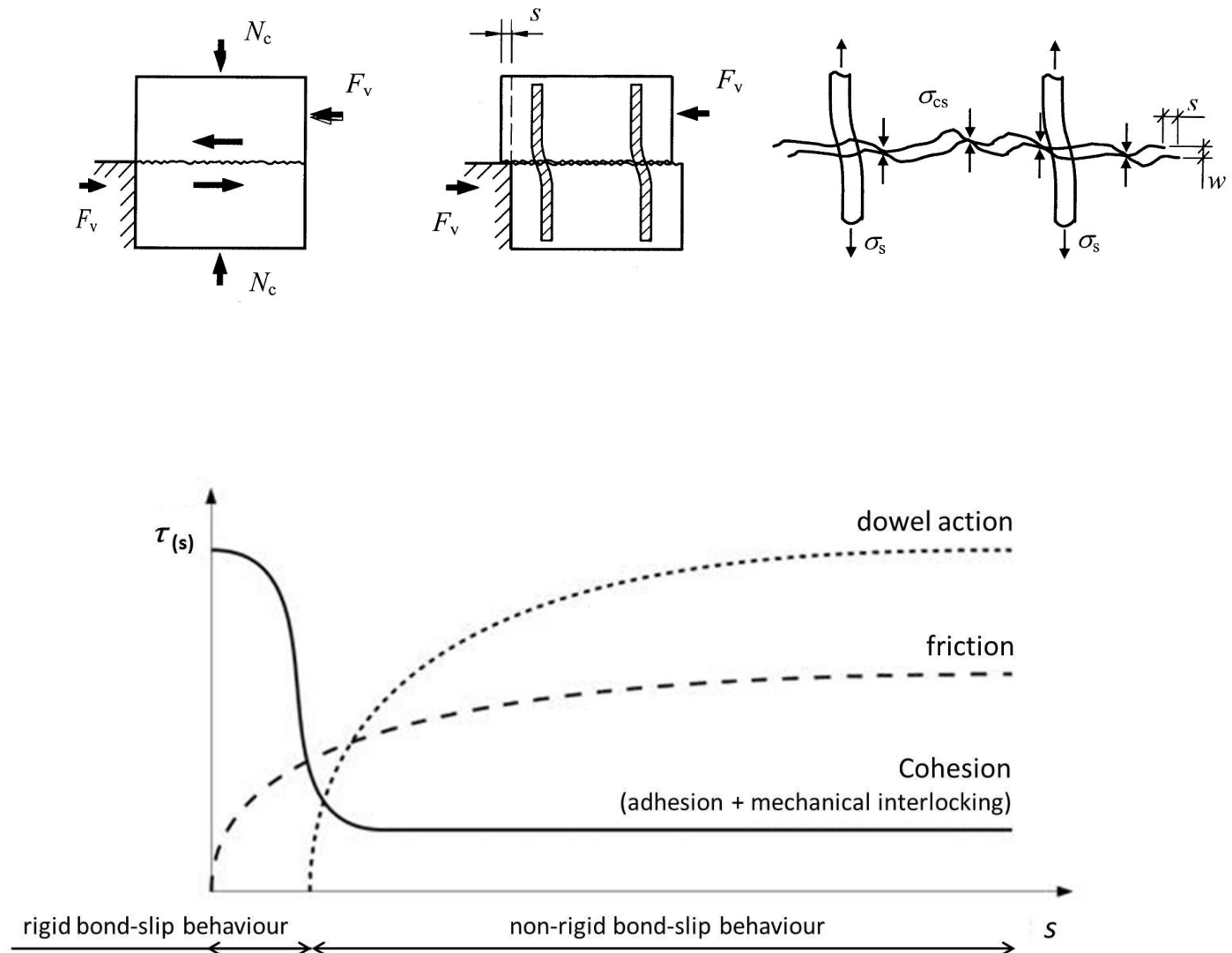
Saskarnes bīdes pārnese

Mijiedarbība starp 3 mehānismiem:

- Līmējošā saistīšanās + mehāniskā bloķēšana
- Berze
- Dībeļa darbība

Modeļa kods 2010

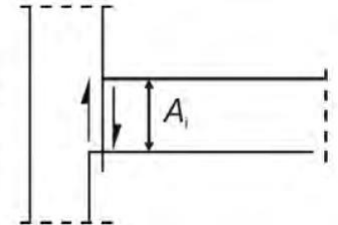
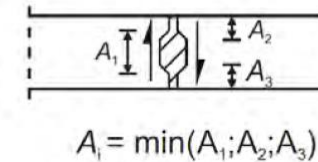
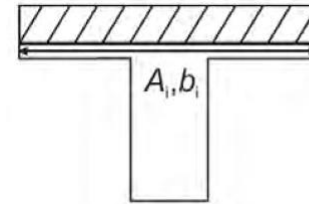
- Stingras saiķeres slīdēšanas īpašības
(parasti $s \leq 0,05$ mm)
- Nestingras saiķu slīdēšanas īpašības
($0,5 \leq s \leq 1,5$ mm)



Eirokodeksa prasības

Saskarnes bīdes pārnese

- 2. paaudzes Eirokodekss 2: EN 1992-1-1, 8.2.6. sadaļa



- Armatūra ir pietiekami noenkurota, lai nodrošinātu tecēšanas robežu:

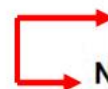
$$\tau_{Rdi} = c_{v1} \sqrt{(f_{ck})/\gamma_C} + \mu_v \sigma_n + \rho f_{yd} (\mu_v \sin \alpha + \cos \alpha) \leq v f_{cd} \quad (8.55)$$

N.B.: Contribution of $c_{v1} \sqrt{(f_{ck})/\gamma_C}$ corresponds to $c f_{ctd}$ in current EC2

- Armatūra nav pietiekami noenkurota, lai nodrošinātu tecēšanas robežu:

$$\tau_{Rdi} = c_{v2} \sqrt{(f_{ck})/\gamma_C} + \mu_v \sigma_n + k_t \rho f_{yd} \mu_v + k_f \rho \sqrt{(f_{yd} f_{cd})} \quad (8.56)$$

	Equation 8.55		Equation 8.56		
Surface roughness	c_{v1}	μ_v	c_{v2}	k_t	k_f
very smooth	0,0095	0,5	0	0	1,5
smooth	0,075	0,6	0	0,5	1,1
rough	0,15	0,7	0,075	0,5	0,9
very rough	0,19	0,9	0,15	0,5	0,9
keyed	0,37	0,9	-	-	-



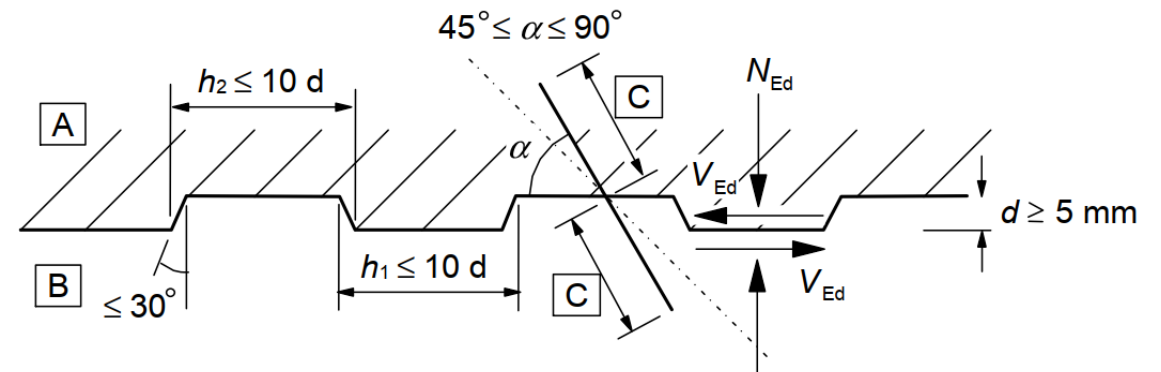
Note: The factors for keyed interfaces shall be applied for the area of each key considering its concrete strength.

Eurocodes requirements

Saskarnes bīdes pārnese

- 1. paaudzes Eirokodekss 2: EN 1992-1-1, 6.2.5. sadaļa

- Bīdes jauda V_{Rdi}
- Bīdes nobīdes(-es), ko mēra testu laikā
- Bīdes pārvietojumi (-i) ULS un SLS



- Bīdes stīvums $k_x = \frac{V_{Rdi}}{s}$

Displacements s (mm) for V_{Rdi}	Shear friction equation	ULS Slips (s)	SLS Slips (s)
- Strong bonding	$V_{Rdi} = cf_{ctd} + \mu\sigma_n$ $\leq 0,5 v f_{cd}$	0,6-1,0	0,2
- Weak bonding	$V_{Rdi} = \mu\sigma_n + \mu\rho f_{yd}$ $\leq 0,5 v f_{cd}$	1,5	1,0

- Ievads
- Saliekamo dzelzsbetona būvkonstrukciju projektēšana un aprēķini:
 - Elementu izkārtojuma dizaina specifika
 - Prasības pašreizējos un nākamās paaudzes Eirokodeksos
 - **GEM modelēšana un analīze konstrukcijām, kas sastāv no HCS un bīdes sienām**
- Jautājumu un atbilžu sesija

GEM modelēšana un analīze

- Vienkāršots 2D vai galīgo elementu metode (GEM), pamatojoties uz 3D globālo dizainu?

Vienkāršots/manuāls 2D

- “Tā mēs esam veidojuši dizainu mūžam”
- Pamats
- Pieņēmumu vienkāršošana
- Robusts
- Viegli pārbaudīt

FEM balstīts 3D modelis

- “Nav uzticams”
- Komplekss
- Telpiskā mijiedarbība
- Jutīgs pret datu ievadi
- Grūti pārbaudīt

GEM modelēšana un analīze

Strukturālās likumsakarības kritēriji seismiskajā projektēšanā –
pieļaujamie vienkāršojumi

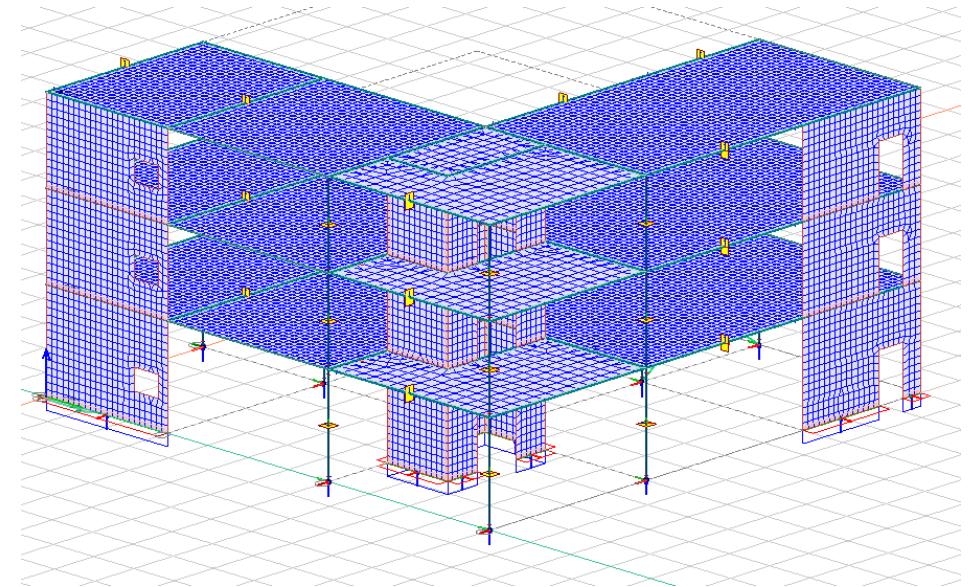
Regularity		Allowed Simplification		Behaviour factor
Plan	Elevation	Model	Linear-elastic Analysis	(for linear analysis)
Yes	Yes	Planar	Lateral force	Reference value
Yes	No	Planar	Modal	Decreased value*
No	Yes	Spatial	Lateral force	Reference value
No	No	Spatial	Modal	Decreased value*

Consequences of structural regularity on seismic analysis and design (acc. to EN 1998)

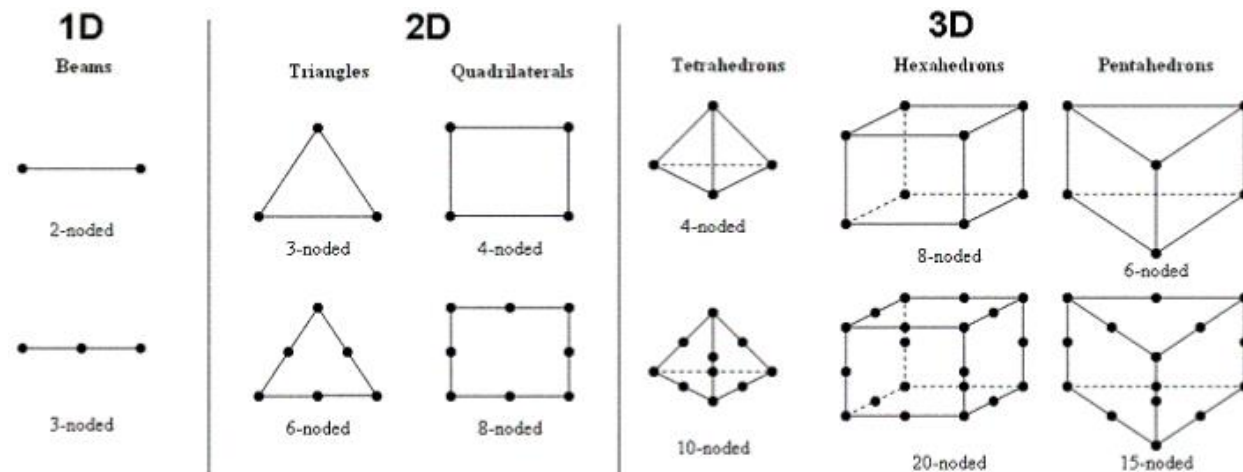
GEM modelēšana un analīze

Galīgo elementu metode

- Sadala lielu sistēmu mazākās, vienkāršākās daļās, ko sauc par galīgajiem elementiem;
- Metode sastāv no globālās stinguma matricas un no elementu stinguma matricas, ņemot vērā robežnosacījumus un atbalsta nosacījumus;
- Struktūras matemātiskais modelis **idealizē ēku**



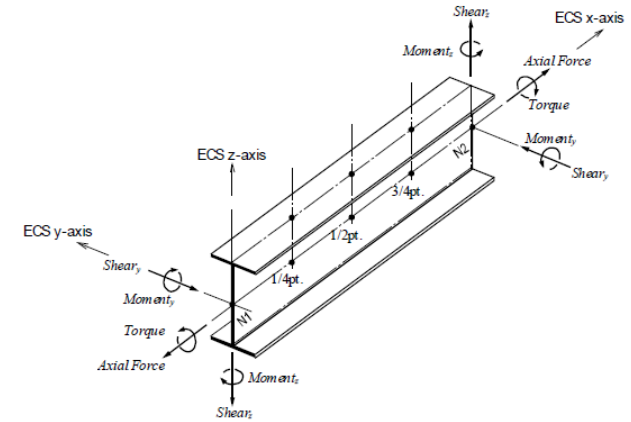
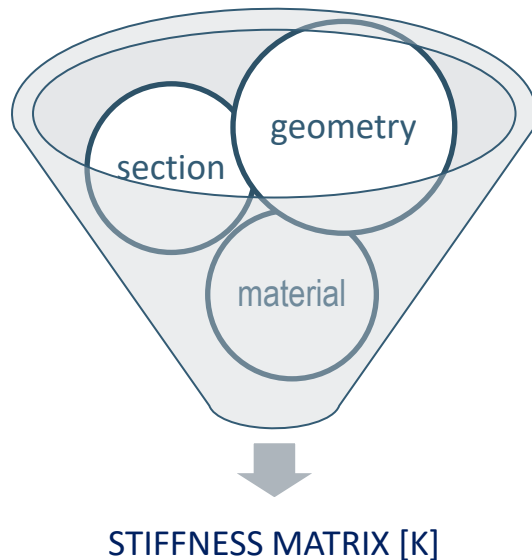
$$[F] = [k][\Delta]$$



GEM modelēšana un analīze

- Galīgo elementu metode

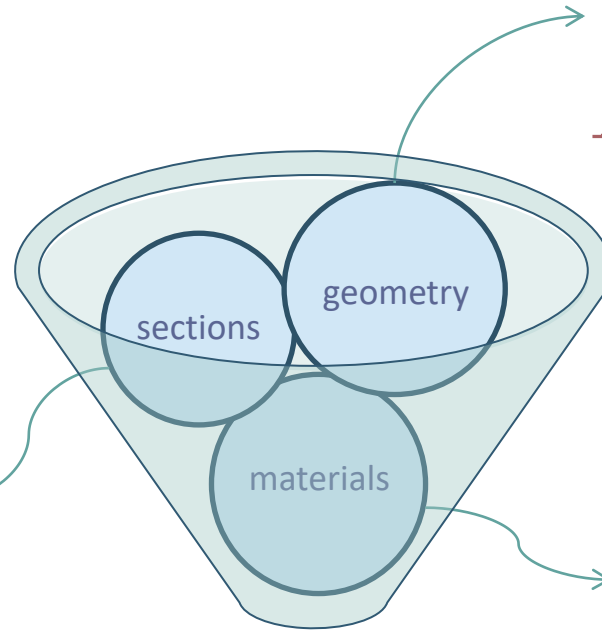
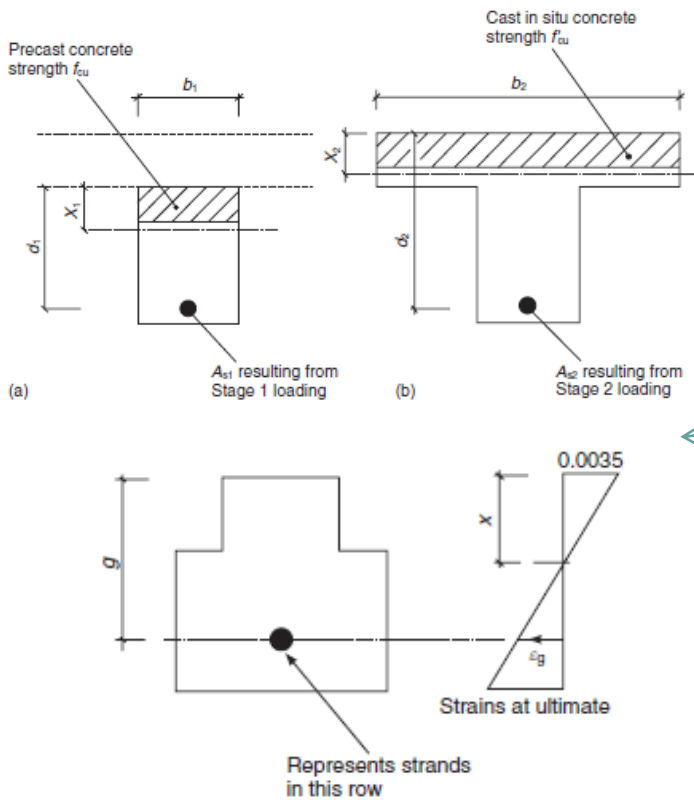
$$[F] = [k][\Delta]$$



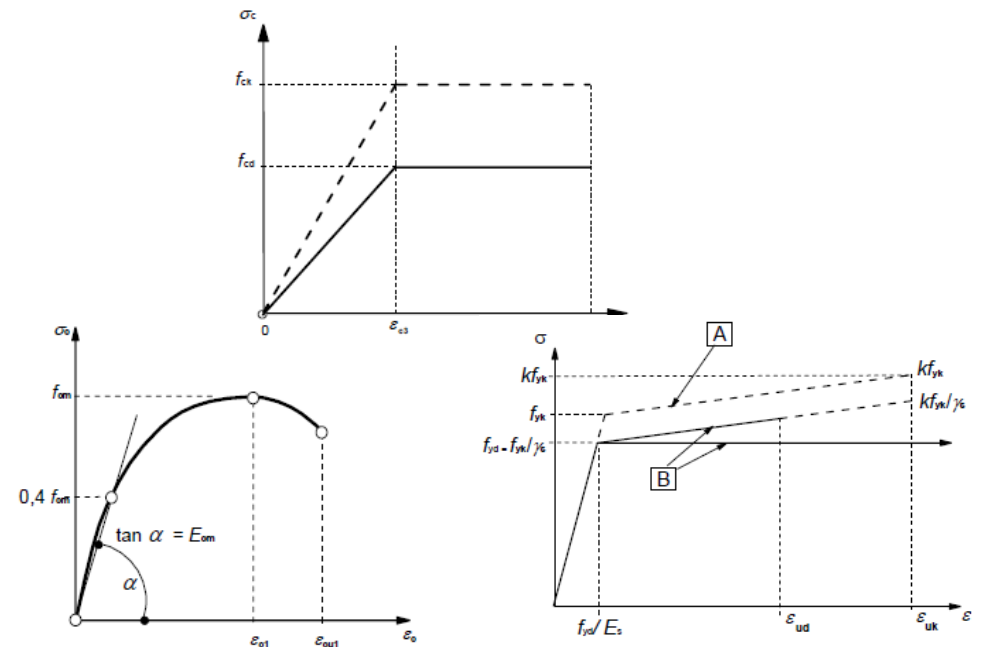
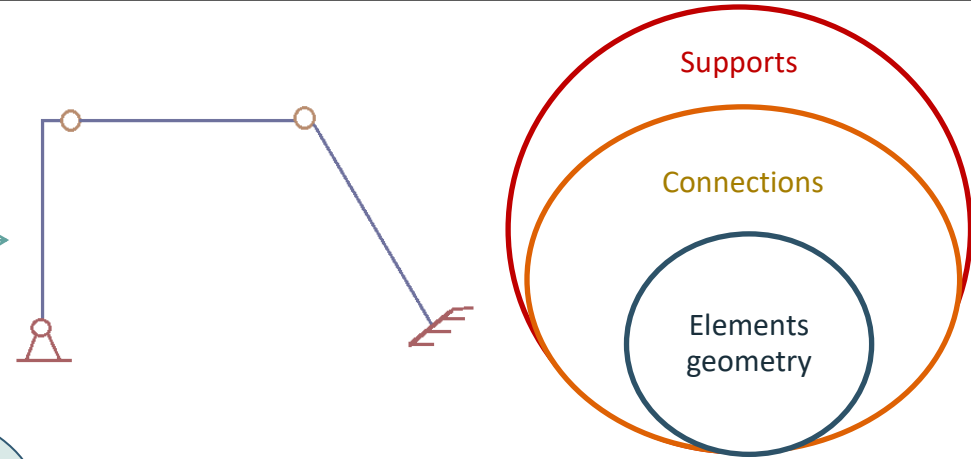
$$\begin{bmatrix} F_{x1} \\ F_{y1} \\ F_{z1} \\ M_{x1} \\ M_{y1} \\ M_{z1} \\ F_{x2} \\ F_{y2} \\ F_{z2} \\ M_{x2} \\ M_{y2} \\ M_{z2} \end{bmatrix} = E \begin{bmatrix} \frac{A}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{A}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12I_x}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6I_x}{L^2} & 0 & -\frac{12I_x}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6I_x}{L^2} \\ 0 & 0 & \frac{12I_y}{L^3} & 0 & -\frac{6I_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{12I_y}{L^3} & 0 & -\frac{6I_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{J}{2(1+\nu)L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{J}{2(1+\nu)L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6I_y}{L^2} & 0 & \frac{4I_y}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6I_y}{L^2} & 0 & \frac{2I_y}{L} & 0 \\ 0 & \frac{6I_x}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4I_x}{L} & 0 & -\frac{6I_x}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2I_x}{L} \\ -\frac{A}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{A}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12I_x}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6I_x}{L^2} & 0 & \frac{12I_x}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6I_x}{L^2} \\ 0 & 0 & -\frac{12I_y}{L^3} & 0 & \frac{6I_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{12I_y}{L^3} & 0 & \frac{6I_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{J}{2(1+\nu)L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{J}{2(1+\nu)L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6I_y}{L^2} & 0 & \frac{2I_y}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6I_y}{L^2} & 0 & \frac{4I_y}{L} & 0 \\ 0 & \frac{6I_x}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2I_x}{L} & 0 & -\frac{6I_x}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4I_x}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \\ \theta_{x1} \\ \theta_{y1} \\ \theta_{z1} \\ u_2 \\ v_2 \\ w_2 \\ \theta_{x2} \\ \theta_{y2} \\ \theta_{z2} \end{bmatrix}$$

GEM modelēšana un analīze

- GEM – Strukturālā sistēma



MATHEMATICAL MODEL OF THE STRUCTURE

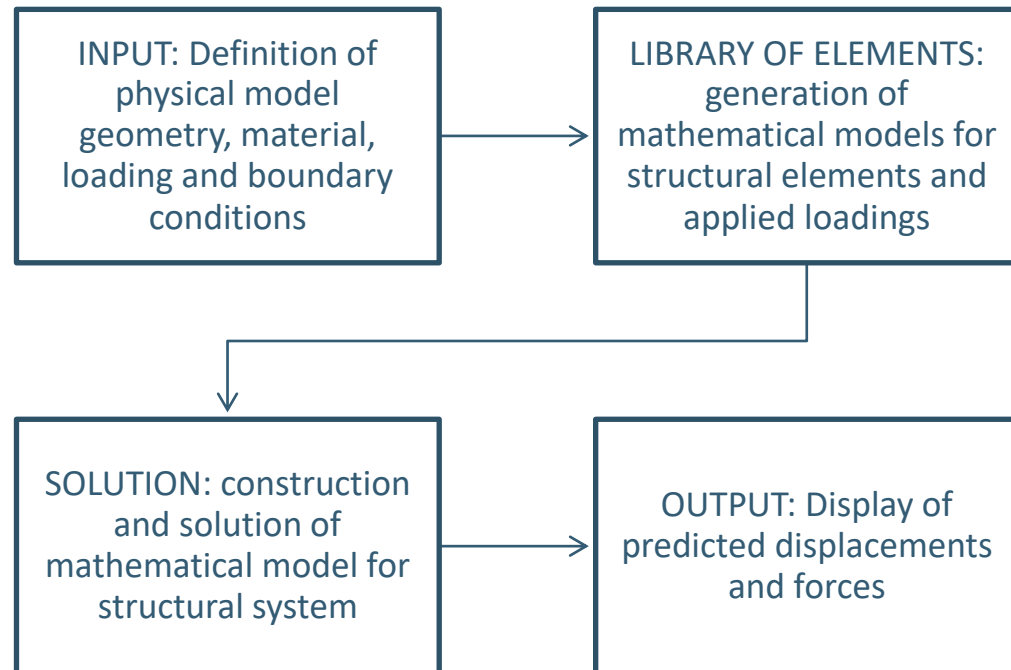


GEM modelēšana un analīze

- Galīgo elementu metode

- Vispārīgi elementi:

- Kopnes elements(1D)
- Sijas elements(1D)
- Plaknes elements(2D)
- Tilpuma elements(3D)

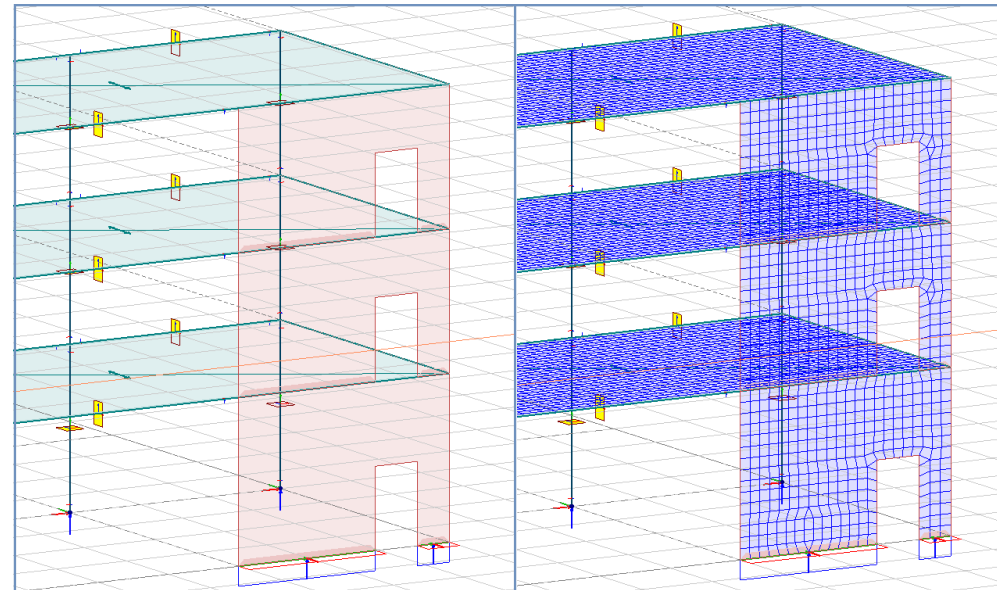
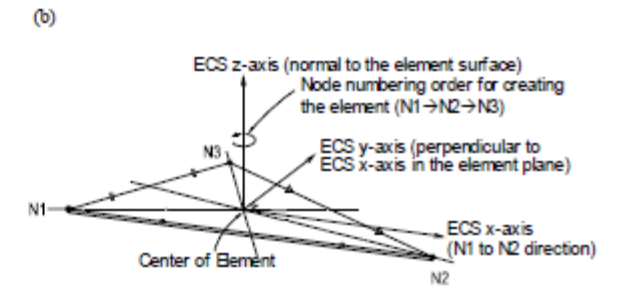
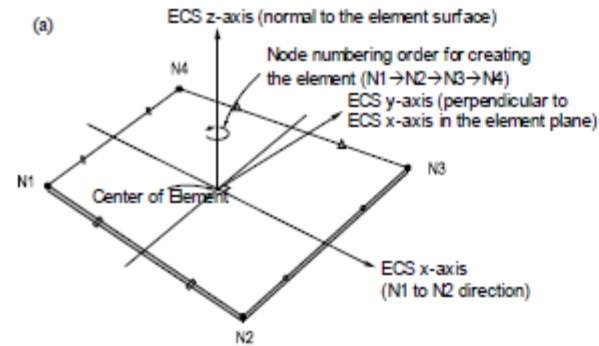


GEM modelēšana un analīze

- Galīgo elementu metode

- Plaknes elementi

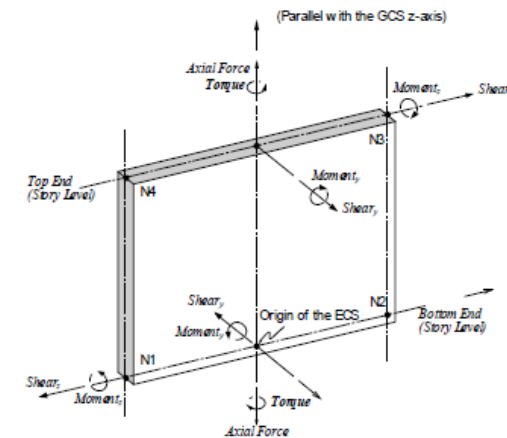
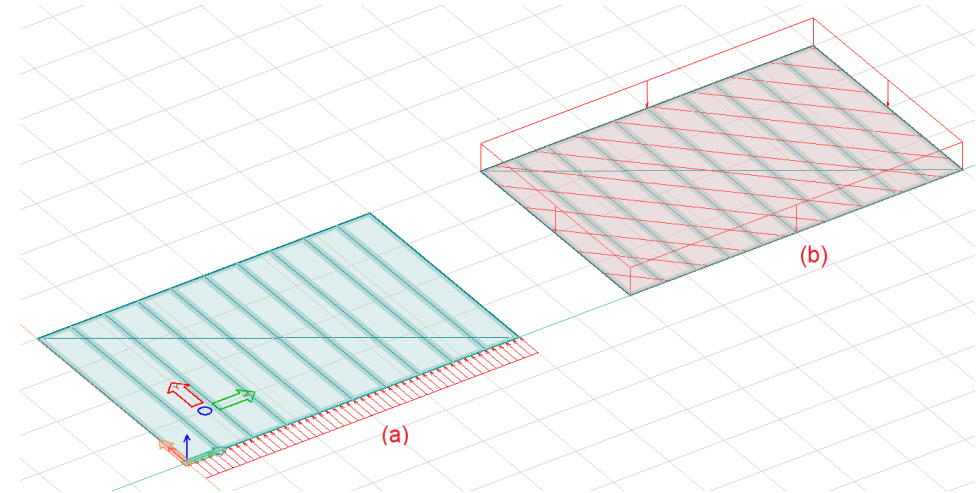
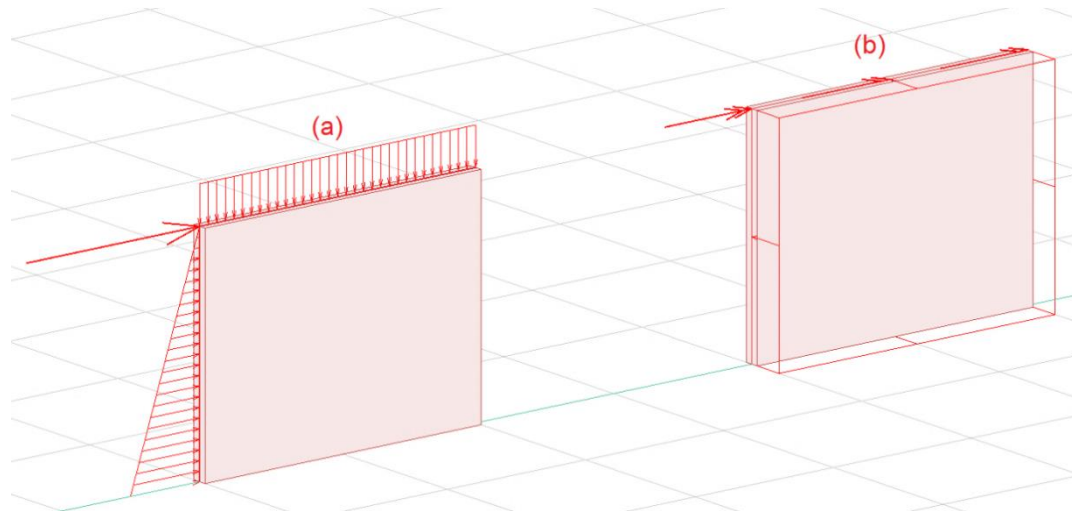
- 2D elementi: plātnes, sienas
- Atkarībā no to veida un sarežģītības:
 - Plaknē esošais spriegums/saspiešana
 - Nobīde plaknē/ārpus plaknes
 - Liekšana ārpus plaknes
- FEM balstītās metodēs tīklošanās ir priekšnoteikums analīzei



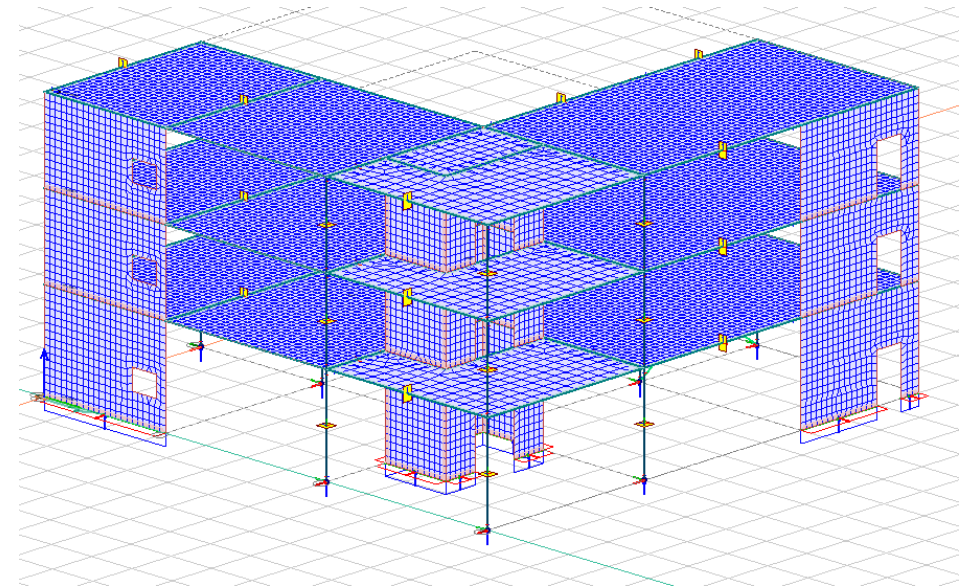
GEM modelēšana un analīze

- Galīgo elementu metode

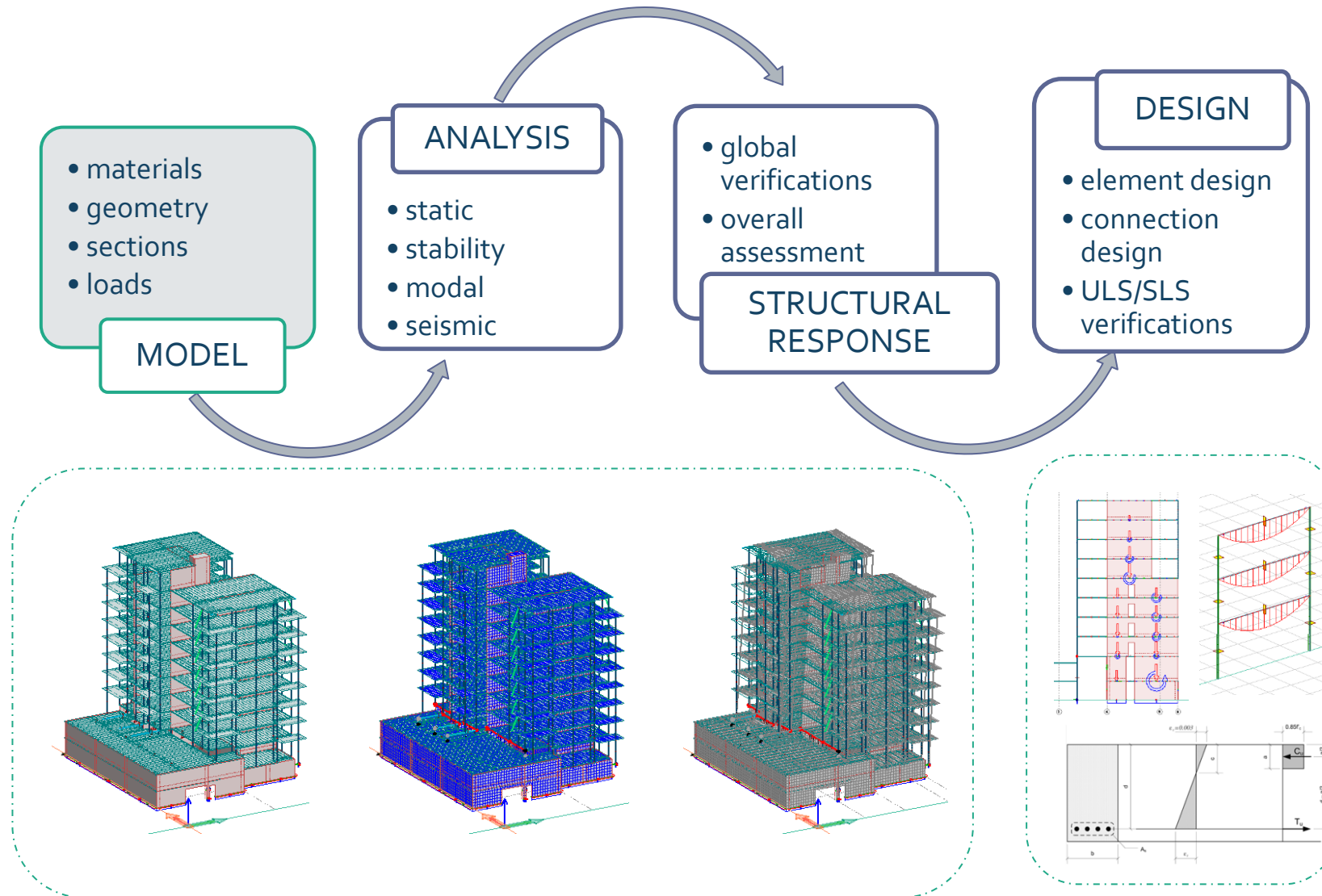
- Plaknes elementi
 - 2D elementi: plātnes, sienas
 - Atkarībā no to veida un sarežģītības:
 - Plaknē esošais spriegums/saspiešana
 - Nobīde plaknē/ārpus plaknes



- Galīgo elementu metode
- Galīgo elementu tīkls
 - Mazāks tīkla acu izmērs parasti nodrošina precīzākus rezultātus
 - Tīkla izmērs ir atkarīgs no aplūkotās problēmas
 - “Rule of thumb (īkšķa likums)” optimālie tīkla acu izmēri globālās stabilitātes analīzei:
 - 2D elementiem: 2 vai 3 x elementa biezums
 - 1D elementiem: garums / 6 (stabilitātes analīzei)
 - “Rule of thumb (īkšķa likums)” optimālie tīkla acu izmēri elementu aprēķināšanai:
 - 2D elementiem: vienāds vai mazāks par elementa biezumu



GEM modelēšana un analīze

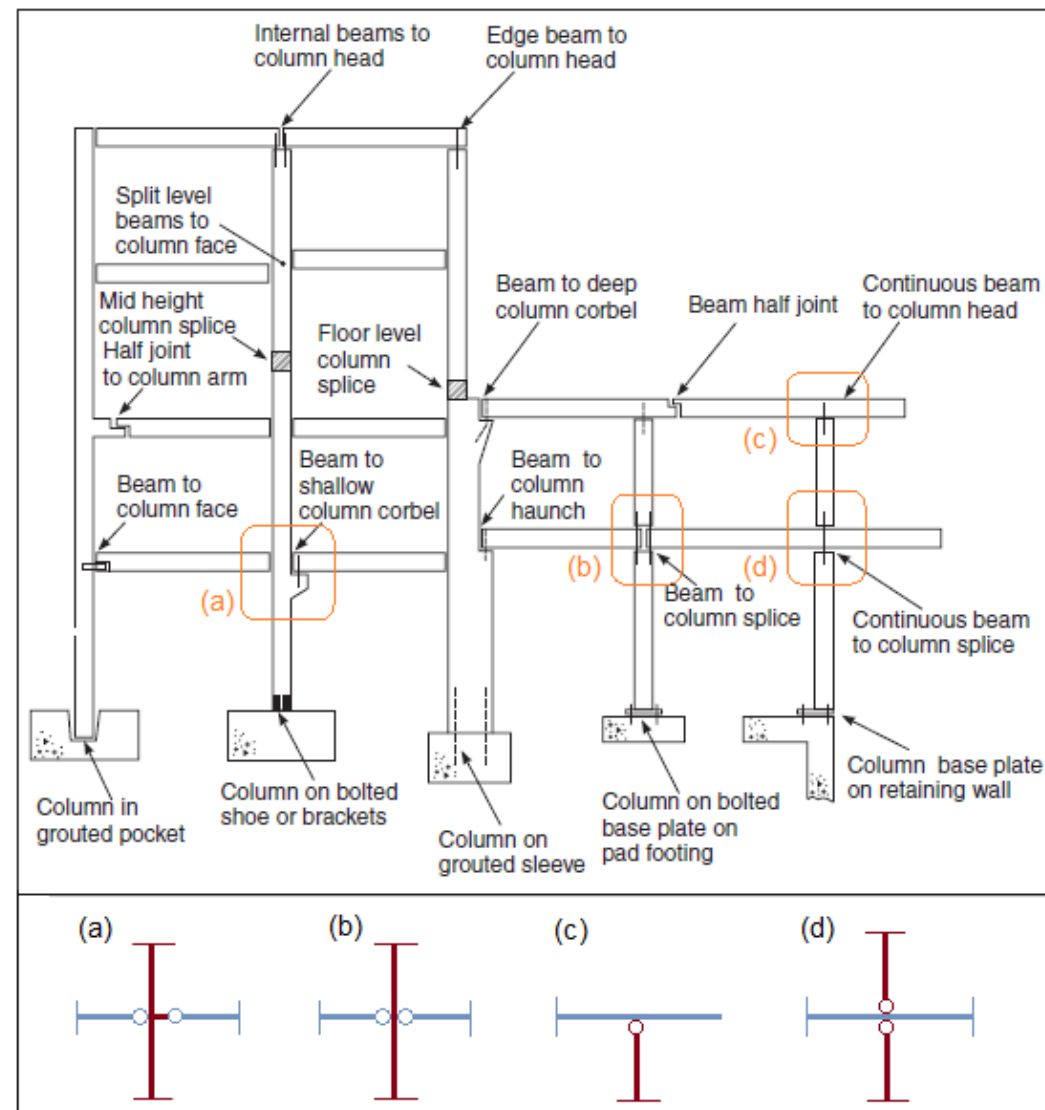
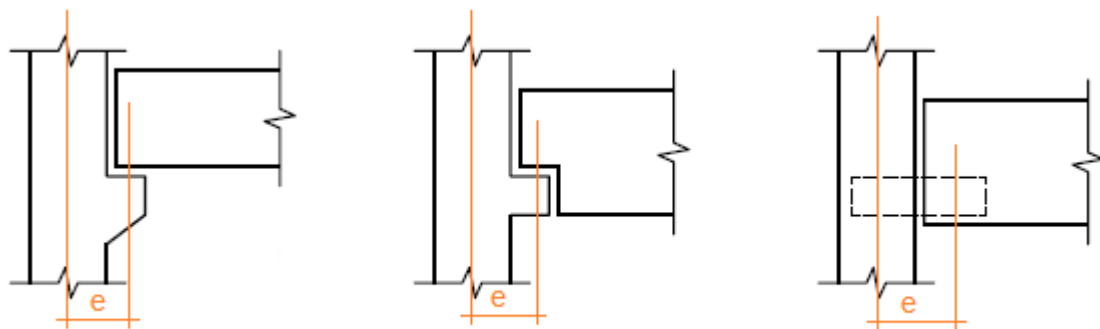


Darbplūsmā ir parādīts vispārējais dizaina ceļvedis.

- Modelis: materiāli, ģeometrija, sadaļas, slodzes
- Analīze: statiskā, stabilitātes, modālā, seismiskā
- Strukturālā atbilde: globālās pārbaudes, kopējais novērtējums
- Dizains/projektēšana: elementu projektēšana, savienojuma projektēšana, ULS/SLS pārbaudes

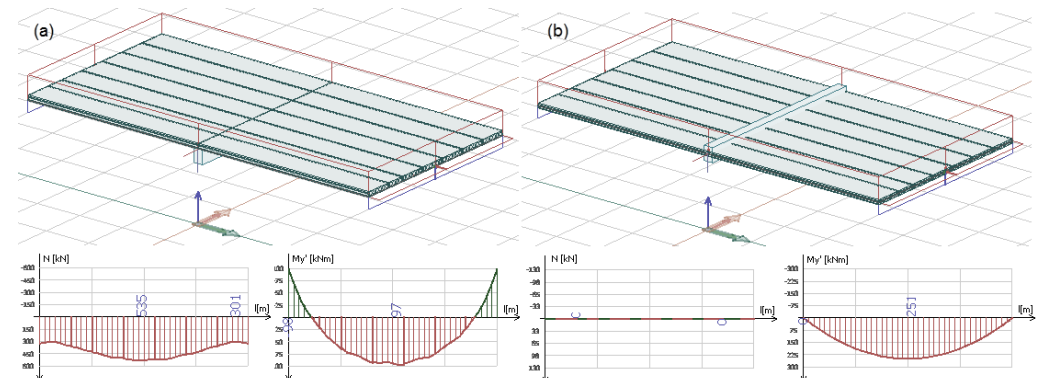
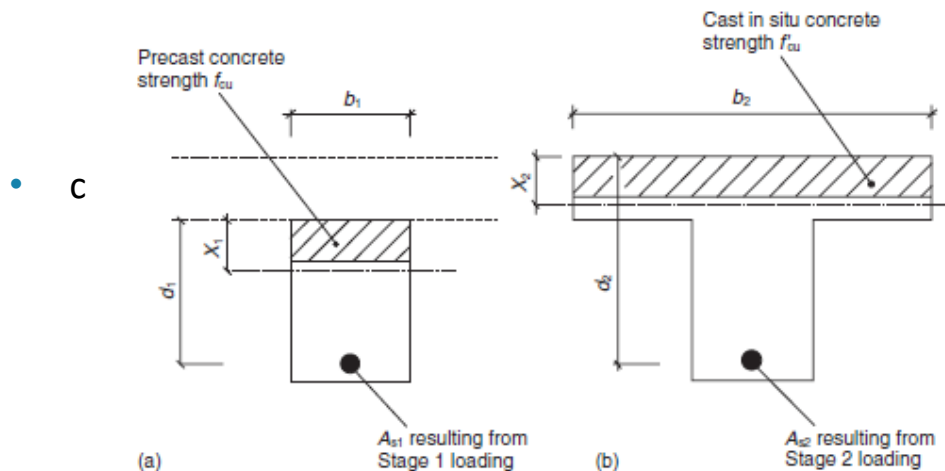
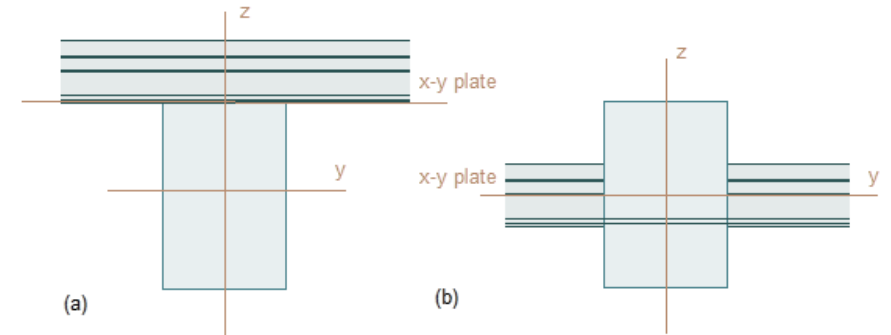
GEM modelēšana un analīze

- GEM – Saliekamie savienojumi
- Sija-kolonna
 - Parasti saliekamo siju un kolonnu savienojumi tiek uzskatīti par fiksētiem vai eņģu tipa
 - Ir svarīgi ņemt vērā:
 - Savienojuma ģeometrija
 - Ekscentriskums starp kolonnas asi un pielietojuma punktu (gultņa paliktņa centrs)



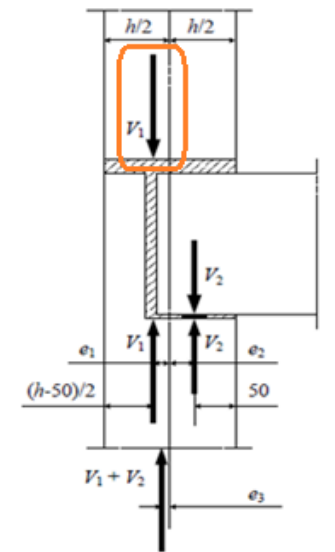
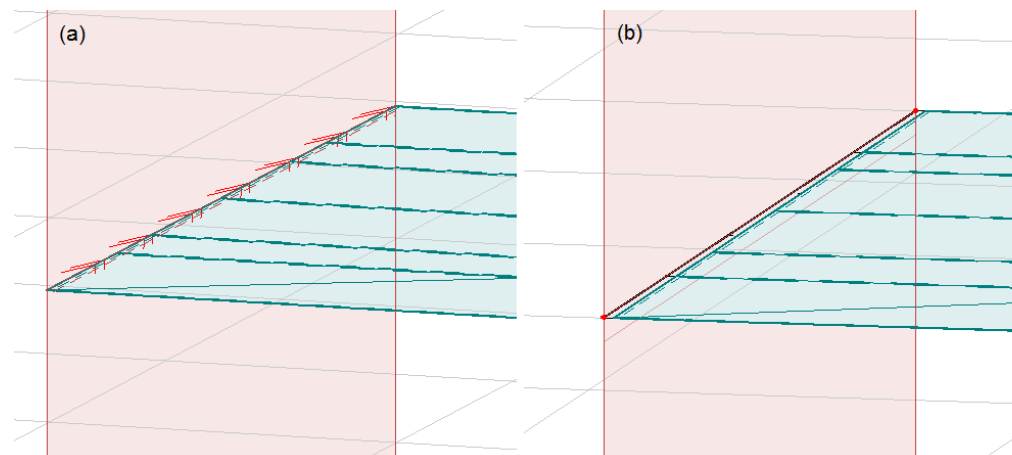
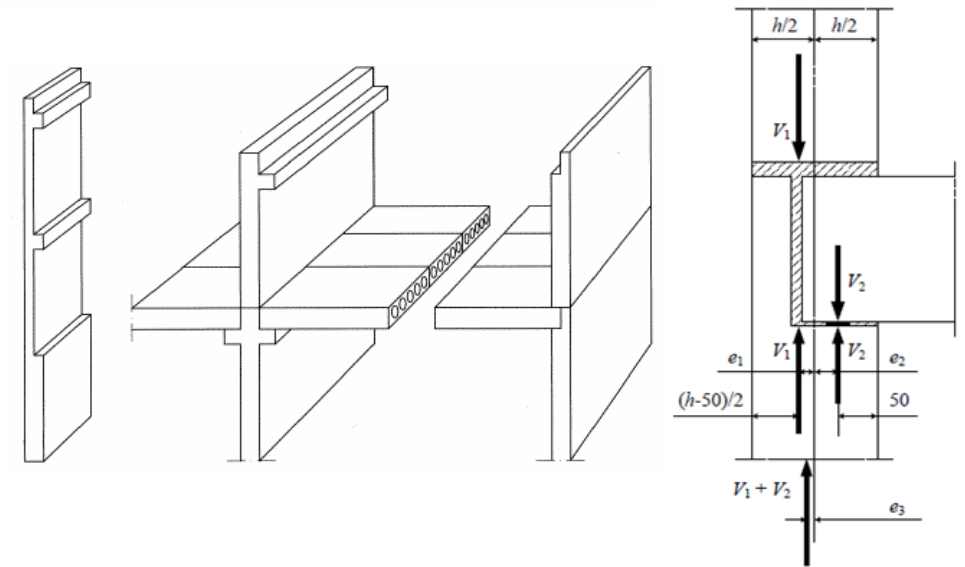
GEM modelēšana un analīze

- GEM – Saliekamie savienojumi
- Sija-plātne
 - “salikts” pret “nesalikts” īpašības
 - “Saliktā” veida īpašības rada nereālu strukturālu reakciju
 - Saliekamām konstrukcijām vislabāk atbilst “nesaliktās” darbības
- Ieteikumi:
 - Elementu ass jā saglabā sekcijas centrā
 - Plātņu elementu vidusplakne jā saglabā sekcijas vidū



GEM modelēšana un analīze

- GEM- Saliekamie savienojumi
- Savienojumi no sienas līdz sienai
 - “teorētiskajiem” eņģu modeļiem ir ierobežota pielietojamība
 - Ieteicams aptuveni novērtēt savienojuma stingrību
 - Iekšējo saspiešanas spēku (V_1) ekscentriskumu modelī ir grūti ņemt vērā
- Savienojumi no plātnes pie sienas
 - Modelēts kā “teorētiskā” eņģe
 - Ir svarīgi ņemt vērā:
 - Savienojuma ģeometrija
 - Ekscentriskums
- Vai ekscentriskums jāmodelē globālos modeļos?



- Saliekamās plātnes
 - Koncentrējieties uz dobu kodolu (HC) plātņu specifiku
 - Uzvedības modeļi plaknē
 - Slodzes sadalījums sānos
 - Elastīga diafragma
 - Stingra diafragma
 - Ārpus plaknes uzvedība
 - Gravitācijas slodzes sadalījums
 - Šķērsvirziena slodzes sadalījums saskaņā ar EN1168 C pielikumu



GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās plātnes

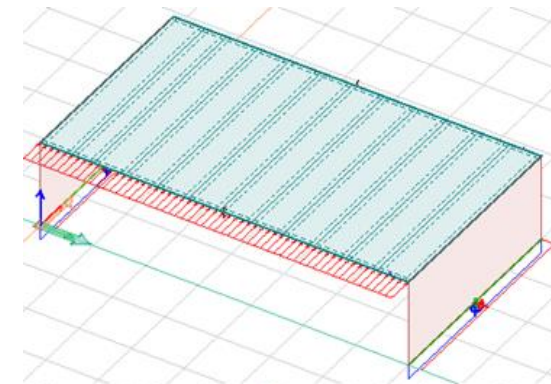
- Analītiskie uzvedības modeļi plaknē

- Elastīga diafragma

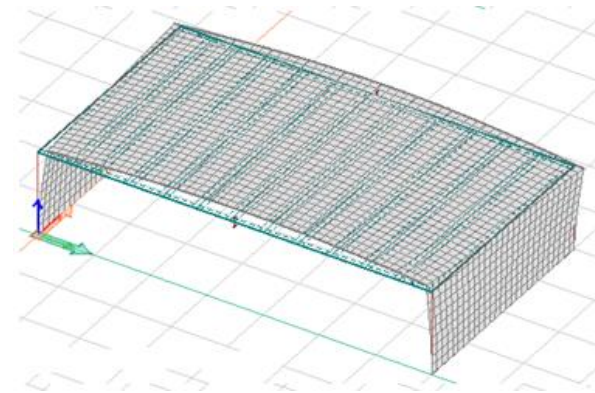
- Plātnes stingrība tiek ņemta vērā globālajā stinguma matricā
- Sānu spēku sadalījumu ietekmē plātnes plaknes stingums

- Stingra diafragma

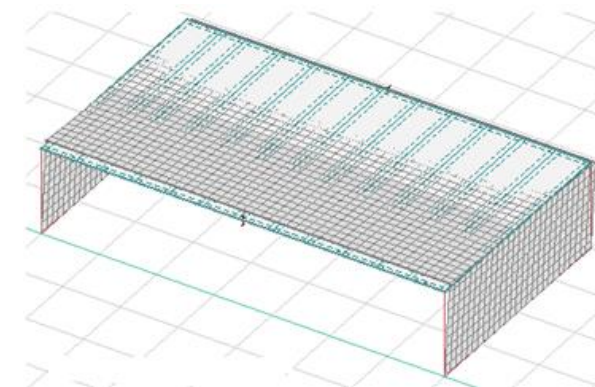
- Plātnes stingrība netiek ņemta vērā
- Plāksne darbojas kā bezgalīgi stīvs horizontāls elements
- Sānu spēku sadalījumu neietekmē plātnes plaknes stingums
- Klasiskās 2D dizaina pieejas pamatpieņēmums



FEM model



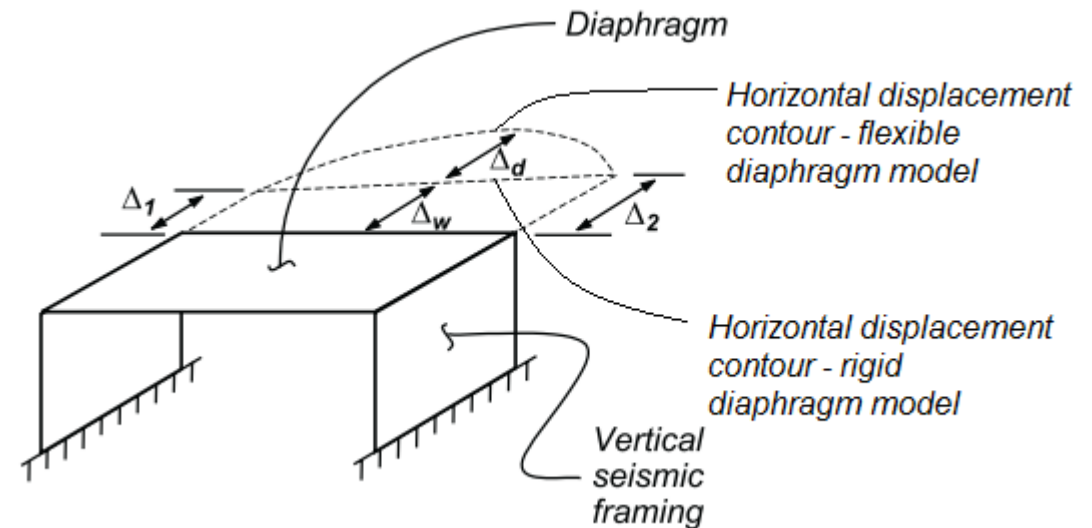
Flexible diaphragm



Rigid diaphragm

GEM modelēšana un analīze

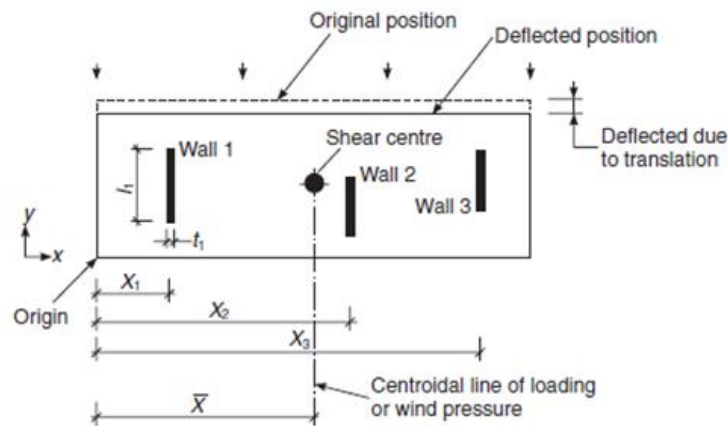
- Saliekamās plātnes – diafragmu modeļi
 - Stingras vai elastīgas diafragmas modelis?
 - Eirokodekss 2
 - Nav skaidru ieteikumu
 - Šķiet, ka cietās diafragmas modelis ir universāls
 - Eirokodekss 8
 - Skaidri ierobežojumi cietās diafragmas modelim
 - Cieto diafragmu var izmantot, ja starp diviem modeļiem ir ne vairāk kā 10% atšķirība starp horizontālajiem pārvietojumiem



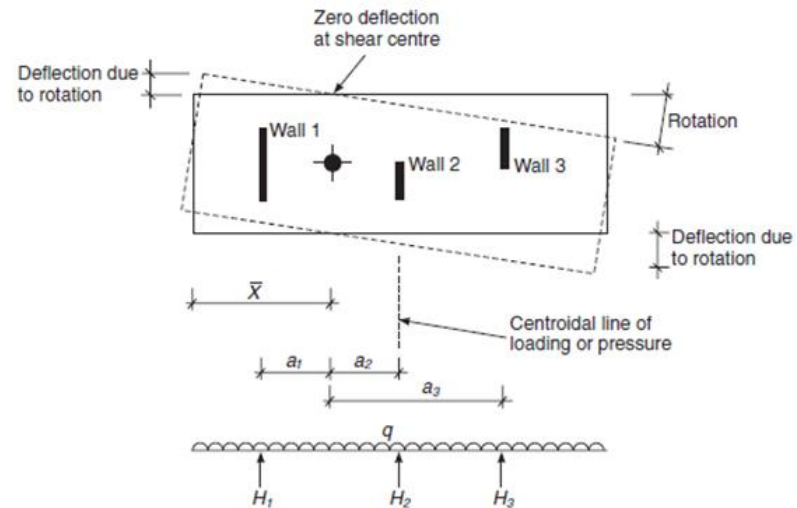
Comparison between rigid and flexible diaphragm maximum lateral displacement

GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās plātnes – cietās diafragmas modelis
 - Horizontālās slodzes sadalījums
 - Daudzsienu stiprinājumu sistēmas analīze



(a) Definitions & floor deflections due to translations

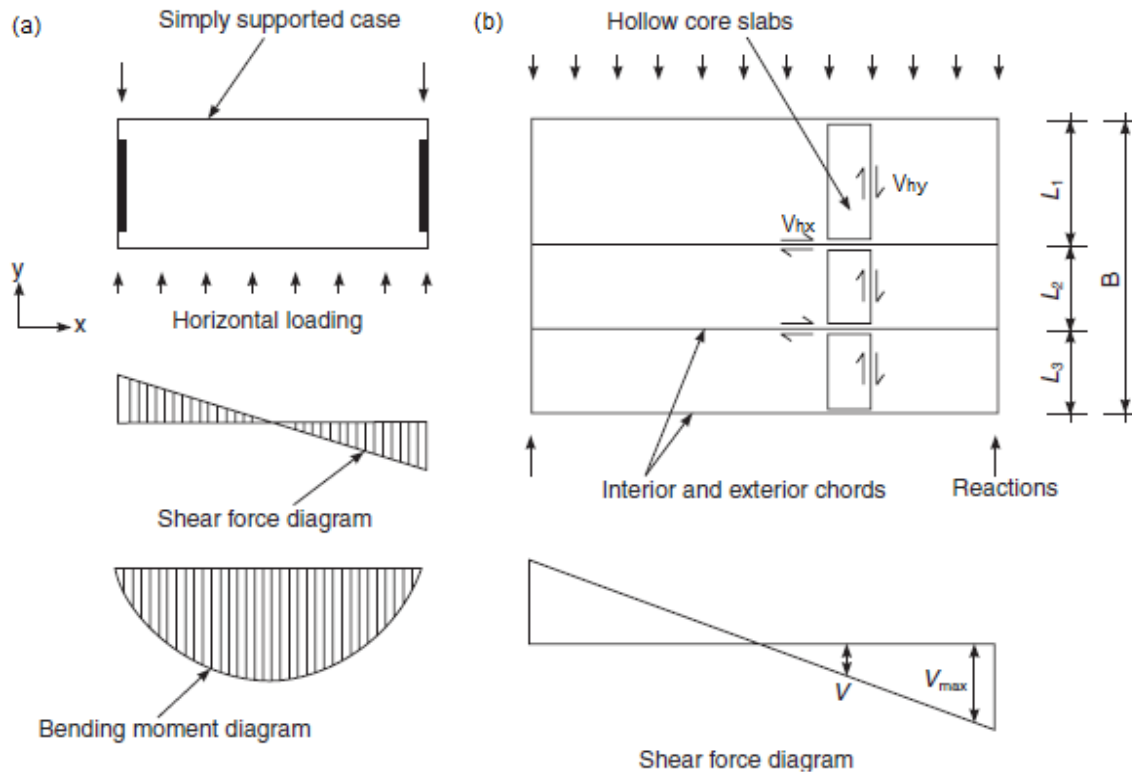


(b) Floor deflections due to rotations

$$\frac{H_n}{H} = \frac{E_n I_n}{\sum E_i I_i} \pm \frac{e E_n I_n a_n}{\sum E_i I_i a_i^2}$$

GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās plātnes – cietās diafragmas modelis
 - Iekšējie spēki diafragmas savienojumos
 - Bīde grīdas elementu garenvirzienā un šķērsvirzienā



$$V_{hy} = V_h \cdot \frac{L_1}{B} [N]$$

$$V_{hx} = V_h \cdot \frac{S}{I} [N/mm]$$

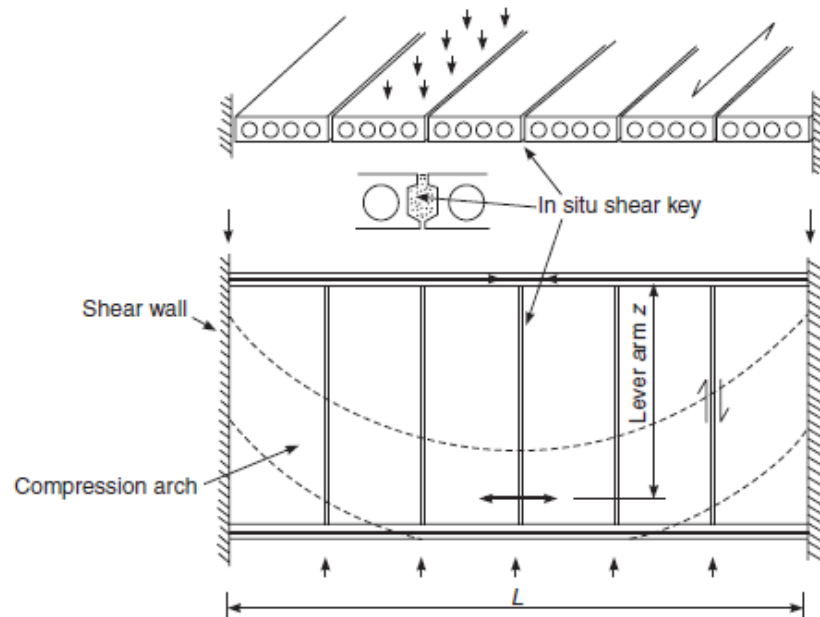
$$V_{hx} = V_h \cdot \frac{6 \cdot L_1 \cdot (B - L_1)}{B^3} [N/mm]$$

(a) Shear and bending moment diagrams in slab

(b) Shear in HC connections

GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās plātnes – cietās diafragmas modelis
 - Iekšējie spēki diafragmas savienojumos
 - Sasaistes spēki



- Bending - deep beam model $B/L < 1$

B/L	z/B
<0.5	0.9
0.5<1.0	0.8

$$T_b = \frac{M_h}{z}$$

- Bending - strut-and tie arch model $B/L > 1$

$$T_b = 0.5 V_h / (B/L)$$

- Shear wedging + shear friction

$$T_q = \frac{V_h}{\mu}$$

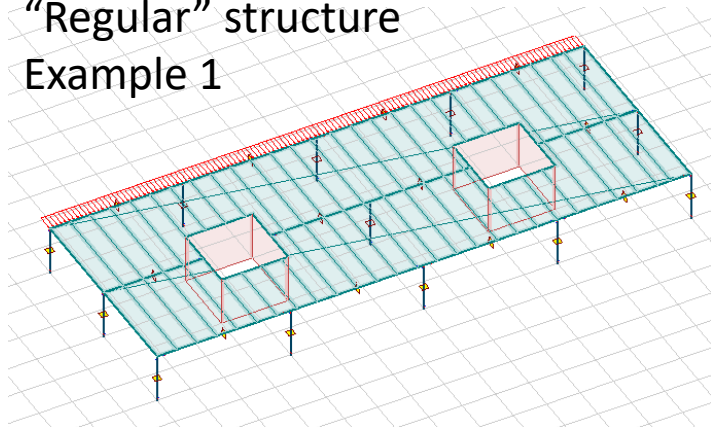
$$T_h = T_q + T_b = \frac{V_h}{(n+1)\mu} + \frac{M_h}{z}$$

*fib bulletin 6, *Special design considerations for precast prestressed hollow core floors*

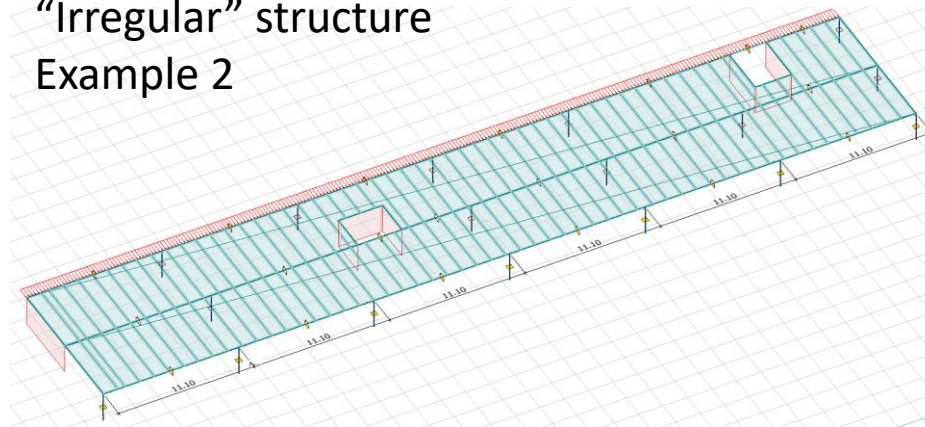
GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās plātnes - piemēri
 - Grīdas diafragmas uzvedība – salīdzinošs pētījums

“Regular” structure
Example 1



“Irregular” structure
Example 2



- Dizaina pieejas:

- A. Manuāls aprēķins (stingra diafragma)
- B. FEM analīze (stingrā diafragma)
- C. FEM analīze (elastīga diafragma)



- Strukturālā izvade:

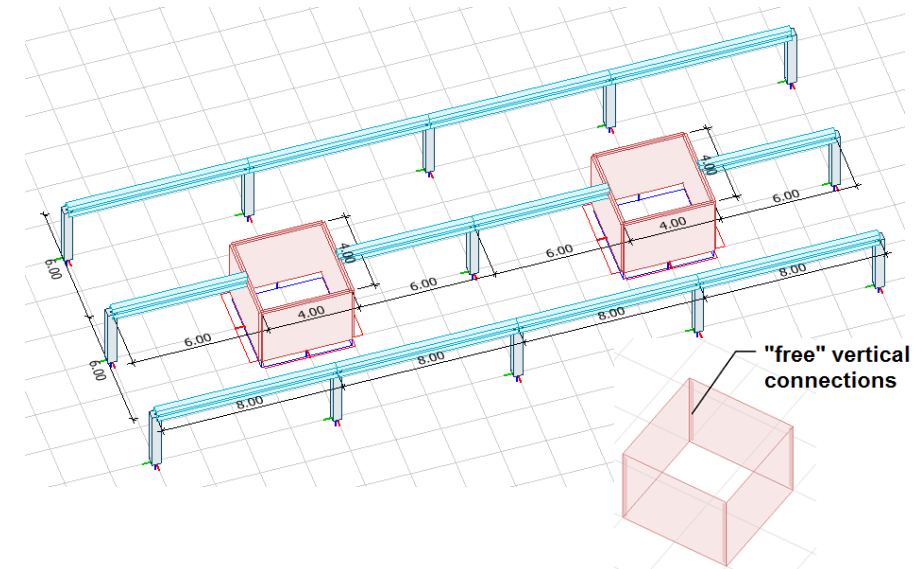
- Bīde sienu paneļos/ sānu spēku sadalījums
- Iekšējie spēki HC plātņu savienojumos

GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās plātnes - piemēri
 - 1.piemērs: regulāra struktūra

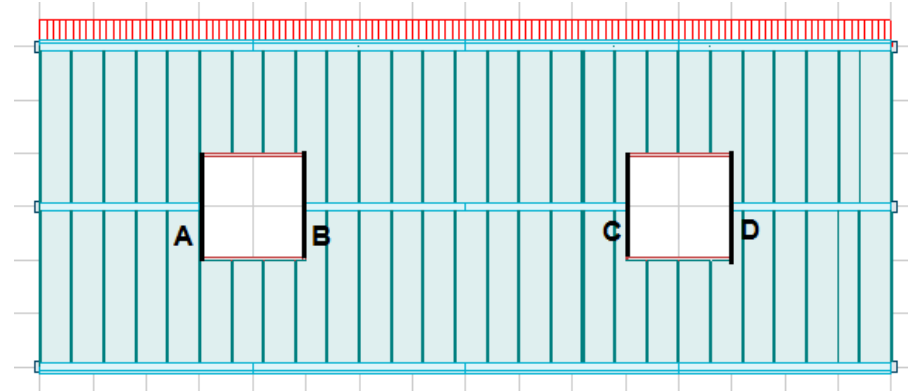
Strukturālā sistēma:

- 1 stāvs (3 m augsts)
- nepārklāta divu nodalījumu HD-F 120-20 plāksne
- saliekamā dzelzsbetona sijas
- (apgriezts T 500x500-250-400mm)
- divviru kolonnas (400x400mm)



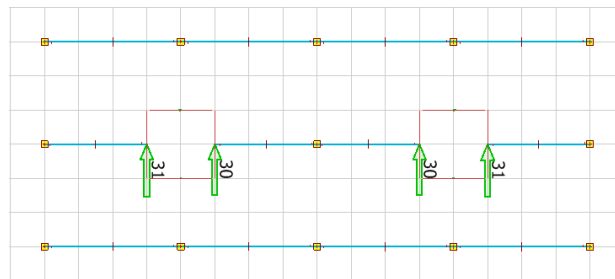
Slodze:

- 4 kN/m lineāra sadalīta vēja slodze
- Nav vertikālas malas savienojuma starp garenvirziena un šķērssienu paneļiem!
- Balsti ir "stingri"

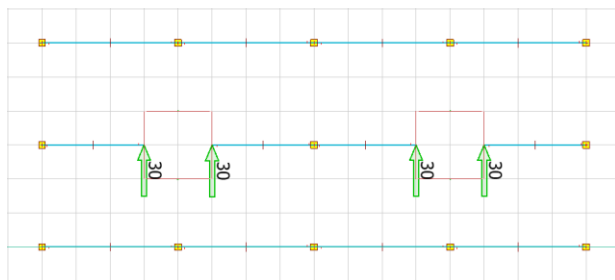


GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās plātnes - piemēri
 - 1.piemērs: regulāra struktūra
 - Strukturālās izejas salīdzinājums: sānu spēka sadalījums un sānu nobīdes — stingras un elastīgas diafragmas modelis

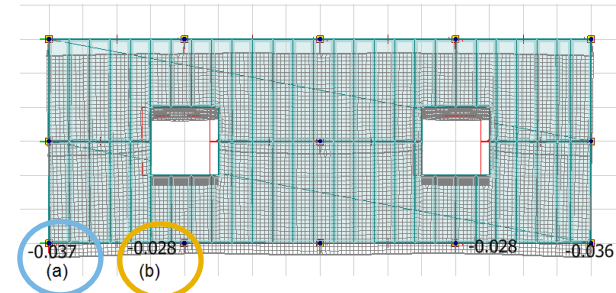


Flexible diaphragm model

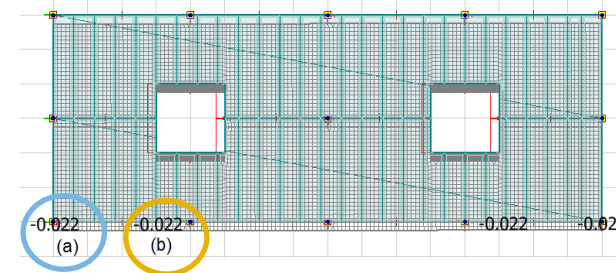


Rigid diaphragm model

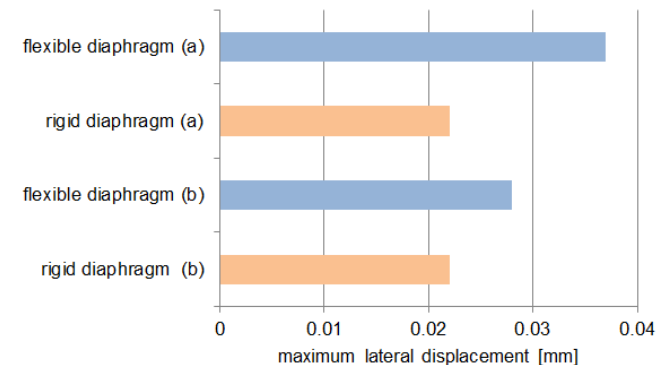
Lateral displacements



Flexible diaphragm model



Rigid diaphragm model



GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās plātnes - piemēri
 - 2.piemērs: neregulāra struktūra

Strukturālā sistēma:

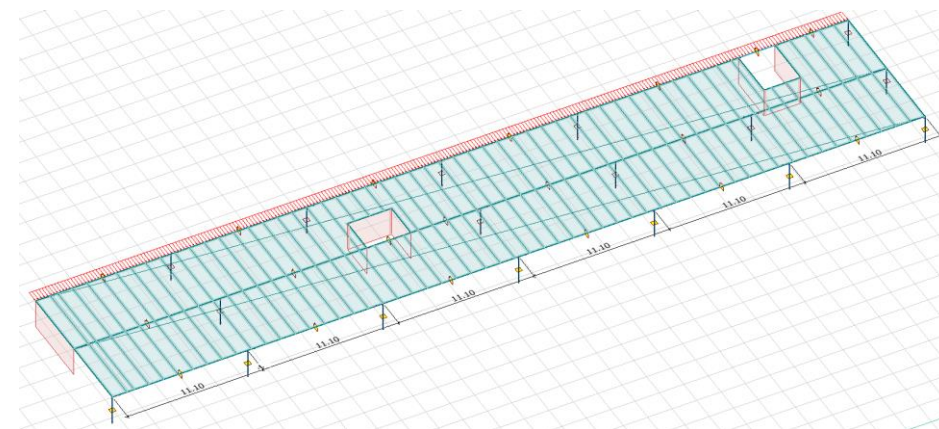
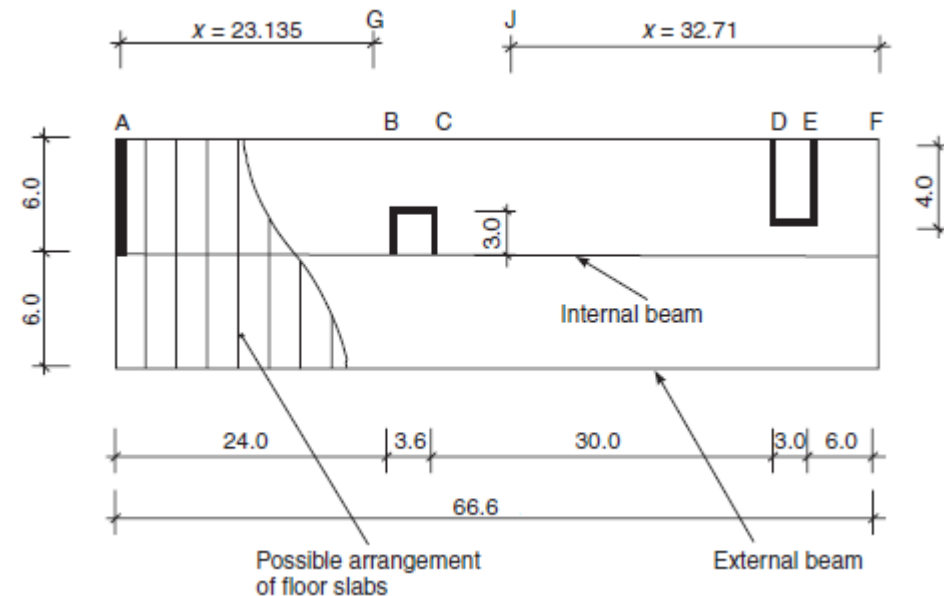
- 1 stāvs (3 m augsts)
- nepārklāta divu nodalījumu HD-F 120-20 plātne
- saliekamā dzelzsbetona sijas
- (apgriezts T 600x600-350-400mm)
- divviru kolonnas (400x400mm)
- saliekamie sienu paneļi (200mm)

Slodze:

- 4 kN/m lineāra sadalīta vēja slodze)

Nav vertikālas malas savienojuma starp garenvirziena un šķērssienas paneļiem!

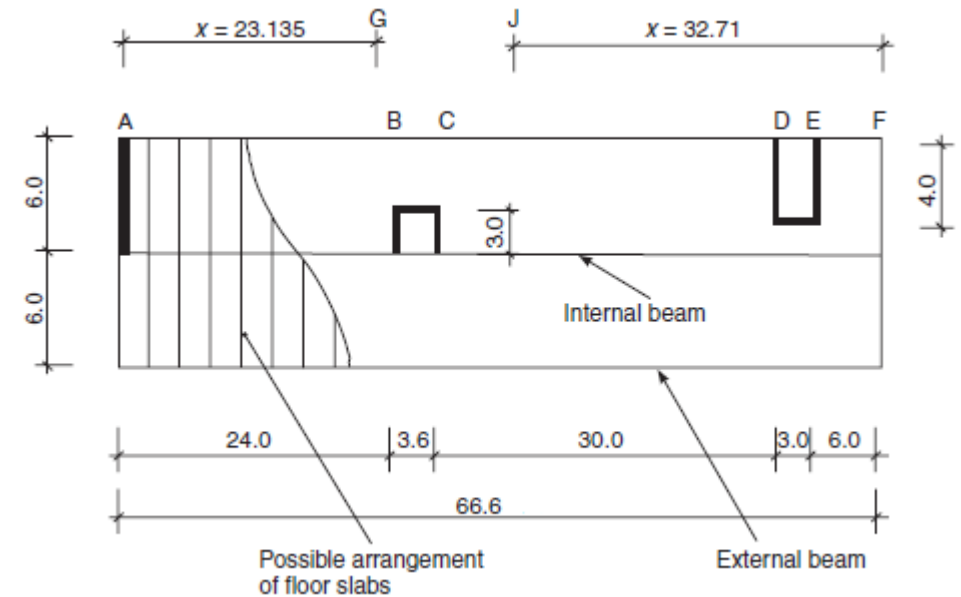
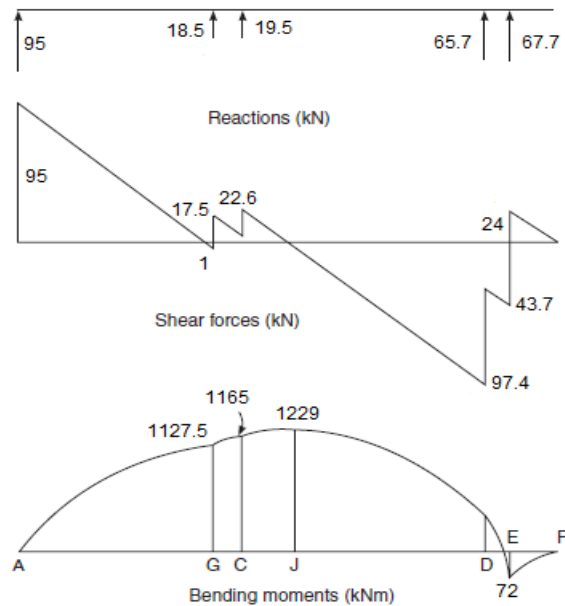
- Balsti ir "stingri"



**The structural system is provided as a design example in the Second Edition of Precast Concrete Structures, by K.S. Elliott*

GEM modelēšana un analīze

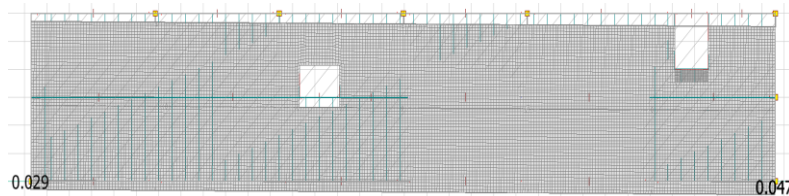
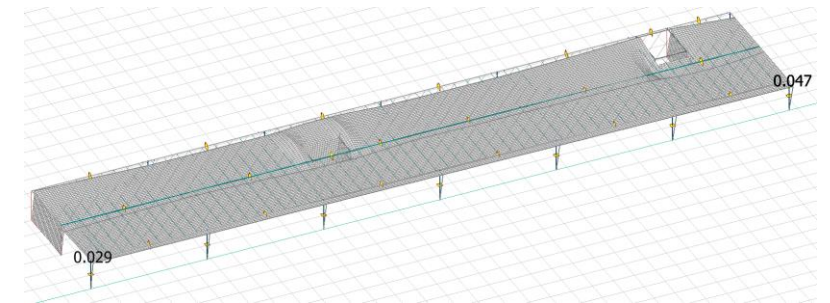
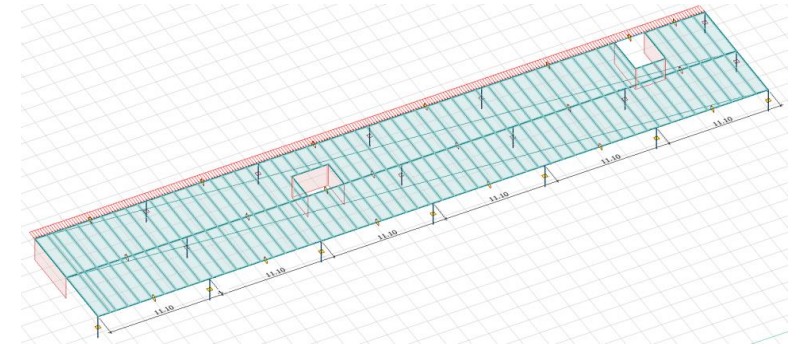
- Saliekamās plātnes - piemēri
 - 2.piemērs: neregulāra struktūra
Manuāls aprēķins, pamatojoties uz stingras diafragmas hipotēzi:
horizontālās slodzes sadalījums



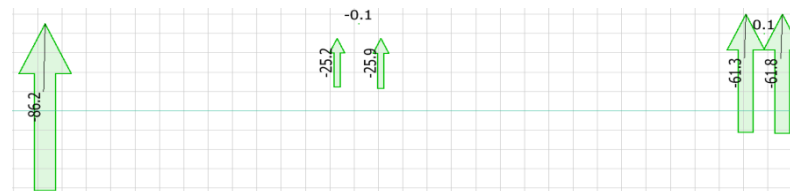
wall	L[m]	l_i [m ³]	x_i [m]	$l_i x_i$	X	$a_i = x_i - X$ [m]	$l_i a_i^2$	e[m]	H_i/H	H[kN]	H_i
A	66.6	216	0	0	22.51	22.51	109423.3	10.79	0.357	266.4	95.0
B		27	24	648		1.49	60.14098		0.069		18.5
C		27	27.6	745.2		5.09	700.1957		0.073		19.5
D		64	57.6	3686.4		35.09	78814.78		0.247		65.7
E		64	60.6	3878.4		38.09	92866.28		0.254		67.7
Total		398							1.000		

GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās plātnes - piemēri
 - 2.piemērs: neregulāra struktūra
 - B. GEM – dizaina analīze, pamatojoties uz stingras diafragmas hipotēzi:
 - Horizontālās slodzes sadalījums
 - Sānu nobīdes
 - Mērķis: “apstiprināt” manuālā aprēķina rezultātus
 - Strukturālā izveide:
 - Tikai pārvietošanās un reakcijas
 - Nav izejas attiecībā uz iekšējiem spēkiem plātnē un uz sijām



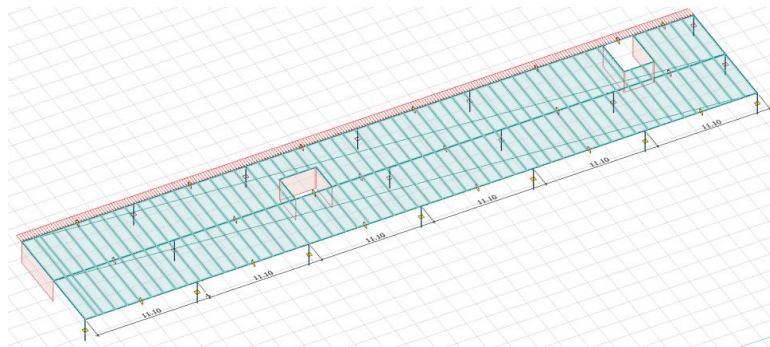
Lateral displacement [mm]



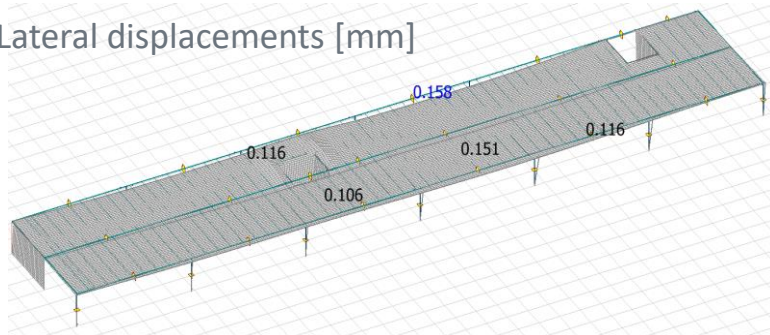
Lateral load distribution to walls [kN]

GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās plātnes - piemēri
 - 2.piemērs: neregulāra struktūra
 - C. GEM-Design analīze – elastīgās diafragmas hipotēze
 - Sānu nobīdes
 - Sānu spēka sadalījums
 - Iekšējā spēka sadalījums HC plātnē



Lateral displacements [mm]



- *Elastīga diafragma – konstrukcijas matemātiskais modelis ņem vērā plātnes stingrību*

Motion springs [kN/m/m]

	Compression	Tension
Kx'	1.000e+07	1.000e+07
Ky'	1.000e+07	1.000e+07
Kz'	1.000e+07	1.000e+07

Rotation springs [kNm/m/°]

	Compression	Tension
Cx'	0.000e+00	0.000e+00
Cy'	0.000e+00	0.000e+00
Cz'	0.000e+00	0.000e+00

Membrane stiffness matrix D [kN/m]

3599122.0	627630.2	0.0
627630.2	2736220.9	0.0
0.0	0.0	1267068.6

Flexural stiffness matrix K [kNm]

18727.6	1337.4	0.0
1337.4	2387.8	0.0
0.0	0.0	753.4

Shear stiffness matrix H [kN/m]

1271541.7	0.0
0.0	907056.3

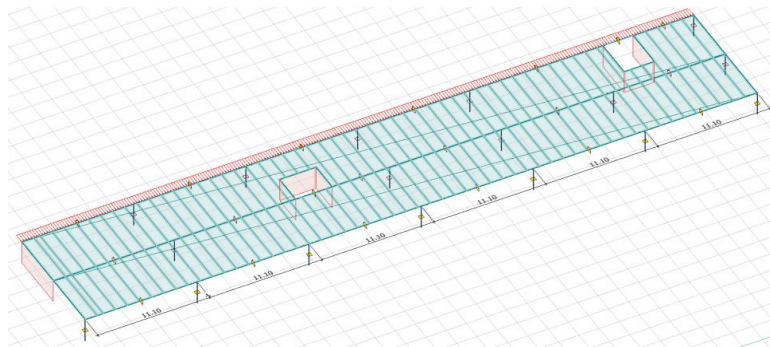
Physical properties

Unit mass [t/m2]	0.245
t1 [m]	0.0978
t2 [m]	0.102
Alpha 1 [1/°C]	0.0000100
Alpha 2 [1/°C]	0.0000100

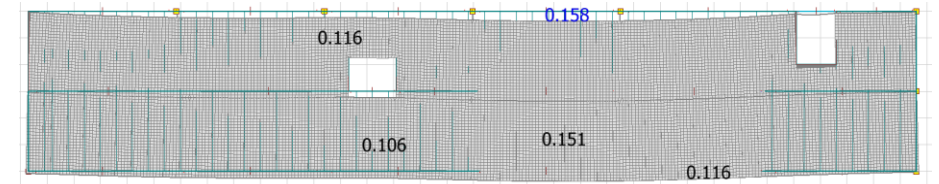
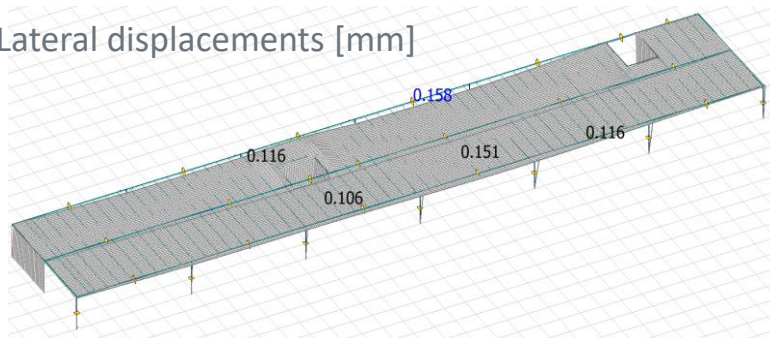
Plate stiffness matrix

GEM modelēšana un analīze

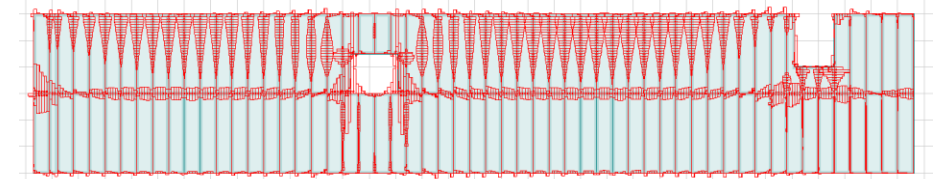
- Saliekamās plātnes - piemēri
 - 2.piemērs: neregulāra struktūra
 - C. GEM-Design analīze – elastīgās diafragmas hipotēze
 - Sānu nobīdes
 - Sānu spēka sadalījums
 - Iekšējā spēka sadalījums HC plātnē



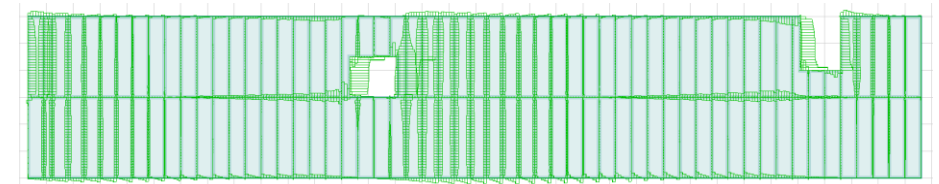
Lateral displacements [mm]



Lateral displacements [mm]



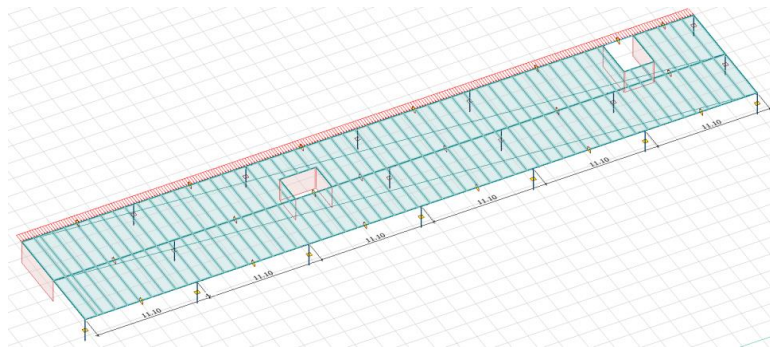
Compression in slab connections



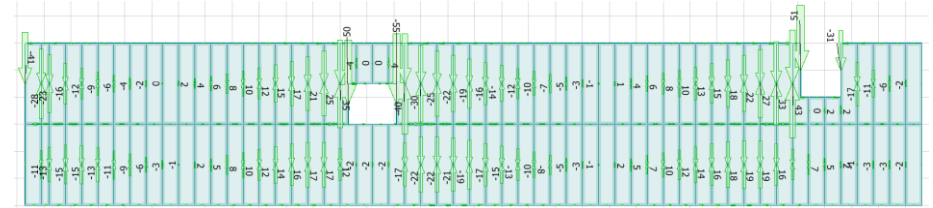
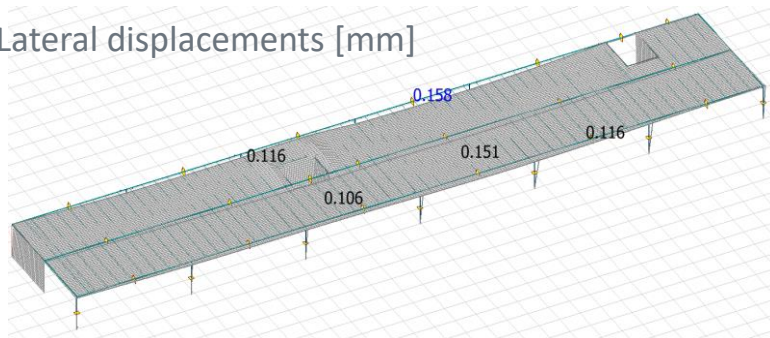
Shear in slab connections

GEM modelēšana un analīze

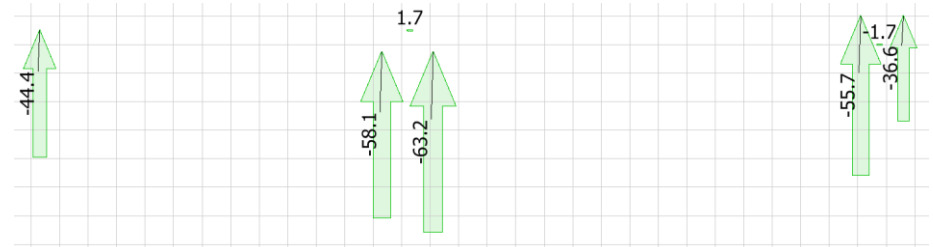
- Saliekamās plātnes - piemēri
 - 2.piemērs: neregulāra struktūra
- C. GEM-Design analīze – elastīgās diafragmas hipotēze
 - Sānu nobīdes
 - Spēka sadalījums sānos
 - Iekšējā spēka sadalījums HC plātnē



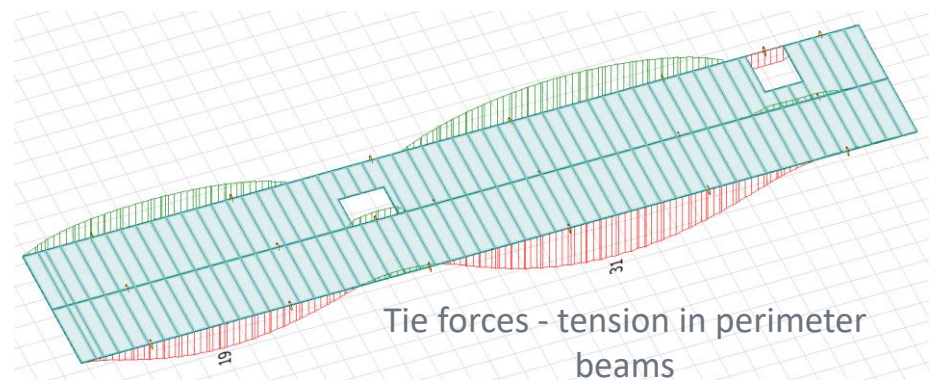
Lateral displacements [mm]



Shear resultants in HC connections



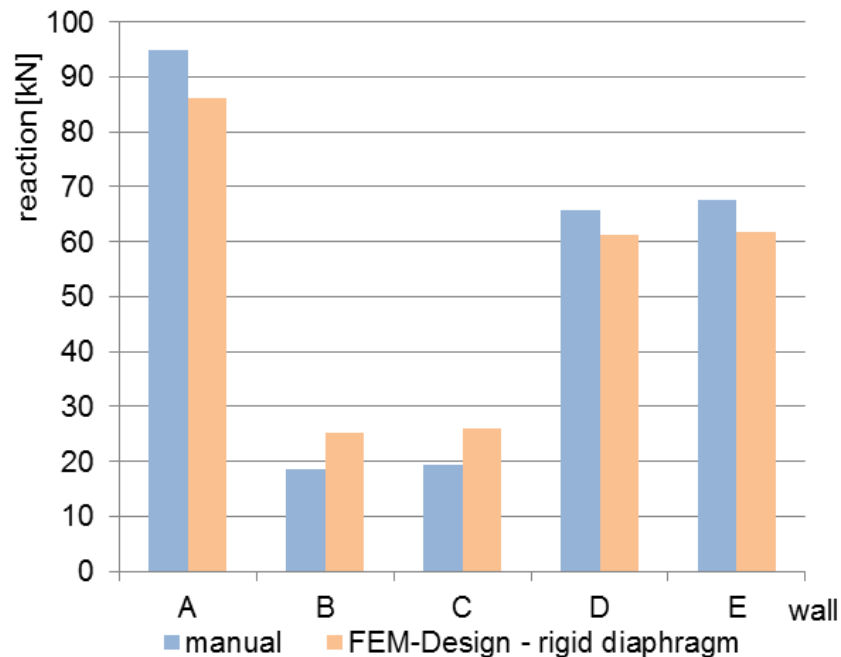
Lateral load distribution to walls [kN]



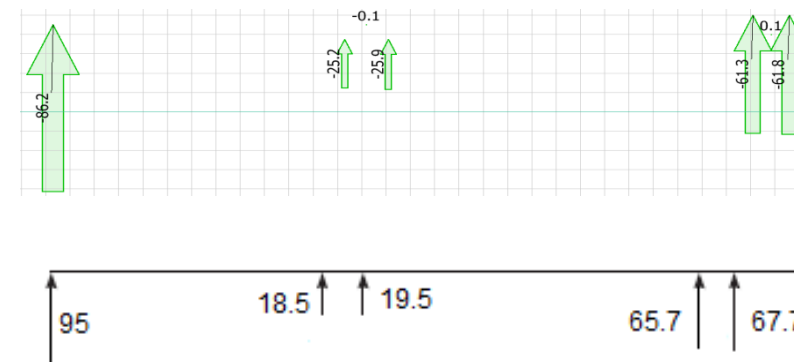
Tie forces - tension in perimeter beams

GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās plātnes - piemēri
 - 2.piemērs: neregulāra struktūra
 - Strukturālās produkcijas salīdzinājums
 - Sānu spēka sadalījums – cietās diafragmas modelis: manuāls pret GEM-Design

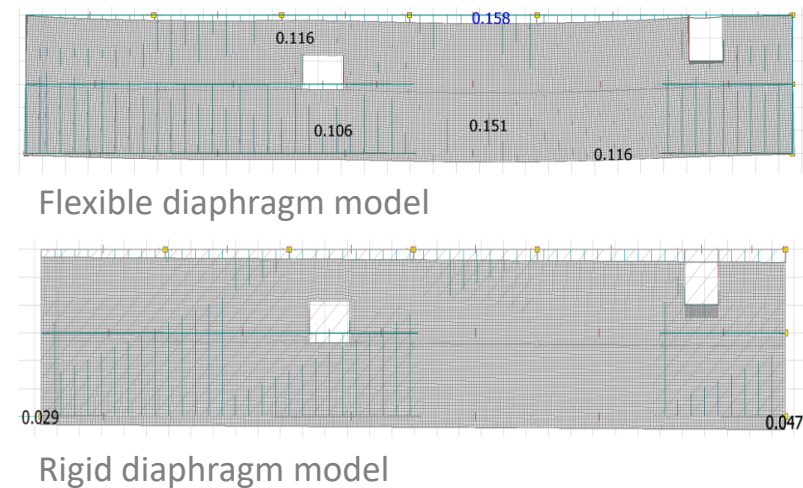
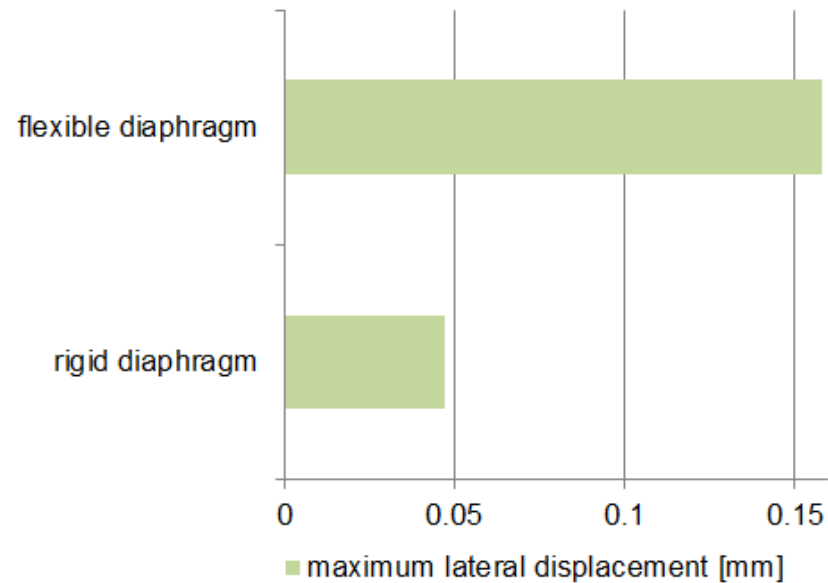


wall	manual	FEM	error*
A	95	86.2	-9
B	18.5	25.2	36
C	19.5	25.9	33
D	65.7	61.3	-7
E	67.7	61.8	-9



GEM modelēšana un analīze

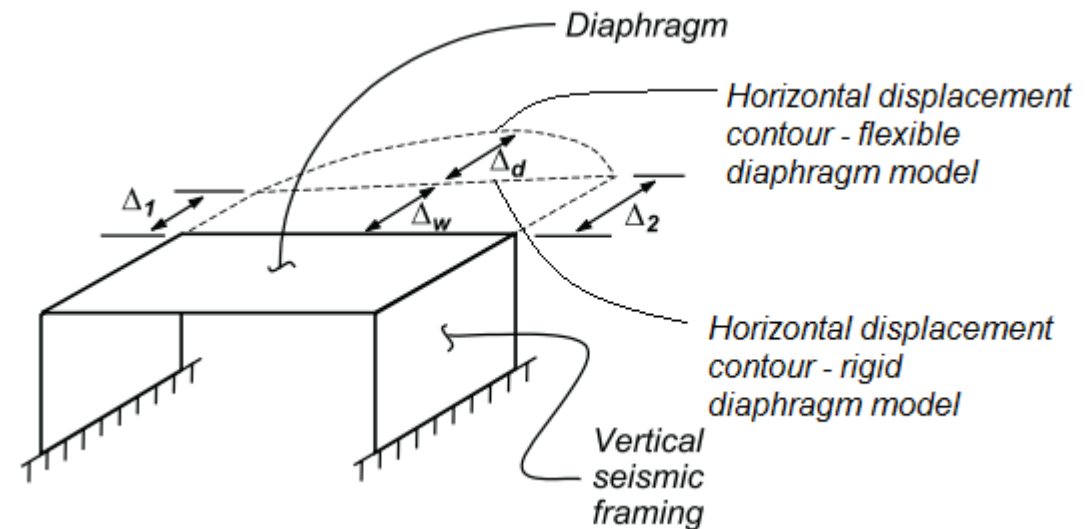
- Saliekamās plātnes - piemēri
 - 2.piemērs: neregulāra struktūra
 - Strukturālās produkcijas salīdzinājums
 - Maksimālā sānu nobīde [mm] – stingras vs. elastīgās diafragmas modelis



GEM modelēšana un analīze

Saliekamās plātnes – diafragmu modeļi

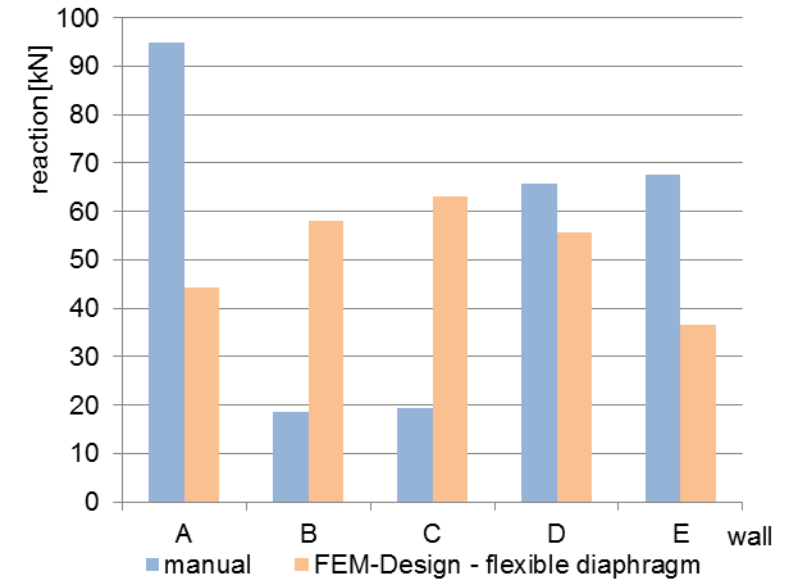
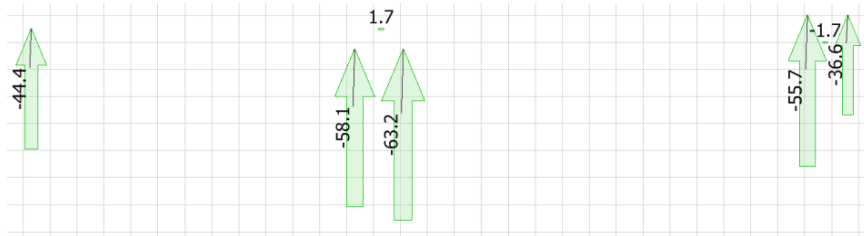
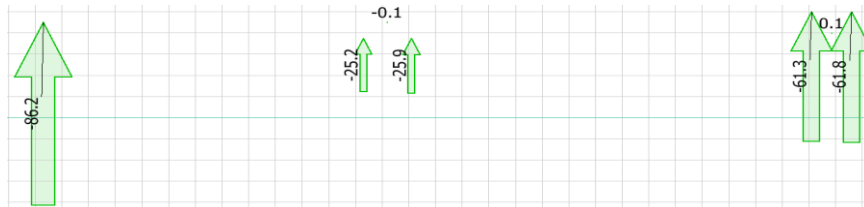
- Stingras vai elastīgas diafragmas modelis?
 - Eirokodekss 2
 - Nav skaidru ieteikumu
 - Šķiet, ka cietās diafragmas modelis ir universāls
 - Eirokodekss 8
 - Skaidri ierobežojumi cietās diafragmas modelim
 - Cieto diafragmu var izmantot, ja starp diviem modeļiem ir ne vairāk kā 10% atšķirība starp horizontālajiem pārvietojumiem



Comparison between rigid and flexible diaphragm maximum lateral displacement

GEM modelēšana un analīze

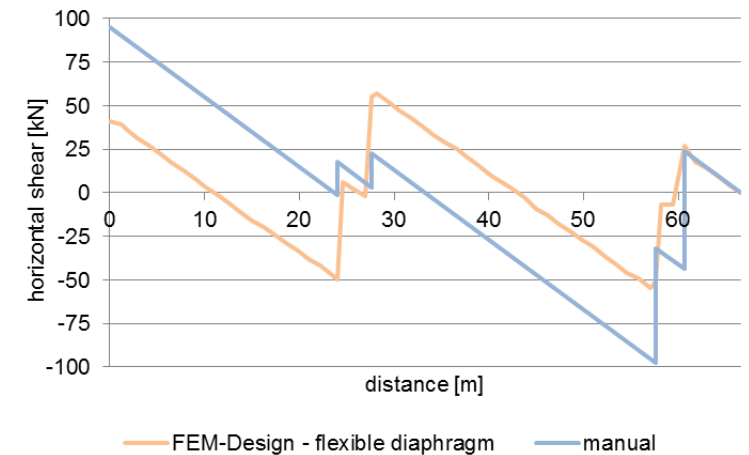
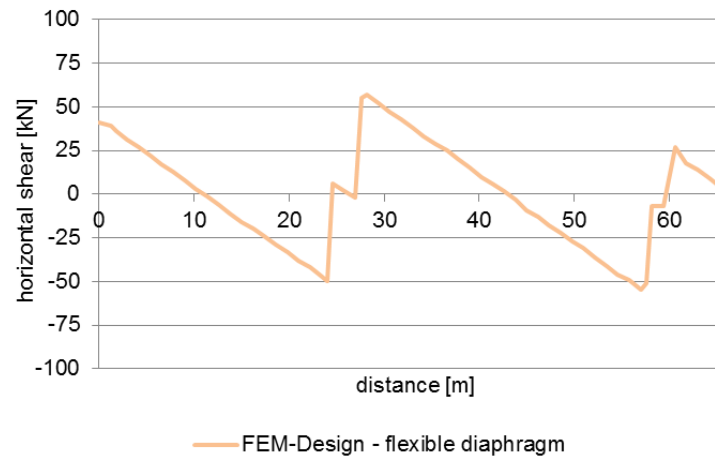
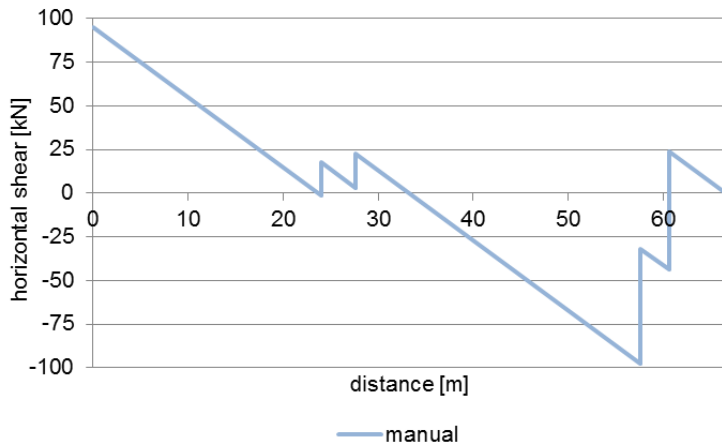
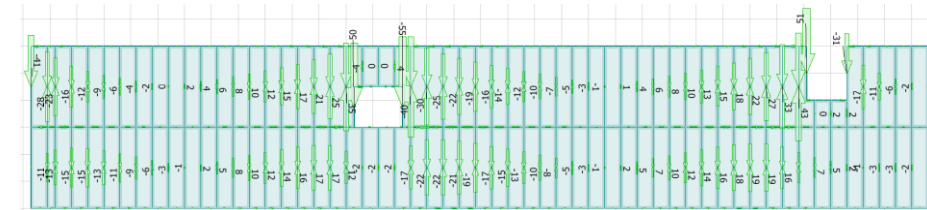
- Saliekamās plātnes - piemēri
 - 2.piemērs: neregulāra struktūra
 - Strukturālās produkcijas salīdzinājums
 - Sānu spēka sadalījums – stingras un elastīgās diafragmas modelis



wall	rigid	flexible	error*
A	95	44.4	-53
B	18.5	58.1	214
C	19.5	63.2	224
D	65.7	55.7	-15
E	67.7	36.6	-46

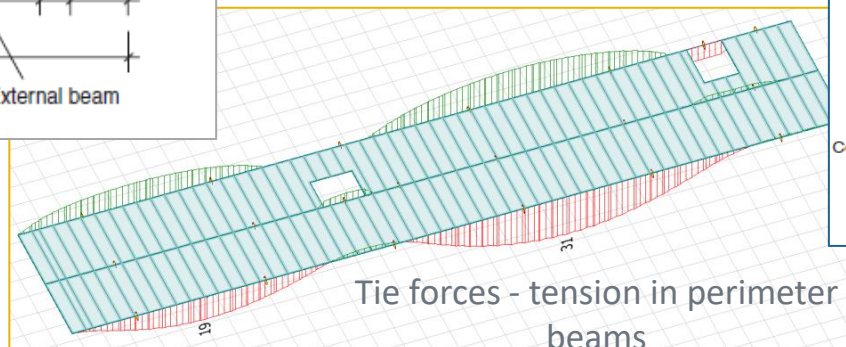
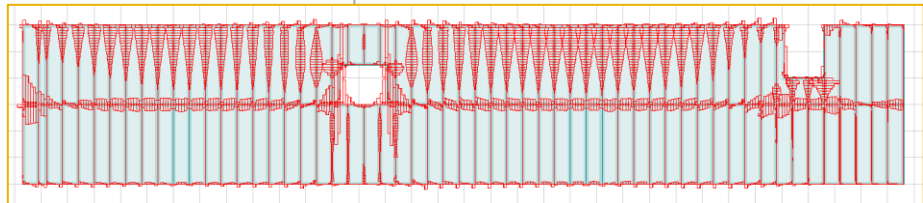
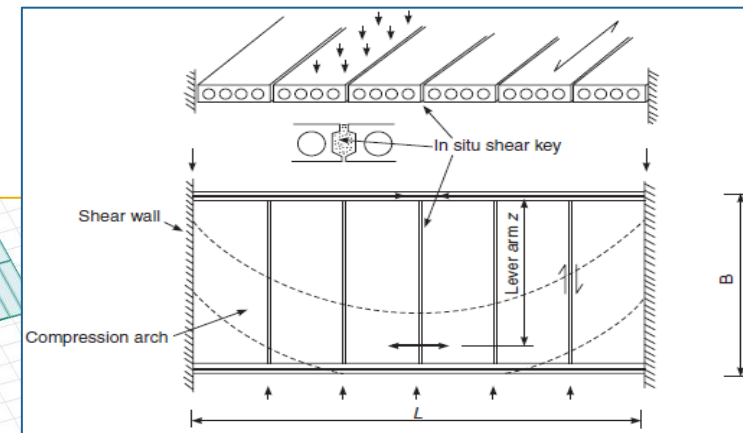
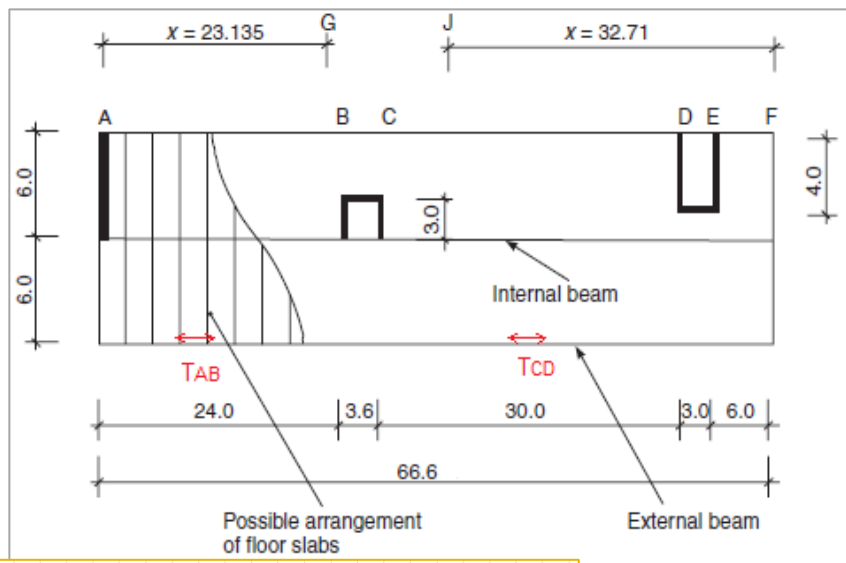
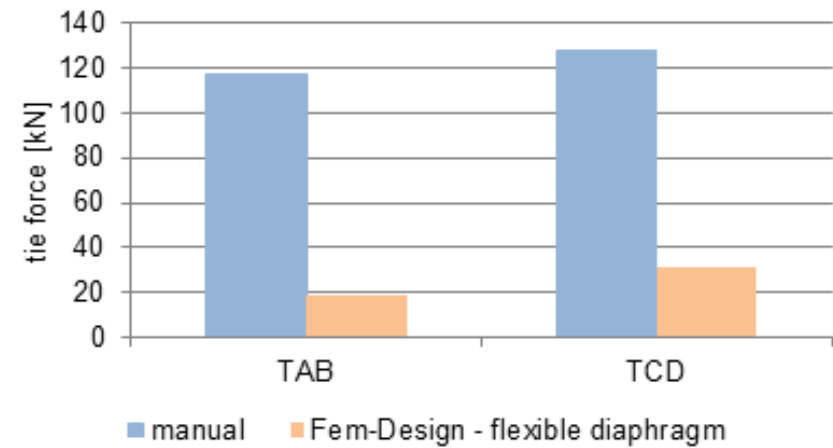
GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās plātnes - piemēri
 - 2.piemērs: neregulāra struktūra
 - Strukturālās produkcijas salīdzinājums:
 - Bīdes HC plātnē – stingras vs elastīgās diafragmas modelis



GEM modelēšana un analīze

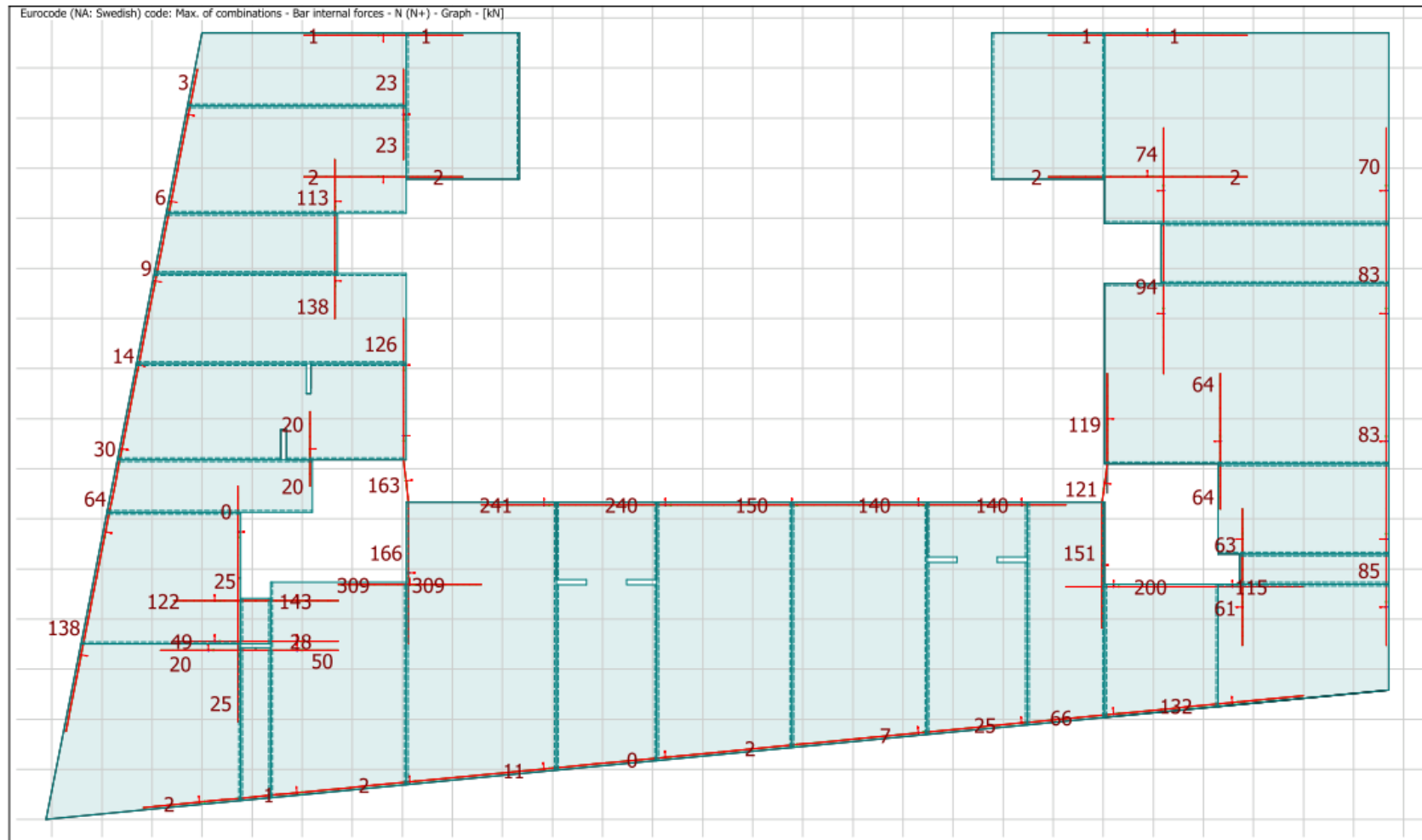
- Saliekamās plātnes - piemēri
 - 2.piemērs: neregulāra struktūra
 - Strukturālās produkcijas salīdzinājums:
 - Sasaistes spēki – stingras vs elastīgās diafragmas modelis



Compression forces distribution in compression only HC slab connections

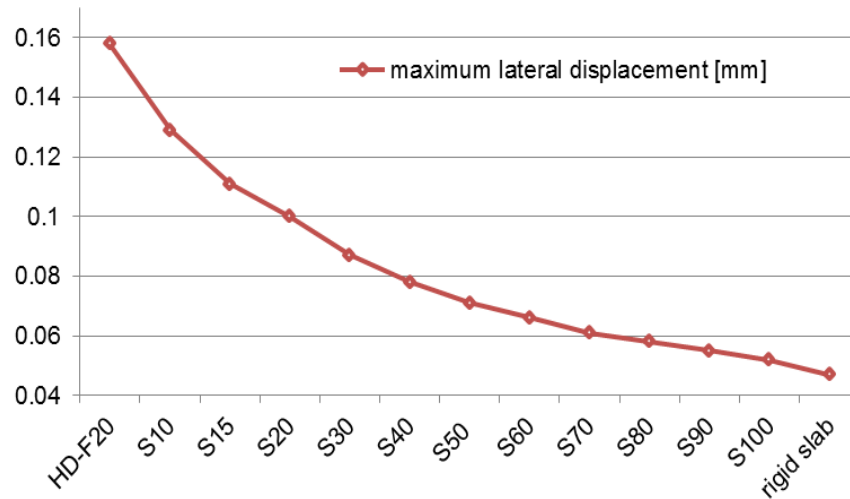
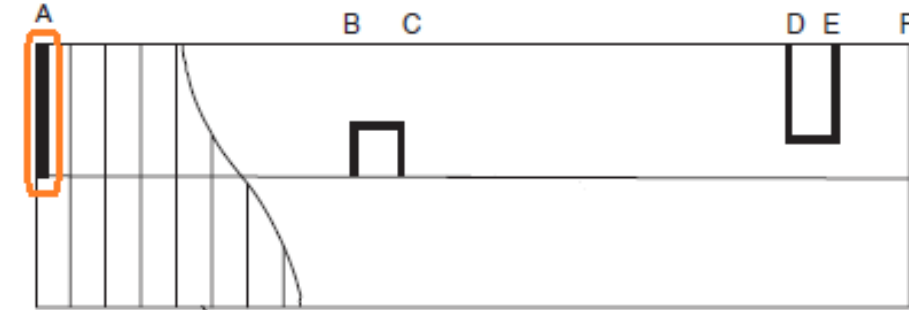
GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās plātnes – horizontālo saišu dizaina paraugprojekti

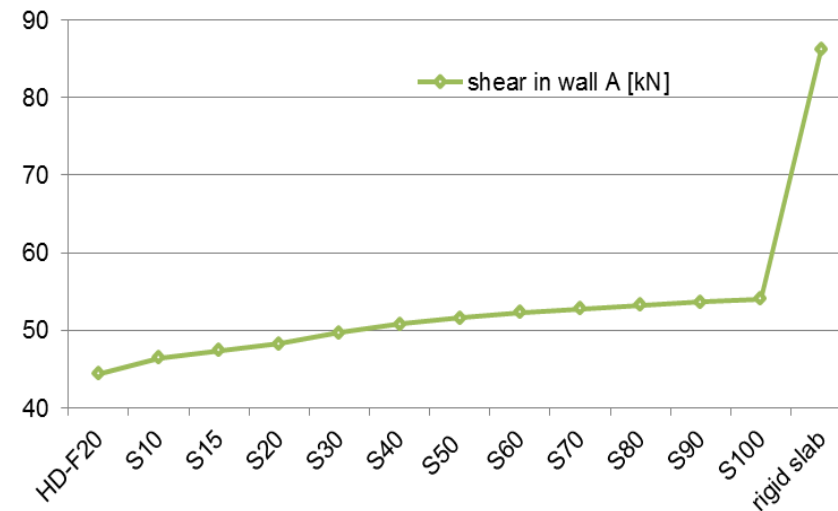


GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās plātnes - piemēri
 - 2.piemērs: neregulāra struktūra
 - Strukturālās produkcijas salīdzinājums:
 - Strukturālās reakcijas atšķirības plātņu stingrības izmaiņu dēļ



Variation of maximum lateral displacement with the stiffness of the slab

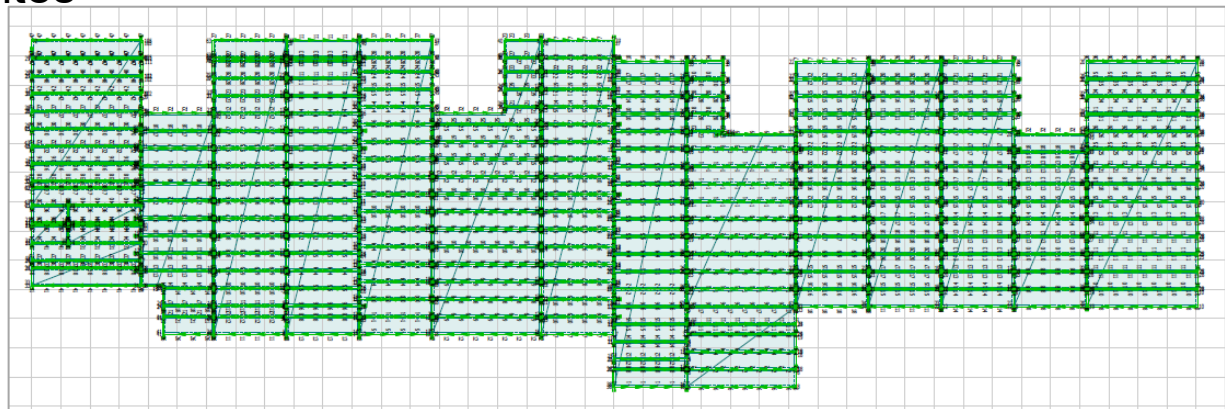


Variation of shear force in wall A with the stiffness of the slab

GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās plātnes – horizontālās diafragmas aptīšanas projektēšana

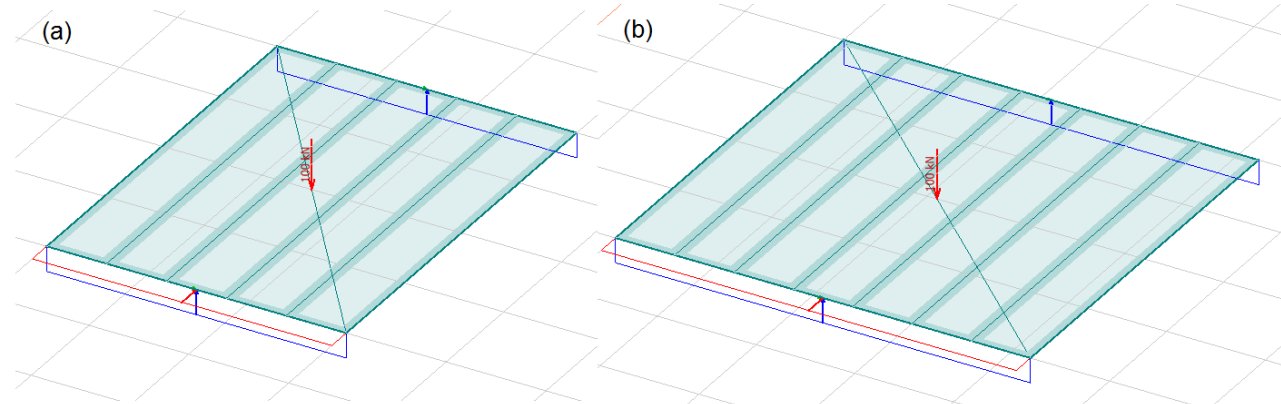
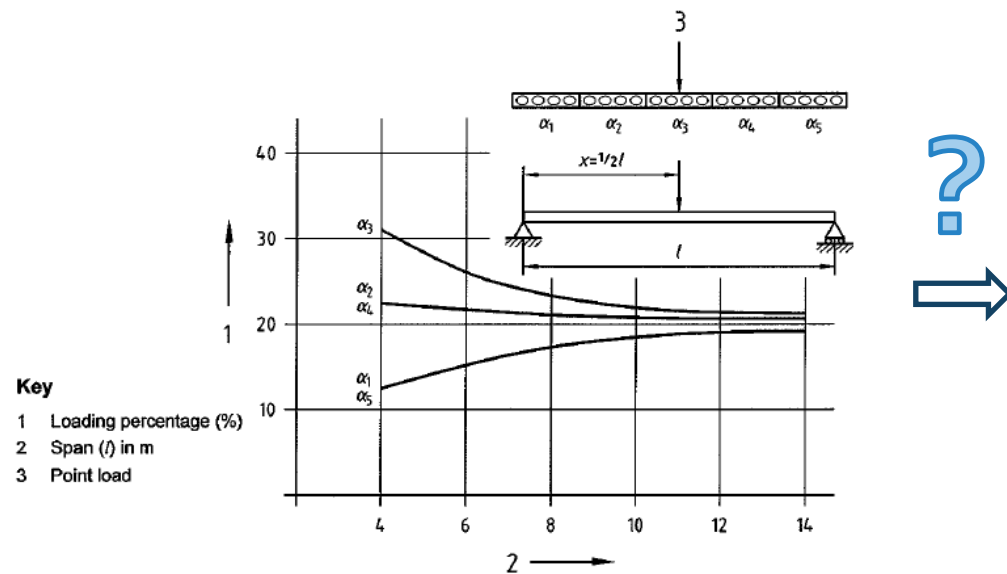
- Stingras diafragmas modelis:
 - Piemērojams “manuālajos” un FE modeļos
 - Rezultātu var pārbaudīt ar manuāliem aprēķiniem
 - FE modeļi nesniedz strukturālu reakciju uz horizontālās diafragmas dizainu
- Elastīgās diafragmas modelis:
 - Piemērojams tikai ar GEM instrumentiem
 - Rezultātus nevar pārbaudīt ar manuāliem aprēķiniem
 - FE modeļi nodrošina strukturālu reakciju (iekšējos spēkus) horizontālo diafragmu projektēšanai:
 - Plātnes pie sienas/siju savienojumi
 - HC garensavienojumi (piemēram, vai HC plātnei ir nepieciešams strukturāls pārklājums?)
 - Horizontālās saites



*Plastmasas bīdes
sadalījums HC
savienojumos*

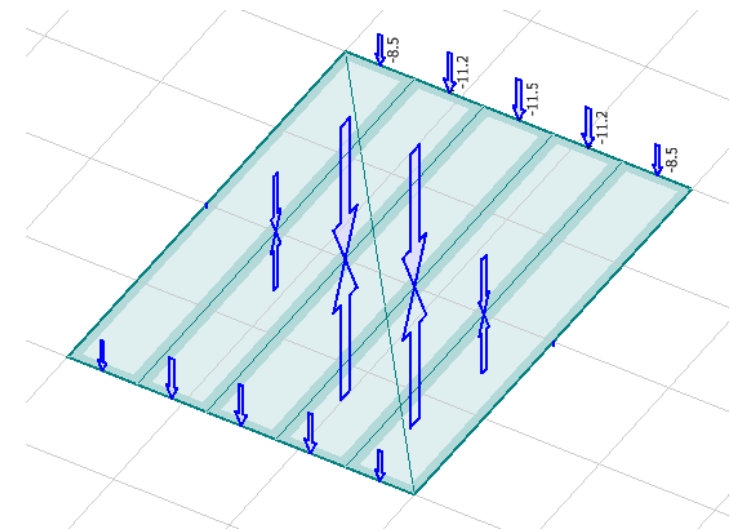
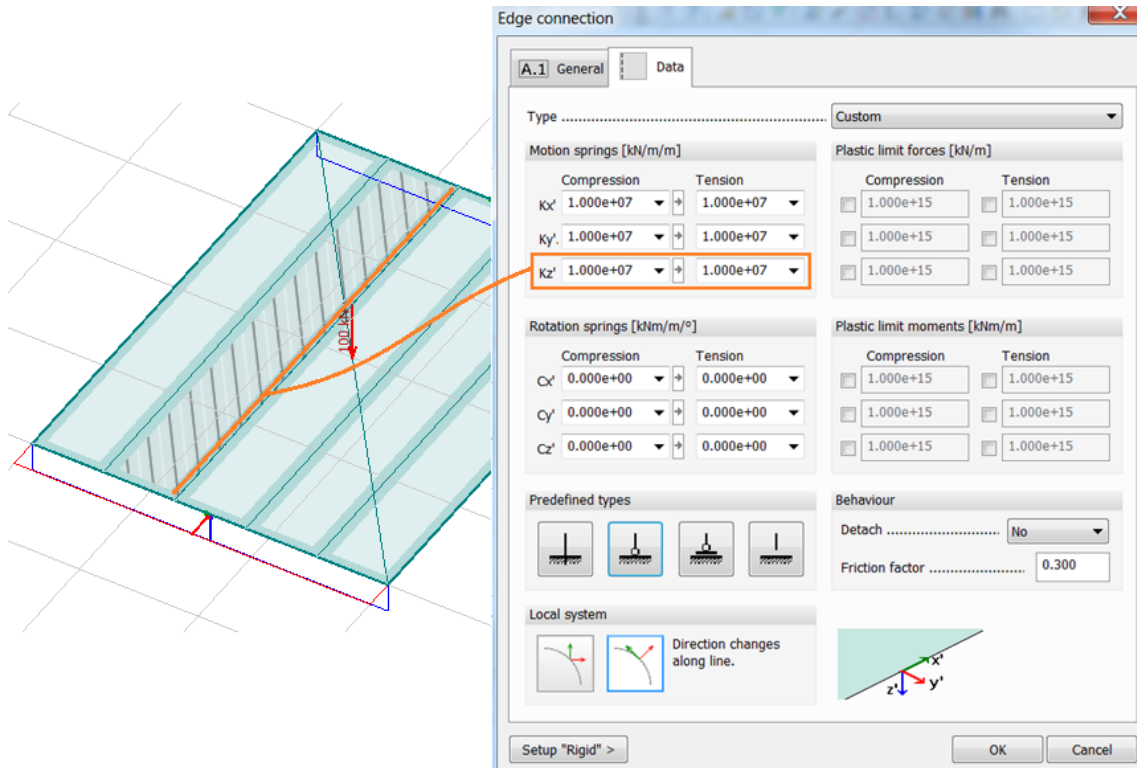
GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās plātnes – šķērsvirziena slodzes sadalījums
 - Vienmērīgs gravitācijas slodžu sadalījums - **OK** in FE
 - Koncentrētās slodzes sadale saskaņā ar saskaņā ar EN1168 C pielikumu – **nevar emulēt** lineārā elastīgā FE



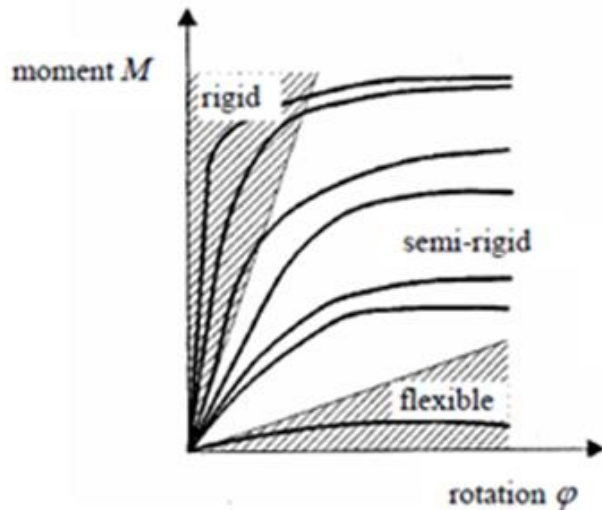
GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās plātnes – šķērsvirziena slodzes sadalījums
 - Vienmērīgs gravitācijas slodžu sadalījums - **OK** in FE
 - Koncentrētās slodzes sadale saskaņā ar saskaņā ar EN1168 C pielikumu – **nevar emulēt** lineārā elastīgā FE



GEM modelēšana un analīze

- GEM – Saliekamie savienojumi
 - Saliekamo sienu mezglu strukturālās reakcijas variācijas ar malu savienojuma stinguma izmaiņām

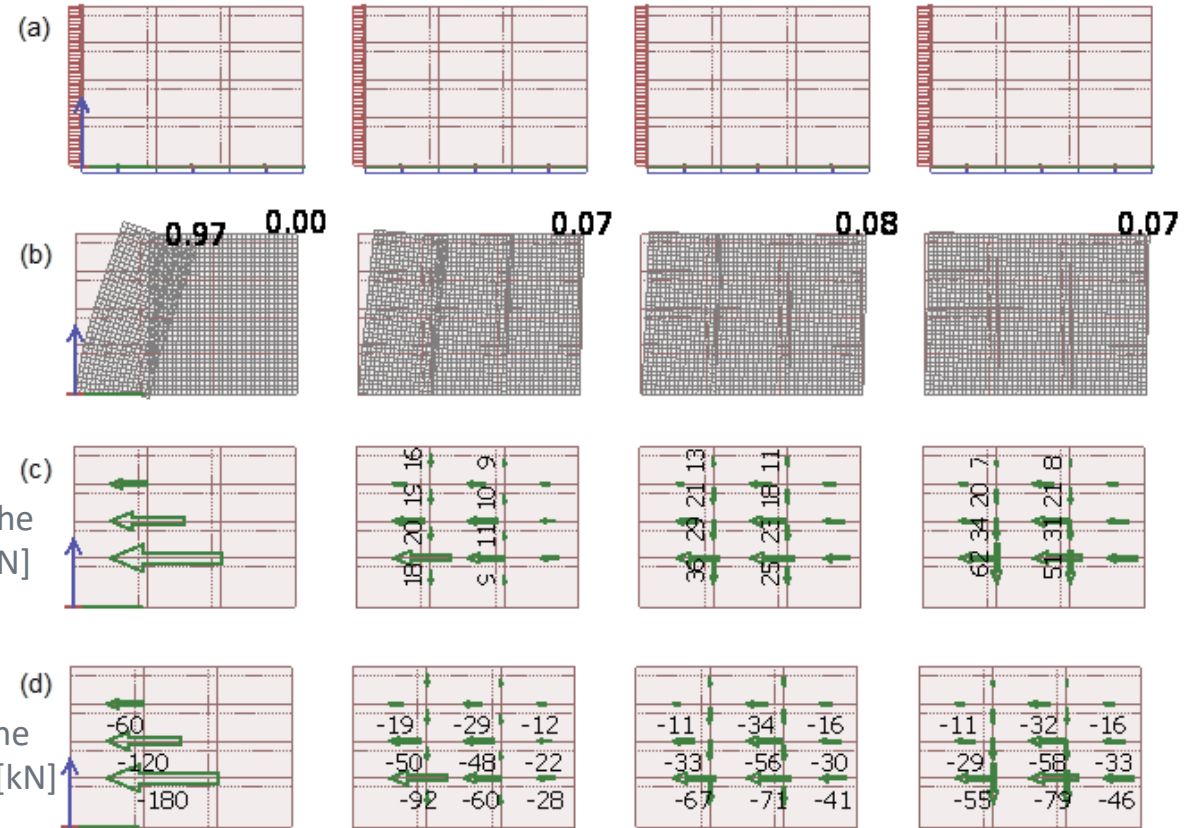


Classification of moment-resisting connections – (Leon, 1998)

(b) top lateral displacement [mm]

(c) shear resultant in the vertical connections [kN]

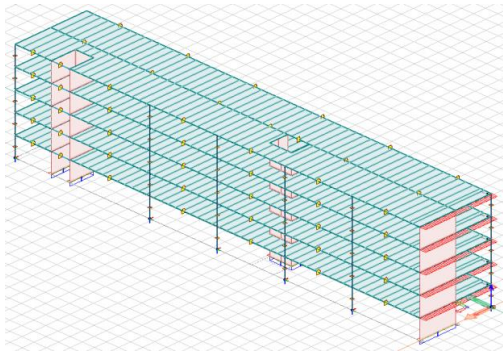
(d) shear resultant in the horizontal connection [kN]



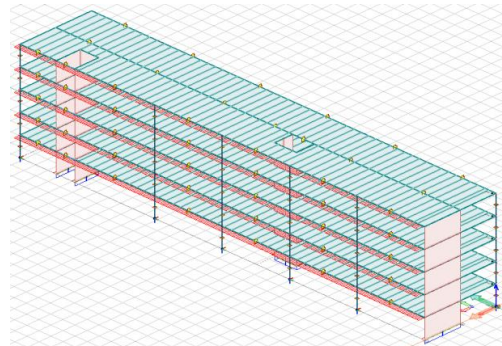
(a) The models consist of (left to right): free edge, 1% of “theoretical” hinge translational stiffness ($0.01 \times 1.00e+07$), 5% of “theoretical” hinge translational stiffness ($0.05 \times 1.00e+07$) and “theoretical” hinge

GEM modelēšana un analīze

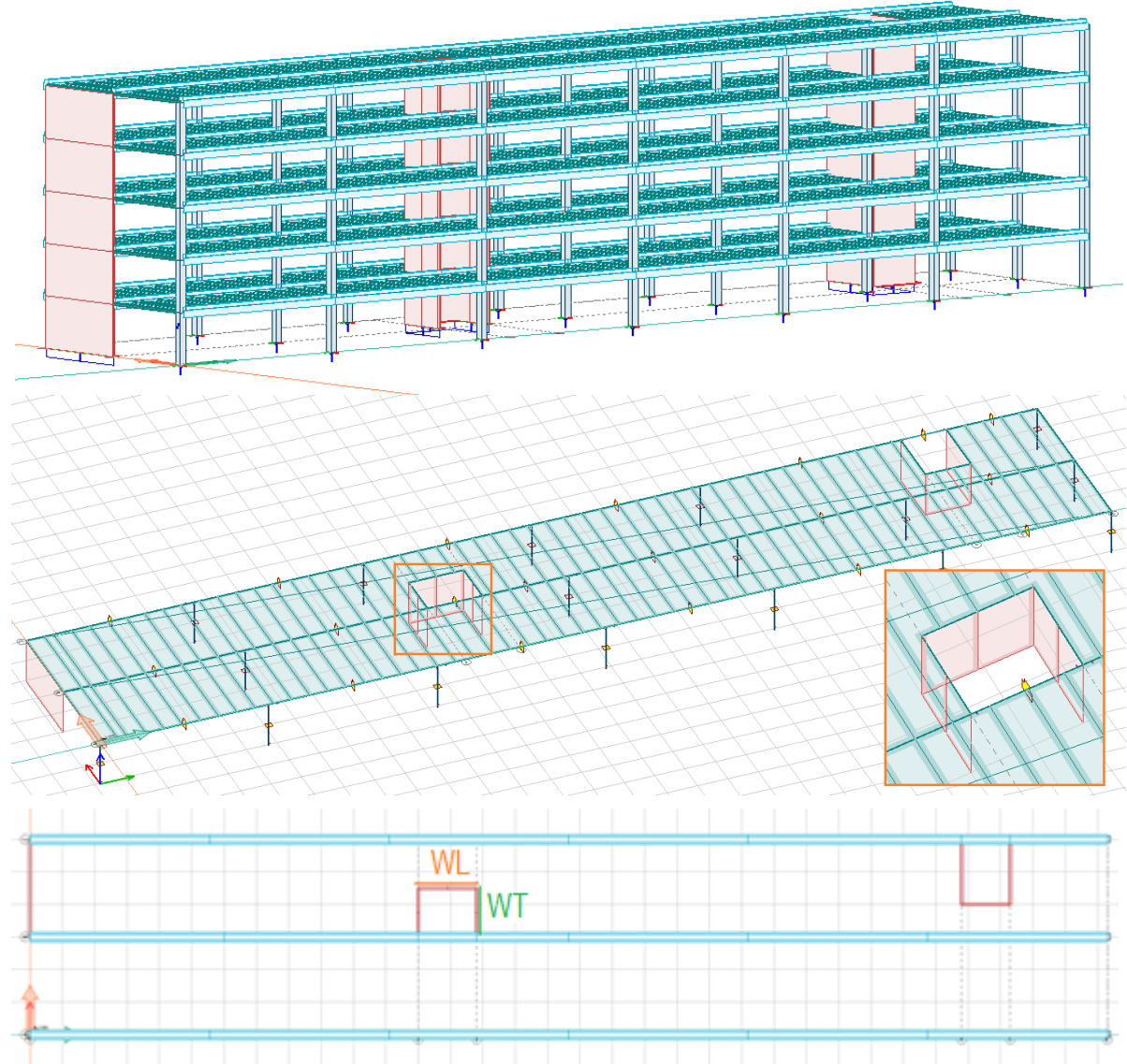
- Saliekamās sienas - piemēri
 - Savienojuma stingrības ietekme uz konstrukcijas reakciju
- 3.piemērs:
 - Otrā piemēra vispārīgs izkārtojums ar 5 stāviem
 - Elastīgās diafragmas
 - Divas slodzes: vējš X (WX) un vējš Y (WY)



WX: 5 kN/m linear distributed wind load



WY: 4 kN/m linear distributed wind load



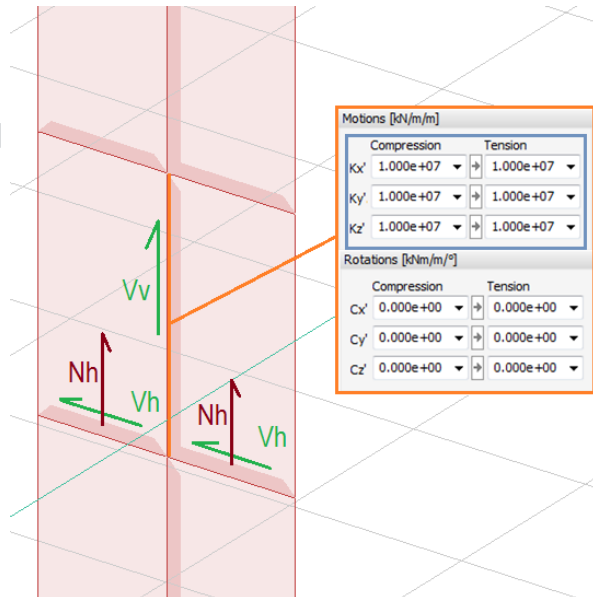
GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās sienas – 3.piemērs

- Sienu paneļu vertikālo savienojumu stingrības projektēšanas pieejas:

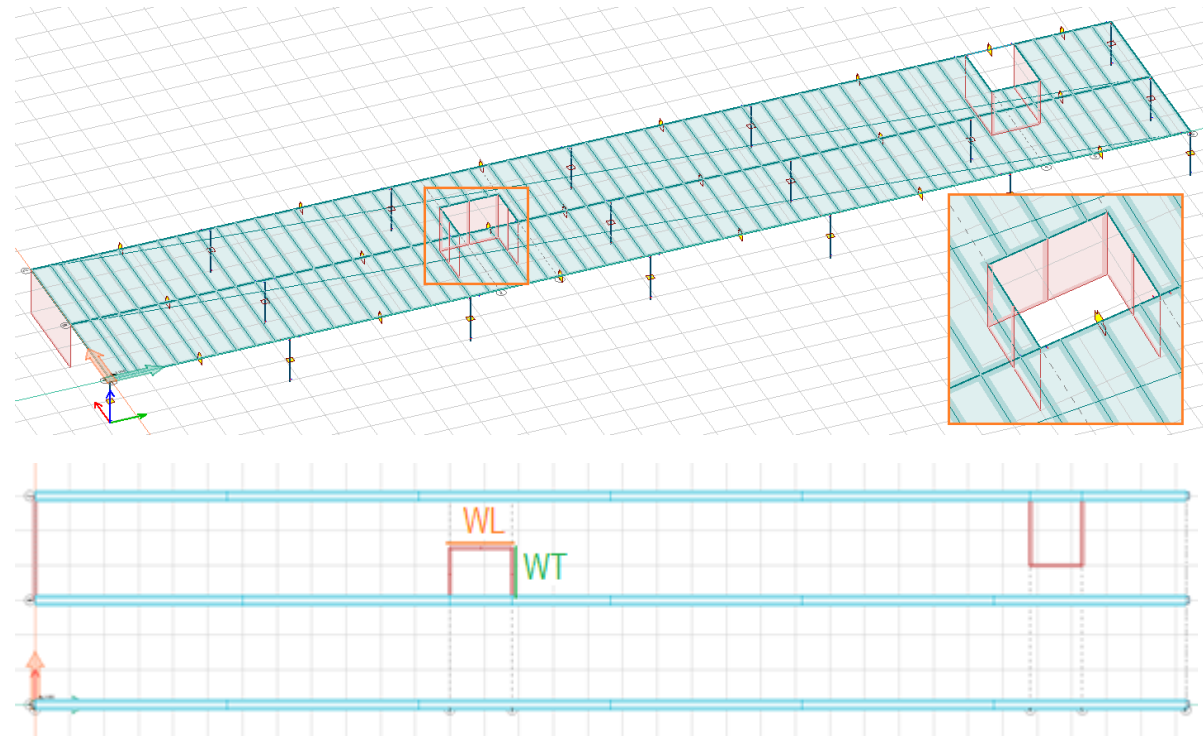
- a. Brīvā mala
- b. 0.50% no “stingras vērtībās”
- c. 5.00% no “stingras vērtībās”
- d. “stingra” vērtībā

“rigid” values for the wall panel vertical connection



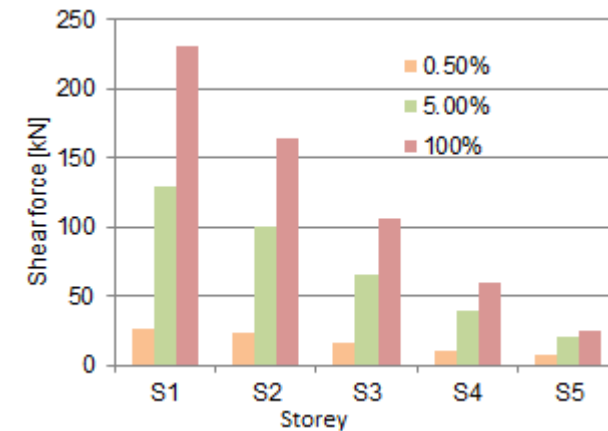
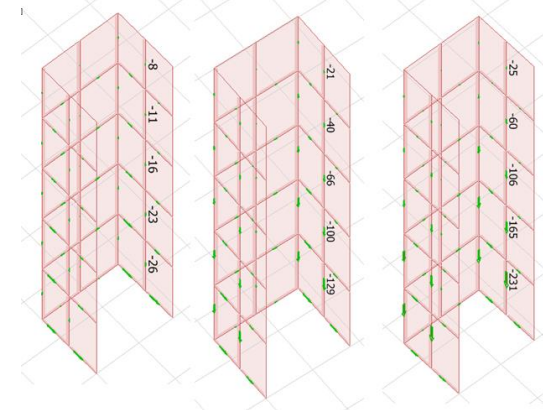
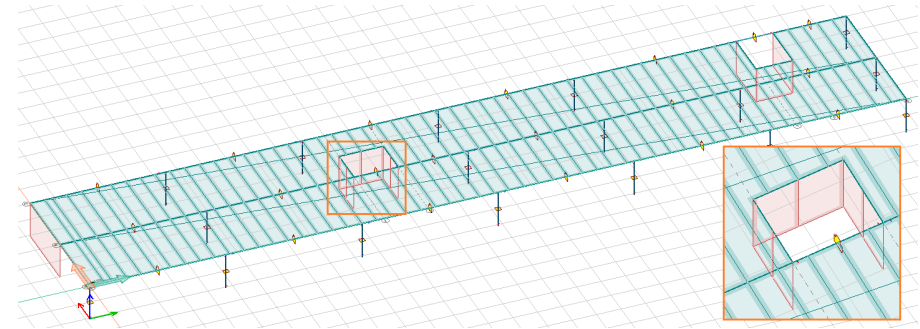
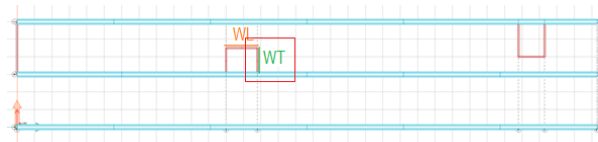
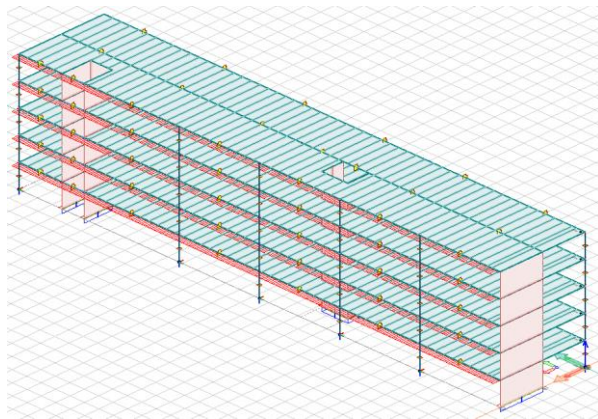
- Strukturālā izvade:

- Bīde vertikālajos savienojumos (V_v)
- Bīde horizontālajos savienojumos (V_h)
- Aksiālais spēks horizontālajos savienojumos (N_h)



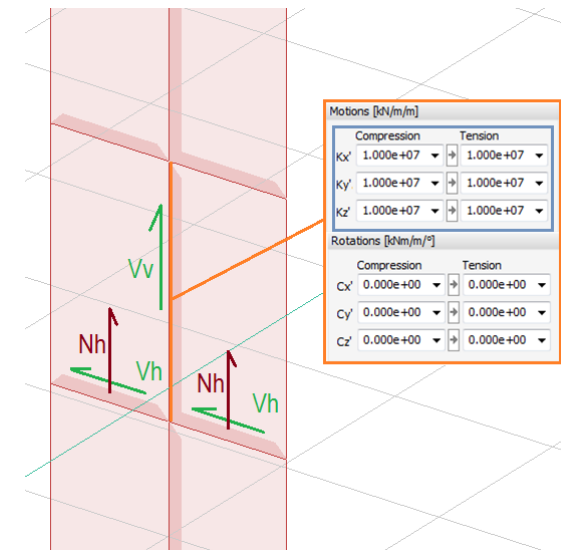
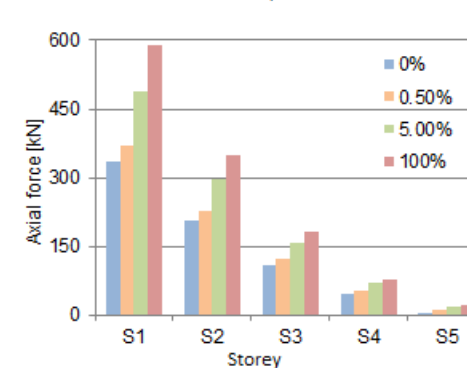
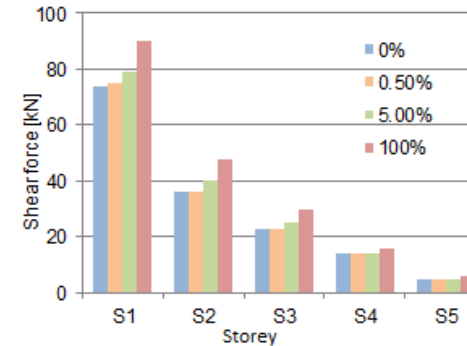
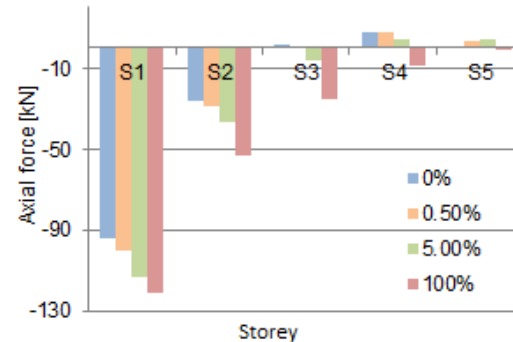
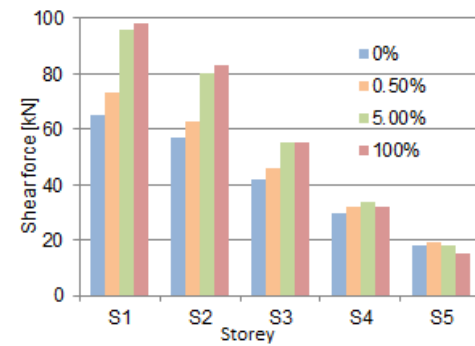
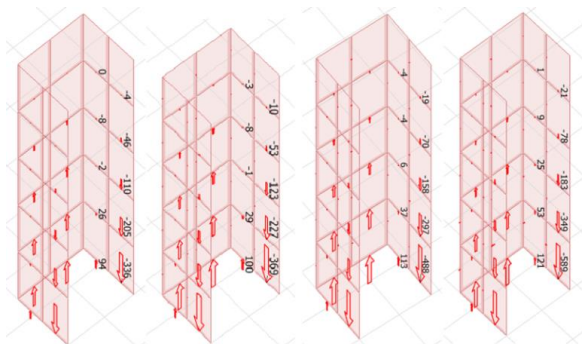
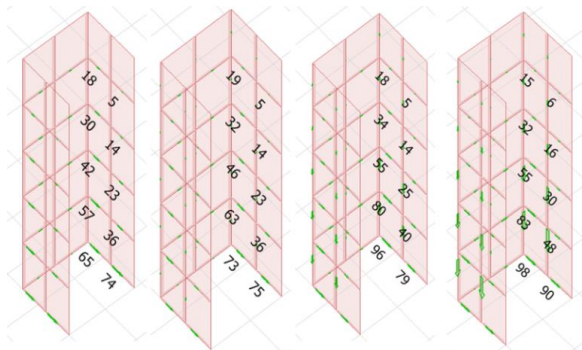
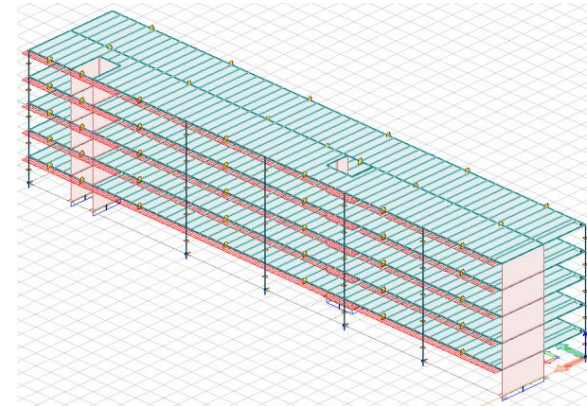
GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās sienas – 3.piemērs
- Strukturālā izvade:
 - WY slodzes korpuss
 - WT sienas
 - Bīde vertikālajos savienojumos(Vv)



GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās sienas – 3.piemērs
- Strukturālā izvade:
 - WY slodzes korpus
 - WT sienas
 - Bīde horizontālajos savienojumos(Vh)
 - Aksiālais spēks horizontālajos savienojumos(Nh)

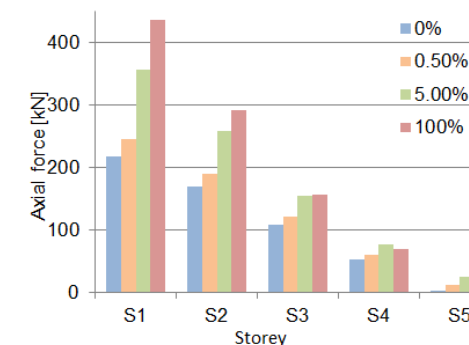
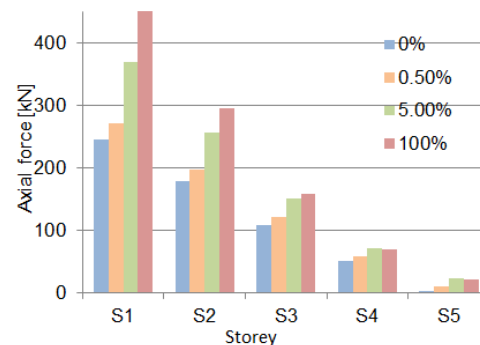
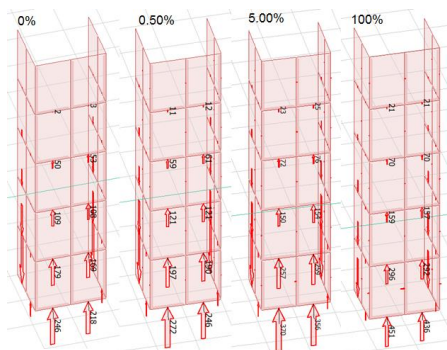
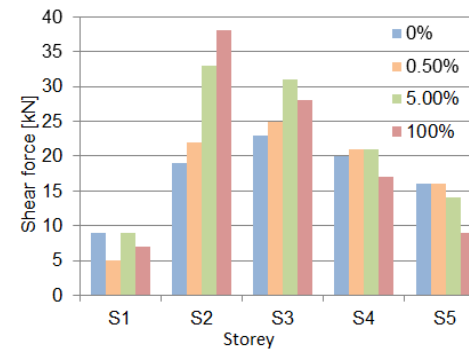
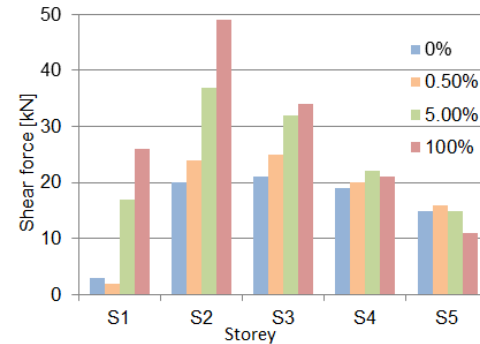
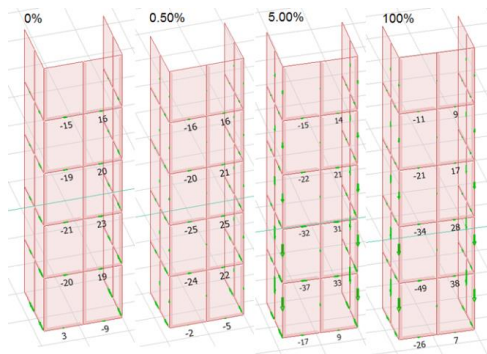
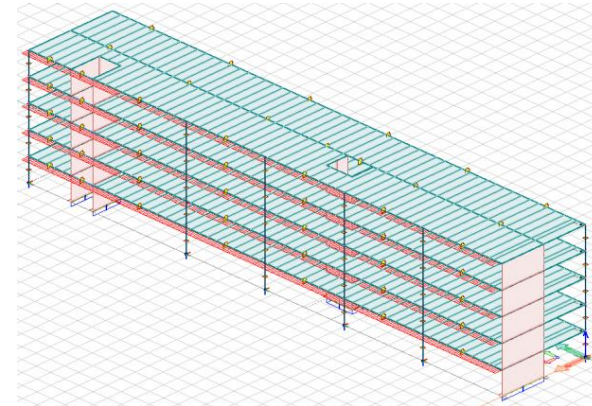


GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās sienas – 3.piemērs

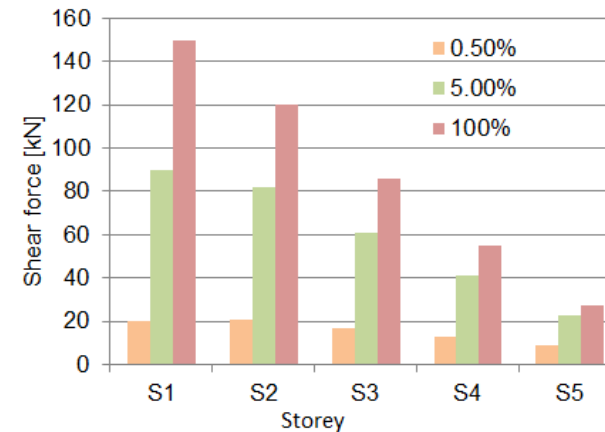
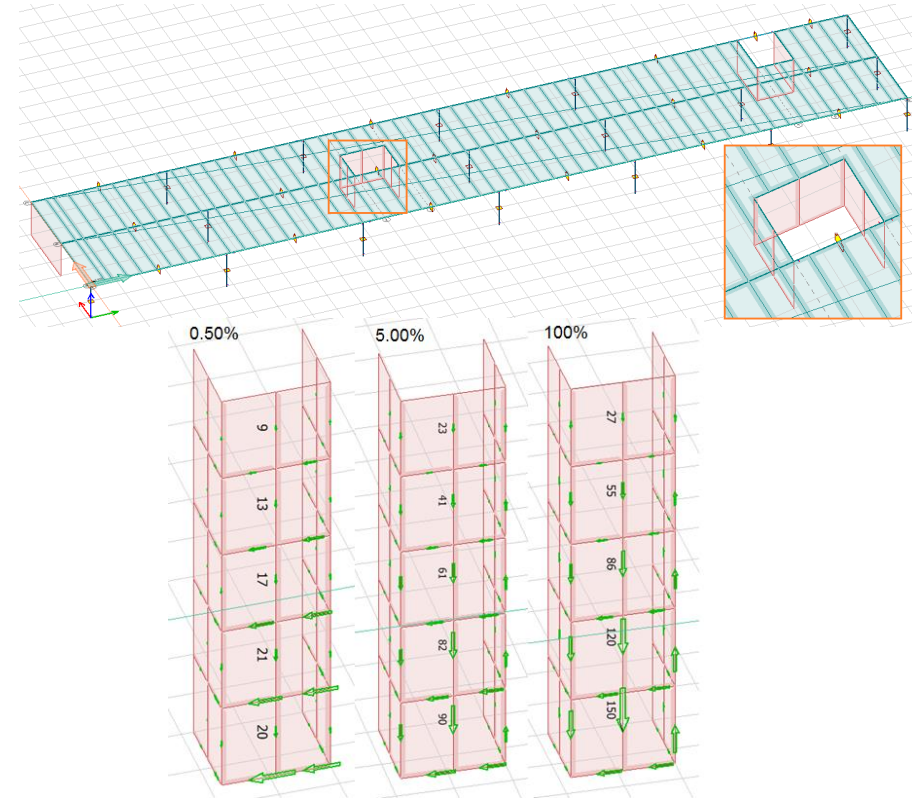
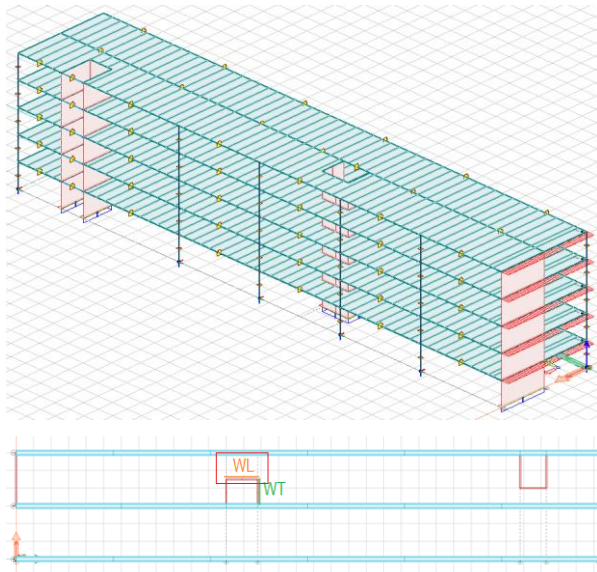
- Strukturālā izvade:

- WY slodzes korpuss
- WT sienas
- Bīde horizontālajos savienojumos(Vh)
- Aksiālais spēks horizontālajos savienojumos(Nh)



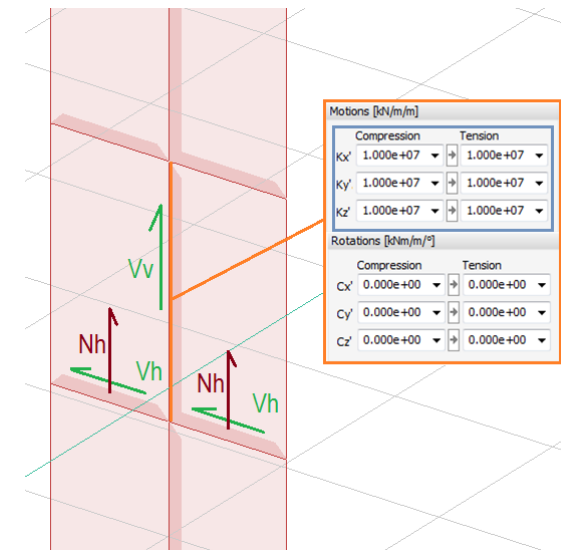
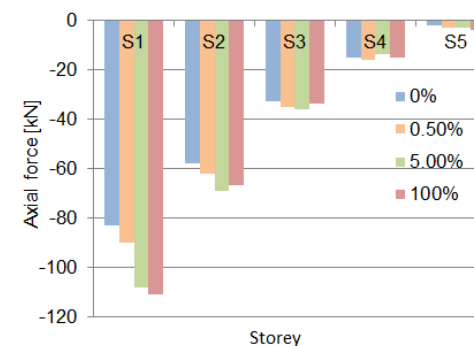
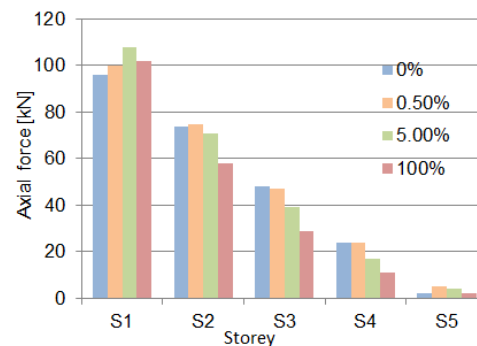
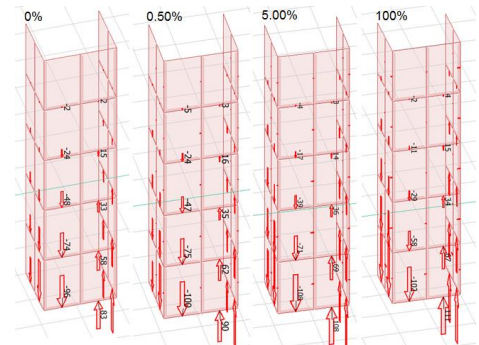
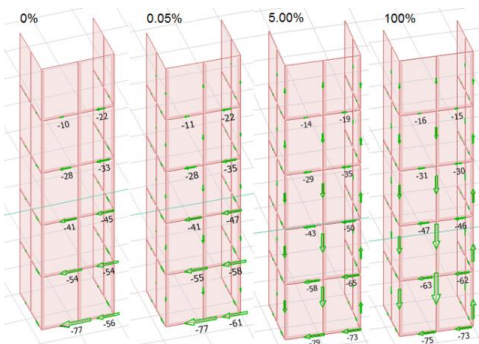
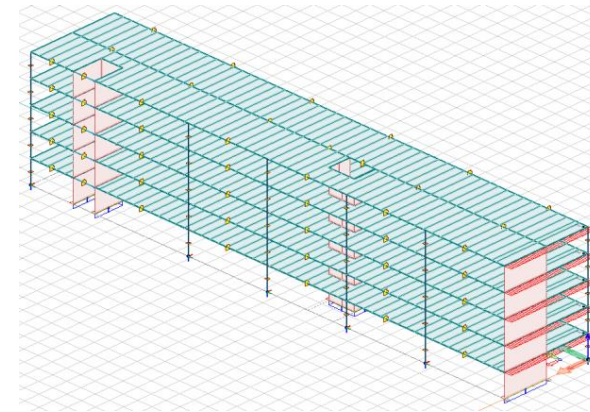
GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās sienas – 3.piemērs
- Strukturālā izvade:
 - WY slodzes korpuss
 - WT sienas
 - Bīde vertikālajos savienojumos(Vv)



GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās sienas – 3.piemērs
- Strukturālā izvade:
 - WY slodzes korpuss
 - WT sienas
 - Bīde horizontālajos savienojumos(V_h)
 - Aksiālais spēks horizontālajos savienojumos(N_h)

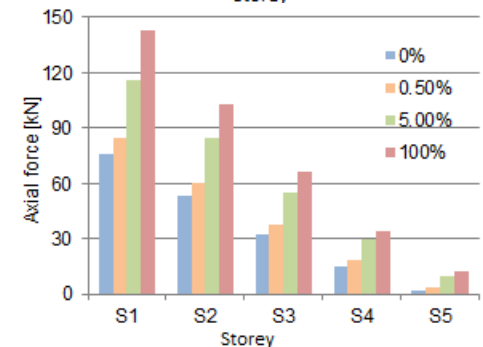
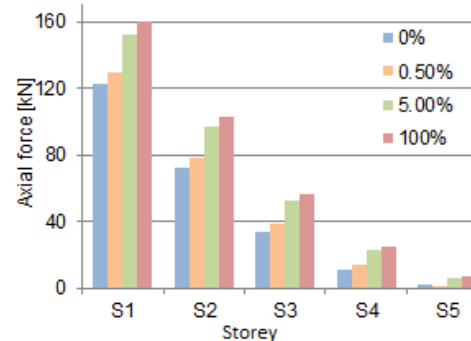
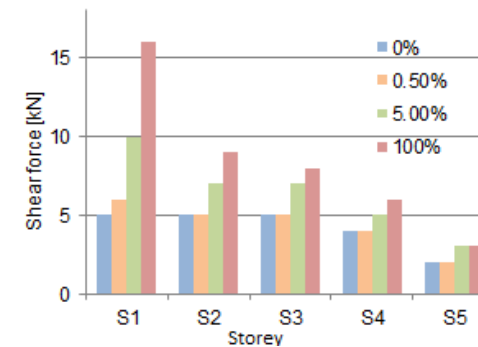
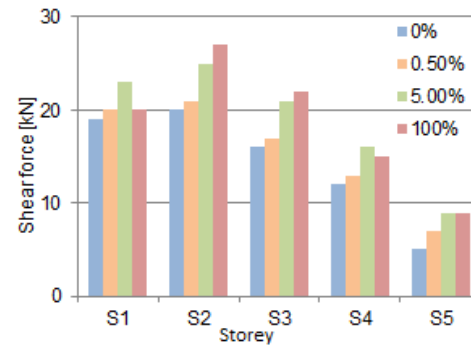
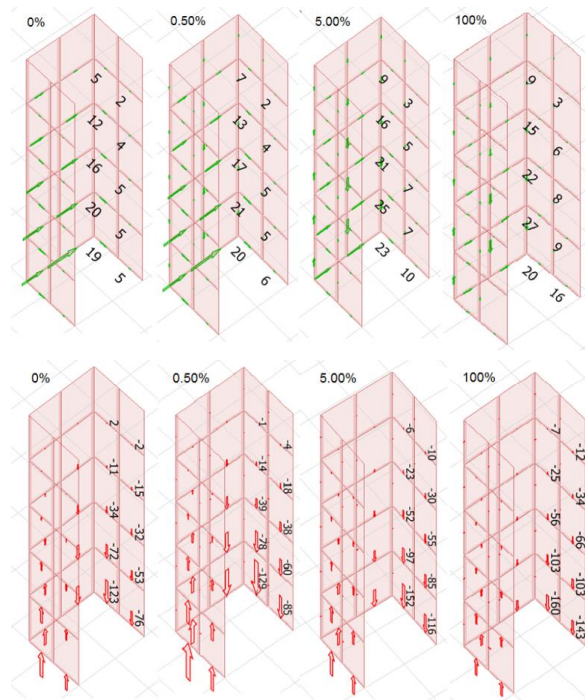
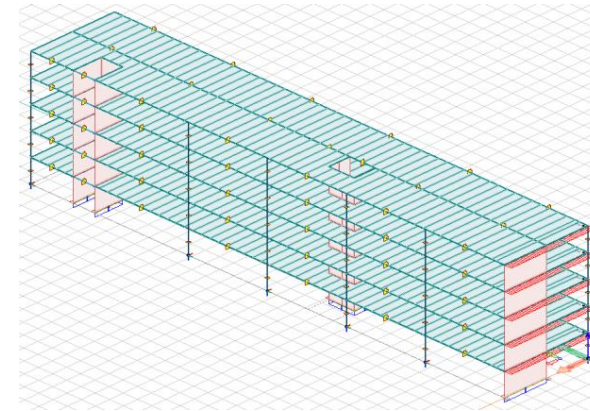


GEM modelēšana un analīze

- Saliekamās sienas – 3.piemērs

- Strukturālā izvade:

- WY slodzes korpuss
- WT sienas
- Bīde horizontālajos savienojumos(Vh)
- Aksiālais spēks horizontālajos savienojumos(Nh)



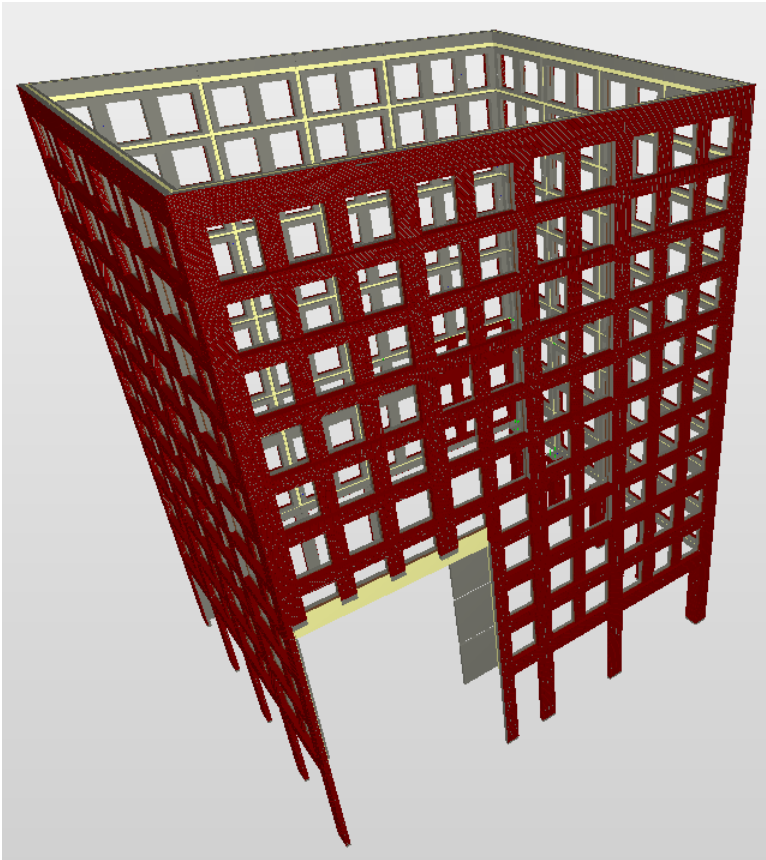
GEM modelēšana un analīze

- Sienu paneļu savienojuma stingrības ietekme uz konstrukcijas reakciju
 - Horizontālie saliekamo sienu savienojumi:
 - Parasti uzskata par stingru, līdzvērtīgu monolītam
 - Vertikāli saliekamo sienu savienojumi:
 - Stingrība ir atkarīga no savienojuma veida:
 - Brīvās malas – blakus esošās sienas darbojas neatkarīgi
 - Puscieta, elastīga: piemēram, tērauda savienojumi (metinātas plāksnes) un bez šuvēm
 - Puscieta, cieta: piemēram, tērauda savienojumi (metinātas plātnes) un šuves ar ievilkām malām
 - Stingrs, ekvivalents – monolīts
 - Stingruma svārstībām kā galvenās sekas ir savienojuma bīdes pieprasījuma izmaiņas
 - Palielināta stingrība samazina pieprasījumu pēc horizontālā savienojuma un otrādi

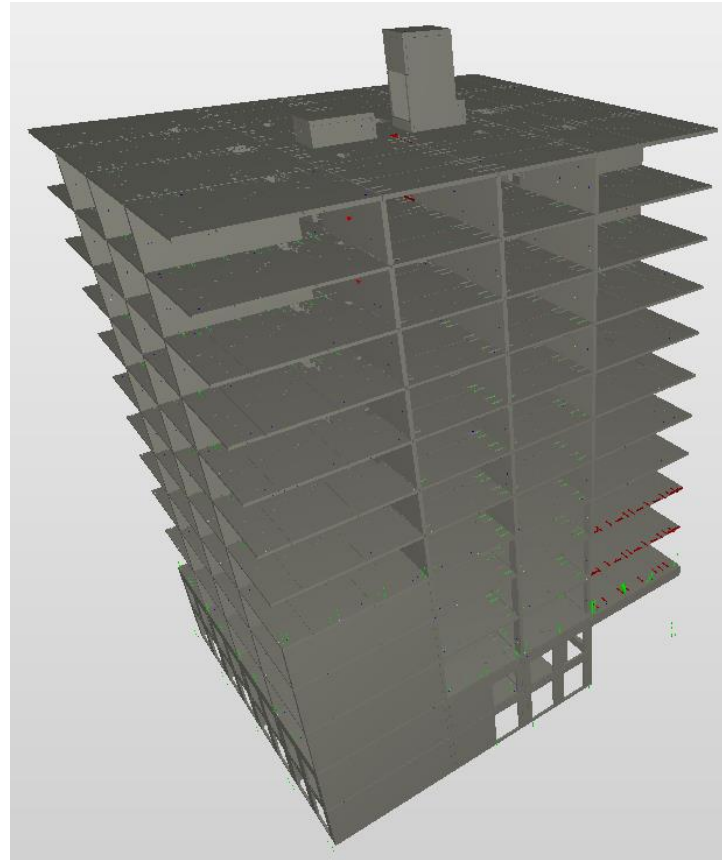
GEM modelēšana un analīze

Projekts: Spot X izstrādājis Inženierstudija DCK:

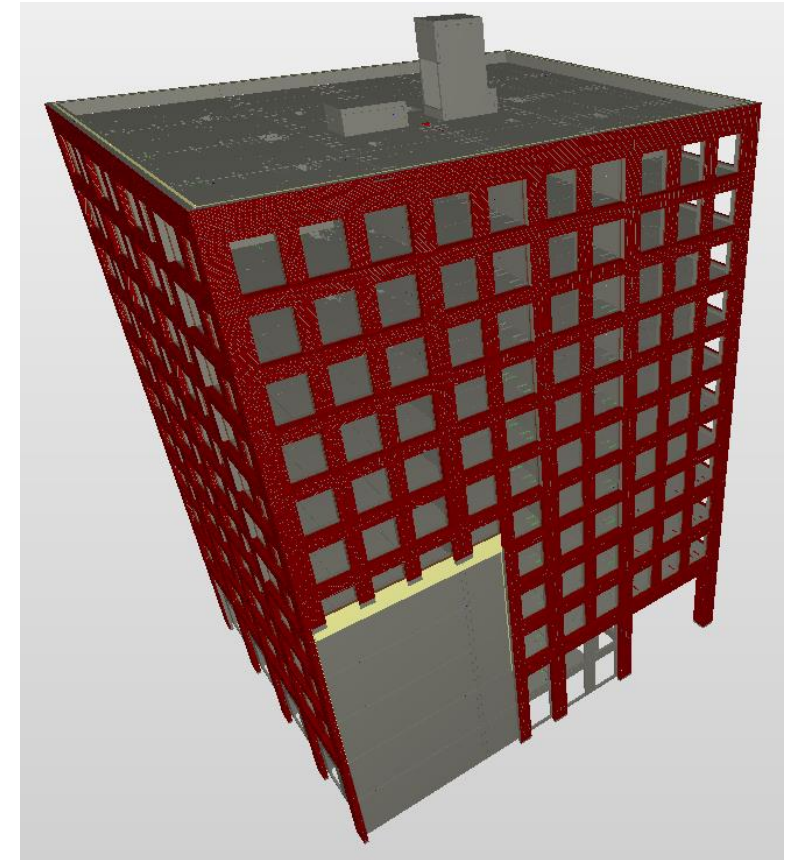
- Sendviča tipa fasāde un pašnesošas, iepriekš nospriegotas plātnes



Façade model



Slabs and inner walls

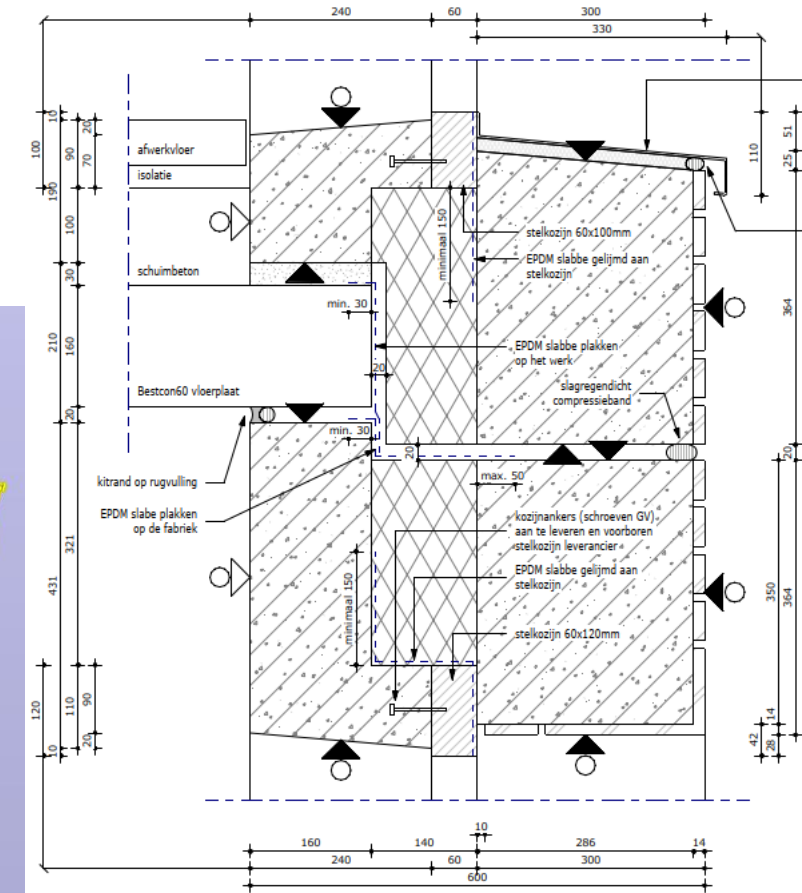
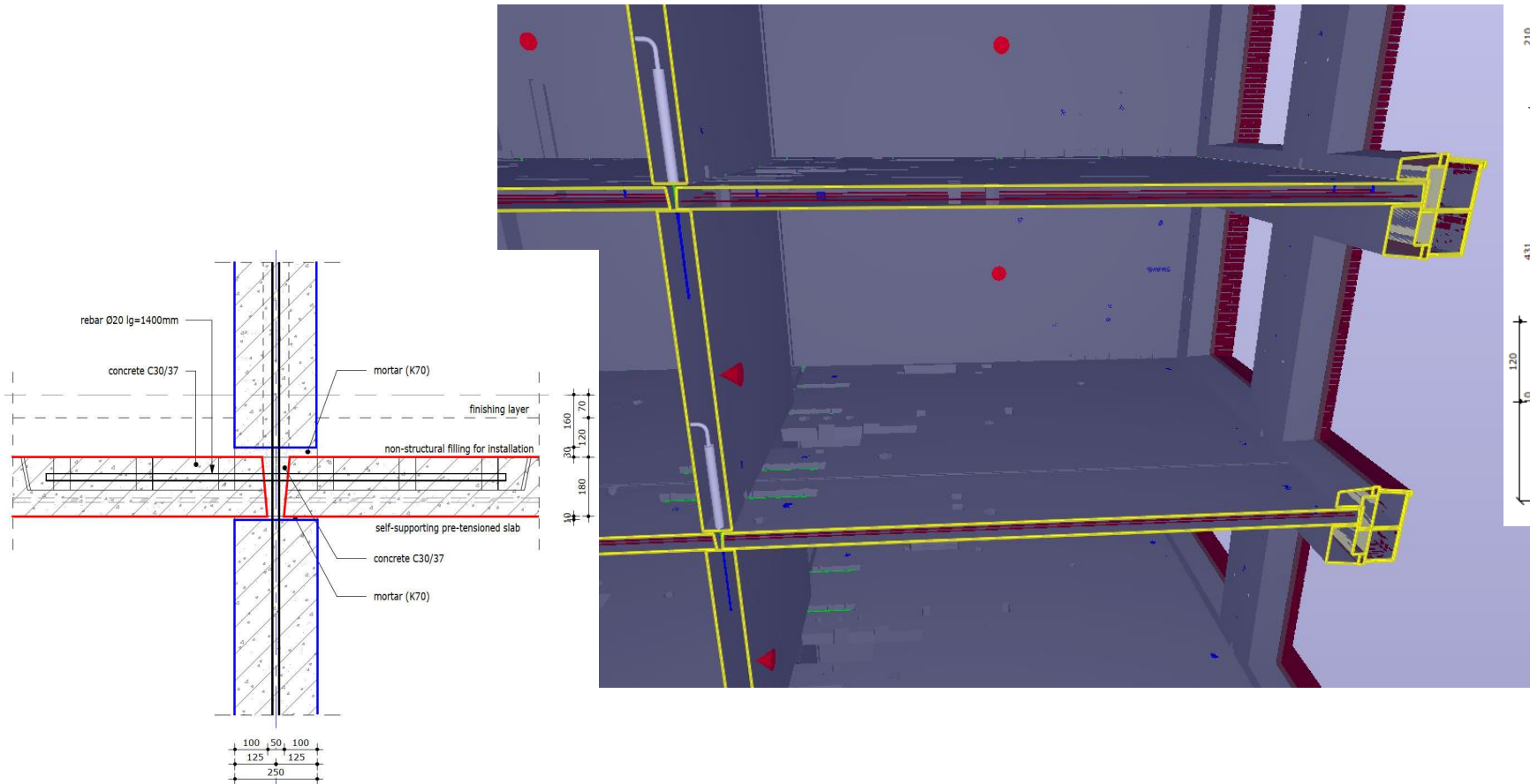


Combined model

FEM modeling and analysis

Projekts: Spot X izstrādājis Inženierstudija DCK :

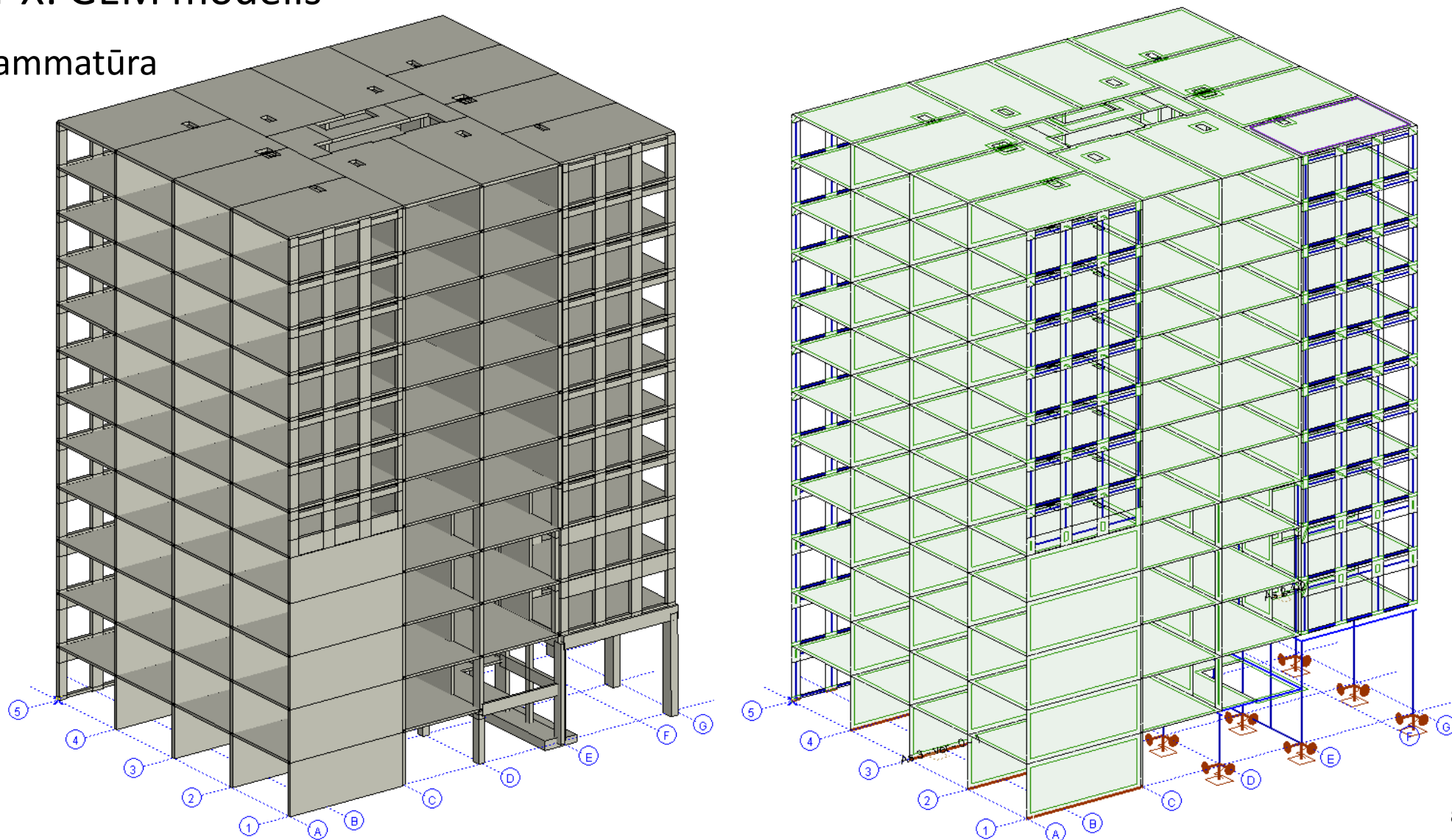
- Sendviča tipa fasāde un pašnesošas, iepriekš nospriegotas plātnes



GEM modelēšana un analīze

Projekts: SPOT X: GEM modelis

- AxisVM programmatūra

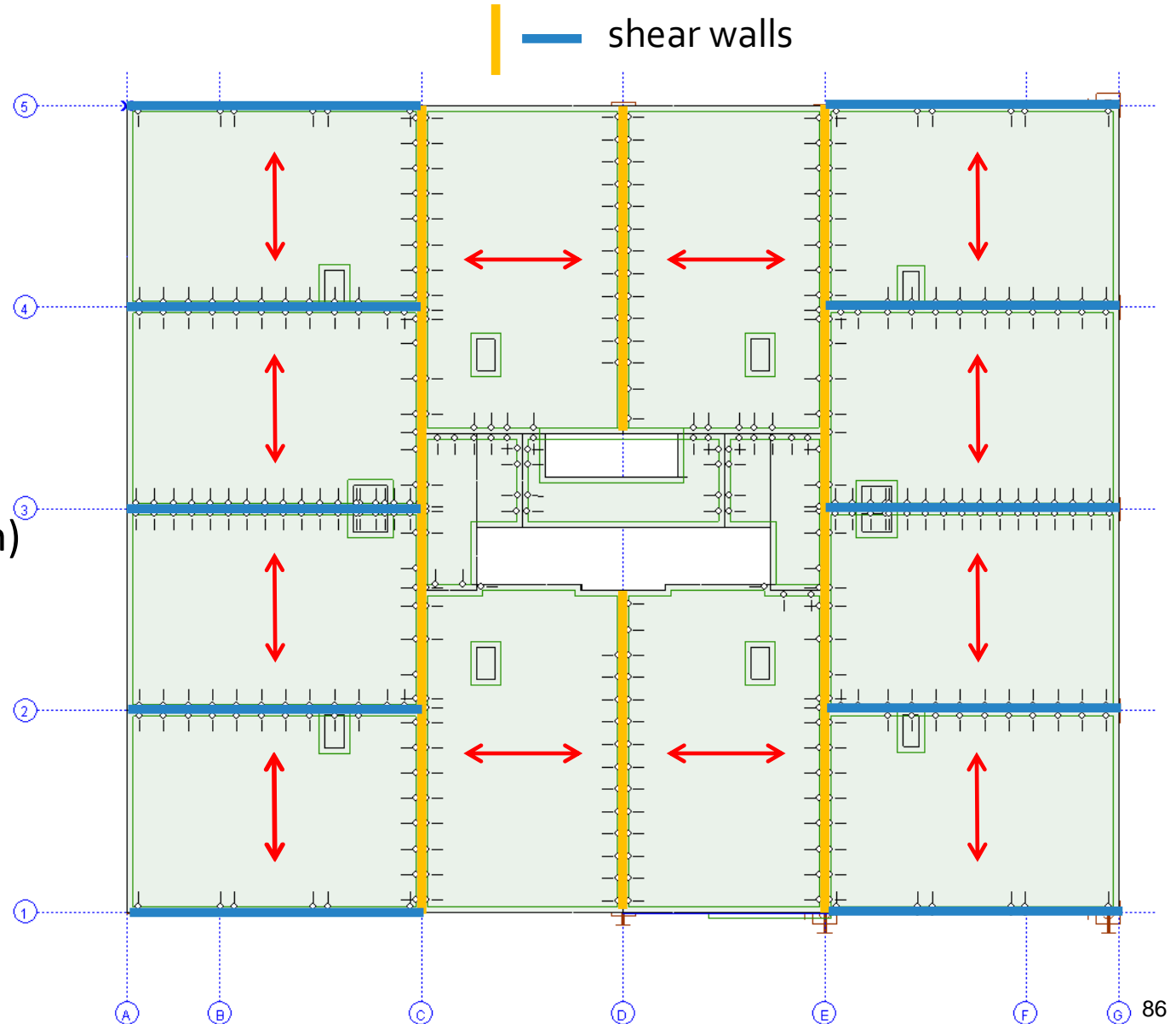
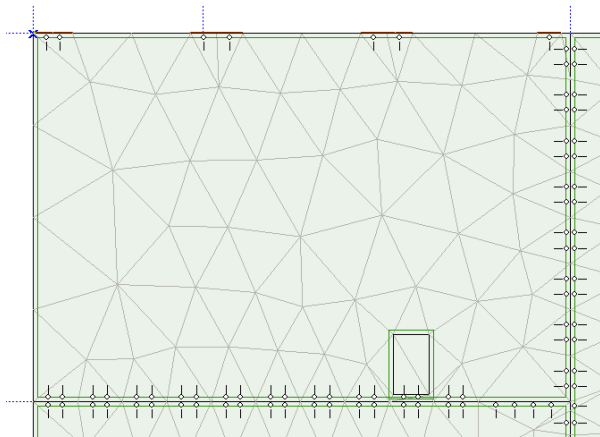


GEM modelēšana un analīze

Projekts: Spot X: GEM modelis

Plātņu modelēšana:

- Korpusa elementi, biezums= 220 mm
- Stingrība: $E_x = E_y = 12.730 \text{ N/mm}^2$
 - Ieskaitot stinguma samazināšanu →
 - $k_{vērpes} = 0,1$ / $k_{bīde} = 0,1$ / $k_{liece} = 0,1$
- Trīsstūrveida virsmas elementu tīkls (1,5 m)



GEM modelēšana un analīze

Projekts: Spot X: GEM modelis

- Plātņu – sienu savienojumi ar saskarnes elementiem

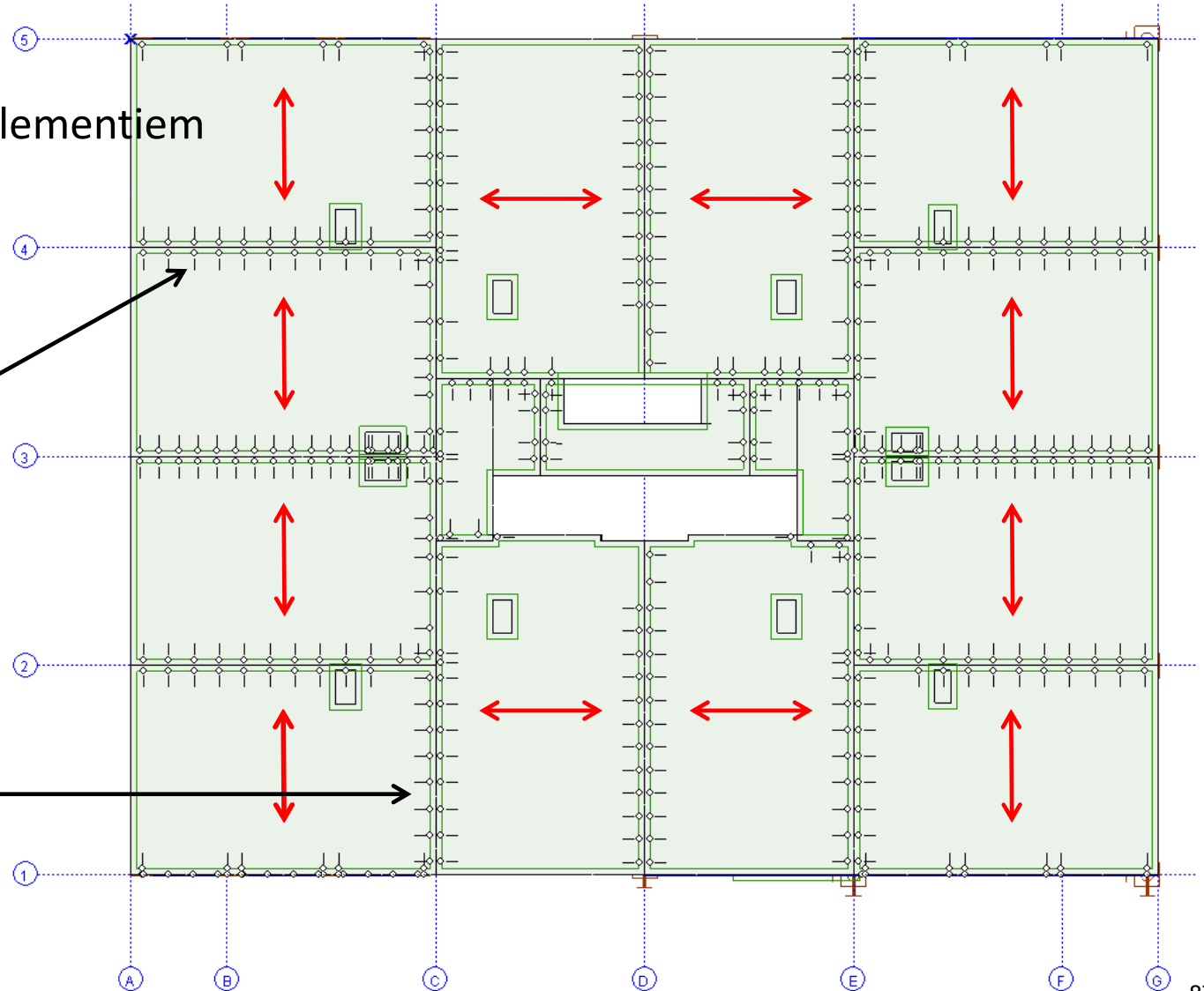

Veer

VEEREIGENSCHAPPEN

	VEEREIGENSCHAPPEN	INITIĒLE STUFHEID	TRILLINGSSTUFHEID
<input checked="" type="checkbox"/> x:	Vast randscharnier	K_x [kN/m/m] = 1E+8	K_{xV} [kN/m/m] = 1E+8
<input checked="" type="checkbox"/> y:	Vast randscharnier	K_y [kN/m/m] = 1E+8	K_{yV} [kN/m/m] = 1E+8
<input checked="" type="checkbox"/> z:	Vast randscharnier	K_z [kN/m/m] = 1E+8	K_{zV} [kN/m/m] = 1E+8
<input checked="" type="checkbox"/> xx:	—	K_{xx} [kNm/rad/m] = 0	K_{xxV} [kNm/rad/m] = 0
<input checked="" type="checkbox"/> yy:	—	K_{yy} [kNm/rad/m] = 0	K_{yyV} [kNm/rad/m] = 0
<input checked="" type="checkbox"/> zz:	—	K_{zz} [kNm/rad/m] = 0	K_{zzV} [kNm/rad/m] = 0

VEEREIGENSCHAPPEN

	VEEREIGENSCHAPPEN	INITIĒLE STUFHEID	TRILLINGSSTUFHEID
<input checked="" type="checkbox"/> x:	Vast randscharnier	K_x [kN/m/m] = 1E+8	K_{xV} [kN/m/m] = 1E+8
<input checked="" type="checkbox"/> y:	Vast randscharnier	K_y [kN/m/m] = 1E+8	K_{yV} [kN/m/m] = 1E+8
<input checked="" type="checkbox"/> z:	Verend randscharni	K_z [kN/m/m] = 1E+0	K_{zV} [kN/m/m] = 1E+0
<input checked="" type="checkbox"/> xx:	—	K_{xx} [kNm/rad/m] = 0	K_{xxV} [kNm/rad/m] = 0
<input checked="" type="checkbox"/> yy:	—	K_{yy} [kNm/rad/m] = 0	K_{yyV} [kNm/rad/m] = 0
<input checked="" type="checkbox"/> zz:	—	K_{zz} [kNm/rad/m] = 0	K_{zzV} [kNm/rad/m] = 0

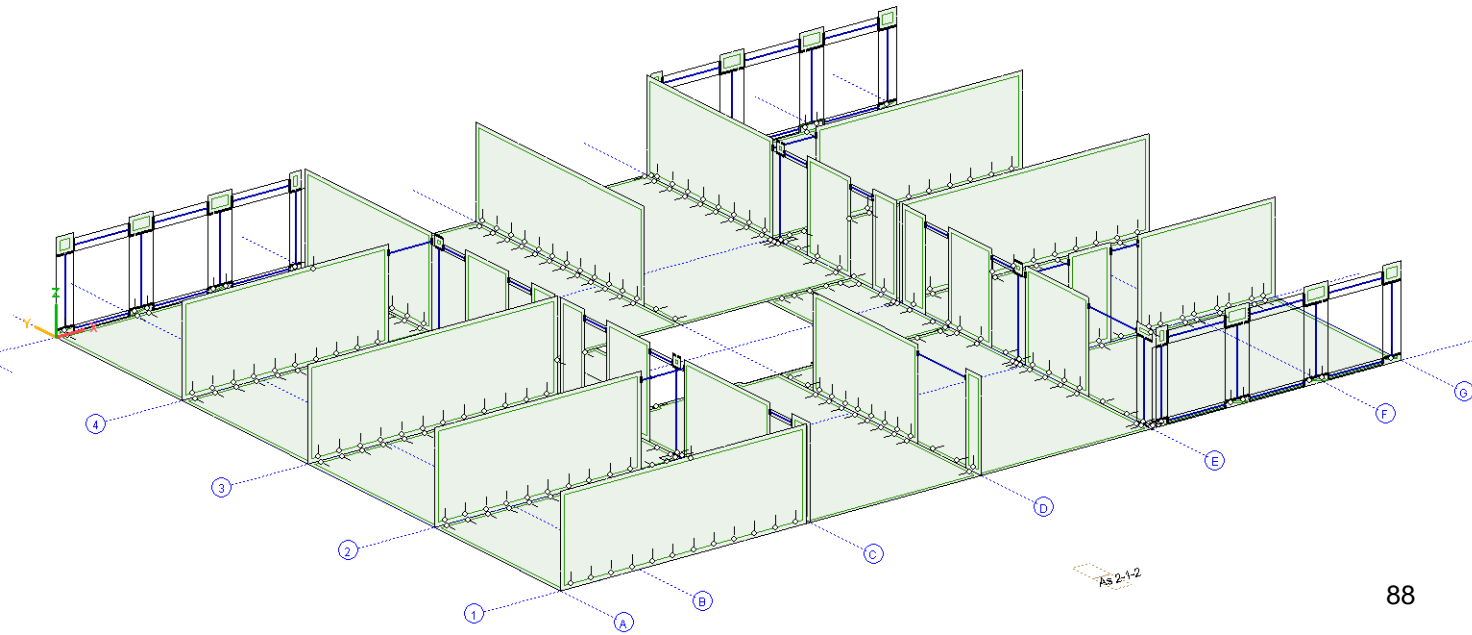
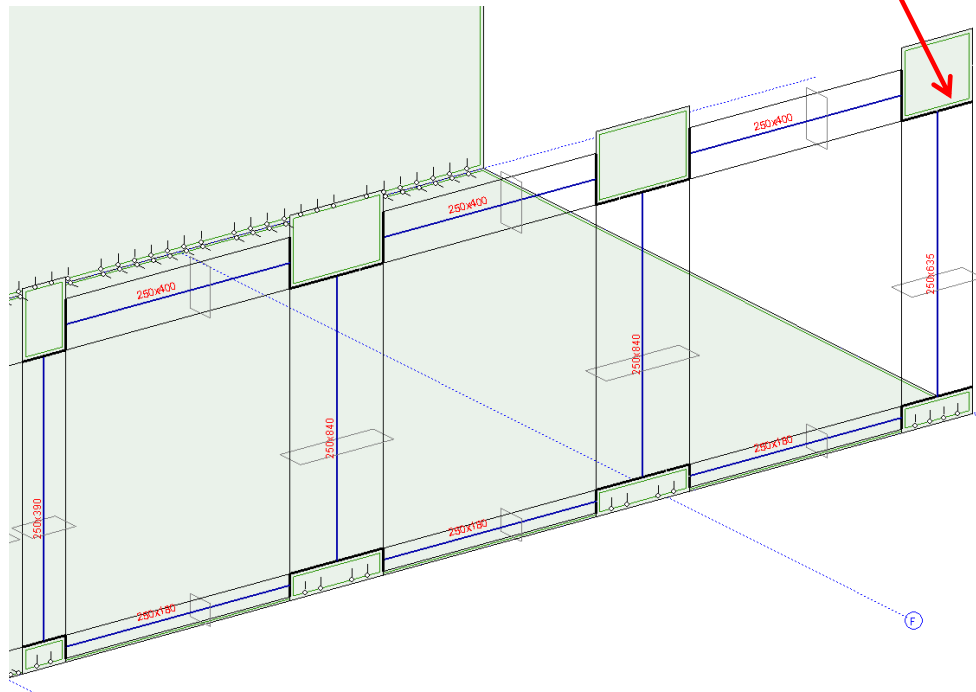
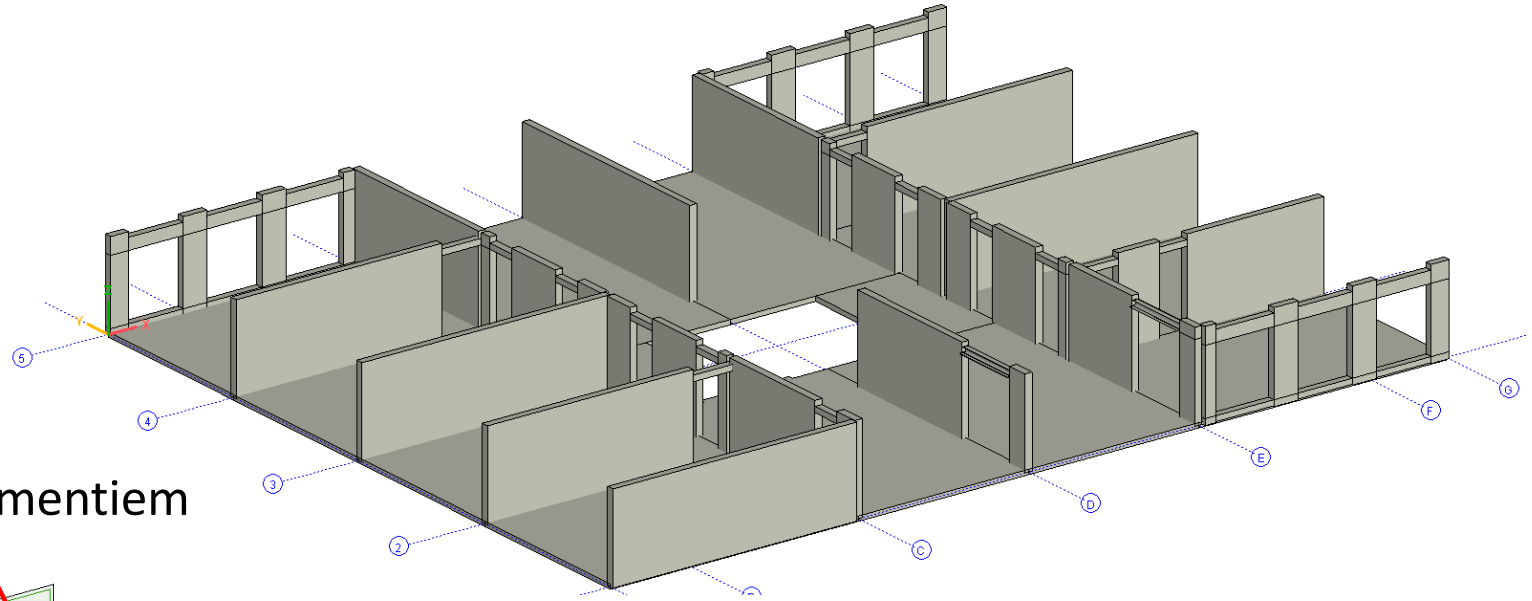


GEM modelēšana un analīze

Projekts: Spot X: GEM modelis

Ierāmēts dasādes elements:

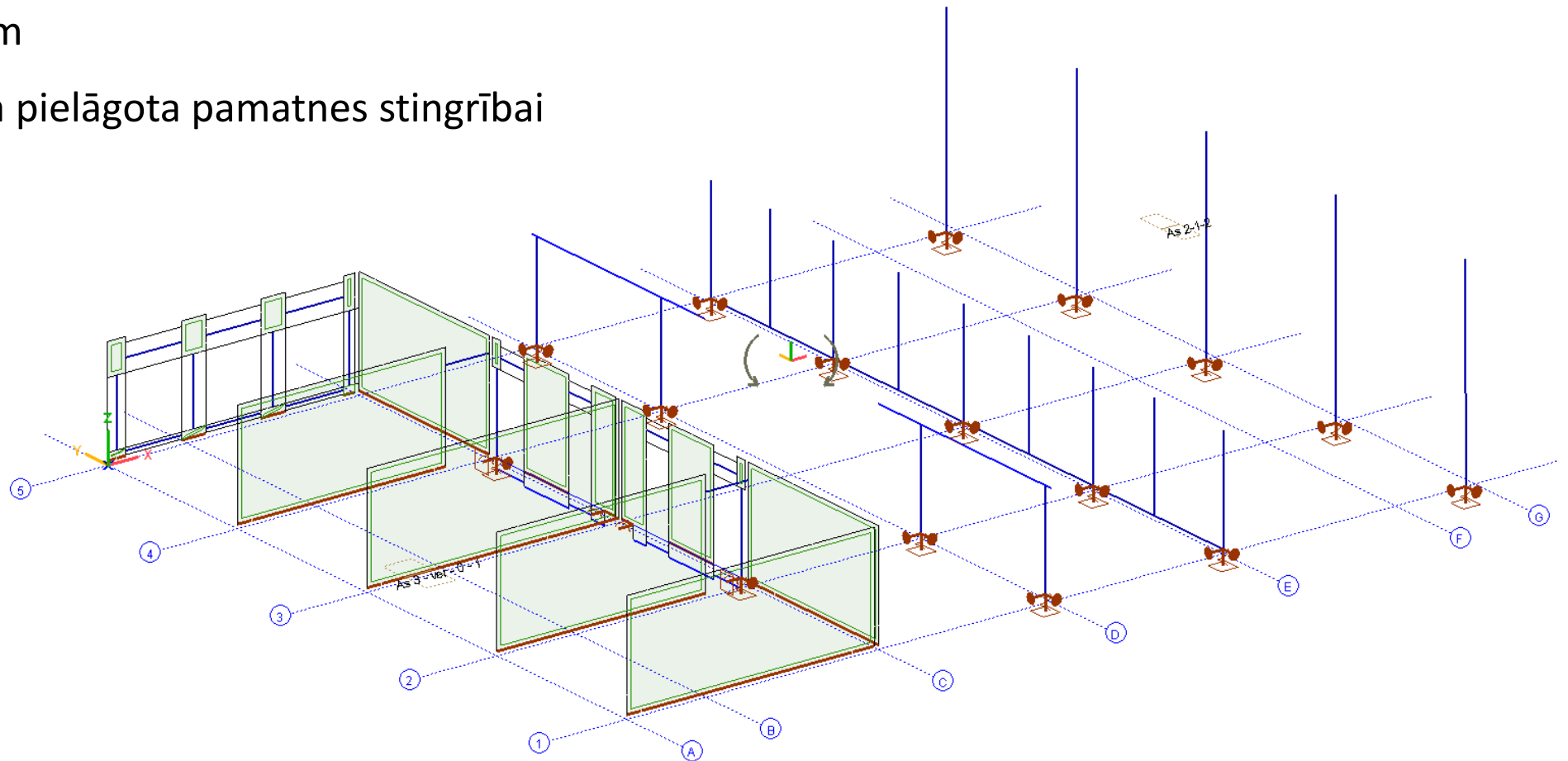
- Pārsedzes un kolonnas
- Sastāva korpusa + siju elementi
- Savstarpēji savienoti ar stingriem elementiem



GEM modelēšana un analīze

Projekts: Spot X: GEM modelis

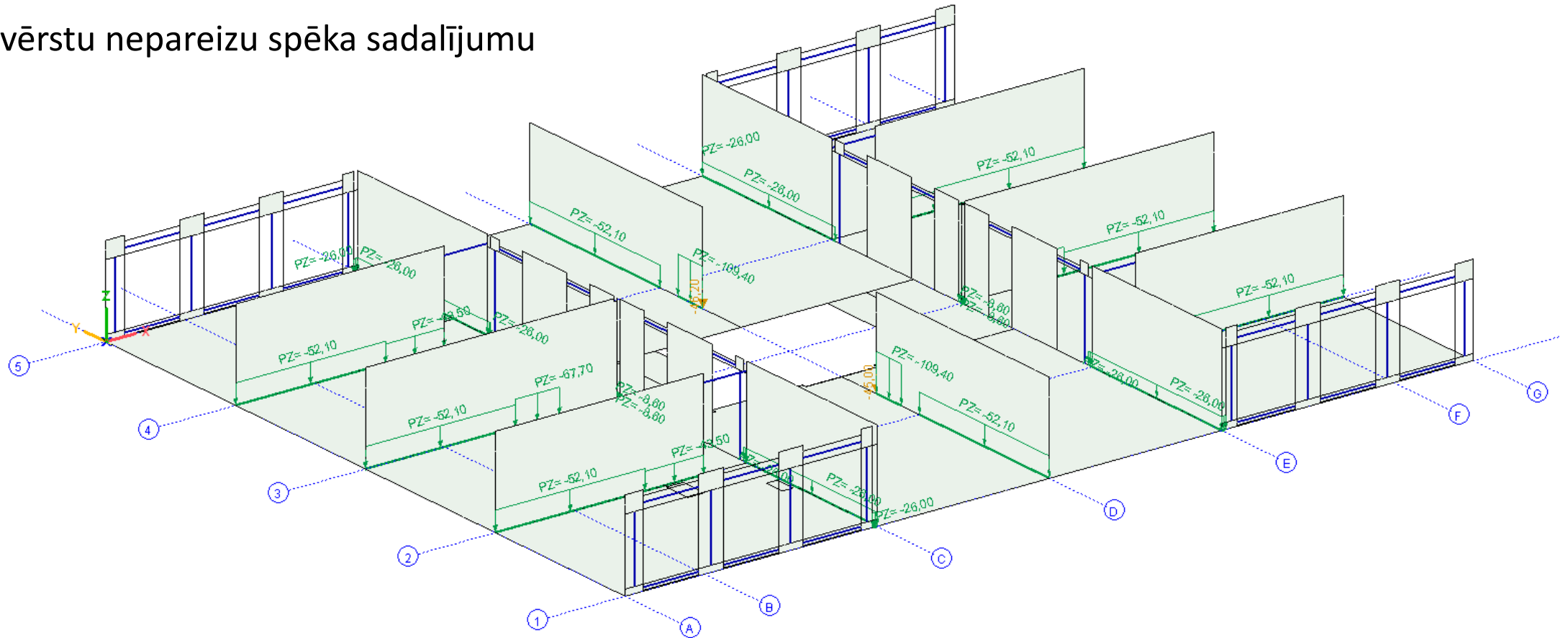
- Punktu balsti kolonnām
- Līniju balsti sienām
- Vertikālā stingrība pielāgota pamatnes stingrībai
- Horizontāli fiksēts



GEM modelēšana un analīze

Projekts: Spot X: GEM modelis

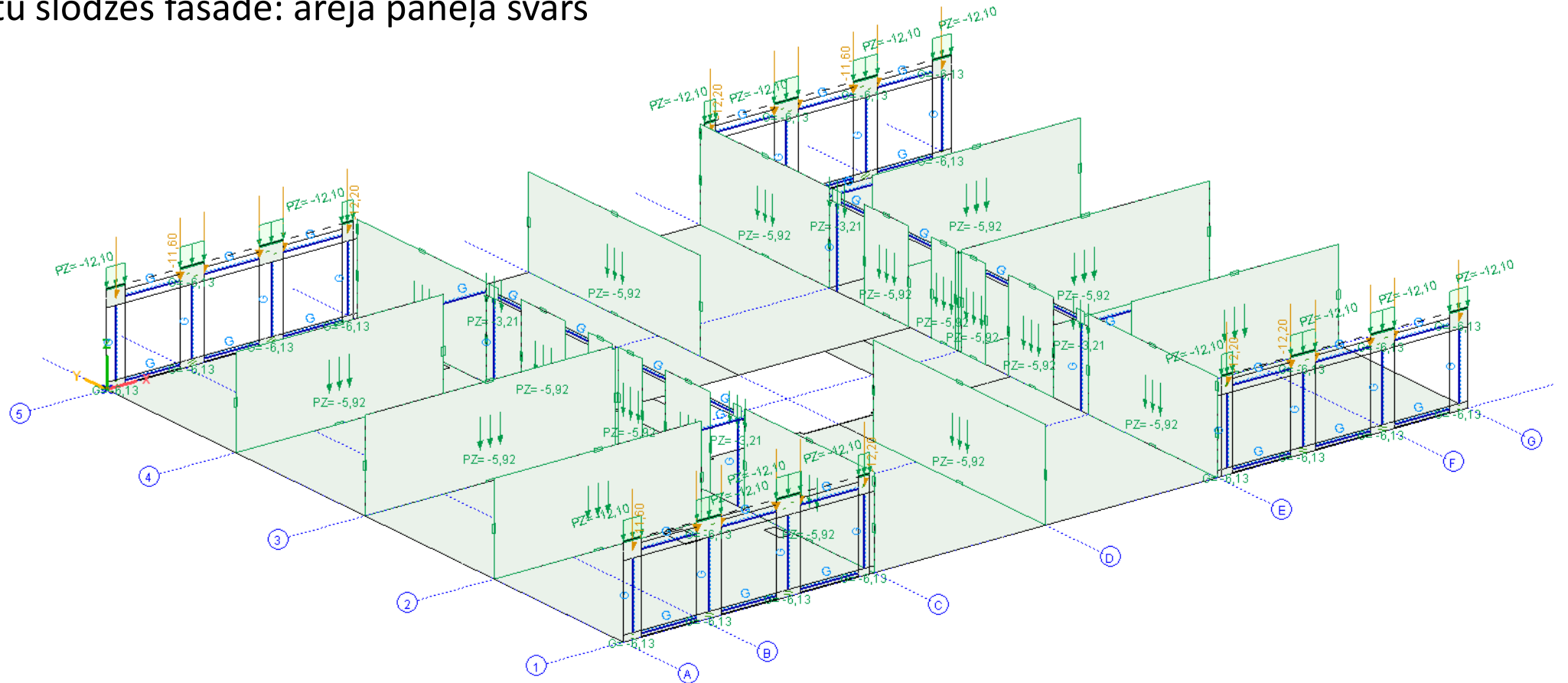
- Vertikālās plātnes noslogo tieši uz sienām
- Lai novērstu nepareizu spēka sadalījumu



GEM modelēšana un analīze

Projekts: Spot X: GEM modelis

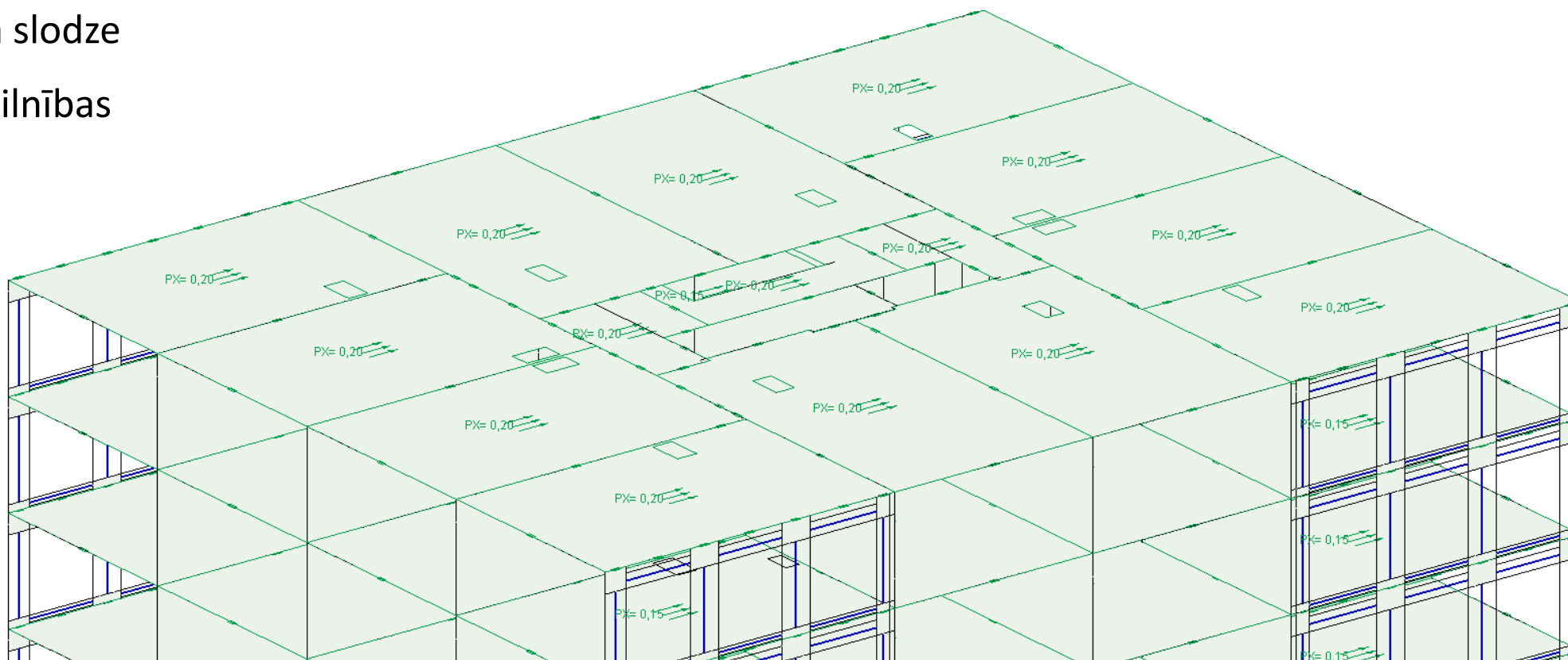
- Nekustīgās slodzes Sienas (vertikālā virsmas slodze)
- Līniju/punktu slodzes fasāde: ārējā paneļa svars



GEM modelēšana un analīze

Projekts: Spot X: GEM modelis

- Sānu plaknes virsmas slodzes
 - Vēja slodze
 - Nepilnības



- Ievads
- Saliekamo dzelzsbetona būvkonstrukciju projektēšana un aprēķini:
 - Elementu izkārtojuma dizaina specifika
 - Prasības pašreizējos un nākamās paaudzes Eirokodeksos
 - GEM modelēšana un analīze konstrukcijām, kas sastāv no HCS un bīdes sienām
- **Jautājumu un atbilžu sesija**

Pārtraukums / 11:40 – 12:00



Bīdes sienu darbības novērtēšana

- **Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana:**
 - Pārskats par sienas paneļu savienojumiem
 - Elementu izklājumi un savienojumi
 - Savienojumu stingrumi priekš GEM
- **Bīdes sienu darbības novērtēšana:**
 - Savienojuma stingumi
 - Bīdes sienas kopējā darbība
 - Vienkāršoti kontroles aprēķini
 - Nestspējas pārbaude
- **Jautājumu un atbilžu sesija**

Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana:
 - GEM bīdes sienu modelēšana
 - Saliekamā dzelzsbetona paneļu savienojumi eksperimentāls pētījums

Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

- GEM programmatūras

midas **GenG**

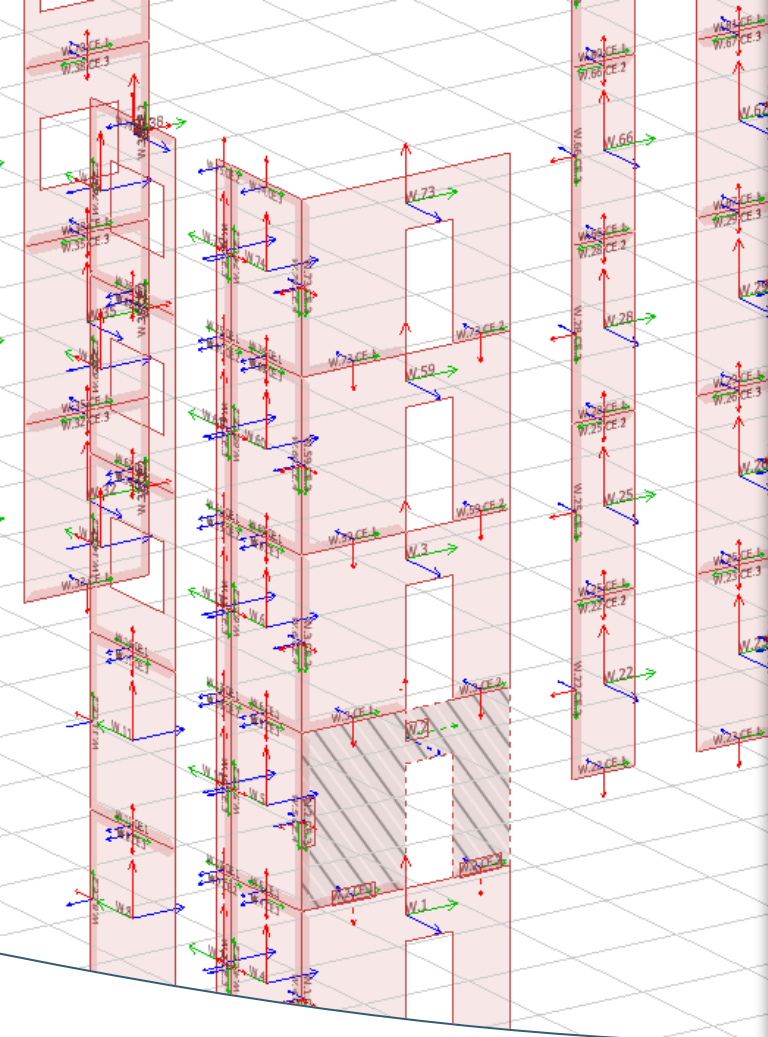
ETABS[®]



R **AUTODESK**
Robot Structural Analysis
Professional

AXISVM

SAP2000



Global Walls Coupling Beams

CONSOLIS

Reinforcement properties

Characteristic yield strength - f_{yk} [MPa]	500
Partial factor - γ_s	1.15
Design value of modulus of elasticity [GPa]	200

Wall elements design: global parameters

Open FEM-Design output

Open Input Excel

Run Analysis

Open Output Excel

Design results available

Proposed base reinforcement mesh

Area of reinforcement mesh [mm ² /m ² /wall side]	131
---	-----

Ties

Distance from tie position to closest edge [m]	0.33
Percentage of f_{cd} accounted in design [%]	100

Friction coefficient in the horizontal connections

	0.5
--	-----

Vertical Connection Design

Modify wall elements global parameters

Modify

Coupling beams design: global parameters

Open FEM-Design output

Open Input Excel

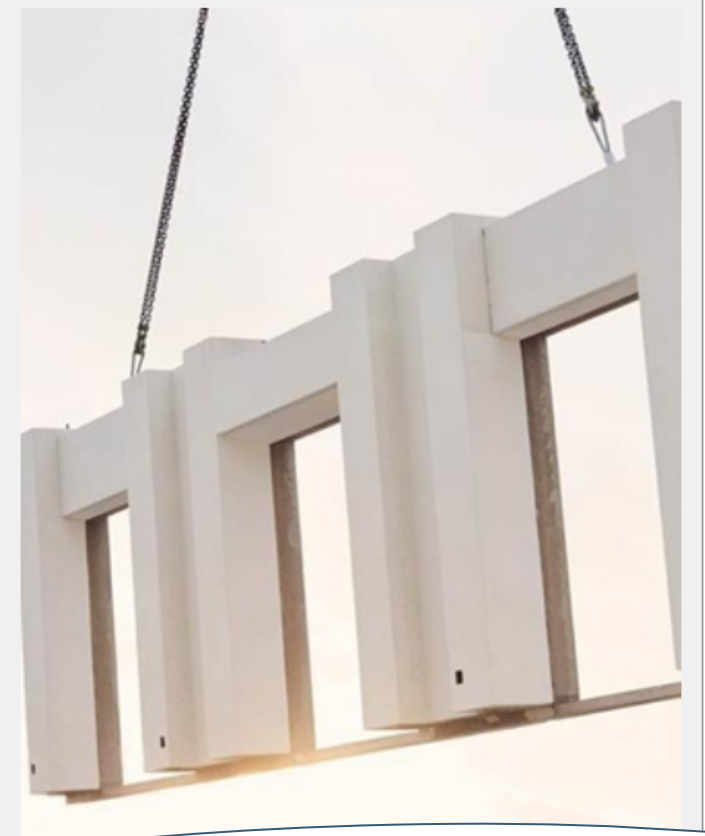
Run Analysis

Open Output Excel

Proposed Reinforcement Layout

Horizontal-top: rebar d [mm]/ no of rebars	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Horizontal-bottom: rebar d [mm]/ no of rebars	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Stirrups d [mm]/ spacing [mm]	<input type="text"/>	<input type="text"/>
* d = diameter		
Redistribution ratio	<input type="text"/>	

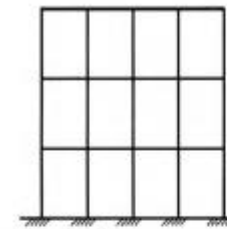
Concrete cover



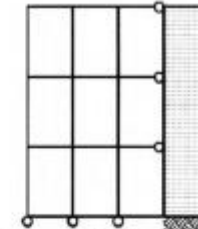
CEN-Brace
 Ir paredzēts, lai automatizētu dizainēšanas procesu

Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

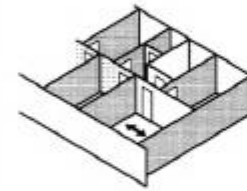
- Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienas



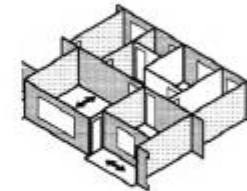
Skeletal Frame



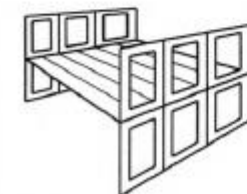
Braced Skeletal Frame



Cross Wall



Spine Wall



Facade



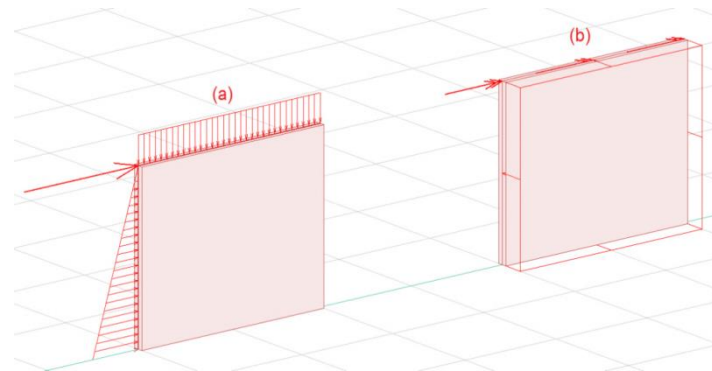
Cell

*Precast concrete building systems
(Structural Precast Concrete Handbook)*

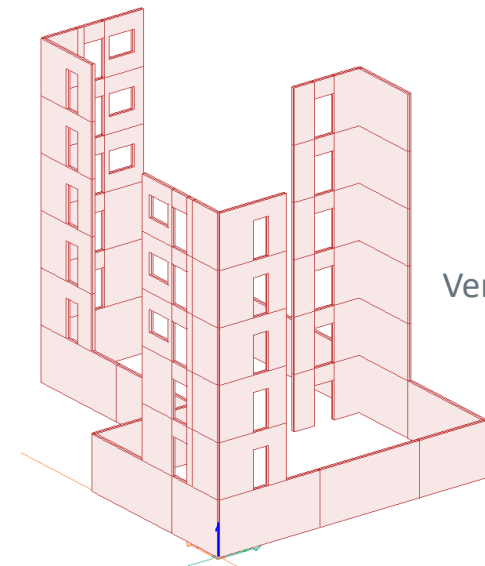
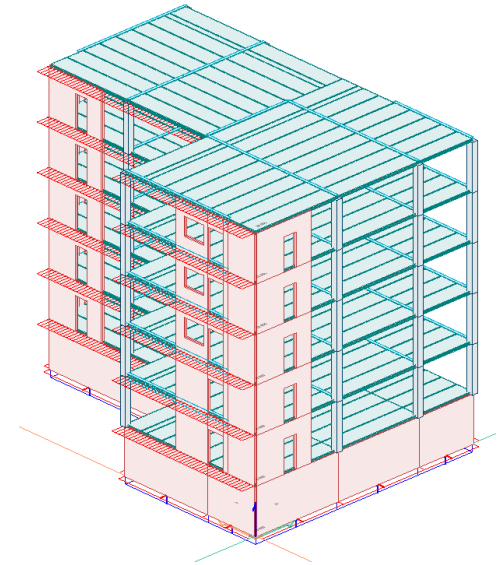
Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

- Bīdes sienas
 - Mērķis
 - iztur laterālās slodzes
 - Saliekamie sienas paneļi iztur laterālās slodzes un arī iekšējās slodzes
 - Kopā ar pārsegumiem → veido laterālās pretestības sistēmu
 - Lai iegūtu lokālo elementu projektēšanas slodzes, nepieciešama kopējās konstrukcijas struktūras reakcija
 - Dizainam jābūt saskanīgam
 - Globālajai analīzei jāatbilst elementa projektēšanas pieņēmumiem:
 - vai pārsedzes uzvedas kā sakabes sijas?
 - vai izvēlētais sienas savienojuma stingrums atbilst savienojuma tipam

(a) In plane and (b) out of plane loads acting on a wall panel



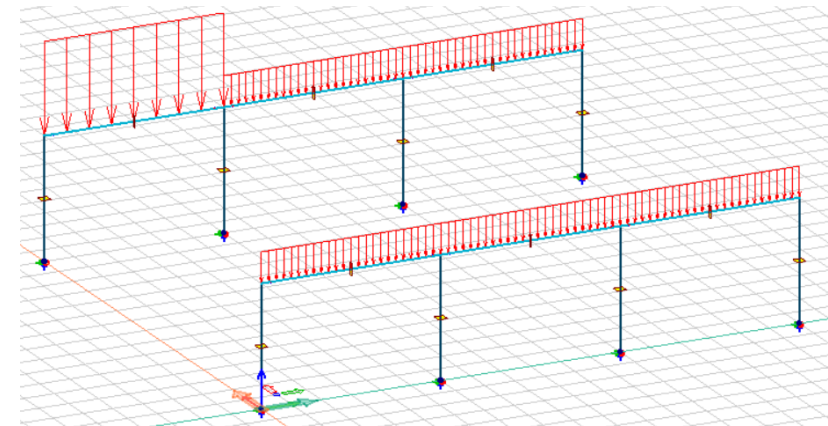
FEM model of structural system subjected to wind loads



Vertical bracing system made of precast bracing walls

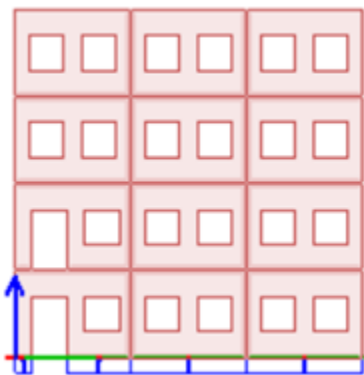
Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

- Bīdes sienas
 - Kāpēc kopējais dizains ir nepieciešams, lai projektētu nostiprinošās sienas?
 - Var atšķirt:
 - Strukturālie elementi, kurus var veidot kā atsevišķus elementus
 - Strukturālie elementi, kuriem jāņem vērā blakus apstākļi

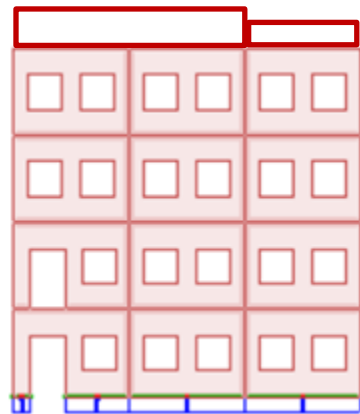


Simply supported beams on cantilever columns

a. Initial model



b.1 local modification of loads



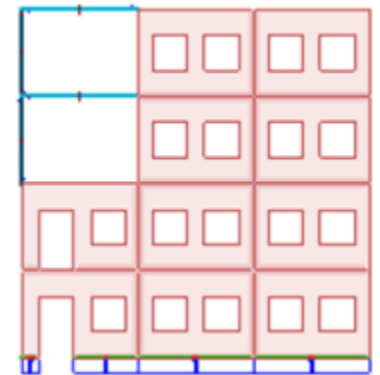
b.2 vertical connection stiffness modification



b.3 position of openings modification



b.4 modification of overall bracing system



Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

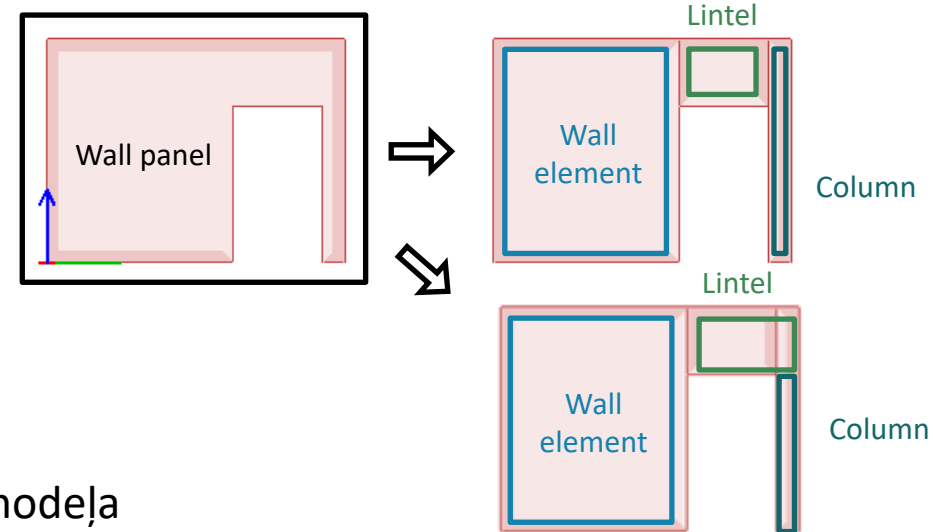
- Bīdes sienas

- Saliekamie sienu paneļi

- Var uzskatīt par komplektiem no:

- Sienas elementiem
- Sakabes sijas/pārsedzēm
- Kolonnām

- Detalizācija sienu paneļiem ir atkarīga no kopējā modeļa detalizācijas

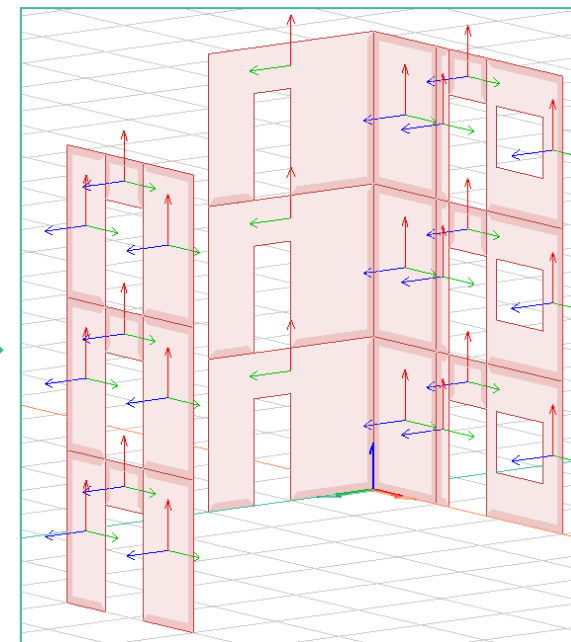
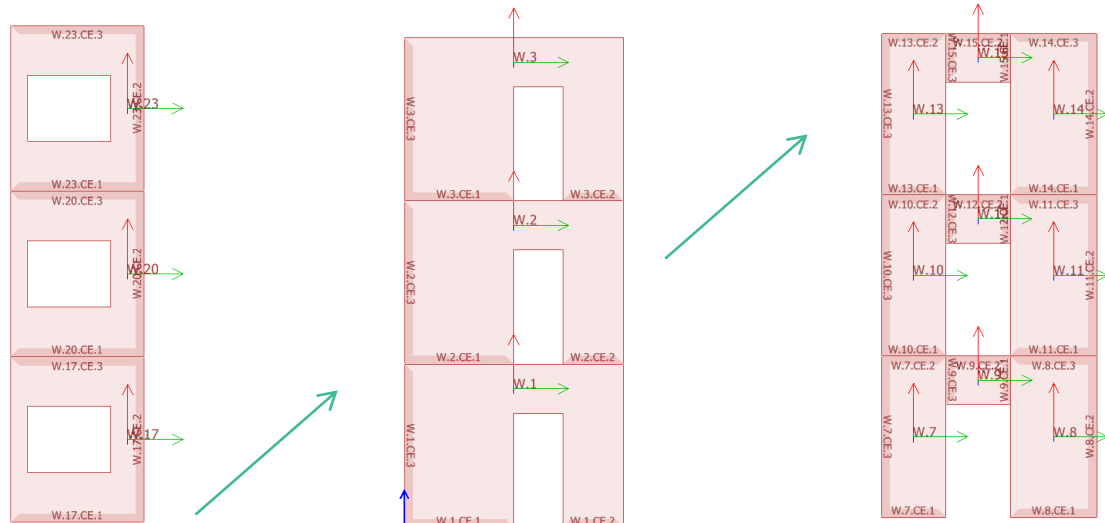


Different approaches to model the subassemblies of a precast panel

(a) Basic detailing level

(b) Intermediate detailing level

(c) Optimal detailing level

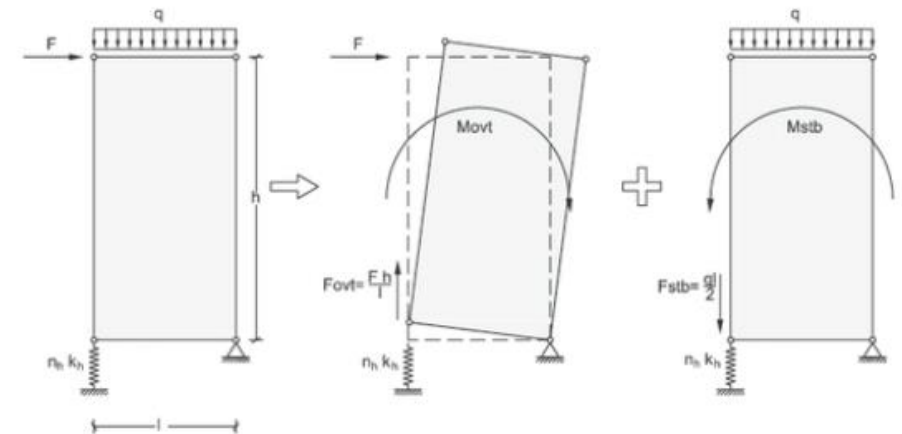


All detailing levels can coexist in the same FEM model

Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

• Bīdes sienas

- Stingra diafragma vai deformējas objekts?
- Stingrs korpuss:
 - Nerada deformācijas, kad pakļauts slodzēm
 - Apgāšanās moments
- Kad var apsvērt sienu paneļu stingru korpusu īpašības?
 - Nav Eirokodeksa vadlīnijas
 - Atkarīgs no:
 - Sienu paneļa ģeometrijas
 - Blīvuma
 - Laterālās slodzes



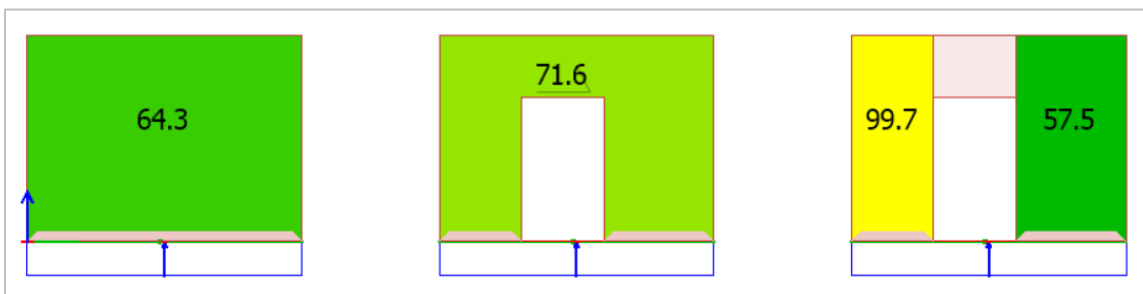
Principle of overturning verification

Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

- Bīdes sienas

- Apgāšanās moments

- Apgāšanās moments ir pielietojams, kad sienai piemīt stingra korpusa īpašības



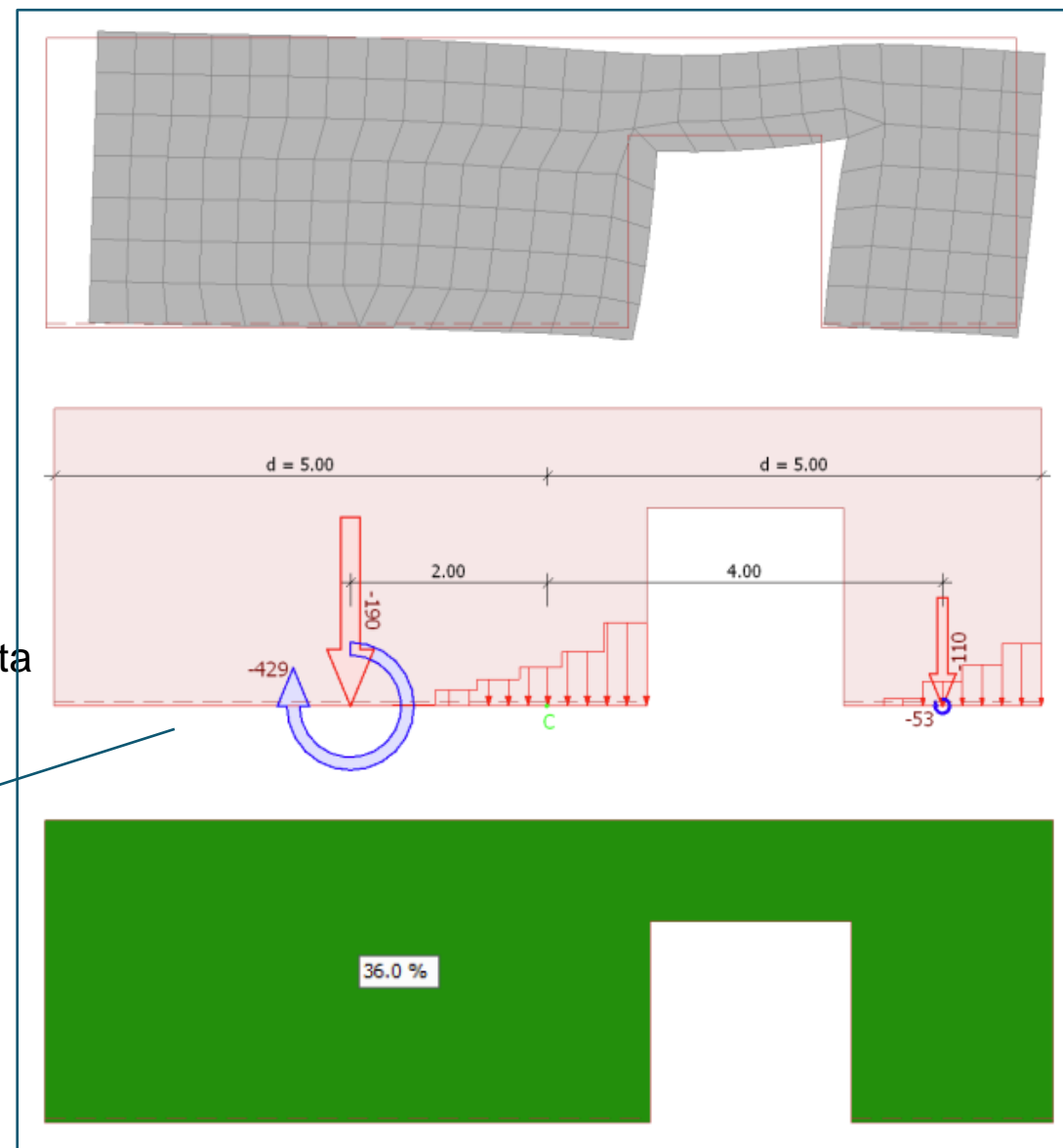
- Vizualizācija kreisajā pusē attaino dažādu apgāšanās momenta rezultātus, atkarībā no tā, kā siena ir modelēta – kā viens vesels vai salikta no vairākām daļām.

$$F = \sum_{i=1}^n F_i = -190 - 110 = -300 \text{ kN}$$

$$M^{(C)} = \sum_{i=1}^n M_i + F_i * v_i = -429 + 190 * 2 - 53 - 110 * 4 = -542 \text{ kNm}$$

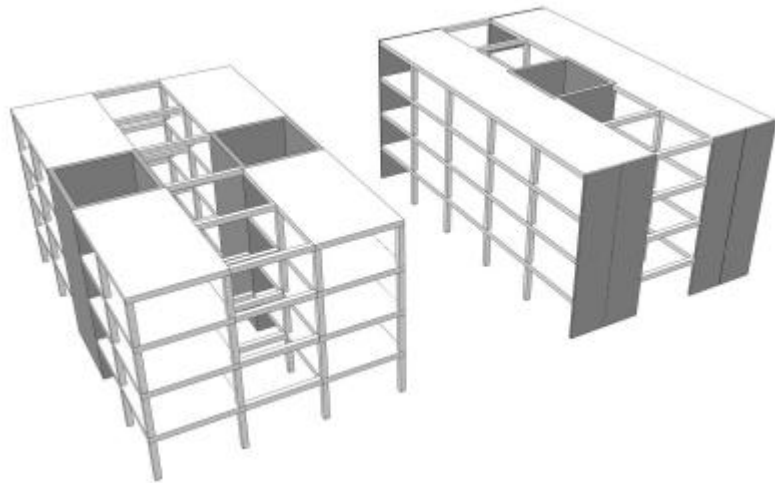
$$e = \frac{M^{(C)}}{F} = \frac{-542}{-300} = 1.81 \text{ m}$$

$$Utilization = \frac{e}{d} * 100 \% = \frac{1.81}{5.00} * 100 = 36\%$$



Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

- Bīdes sienas
- Dažādiem konstrukciju veidiem ir piemērotas dažādas pieejas.



Dual frame-wall structural systems (fib 74)



Illustration of load bearing wall structure (fib 74)

Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

- Savienotas un atvienotas sienas

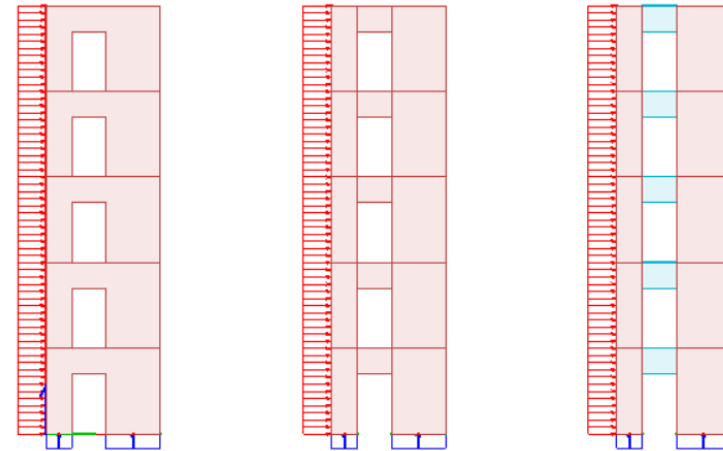
- Savienotas sienas:

- Pārsedzes darbojas kā sakabes sijas
- Izteikts iekšējo spēku pieaugums pārsedzēs
- Sienas elementos mazāki iekšējie spēki
- Maza laterālā nobīde

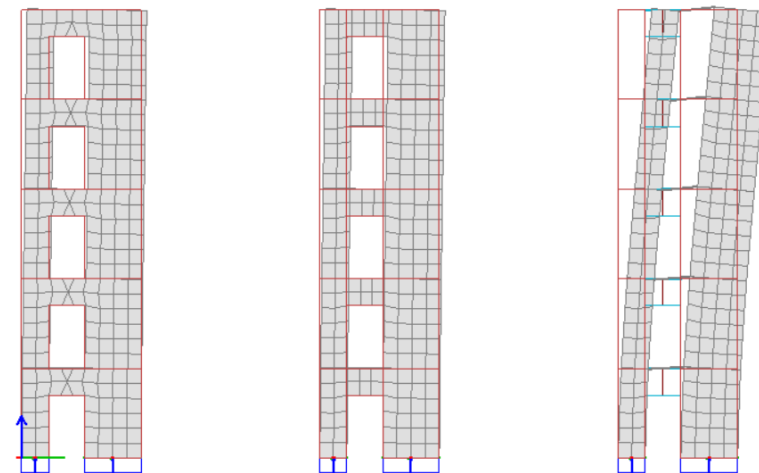
- Nesavienotas sienas:

- Pārsedzes uzvedas kā šarnīrveida sijas
- Ierobežoti iekšējie spēki pārsedzēs
- Palielināti iekšējie spēki sienas elementos
- Liela laterālā nobīde

- Priekšrocības un trūkumi?



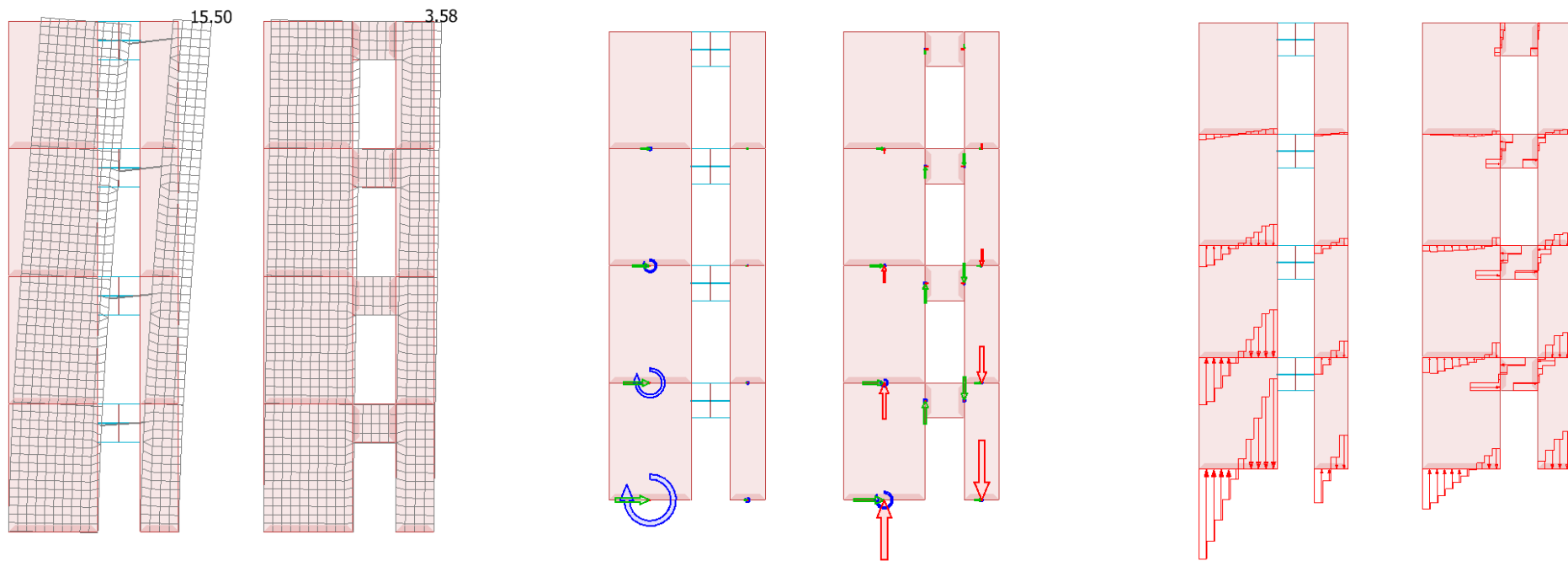
Coupled and uncoupled walls models in FEM-Design



Lateral displacement of coupled and uncoupled walls

Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

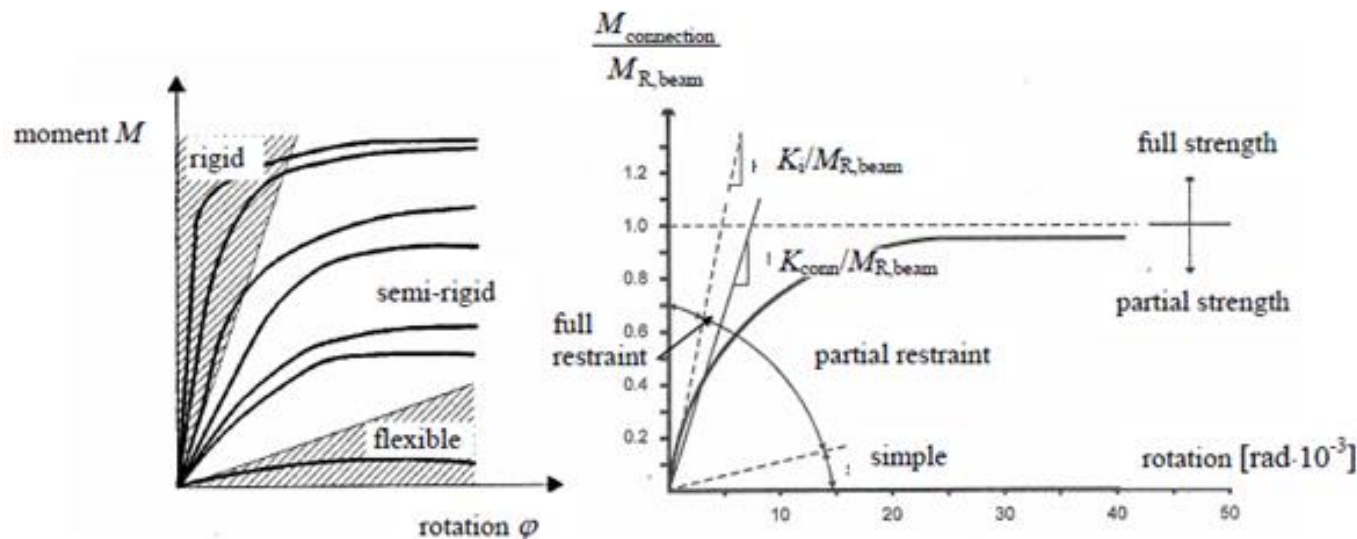
- Savienotas un nesavienotas sienas



Lateral displacements and internal forces distribution in coupled/uncoupled walls subjected to lateral load

Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

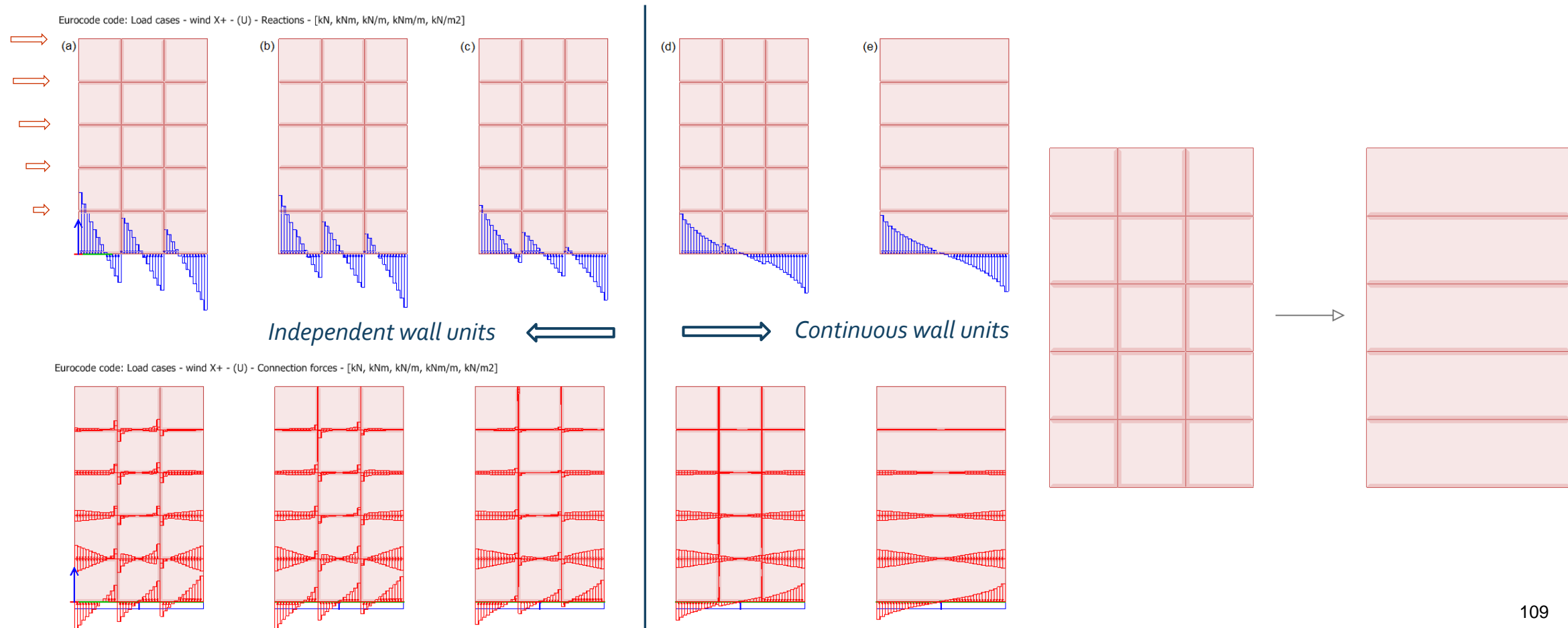
- Savienojuma stingrības ietekme uz strukturālo reakciju
 - Teorija: "tīrās" eņģes un fiksētie savienojumi
 - Saliekamās sijas un kolonnas:
 - Liekšanas moments pret rotāciju nosaka savienojuma/sekcijas stingrību
 - Saliekamo sienu savienojumi:
 - Bīdes pret vertikālo nobīdi nosaka sienu paneļu savienojumu stingrību



Classification of moment-resisting connections – (Leon, 1998)

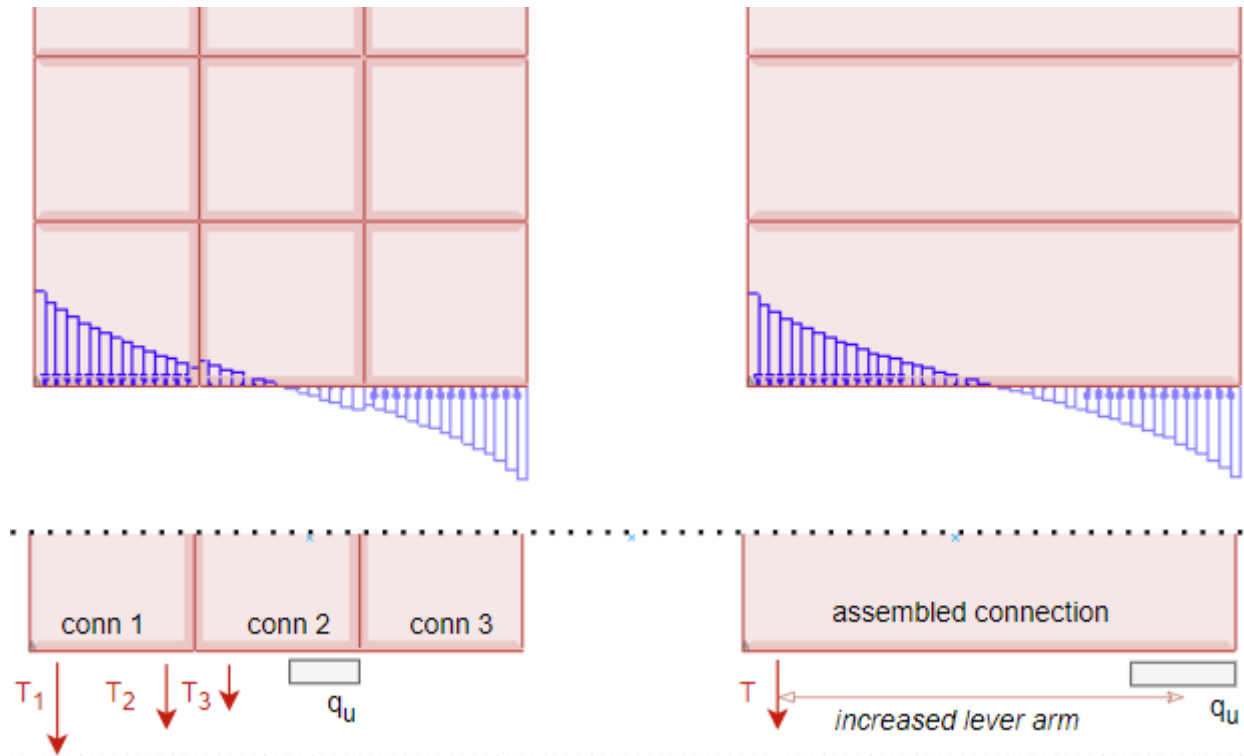
Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

- Savienojumu stingrības ietekme uz dizainu
 - Neatkarīgi (attēlā pa kreisi) un nepārtraukti elementi (attēlā pa labi)



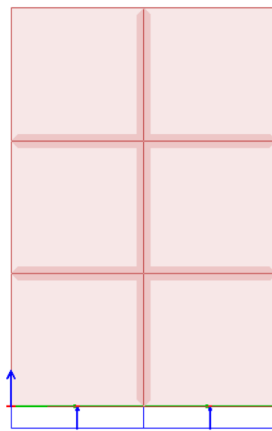
Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

- Savienojuma stingrības ietekme uz dizainu
 - Neatkarīgas un nepārtrauktas konstrukcijas:
 - Ietekmē horizontālo savienojumu ULS dizainu
 - Ja vertikālie savienojumi ir salīdzinoši stingri, nepārtrauktas konstrukcijas nodrošina ekonomiski izdevīgāku dizainu

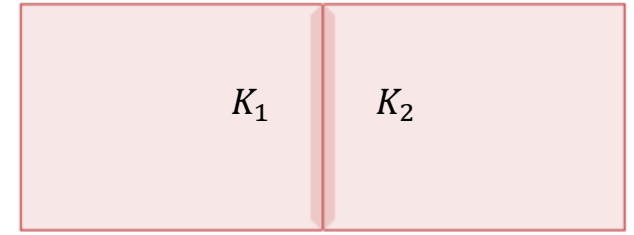
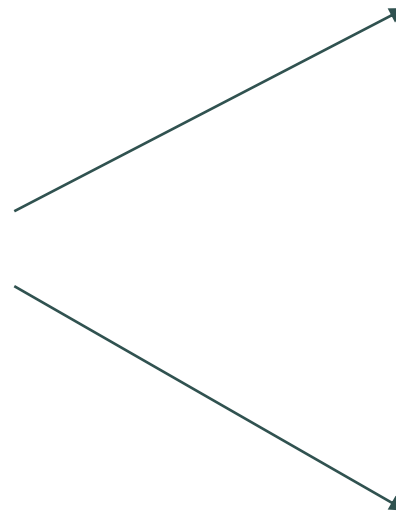
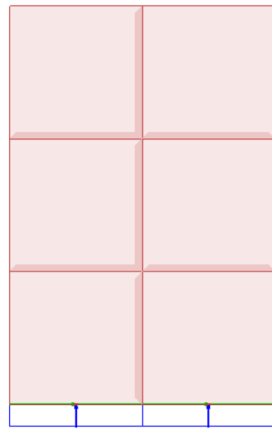


Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

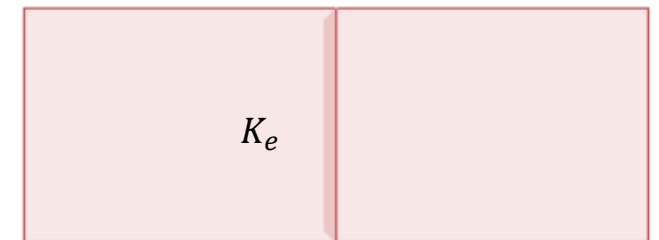
- Savienojuma stingrības ietekme uz dizainu
 - Stingrības pozicionēšana



vs.



$$\frac{1}{K_e} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} \quad \text{if } K_1 = K_2, \quad K_e = \frac{K_1}{2}$$



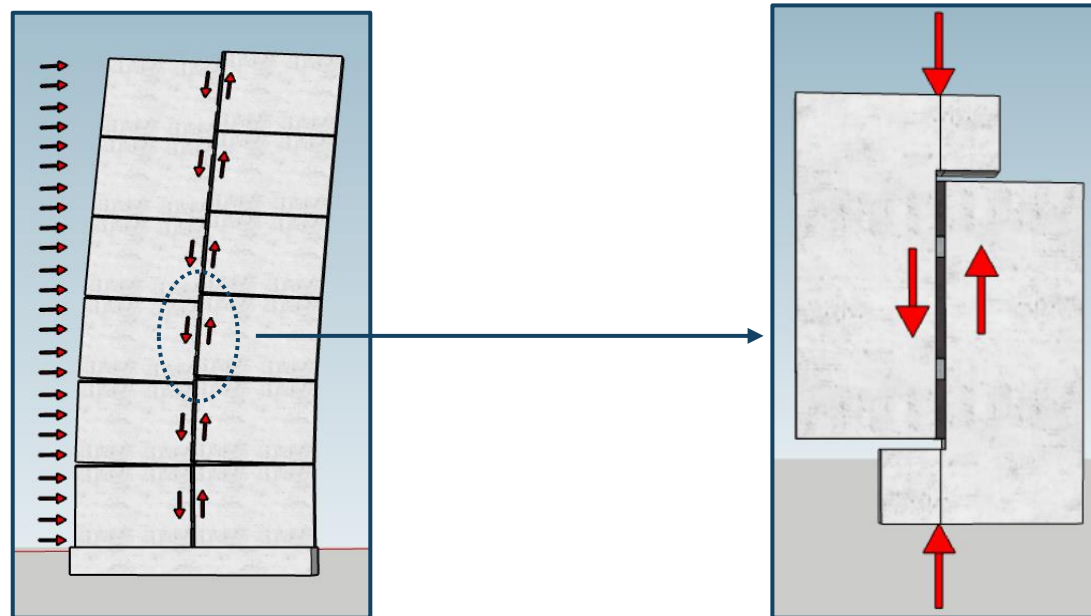
Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu skaitliskā un eksperimentālā analīze

PhD Student:
Dan Andrei MICLĂUȘOIU

PhD Supervisor:
Prof. Eng. Mihai NEDELICU

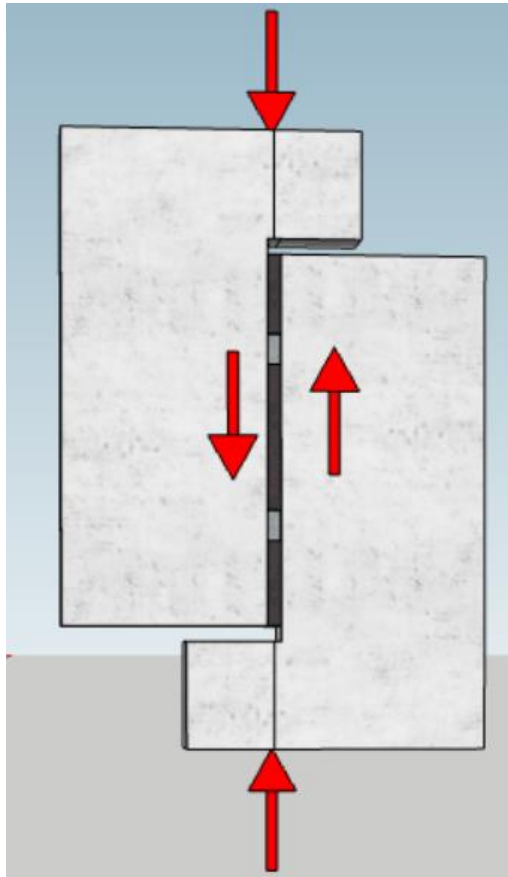
Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

- Saliekamā dzelzsbetona savienojumi – Consolis eksperimentālais pētījums
 - Mērķi:
 - Papildināt zināšanas vertikālo sienu un sienu savienojumu uzvedībā un kapacitātē
 - Novērtējiet savienojuma stingrību
 - Savienojumu stingrība ietekmē iekšējo spēku sadalījumu visās bīdes sienu daļās un līdz ar to visā konstrukcijā
 - Pārbaudīt dažādu savienojumu veidu projektēšanas metodes
 - EN 1992-1-1 jauda, ko nodrošina rel. 6.25 salīdzinājumā ar eksperimenta kļūdas vērtībām

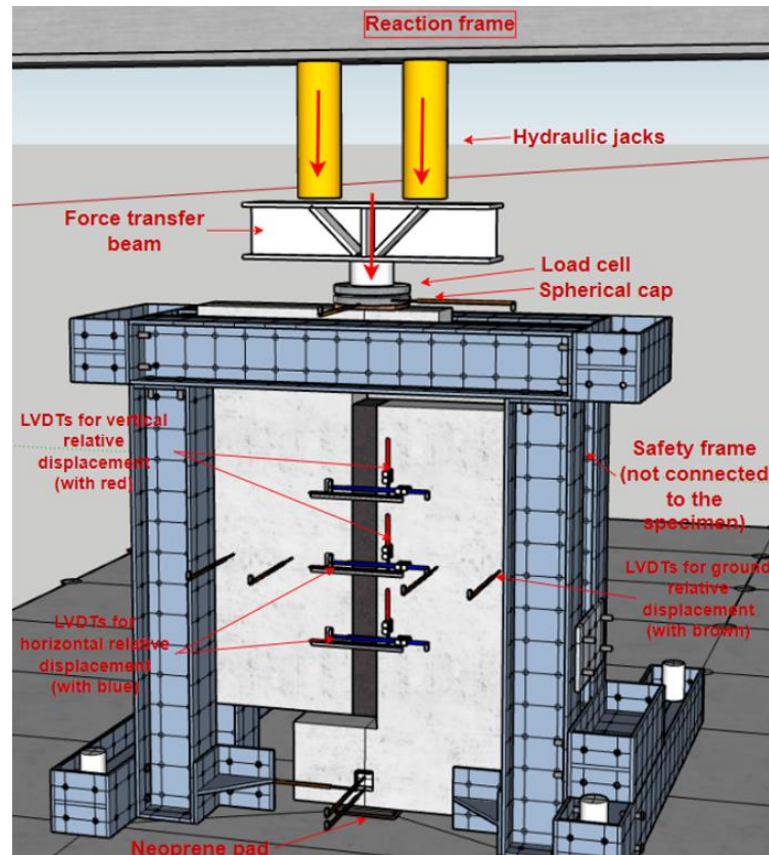


Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

- Saliekamā dzelzsbetona savienojumi – Consolis eksperimentālais pētījums



Koncepta izveide



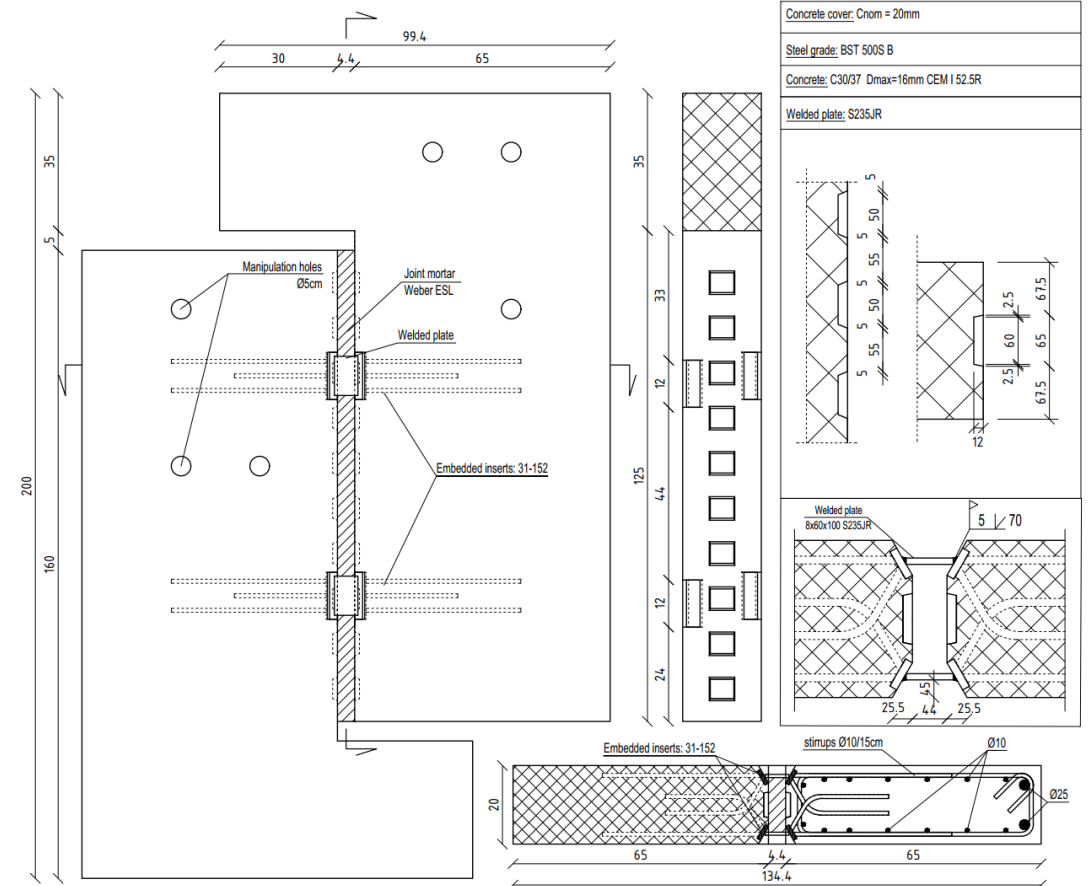
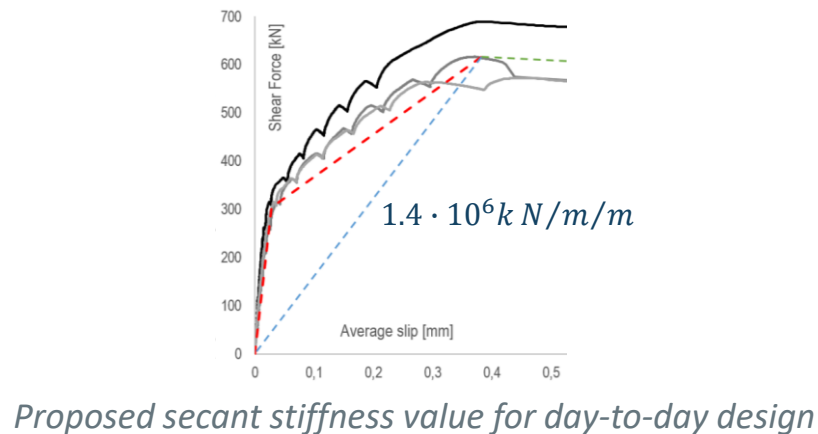
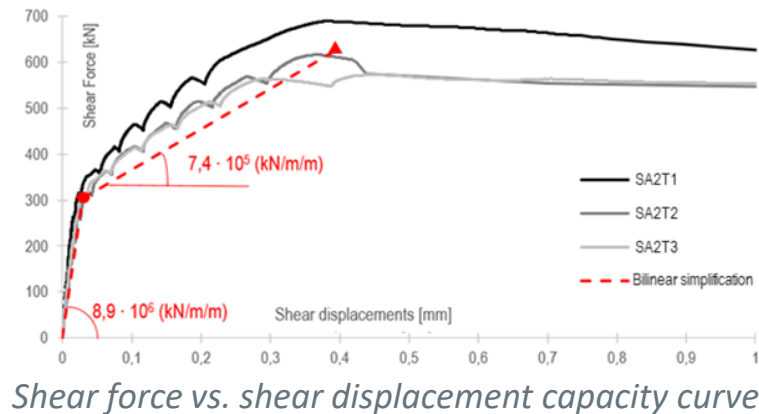
Plānošana



Realizācija

Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

- Saliekamā dzelzsbetona savienojumi – Consolis eksperimentālais pētījums
 - Metināts plākšņu savienojums ar bīdes atslēgām
 - Līdzvērtīga monolīta raksturojums pirms plaisāšanas
 - Vairāk nekā 90% bīdes stingrības samazināšanās pēc plaisāšanas



Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

- Saliekamā dzelzsbetona savienojumi – Consolis eksperimentālais pētījums
- Stieņu cilpas un stieņu sliežu savienojumi
 - Peikko PVL80
 - Pintos WI 80
- Philipp non-structural rail



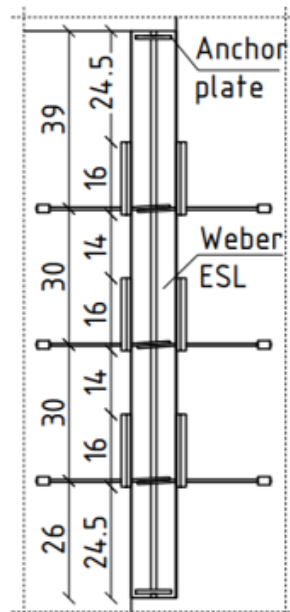
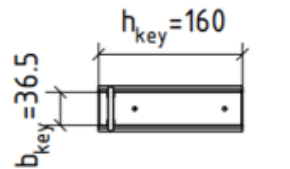
Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

- Saliekamā dzelzsbetona savienojumi – Consolis eksperimentālais pētījums
 - Stieplu cilpas un stieplu sliežu savienojumi

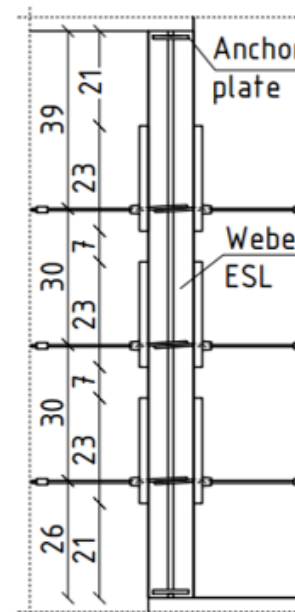
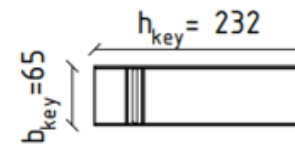
Katrai sērijai 3 paraugi

- stieplu kastes, kas uzstādītas sienas paneļu liešanas procesā
- stiegrojuma stienis šķērso cilpas, lai nodrošinātu stiprinājumu
- bīdes atslēgas, ko veido kastes
- spēka pārnešana panākta tikai pēc javas liešanas un sacietēšanas
- šuvju liešana veikta ar sauso maisījumu, kas nekarst, plaši izmantota Somijā un Baltijas valstīs

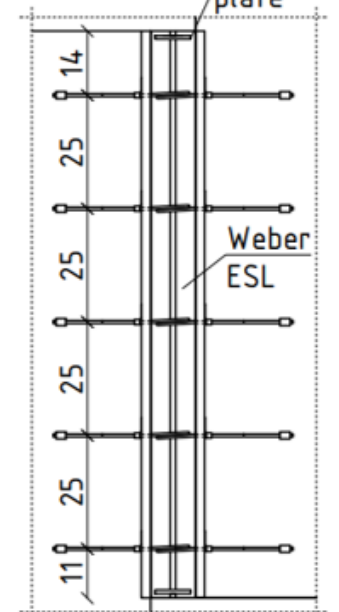
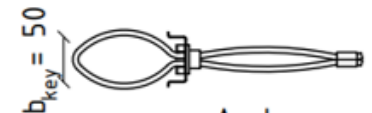
(a) WL1
Peikko: PVL 80



(b) WL2
Pintos WI - 80



(c) WL3
PHILLIPP: 84VS201205

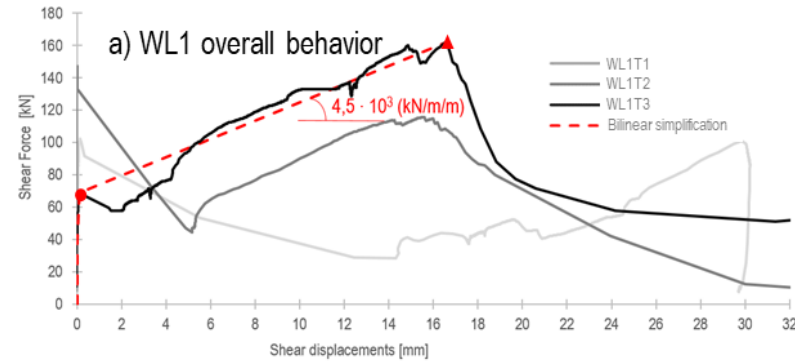
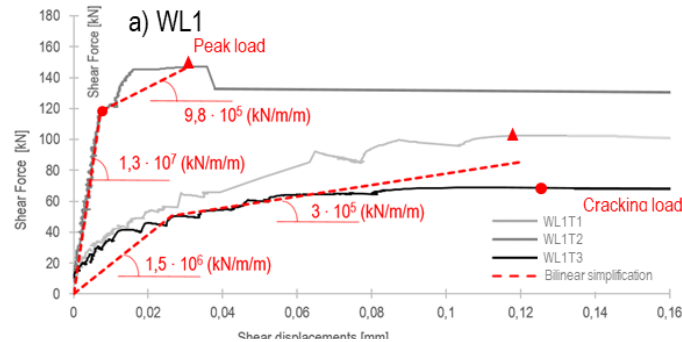
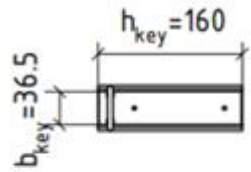


Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

- Saliekamā dzelzsbetona savienojumi – Consolis eksperimentālais pētījums
 - Stieplu cilpas un stieplu sliežu savienojumi

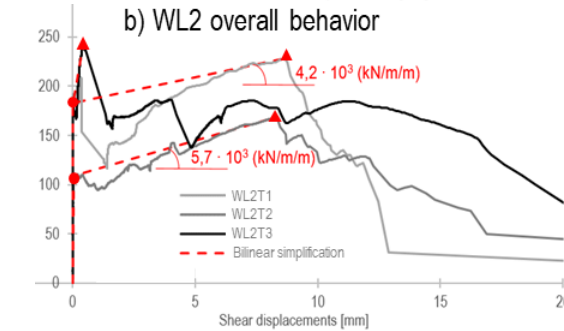
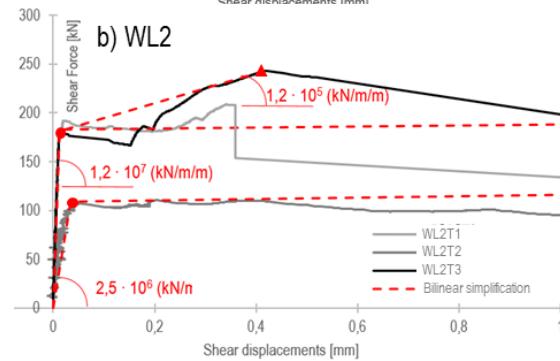
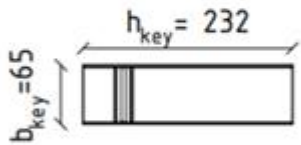
(a) WL1

Peikko: PVL 80



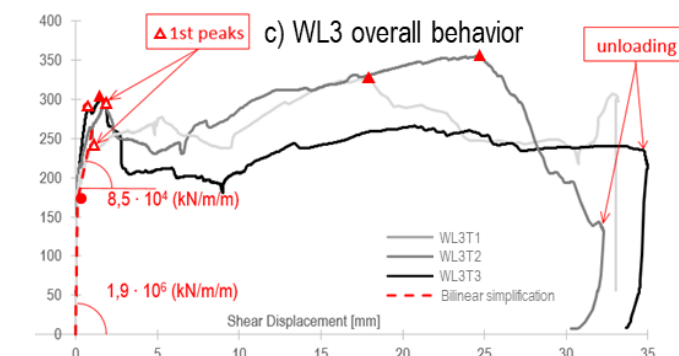
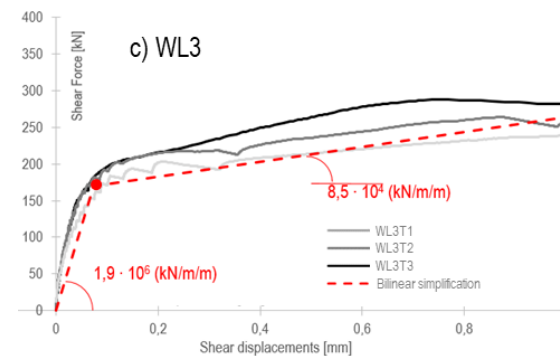
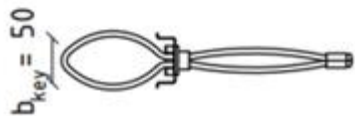
(b) WL2

Pintos WI - 80



(c) WL3

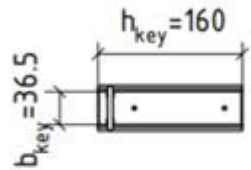
PHILLIPP: 84VS201205



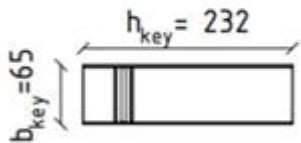
Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

- Saliekamā dzelzsbetona savienojumi – Consolis eksperimentālais pētījums
 - Stieplu cilpas un stieplu sliežu savienojumi

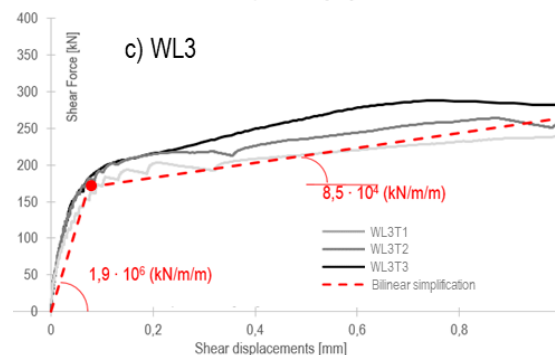
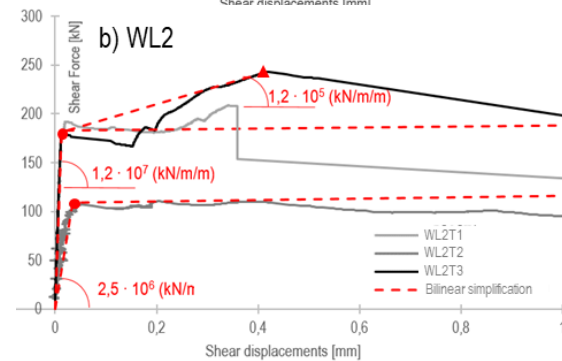
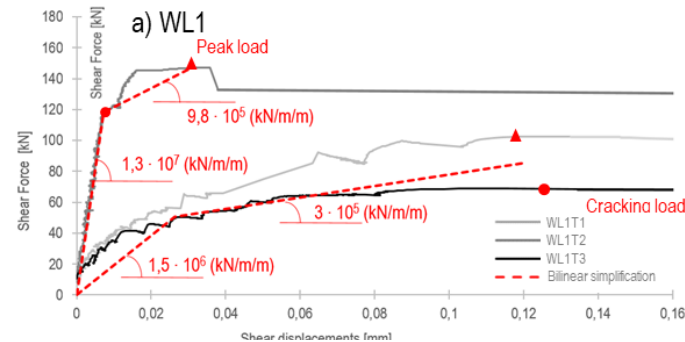
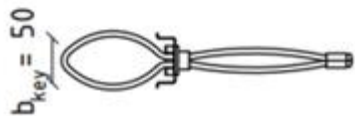
(a) WL1
Peikko: PVL 80



(b) WL2
Pintos WI - 80



(c) WL3
PHILLIPP: 84VS201205



- Pirms plaisāšanas:

- WL1 & WL2:

- stīvuma izplatība vērtības
- nekoncekventa uzvedība

- WL3:

- slīdēšana noved pie progresējošas plaisāšanas un vadu noslogošanas
- koncekventa uzvedība

- Pēc plaisāšanas:

- spriegumu pārdales plaisāšanas dēļ - spēka samazināšanās un slīdēšanas palielināšanās

- WL1:

- 2 paraugi: plaisāšanas slodze = maksimālā slodze;
- 1 paraugs: maksimālā slodze pie ļoti lielas bīdes slīdēšanas

- WL2: maksimālā slodze pie ļoti lielas bīdes slīdēšanas

- WL3: izteikta elastīga uzvedība

Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

- Saliekamā dzelzsbetona savienojumi – Consolis eksperimentālais pētījums
 - Nobeiguma komentāri
 - Tērauda mezgli ar šuvju bīdes atslēgām:
 - Divpakāpju uzvedība:
 - Pirms plaisāšanas monolīta ekvivalenta uzvedība;
 - Pēc plaisāšanas uzvedība ir atkarīga no stiegrojuma izkārtojuma
 - Skrūvju savienojums prasa papildu izmeklējumus: novēroti savienojuma blīvēšanas tukšumi; iegultā enkura atteices režīms ir neapmierinošs
 - EC2 rel. 6.25 → pieņemama precizitāte metinātiem savienojumiem
 - Vadu cilpas:
 - **Nekonsekventa uzvedība (plaisāšanas slodze, stinguma vērtības)**
 - Nepietiekama pēc-plaisāšanas stingrība vai tā nepastāv (pēc-plaisāšanas īpašības nav saderīga ar vēlamajām konstrukcijas īpašībām)
 - **EC2 rel. 6.25 → droši rezultāti plaisāšanas slodzei, neņemot vērā vadu ieguldījumu**
 - saskaņā ar EC2, vadiem jābūt ar tādu pašu elastības pakāpi kā stiegrojumam; jaunajam modulim jābūt apmēram 190GPa

Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana

- Saliekamā dzelzsbetona savienojumi – Consolis eksperimentālais pētījums
 - Vairāk informācijas:
 - PhD darbs (drīzumā pieejams angļu valodā):
 - <https://rei.gov.ro/teze-doctorat>
 - Eksperimentālās programmas ziņojums (drīzumā pieejams angļu valodā):
 - D. Miclausoiu, “Experimental analysis of vertical connections for precast shear walls. ISBN 978-606-737-634-0,” UTPRESS: <https://biblioteca.utcluj.ro/files/carti-online-cu-coperta/634-0.pdf>, Cluj-Napoca, 2023
 - Zinātniskie raksti:
 - D. Miclăușoiu, G.-Á. Sándor, H. Constantinescu, B. Hegheș and M. Nedelcu, “EXPERIMENTAL STUDY OF PRECAST WALL CONNECTION WITH GROUTED SHEAR KEYS AND WELDED PLATES,” in 6th fib International Congress, Oslo, 2022
 - D. Miclăușoiu, G.-Á. Sándor, H. Constantinescu, B. Hegheș and M. Nedelcu, “EXPERIMENTAL STUDY OF PRECAST WALL CONNECTION WITH HIGH STRENGTH WIRE LOOPS,” in 14th fib PhD Symposium in Civil Engineering, Rome, 2022
 - D. Miclăușoiu, M. Nedelcu, T. Blanksvärd, “Experimental and numerical analysis of different vertical connections of precast shear walls with special regard towards deformability”, Structural Concrete, DOI: 10.1002/SUCO.202300429

Bīdes sienu darbības novērtēšana

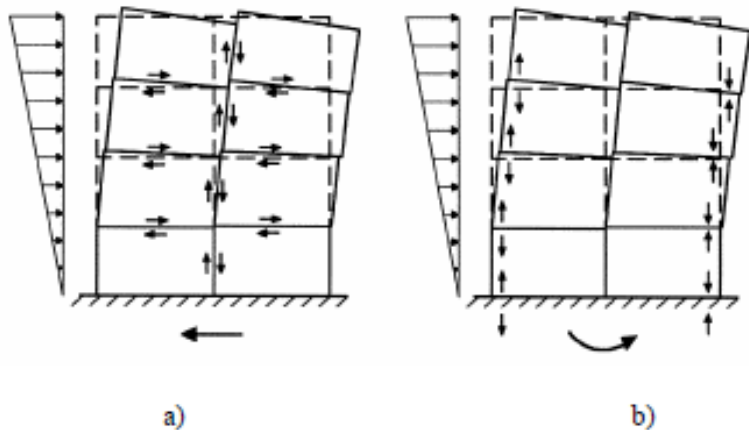
- Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu projektēšana un modelēšana:
 - Pārskats par sienas paneļu savienojumiem
 - Elementu izklājumi un savienojumi
 - Savienojumu stingrumi priekš GEM
- **Bīdes sienu darbības novērtēšana:**
 - Savienojuma stingumi
 - Bīdes sienas kopējā darbība
 - Vienkāršoti kontroles aprēķini
 - Nestspējas pārbaude
- Jautājumu un atbilžu sesija

Bīdes sienu darbības novērtēšana

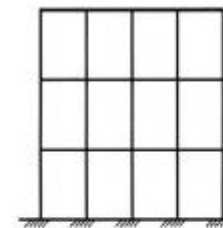
- Bīdes sienu uzvedības izvērtēšana:
 - Sienu modelēšanas pieejas
 - Sienu savienojumu modelēšanas pieejas
 - Sienu projektēšana biaksiālai liecei
 - Sienas bīdes dizains/modelēšana

Bīdes sienu darbības novērtēšana

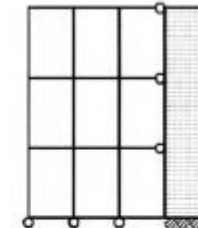
- Bīdes sienas uzvedība



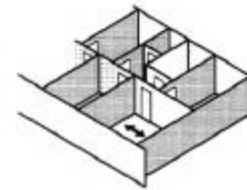
Saliekamās sienas darbības plaknē a) bīdes spēki b) stiepes un spiedes spēki



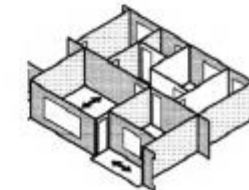
Skeletal Frame



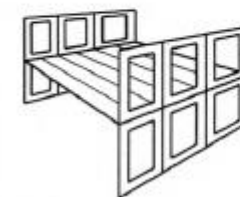
Braced Skeletal Frame



Cross Wall



Spine Wall



Facade

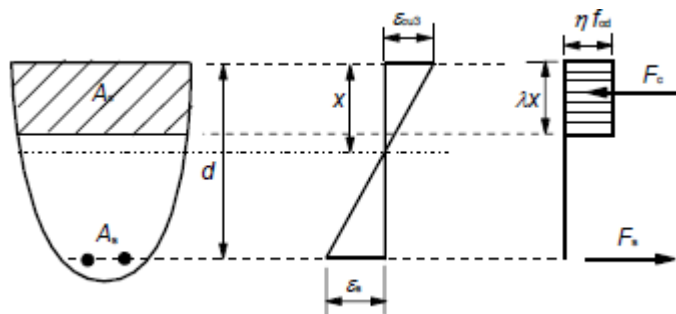


Cell

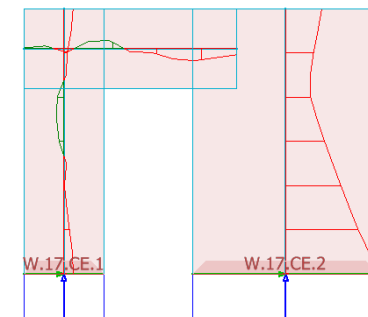
Saliekamas ēku konstrukcijas (Structural Precast Concrete Handbook – Strukturālā saliekamā dzelzsbetona rokasgrāmata)

Bīdes sienu darbības novērtēšana

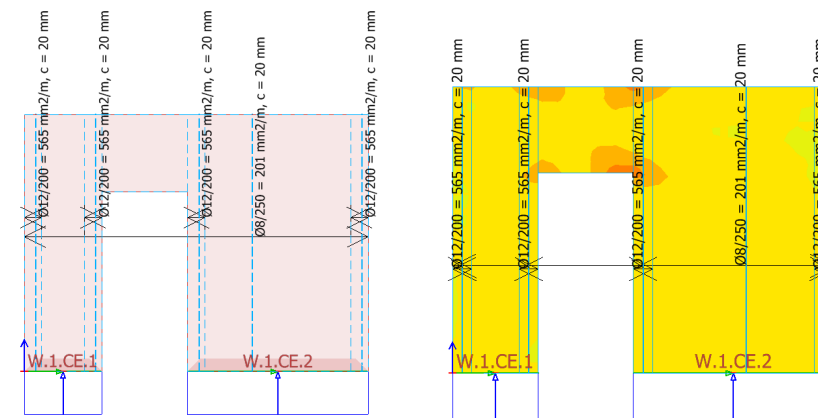
- Sienu modelēšanas pieejas – biaksiāla liece
 - Virsmas pastiprināšana
 - Slēpta armatūra
 - Nelineārās projektēšanas metodes
- “Classical” ULS pieeja :
 - Lineāra deformācija – plastiskā sprieguma sadalījums
 - Lineārais elastīgais modelis strukturālajai reakcija
 - Plastisko elementu/sekciju dizains



Taisnstūrveida sprieguma sadalījums pēc fig. 3.5. EN-1992-1-1



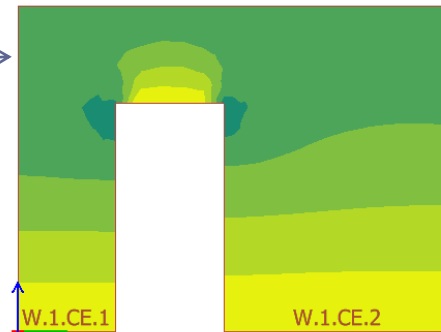
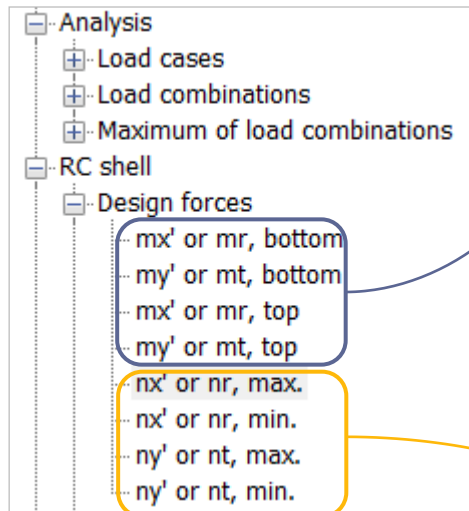
Concealed rebar design approach



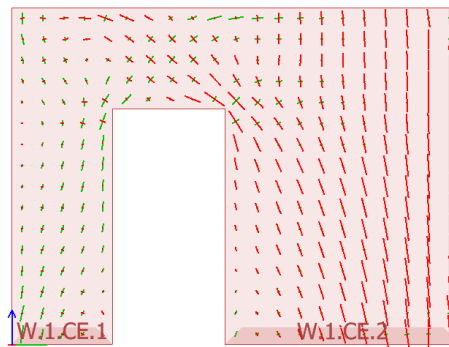
Surface reinforcement layout and check

Bīdes sienu darbības novērtēšana

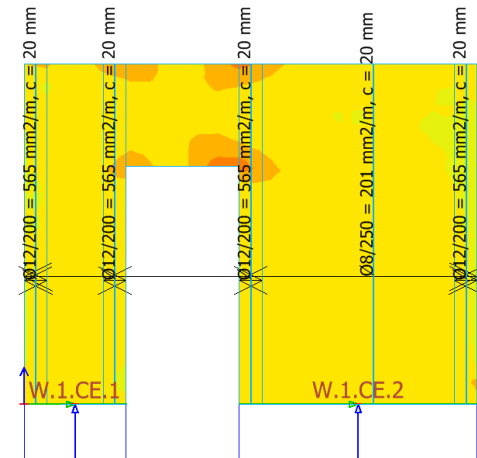
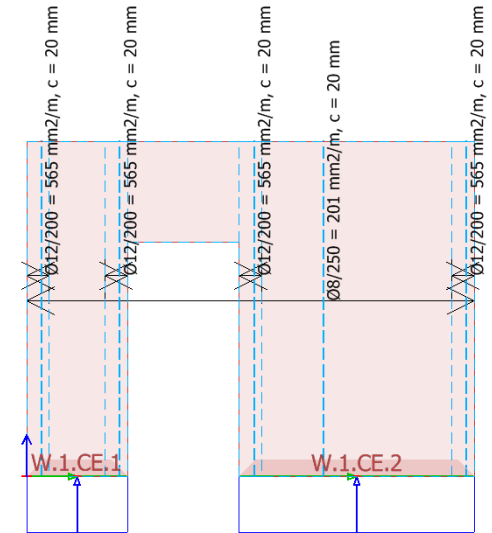
- Sienas projektēšanas pieejas – biaksiālā liece
 - Virsmas pastiprināšana



lekšējie spēki, kas rodas ārpus plaknes esošajām slodzēm

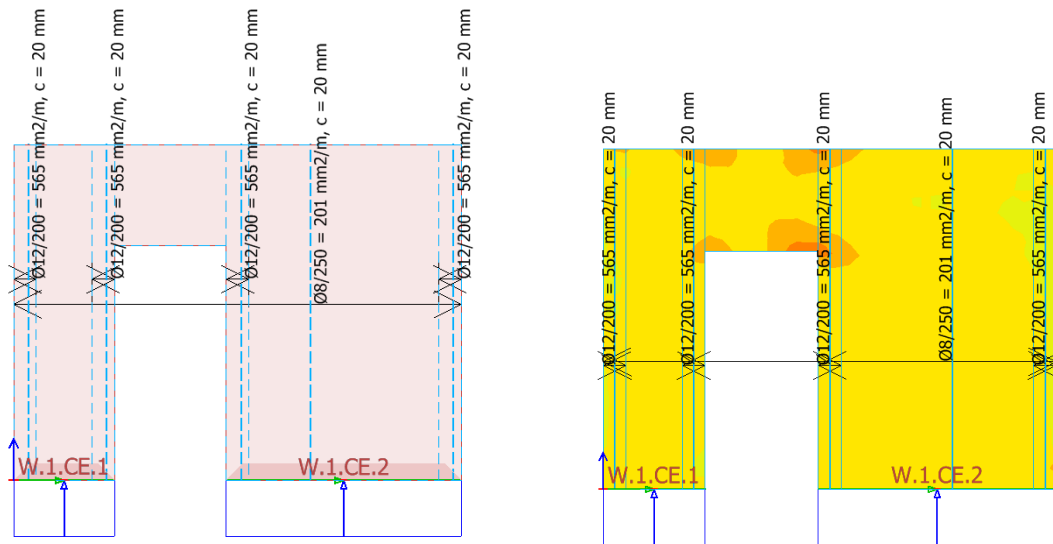


lekšējie spēki, kas rodas no plaknē esošajām slodzēm



Bīdes sienu darbības novērtēšana

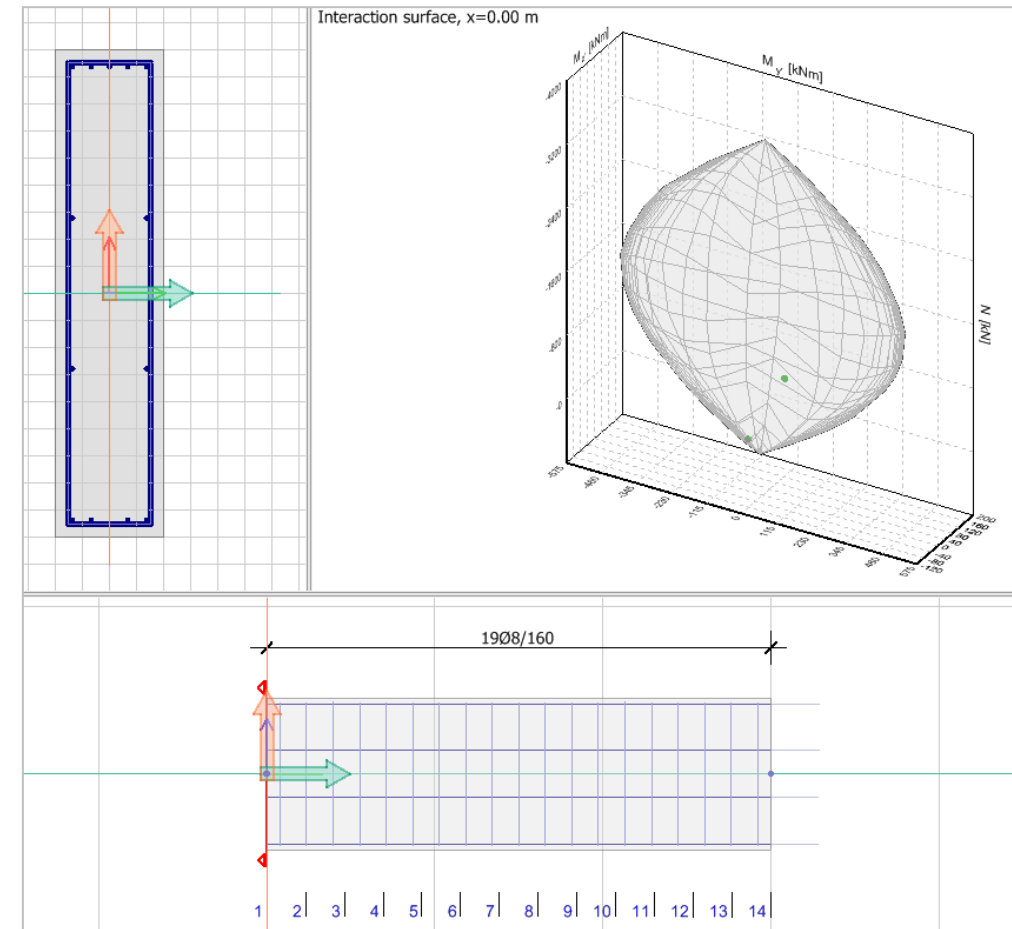
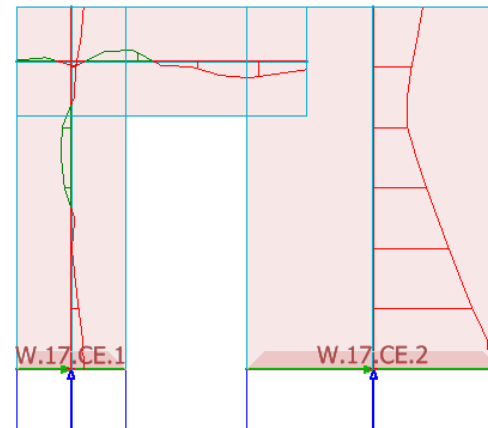
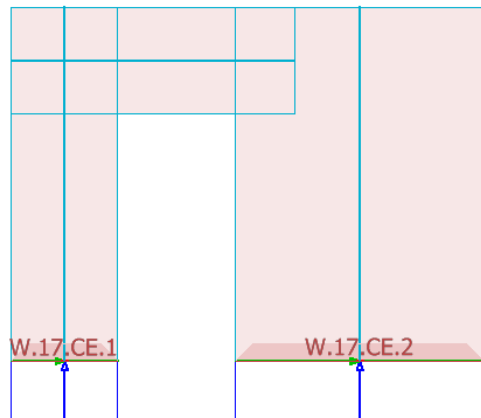
- Sienas projektēšanas pieejas – biaksiālā liece
 - Virsmas pastiprināšana



- Plusi:
 - Jebkura veida sienu/platni var projektēt neatkarīgi no konfigurācijas
- Mīnusi:
 - Lēns process (nepieciešama papildu sagatavošanās)
 - Balstās uz iekšējo spēku elastīgo sadalījumu
 - Nodrošina lielāku stiebrojuma daudzumu nekā klasiskā pieeja

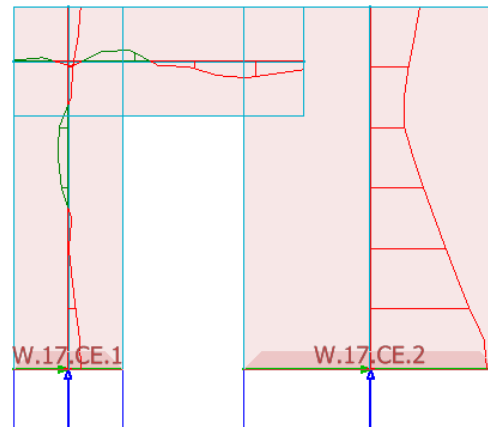
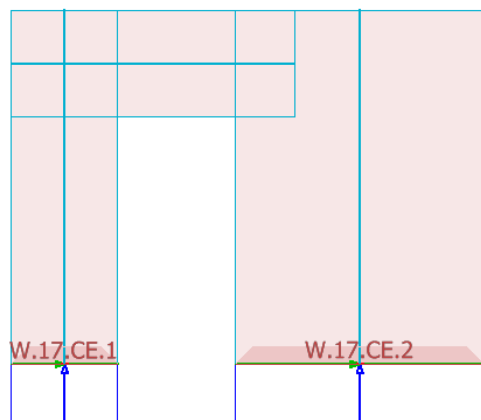
Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Sienas projektēšanas pieejas – biaksiālā liece
 - Slēptās armatūras



Bīdes sienu darbības novērtēšana

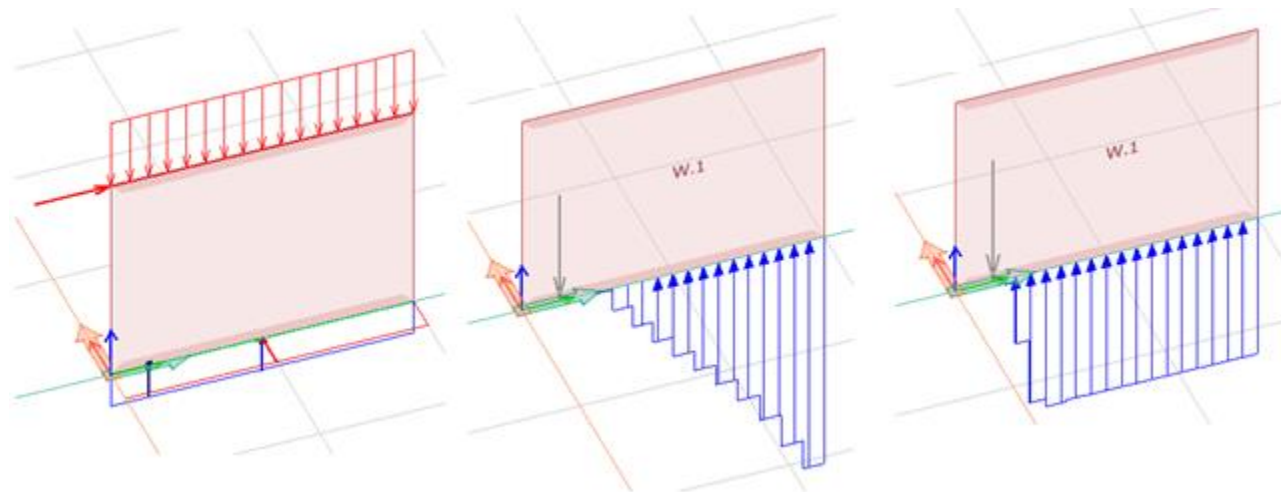
- Sienas projektēšanas pieejas – biaksiālā liece
 - Slēptās armatūras



- Plusi:
 - Ātri
 - Dizains balstīts uz EK noteikumiem siju/kolonnu projektēšanai
- Mīnusi:
 - Piemērojams tikai specifiskās situācijās (piemēram, fasādēm ar lielām atverēm)
 - Pamatpieņēmums: sienas elementi uzvedas kā kolonnas

Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Savienojumu projektēšanas pieejas- vertikālais spriegumu sadalījums
 - Lineāra elastīga
 - Nelineārs ar tikai spriegojuma/saspiešanas elementiem/saskarnēm
 - Nelineārs ar plastisku ierobežojošo spēku
 - Iepriekšējā pieeja + plastisks ierobežojums

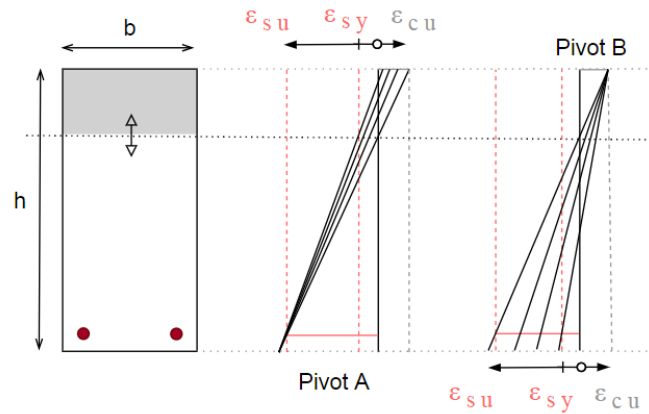
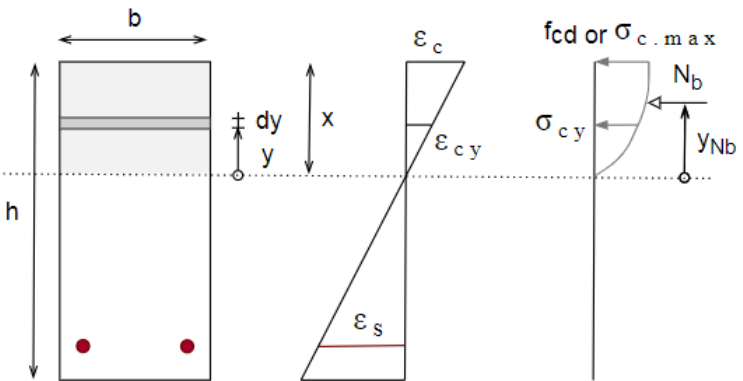


Bīdes sienu darbības novērtēšana

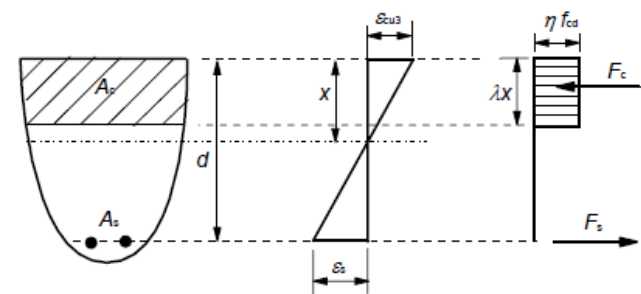
- Savienojumu dizaina pieejas

- Lineāra elastīga

- Raksturīgā pieeja dizainā
- ULS dizains
 - Vispārējā projektēšanas metode
 - Vienkāršotas projektēšanas procedūras

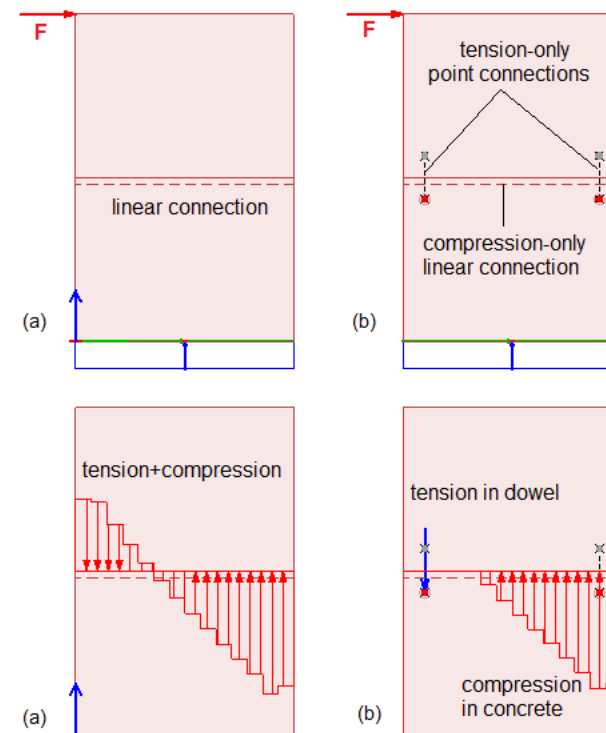


Eurocode



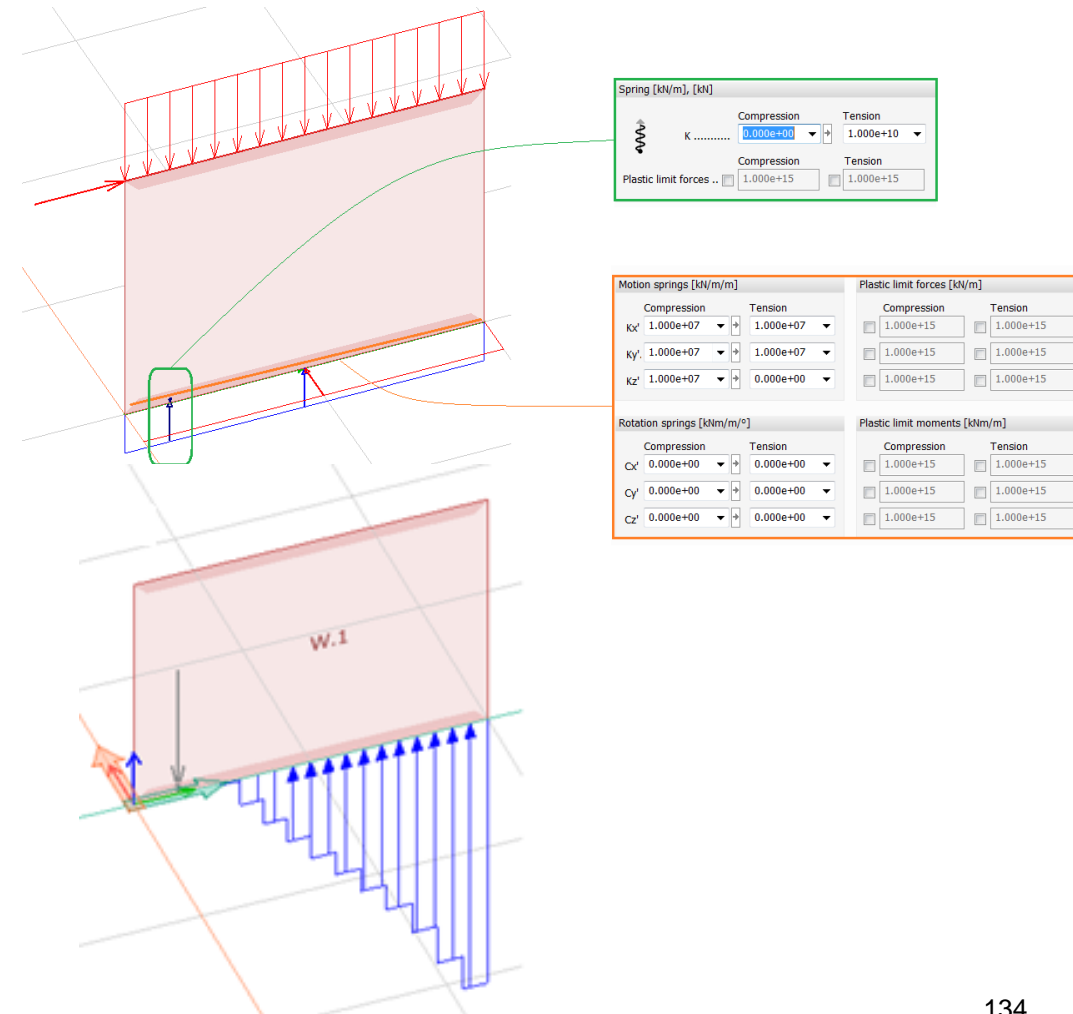
Evaluation of shear wall behavior

- Savienojumu dizaina pieejas
 - Nelineārs tikai ar spriegojuma/saspiešanas elementiem/saskarnēm
 - Dzelzsbetona saskarne, kas nodrošina tikai saspiešanu
 - Vertikāla saite, kas rada tikai spriedzi



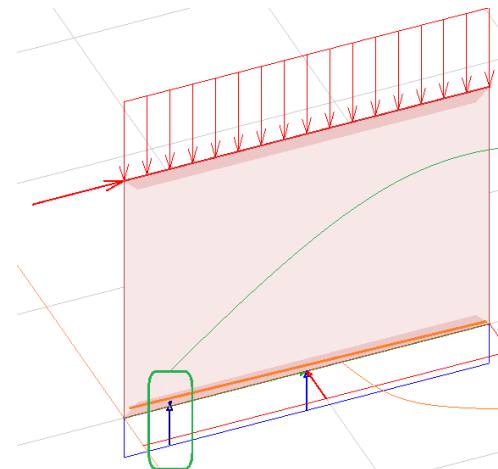
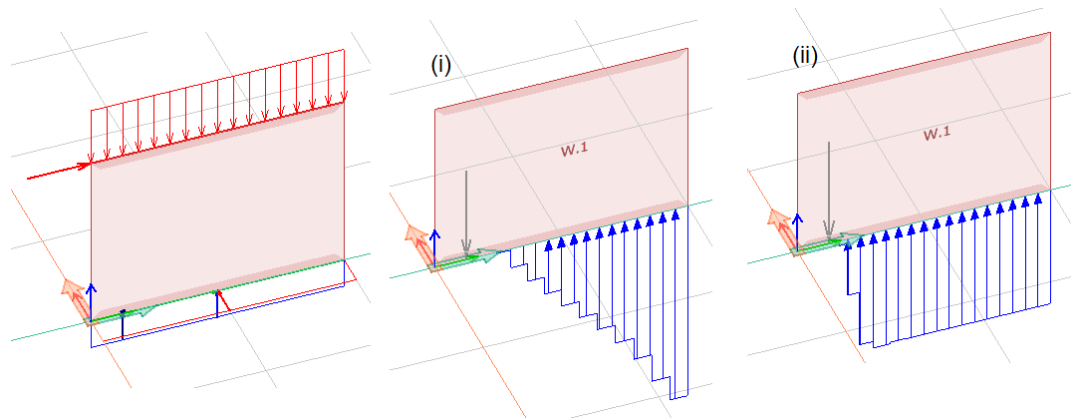
Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Savienojumu dizaina pieejas
 - Nelineārs tikai ar spriegojuma/saspiešanas elementiem/saskarnēm
 - Dzelzsbetona saskarne, kas nodrošina tikai saspiešanu
 - Vertikāla saite, kas rada tikai spriedzi
 - Limitācijas:
 - Nav ierobežojumu saspiešanās dzelzsbetona ietilpībai
 - Deformācijas kapacitātes novērtējums nav pieejams



Bīdes sienu darbības novērtēšana

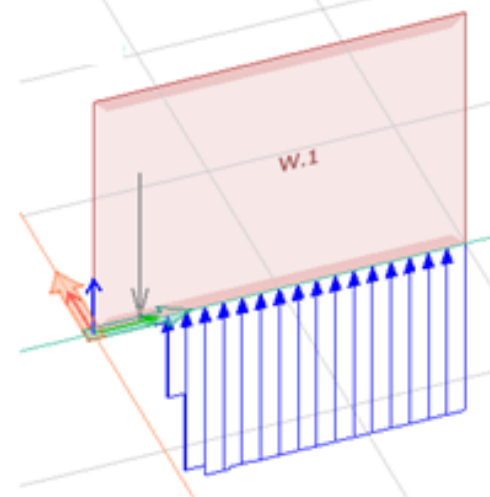
- Savienojumu projektēšanas pieejas
 - Nelineāras ar plastisku ierobežojošu spēku
 - Papildus iepriekšējam nelineāram modelim:
 - vsaptverošajiem spēkiem tiek noteikts plastisks ierobežojums
 - Limitācijas:
 - Laikietilpīga analīze
 - Deformācijas kapacitātes novērtējums nav pieejams



Spring [kN/m], [kN]			
	Compression	Tension	
K	0.000e+00	1.000e+10	
Plastic limit forces ..	1.000e+15	1.000e+15	

Motion springs [kN/m/m]		Plastic limit forces [kN/m]	
Compression	Tension	Compression	Tension
Kx	1.000e+07	1.000e+07	1.000e+15
Ky	1.000e+07	0.000e+00	3600
Kz	1.000e+07	1.000e+07	1.000e+15

Rotation springs [kNm/m/°]		Plastic limit moments [kNm/m]	
Compression	Tension	Compression	Tension
Cx	0.000e+00	0.000e+00	1.000e+15
Cy	0.000e+00	0.000e+00	1.000e+15
Cz	0.000e+00	0.000e+00	1.000e+15

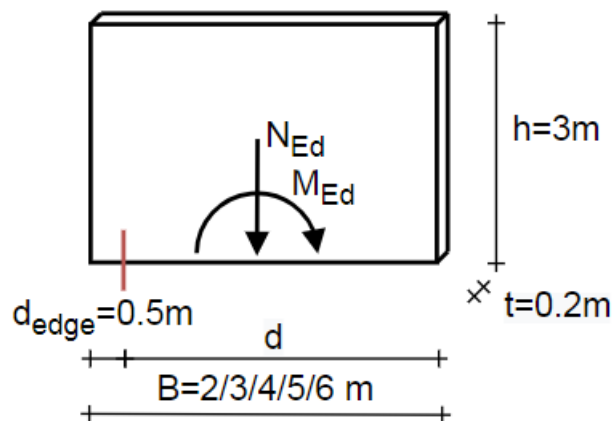


Bīdes sienu darbības novērtēšana

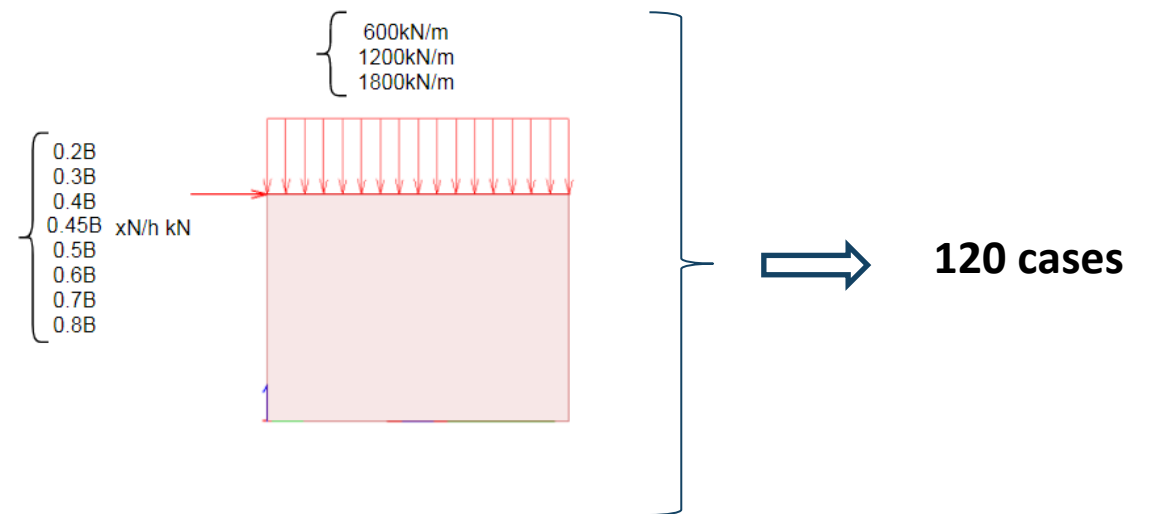
- Savienojumu projektēšanas pieejas – vertikālais spriegumu sadalījums

- Salīdzinošs pētījums

- Piecas sienu ģeometrijas:
 - Sienu garums svārstās no 2 līdz 6m
 - Vertikālā saite novietota 0,5m attālumā no malas
- Materiāli:
 - C30/37
 - S500



- Slodzes:
 - Trīs gravitācijas slodžu gadījumi:
 - 600kN/m ($0.167 \times N_{\text{cap}}$)
 - 1200kN/m ($0.334 \times N_{\text{cap}}$)
 - 1800kN/m ($0.501 \times N_{\text{cap}}$)



- 8 laterālo slodžu gadījumi

$$F = (0.2 \text{ to } 0.8) * B * N/h$$

Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Savienojumu projektēšanas pieejas – vertikālais spriegumu sadalījums
- Salīdzinošs pētījums
 - Četras dizaina pieejas:
 - Vispārēja projektēšanas metode (BENCHMARK)
 - ULS “klasiskā” dizaina pieeja
 - a. Projektēšana, pamatojoties uz manuālu aprēķinu – vienkāršota projektēšanas procedūra (a procedūra)*
 - b. Automātiskā projektēšana – vienkāršota projektēšanas procedūra (procedūra b)*
 - Nelineārs ar tikai spriegojuma/saspiešanas elementiem/saskarnēm
 - c. Nelineārā analīze FEM projektēšanā (procedūra c)*
 - Nelineārs ar plastisku ierobežojošo spēku
 - d. Nelineāra elastīgi-plastiskā analīze FEM projektēšanā (procedūra d)*

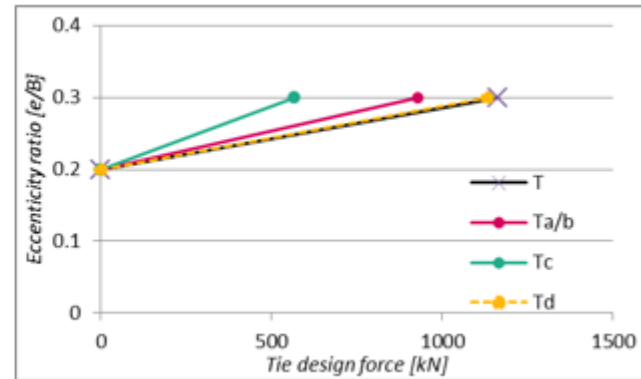
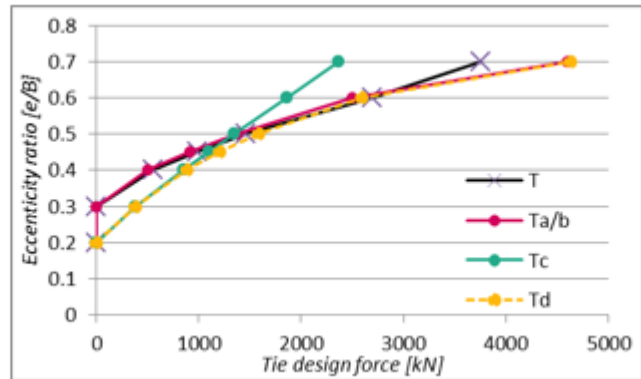
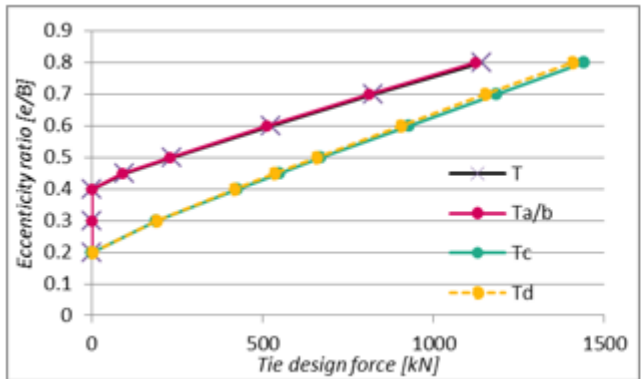
**Pielietots visiem 120
gadījumiem**

Bīdes sienu darbības novērtēšana

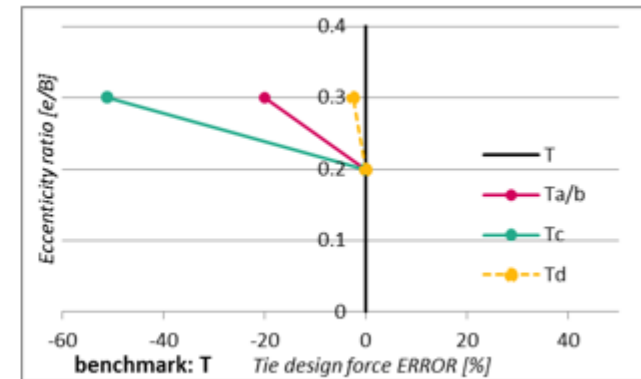
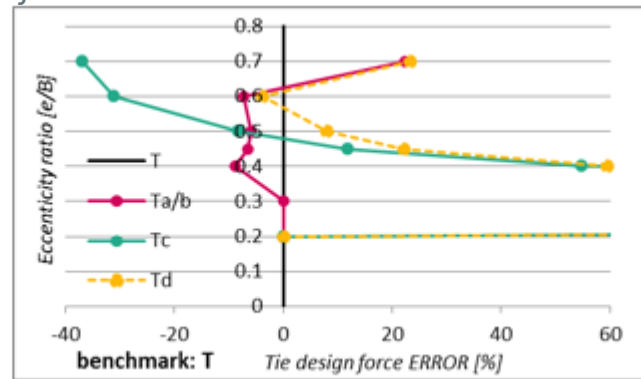
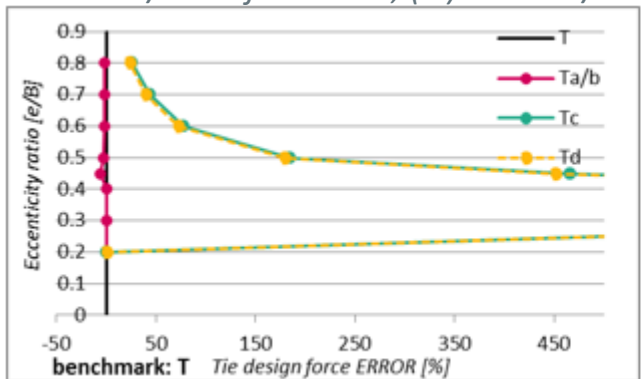
Wall	gravit. load	ecc. ratio	lat. load [kN]	overturning?	qu exceeded?	Mu exceeded?	Ta [kN]	Tb [kN]	err. Ta/b [%]	Tc [kN]	err. Tc [%]	Td [kN]	err. Td [%]	T [kN]	
3mx0.2mx3m	600kN/m	0.2	360	NO	NO	NO	0	0	0	0	0	0	0	0	
		0.3	540	NO	NO	NO	0	0	0	189	1000	188	1000	0	
		0.4	720	NO	NO	NO	0	0	0	427	1000	417	1000	0	
		0.45	810	NO	YES	NO	91	91	-6	549	466	535	452	97	
		0.5	900	YES	NA	YES	229	229	-3	672	185	659	179	236	
		0.6	1080	YES	NA	YES	513	513	-2	929	77	905	73	524	
		0.7	1260	YES	NA	YES	811	811	-2	1185	43	1152	39	826	
		0.8	1440	YES	NA	YES	1123	1123	-2	1441	26	1409	23	1142	
	1200kN/m	0.2	720	NO	NO	NO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.3	1080	NO	NO	NO	0	0	0	379	1000	376	1000	0	
		0.4	1440	NO	YES	YES	503	503	-9	854	55	880	59	552	
		0.45	1620	NO	YES	YES	918	918	-7	1099	12	1199	22	982	
		0.5	1800	YES	NA	YES	1375	1375	-6	1343	-8	1580	8	1463	
		0.6	2160	YES	NA	YES	2498	2498	-7	1857	-31	2592	-4	2692	
		0.7	2520	YES	NA	YES	4595	4595	22	2369	-37	4633	23	3758	
		0.8	2880	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
	1800kN/m	0.2	1080	NO	NO	NO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.3	1620	NO	YES	YES	930	930	-20	568	-51	1134	-2	1163	
		0.4	2160	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
		0.45	2430	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
		0.5	2700	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
		0.6	3240	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
		0.7	3780	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
		0.8	4320	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	

3mx0.2mx3m siena: saites spēki

Bīdes sienu darbības novērtēšana



3mx0.2mx3m sienu salīdzinošās diagrammas – sasaistes konstrukcijas spēka novērtējuma kļūdas: (i) 600kN/m līnijas slodze; (ii) 1200kN/m līnijas slodze; (iii) 1800kN/m līnijas slodze



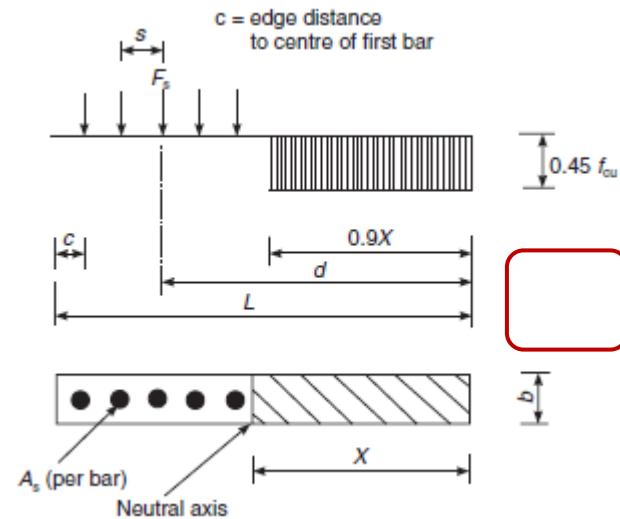
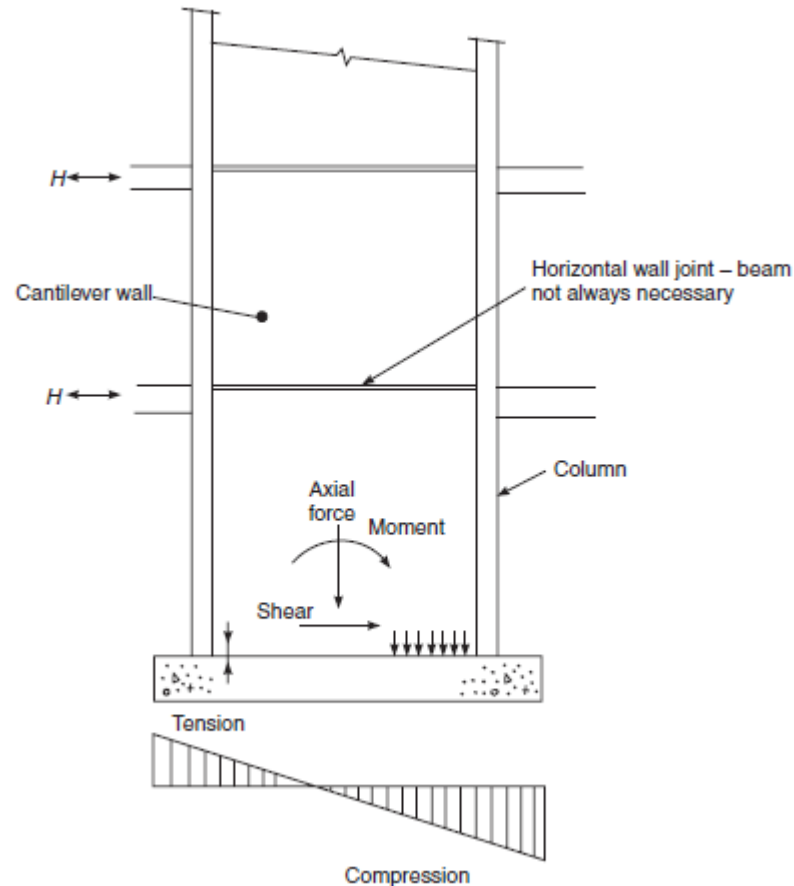
3mx0.2mx3m salīdzinošās diagrammas – sasaistes konstrukcijas spēka novērtējuma kļūdas : (i) 600kN/m līnijas slodze; (ii) 1200kN/m līnijas slodze; (iii) 1800kN/m līnijas slodze

Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Savienojumu projektēšanas pieejas – vertikālais spriegumu sadalījums
 - Salīdzinošā pētījuma secinājumi:
 - ULS projektēšanas pieejas (a un b) nodrošina tādus pašus rezultātus un vislabāko strukturālās uzvedības novērtējumu
 - Nelineārais dizains (c) pārvērtē savienojuma konstrukcijas spēkus elastīgajā diapazonā un, tā kā plastiskums sāk regulēt sekcijas uzvedību, ļoti zemu novērtē savienojuma konstrukcijas spēkus.
 - Nelineārā konstrukcija ar plastisko robežspēku (d) pārvērtē savienojuma konstrukcijas spēkus elastīgajā diapazonā, bet, plastiskumam izplatoties, nodrošina ļoti labus sasaistes konstrukcijas spēku aprēķinus. Šī procedūra ir ļoti prasīga analīzes laika un pūļu ziņā, lai sagatavotu strukturālo modeli
 - **ULS dizaina pieejas ir labākais risinājums ikdienas plānošanai, un tām ir nepieciešams minimāls ievades un analīzes laiks.**

Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Liekšana ar aksiālo spēku – sienu projektēšanas principi

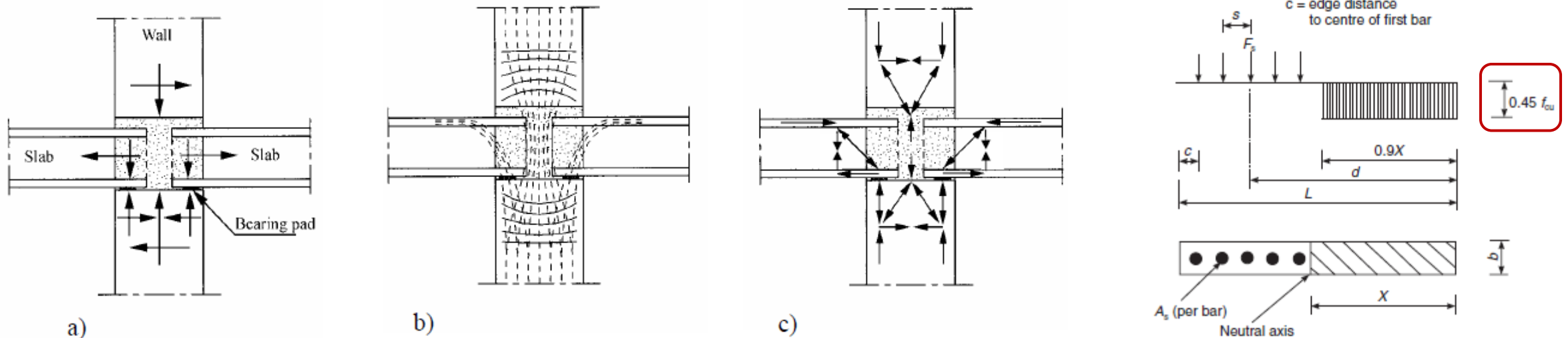


Konsoles sienu projektēšanas principi (Saliekamās dzelzbetona konstrukcijas – K.S. Elliott)

Saliekamo konsoles sienu analīze (Saliekamās dzelzbetona konstrukcijas – K.S. Elliott)

Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Liekšana ar aksiālo spēku – sienu projektēšanas principi



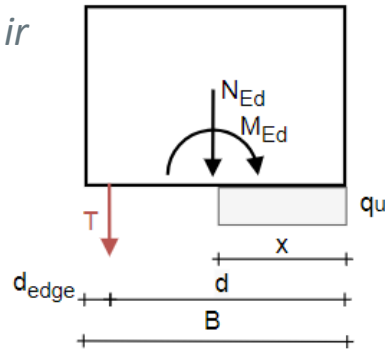
Plātnes un sienas savienojums, a) spēki, b) vienkāršota sprieguma analīze, c) statņu un saišu modelis (fib 43)

Konsoles sienu projektēšanas principi (Saliekamās dzelzbetona konstrukcijas – K.S. Elliott)

Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Liekšana ar aksiālo spēku – sienu projektēšanas principi
 - Dizaina pieeja – matemātiskais modelis

Sākumpunkta pieņēmums: posms ir pakļauts plastiskai vertikālo spriegumu sadalei I gadījums



$$q_u = \text{percent} \cdot f_{cd} \cdot t^*$$

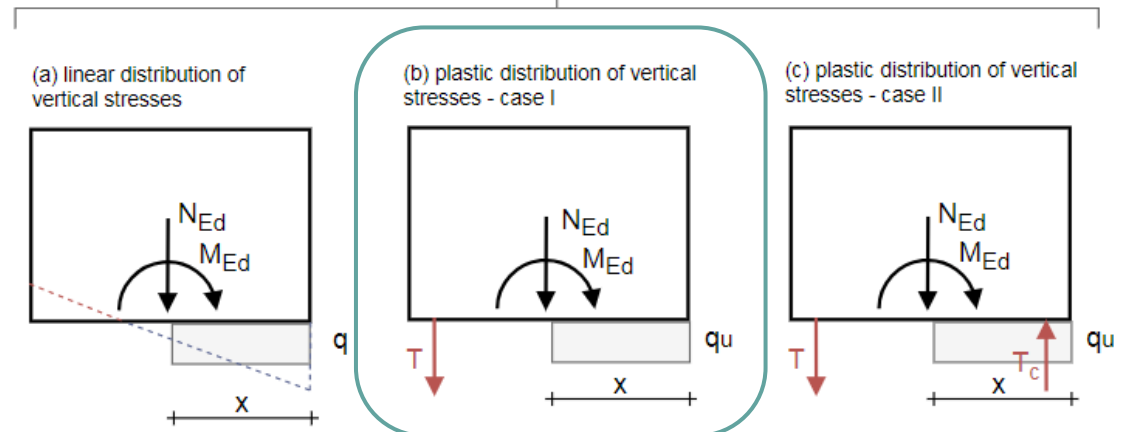
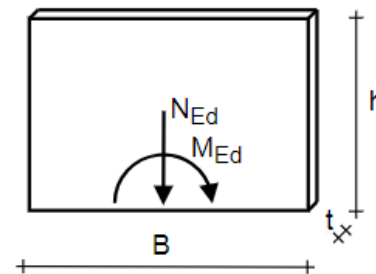
$$T + N_{Ed} - q_u \cdot x = 0$$

$$M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e - q_u \cdot x \cdot \left(d - \frac{x}{2}\right) = 0$$

$$T = q_u \cdot d \cdot \left(1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \frac{M_{Ed} + N_{Ed} \cdot (B/2 - d_{edge})}{q_u \cdot d^2}}\right) - N_{Ed}$$

Pieņēmums apstiprināts, ja: skat. Att.

$$\begin{cases} 1 - 2 \cdot \frac{M_{Ed} + N_{Ed} \cdot (B/2 - d_{edge})}{q_u \cdot d^2} \geq 0 \\ x > 0 \\ T > 0 \end{cases}$$

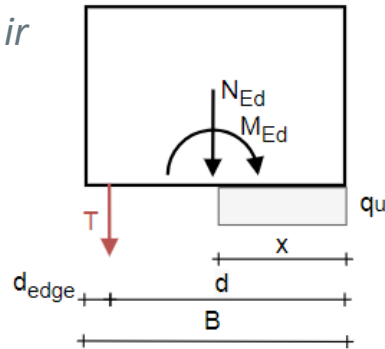


(b) Vertikālo spriegumu plastisks sadalījums — I gadījums

Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Liekšana ar aksiālo spēku – sienu projektēšanas principi
 - Dizaina pieeja – matemātiskais modelis

Sākumpunkta pieņēmums: posms ir pakļauts plastiskai vertikālo spriegumu sadalei – I gadījums

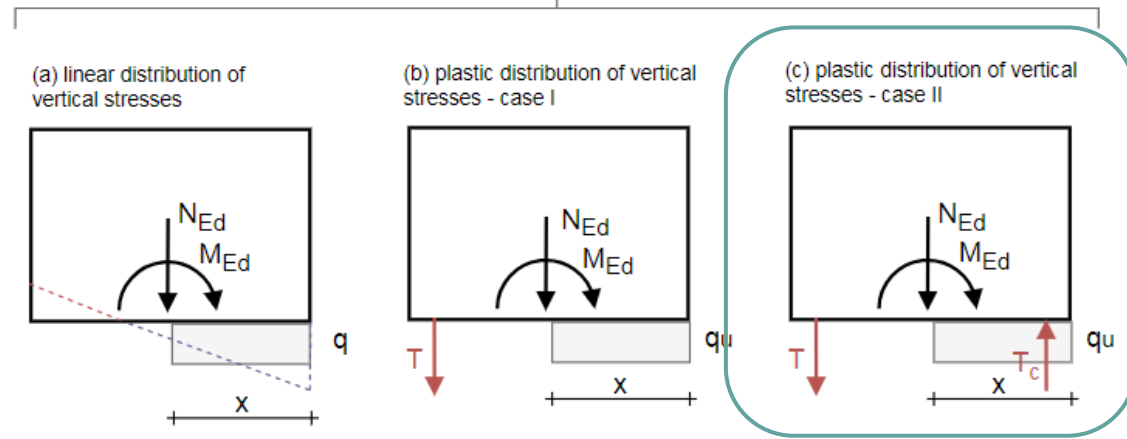
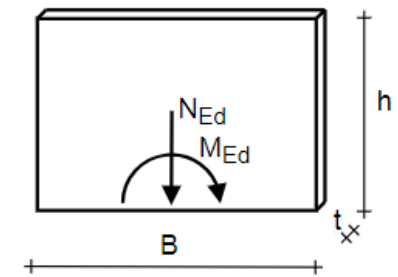


$$q_u = \text{percent} \cdot f_{cd} \cdot t^*$$

$$T + N_{Ed} - q_u \cdot x = 0$$

$$M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e - q_u \cdot x \cdot \left(d - \frac{x}{2}\right) = 0$$

$$T = q_u \cdot d \cdot \left(1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \frac{M_{Ed} + N_{Ed} \cdot (B/2 - d_{edge})}{q_u \cdot d^2}}\right) - N_{Ed}$$



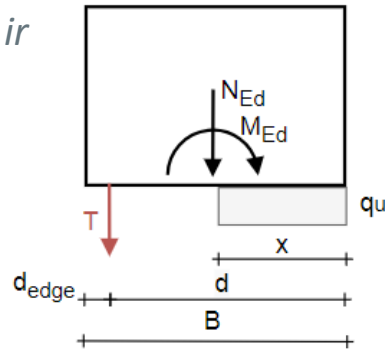
Pieņēmums nav apstiprināts, ja: $1 - 2 \cdot \frac{M_{Ed} + N_{Ed} \cdot (B/2 - d_{edge})}{q_u \cdot d^2} < 0$

(c) Vertikālo spriegumu plastiskais sadalījums - II gadījums

Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Liekšana ar aksiālo spēku – sienu projektēšanas principi
 - Dizaina pieeja – matemātiskais modelis

Sākumpunkta pieņēmums: posms ir pakļauts plastiskai vertikālo spriegumu sadalei – I gadījums



$$q_u = \text{percent} \cdot f_{cd} \cdot t^*$$

$$T + N_{Ed} - q_u \cdot x = 0$$

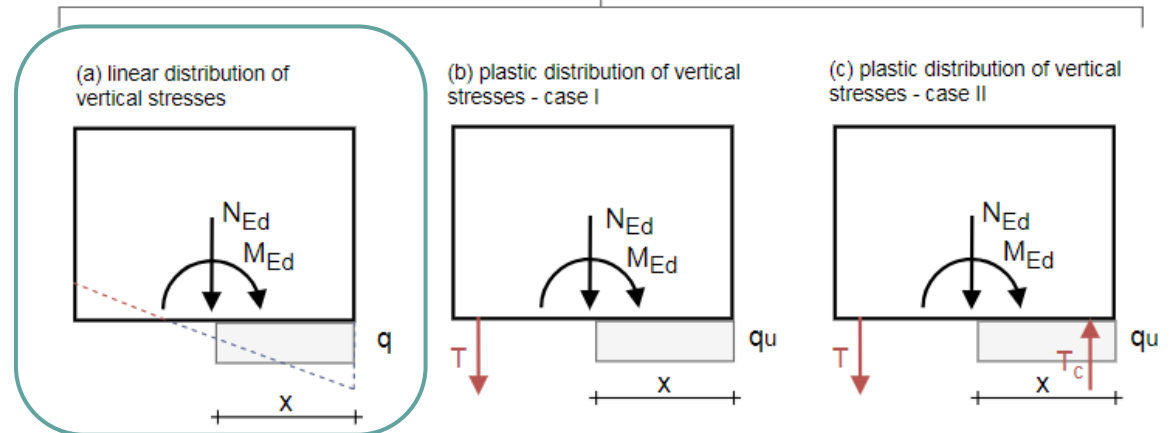
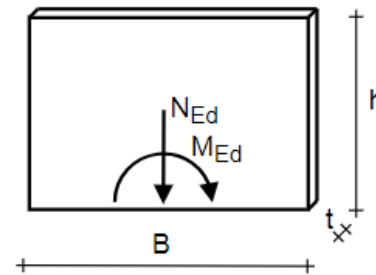
$$M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e - q_u \cdot x \cdot \left(d - \frac{x}{2}\right) = 0$$

$$T = q_u \cdot d \cdot \left(1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \frac{M_{Ed} + N_{Ed} \cdot (B/2 - d_{edge})}{q_u \cdot d^2}}\right) - N_{Ed}$$

Pieņēmums nav apstiprināts, ja:

$$1 - 2 \cdot \frac{M_{Ed} + N_{Ed} \cdot (B/2 - d_{edge})}{q_u \cdot d^2} \geq 0$$

$$x < 0 \text{ or /and } T < 0$$



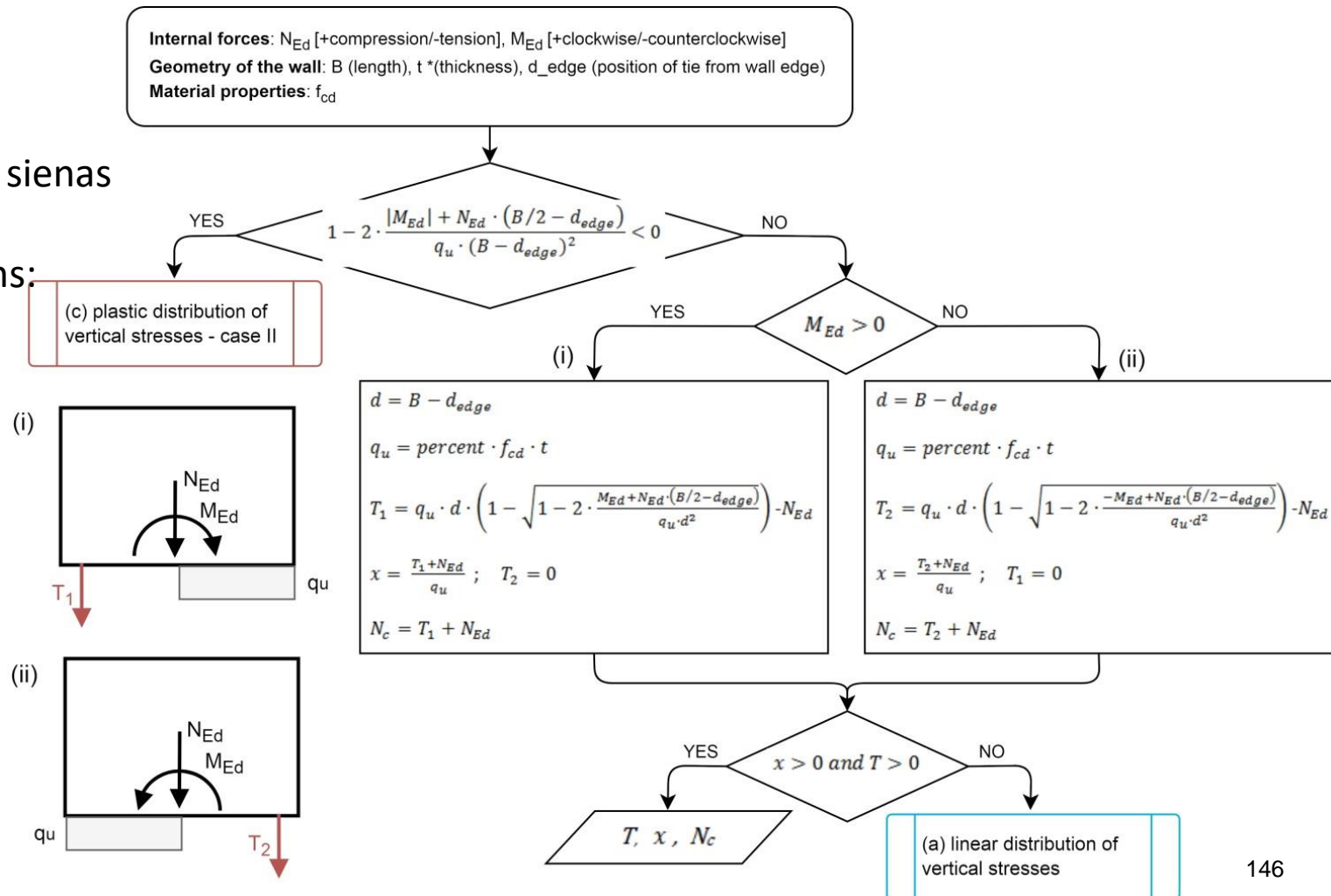
(a) Vertikālo spriegumu lineārs sadalījums

Bīdes sienu darbības novērtēšana

Liekšana ar aksiālo spēku – sienu projektēšanas principi

Dizaina pieeja – matemātiskais modelis

- Gadījums (a) vajadzīgs, lai novērtētu:
 - Saites sienām zem nospieguma
 - Izliekuma pārbaude, vai nav saspiestas sienas
- Gadījums (b) “mācību grāmatas” gadījums:
 - Sietu dizains
 - Saspiešana, kas rodas betonā
- Gadījums (c): PĀRPROJEKTĒŠANA



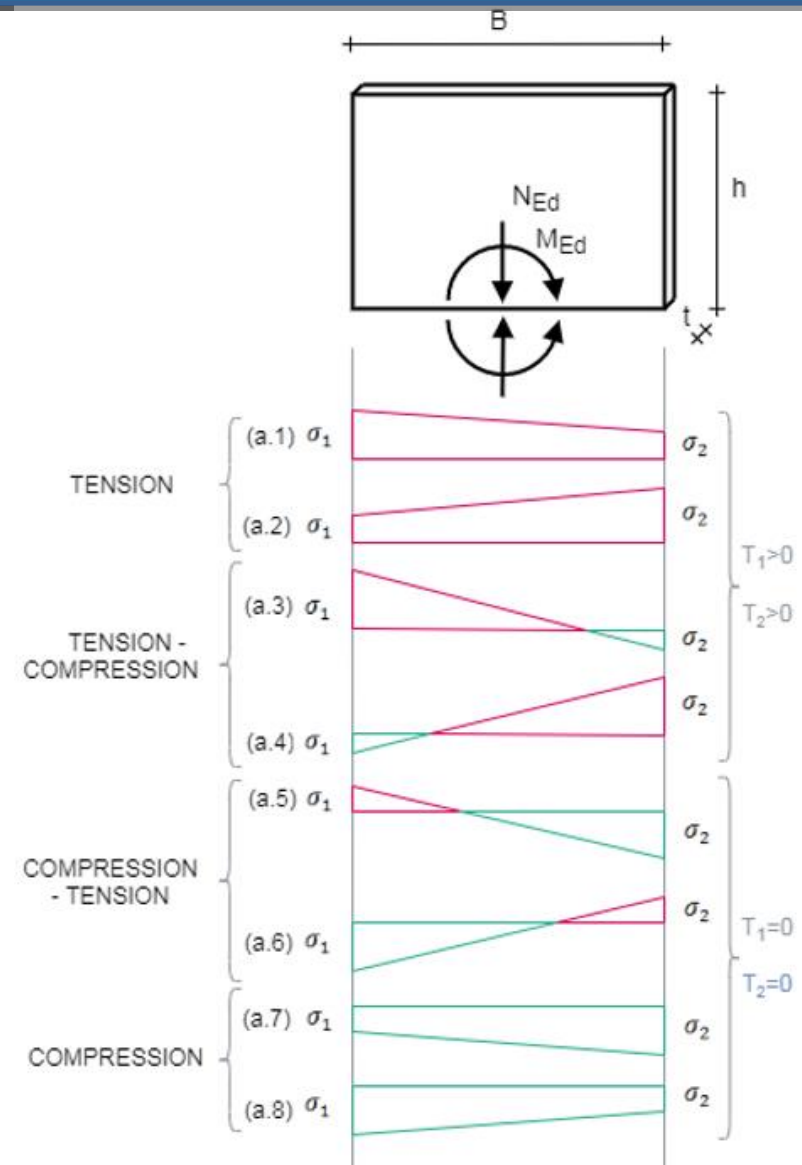
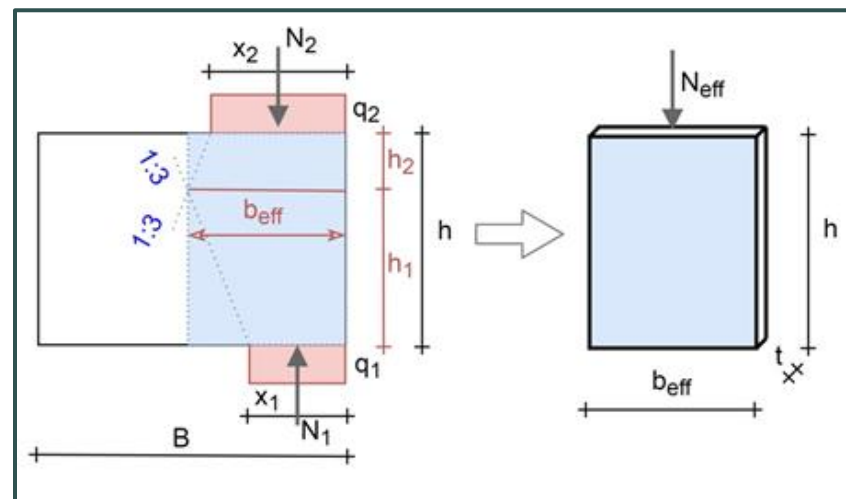
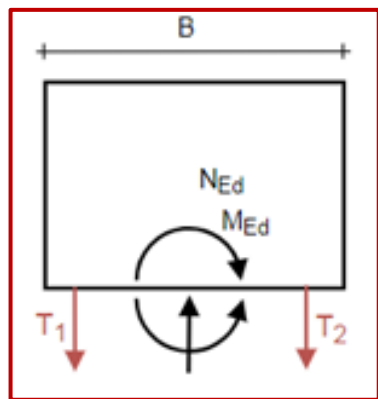
Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Liekšana ar aksiālo spēku

(a) vertikālo spriegumu lineārs sadalījums

- Visa sekcija ir pakļauta spriedzei (a.1) un (a.2)
- Spriegots un saspiests betona posms (a.3) un (a.4)

- Dzelzsbetona sekcija zem saspiešanas un spriegojuma (a.5) un (a.6)
- Visa sadaļa saspiesta (a.7) un (a.8)

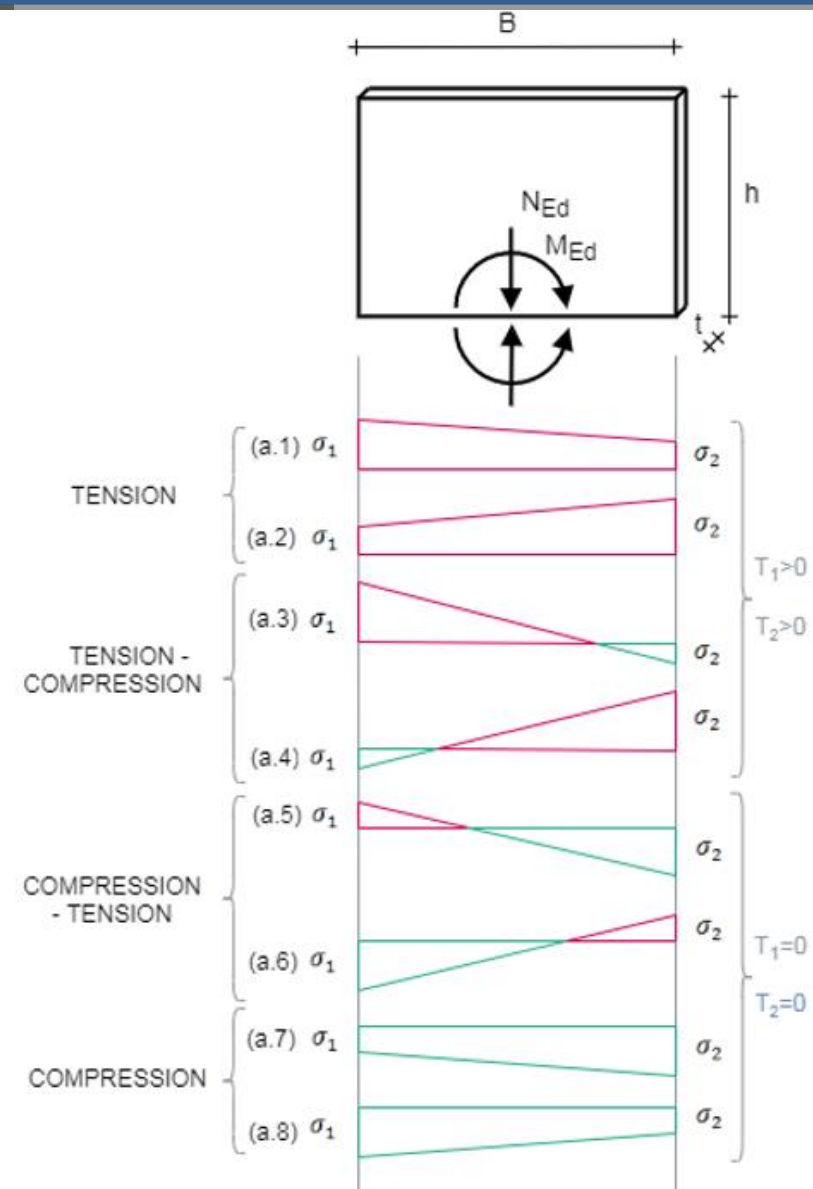
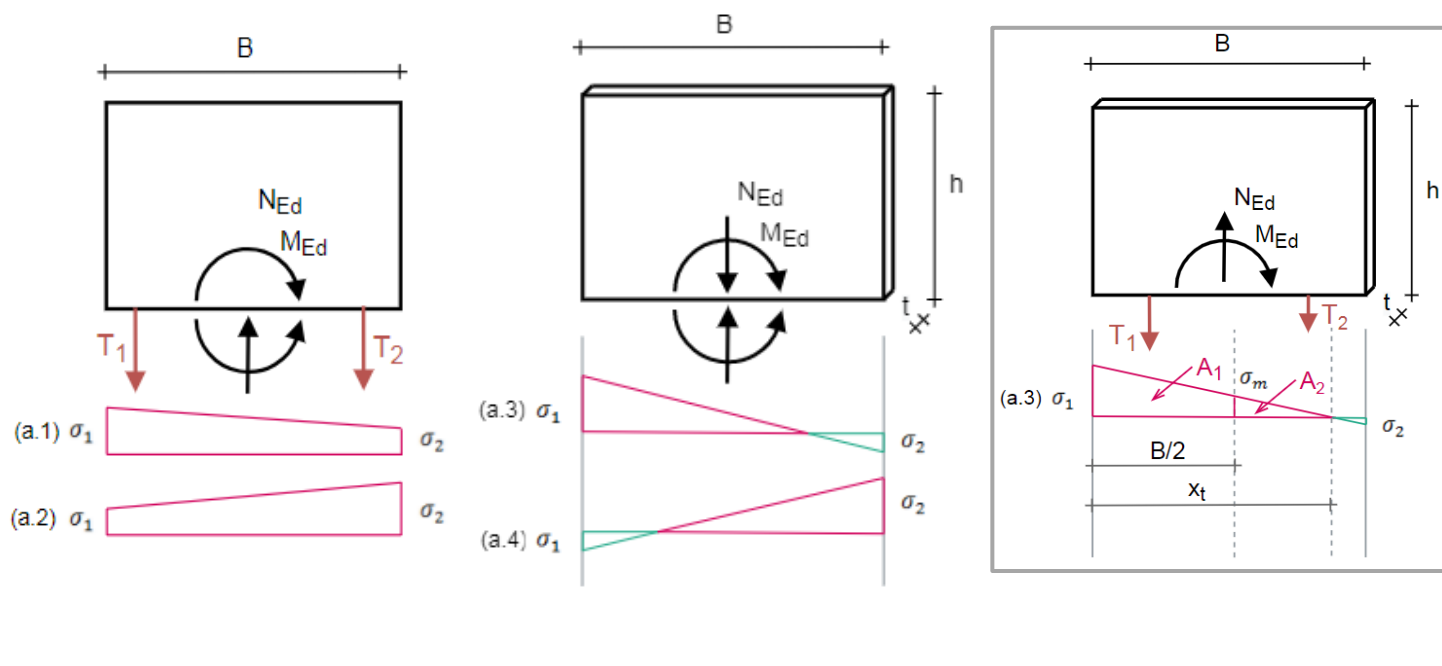


Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Liekšana ar aksiālo spēku

(a) vertikālo spriegumu lineārs sadalījums

- Visa sekcija ir pakļauta spriedzei (a.1) un (a.2)
- Spriegots un saspiegts betona posms (a.3) un (a.4)

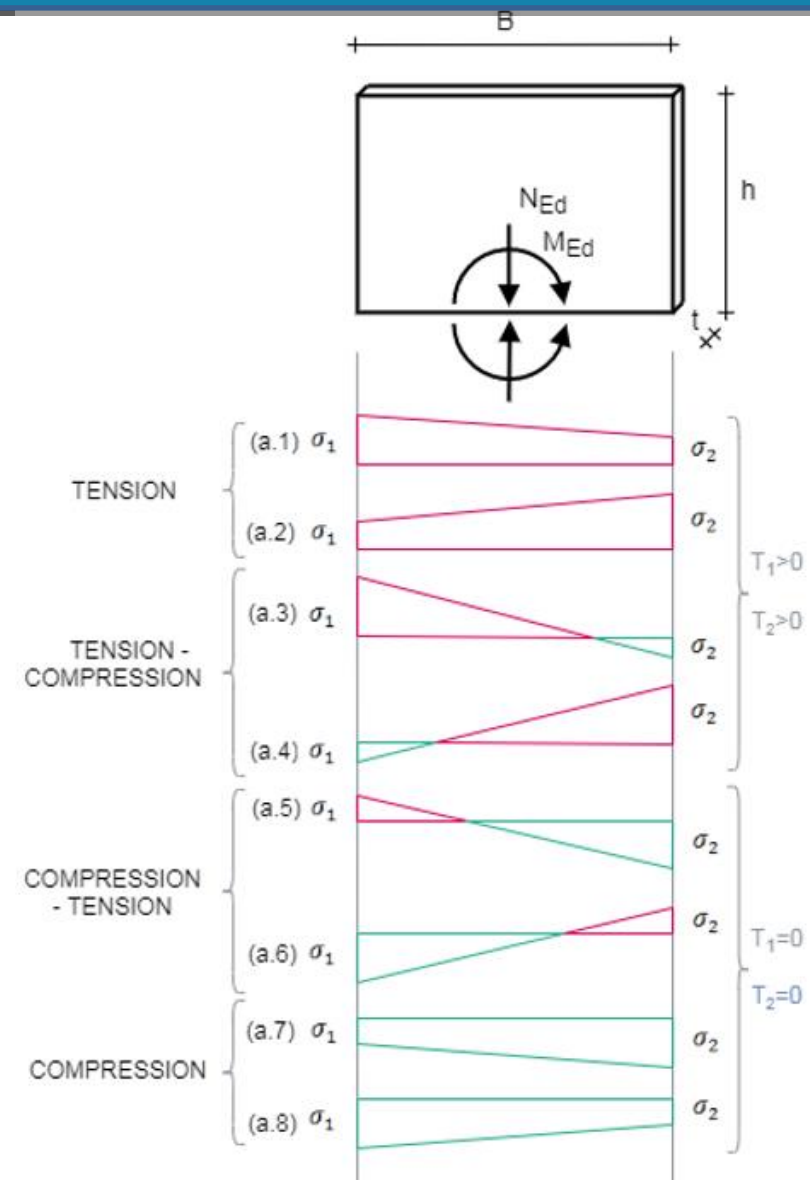
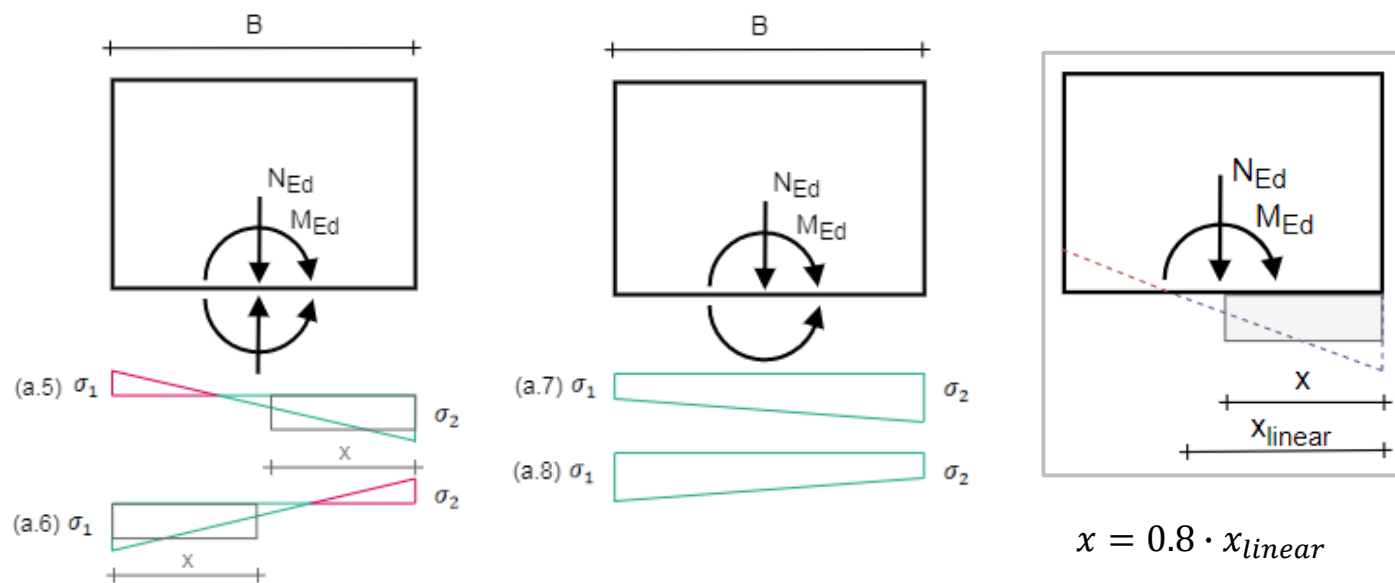


Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Liekšana ar aksiālo spēku

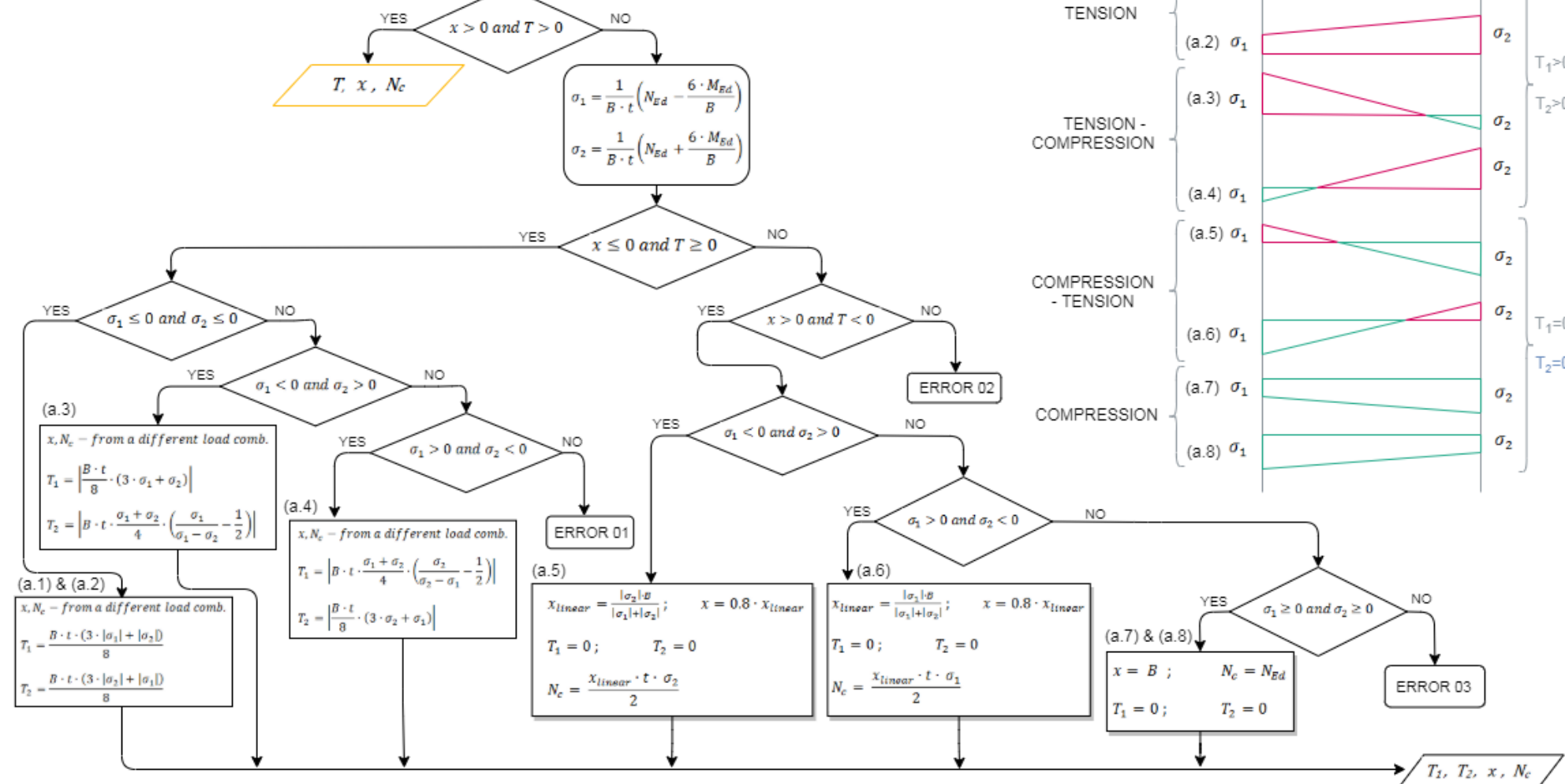
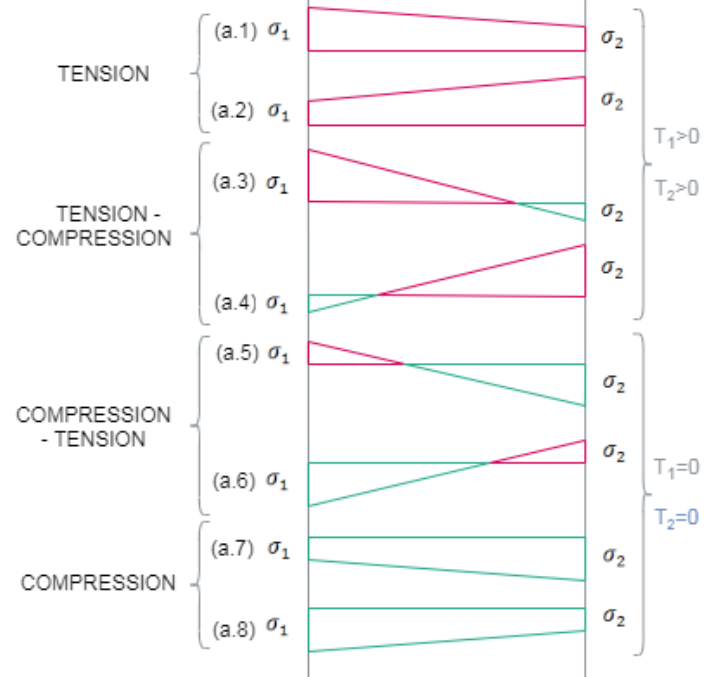
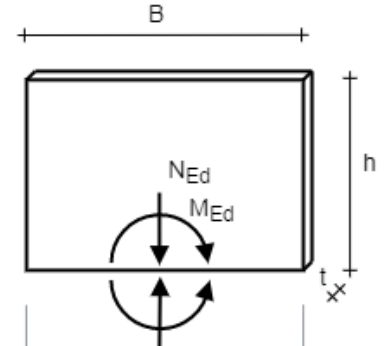
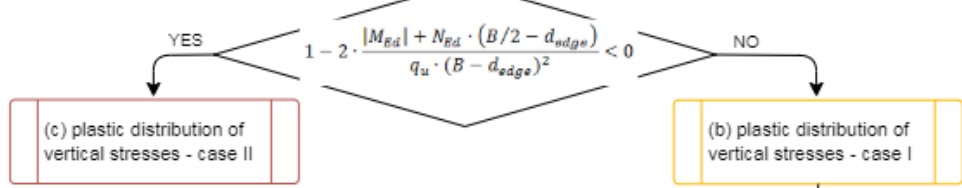
- (a) vertikālo spriegumu lineārs sadalījums

- Dzelzsbetona sekcija zem saspiešanas un spriegojuma (a.5) un (a.6)
- Visa sadaļa saspiesta (a.7) un (a.8)



N-M linear

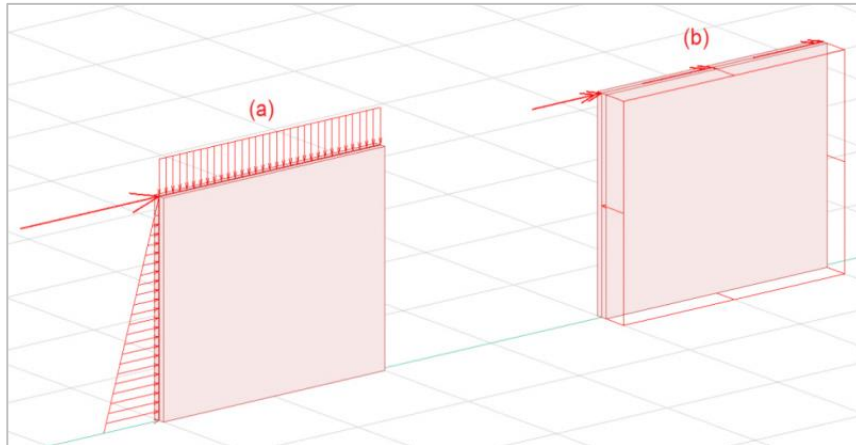
Internal forces: N_{Ed} [+compression/-tension], M_{Ed} [+clockwise/-counterclockwise]
 Geometry of the wall: B (length), t (thickness), d_{edge} (position of tie from wall edge)
 Material properties: f_{td}



Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Liekšana ar aksiālo spēku:
efektīvais sienas platums

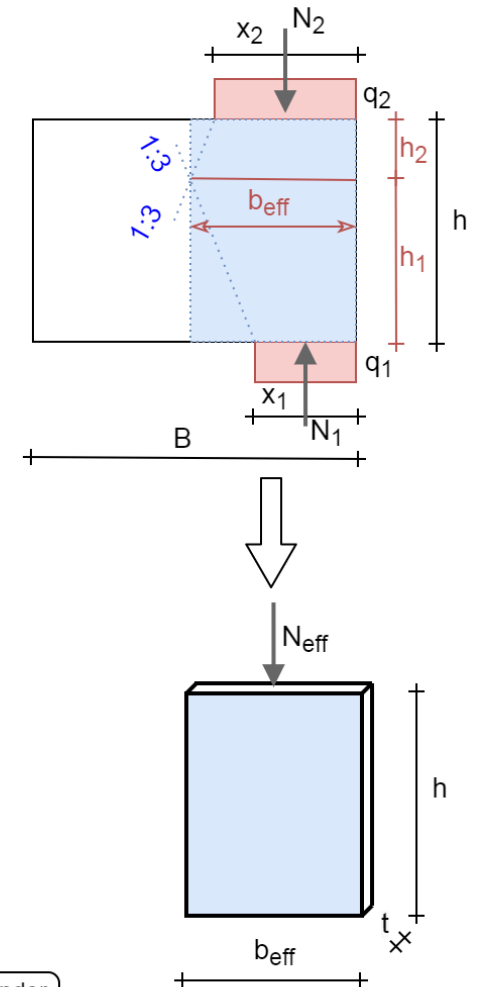
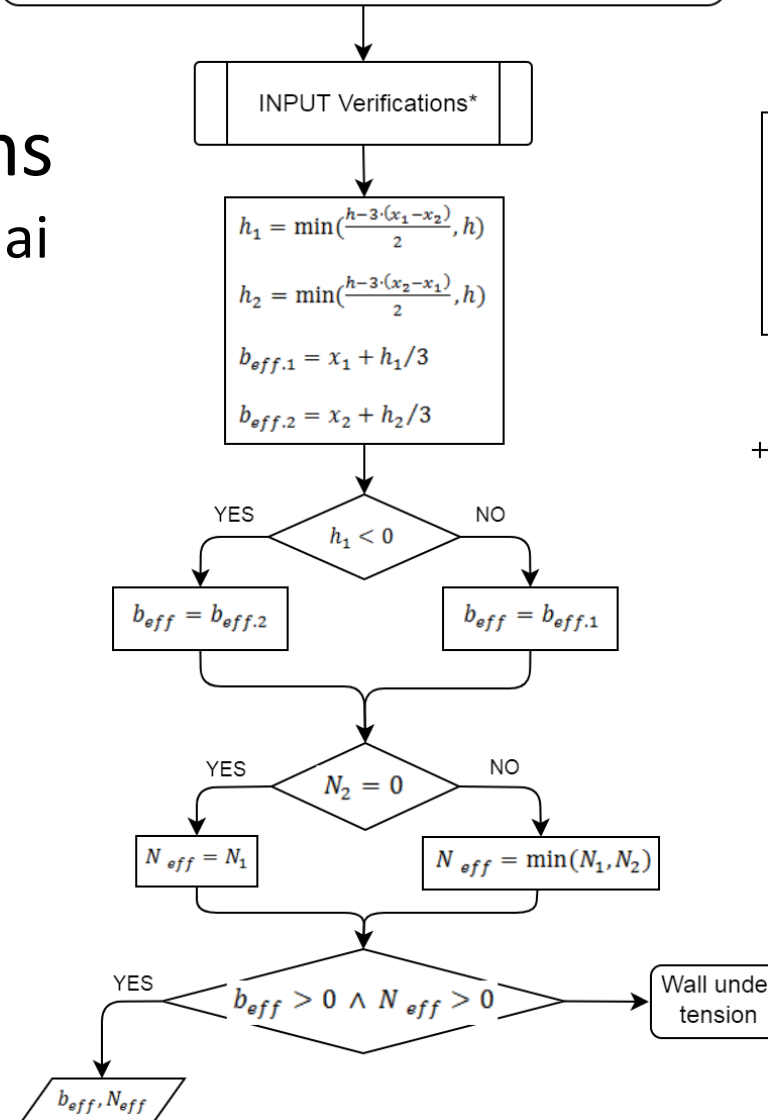
- Ievade ārpusplaknes N-M projektēšanai
- + ekscentriskums
- Lieces pārbaude



Internal forces: N_c [compressive force - resultant over compressed area $t \cdot x$]

Geometry of the wall: B (length), t *(thickness), h (height)

Length of compressed areas: x_1, x_2

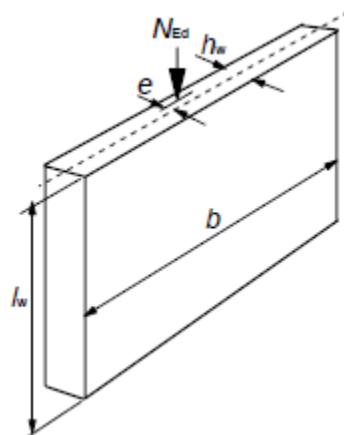


Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Liekšana ar aksiālo spēku:
efektīvais sienas platums
- Izliekuma garums sienām

$\lambda_0 = l_0 / i$ – slenderness ratio

$$l_0 = \beta \cdot l_w$$



Tā kā nav citas atsauces, tiek uzskatīts, ka efektīvam garuma novērtējumam var izmantot EC2 PLIENA UN VIEGLI DZELSBETONA KONSTRUKCIJAS 12. sadaļas ieteikumus.

kur: l_w biedra brīvais augstums

β koeficients, kas ir atkarīgs no atbalsta nosacījumiem:

kolonnām $\beta = 1$ kopumā jāpieņem;

konsoles kolonnām vai sienām $\beta = 2$;

pārējām sienām β -vērtības dotas 12.1.tabulā.

Table 12.1: Values of β for different edge conditions

Lateral restraint	Sketch	Expression	Factor β																		
along two edges			$\beta = 1,0$ for any ratio of l_w/b																		
Along three edges		$\beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{l_w}{3b}\right)^2}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>b/l_w</th> <th>β</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,2</td><td>0,26</td></tr> <tr><td>0,4</td><td>0,59</td></tr> <tr><td>0,6</td><td>0,76</td></tr> <tr><td>0,8</td><td>0,85</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>0,90</td></tr> <tr><td>1,5</td><td>0,95</td></tr> <tr><td>2,0</td><td>0,97</td></tr> <tr><td>5,0</td><td>1,00</td></tr> </tbody> </table>	b/l_w	β	0,2	0,26	0,4	0,59	0,6	0,76	0,8	0,85	1,0	0,90	1,5	0,95	2,0	0,97	5,0	1,00
b/l_w	β																				
0,2	0,26																				
0,4	0,59																				
0,6	0,76																				
0,8	0,85																				
1,0	0,90																				
1,5	0,95																				
2,0	0,97																				
5,0	1,00																				
Along four edges		<p>If $b \geq l_w$</p> $\beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{l_w}{b}\right)^2}$ <p>If $b < l_w$</p> $\beta = \frac{b}{2l_w}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>b/l_w</th> <th>β</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,2</td><td>0,10</td></tr> <tr><td>0,4</td><td>0,20</td></tr> <tr><td>0,6</td><td>0,30</td></tr> <tr><td>0,8</td><td>0,40</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>1,5</td><td>0,69</td></tr> <tr><td>2,0</td><td>0,80</td></tr> <tr><td>5,0</td><td>0,96</td></tr> </tbody> </table>	b/l_w	β	0,2	0,10	0,4	0,20	0,6	0,30	0,8	0,40	1,0	0,50	1,5	0,69	2,0	0,80	5,0	0,96
b/l_w	β																				
0,2	0,10																				
0,4	0,20																				
0,6	0,30																				
0,8	0,40																				
1,0	0,50																				
1,5	0,69																				
2,0	0,80																				
5,0	0,96																				

(A) - Floor slab (B) - Free edge (C) - Transverse wall

Note: The information in Table 12.1 assumes that the wall has no openings with a height exceeding 1/3 of the wall height l_w or with an area exceeding 1/10 of the wall area. In walls laterally restrained along 3 or 4 sides with openings exceeding these limits, the parts between the openings should be considered as laterally restrained along 2 sides only and be designed accordingly.

Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Liekšana ar aksiālo spēku: lokālie 2.kārtas efekti

- EN 1992-1-1

- 5.8.2.(6) Otrās kārtas efektus var ignorēt, ja mazāk par 10%
- 5.8.3 Vienkāršoti kritēriji otrās kārtas efektiem

$\lambda_0 = l_0 / i$ – slenderness ratio

$$\lambda_{lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C / \sqrt{n}$$

$A = 1 / (1 + 0.2 \varphi_{ef})$ if φ_{ef} is not know, $A=0.7$ may be used

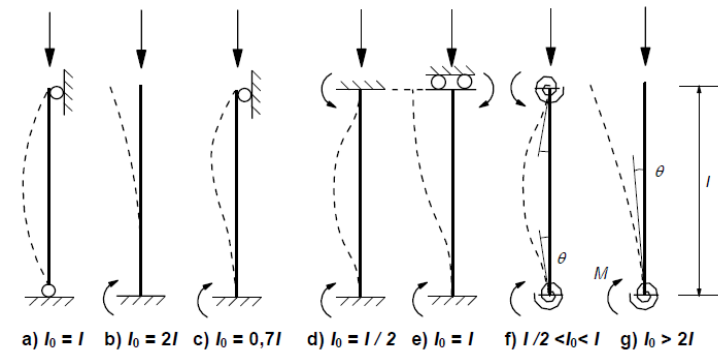
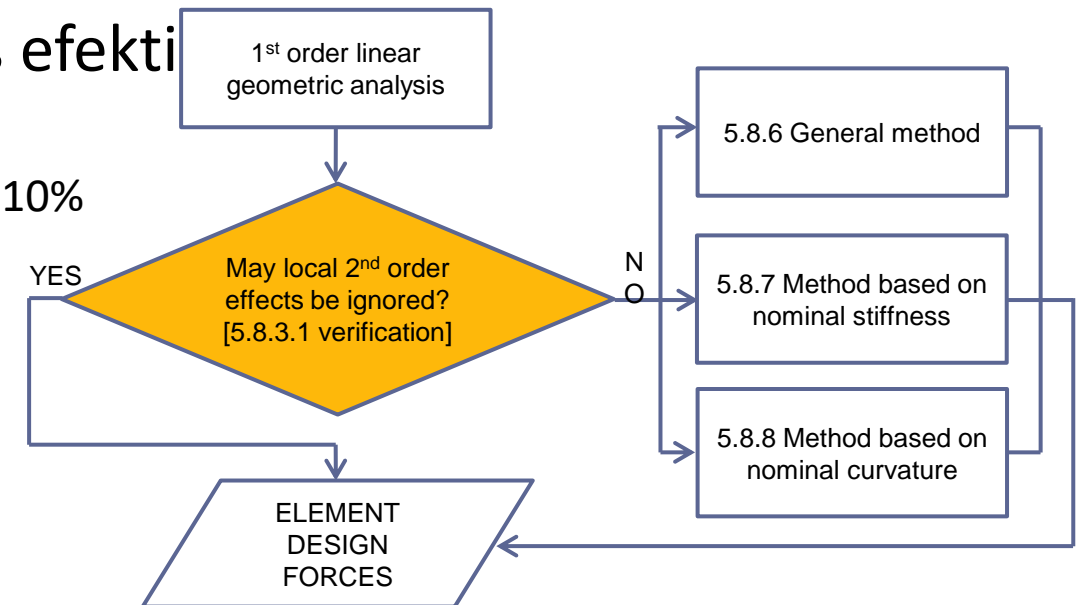
$B = \sqrt{1 + 2\omega}$ if ω is not know, $B=1.1$ may be used

$C = 1.7 - r_m$ if r_m is not know, $C=0.7$ may be used

φ_{ef} effective creep ratio

$\omega = A_s f_{yd} / A_c f_{cd}$ mechanical reinforcement ratio

$n = N_{Ed} / A_c f_{cd}$ relative normal force



Dažādu izliekšanās režīmu un atbilstošo efektīvo garumu piemēri izolētiem elementiem acc. uz 3.5. attēlu EN 1992-1-1

Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Liekšana ar aksiālo spēku: lokālie 2.kārtas efekti

- EN 1992-1-1

- 5.8.7 Metode, kuras pamatā ir nominālā stingrība

- Tiek aprēķināta nominālā stingrība

$$EI = K_c E_{cd} I_c + K_s E_s I_s$$

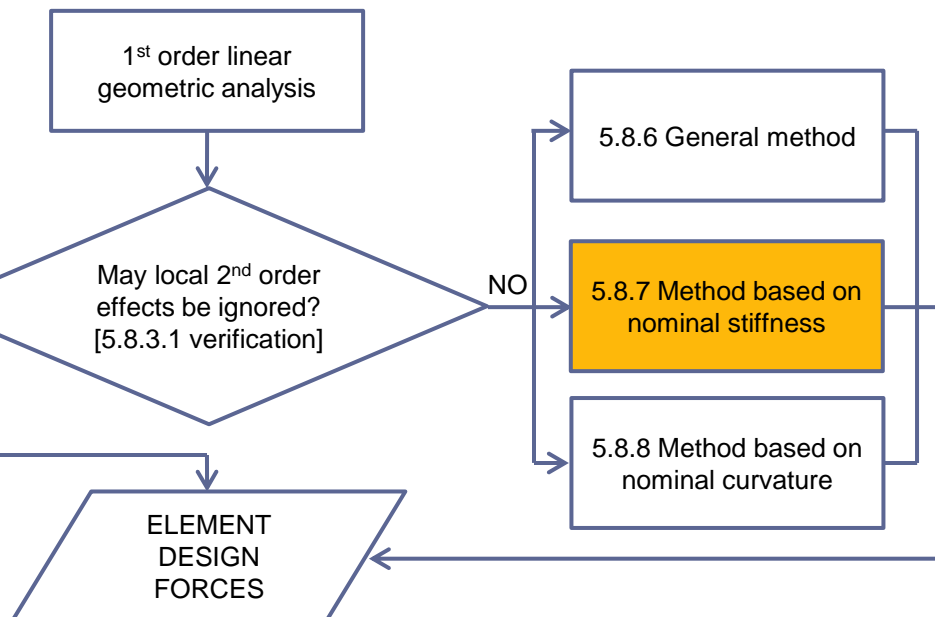
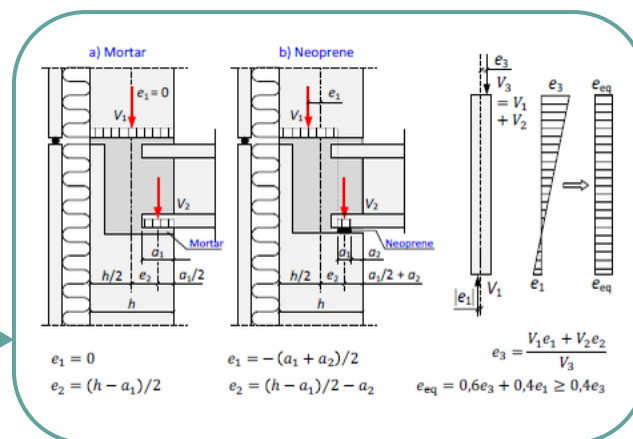
K_c faktors plaisāšanas, šļūdes utt. ietekmei.

K_s stiegrojuma izmantošanas koeficients

- Izliekuma slodze, pamatojoties uz nominālo stingrību N_B

- Momenta palielinājuma koeficients

$$M_{Ed} = M_{0Ed} \left[1 + \frac{\beta}{N_B/N_{Ed} - 1} \right]$$



Novērtējot slodžu ekscentricitāti, jāņem vērā M_{0Ed}

Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Liekšana ar aksiālo spēku: lokālie 2.kārtas efekti

- EN 1992-1-1
- 5.8.7 Metode, kuras pamatā ir nominālā stingrība

- Tiek aprēķināta nominālā stingrība

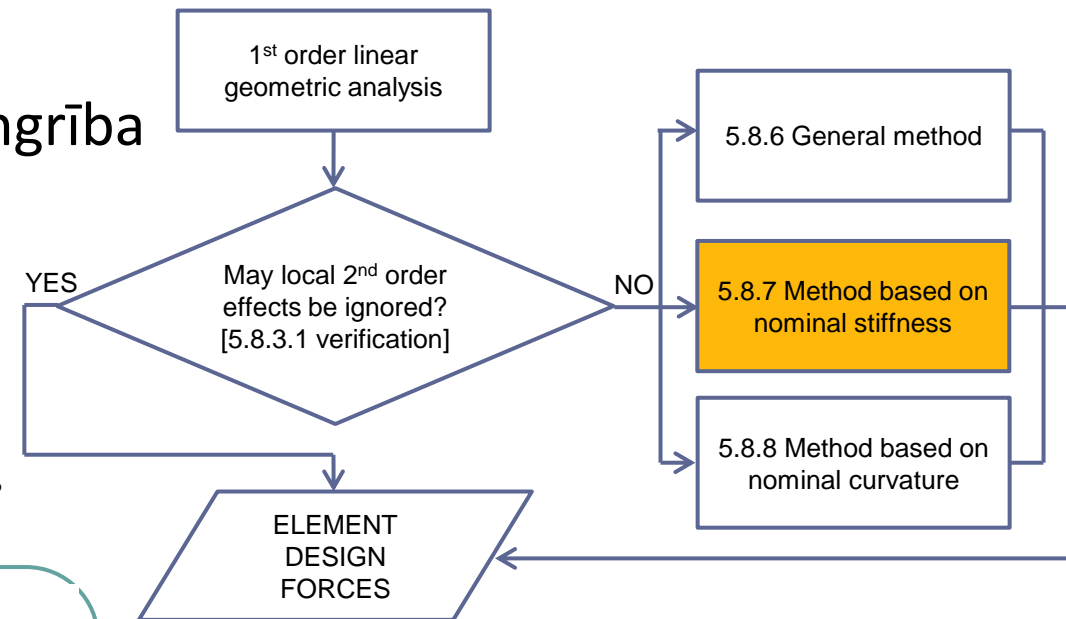
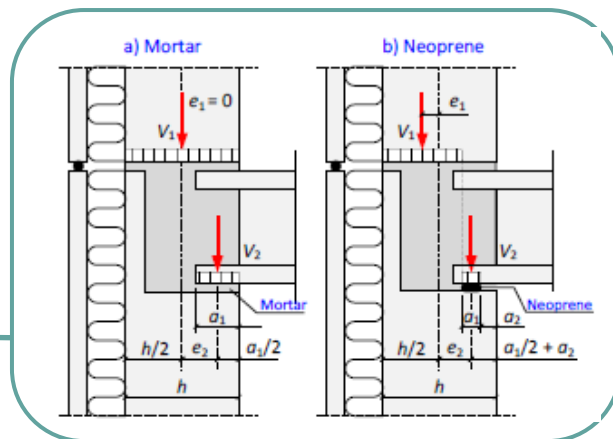
$$EI = K_c E_{cd} I_c + K_s E_s I_s$$

K_c faktors plaisāšanas, šļūdes utt. ietekmei

K_s stiegrojuma izmantošanas koeficients

- Izliekuma slodze, pamatojoties uz nominālo stingrību N_B
- Momenta palielinājuma koeficients

$$M_{Ed} = M_{0Ed} \left[1 + \frac{\beta}{N_B/N_{Ed} - 1} \right]$$

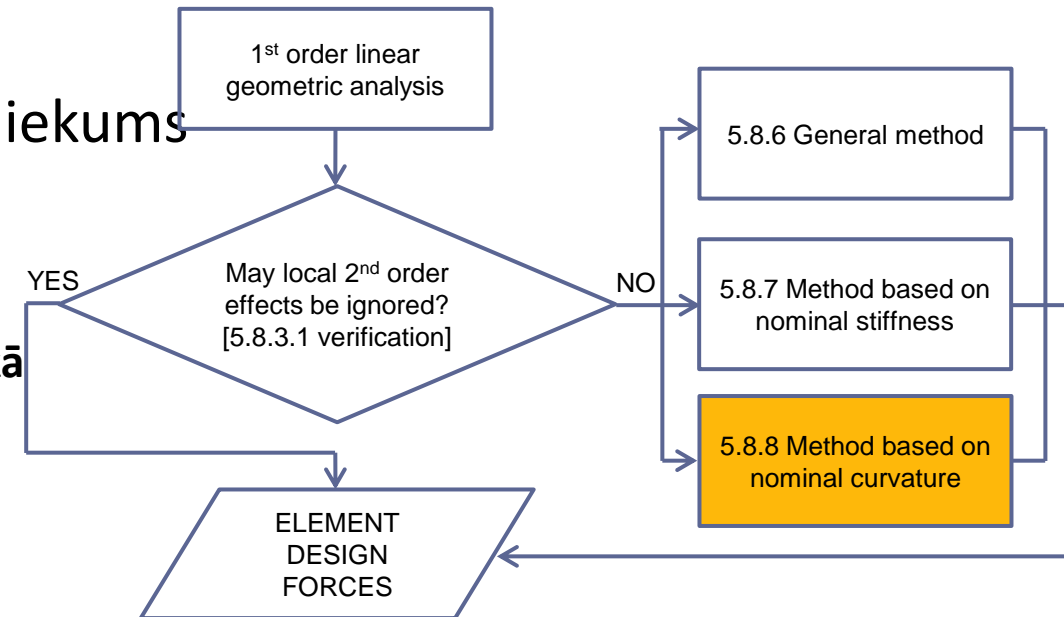


Novērtējot pirmās kārtas lieces momentu, jāņem vērā slodžu ekscentriskums

Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Liekšana ar aksiālo spēku: lokālie 2.kārtas efekti

- EN 1992-1-1
- 5.8.8 Metode, kuras pamatā ir nominālais izliekums
 - Nodrošina nominālo otrās kārtas momentu
 - Pamatojoties uz efektīvo garumu un aprēķinātais maksimālais izliekums
- Labāks bīdes sienu otrās kārtas efektu novērtēšanai nekā stinguma metode**

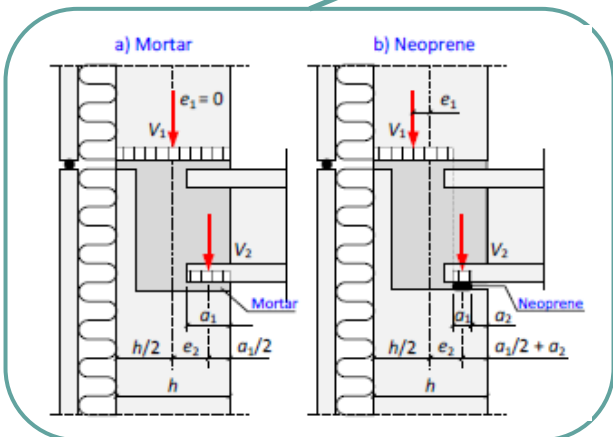


$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2$$

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2$$

Nominālais otrās kārtas moments

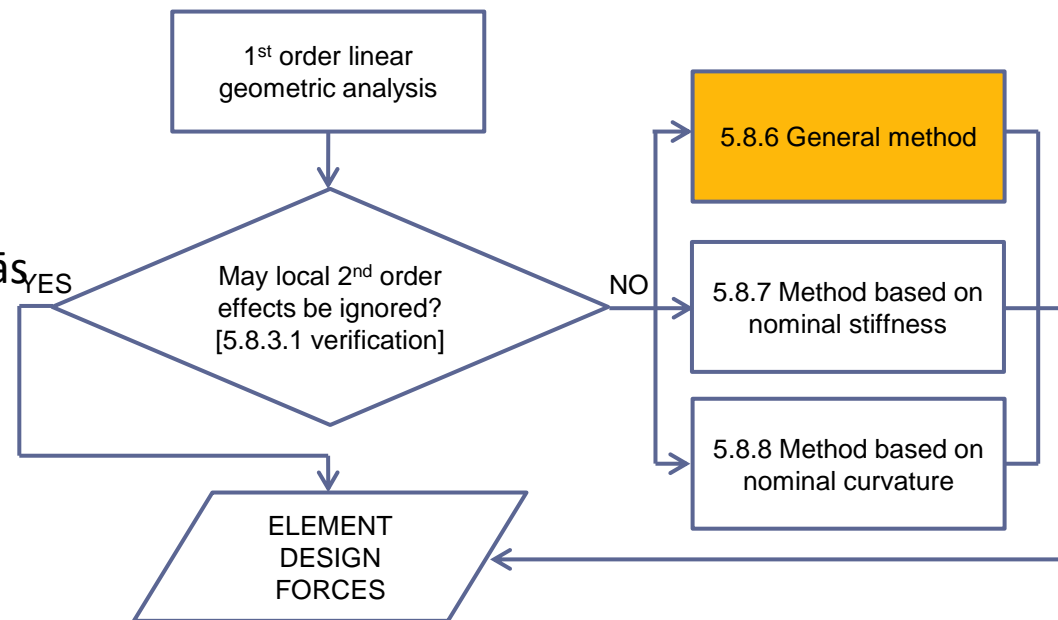
Novērtējot pirmās kārtas lieces momentu, jāņem vērā slodžu ekscentriskums



Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Liekšana ar aksiālo spēku: lokālie 2.kārtas efekti

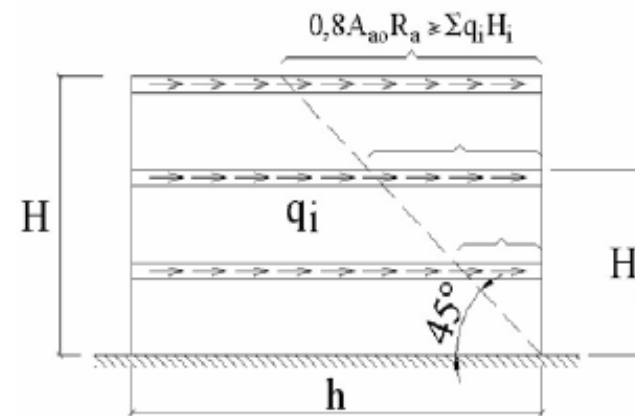
- EN 1992-1-1
- 5.8.6 Vispārīgā metode
 - Pamatojoties uz nelineāro analīzi
 - **Visprecīzākais**
 - Ir izmantots kalibrēšanai divās iepriekšējās vienkāršotājās metodes (stīvums un izliekums)
 - Piemērojams gan vienkāršām, gan armētām sienām
 - Vienkāršotas metodes, kas piemērojamas tikai pastiprinātām sienām



Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Sienu bīdes dizains

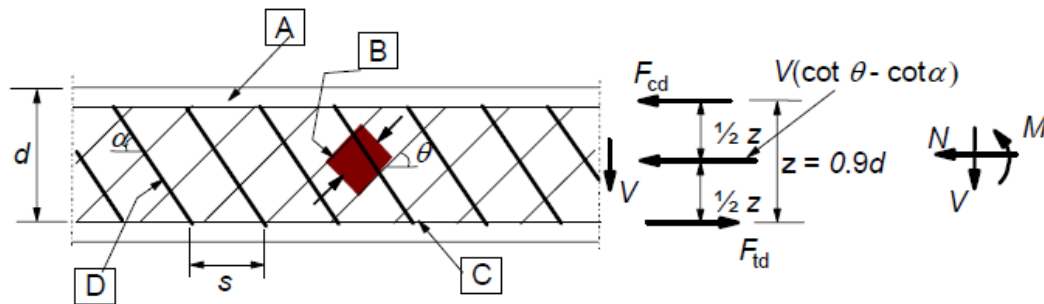
- Eirokodekss neparedz īpašu pieeju
- Rumānijas koda pieeja
 - Slīpu posmu pieeja
 - Sienu un savienojumu stiebrojumam/savienojumiem, ko šķērso iespējamā 45° slīpā plaisa, ir jāatbilst pieprasījumam
 - Ja tiek uzskatīts, ka dzelzsbetona un horizontālās stiebrojuma bīdes jauda $H/h > 1$ ir izturīga pret bīdēm
 - Ja $H/h < 1$ tiek ņemta vērā arī daļa no vertikālās stiebrojuma



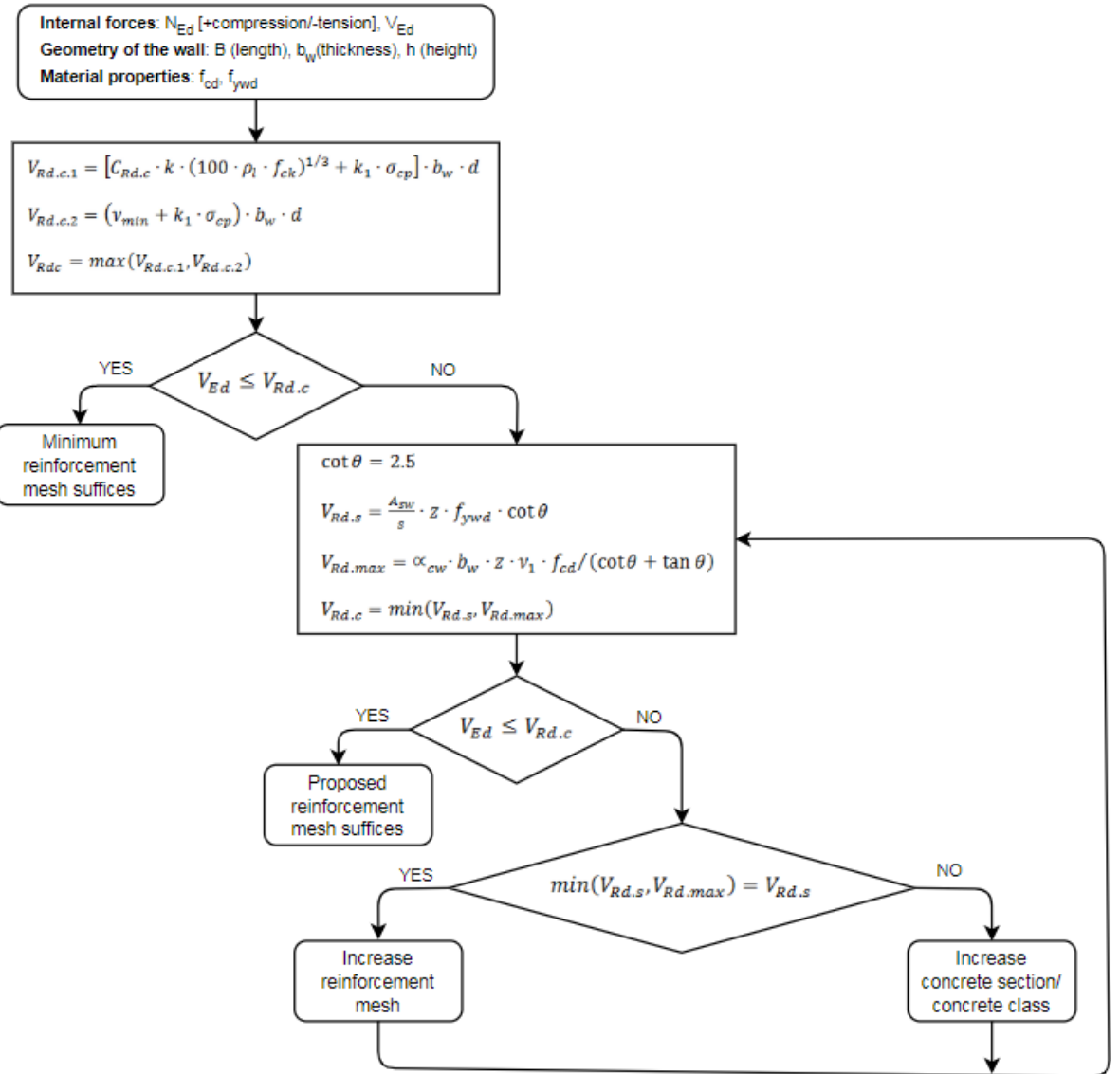
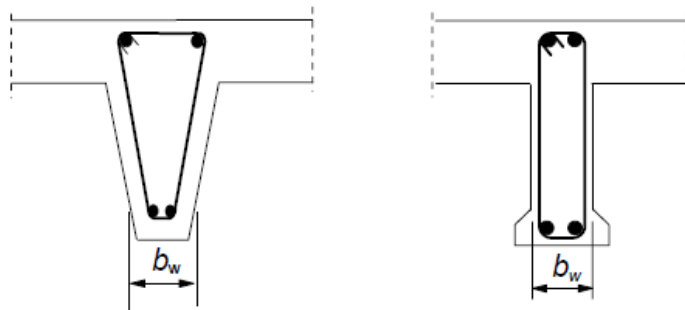
Bīdes sienu darbības novērtēšana

• Sienu bīdes dizains

- Bīdes konstrukcija saskaņā ar EN 1992-1-1:2004 6.2.2. nodaļu un 6.2.3. nodaļu



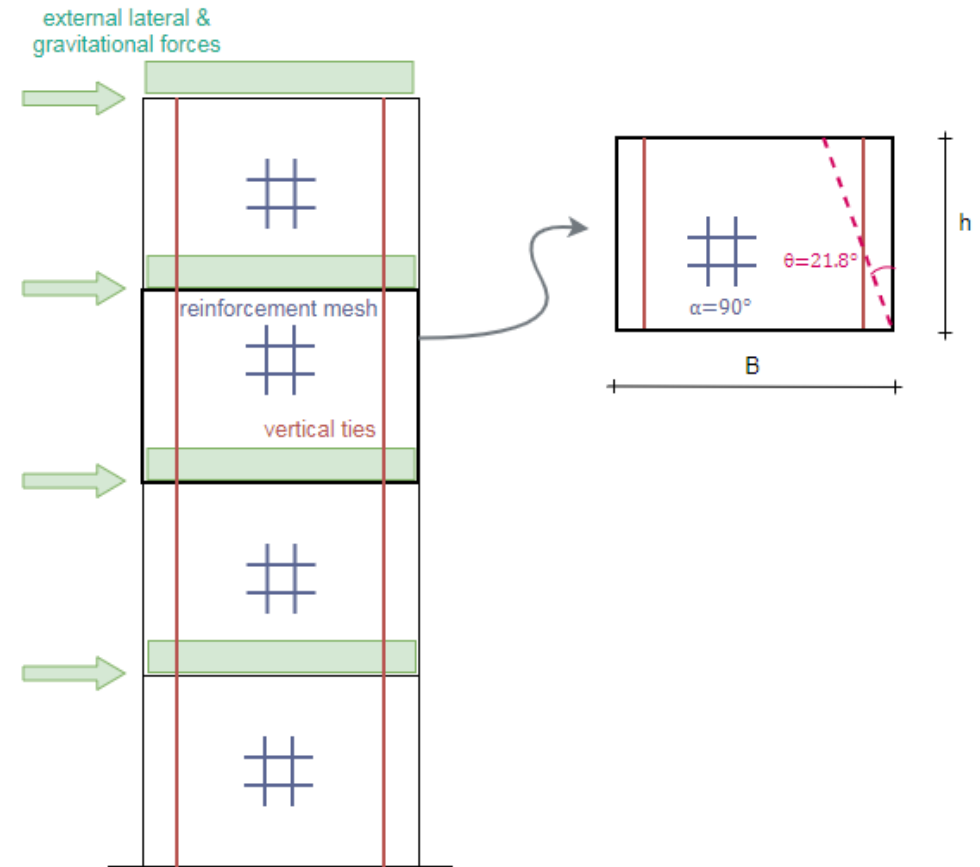
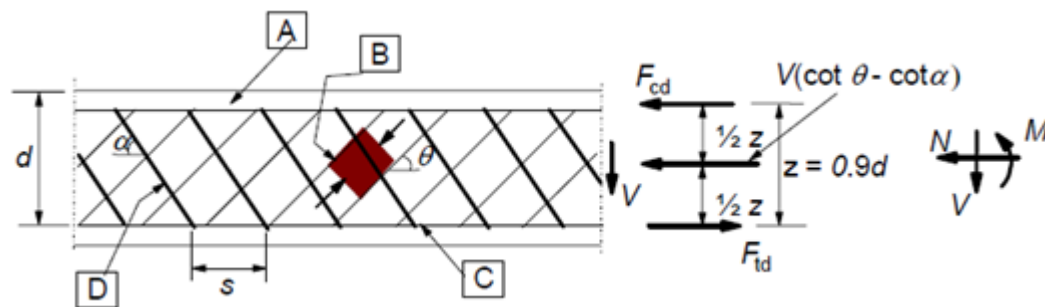
[A] - compression chord, [B] - struts, [C] - tensile chord, [D] - shear reinforcement



Bīdes sienu darbības novērtēšana

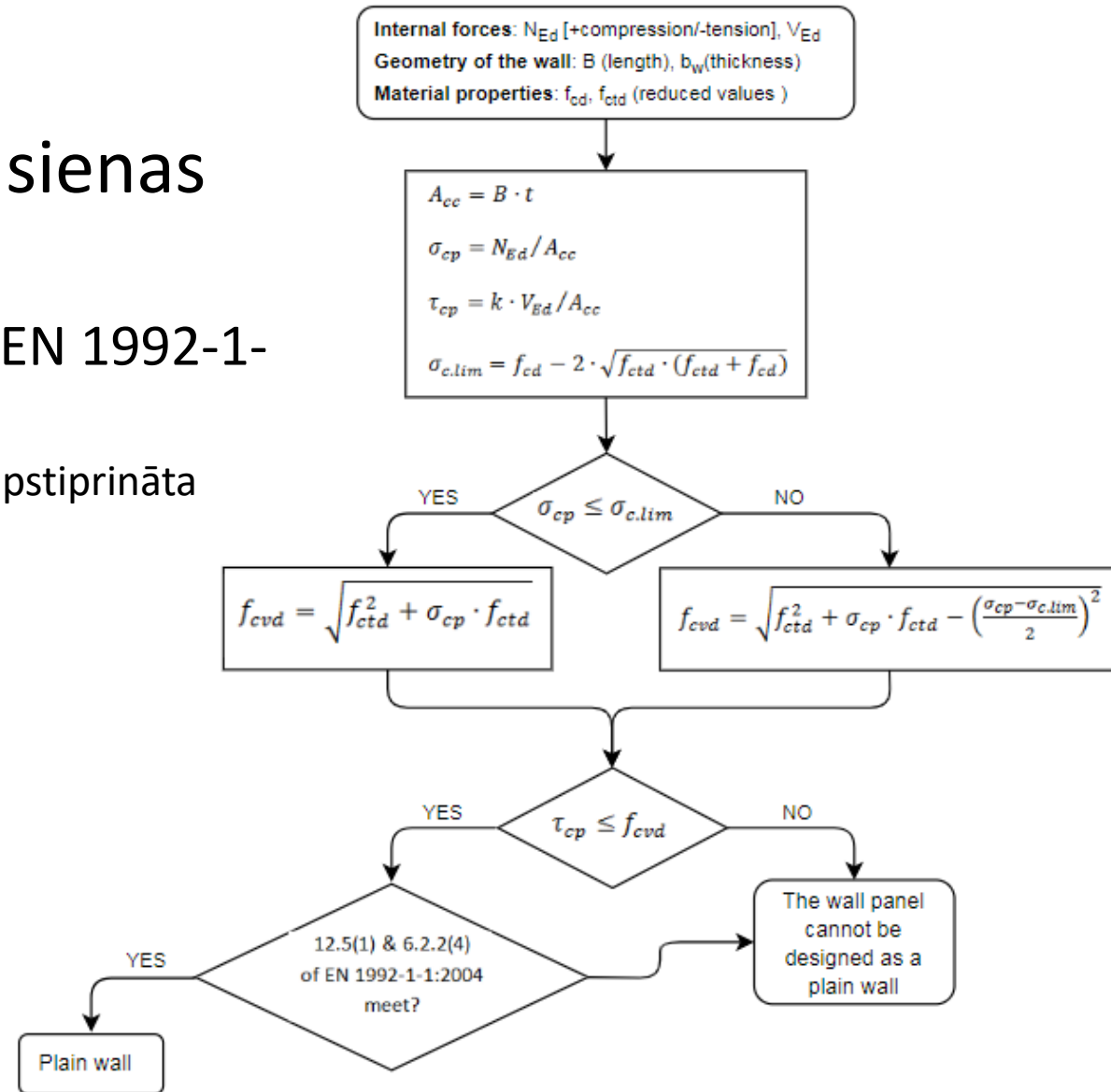
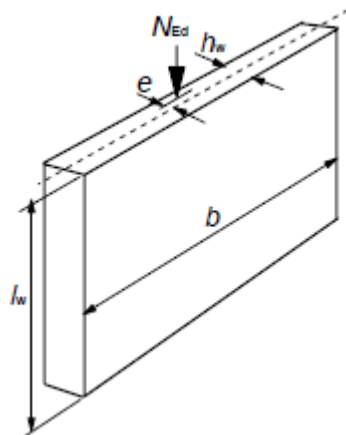
- Sienu bīdes dizains

- Sienu bīdes dizains saskaņā ar EN 1992-1-1:2004 (6.2.2 un 6.2.3)
 - $1 \leq \text{gultiņa } \theta \leq 2.5$
 - *gultiņa* $\theta = 2.5$ ($\theta = 21.8^\circ$) – tiek uzskatīta augšējā vērtība, jo tā nodrošina lielāko slīpās saites kapacitāti, proti, vislielāko bīdes stiegrojuma kapacitāti ($V_{Rd,s}$)
 - $z = 0.9 \cdot d$ ($d = 0.9 \cdot \text{sekcijas garums}$)



Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Sienu bīdes dizains – vienkāršas sienas (nepastiprinātas sienas)
 - Vienkāršas sienas verifikācija saskaņā ar EN 1992-1-1:2004 nodaļu 12.6.3
 - Ja $\tau_{cp} \leq f_{cvd}$ vienkāršas sienas bīdes verifikācija ir apstiprināta



Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Sienu bīdes dizains– vienkāršas sienas (nepastiprinātas sienas)
 - Vienkāršas sienas verifikācija saskaņā ar EN 1992-1-1:2004 nodaļu 12.6.3
 - Ja $\tau_{cp} \leq f_{cvd}$ vienkāršas sienas bīdes verifikācija ir apstiprināta
 - 12.5.(1) no EN 1992-1-1:2004 :
- Tā kā vienkāršajiem dzelzsbetona elementiem ir ierobežota elastība, lineārā analīze ar pārdali vai plastiska pieeja analīzei, piem. metodes bez precīzas deformācijas spējas pārbaudes, nevajadzētu izmantot, ja vien to pielietojumu nevar pamatot.
- 6.2.2(4) no EN 1992-1-1:2004:
- Attiecībā uz vispārīgu gadījumu, kad elementi ir pakļauti lieces momentam un aksiālam spēkam, par kuriem var pierādīt, ka tie nav saplaisājuši lieces laikā pie ULS, atsauce uz 12.6.3.

Bīdes sienu darbības novērtēšana

- Savienojumu bīdes dizains

- Saskaņā ar EN 1992-1-1:2004 6.2.5 nodaļu
 - Horizontālais savienojums

$$V_{cd} = V_{Ed} - \mu \cdot \text{Compression} - c \cdot f_{ctd}$$

- V_{cd} jāpielāgo ar papildu bīdes savienojumiem (dībeļa efekts)
 - Vertikāls savienojums

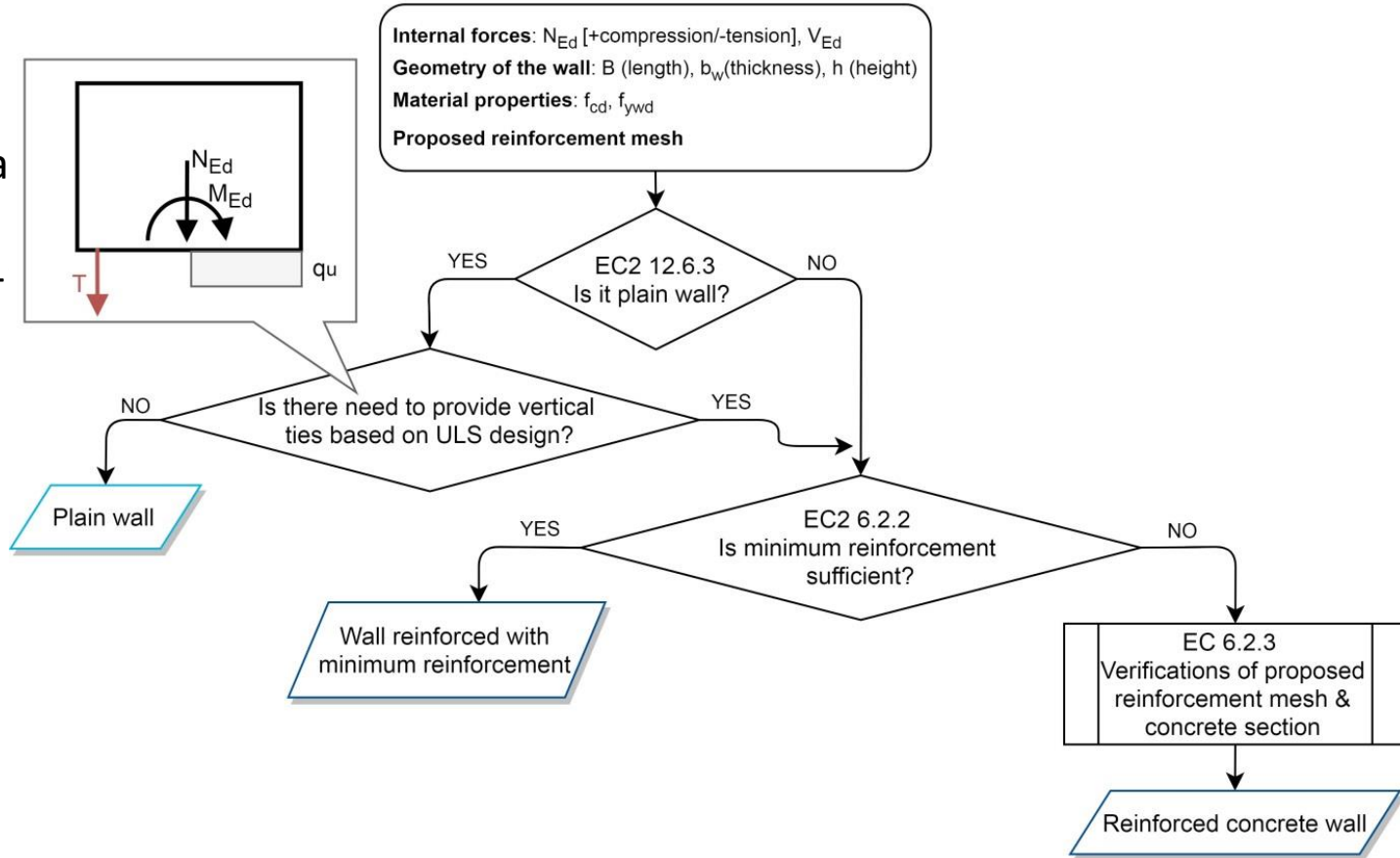
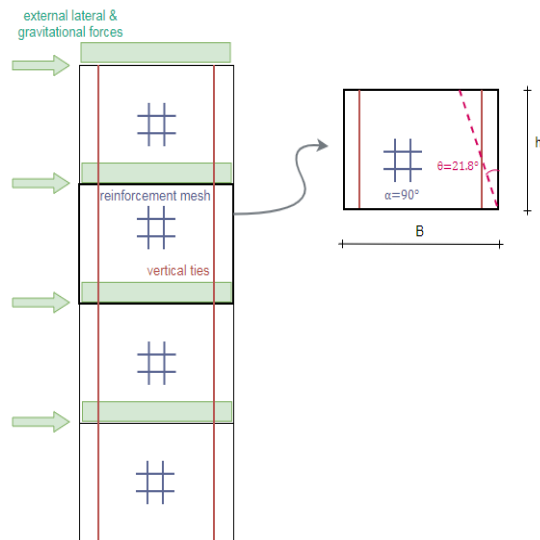
$$v_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0.5 \cdot v \cdot f_{cd}$$

- Saspiedes spēks tiek pieņemts, pamatojoties uz tērauda stiegrojuma/ieliktņu stiepes spēju.
- Bīdes kapacitāte tiek novērtēta, pamatojoties uz nodrošināto iespīlēšanu

Bīdes sienu darbības novērtēšana

• Sienu aptīšanas bīdes dizains

- Vienkāršas sienas verifikācija saskaņā ar EN 1992-1-1:2004 nodaļu 12.6.3
- Bīdes konstrukcija saskaņā ar EN 1992-1:2004 nodaļu 6.2.2 un nodaļu 6.2.3



Proposal for the shear design of precast walls with plain wall verification

- Izturības prasības un risinājumi:
 - Eirokodeksa noteikumu interpretācija
 - Sasaistes un alternatīvi slodzes ceļi
 - Galvenie elementi
- Problēmas, kas saistības ar saliekamā dzelzsbetona augstceltņu projektēšanu un būvniecību
- Daudzstāvu ēku gadījumu izpēte:
 - Breaker Tower Bahreina (165 m)
 - Zalmhaven Tower Roterdama (215 m)
- Jautājumu un atbilžu sesija

Ēku robustums

Kas ir alternatīvais slodzes ceļš?

” Kontakttīkla darbības” aktivizēšana šādu iemeslu dēļ:

- Tilta sabrukšana
- Nodedzis telefona stabs



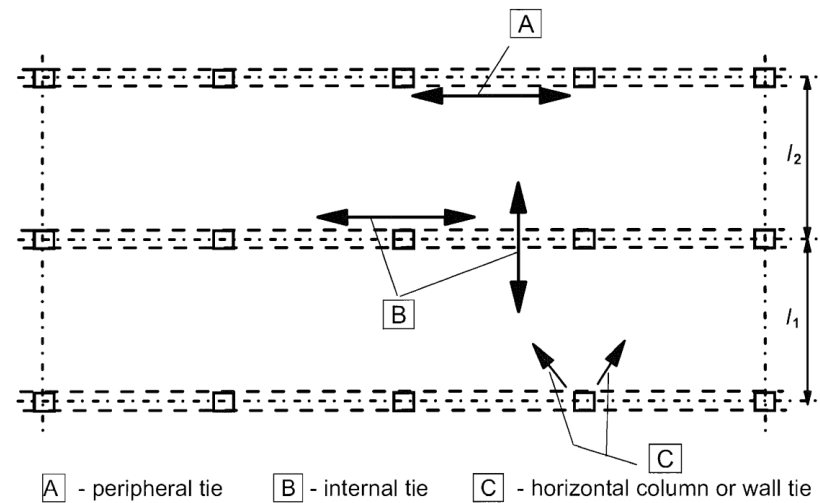
Robustums

Noteikumi spēkā esošajos Eirokodeksos

EN 1990 Projektēšanas pamati

- 2.1 sadaļa EN 1990
 - (4)P konstrukcija jāprojektē un jāizpilda tā, lai tās neietekmētu:
 - sprādzieni
 - ietekme un
 - cilvēcisko kļūdu sekas

Piezīme 2 vairāk informācija ir pieejama NE 1991-1-7



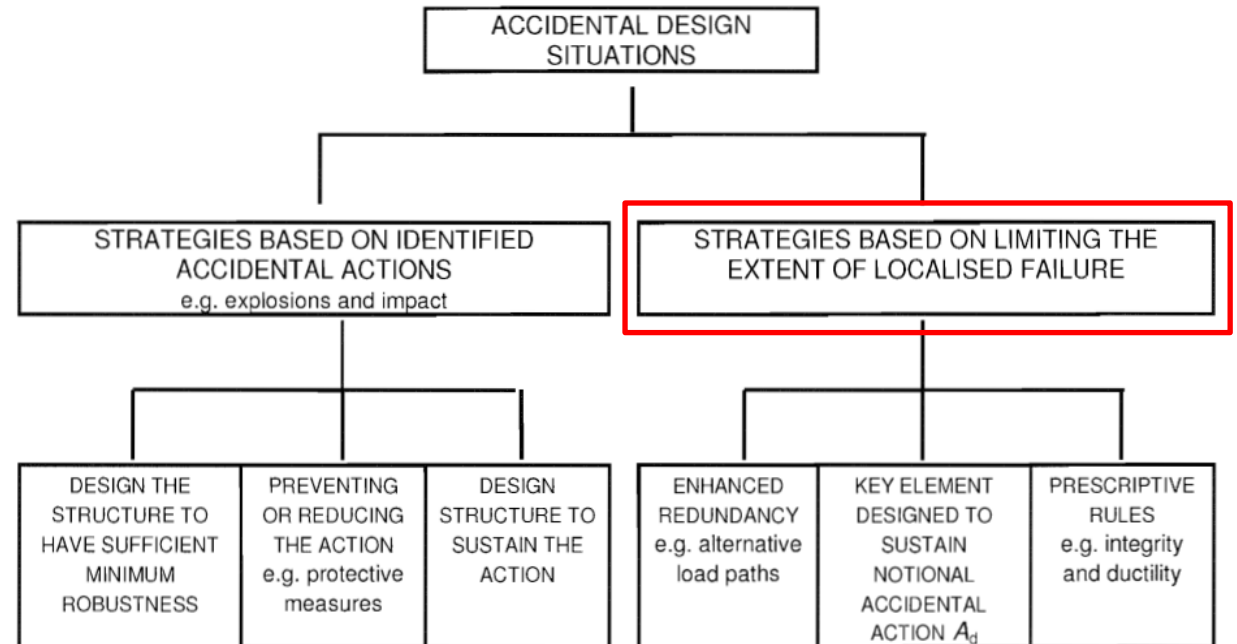
- EN 1992-1-1 Betona konstrukciju projektēšana, 9.10.2. sadaļa Savienojumu proporcijas

Robustums

Noteikumi spēkā esošajos Eirokodeksos

EN 1991-1-7 Nejaušanas darbības:

- Zināmas nejaušanas darbības
- Ierobežot lokalizētas neveiksmes apmēru
 - Nejauša darbība nav zināma
 - Neveiksme nenoteikta iemesla dēļ



EN 1991-1-7, A pielikums. Konstrukcija lokalizētai neveiksmei nenoteikta iemesla dēļ

- Nodrošina ieteicamās stratēģijas:
 - Horizontālās un vertikālās saites
 - Alternatīvi slodzes ceļi
 - Galvenie elementi

Robustums

Noteikumi spēkā esošajos Eirokodeksos

EN-1991-1-7 Nejaušanas darbības, A pielikums:

- Seku klases

Stratēģiju pielietošana:

- CC1: nav īpašu apsvērumu
- CC2a: efektīvas horizontālās saites
- CC2b: efektīvas horizontālās un vertikālās saites, vai
- CC2b: nosacīti noņemšana un alternatīvi slodzes ceļi
- CC3: sistemātisks riska novērtējums, alternatīvi slodzes ceļi, galvenie elementi

Consequence class	Example of categorisation of building type and occupancy
1	Single occupancy houses not exceeding 4 storeys. Agricultural buildings. Buildings into which people rarely go, provided no part of the building is closer to another building, or area where people do go, than a distance of $1\frac{1}{2}$ times the building height.
2a Lower Risk Group	5 storey single occupancy houses. Hotels not exceeding 4 storeys. Flats, apartments and other residential buildings not exceeding 4 storeys. Offices not exceeding 4 storeys. Industrial buildings not exceeding 3 storeys. Retailing premises not exceeding 3 storeys of less than 1 000 m ² floor area in each storey. Single storey educational buildings All buildings not exceeding two storeys to which the public are admitted and which contain floor areas not exceeding 2000 m ² at each storey.
2b Upper Risk Group	Hotels, flats, apartments and other residential buildings greater than 4 storeys but not exceeding 15 storeys. Educational buildings greater than single storey but not exceeding 15 storeys. Retailing premises greater than 3 storeys but not exceeding 15 storeys. Hospitals not exceeding 3 storeys. Offices greater than 4 storeys but not exceeding 15 storeys. All buildings to which the public are admitted and which contain floor areas exceeding 2000 m ² but not exceeding 5000 m ² at each storey. Car parking not exceeding 6 storeys.
3	All buildings defined above as Class 2 Lower and Upper Consequences Class that exceed the limits on area and number of storeys. All buildings to which members of the public are admitted in significant numbers. Stadia accommodating more than 5 000 spectators Buildings containing hazardous substances and /or processes

2. Paaudzes Eirokodeksi

EN 1990 Projektēšanas pamati:

- Sadaļa 4.4

(1) Struktūrai jābūt konstruētai tā, lai tā būtu pietiekami izturīga, lai tās projektētā kalpošanas laikā to nesabojātu neparedzēti nevēlami notikumi tādā apmērā, kas ir nesamērīgs ar sākotnējo cēloni.

1. PIEZĪME Progresīvs sabrukums ir bojājuma piemērs, kas ir nesamērīgs ar sākotnējo cēloni. 2. PIEZĪME Lielākajai daļai konstrukciju tiek pieņemts, ka projektēšana saskaņā ar Eirokodeksu nodrošina pietiekamu robustuma līmeni bez nepieciešamības veikt nekādus papildu projektēšanas mērījumus, lai palielinātu konstrukcijas robustumu.

EN 1991-1-7 Nejaušas darbības

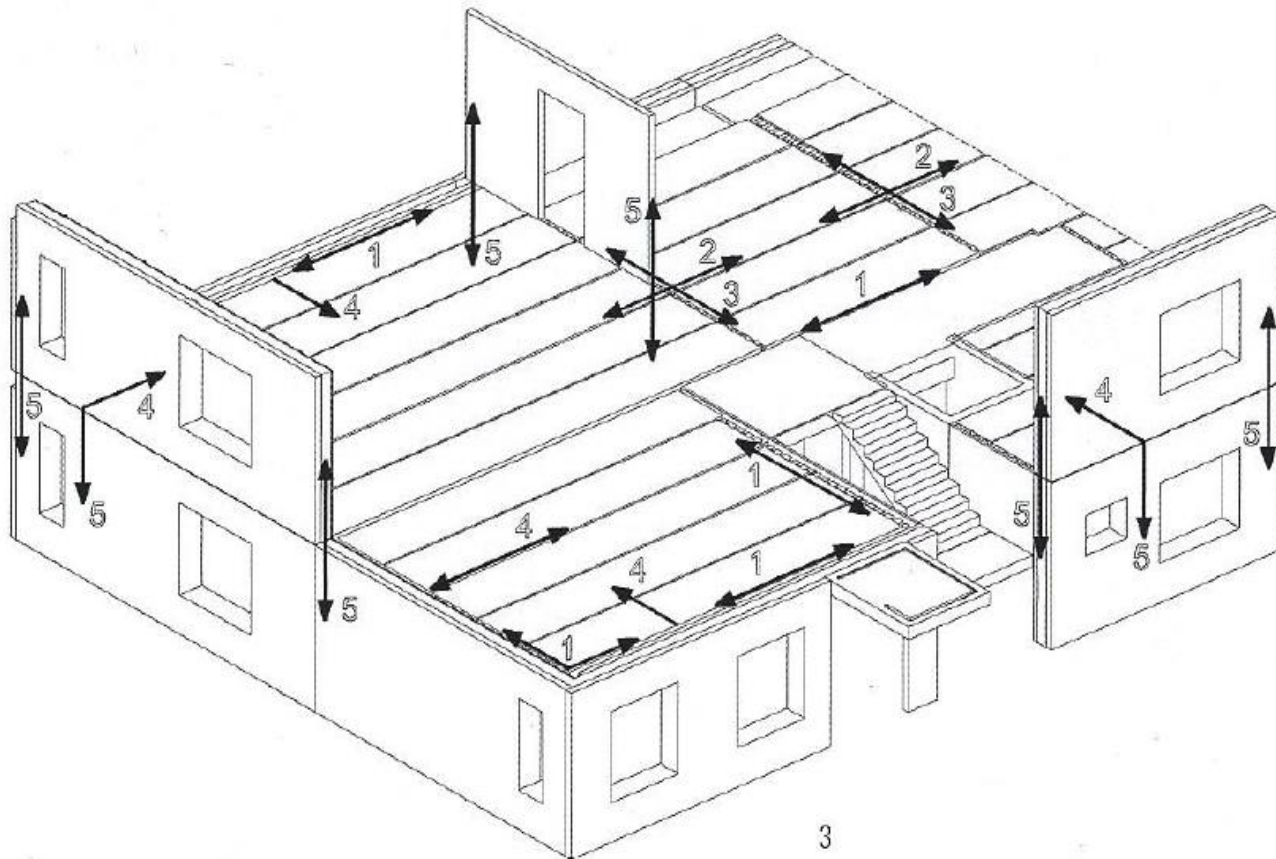
- Priekšvārds: Izturības projektēšanas metodes ir pārceltas uz EN 1990
- Darbības joma: tikai nejaušas darbības (normatīvs)
- A pielikums ir aptuveni tāds pats kā 1. paaudzes versija (informatīvs)

- Izturības prasības un risinājumi:
 - Eirokodeksa noteikumu interpretācija
 - **Sasaistes un alternatīvi slodzes ceļi**
 - Galvenie elementi
- Problēmas, kas saistības ar saliekamā dzelzsbetona augstceltņu projektēšanu un būvniecību
- Daudzstāvu ēku gadījumu izpēte:
 - Breaker Tower Bahreina (165 m)
 - Zalmhaven Tower Roterdama (215 m)
- Jautājumu un atbilžu sesija

Robustums

Saites ēkas konstrukcijas robustuma uzlabošanai

- Literatūra
- Savienojumi saliekamās dzelzsbetona plātnēs/sienu konstrukcijās



- Peripheral ties
 1. Peripheral floor ties
- Internal ties
 2. Longitudinal floor ties
 3. Transversal floor ties
- Horizontal ties to columns and walls
 4. Wall to floor ties
- Vertical ties
 5. Vertical wall ties

bulletin 63

fib



Design of precast concrete structures against accidental actions

guide to good practice

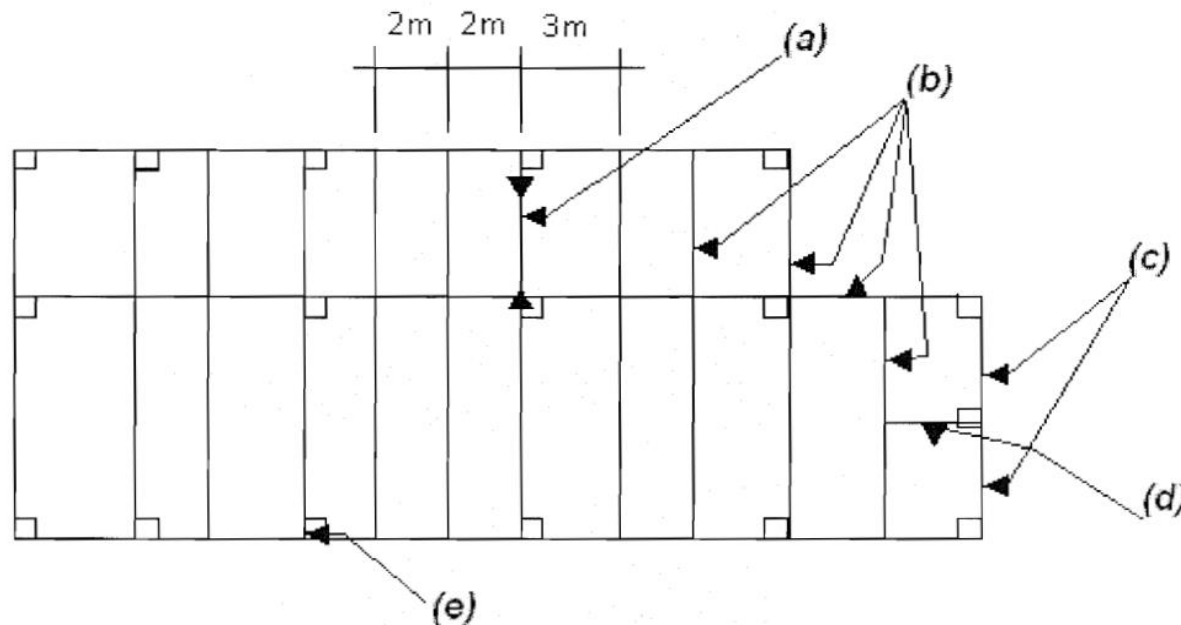
- Perifērijas saites
 1. Perifērijas grīdas saites
- Iekšējās saites
 2. Gareniskās grīdas saites
 3. Tansverālās grīdas saites
- Horizontālās saites ar kolonnām un sienas
 4. Saites no sienas līdz grīdai
- Vertikālās saites
 5. Vertikālās sienas saites

Robustums

Izšķir dažās stratēģijas pastiprināšanas saites:

- Netiešā pieeja: Uzlabojiet izturību, izmantojot saiknes, kas aprēķinātas no projektēšanas vienādojumiem
- EN 1991-1-7, A pielikumā ir sniegti šādi vienādojumi
- To sauc arī par Tie-Force metodi
- Reāli alternatīvie slodzes ceļi netiek strukturāli ņemti vērā, izmantojot netiešo pieeju

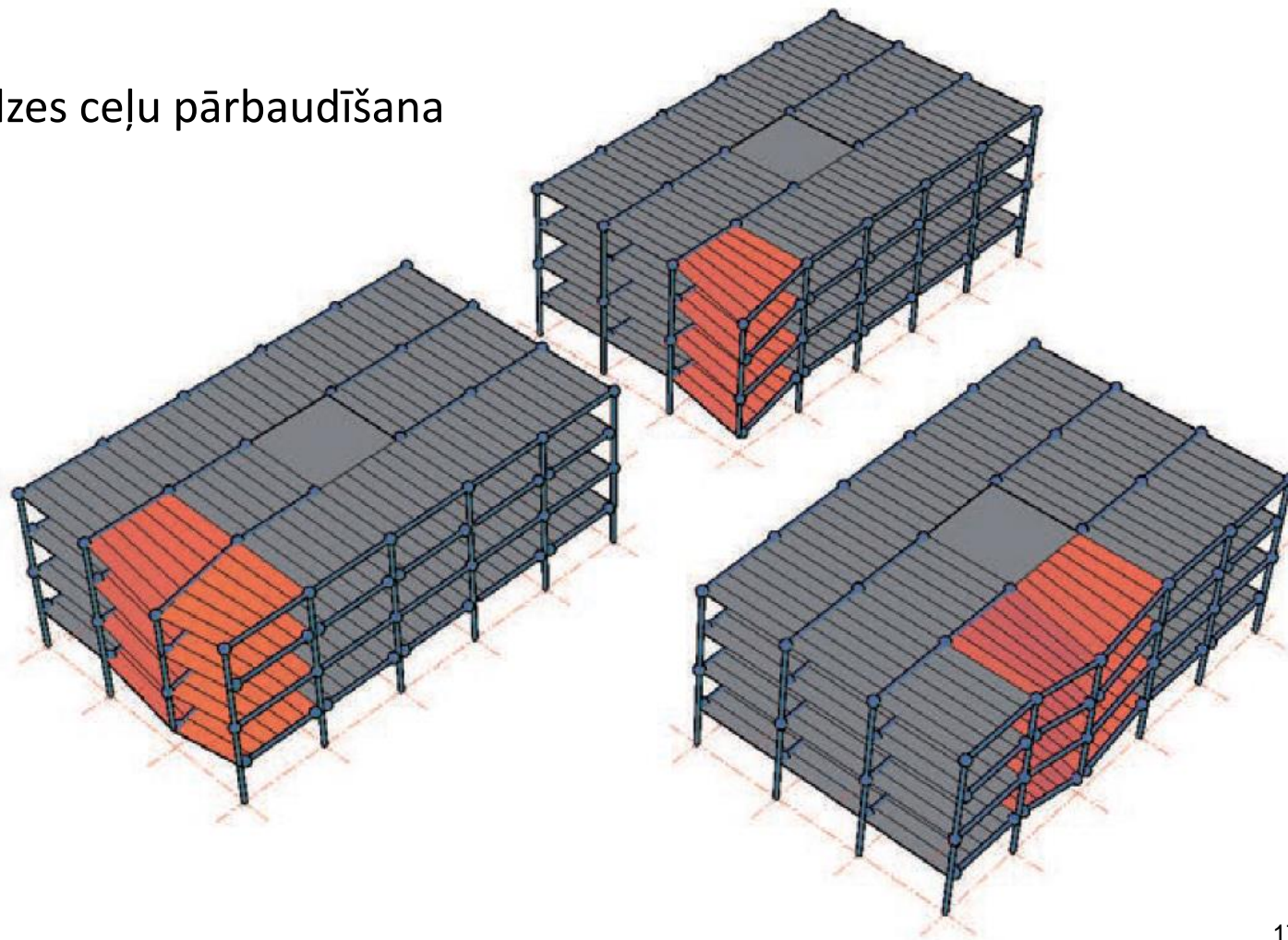
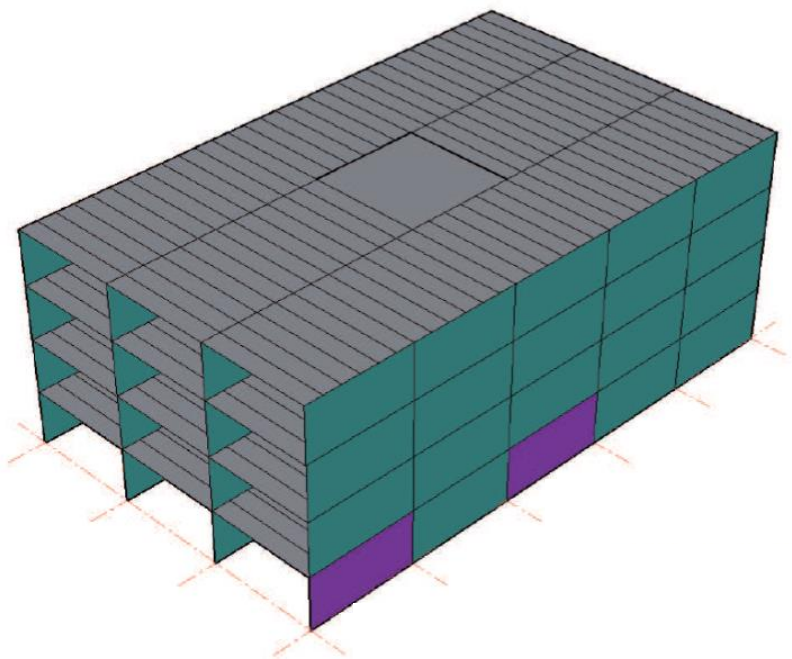
$$T_i = 0.8 (g_k + \psi q_k) s L$$
$$T_p = 0.8 (g_k + \psi q_k) s L$$



Robustums

Dažādi risinājumi pastiprināšanas saitēm:

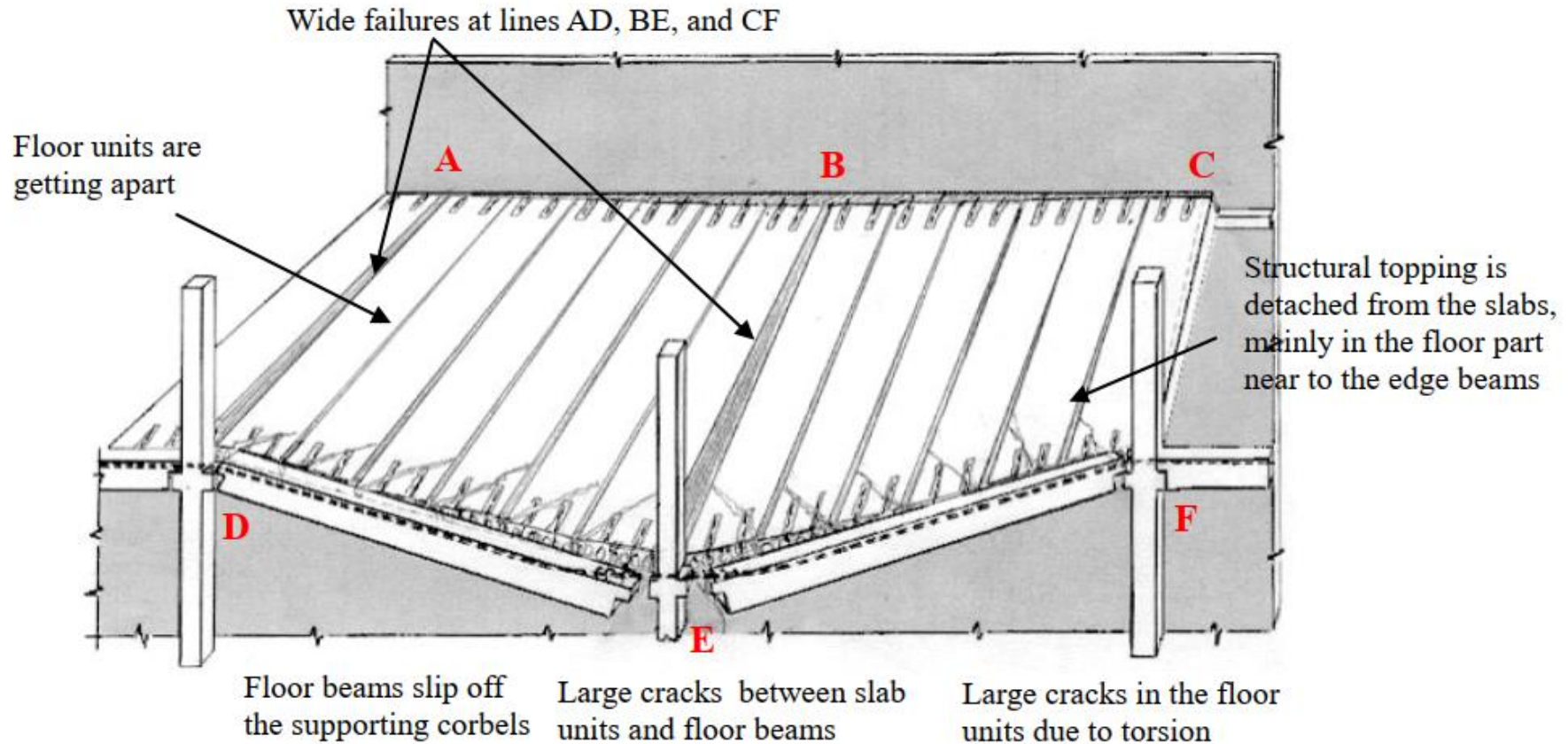
- Tiešā pieeja:
- Nosacīta noņemšana un alternatīvo slodzes ceļu pārbaudīšana



Robustums

Alternatīvi slodzes ceļi:

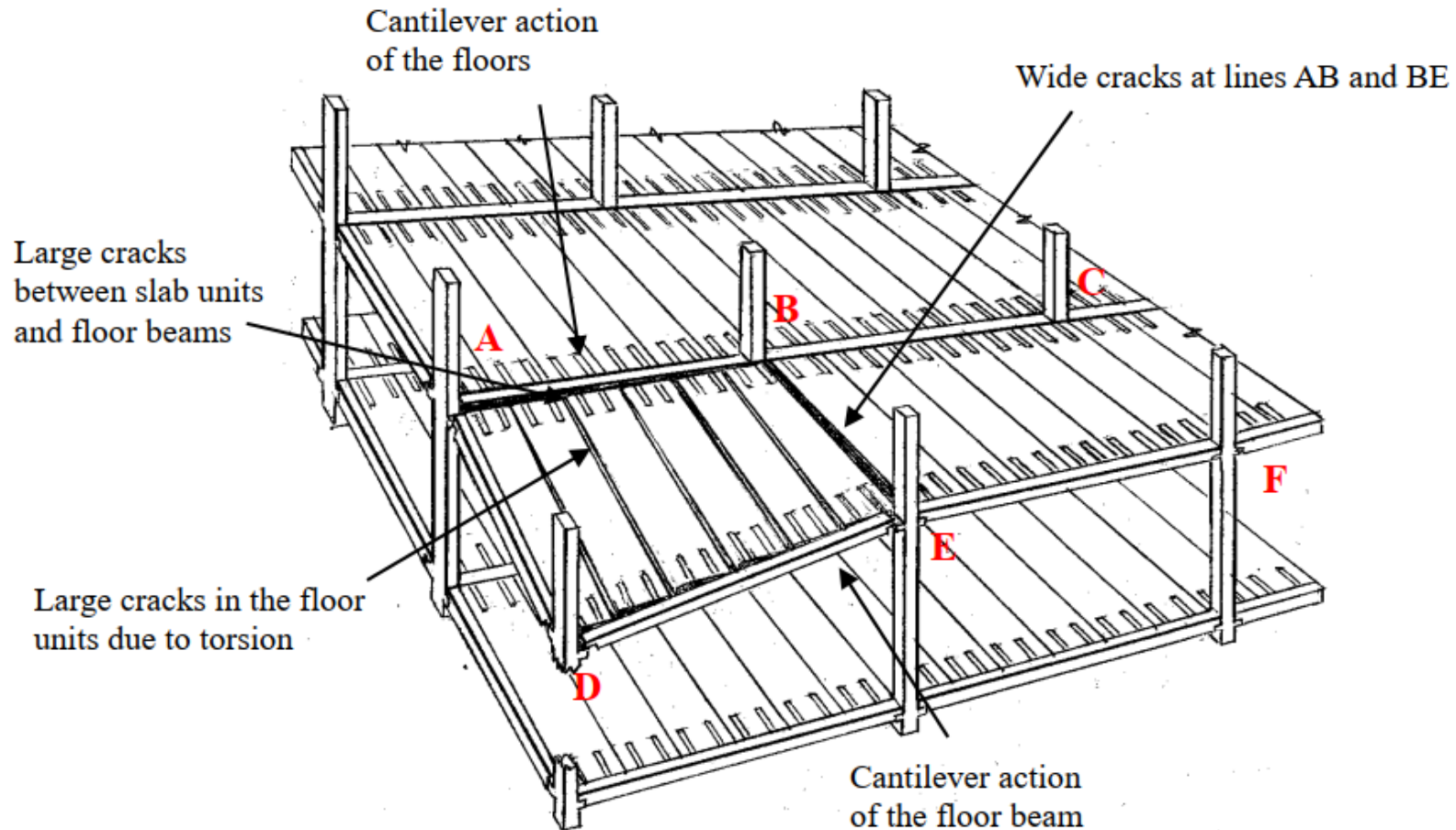
- Ietekme no teorētisku noņemšanu saliekamajā dzelzsbetonā HCS – stieņu konstrukcijās.



Robustums

Alternatīvi slodzes ceļi:

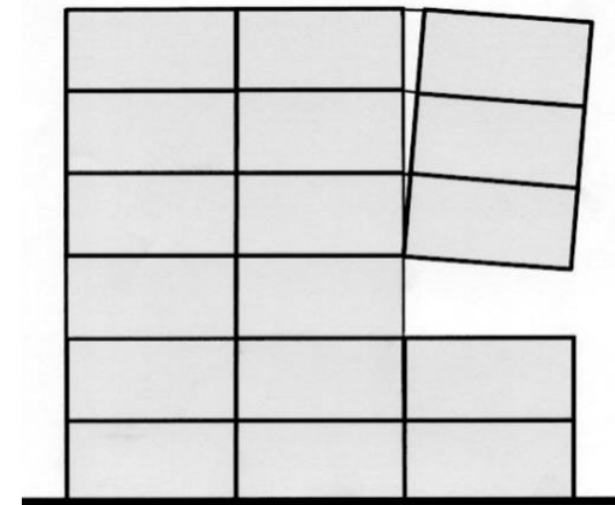
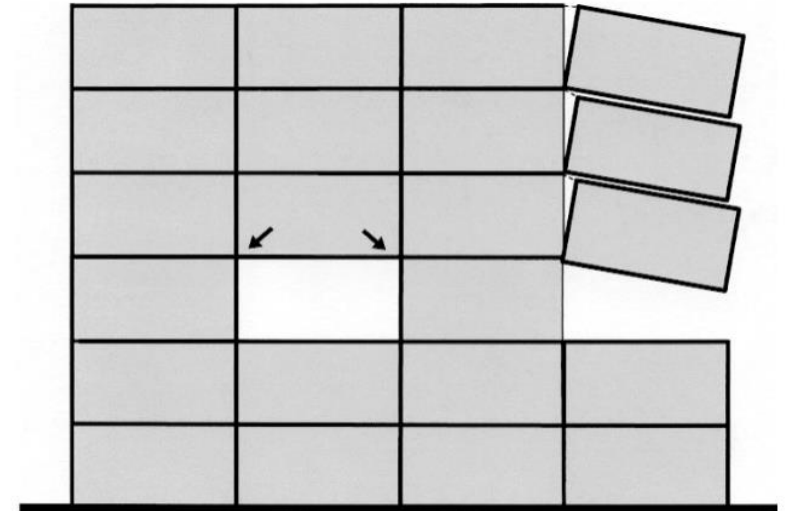
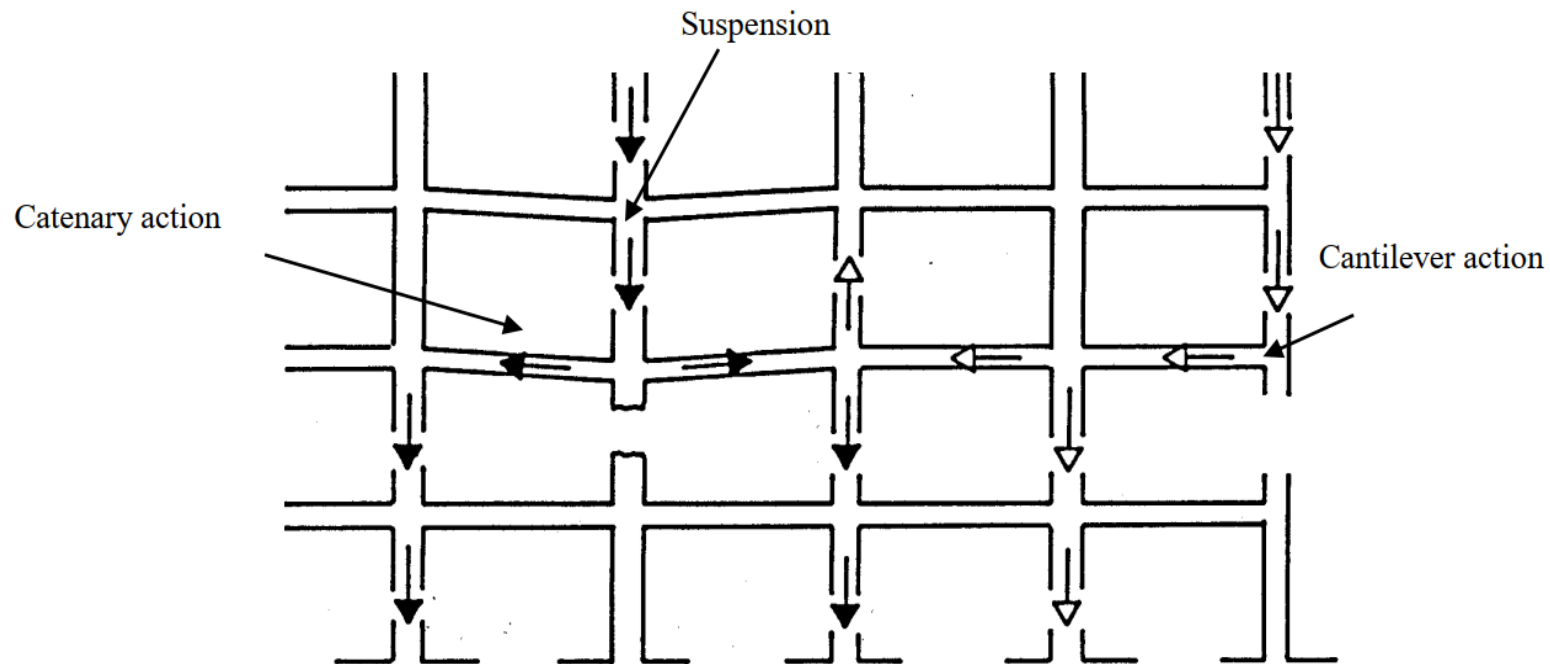
- Ietekmes no teorētiskām noņemšanām saliekamajā dzelzsbetonā HCS – stieņu konstrukcijās



Robustums

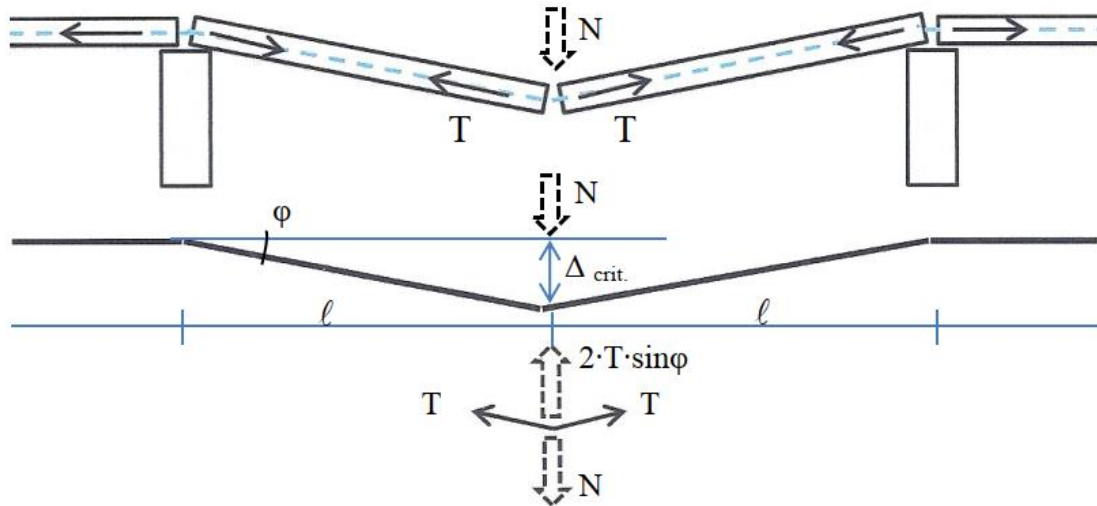
Nesošais mehānismi alternatīviem slodzes ceļiem:

- Saites pastiprinājuma kontakttīkla darbība
- Konsoles darbība
- Vertikālo elementu piekare
- Grīdas un jumta membrānas darbības



Saites pastiprinājuma kontakttīkla darbība:

- Fib ziņojums 63 sniedz pratiskas lineāras analīzes:



Equilibrium of forces gives:

$$2 \cdot T \cdot \sin\varphi = N \quad \text{and,}$$

$$T = \frac{N}{2 \cdot \sin\varphi} = \frac{N}{2} \cdot \frac{\sqrt{\ell^2 + \Delta_{\text{cr}}^2}}{\Delta_{\text{cr}}} = \frac{N}{2} \sqrt{\left(\frac{\ell}{\Delta_{\text{cr}}}\right)^2 + 1}$$

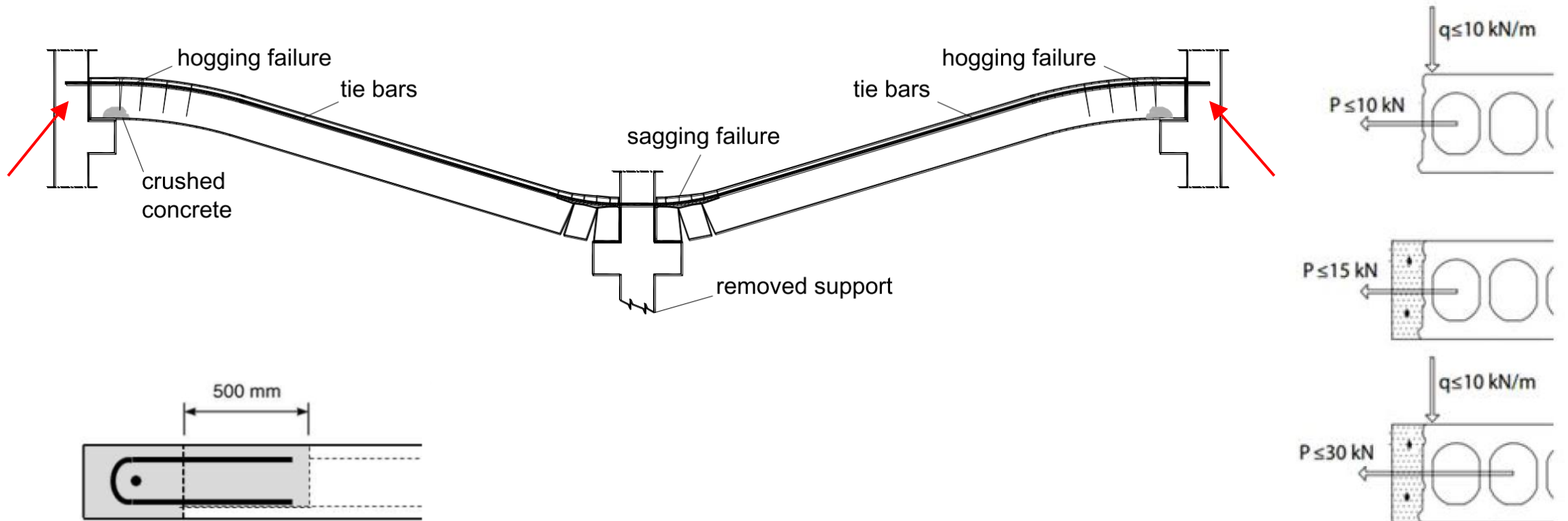


Design of precast
concrete structures
against accidental
actions

Robustums

Saites pastiprinājuma kontakttīkla darbība:

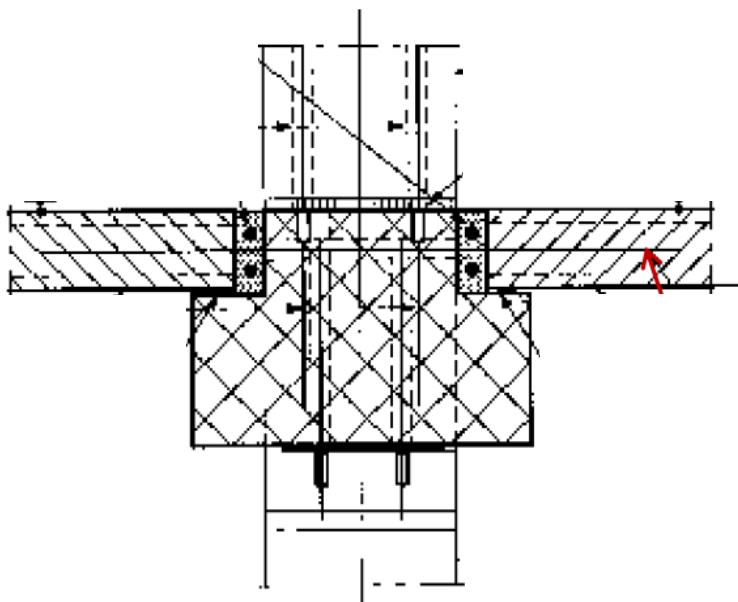
- Nepieciešams noenkurot sates



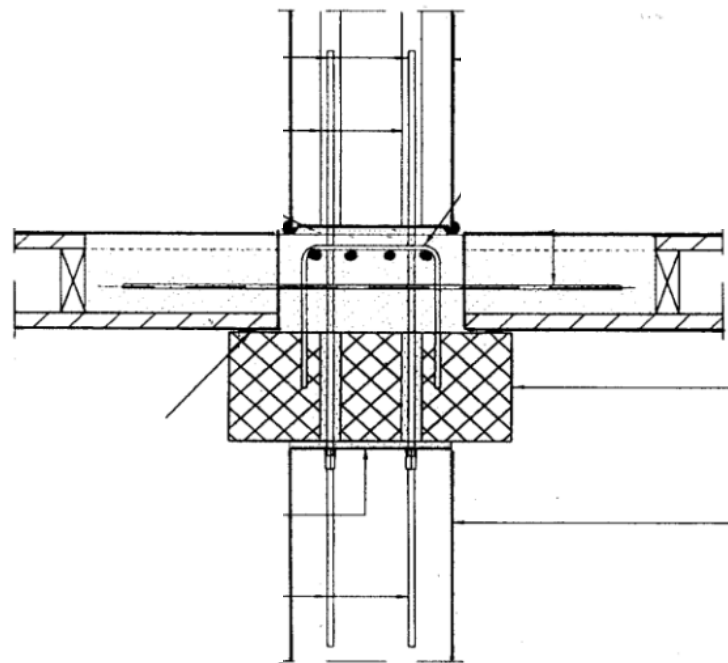
Robustums

Saites pastiprinājuma kontakttīkla darbība:

- Saites pozīcija
- Saites jāliek zem kolonnas, nevis blakus kolonnai, lai nodrošinātu visefektīvāko darbību



Ne tik labs risinājums



Labs risinājums

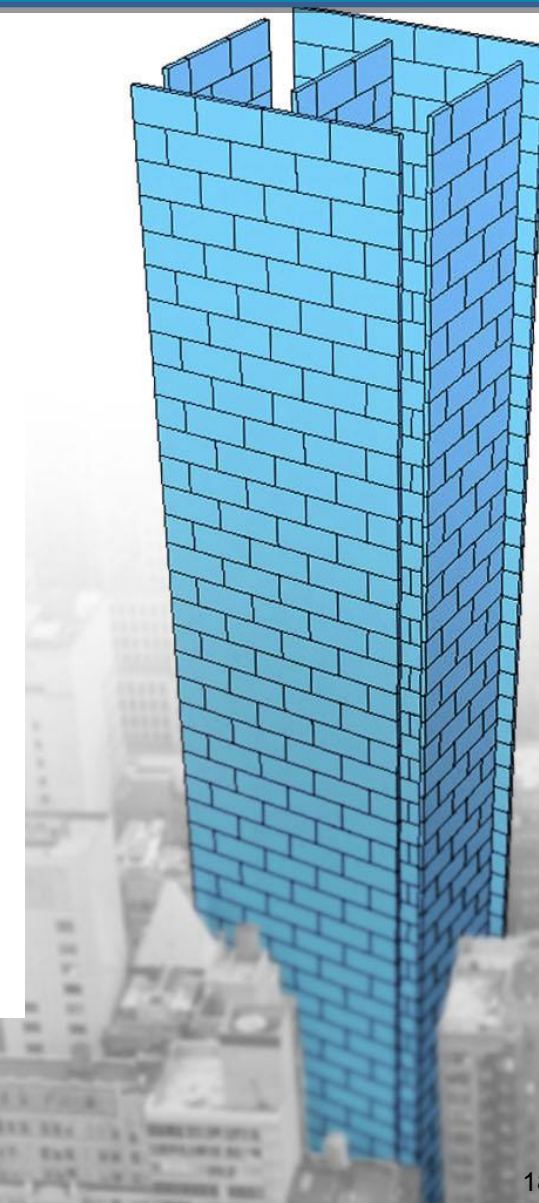
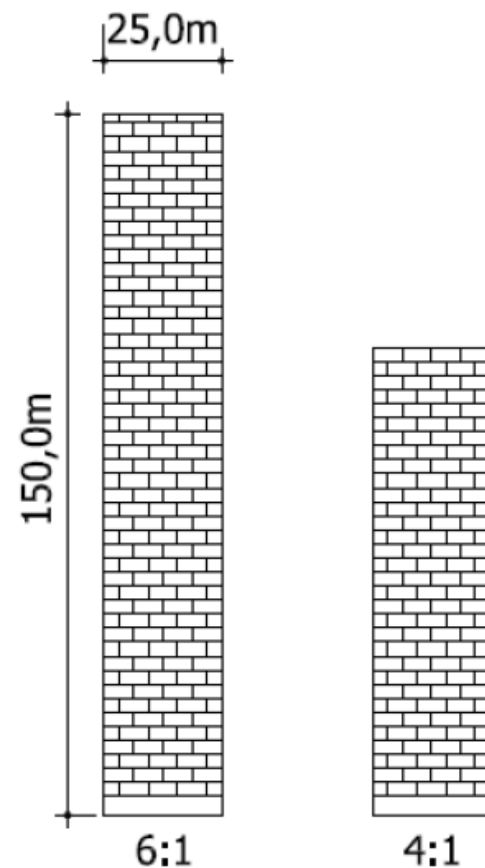
- Izturības prasības un risinājumi:
 - Eirokodeksa noteikumu interpretācija
 - Sasaistes un alternatīvi slodzes ceļi
 - Galvenie elementi
- **Problēmas, kas saistības ar saliekamā dzelzsbetona augstceltņu projektēšanu un būvniecību**
- Daudzstāvu ēku gadījumu izpēte:
 - Breaker Tower Bahreina (165 m)
 - Zalmhaven Tower Roterdama (215 m)
- Jautājumu un atbilžu sesija

Saliekamā dzelzsbetona augstceltņu ēku projektēšana un būvniecība

Daudzstāvu ēkas definīcija:

- Kad ēka tiek uzskatīta par augstceltni?
- Malu attiecība: "augstums dalīts ar plāna garumu"
- Bieži citēts: lielāks par 5 → **Uzskata, ka ir garš**

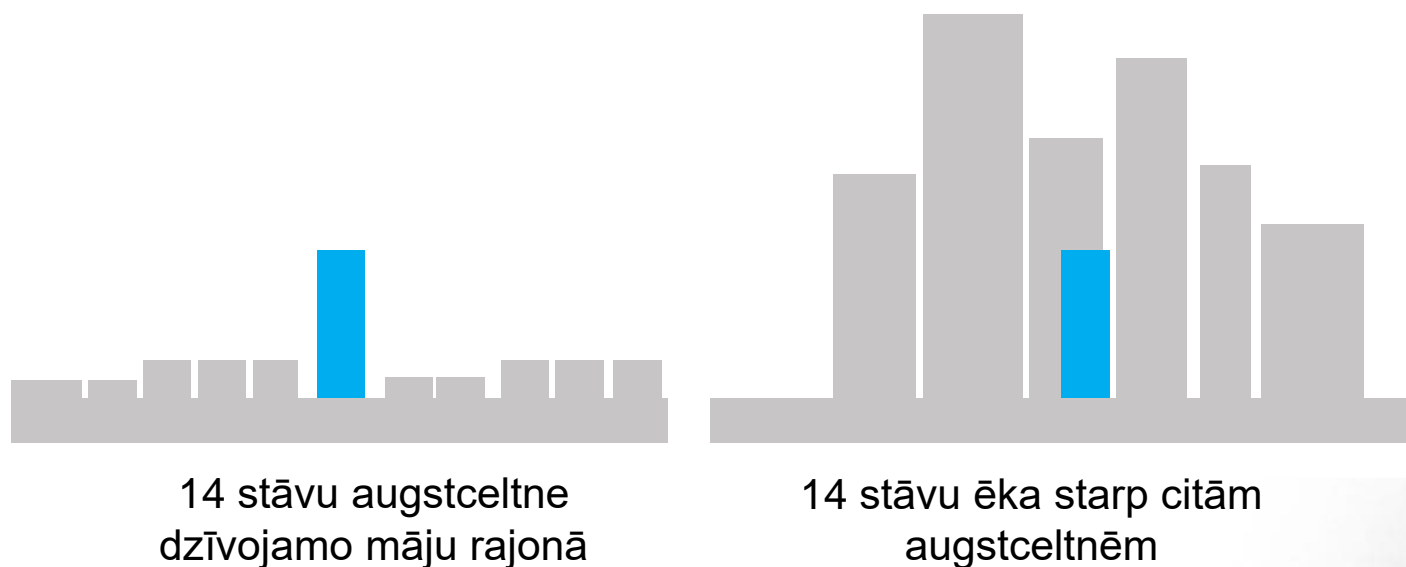
- Tas parasti nav tik vienkārši!



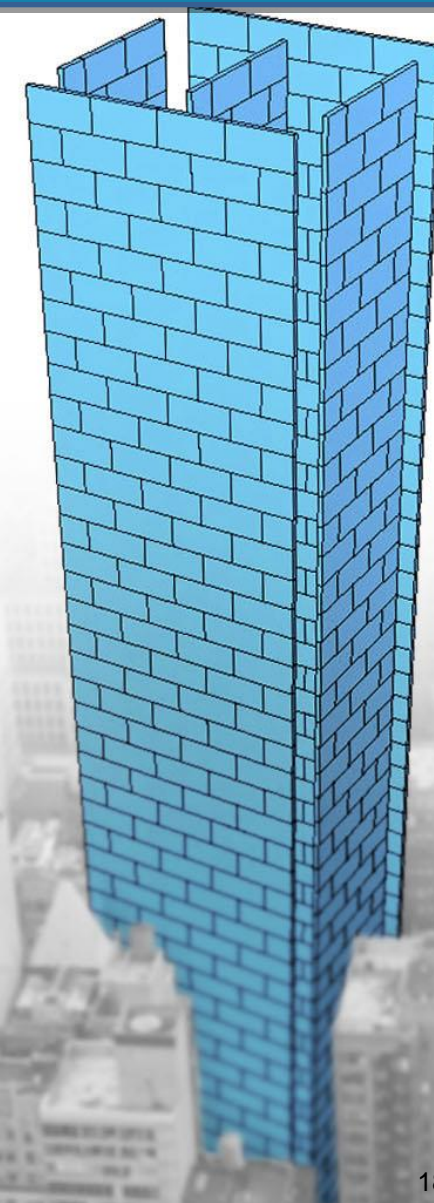
Saliekamā dzelzsbetona augstceltņu ēku projektēšana un būvniecība

Augstu ēku un pilsētu dzīvotņu padome (CTBUH)

- Kat. A: Augstums atbilst kontekstam



- Kat. B: Proporcija
- Kat. C: dažādas tehnoloģijas, kas attiecas uz “augstumu”



Saliekamā dzelzsbetona augstceltņu ēku projektēšana un būvniecība

Augstu ēku un pilsētu dzīvotņu padome (CTBUH)

- Kat. A: Augstums atbilst kontekstam
- Kat. B: Proporcija

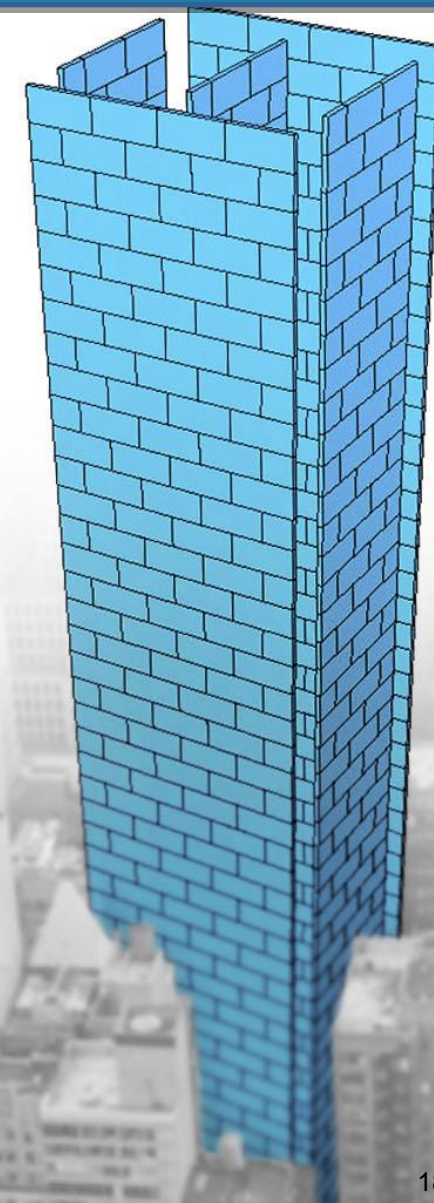


Slaida ēka pilsētas ainavā



Liela un plata ēka pilsētas ainavā

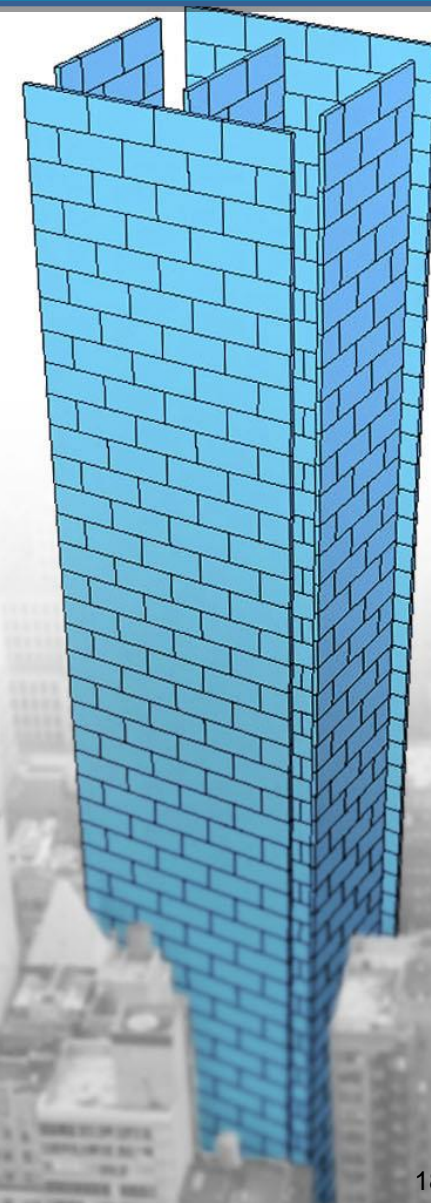
- Kat. C: dažādas tehnoloģijas, kas attiecas uz “augstumu”



Saliekamā dzelzsbetona augstceltņu ēku projektēšana un būvniecība

Augstu ēku un pilsētu dzīvotņu padome (CTBUH)

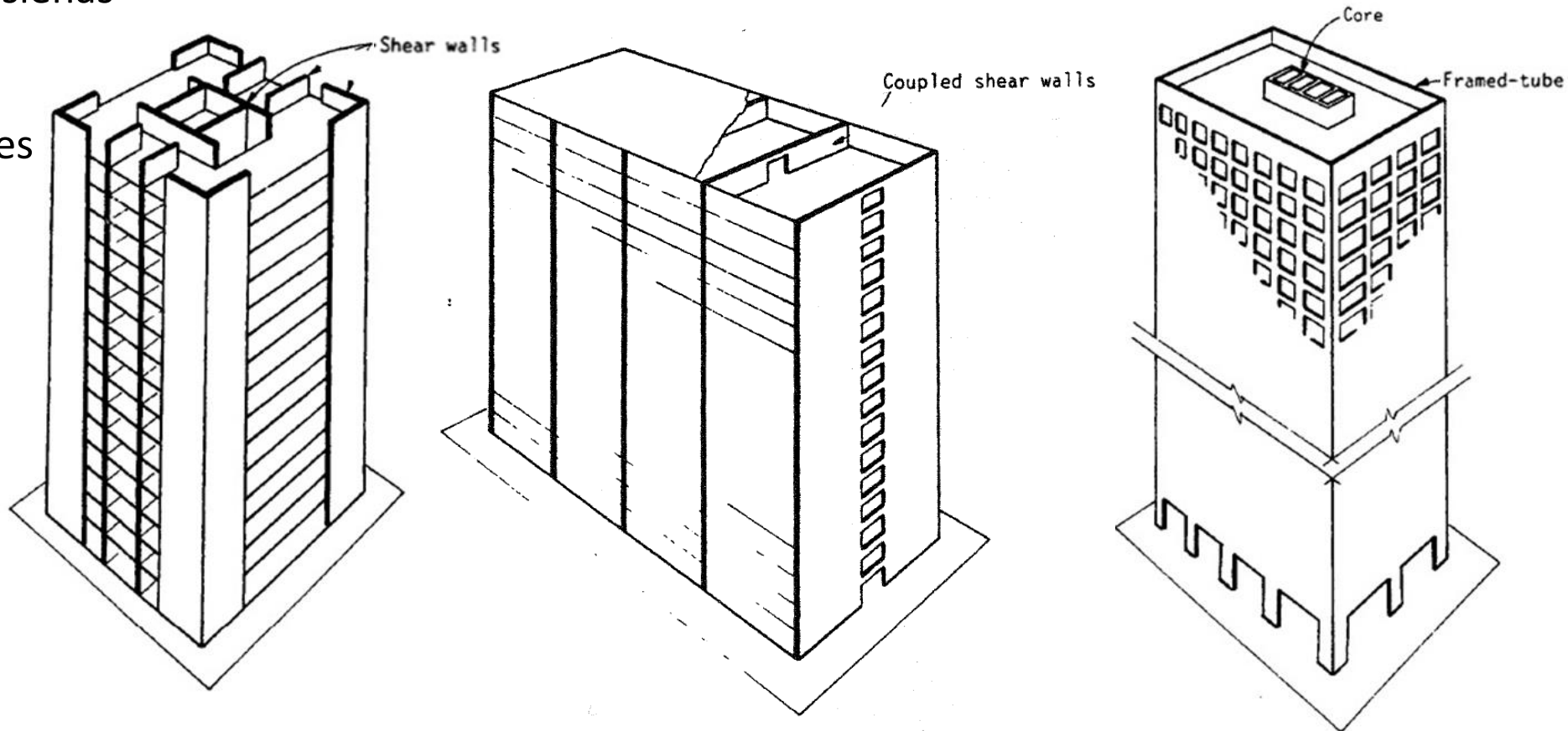
- Kat. A: Augstums atbilst kontekstam
- Kat. B: Proporcija
- Kat. C: dažādas tehnoloģijas, kas attiecas uz “augstumu”
 - Vertikālās transportēšanas tehnoloģijas
 - Īpašas vējstieņa sistēmas
- CTBUH iesaka:
 - 14 vai vairāk stāvi vai augstāki par 50 metriem, ievērojot iepriekš aprakstītās kategorijas



Saliekamā dzelzsbetona augstceltņu ēku projektēšana un būvniecība

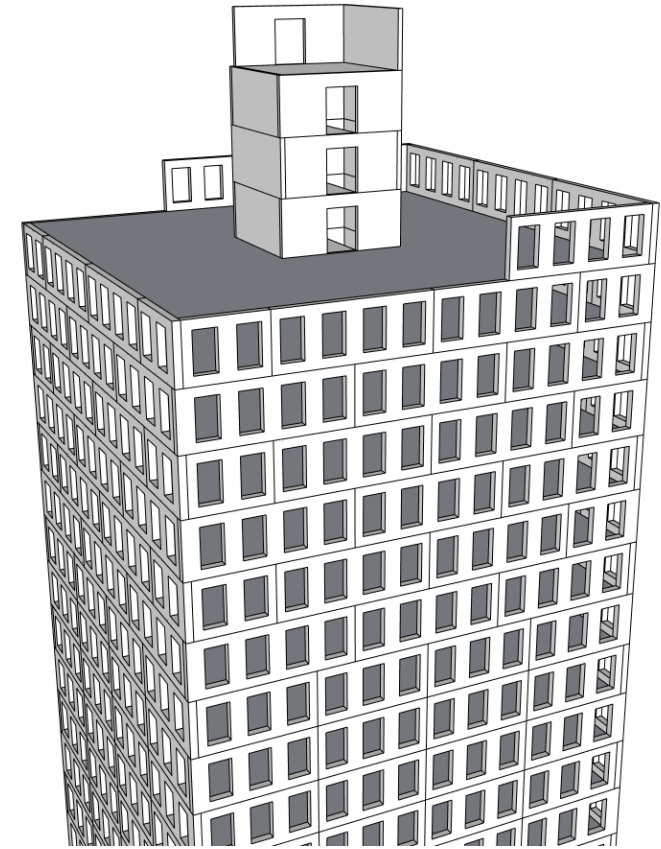
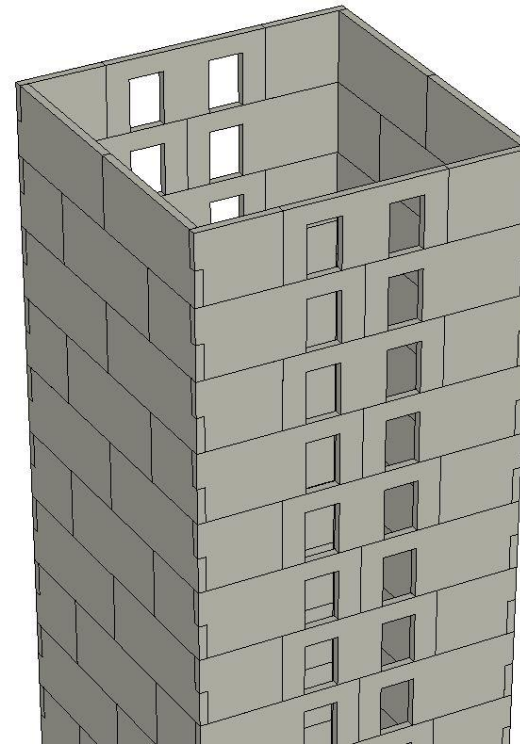
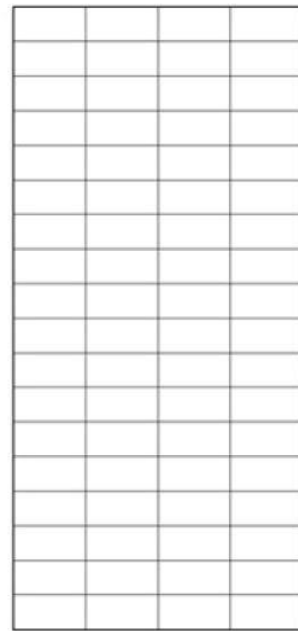
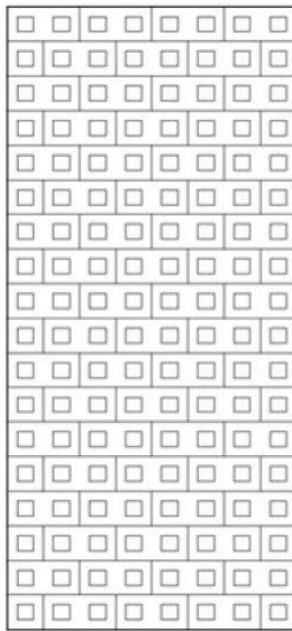
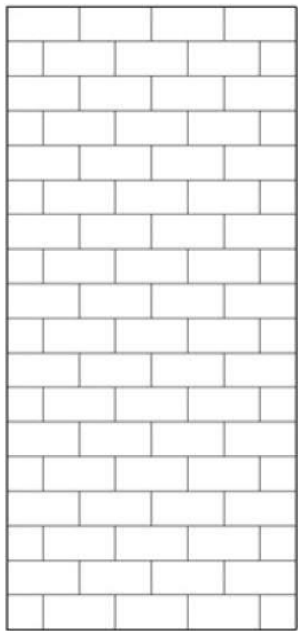
Augsto ēku strukturālās formas, kas saistītas ar saliekamo dzelzsbetonu

- Bīdes sienas
- Savienotas bīdes sienas
- Serdes
- Ierāmētas caurules
- Caurule caurulē



Saliekamā dzelzsbetona augstceltņu ēku projektēšana un būvniecība

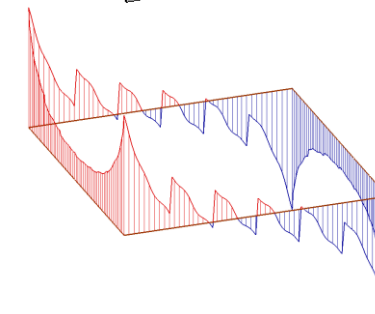
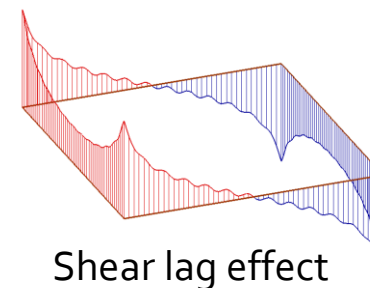
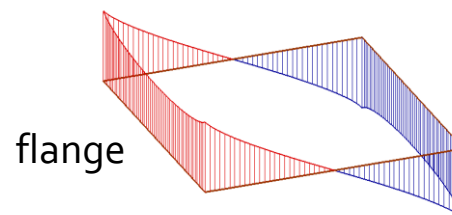
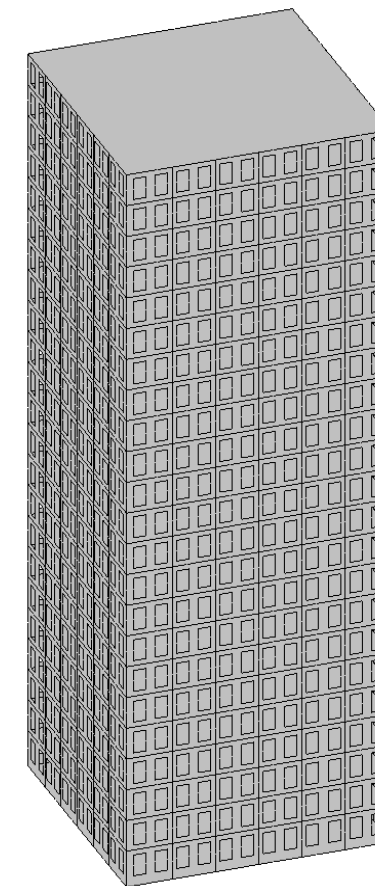
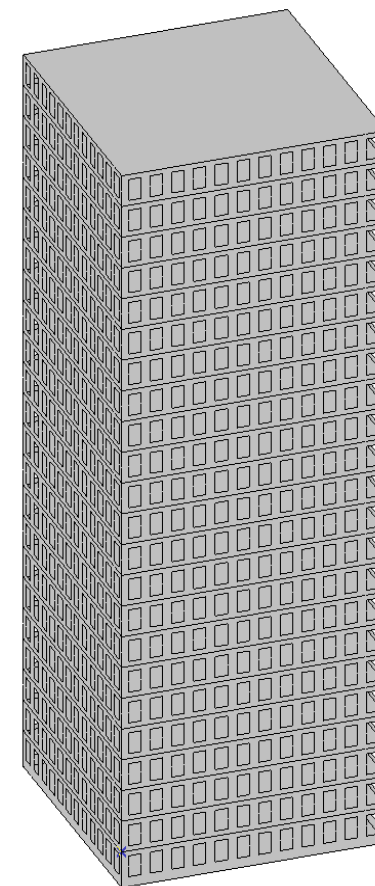
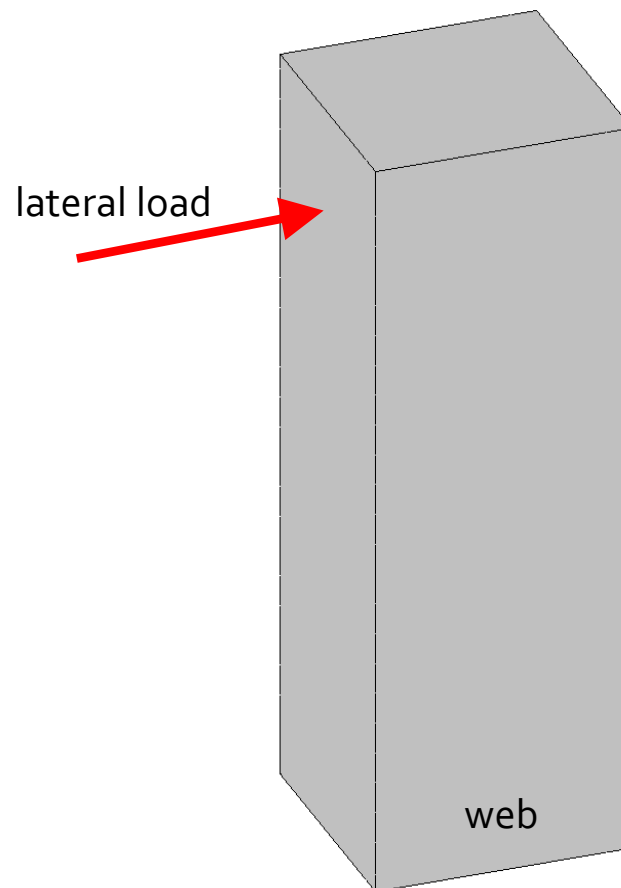
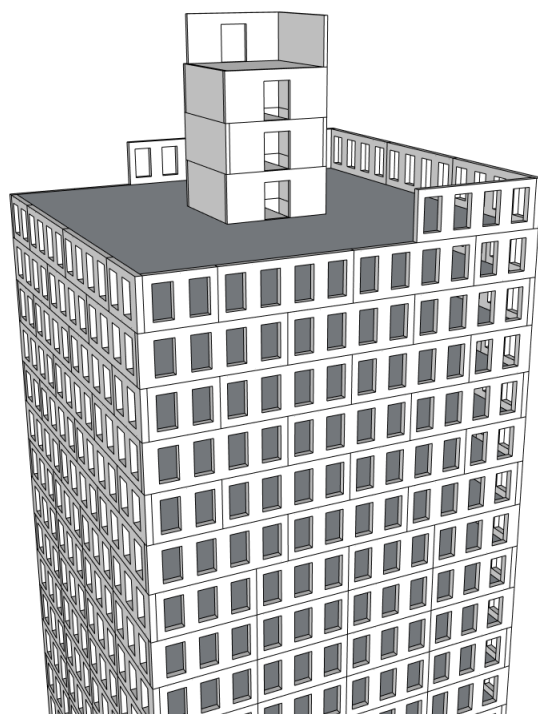
Dzelzsbetona plākšņu elementu izklājums



Saliekamā dzelzsbetona augstceltņu ēku projektēšana un būvniecība

Fasāžu strukturālā uzvedība

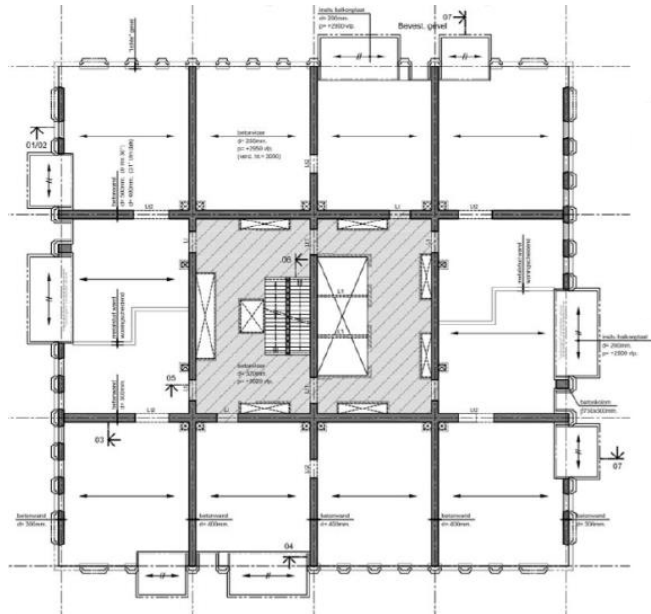
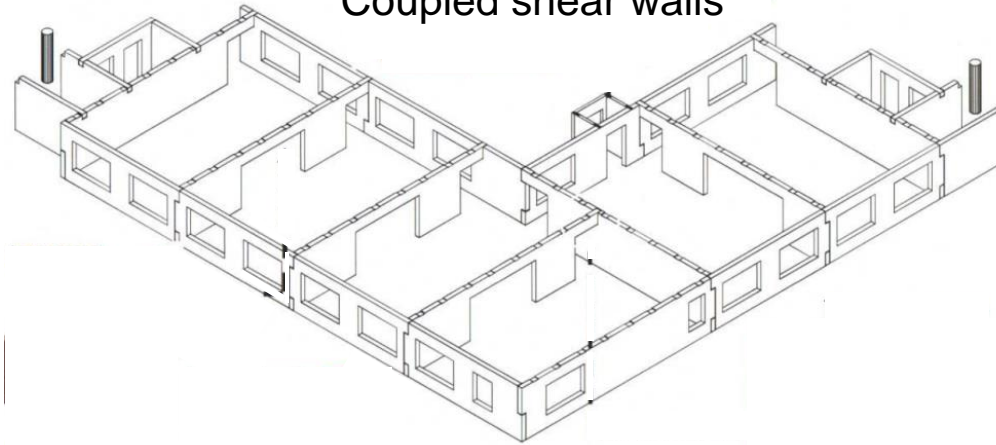
- Caurules struktūra
- Ierāmēta caurules struktūra
- Saliekamā dzelzsbetona karkasa caurules konstrukcija



Saliekamā dzelzsbetona augstceltņu ēku projektēšana un būvniecība

Augstceltņu strukturālā forma

Coupled shear walls



Shear walls

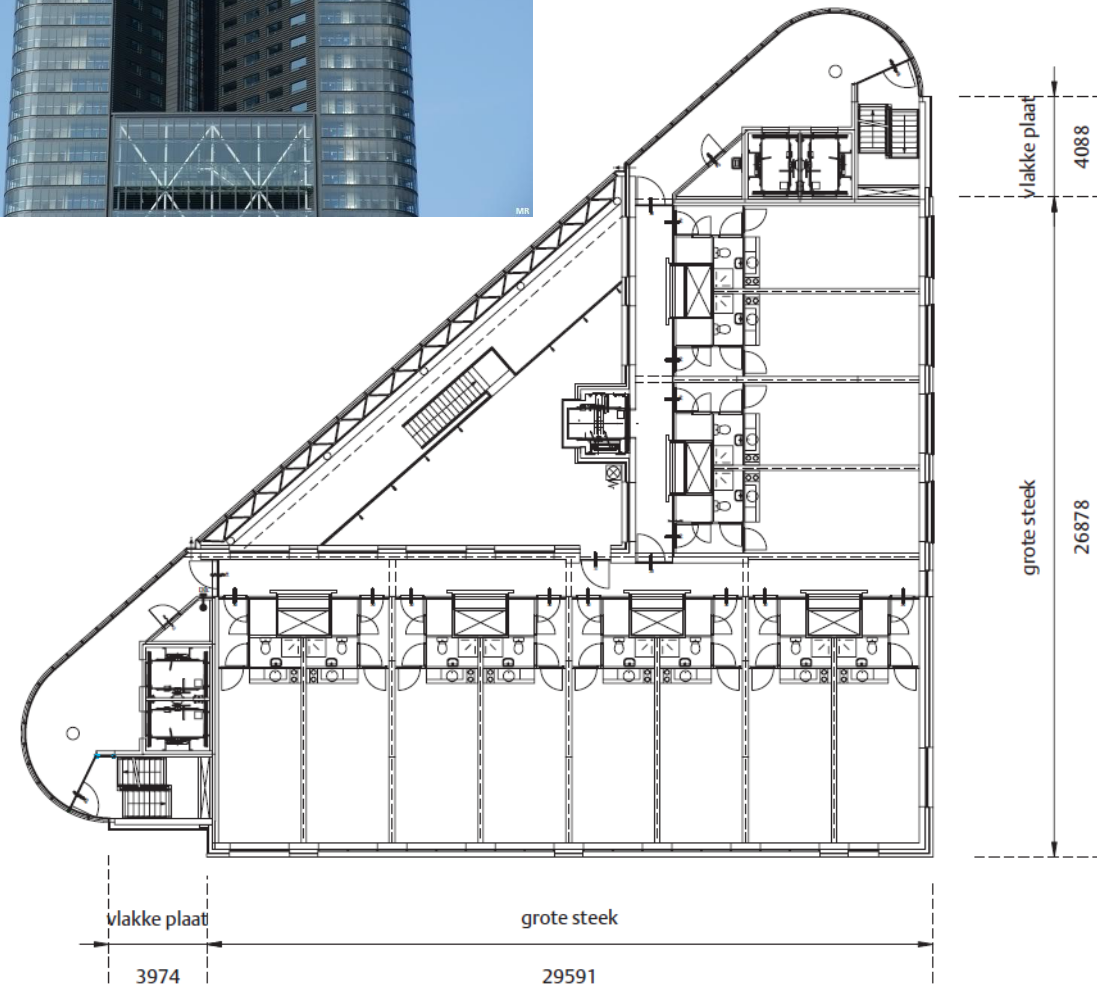
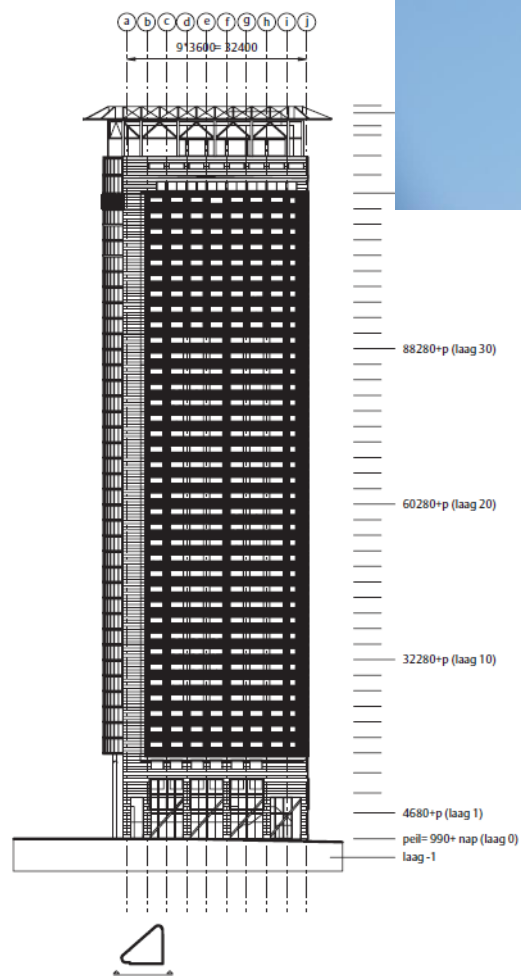


Cores / framed-tube

Saliekamā dzelzsbetona augstceltņu ēku projektēšana un būvniecība

Projekts: Het Strijkijzer – 135 m

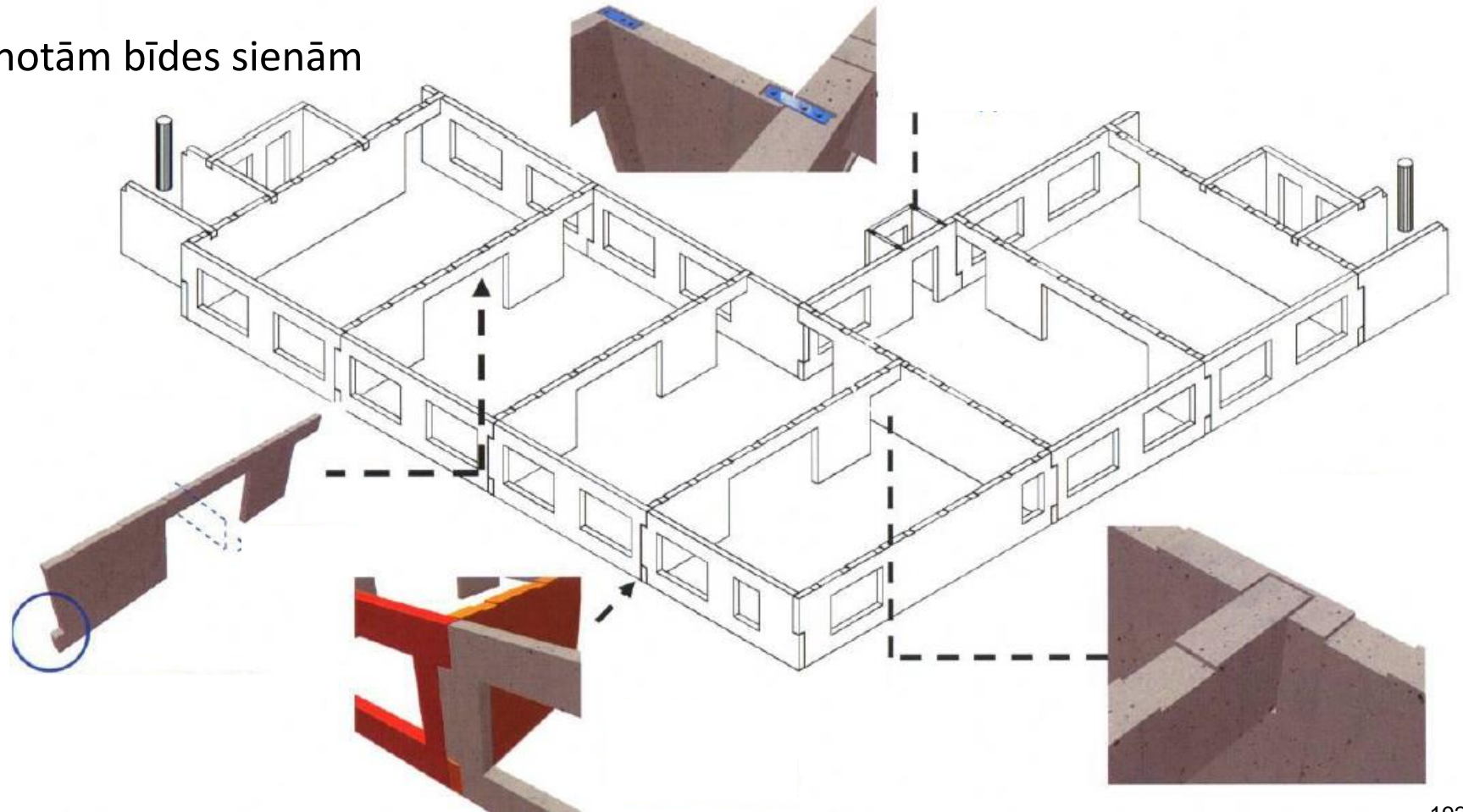
- Tulkojumā - dzelzs



Saliekamā dzelzsbetona augstceltņu ēku projektēšana un būvniecība

Projekts: Het Strijkijzer – 135 m

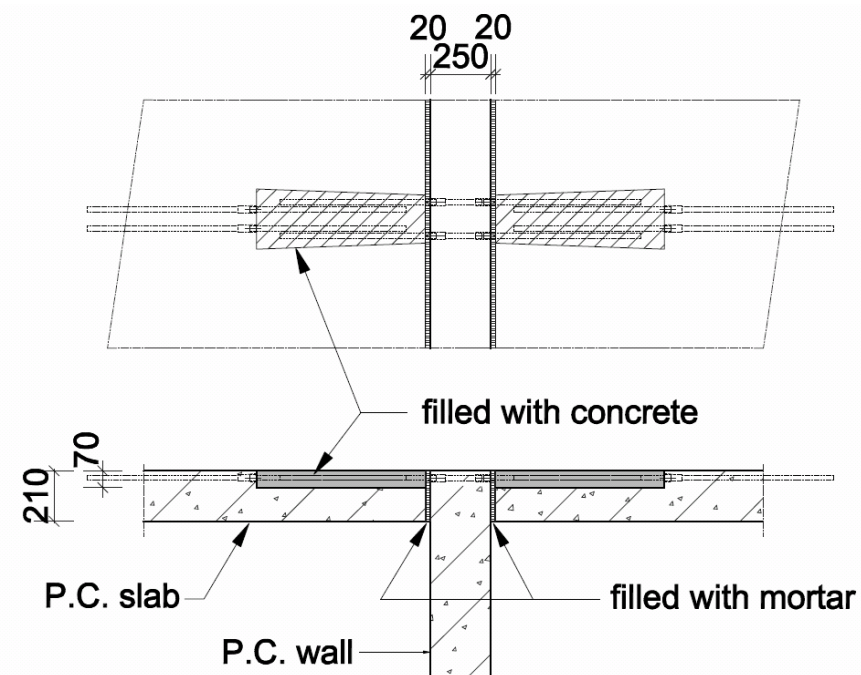
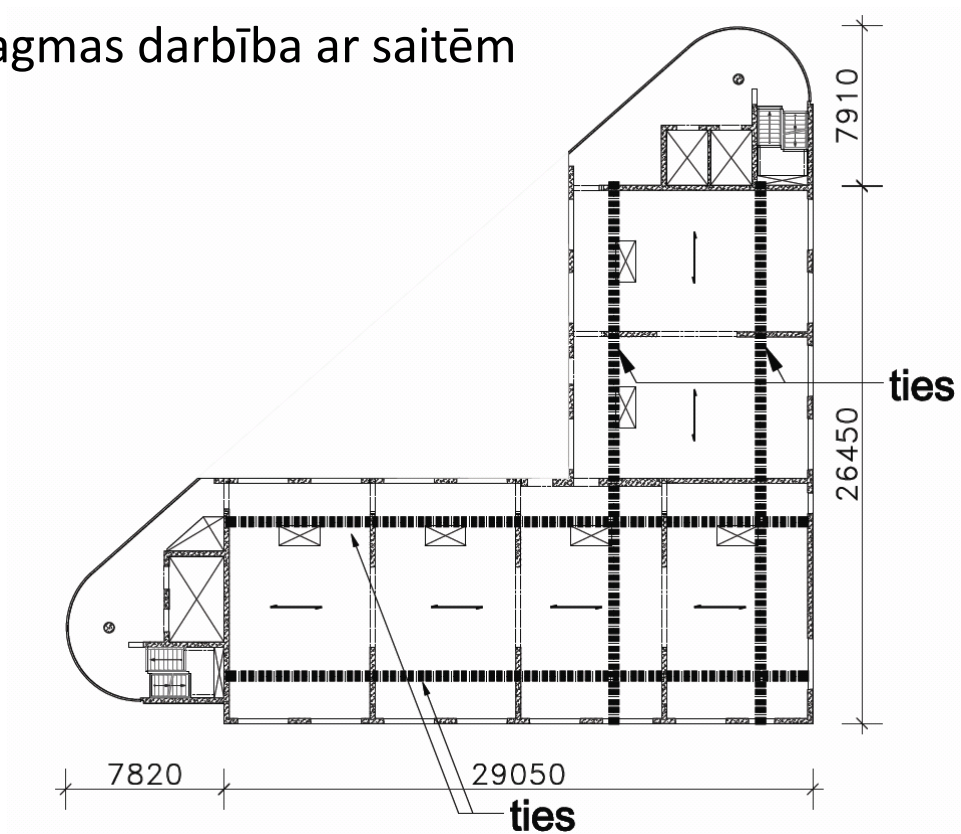
- Saliekamā dzelzsbetona dizains
- Ierāmēta caurule ar savienotām bīdes sienām



Saliekamā dzelzsbetona augstceltņu ēku projektēšana un būvniecība

Projekts: Het Strijkijzer – 135 m

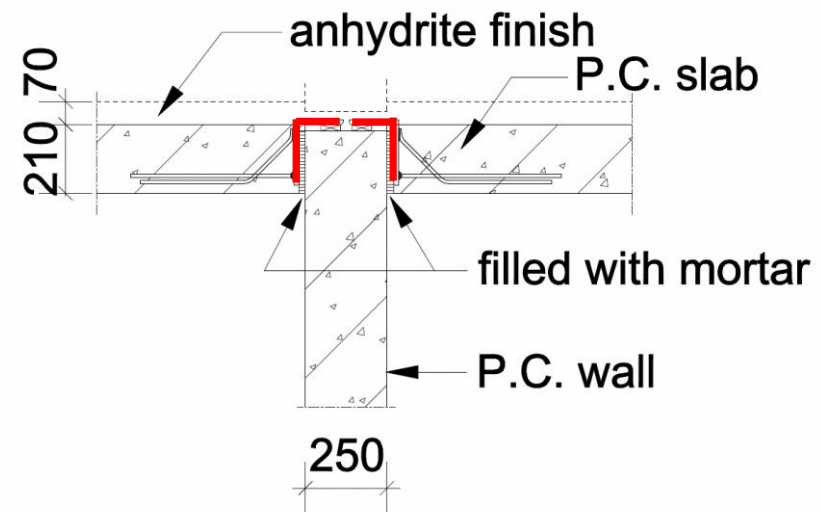
- Saliekamā dzelzsbetona plātņu elementi
- Diafragmas darbība ar saitēm



Saliekamā dzelzsbetona augstceltņu ēku projektēšana un būvniecība

Project: Het Strijkijzer – 135 meters

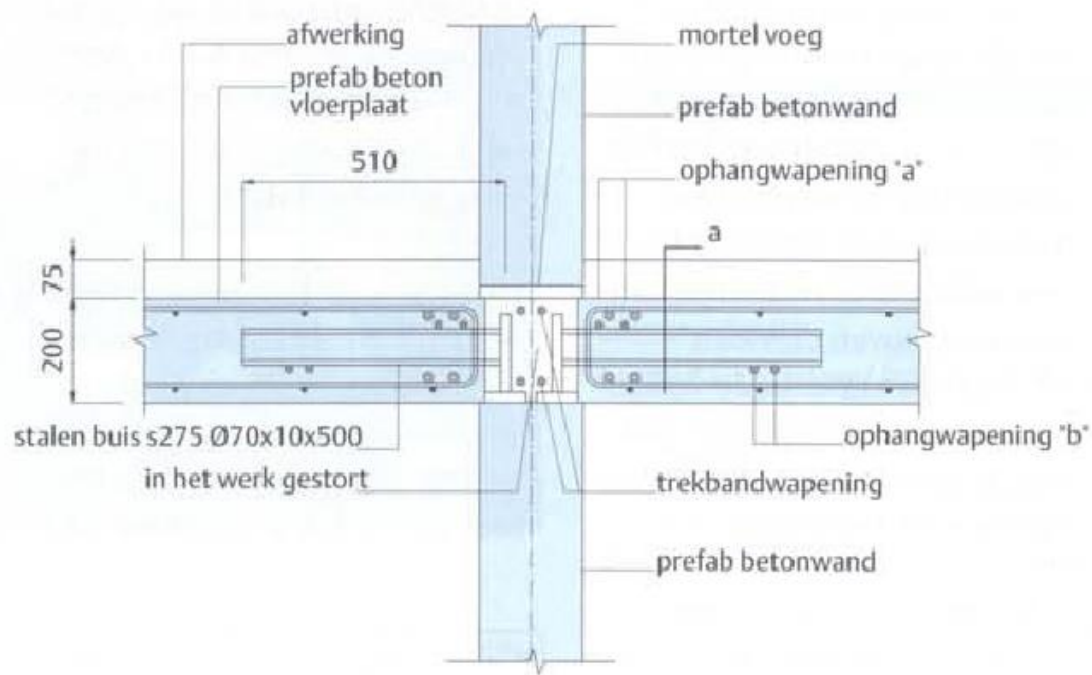
- Saliekamā dzelzsbetona plāksne ar tērauda balstu



Saliekamā dzelzsbetona augstceltņu ēku projektēšana un būvniecība

Project: Het Strijkijzer – 135 meters

- Alternatīvas tērauda atbalsts



Saliekamā dzelzsbetona augstceltņu ēku projektēšana un būvniecība

Project: Het Strijkijzer

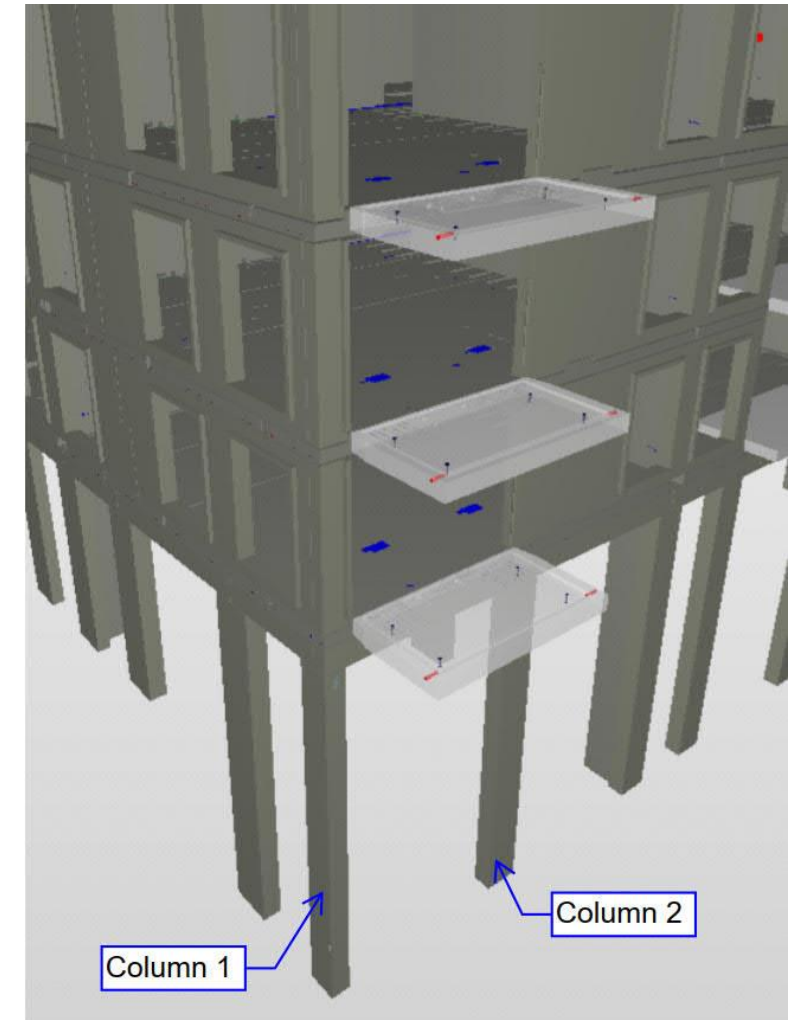
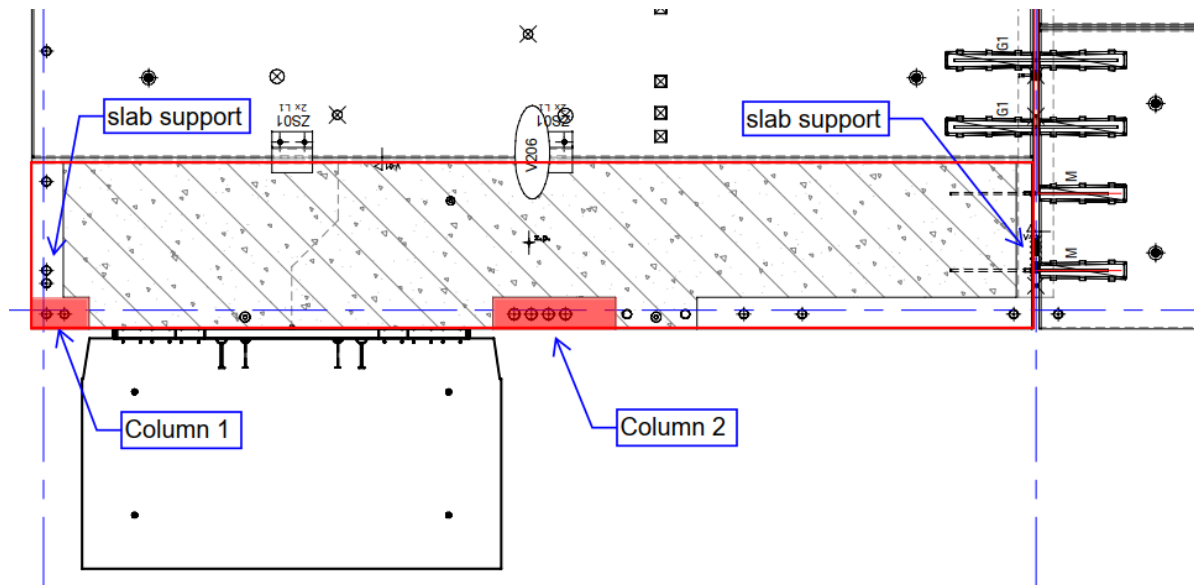
- Būvniecība



Saliekamā dzelzsbetona augstceltņu ēku projektēšana un būvniecība

Projekts: Maanplein 110

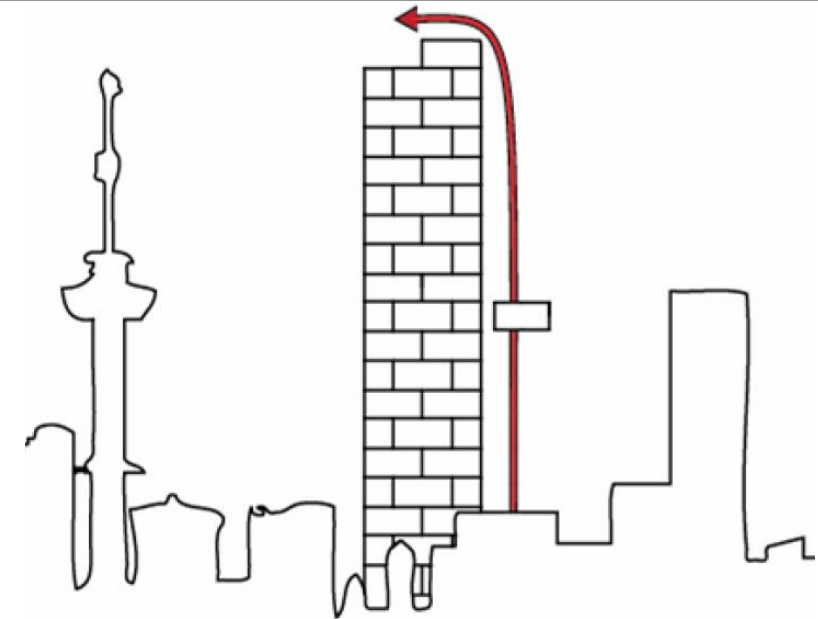
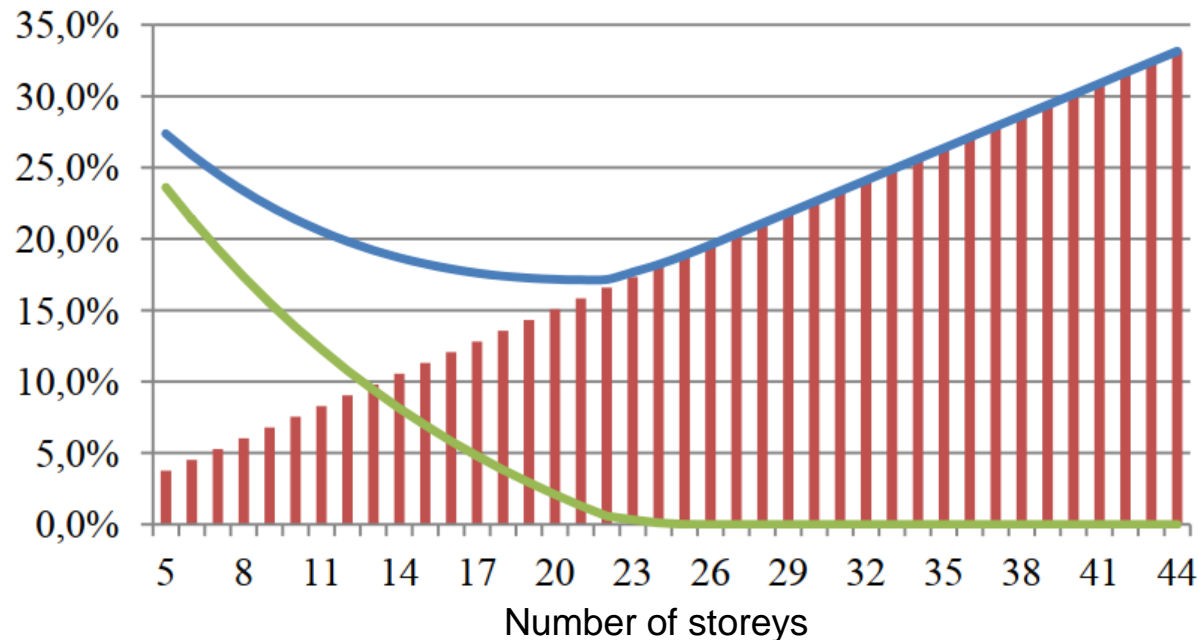
- Plātne + Balkona montāža paceļama kā viena sastāvdaļa
- Nolikts uz “plātņu balstiem” (2. aile nav atbalsts pašvaram)
- 2. kolonna kļūst aktīva tikai papildu slodzēm (piemēram, apdarei un spriegumam).
- 1. kolonna ir noslogota ar lielāku normālo spēku, nekā iespējams, saliekamā dzelzsbetona konstrukcijas dēļ
- Normāls spēki kolonnās mainās ar šļūdes un nobīdes efektiem



Saliekamā dzelzsbetona augstceltņu ēku projektēšana un būvniecība

Saliekamā dzelzsbetona konstrukcija

- Loģistikas kontrole ir ļoti svarīga biznesa veiksmīgai darbībai
- Mazs būvlaukums
- Vertikālā transportēšanas laika palielināšana
- “Standarta laika” elementu izstrāde Het Strijkijzer:

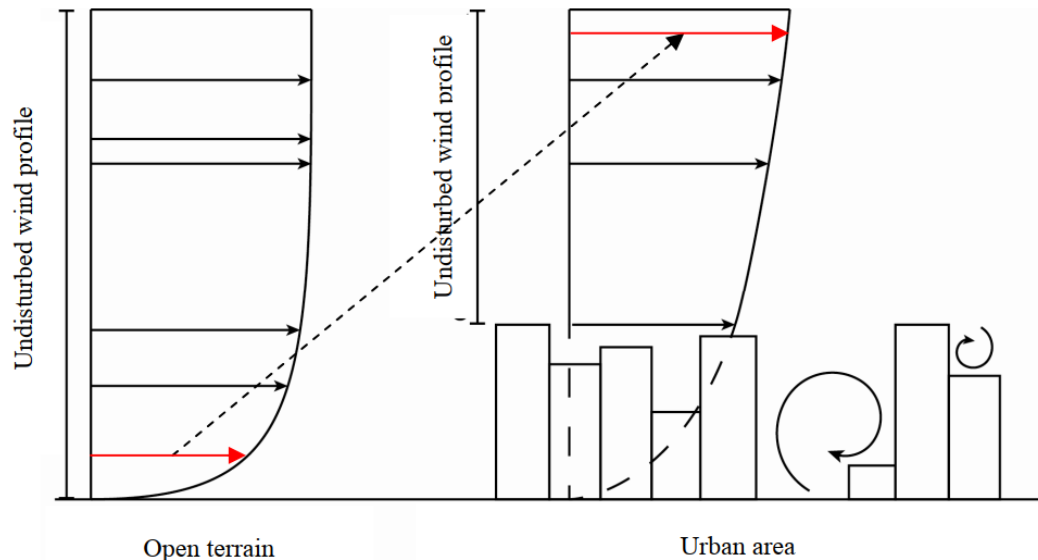


- Percentage transport time
- Total (transport + inefficiency)
- Inefficiency time

Saliekamā dzelzsbetona augstceltņu ēku projektēšana un būvniecība

Saliekamā dzelzsbetona konstrukcija:

- Laika apstākļi: vēja un augstuma ietekme
- Kritiskais vēja ātrums 11 m/s
- Prognožu kalendārs ar pieaugošu apbūves augstumu
- Ikgadējais darba dienu skaita samazinājums: 6,8 dienas pie 50 m. un 37,5 dienas 200 m augstumā.



		Number of days wind speed above 11 m/s ³									
		Open terrain (roughness length 0.05 meter)					Urban area (roughness length 0.5 meter)				
Forecast calendar ²		10	50	100	150	200	10	50	100	150	200
	1	1.0	3.6	5.0	5.8	6.3	0.0	0.4	1.0	1.5	2.0
Jan	1	1.0	3.6	5.0	5.8	6.3	0.0	0.4	1.0	1.5	2.0
Feb	1	1.0	3.6	5.0	5.8	6.3	0.0	0.4	1.0	1.5	2.0
March	2	2.0	7.3	10.0	11.5	12.7	0.0	0.7	2.0	3.1	3.9
Apr	2	2.0	7.3	10.0	11.5	12.7	0.0	0.7	2.0	3.1	3.9
May	1	1.0	3.6	5.0	5.8	6.3	0.0	0.4	1.0	1.5	2.0
June	1	1.0	3.6	5.0	5.8	6.3	0.0	0.4	1.0	1.5	2.0
Jul/Aug	2	2.0	7.3	10.0	11.5	12.7	0.0	0.7	2.0	3.1	3.9
Sep	2	2.0	7.3	10.0	11.5	12.7	0.0	0.7	2.0	3.1	3.9
Oct	2	2.0	7.3	10.0	11.5	12.7	0.0	0.7	2.0	3.1	3.9
Nov	3	3.0	10.9	15.0	17.3	19.0	0.0	1.1	3.0	4.6	5.9
Dec	2	2.0	7.3	10.0	11.5	12.7	0.0	0.7	2.0	3.1	3.9
	19	19.0	68.9	94.8	109.6	120.2	0.0	6.8	19.0	29.3	37.5

1 = Height [m]

2 = In ratio to 10 meter above open terrain

3 = Of the 191 workable days in the Dutch coastal provinces

- Izturības prasības un risinājumi:
 - Eirokodeksa noteikumu interpretācija
 - Sasaistes un alternatīvi slodzes ceļi
 - Galvenie elementi
- Problēmas, kas saistības ar saliekamā dzelzsbetona augstceltņu projektēšanu un būvniecību
- **Daudzstāvu ēku gadījumu izpēte:**
 - **Breaker Tower Bahreina (165 m)**
 - Zalmhaven Tower Roterdama (215 m)
- Jautājumu un atbilžu sesija

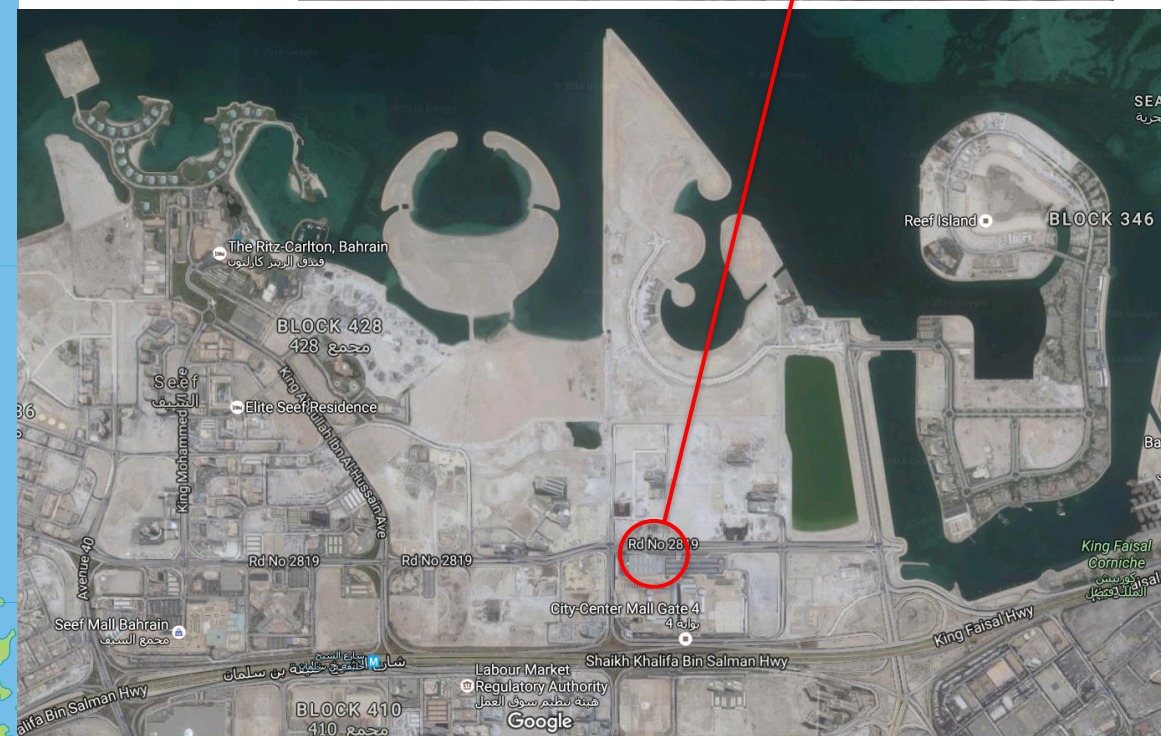
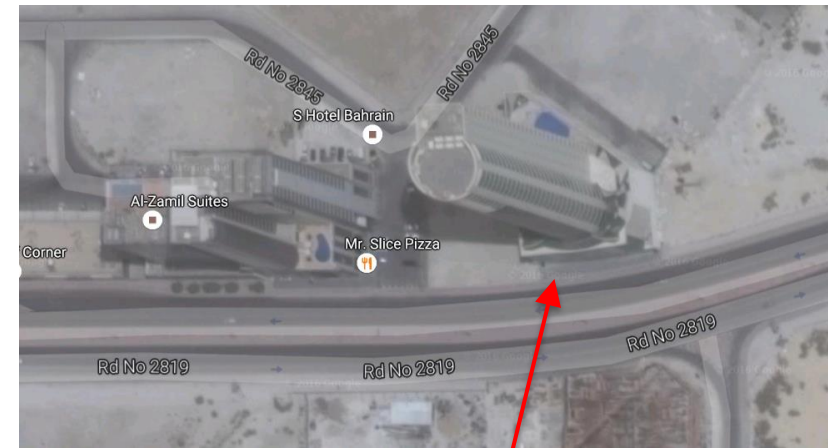
Gadījumu izpēte Breaker Tower Bahreina

- 165 m
- 35 stāvi
- 29,800 m² grīdas virsmas
- Tikai saliekams dzelzsbetons
- Darbi pabeigti 2014.gadā



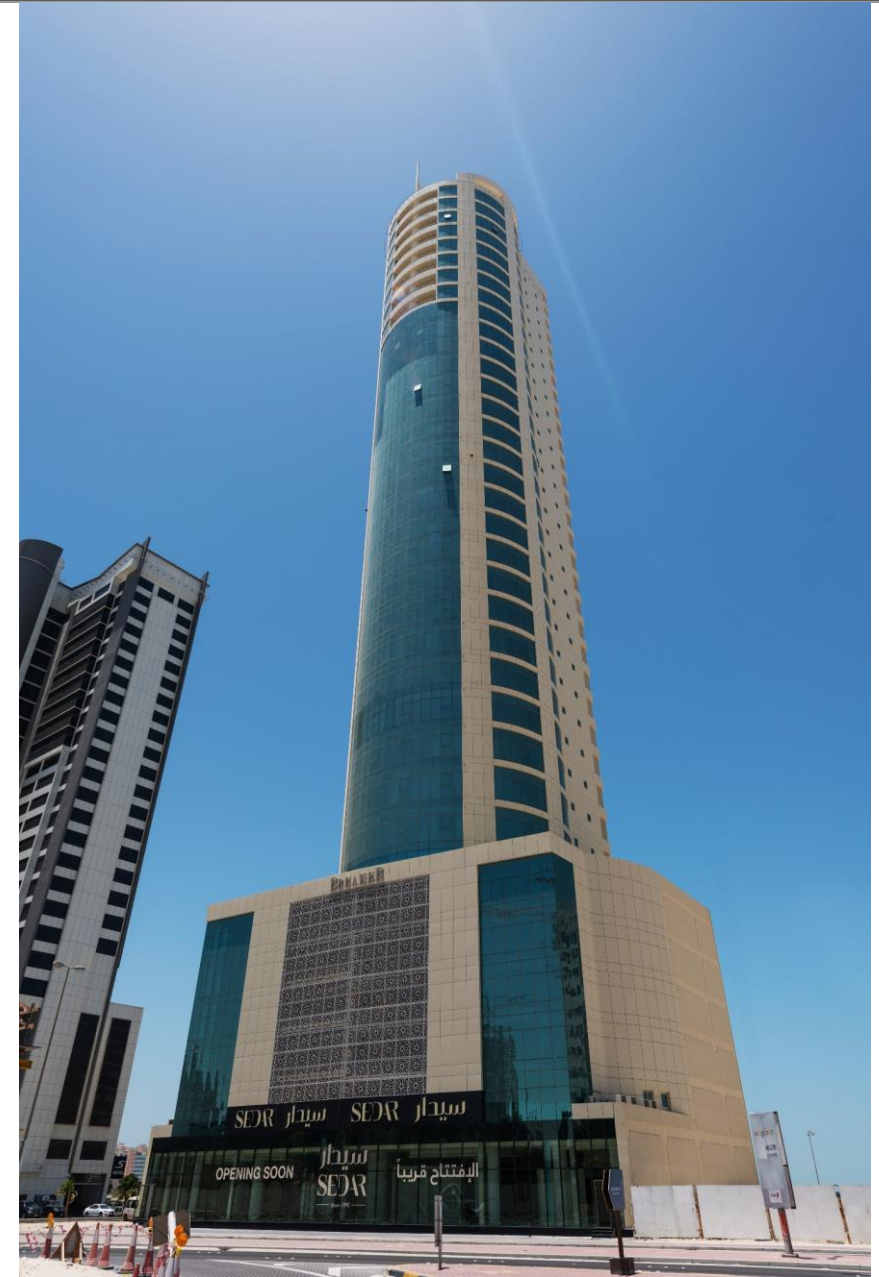
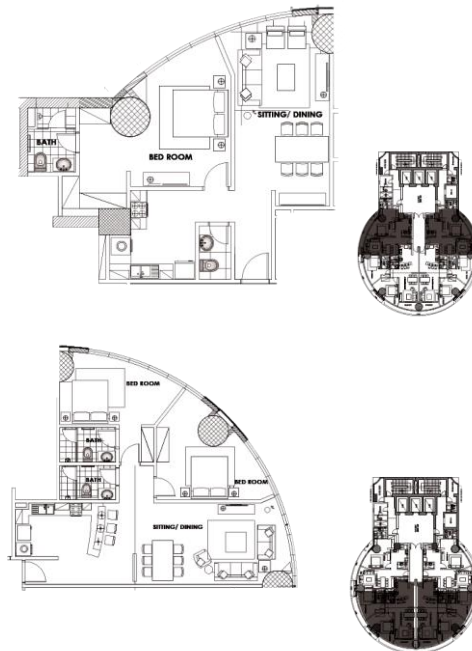
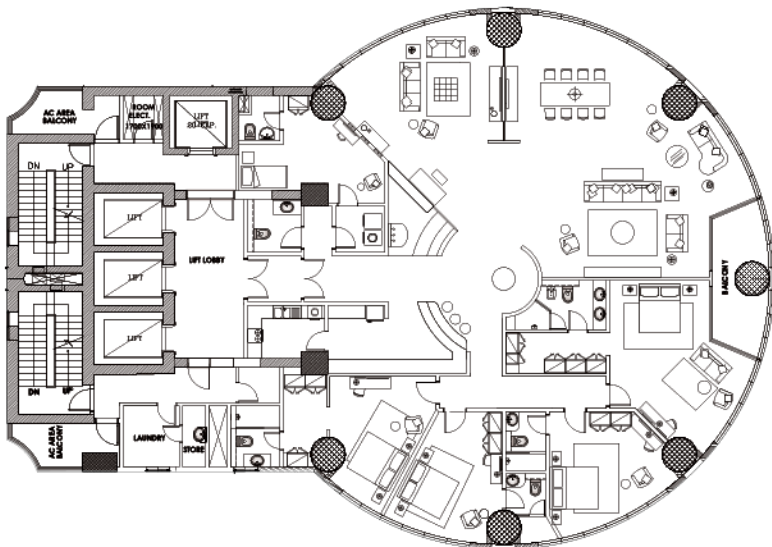
Gadījumu izpēte Breaker Tower Bahreina

- Zīfas rajons – Manama – Bahreinas karaliste



Gadījumu izpēte Breaker Tower Bahreina

- 4 stāvi ar *penthausiem*
- 25 stāvi ar 4 dzīvokļiem/stāvs
- Grezns stils ar 4,2 brīvu stāvu augstumu!
- Izstāžu zāle pirmajā stāvā

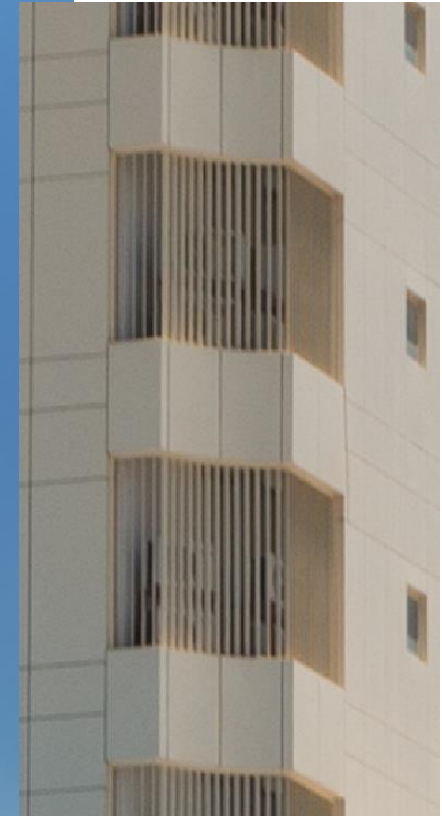


Gadījumu izpēte Breaker Tower Bahreina

- 5stāvu autostāvvietā vairāk nekā 200 automašīnām
- Ieeja aizmugurē:



- Klimats:



AC hidden inside
the building

Gadījumu izpēte Breaker Tower Bahreina

Saliekamā dzelzsbetona
konstrukcija mazstāvu būves:

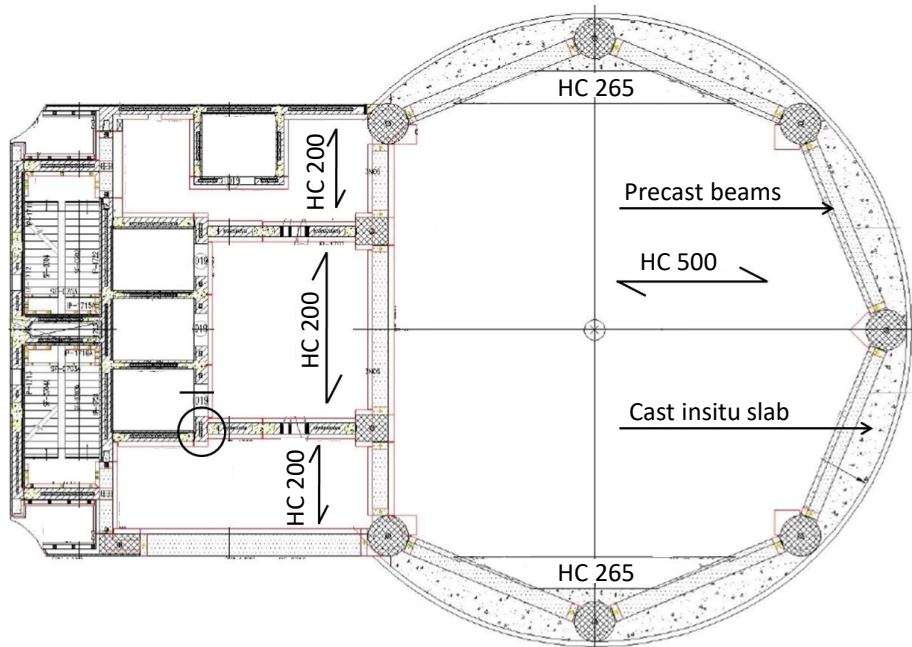
- Autostāvvietu garāža
- Karkasa konstrukcija ar HC plāksnēm



Gadījumu izpēte Breaker Tower Bahreina

Saliekamā dzelzsbetona projektēšana augstceltnē:

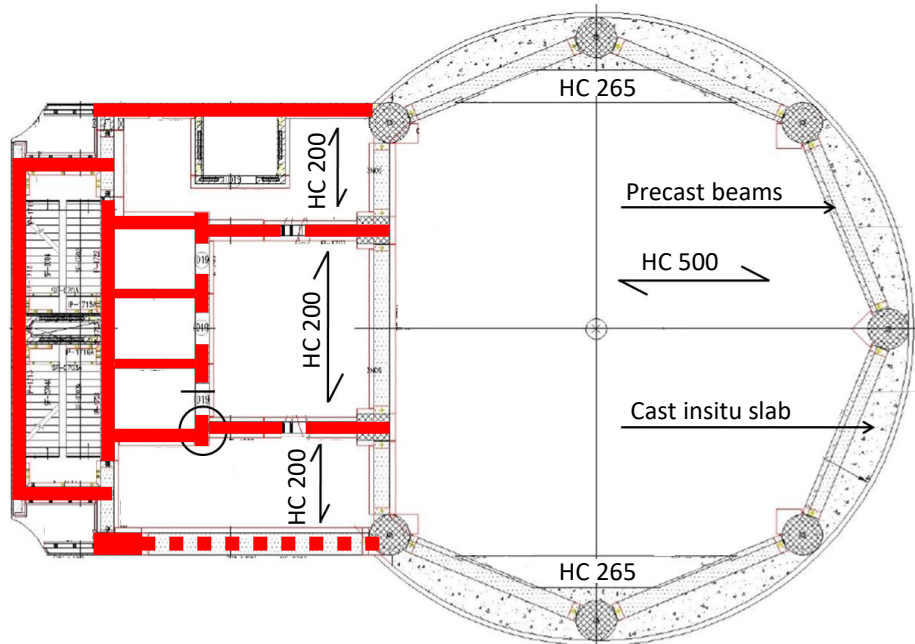
- Grīdas plātņu sastāvs
- Sijas
- Kolonnas \varnothing 1500 mm, C55/67



Gadījumu izpēte Breaker Tower Bahreina

Saliekamā dzelzsbetona
projektēšana augstceltnē:

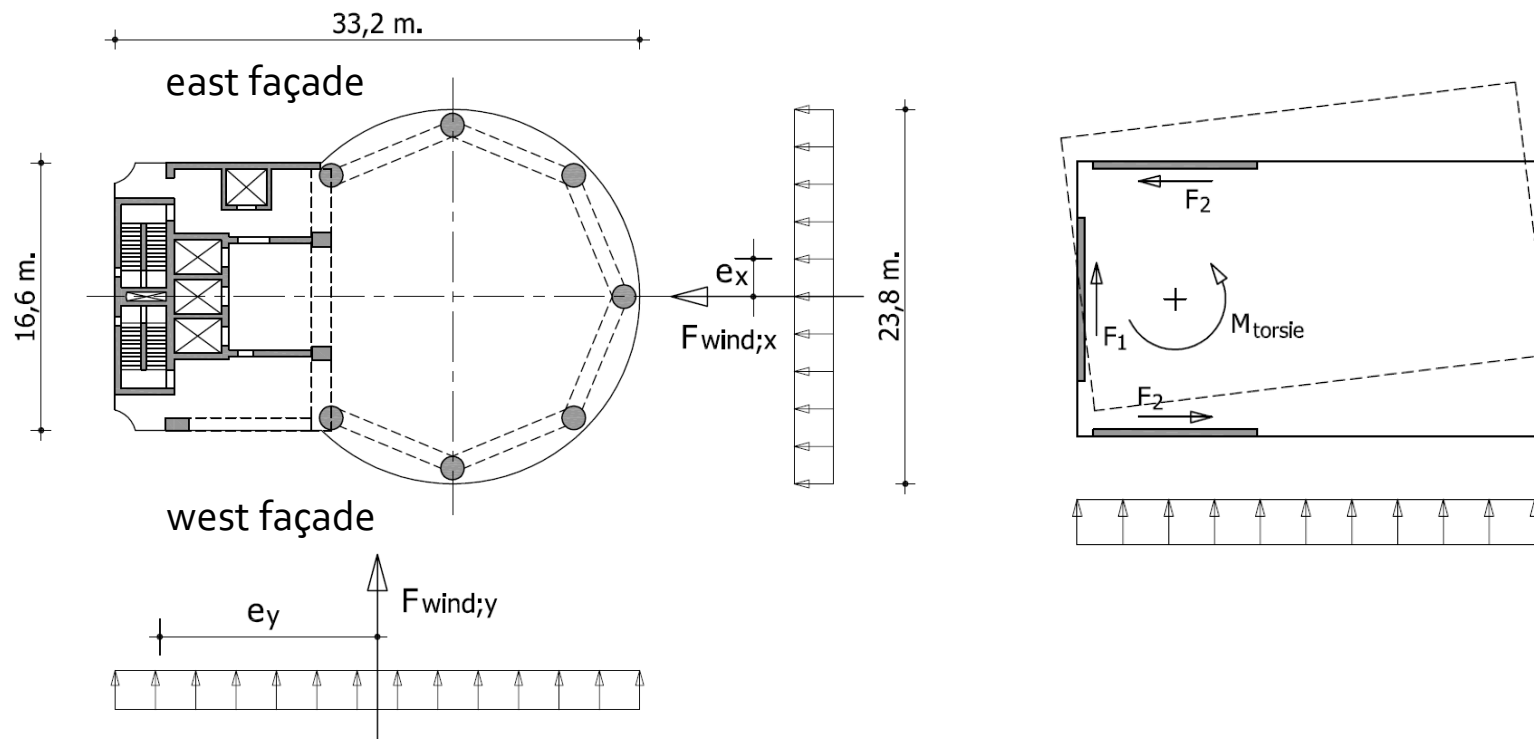
- Konsoles bīdes sienu konstrukcijas
- Galvenās struktūras



Gadījumu izpēte Breaker Tower Bahreina

Daudzstāvu konstrukcijas dizains:

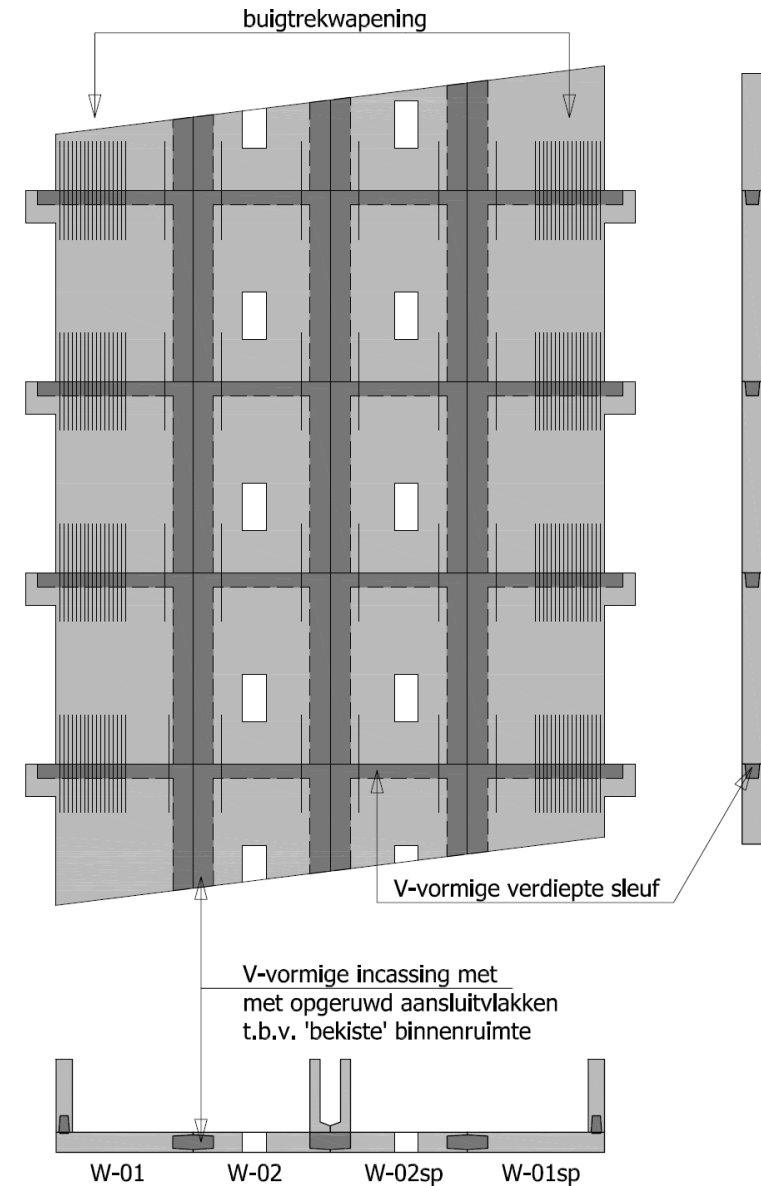
- Liekšana un vērpes, ko izraisa ekscentriskas sānu slodzes



Gadījumu izpēte Breaker Tower Bahreina

Daudzstāvu konstrukcijas dizains:

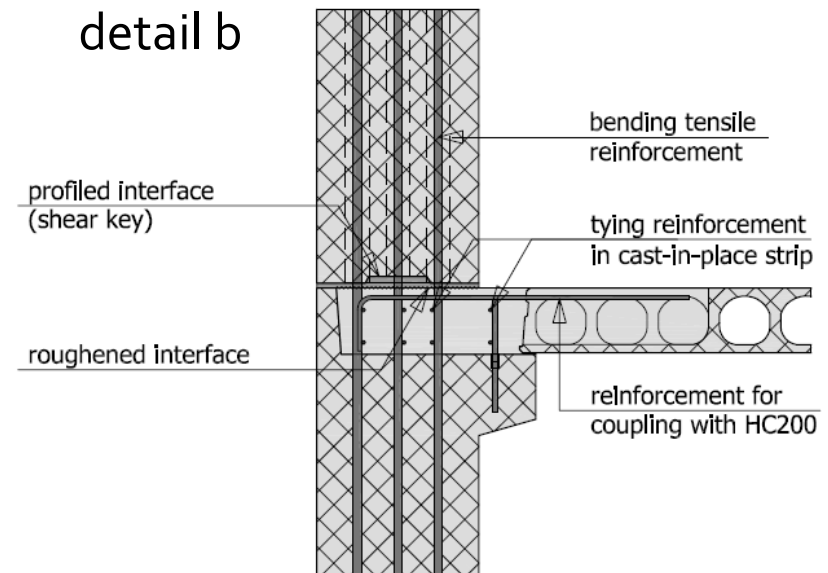
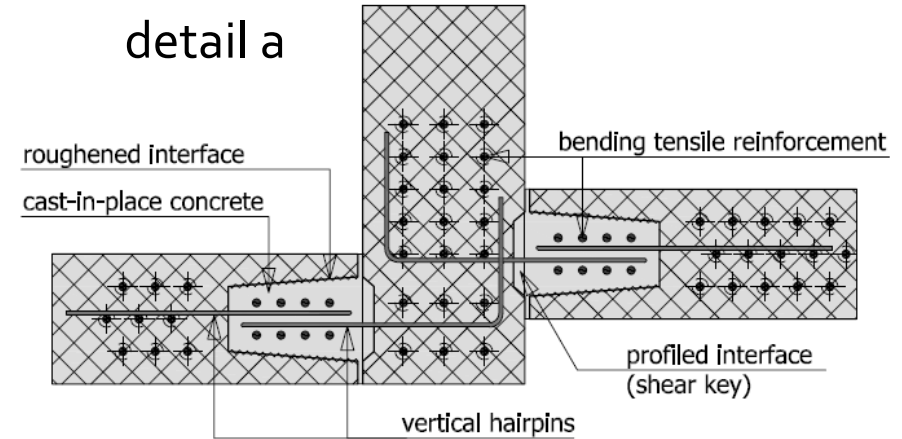
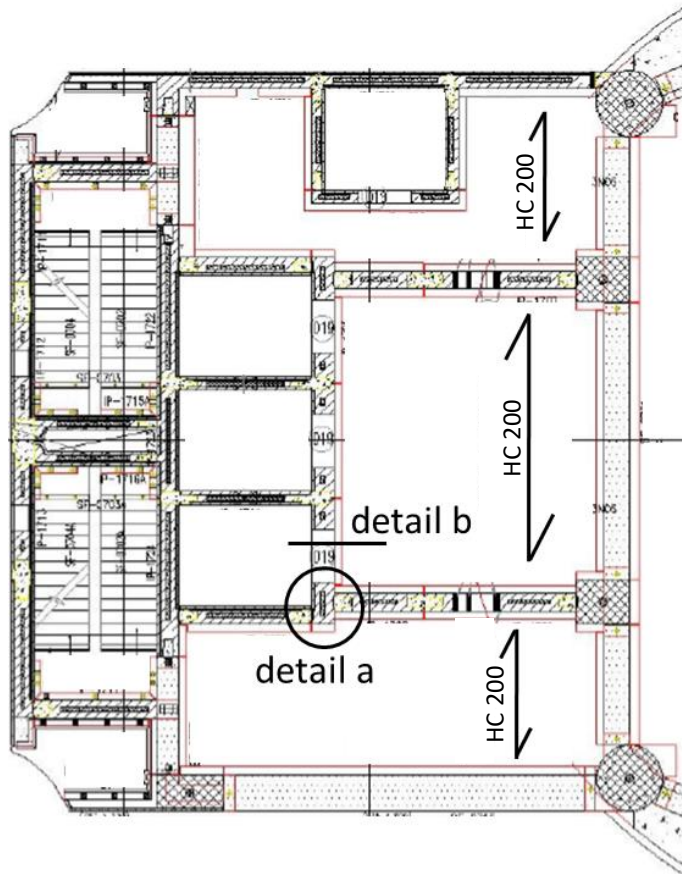
- Saliekamā dzelzsbetona bīdes sienu savienojumi



Gadījumu izpēte Breaker Tower Bahreina

Daudzstāvu konstrukcijas dizains:

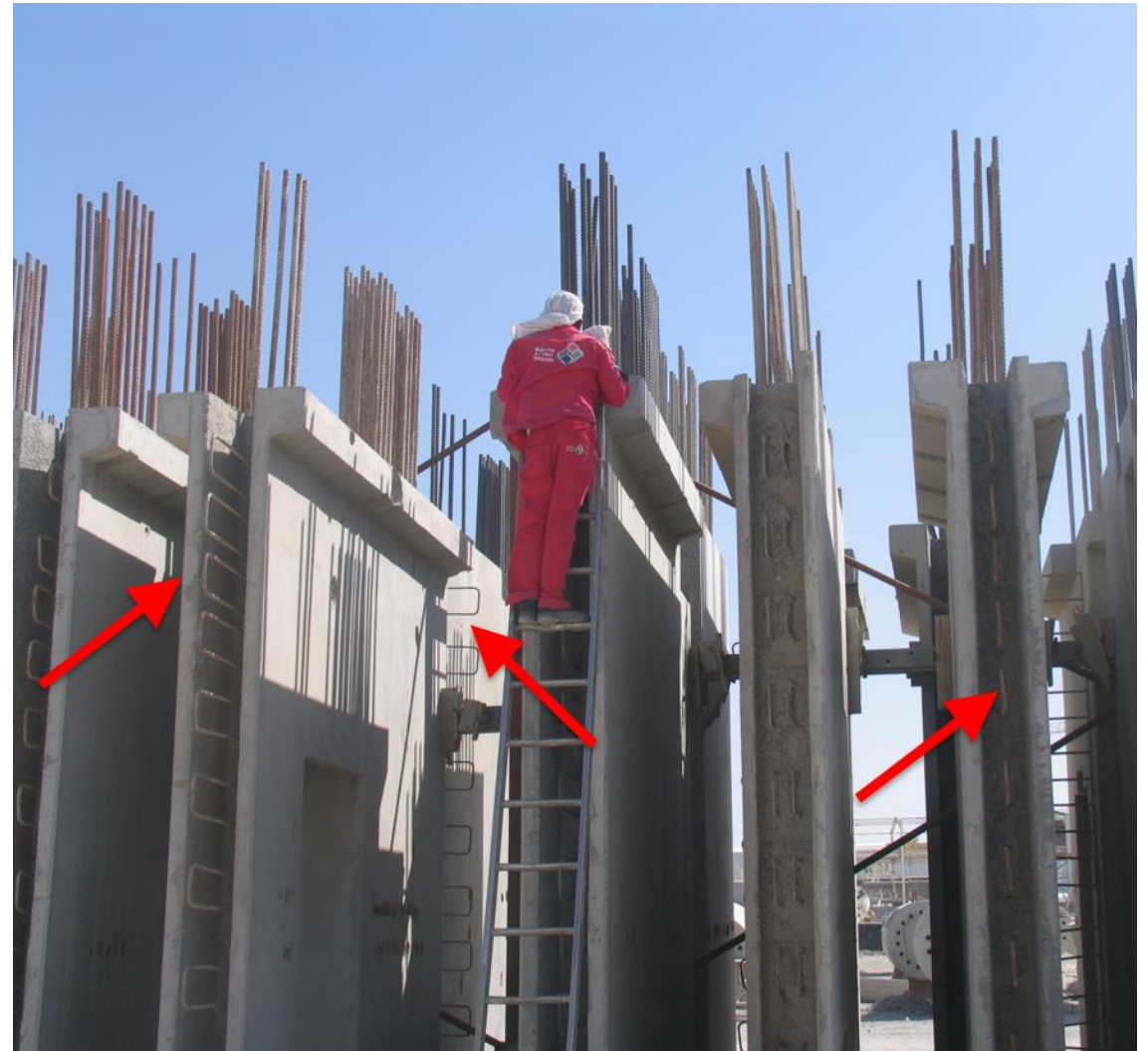
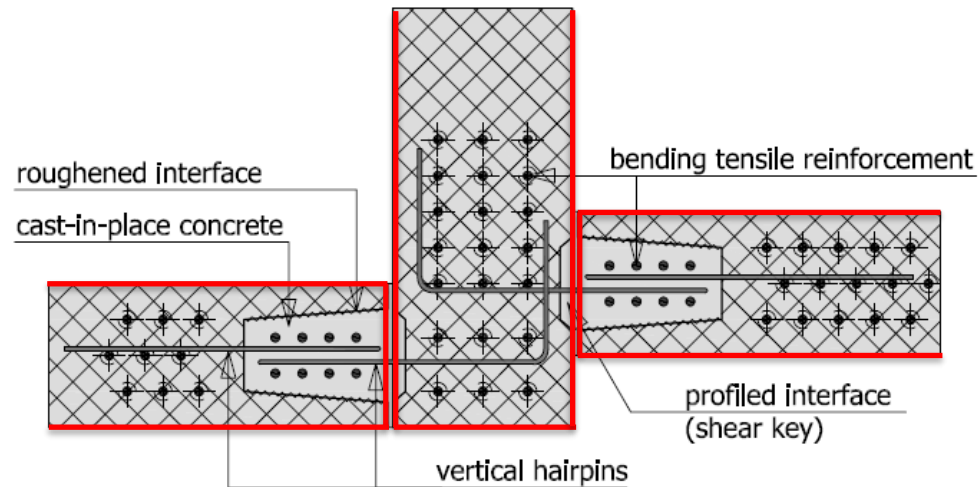
- Saliekamā dzelzsbetona savienojumi



Gadījumu izpēte Breaker Tower Bahreina

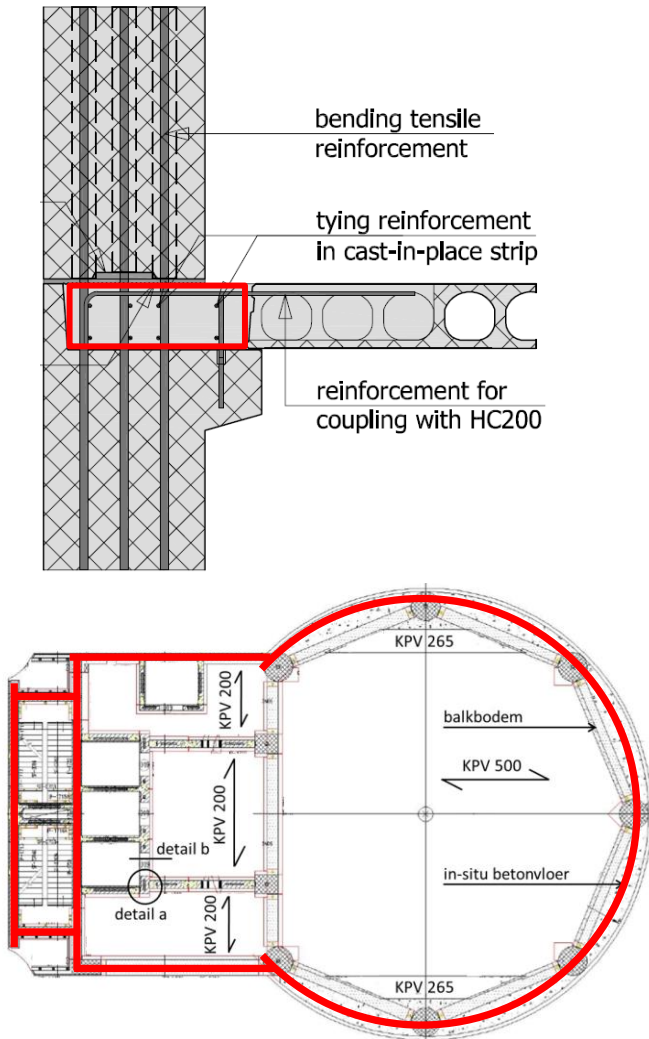
Daudzstāvu konstrukcijas dizains:

- Savienojumi ar vertikāliem stieņiem



Gadījumu izpēte Breaker Tower Bahreina

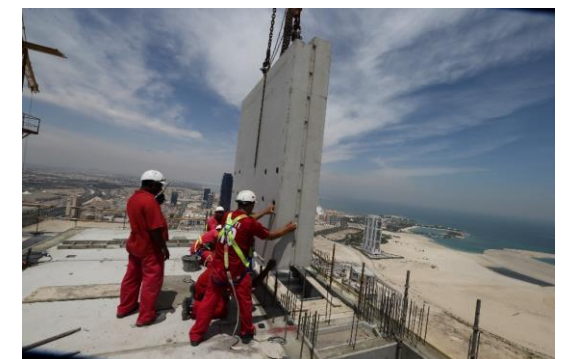
- Saliekamā dzelzsbetona diafragmas konstrukcija ar saišu stiegrojumu



Gadījumu izpēte Breaker Tower Bahreina

Saliekamā dzelzsbetona konstrukcija:

- 2 stāvus sagatavo iepriekš rūpnīcā
- Būvniecība 1 stāvs / 13 dienas:
 - 7 dienas dobās plātnes, sijas, kāpnes
 - 6 dienas kolonnas un bīdes sienu paneļi
- Lielākais torņa celtnis reģionā:
 - Celtpēja 24tonnas uz 43 metriem
 - 100 m brīvi virs augstākā stiprinājuma punkta
 - 168 m augsts torņa celtnis



- Izturības prasības un risinājumi:
 - Eirokodeksa noteikumu interpretācija
 - Sasaistes un alternatīvi slodzes ceļi
 - Galvenie elementi
- Problēmas, kas saistības ar saliekamā dzelzsbetona augstceltņu projektēšanu un būvniecību
- Daudzstāvu ēku gadījumu izpēte:
 - Breaker Tower Bahreina (165 m)
 - **Zalmhaven Tower Roterdama (215 m)**
- Jautājumu un atbilžu sesija

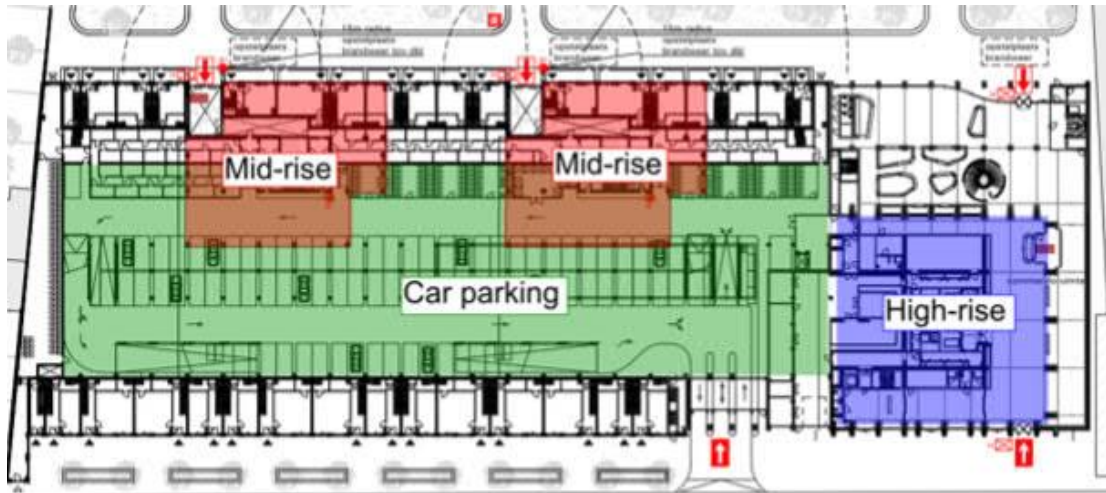
Gadījumu izpēte Zalmhaven Tower Roterdama

- 215 m augsts / 59 stāvi
- 242 dzīvokļi / 1 restorāns
- Augstākā ēka, kas pilnībā uzbūvēta no saliekamā dzelzsbetona
- Darbi pabeigti 2022. gadā



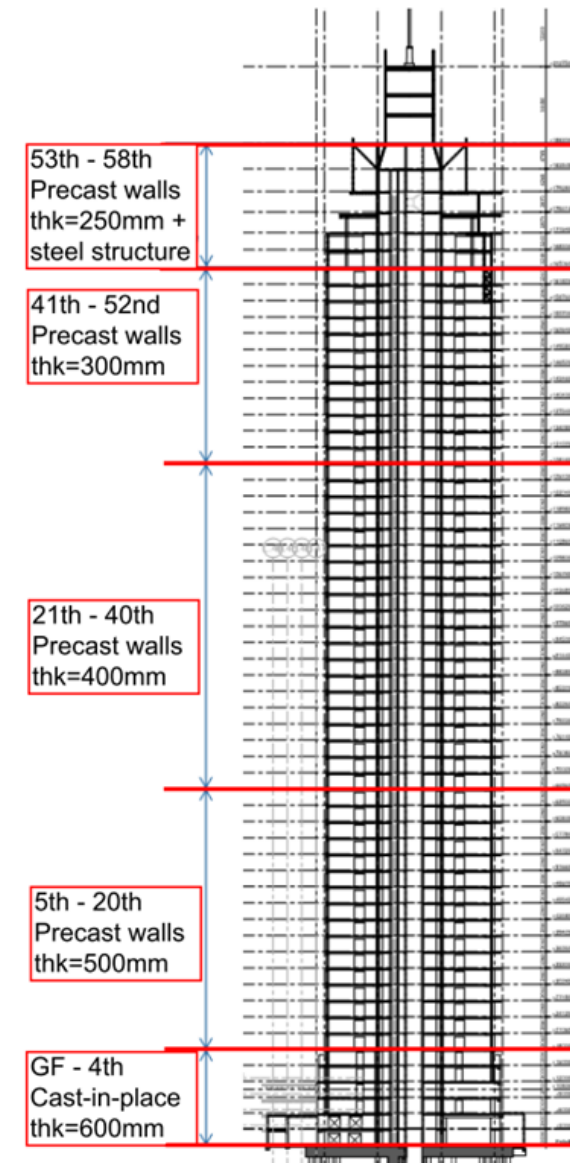
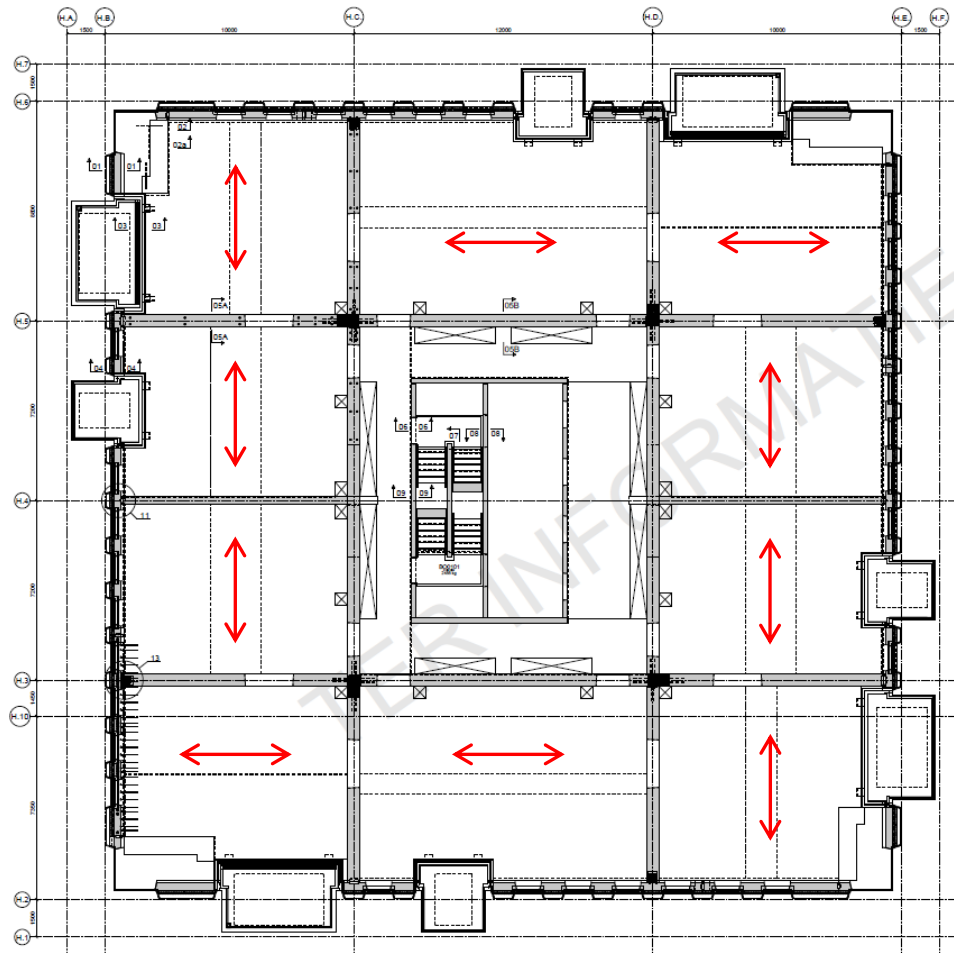
Gadījumu izpēte Zalmhaven Tower Roterdama

- Projekta pārskats



Gadījumu izpēte Zalmhaven Tower Roterdama

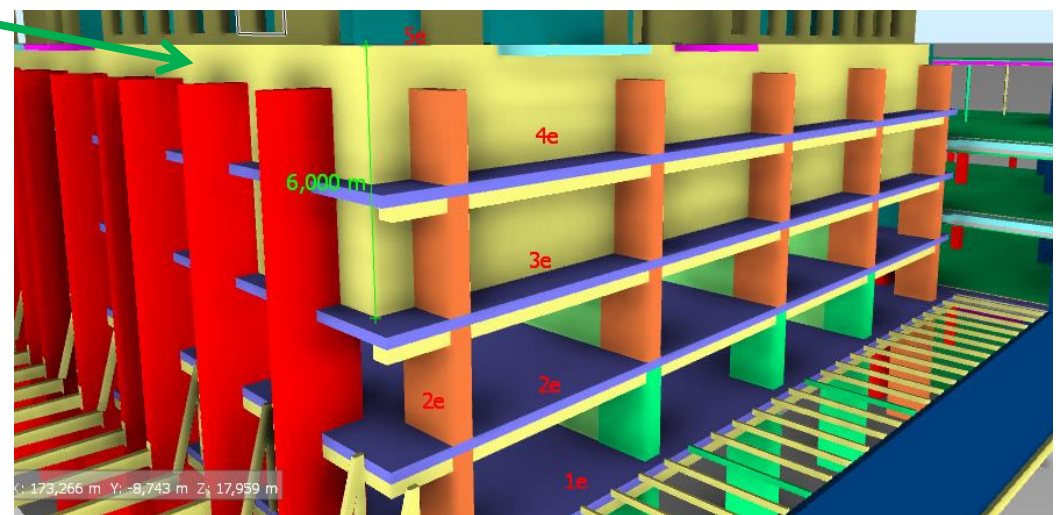
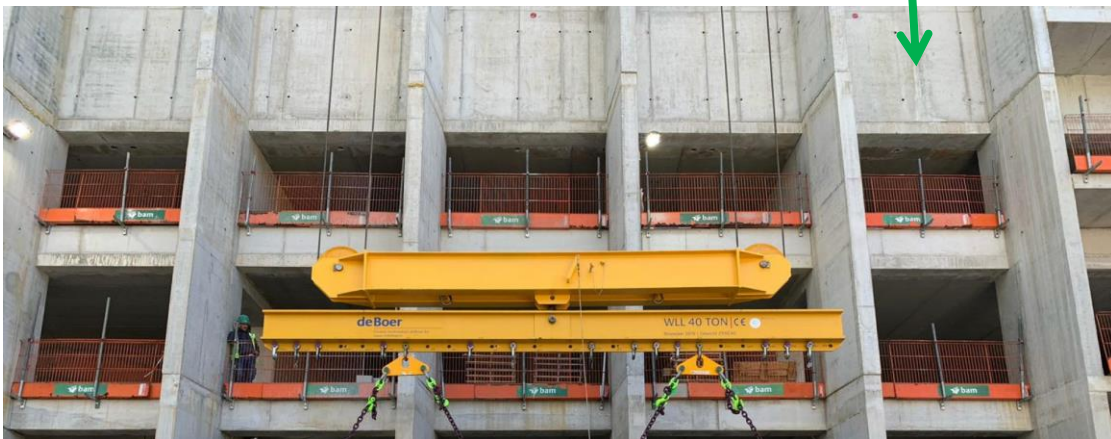
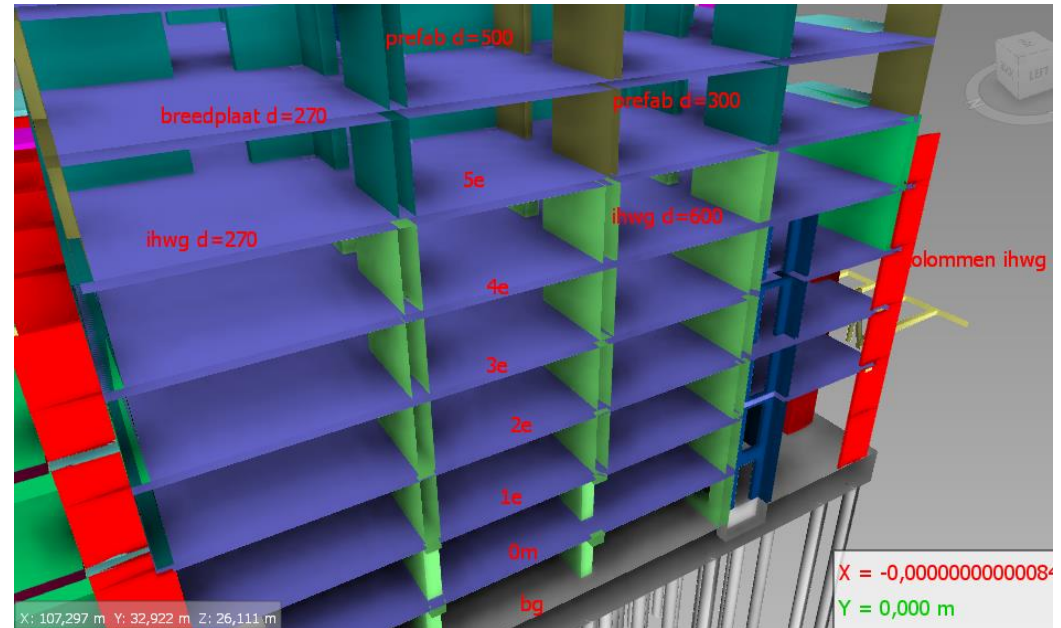
- Strukturālais plāns



Gadījumu izpēte Zalmhaven Tower Roterdama

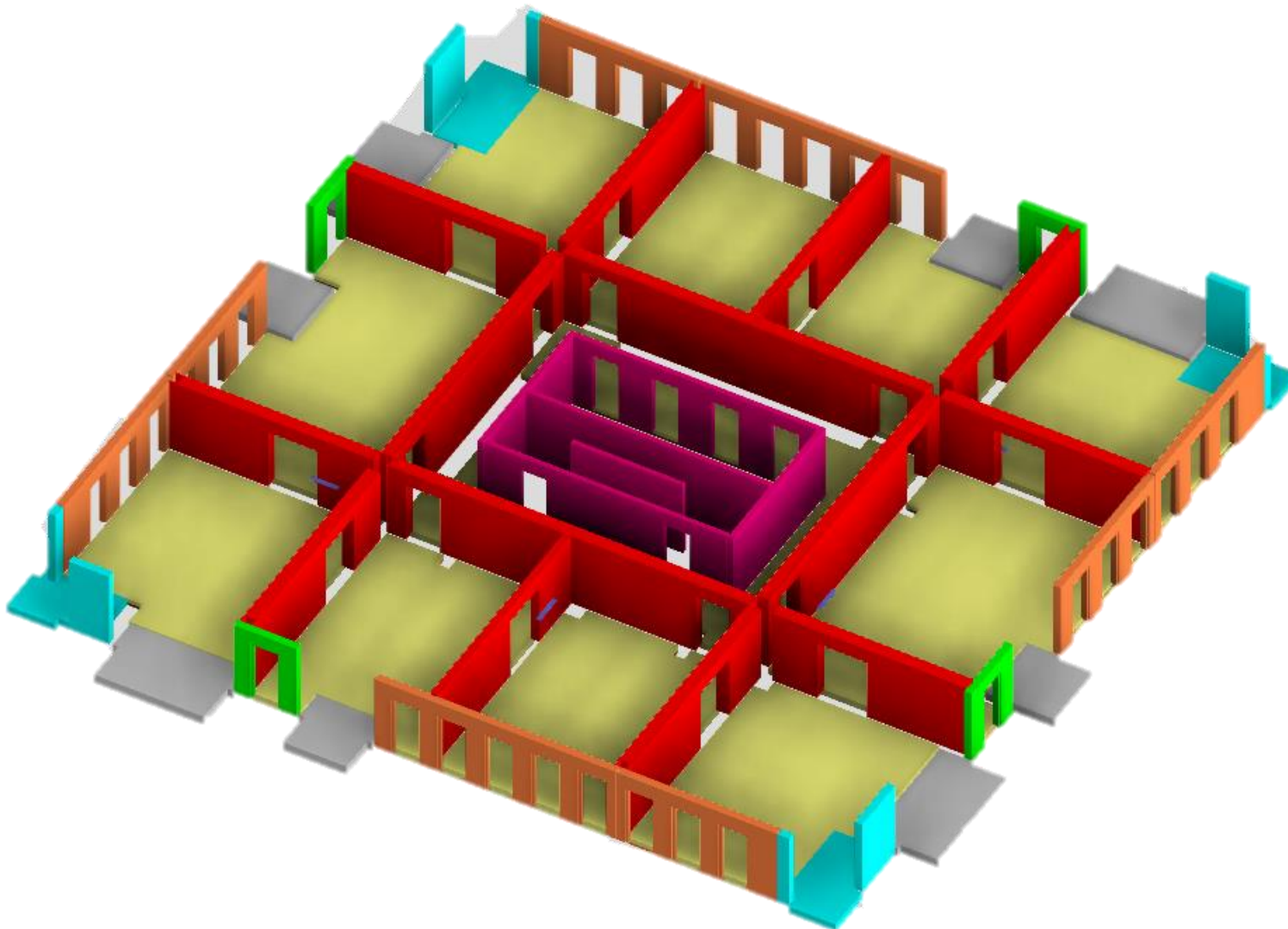
Zeme – 5. stāvs

- Lietais betons
- Kāpšanas veidņi
- Sienas, biezums 600 mm – C55/67
- Kolonnas C80/95, plātnes – C55/67
- 2 stāvu dzelzbetona pārejas sienas, biezums 500 mm, C55/67



Gadījumu izpēte Zalmhaven Tower Roterdama

- 5. – 54. stāva dzelzsbetona superstruktūra



Stabilitāte:

Sarkans = Saliekamā dzelzsbetona iekšējās sienas biežums: 300, 400, 500mm

Oranžs = Saliekamie fasādes elementi biežums 300 and 400mm

Atlikušais:

Zaļš = saliekamie fasādes elementi

Violets = lifta un kāpņu telpas sienas

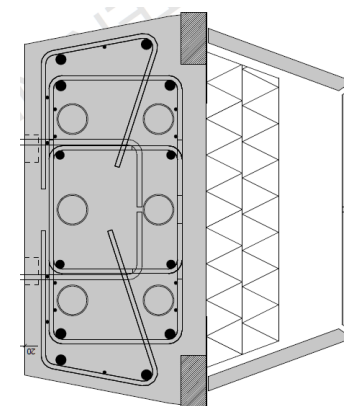
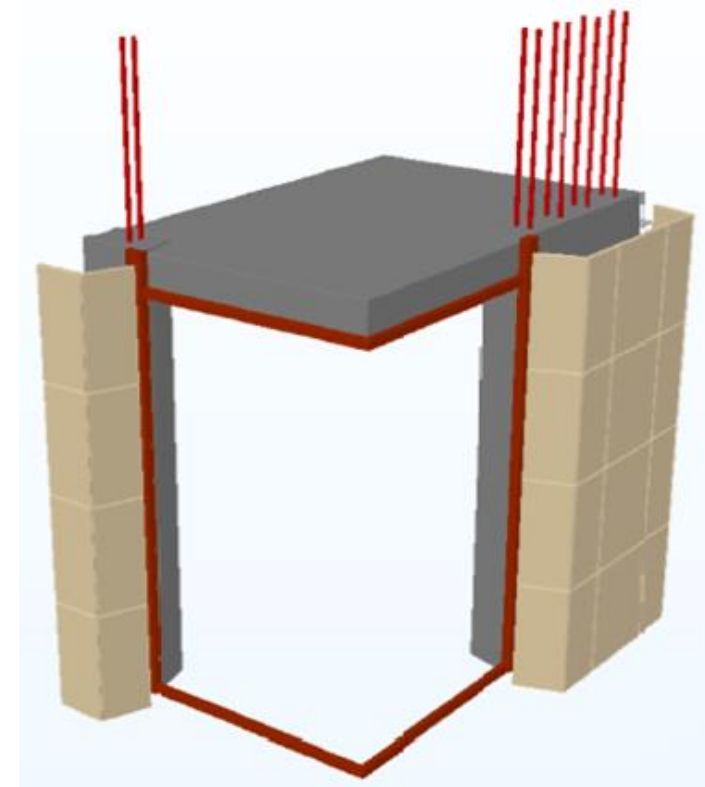
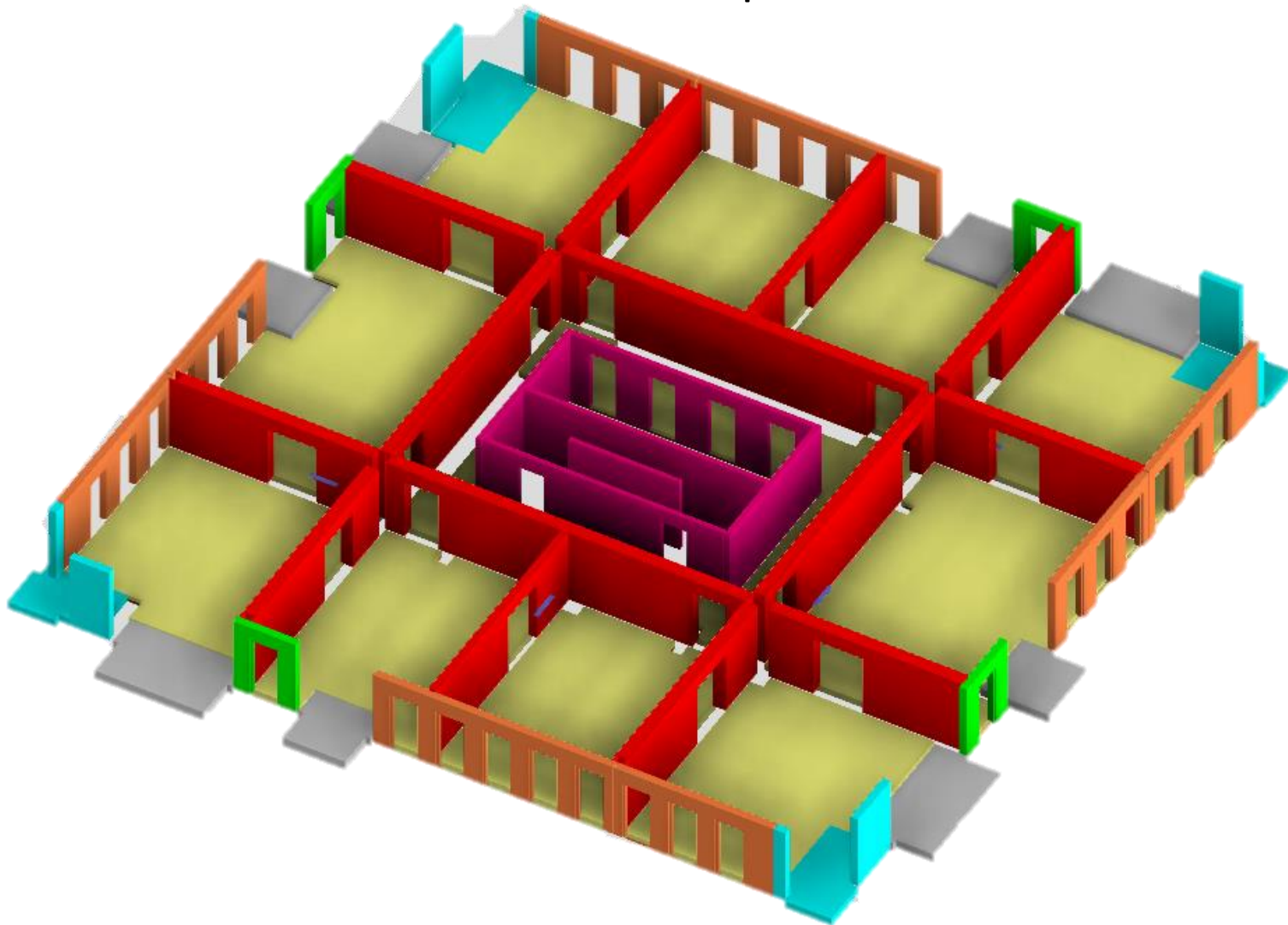
Pelēks = saliekamie balkona elementi

Dzeltens = grīdas plātnes 270mm
(100 saliekamie + 170 uz vietas)

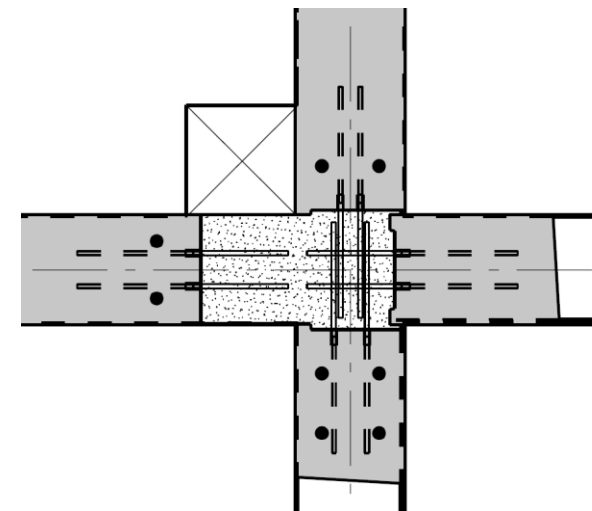
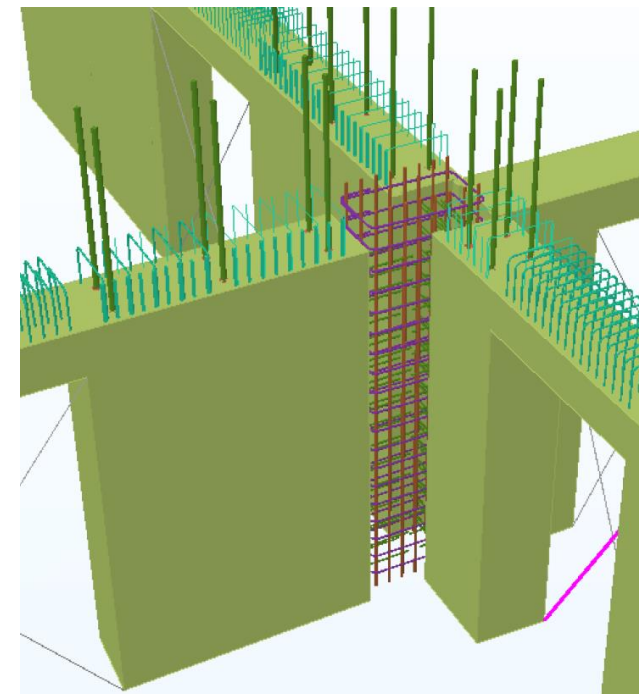
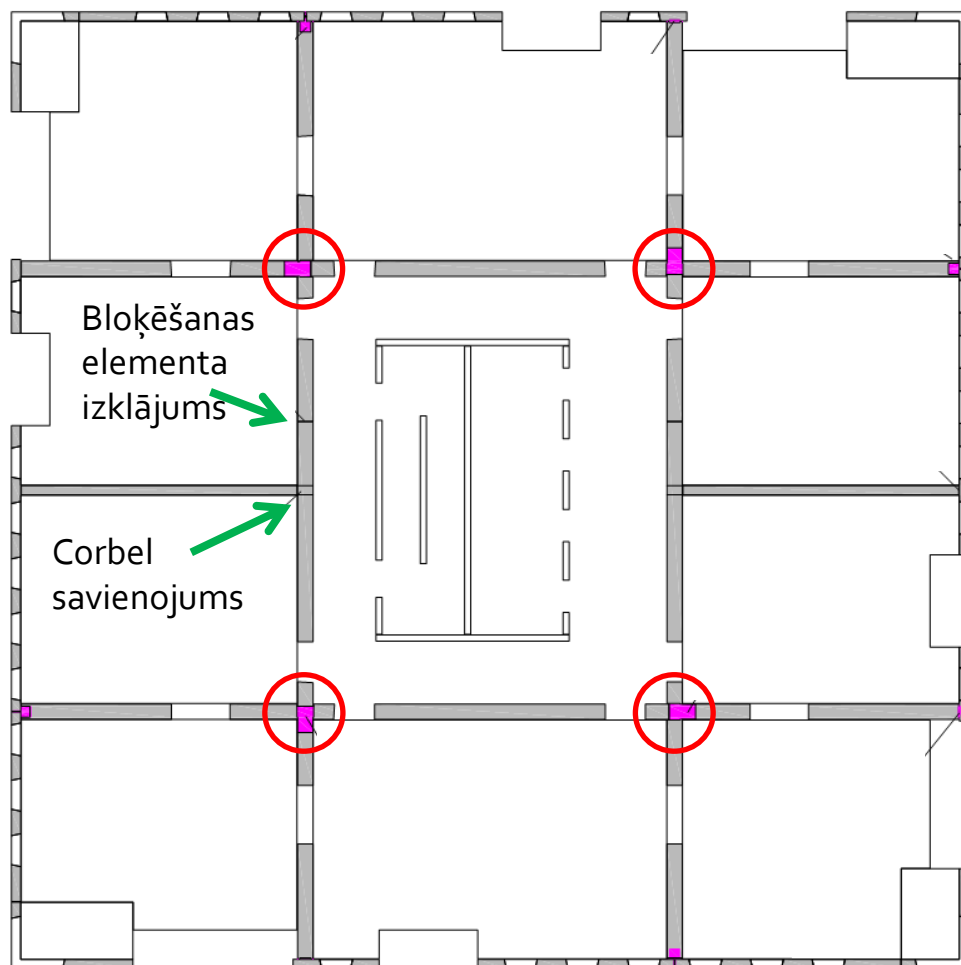
Zils = 3d elements (fasāde + plāksnes)

Gadījumu izpēte Zalmhaven Tower Roterdama

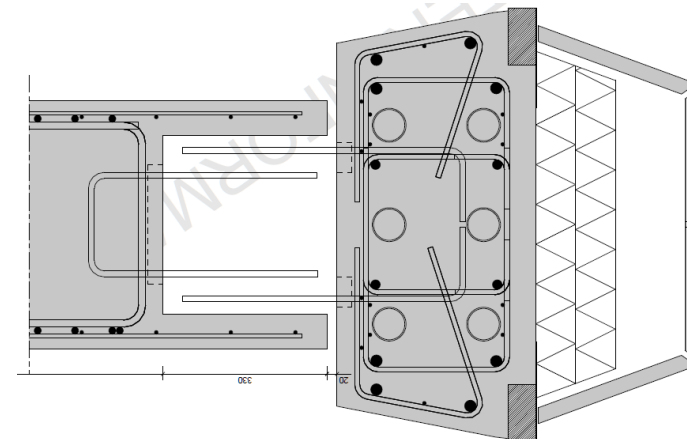
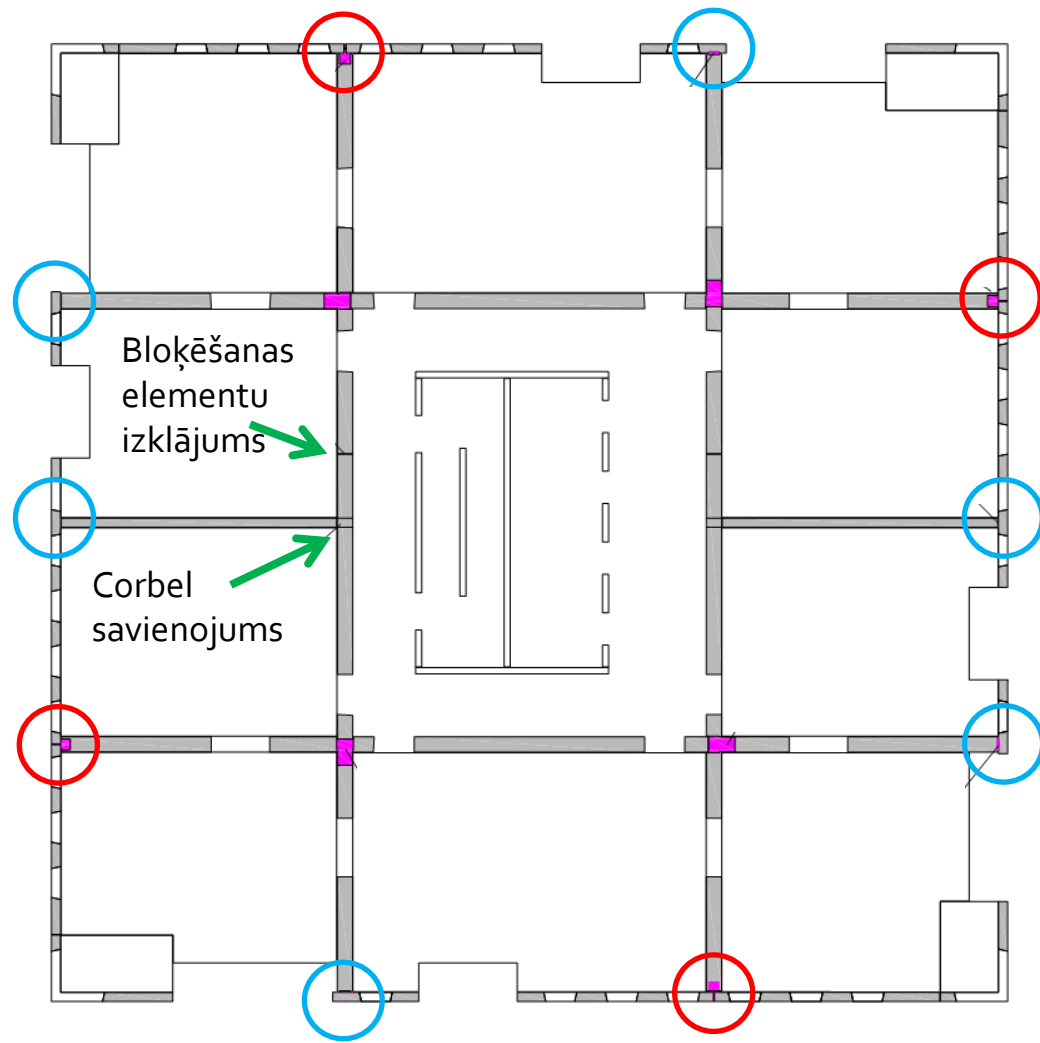
- 5.-54.stāva dzelzsbetona superstruktūra



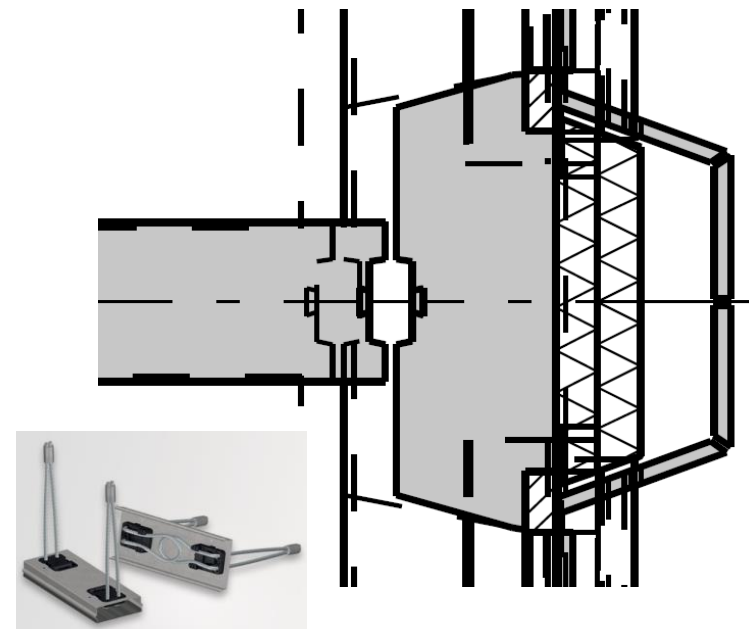
Gadījumu izpēte Zalmhaven Tower Roterdama



Gadījumu izpēte Zalmhaven Tower Roterdama



Saliekamā dzelzsbetona savienjumi



Phillip apļa savienojums

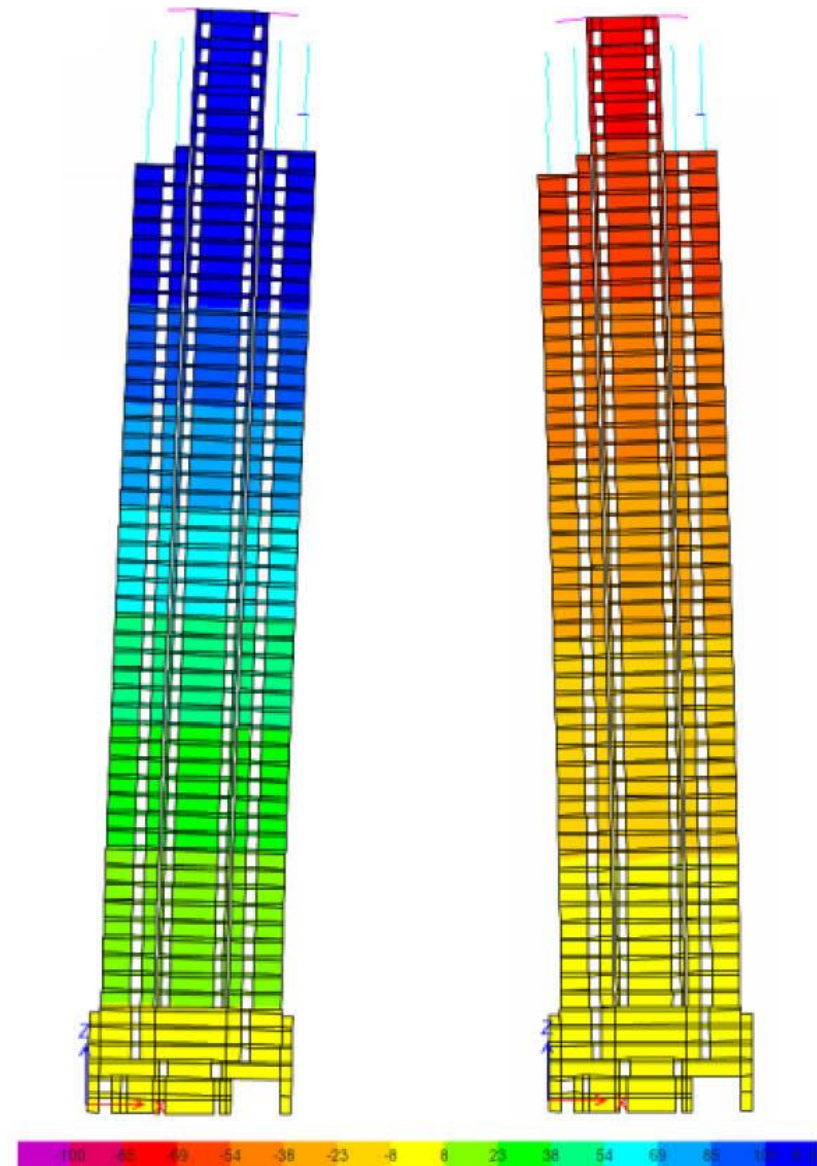
Gadījumu izpēte Zalmhaven Tower Roterdama

Stīvums

- Maksimālā pieļaujamā sānu novirze = $h/500$
- Izliece maksimums. 120 mm
- $206/500 = 412$ mm

Slaidums:

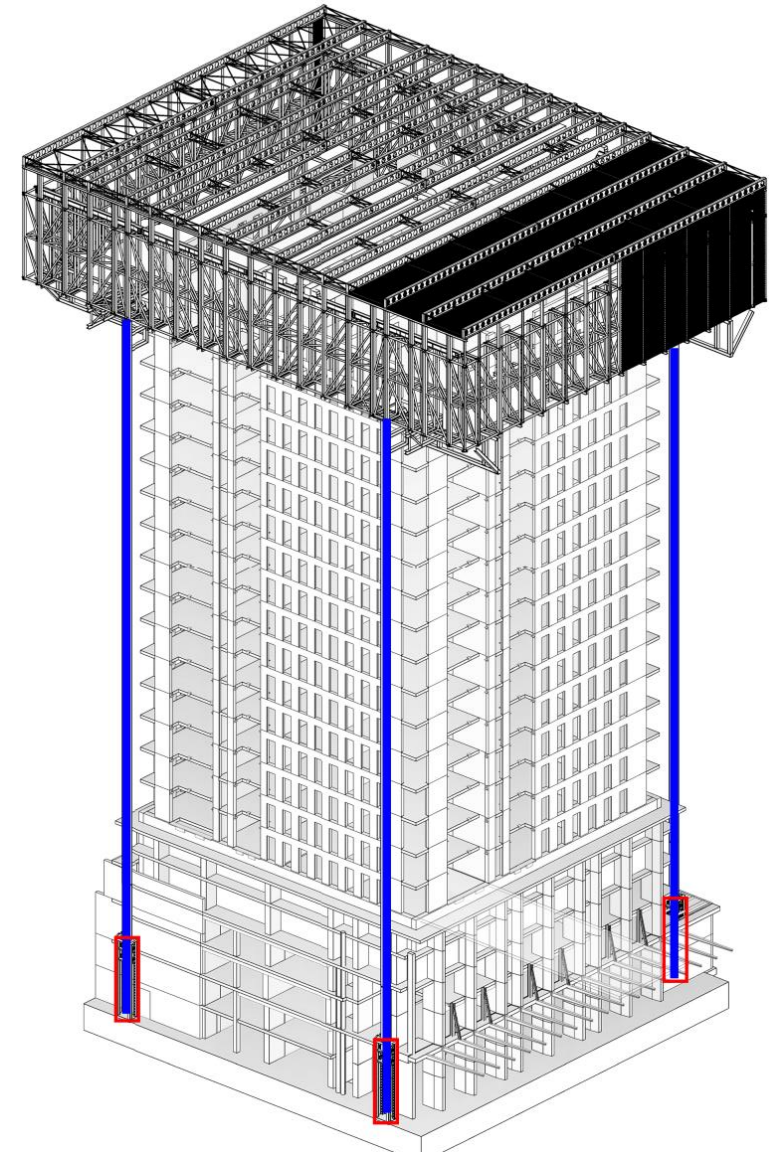
- Augstuma/platuma attiecība
- $206/31,3 = 6,6$
- Ēka nav īsti slaida



Gadījumu izpēte Zalmhaven Tower Roterdama

Saliekamā dzelzsbetona konstrukcija ar paškāpšanas “Montāžas telpu”:

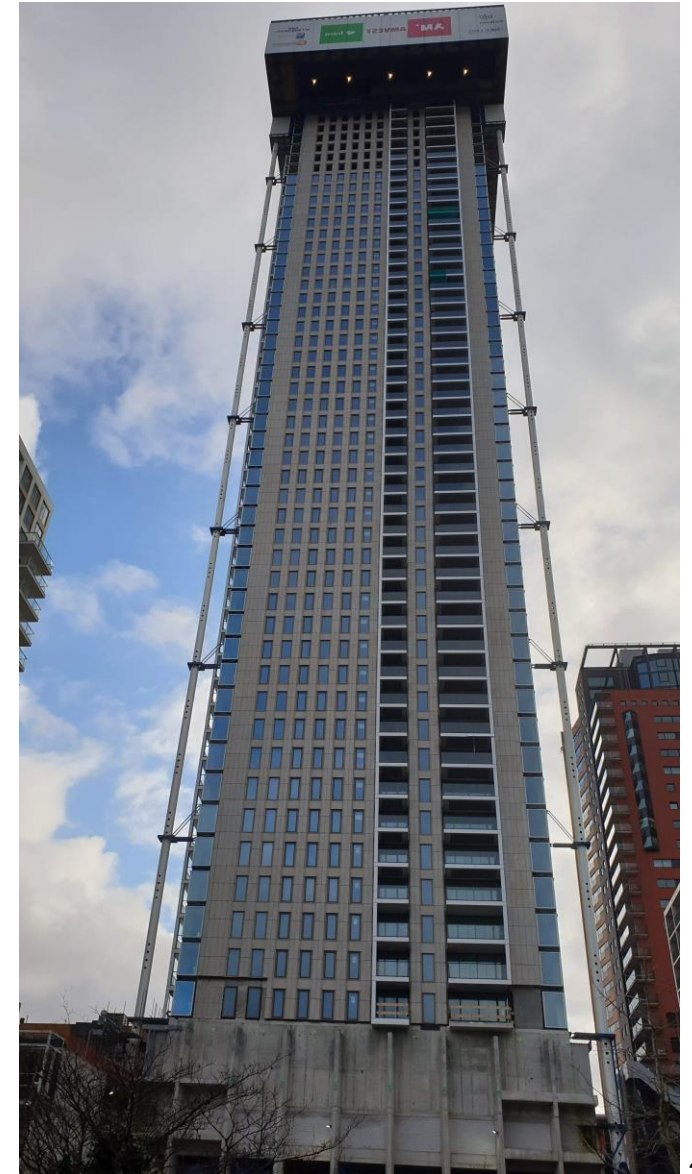
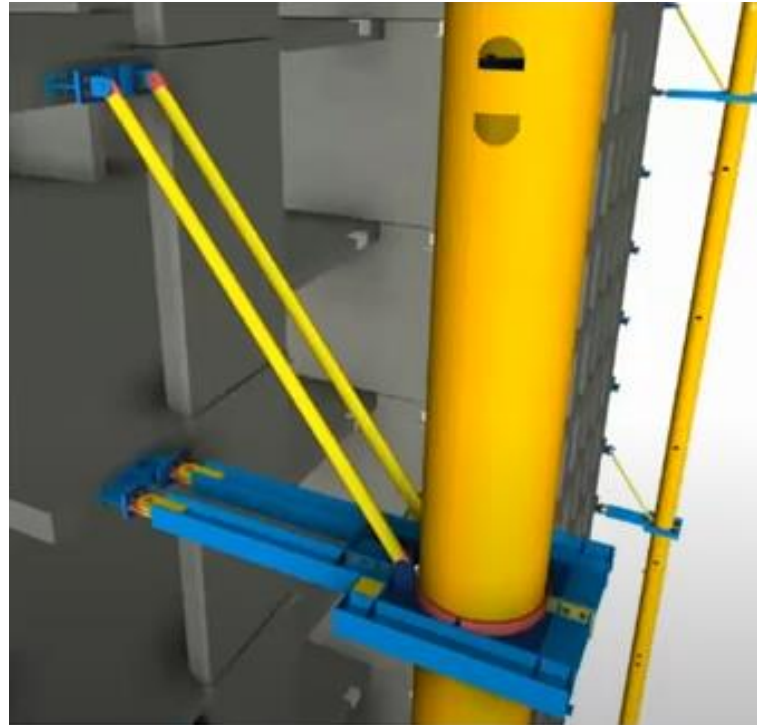
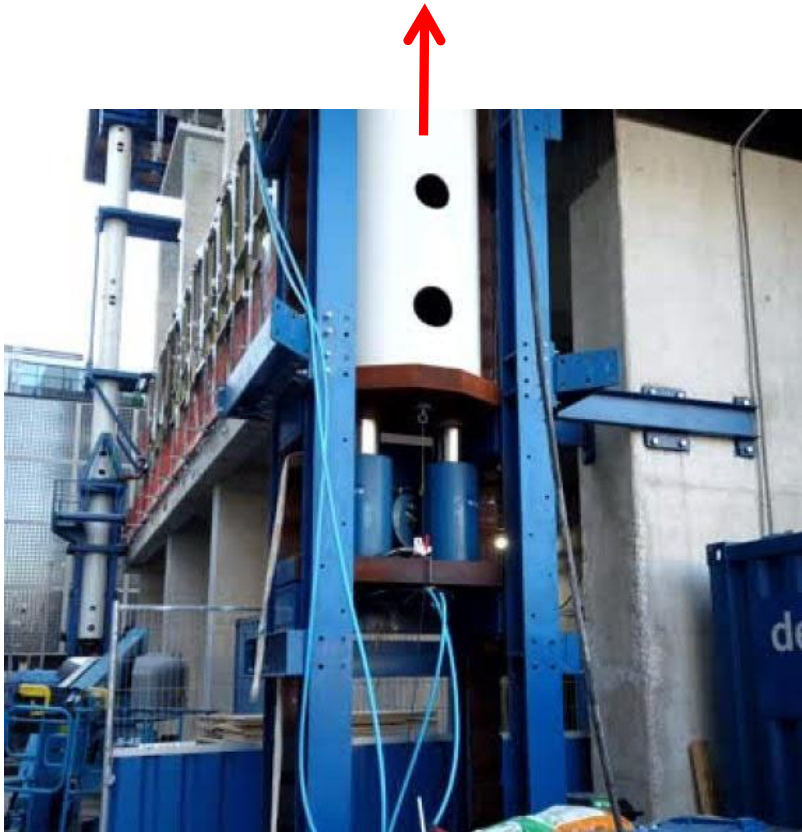
- 4 neatkarīgas kolonnas (zilas)
- Hidrauliskie domkrati pirmajā stāvā (sarkans)



Gadījumu izpēte Zalmhaven Tower Roterdama

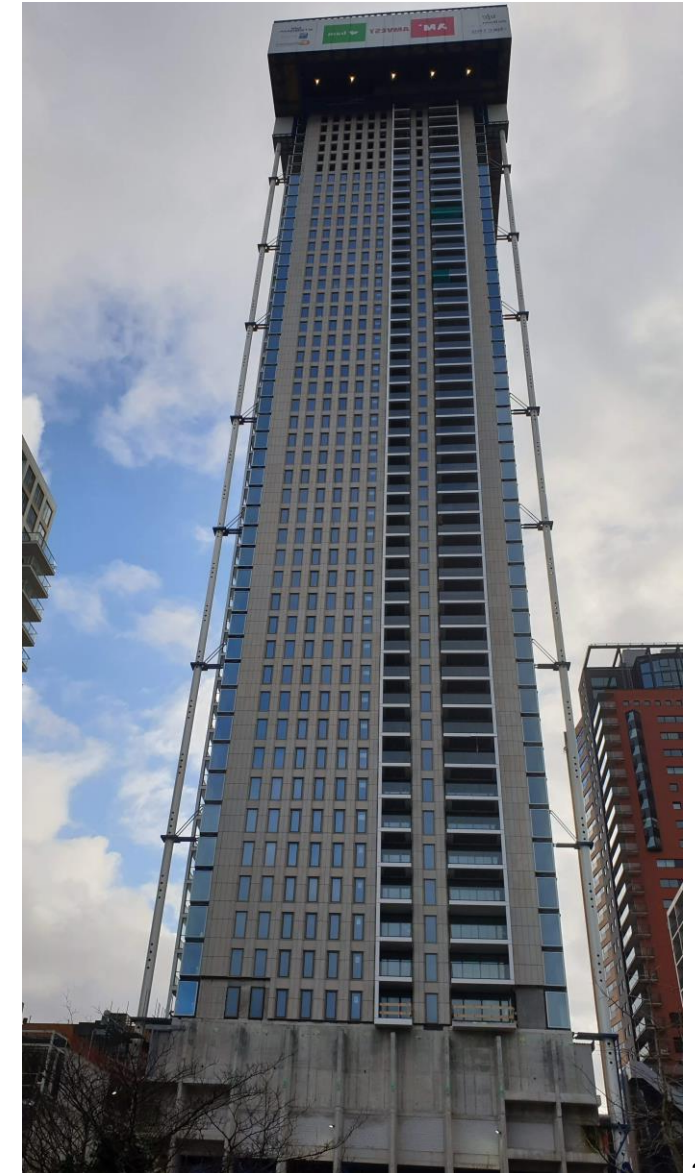
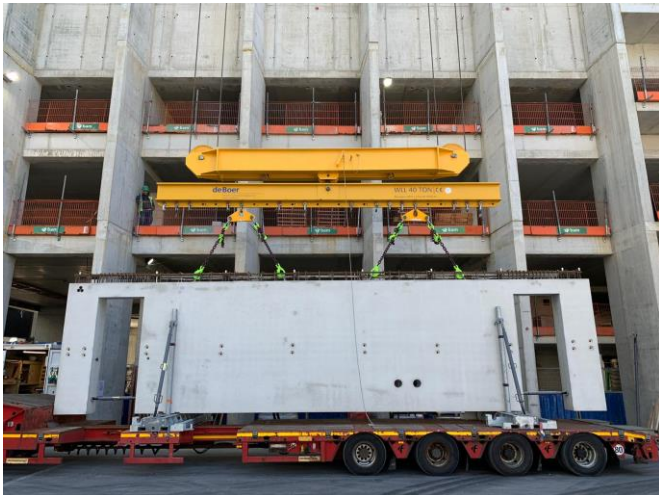
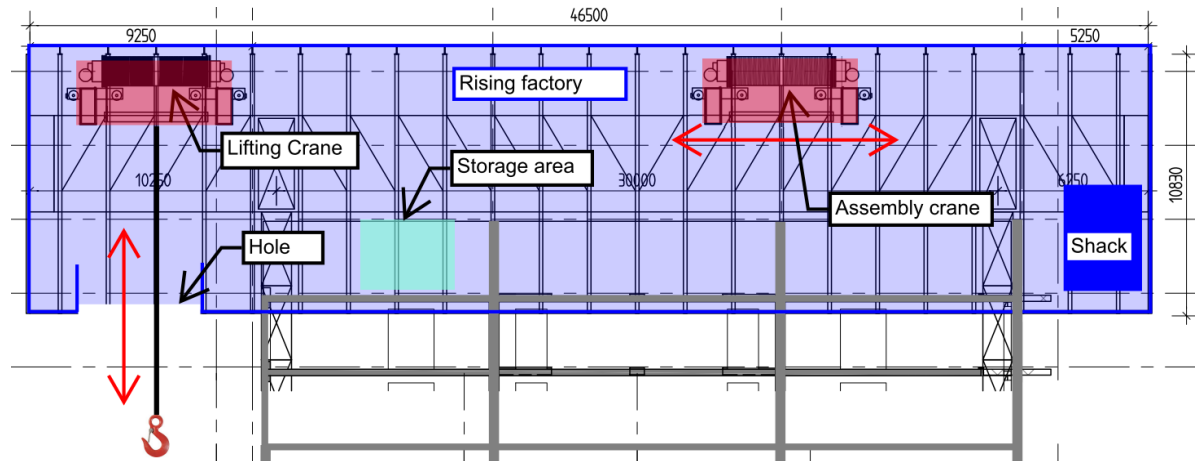
Saliekamā dzelzsbetona konstrukcija “Montāžas telpā”:

- Hidrauliskie domkrati
- Sānu balsti “kolonnām”



Gadījumu izpēte Zalmhaven Tower Roterdama

Saliekamā dzelzsbetona konstrukcija “Montāžas telpā”:



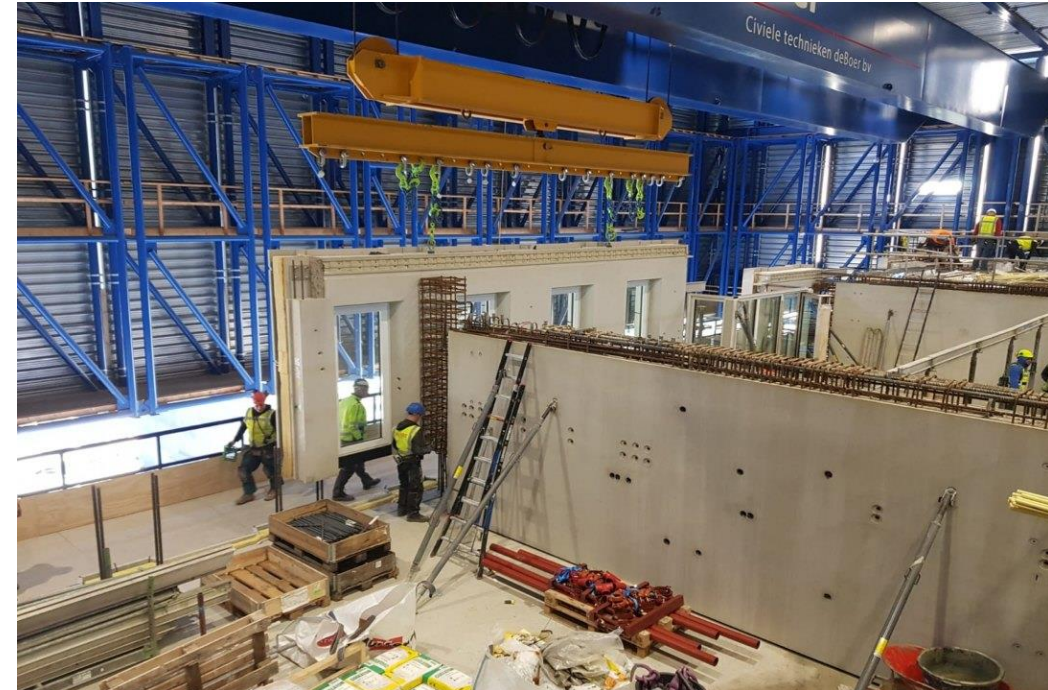
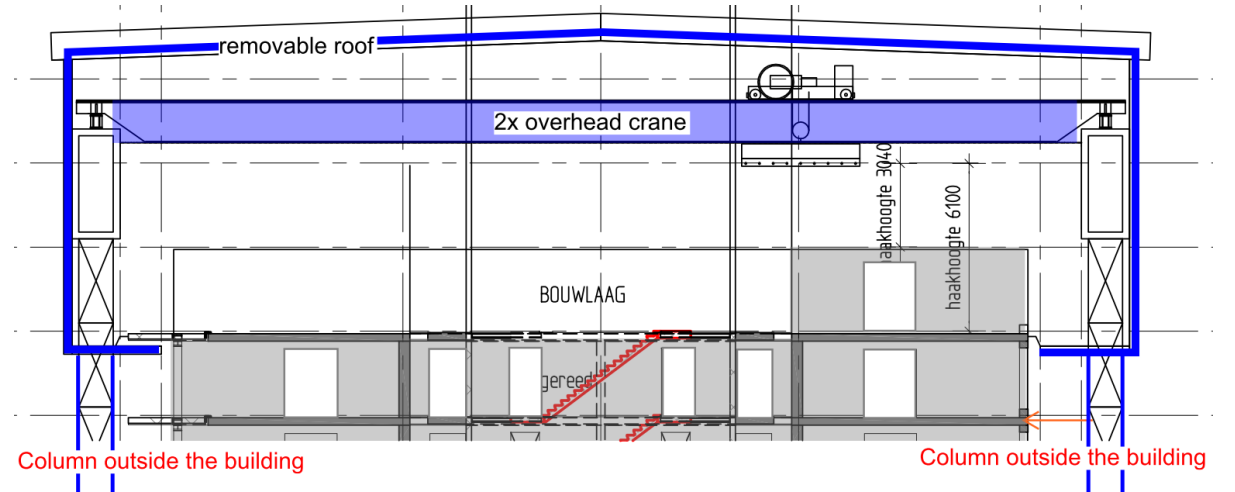
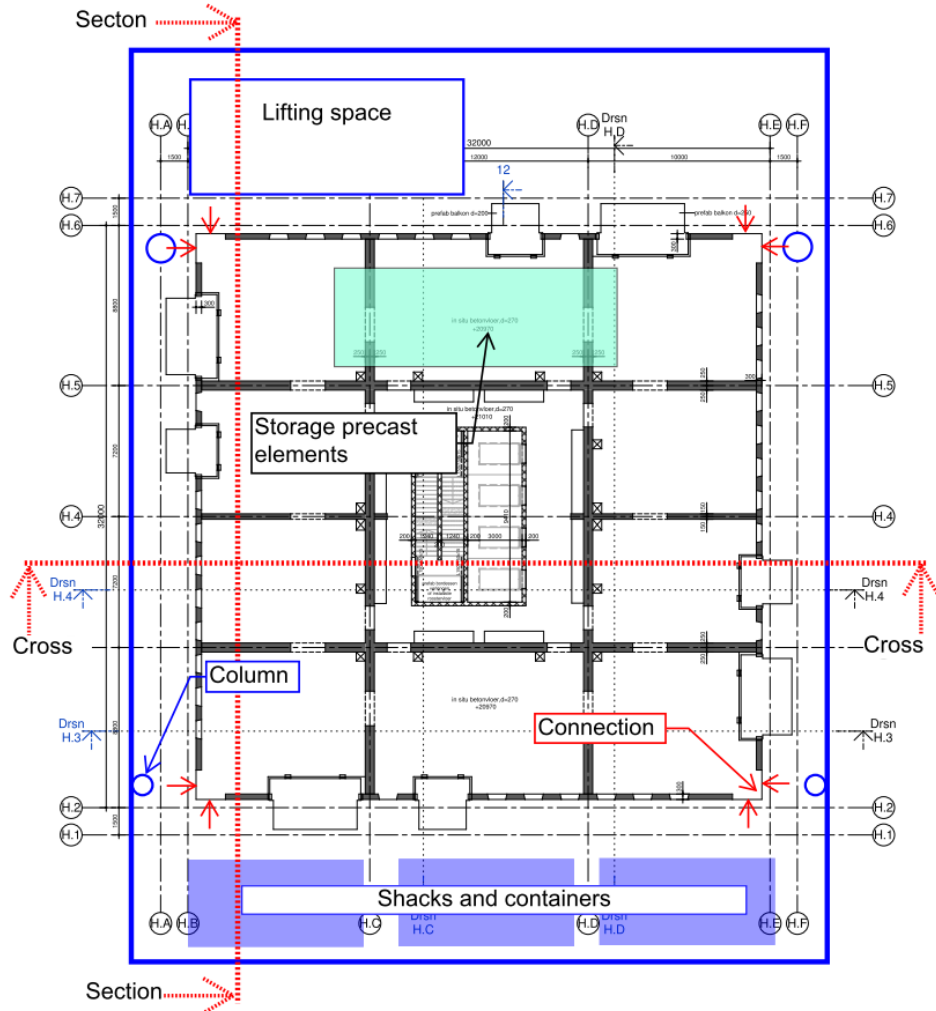
Gadījumu izpēte Zalmhaven Tower Roterdama

Saliekamā dzelzsbetona konstrukcija “Montāžas telpā”:



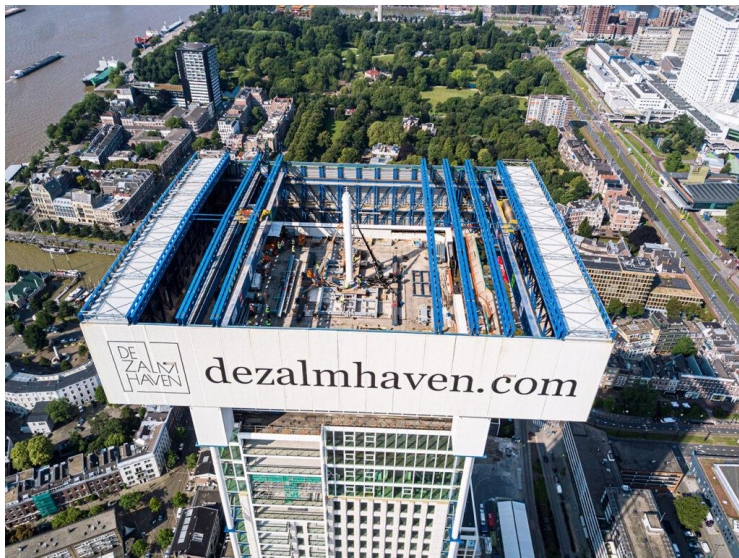
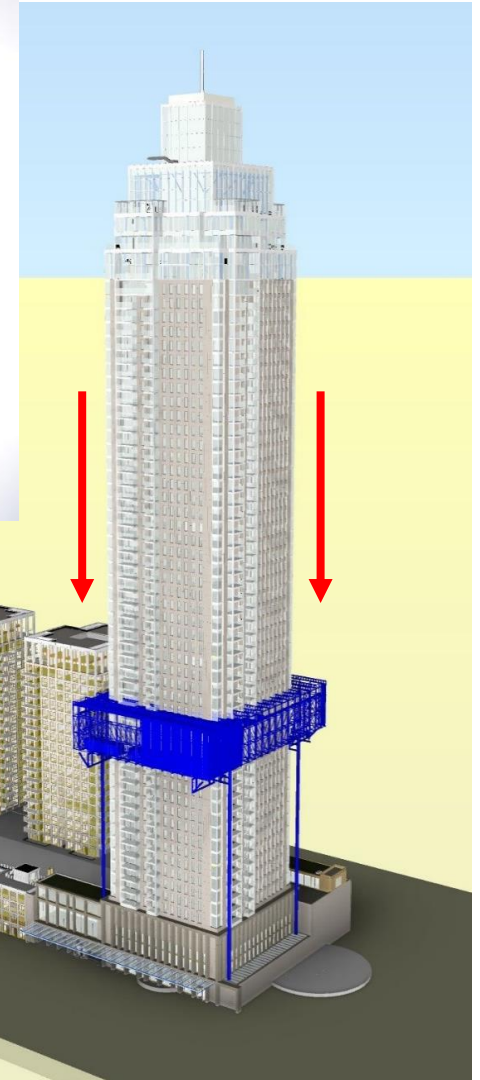
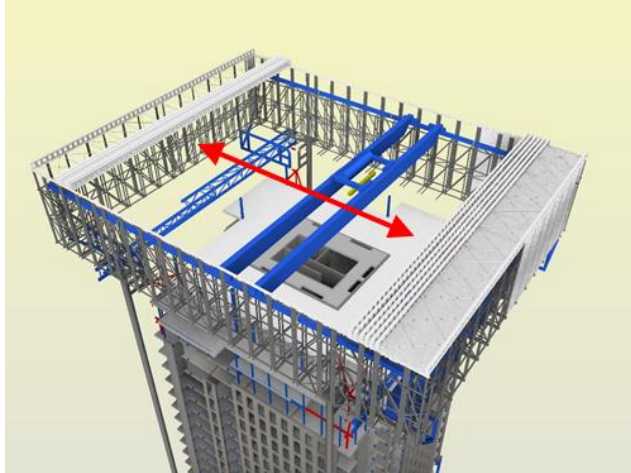
Gadījumu izpēte Zalmhaven Tower Roterdama

- Montāžas telpā:



Gadījumu izpēte Zalmhaven Tower Roterdama

- Montāžas telpas demontēšana



- Izturības prasības un risinājumi:
 - Eirokodeksa noteikumu interpretācija
 - Sasaistes un alternatīvi slodzes ceļi
 - Galvenie elementi
- Problēmas, kas saistības ar saliekamā dzelzsbetona augstceltņu projektēšanu un būvniecību
- Daudzstāvu ēku gadījumu izpēte:
 - Breaker Tower Bahreina (165 m)
 - Zalmhaven Tower Roterdama (215 m)
- **Jautājumu un atbilžu sesija**



Ekonomikas ministrija



Paldies par uzmanību!

Dick van Keulen un Gabriel Tarta

ID Nr. EM 2023/28
Rīga, 2023