

Konstruksioonidele mõjuvad koormused

Teooria:

Konstruksiooniarvutusega kontrollitakse, et ei ületataks mingi **piirseisundi** tingimusi. Piirseisund tähendab olukorda, millest suuremate koormuste korral lähevad asjad katki või ei sobi enam kasutamiseks. Kontrollida tuleb kõiki esineda võivaid arvutusolukordi ja neile vastavaid koormuseid. Vahet tehakse kande- ja kasutuspiirseisundil.

Kandepiirseisundid:

Seostuvad konstruktsiooni (näiteks maja sein või elektripost) purunemisega (midagi läheb katki), staatilise tasakaalu kaotusega (maja kukub ümber, aga katki ei lähe), stabiilsuse kaotuse või muude kahjustustega, millest tulenevad konstruktsiooni kandevõime kaotus ja oht inimestele.

Kasutuspiirseisundid:

Lähtuvad konstruktsiooni normaalse kasutamise nõuetest, inimeste mugavusest ja ehitise välimusest (deformatsioonid, vibratsioonid, mittekandvate elementide kahjustused). Lähtuvalt sellest, kas koormuse põhjustatud tagajärjed jäävad alles ka pärast koormuse mõju eemaldamist või kaovad, võib kasutuspiirseisund olla taastuv või taastumatu. Näiteks seina tekivad praod, sein on kole ja ei pea enam tuult, laepaneel on kõver, praguline ja inimestel on nende all hirm.

Arvutusolukorrad:

Valitakse lähtuvalt sellest, millistes tingimustes peab konstruktsioon oma otstarvet täitma. Eristatakse järgnevaid olukordi:

- **Alalised** – Normaalsed kasutustingimused
- **Ajutised** – Ajutised tingimused, näiteks ehituse või remondi ajal
- **Erakorralised** – Näiteks tulekahju, kokkupõrke või lokaalse purunemise tagajärjed

Arvutus peab näitama, et arvutusolukorrale vastavas ajavahemikus piirseisundit ei ületata.

Edaspidi kasutatavad mõisted:

Koormusvariant – koormus koos selle asendi, suuruse ja suunaga mingil vaadeldaval hetkel

Koormusjuht – füüsiliselt kokkusobivad, samaaegselt mõjuvad koormusvariandid

Koormuskombinatsioon – samaaegselt mõjuvate üksikkoormuste kogum

Koormuste liigitus:

Koormused liigitatakse:

- Ajalise kestuse järgi:
 - **Alalised ehk püsikoormused (tähis: G)** – konstruktsioonide omakaal (nt betoonplaadi ja seinakivide kaal), püsiva tehnoloogilise sisseseade (nt valtsimismasin tehases ja generaator hüdroelektrijaamas) ja teede pinnakatte kaal.
 - **Muutuvkoormused (tähis: Q)** – kasuskoormus vahelagedele (kasutamise põhjustatud, mõjuvad tavaliselt põranda kaudu, näiteks inimeste, toolide, kappide jm liigutatavate tavaliste asjade kaal), tuulekoormus (mõjub kõige enam seintele ja katuse nurkadele, on vahel ka negatiivne, s.t kangutab seinaelemente eemale), lumekoormus (lumi katusel), liikuvate transpordiseadmete koormus (nt sõidu- ja veoauto kaal, aga ka pidurdamisest põhjustatud jõud), koormused konstruktsioonide transportimisel (nt paneeli tõstetakse kraanaga tavaliselt kahes või kolmest punktist kinnitatult, need kinnitused ei tohiks tõstmise ajal küljest ära tulla ning paneel ei peaks tõstmise ajal pooleks murduma), ilmastikust sõltuv temperatuurikoormus (ehitise osade temperatuuripaisumise ja -kahanemise põhjustatud jõud, kui pikenede lühenemine on takistatud)
 - **Erakorralised koormused (tähis: A)** – plahvatused (nt gaasiplahvatus esimese korruse korteris ei tohiks põhjustada terve maja varisemist), sõidukite põrge (nt veoauto sõidab vastu esimese korruse nurgaposti ja eemaldab selle täielikult, kas teine korrus tohib selles olukorras variseda või mitte), põleng
- Mõjumisviisi järgi:
 - Staatilised koormused, mis ei põhjusta konstruktsioonis arvestatavaid kiirendusi
 - Dünaamilised koormused, mis põhjustavad arvestatavaid kiirendusi

Koormuse väärtused:

Igal koormusel on mingi eeldatav suurus, loodetavasti tegelikule sarnane, mida nimetatakse normväärtuseks, tihti valitakse see number tabelist.

Koormuse arvutusväärtuse saame normväärtuse korrutamisel osavaruteguriga. Osavarutegur võtab arvesse, et võib-olla me hindame normväärtust ebasoodsas suunas valesti.

Koormuskombinatsioonis korrutatakse muutuvkoormuse arvutusväärtus kombinatsiooniteguriga, mis arvestab, kui tõenäoline on, et kõige ebasoodsamad mõjud juhtuvad samal ajal (näiteks loodame, et avarii veoautoga ei juhtu kõige tuulisemal päeval).

Koormuse F arvutusväärtuse saab korrutades koormuse normväärtuse selle kombinatsiooniteguri ja koormuse osavaruteguriga:

$$F_d = \psi \cdot \gamma_f \cdot F_k$$

kus ψ on koormuse kombinatsioonitegur

γ_f on koormuse osavarutegur

F_k on koormuse normväärtus

Alaliste koormuste soodsa ja ebasoodsa mõju puhul kasutatakse kahte erinevat osavarutegurit ($\gamma_{G.inf}$ ja $\gamma_{G.sup}$). Kombinatsiooniteguri ψ väärtus on kas 1,00 või lähtuvalt tabeliväärtusest $\psi_0; \psi_1; \psi_2$.

Iga koormuskombinatsioon sisaldab püsikoormust ning lisaks sellele vähemalt ühte muutuvkoormust või erakordset koormust. Seejuures eristatakse **domineerivat muutuvkoormust**, mille mõju on teistest muutuvkoormustest suurem.

Kandepiirseisundi koormuskombinatsioonid:

NB! Detailsem selgitus loengu lõpus olevas näites!

Alaliste või ajutiste arvutusolukordade koormuskombinatsioonid

$$\Sigma \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Kus „+“ ja „ Σ “ tähistavad koormuste mõjumist ühes kombinatsioonis

$\Sigma \gamma_{G,j} G_{k,j}$ on omakaalu koormuste ja osavarutegurite korrutiste summa

$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$ on domineeriva muutuvkoormuse ja osavaruteguri korrutis

$\Sigma \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ on sekundaarsete muutuvkoormuste, osavarutegurite ja kombinatsioonitegurite korrutiste summa

Erakorralise arvutusolukorra koormuskombinatsioonid

$$\Sigma G_{k,j} + A_d + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$\Sigma G_{k,j}$ on normatiivsete püsikoormuste summa

A_d on arvutuslik erakorraline koormus

$\psi_{1,1} Q_{k,1}$ on domineeriva muutuvkoormuse ja kombinatsiooniteguri korrutis

$\Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$ on sekundaarsete muutuvkoormuste ja kombinatsioonitegurite korrutiste summa

Kasutuspiiriseisundi koormuskombinatsioonid:

NB! Detailsem selgitus loengu lõpus olevas näites!

Koormuskombinatsioonid, mida arvestatakse vastavates arvutusolukordades, peavad olema kooskõlas kasutusnõuete ja tingimustega. Eristatakse kolme kasutuspiiriseisundi kombinatsiooni:

Normkombinatsioon (kasutuspiiriseisundi normatiivne koormuskombinatsioon, harv):

$$\Sigma G_{k,j} + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$\Sigma G_{k,j}$ on omakaalu koormuste summa

$Q_{k,1}$ on domineeriv muutuvkoormus

$\Sigma \psi_{0,i} Q_{k,i}$ on sekundaarsete muutuvkoormuste ja kombinatsioonitegurite korrutiste summa

Üldjuhul rakendatakse taastumatute kasutuspiiriseisundite puhul.

Tavakombinatsioon (kasutuspiiriseisundi tavaline koormuskombinatsioon):

$$\Sigma G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$\Sigma G_{k,j}$ on omakaalu koormuste summa

$\psi_{1,1} Q_{k,1}$ on domineeriv muutuvkoormuse ja kombinatsiooniteguri korrutis

$\Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$ on sekundaarsete muutuvkoormuste ja kombinatsioonitegurite korrutiste summa

Üldjuhul rakendatakse taastuvate kasutuspiiriseisundite puhul.

Tõenäoline koormuskombinatsioon:

$$\Sigma G_{k,j} + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$\Sigma G_{k,j}$ on omakaalu koormuste summa

$\psi_{1,1} Q_{k,1}$ on domineeriv muutuvkoormuse ja kombinatsiooniteguri korrutis

$\Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$ on sekundaarsete muutuvkoormuste ja kombinatsioonitegurite korrutiste summa

Üldjuhul rakendatakse tõenäolist kombinatsiooni koormuste pikaajalise toime ja konstruktsioonivälimusega seonduvate kasutuspiiriseisundite korral.

Osavarutegurite ja kombinatsioonitegurite tabelid:

Tabel 8.1. Arvutuskoormused kandepiiriseisundi koormuskombinatsioonides

Arvutus-olukord	Alalised koormused G_d		Sõltumatud muutuvkoormused Q_d		Erakordlised koormused A_d
	Ebasoodne mõju	Soodne mõju	Domineerivad	Muud	
Alaline ja ajutine	$\gamma_{G,j,ap} G_{k,j,ap}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$	-
Erakordne olukord	$G_{k,j,ap}$	$G_{k,j,inf}$	$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$	A_d

Tabel 8.2 Osavarategurid kandepiiriseisundis alalises ja ajutises arvutusolukorras v.a pinnase tugevuse ja vajumitega seotud kandepiiriseisundid

Koormuse liik	Osavarateguri tähis	Osavarateguri väärtus
Alalised koormused		
staatilise tasakaalu kaotus (ei sõltu materjali tugevusest)		
– ebasoodne mõju	$\gamma_{G,sep}$	1,1
– soodne mõju	$\gamma_{G,inf}$	0,9
kandevõime kaotus (sõltub materjali tugevusest – purunemine, stabiilsuse kaotus)		
– ebasoodne mõju	$\gamma_{G,sep}$	1,2
– soodne mõju	$\gamma_{G,inf}$	1,0
Muutvkoormused:		
– ebasoodne mõju	γ_Q	1,5
– soodne mõju	γ_Q	0,0

Erakorralises arvutusolukorras on osavarategurite väärtused 1,0

Pinnase tugevuse ja vajumitega seotud kandepiiriseisundite puhul vt.ptk 9.

Tabel 8.3. Arvutuskoormused kasutuspiiriseisundi koormuskombinatsioonides

Kombinatsioon	Püsikoormused	Muutvkoormused	
		Domineeriv	Muud
Normatiivne (harv)	G_k	$Q_{k,1}$	$\psi_{0,j} Q_{k,j}$
Tavaline	G_k	$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,j} Q_{k,j}$
Tööntoline	G_k	$\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,j} Q_{k,j}$

Tabel 8.4. Kombinatsioonitegurid

Koormuse liik	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Kasuskoormused			
– klass A (eluruumid jms)	0,7	0,5	0,3
– klass B (bürooruumid jms)	0,7	0,5	0,3
– klass C (ruumid, kus on võimalik inimeste kogunemine)	0,7	0,7	0,6
– klass D (kauplused, kaubamajad)	0,7	0,7	0,6
– klass E (laod)	1,0	0,9	0,8
Liikluskoormused hoonetes			
– klass F (liikluspinnad kergetele sõidukitele ≤ 30 kN)	1,0	0,9	0,6
– klass G (liikluspinnad sõidukitele 30...160 kN)	0,7	0,5	0,3
– klass H (katused)	0	0	0
Lumekoormus	0,5	0,2	0
Tuulekoormus	0,6	0,2	0
Temperatuur (v.a tulekahju puhul)	0,6	0,5	0

Ülesande sõnastus ja näidisülesande lahendus:

Ülesanne: Määra vastavalt arvutusolukorra õige osavarutegur ja vajadusel kombinatsioonitegur (numbrilised väärtused). Täpsusta puuduvad koormuste tüübid (G – alaline, Q – muutuv, S_n – lumi jne). Vajadusel lisa puuduvad koormused.

Näide 1:

Kortermaja keldris olevasse posti tagurdab sõiduauto. Kontrollitakse posti kandevõimet.

_____	G _k	Kortermaja ülemiste korruste vahelagedelt mõjuv alaline koormus
_____	Q _k	Kortermaja ülemiste korruste vahelagedelt mõjuv kasuskoormus
_____	S _{n_k}	Kortermaja katuslaelt mõjuv lumekoormus
_____	A _d	Auto pörkekoormus

1. Selleks, et määrata osavarutegureid peame olukorra kirjelduse põhjal valima koormusolukorra – antud juhtum „erakorraline arvutusolukord“

Erakorralise arvutusolukorra koormuskombinatsioon

$$\Sigma G_{k,j} + A_d + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

2. Teiseks hakkame ükshaaval määrama koormuskombinatsiooni järgi osavarutegureid (kui ei ole tähist, et peaks arvestama siis märgime lahtrisse 1)
3. Antud olukorras vaja märkida ainult kombinatsiooni tegurid muutuvkoormustele