

Jäigastamine fermacell kipskiudplaatidega.

Teostaja: TTÜ prof. Eero tuhkanen

1.2 Staatika ja püsivus

- Standardiseerimise staatus – Eurokoodeks 5
- Jäigastamine seinaplaatidega
- Seismiline analüüs
- Seinatahvlite kontroll Eurokoodeks 5 põhjal
- fermacell mõõtmise abivahendid

Standardiseerimise staatus – Eurokoodeks 5

Harmoniseeritud standardi EN-1995 Osa 1-1 „Üldist. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks“ (Eurokoodeks 5) annab juhised puitkonstruktsioonide arvutamiseks. Lisaks rakenduvad vastavalt rahvuslikule lisale nn NPD-d (*national determined parameter*) ja NCI-d (*non-contradictory complementary information*).

Esimene neist määratleb parameetrid, mille võib iga riik iseseisvalt defineerida ning teine annab Eurokoodeks 5 mitte vastuolus olevad reeglid ja selgitused. NCI-de kaudu võeti suurem osa arvutusreeglitest standardist EN-1995, sh ka jäigastusplaatide kontrollarvutused.

Puitkonstruktsioonides kasutatavate materjalide tugevused on kajastatud teistes EN standardites, nt. EN-14080 liimpuidu jaoks. Kipskiud- ja jõuplaatide tugevusnäitajad ei ole kajastatud üheski EN standardis ning seetõttu on nende puhul vajalik Euroopa tehniline hinnang (ETA-03/0050)

Saksamaal kehtib Eurokoodeksiga paralleelselt ka DIN 1052-10 „Tootmine ja paigaldamine“, mis jääb ilmselt jõusse seniks, kuni see täielikult Eurokoodeksisse üle viidud on. Eurokoodeksitega rakendatakse Euroopa vabakaubandustsoonis pooltõenäosuslikul meetodil baseeruvat osavarutegurite süsteemi, mis rahvuslike lisade kaudu võimaldab arvestada iga riigi eripärasid ja traditsioone.

Lisaks Osale 1-1 sisaldab Eurokoodeks 5 veel osi, mida selles juhendis lähemalt ei käsitleta:

- Osa 1-2: Tulepüsivus
- Osa 2: Sillad

Seinte jäigastamine plaatidega

Hoone jäikuse kontrollimine on iga staatilise arvutuse möödapääsmatu osa, mille peab teostama konstruktsioonide projekteerija. Väikeelamute puhul kontrollitakse karkassi reeglina ainult tuulest või maavärinast tingitud horisontaalkoormusele, korruselamute puhul tuleb lisaks arvestada ka alghälvetest ja deformatsioonidest tingitud teist järku koormuseid.

Üldpõhimõtted

Hoone jäigastatakse ruumiliselt järgmiste osadega:

- Jäigastav laeplaat – puitvahelagede puhul on need üldjuhul pooljäigad (erandiks on puit-betoon vahelagi)
- Jäikusseinad – minimaalselt kolm seina, mis asetatakse plaaniliselt selliselt, et nende teljed ühes punktis ei lõiku ning mis ei asetse üksteise suhtes paralleelselt

- Piisavad kinnitused jäikusseina nurkades ja maani avade juures, et vältida ümberlüket
- Vundament, mis suudab vastu võtta jäikusseina nurkades tekkivaid surve ja tõstejõude

Kui jäigastavast laeplaadist loobutakse, siis on hoone jäigastamiseks vaja vähemalt nelja seina, kusjuures maksimaalselt kahe seina teljed võivad teineteisega ühes punktis lõikuda



Ankru montaaž (kinnitus vundamenti on veel teostamata)

Lisatingimused jäikusseinte planeerimiseks

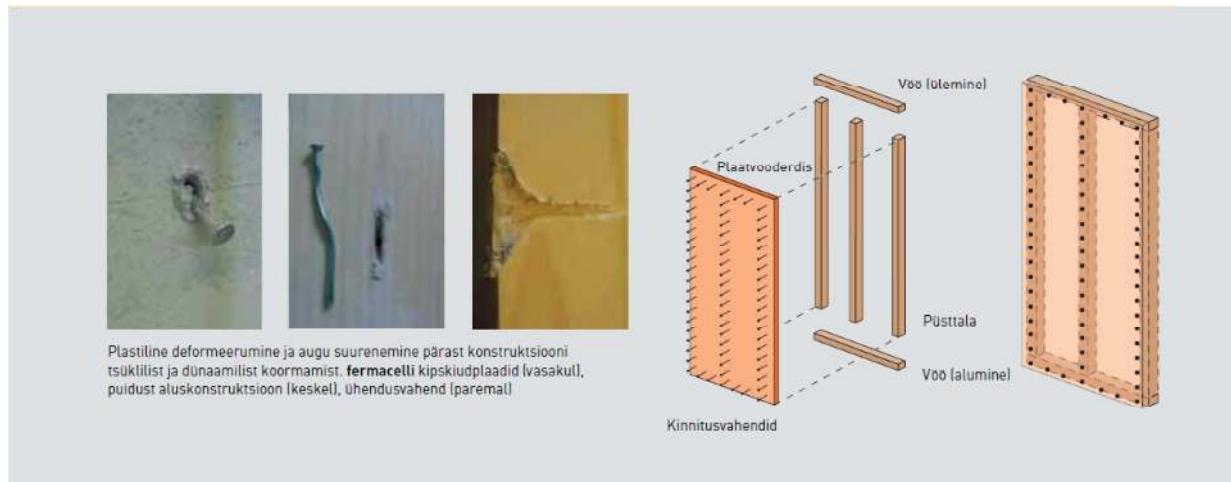
- Jäikusseinu tuleks planeerida juba eksiisprojekti staadiumis, kuna nendesse ei ole võimalik paigutada suuri ukse ja aknaavasid
- Korrusmajade puhul oleks kasulik anda arhitektile ette jäikusseinte muster, mida järgides saab ta hoone üldkontseptsiooni, sh korruste üleminekuid planeerida
- Jäikusseinad on soovitatav planeerida plaaniliselt võimalikult ühtlaselt. Vastasel korral tekib suur erinevus massi- ja jäikuskeskme asukoha vahel ning see omakorda põhjustab vändemomendi, mis jäikusseintes lisakoormuse tekitab
- Korrusmajade puhul on soovitatav paigutada jäikusseinad kõikidel korrustel kohakuti. Ka väiksemad nihked teevad arvutuse oluliselt keerulisemaks

Elamute jäigastamine

Üldjuhul on jäikusseina plaadid majanduslikult soodsad, väga heade füüsikaliste omadustega, nt. vähese deformeermise juures hea venivusega (st ei purune rabedalt). Lisaks kaitsevad nad soojustust ilmastiku eest, peavad kinni müra ning täidavad muid ehitusfüüsikalisi nõudeid.

Elamuehituses kasutatakse harva muid viise jäigastamiseks, nt puidust või terasest diagonaale. Suhteliselt väikeste horisontaalkoormuste juures on need suure tööjõukulu tõttu majanduslikult ebasoodsad.

Kindlasti tuleks elamute puhul loobuda jäigastamisest tuulelintidega, mida kasutati varasemalt põhiliselt suuremate ehitus- ja projekteerimisvigade likvideerimiseks ning mis on suure temperatuuripaisumise tõttu äärmiselt ebapüsivad ja suure venivusega. Lisaks võivad nad saada taksituseks muude ehitusfüüsikaliste kriteeriumite täitmisel, nt õhupidavus.



Naagli plastne deformeerumine ja augu muljumine pärast tsüklilist koormamist.
fermacell kipskiudplaat (vasakul); puitkarkass koos deformeerunud kinnitusvahendiga (keskel); lõige puitkarkassist (paremal)

Seina püsivus saavutatakse kolme komponendiga: puitraam, vooderdis ja kinnitusvahendid

Seismiline projekteerimine

Hoone kasutamisel seismiliselt aktiives piirkonnas tuleb kande- ja kasutuspiirseisundit kontrollida vastavalt standardile EN 1998.

fermacellile kehtib Saksamaal toote kasutamiseks maavärina olukorras riiklik tehniline tunnustus Z-9.1-434

Kinnitustarvikute venivus

Kinnitustarvikute venivus ehk plastne käitumine soodustab konstruktsiooni töötamist maavärinate või tuulekoormuse korral. Jäikusseina komponentide vahel luuakse plastne ühendus, mis vähendab rameda purunemise võimalust ning võimaldab maaäärina korral energia ümberjagunemist (nn energia hajumine).

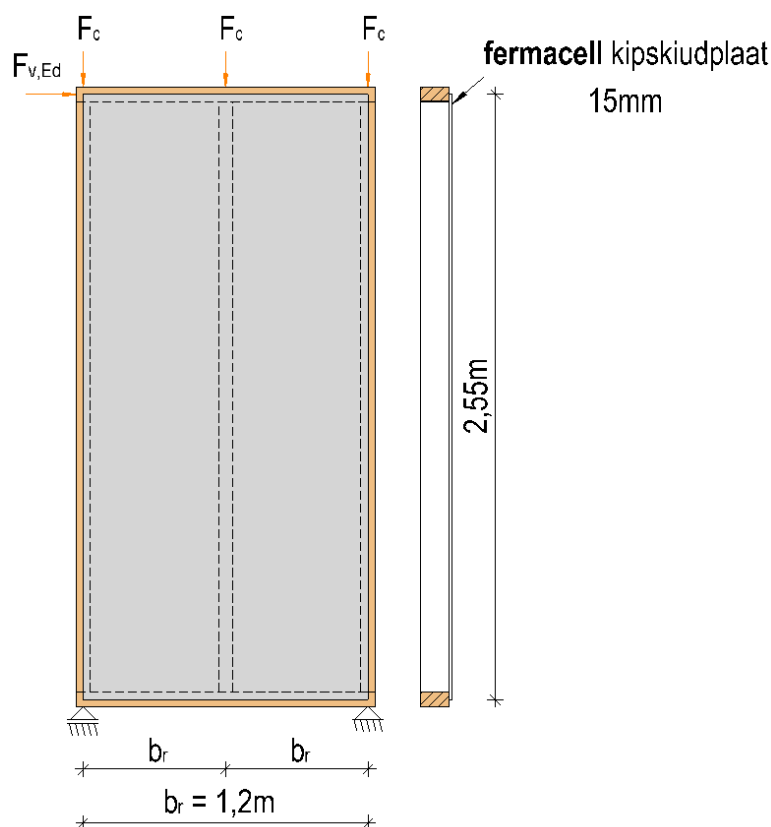
Konstruktsiooni plastne käitumine võimaldab seismilise koormuseid vähendada teguri q kaudu, mille suurus sõltub konstruktsiooni venivusklassist. Puitkonstruktsioonid kuuluvad üldjuhul venivusklassi 1 ($q=1,5$), kuid vastavalt tehnilisele tunnustusele Z-9.1-434 on fermacelli plaate lubatud liigitada plastusklassi 2 ($q=2,5$). Viimased uuringud on tõestanud, et fermacell kipskiudplaadid hajutavad energiat sama hästi või isegi paremini, kui puidupõhised plaadid.

Jäikusseina arvutamine EC 5 põhjal

Euroopa tehniline hinnang ETA 03/0050 **fermacell** kipsplaatidele pakub võimalust arvutada jäikusseinu vastavalt Eurokoodeks 5 (EC5) reeglitele. Lisaks plaadi standardomadustele on kirjeldatud ka plaadi tugevus- ja jäikusomadusi sõltuvalt koormusjuhust ja plaadi paksusest.

Järgnev näide käsitleb seinatahveli kontrolli vastavalt Eurokoodeksi **pt.9.2.4.2 – Seinapaneelide lihtsustatud arvutusmeetod - meetod A**

Staatiline süsteem



Jäikusseina komponendid

Karkassipostid ja ülemine vööjala:	C24 $b \times h = 60 \times 120\text{mm}^2$
Karkassipostide samm:	$b_r = 0,6\text{m}$
Aluspuu:	C24 $b \times h = 80 \times 120\text{mm}^2$
Jäigastusplaat:	15mm fermacell kipskiudplaat
Jäigastusplaadi kinnitustarvikud:	ette puurimata aukudega profi- leeritud naelad $2,2 \times 55\text{mm}$ (kandevõimeklass 2); s. 50mm

Naelte minimaalne tõmbetugevus vastavalt standardile EN 14592 on 600N/mm^2 . Kandevõime klassi alusel eristatakse Saksa rahvuslikus lisa naela väljatõmbetugevust $f_{ax,k}$ ($\text{KV } 2 \text{ puhul } f_{ax,k} = 40 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$)

Koormused

Omakaal:	$F_{c,G,k} = 2,0\text{kN}$
Kasuskoormus:	$F_{c,Q,k} = 5,0\text{kN}$
Tuulekoormus:	$F_{v,k} = 5,0\text{kN}$

Nõuded ja eeldused arvutamiseks lihtsustatud meetodi alusel

- a) jäigastusplaat: EVS-EN 1995-1-1: 9.2.4.2 (2) ■
NA-NCI 9.2.4.2 (NA.20) ■

- Jäigastusplaadi laius $b = 1,2\text{m} \geq h/4 = 0,64\text{m}$

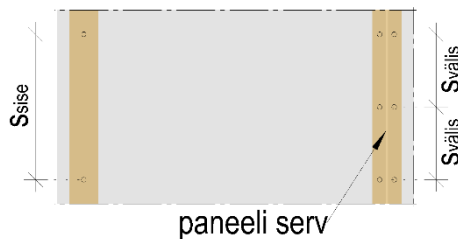
Jäigastusplaadi laius on vähemalt $h/4$

Seinas võib esineda maksimaalselt üks horisontaalvuuk, mille servad peavad olema nihkekindlalt ühendatud [horisontaalse vaheprussi kaudu]. Juhul, kui plaadi laius on väiksem $0,5$ plaadi kõrgusest, tuleb vuugiga jäikusseina kandevõimet horisontaalkoormuste $1/6$ võrra vähendada

- b) kinnitustarvikud

EVS-EN 1995-1-1: 9.2.4.2 (2) ■

EVS-EN 1995-1-1: 10.8.2 (1) ■



NA-NCI 8.3.1.3 (NA.12) ■

- $s = 50\text{mm} \leq 150\text{mm} \leq 80 \cdot d$

Sidemete samm peab plaadi perimeetris olema konstantne

$$S_{\text{välis}} = \max \begin{cases} 150\text{mm}; \text{naelad} \\ 200\text{mm}; \text{kruvid} \end{cases}$$

$$S_{\text{sise}} = \max \begin{cases} 2 \cdot S_{\text{välis}} \\ 300\text{mm} \end{cases}$$

Seina komponentide sisejõud

- Normaaljõud seina servapostidele

$$F_{G,k} = 2,0\text{kN}$$

$$F_{Q,k} = 5,0\text{kN}$$

$$F_{v,k} = 5,0 \cdot 2,55 / 1,2 = 10,7\text{kN} \text{ (lisajõud tuulest)}$$

Koormuskombinatsioonid ■

1. $F_{c,d} = \gamma_G \cdot F_{G,k} + \gamma_Q \cdot F_{v,k} = 1,2 \cdot 2,0 + 1,5 \cdot 10,7 = 18,5 \text{ kN}$ (tuul)
2. $F_{c,d} = \gamma_G \cdot F_{G,k} + \gamma_Q \cdot (F_{v,k} + \psi_0 \cdot F_{Q,k}) =$
 $= 1,2 \cdot 2,0 + 1,5 (10,7 + 0,7 \cdot 5,0) = 23,7 \text{ kN}$ (tuul + kasuskoormus)

$$F_{c,Ed} = 23,7 \text{ kN}$$

- Normaaljõud ülemises vöös

$$F_{v,Ed} = 1,5 \cdot 5,0 = 7,5 \text{ kN}$$

Kipsplaadi ja puitprussi vaheliste sidemete maksimaalne samm ei või ületada suurust $60 \times d$ või 150mm . Kui plaadil on ainult jäigastav funktsioon, siis on lubatav samm kuni $80 \times d$, k.a kinnitus sisemistele vaheribidele.
 d – kinnitustarviku diameeter

Arvutustes on kasutatud Eesti standardi rahvuslikus lisan soovitavaid tegureid

- Ankurdusjõud

$$Z_A = [\gamma_Q \cdot F_{v,k} \cdot h - \gamma_{G,inf} \cdot F_{G,k} \cdot (b_r + 2 \cdot b_r)] / b_T =$$

$$= [1,5 \cdot 5,0 \cdot 2,55 - 0,9 \cdot 2,0 \cdot (0,6+1,2)] / 1,2 = 13,2 \text{ kN}$$

$$Z_A = F_{t,Ed} = 13,2 \text{ kN}$$

Seina komponentide tugevuskontroll

- Servapostide tugevus- ja nõtkekontroll

a) Nõtkumine tahvli tasapinnas

$$b_r = 600 \text{ mm} < 50 \cdot t_B = 750 \text{ mm}$$

$$h/b = 120/60 = 2,0 \leq 4$$

→ nõtkekoht puudub

b) Nõtkumine risti tahvli tasapinnaga EVS-EN 6.1.4 / 6.3.2

$$\sigma_{c,90,d} = F_{c,Ed} / A = 23,0 \cdot 10^3 / (120 \cdot 60) = 3,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 1,0 \cdot 21 / 1,3 = 16,1 \text{ N/mm}^2$$

Nõtketegur

$$\lambda_y = l_{ef} / i_y = 2,55 / (0,289 \cdot 0,12) = 74$$

$$\rightarrow k_{c,y} = 0,51 \text{ [EVS-EN 6.3.2: } \beta_c = 0,2 \text{]}$$

$$\text{Tugevuskontroll: } \sigma_{c,0,d} / (k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}) = 3,22 / (0,51 \cdot 16,1) = 0,39 < 1,0$$

Märkus: tuulekoormus seinaga risti tekitab postides paindemomendi, mida tuleb kontrollida eraldi

- Alusvöö kontroll survele ristikiudu

$$\sigma_{c,90,d} = F_{c,Ed} / A_{ef} = 23,0 \cdot 10^3 / (120 \cdot (60 + 30)) = 2,1 \text{ N/mm}^2$$

Muljumiskoeffitsent:

Pideval toel asuv okaspuidust alusvöö

$$l_1 = 600 - 60 = 540 > 2 \cdot h = 160 \text{ mm}$$

$$\rightarrow k_{c,90} = 1,25$$

NA-NCI 9.2.4.2 (NA.21)

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot 1,2 \cdot f_{c,90,k} / \gamma_M = 1,0 \cdot 1,2 \cdot 2,5 / 1,3 = 2,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Tugevuskontroll: } \sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) = 2,1 / (1,25 \cdot 2,1) = 0,73 < 1,0$$

- Jäigastusplaadi kontroll

a) Arvutusväärtused

Naelad 2,2 × 55 mm

EVS-EN 1995-1-1: 8.3.1.1 / 8.3.1.3

Antud tingimust EC5 ei sätesta, seetõttu on soovitatav kontrollida nõtkumist sein tasapinnas vastavalt DIN 1052.

Ühepoolse jäikusplaadi korral peab lisaks olema täidetud ka tingimus $h/b \leq 4$, kus h ja b on ristlõike mõõdud. Viimast tingimust tuleb eriti jälgida passiivmajade puhul, kus kasutatakse laialdaselt saledaid I-talasisid. Selliste lahenduste puhul tuleb nõtkekontroll teha vastava toote tehnilise hinnangu alusel.

$k_{mod} = (0,9+1,1)/2=1$ on valitud lühiajalise ja hetkelise koormuse keskvaertusena

Alusvöö tugevuskontrollil ristikiudu survele on lubatud tugevust suurendada 20% võrra

muljumistugevus **fermacell** kipskiudplaadis:

$$f_{h,k} = 7 \cdot d^{-0,7} \cdot t^{0,9} = 46,1 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ETA-03/0050} \quad \blacksquare$$

Naela voolupiirile vastava paindemomendi normväärtus:

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 600 \cdot 2,2^{2,6} = 1398 \text{ Nmm} \quad (8.14)$$

$$F_{v,Rk} = 0,7 \cdot (2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d)^{0,5} = 373 \text{ N} \quad \text{ETA-03/0050} \quad \blacksquare$$

$$t_{\text{req}} = 6 \cdot d = 6 \cdot 2,2 = 13,2 \leq 15 \text{ mm} \quad \text{Tab. NA13}$$

$$R_{d,Na} = 1,0 \cdot 373 \cdot 0,97 / 1,1 = 329 \text{ N} \quad \text{ETA-03/0050}$$

$$\rightarrow \text{Vähendus } 3\%, \text{ kuna } t < 7d \quad \text{ETA-03/0050} \quad \blacksquare$$

Muljumistugevuse väärtus arvatud Euroopa tehnilise hinnangu Lisa 2 järgi. Plaadi paksuse juures arvestada ka vähendatud serva paksust kanditud servade puhul

Kipskiudplaadi ja karkassi vahelise liite ühe nihkepinna normatiivne kandevõime, mis kehtib plaadi paksuse $t \geq 7d$ puhul. Õhemate plaatide puhul tuleb kandevõimet vähendada suhtega $t / 7d$

$$15 / (7 \cdot 2,2) = 15 / 15,4 = 0,97$$

b) Lihtsustatud jäigastusplaadi kontroll vastavalt DIN 1052:2008-12

vastab NA-NCI 9.2.4.2 (NA.16)

$$f_{v,0,d} = \min \begin{cases} k_{v1} \cdot c_i \cdot R_d / s & ; \text{ sidemed} \\ k_{v1} \cdot k_{v2} \cdot f_{v,d}^* \cdot t & ; \text{ plaadi nihketugevus} \\ k_{v1} \cdot k_{v2} \cdot f_{v,d} \cdot 35 \cdot t^2 / b_r & ; \text{ plaadi mõlkumine} \end{cases} \quad \blacksquare$$

* Märkus: väikese tõmbetugevusega plaatide puhul tuleb arvutustes rakendada tõmbetugevuse arvutusväärtust

Koefitsendid:

k_{v1} - tegur arvestab sidemete paiknemist ja tüüpi.

$k_{v1} = 1,0$, kui plaadid on kinnitatud kontuuril nihkejärgalt (vabad servad ei ole lubatud)

k_{v2} – arvestab lisakoormust risti karkassiga

$k_{v2} = 0,33$ ühepoolne plaatvooderdis; $k_{v2} = 0,5$ kahepoolne plaatvooderdis

$$f_{t,d} = 1,66 \text{ N/mm}^2; f_{t,k} = 2,4 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ETA-03/0050} \quad \blacksquare$$

$$f_{v,d} = 2,4 \text{ N/mm}^2; f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ETA-03/0050} \quad \blacksquare$$

Osavaruteguri soovitatav väärtus
 $V_M = 1,3; k_{\text{mod}} = 0,9$

$$f_{v,0,d} = \min \begin{cases} 1,0 \cdot \frac{329}{50} \cdot 0,98 = 6,45 \text{ kN} \\ 1,0 \cdot 0,33 \cdot 1,66 \cdot 15 = 8,2 \text{ kN} \\ 1,0 \cdot 0,33 \cdot 2,4 \cdot 35 \cdot \frac{15^2}{625} = 10,0 \text{ kN} \end{cases} \quad \blacksquare$$

→ määravaks saab liite kandevõime

Nihkejõud plaadi ja raami vahelises vuugis:

$$f_{v,Ed} = 7,5 / 1,2 = 6,25 \text{ kN}$$

$$\text{Tugevuskontroll: } f_{v,Ed} / f_{v,0,d} = 6,25 / 6,45 = 0,97 \leq 1,0$$

Teguri c_i arvestamine:

Saledate jäikusseinte puhul $b_i < b_0$

$$c_i = \frac{b_i}{b_0} = \frac{1,25}{2,55/2} = 0,98$$

→ Liite kandevõime vähenemine 2%
 b_i – seinapaneeli laius
 $b_0 = h / 2$