Rak-43.1215 Rakenteiden suunnittelun ja mitoituksen perusteet
Tentti 16.5.2008

Merkitse selvästi vastauspapereihin:
- opintojakson koodi, nimi ja tentin päivämäärä
- oma nimi ja allekirjoitus, opintokirjan numero ja kirjain, sekä koulutusohjelma
- luentojen kuunteluvuosi ja monesko yrityskerta

Suunnittelu- ja mitoitustehtävissä valintojen perusteiden on tultava ilmi vastauksista.
Havainnollista vastauksiasi tarvittaessa taso- ja leikkauspiirroksin.
Tentissä sallittu kirjallisuus on tentissä jaettu kaavakokoelma.

1. Vastaa seuraaviin kysymyksiin.

a) Mitä tarkoitetaan kuormitusta kuvaavilla käsitteillä:

-pysyvä kuorma
Luokittelu vaikutusajan ja paikan perusteella
Vaikuttaa koko tarkastelujakson ajan
Suuruuden vaihtelu ajan suhteen merkityksetöntä
-muuttuva kuorma
Luokittelu vaikutusajan ja paikan perusteella
Suuruuden vaihtelu ajan suhteen ei ole merkityksetön
-onnettomuus kuorma
Luokittelu lähteen ja syntymekanismin avulla
Mitoituksen kannalta merkittävä kuorma, esiintyminen epätodennäköistä rakenteen käyttöaikana
-dynaaminen kuorma.
Luokittelu rakenteen vasteen perusteella
Aiheuttaa rakenteeseen kestävyyden kannalta oleellisia kiihtyvyysrasituksia
Resonanssissa herätteen taajuus yhtyy rakenteen ominaistaajuuteen
Suunnittelussa pyrittävä välttämään resonanssi

-maanjäristyskuorma
Maanjäristyksessä syntyvistä maaperän liikkeistä aiheutuva kuorma
- Geotekninen kuorma
Maaperästä, täyttömaasta tai pohjavedestä aiheutuva kuorma

b) Miten rakennukseen kohdistuvat vaaka- ja pystykuormat eroavat periaatteellisesti toisistaan selvitettäessä rakennuksen kykyä siirtää kuormitukset maaperään. (1 p)
Vaakakuormien siirto maaperään edellyttää koko rakennejärjestelmän tarkastelua. Pystykuormien vienti perustuksella voidaan suorittaa tarkastelemalla yhtä tasokehää. Talon jäykistys vaakakuormille on keskeinen osa rakennuksen rungonsuunnittelua

c) Miten hauras ja sitkeä murtuminen eroavat toisistaan nopeuden, muodonmuutoksen ja

energian kulutuksen suhteen? Miksi rakenteiden rakenteiden suunnittelulla pyritään takaamaan sitkeä murtuminen. (2 p)

	Hauras murtuma	Sitkeä murtuma
Nopeus	Etenee materiaalin äänennopeudella	Etenee hitaasti (0-1 m/s)
Muodonmuutos	Pieni, murtopinnat voidaan liittää yhteen	Suuri, murtopintoja ei voi liittää yhteen
Energian kulutus	Pieni, rakenteen elastinen energia riittävä murtuman etenemiseen	Suuri, energiaa tuotava ulkopuolelta kuormitusta kasvattamalla

Hauraassa murrossa murto tapahtuu äkkinäisesti ilman ennakkovaroituksia. Sitkeässä murrossa murtumista edeltää jonkinlainen ennakkovaroitus. Hauraan murron materiaaleissa käytetään usein suurempia osavarmuuskertoimia.

d) Mitä tarkoitetaan käsitteillä murtorajatila ja käyttörajatila (1 p)

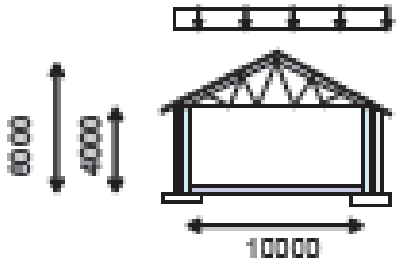
MRT: Ihmisten turvallisuuteen ja rakenteiden varmuuteen liittyvät rajatilat.

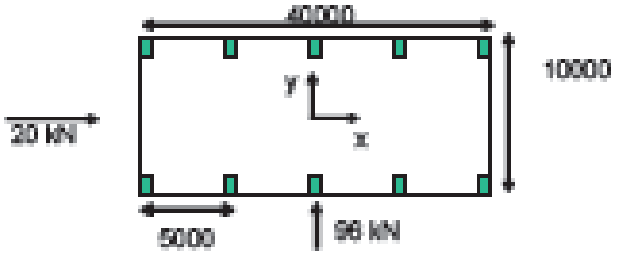
KRT: Rajatilat, jotka liittyvät rakenteen tai rakenneosien toimintaan normaalikäytössä, ihmisten mukavuuteen ja rakennuskohteen ulkonäköön

2. Kuvassa on esitetty hallirakennuksen runko. Halliin kohdistuvien tuulikuormien resultanttiarvot ovat pitkän ja lyhyen sivun suunnassa 20 kN ja 96 kN. Perustus koostuu erillisistä pilarianturoista. Katolla vaikuttavan lumikuorman suuruus on 2 kN/m^2.

   a) Mitkä ovat yksittäiselle pilarianturalle kohdistuvat osuudet x- ja y-suuntaisten tuulikuormien resultanttiarvoista, jos kattorakenteen oletetaan toimivan jäykkänä levynä kattoristikoiden välisellä osuudella? (2 p)
   b) Mitkä ovat yksittäiselle pilarianturalla kohdistuvat osuudet x- ja y-suuntaisten tuulikuormien resultanttiarvoista, jos kattorakenteella ei ole rakennusta jäykistävää vaikutusta kattoristikoiden välisellä osuudella? (2 p)
   c) Kuinka suuren lumikuorman voidaan otaksua kohdistuvan hallin pitkän sivun keskellä olevan pilarin anturalle. (2 p)

Tarkastelussa ei tarvitse ottaa huomioon kuormien osavarmuuskertoimia. Vastaukset perusteltava joko kirjallisesti ja/tai laskelmin





a) Miten tuulikuorman resultantti keskimäärin jakautuu perustuksille kuorman vaikuttaessa rakennuksen päätyyn tai pitkälle sivulle?
b) Jos pilarien poikkileikkaus on neliö, jonka sivumitta on 200 mm ja kimmokerroin 30000 MPa, arvioi yhden pilarin taipuma tuulen suunnassa ja perustukselle tuleva tukireaktio. Oletetaan päätyyn vaikuttavan tuulikuorman arvoksi 400 Pa.
c) Miten katon jäykkyys vaikuttaa pilarille tulevaan kuormaan ja ristikoiden tuentaan?
d) Kuvassa on katkoviivalla merkitty ristikkosauvat pilarien ja kattoristikoiden väliin. Mikä on sauvojen tarkoitus? Voidaanko sauvat mitoittaa niin, että ne ottavat vain vetojännityksiä ja voiko pilarin välissä olla vain yksi sauva? Onko ristikkosauvat sijoitettava samanlaisina rakenteen molempiin päätyihin?
e) Miten katon lumikuorman ja omanpainon siirtyminen perustuksille eroaa tuulikuorman siirtymisestä? Kuinka suuri kuorma perustukselle tulee lumikuormasta, jos sen suuruudeksi oletetaan katolla 2 kN/m2.

(a) Tuuli rakennuksen päätyyn: Ilmanvirtaus seuraa rakennuksen kattoa ja seiniä rakennuksen pituussuunnassa, jonka seurauksena muodostuu imua rakennuksen molemmille pitkille sivuille ja katolle. Painetta muodostuu rakennuksen tuulen puoleiseen päätyyn ja imua vastakkaiseen päätyyn. Pilareita on tuulen suunnassa yhdeksän kappaletta peräkkäin kahdessa rivissä. Rakennuksen jäykistyksen johdosta kunkin pilarin yläpään siirtymä tuulen suunnassa on sama. Tällöin jokaisen pilarin kautta välittyy perustuksille yhtäsuuri voima ja momentti.

Tuuli rakennuksen pitkälle sivulle: Paine muodostuu tuulen puoleiselle rakennuksen osalle, ja imua vastakkaiselle puolelle rakennusta. Pilareita on tuulen suunnassa peräkkäin kaksi kappaletta. Kattoristikot ovat jäykkiä, joten pilareiden yläpäiden siirtymät ovat samoja. Jokaisen pilarin kautta välittyvä vaakavoima ja taivutusmomentti ovat samoja. Tuulen paineen resultantti aiheuttaa rakennukseen kaatavan momentin, jota pyrkii estämään pilarin suuntaisten voimien muodostama voimapari. Tuulen puoleiseen pilaririvistöön syntyy vetoa, suojan puoleiseen pilaririvistöön puristusta (= voimapari).

(b) Tuulen aihettama puuskanopeuspaine rakennuksen päätyyn on 400 Pa. Päädyn pinta-ala

$$A_{\text{pääty}} = (10 \times 4 + ½ \times 10 \times 2)\ \text{m}^2 = 50\text{m}^2. \tag{1}$$

Tuulikuorma tuulen puoleiselle päädylle

$$F_{\text{w,tuuli}} = (c_{\text{s}} \cdot c_{\text{d}}) \cdot w_{\text{e}} \cdot A_{\text{ref}} = (c_{\text{s}} \cdot c_{\text{d}}) \cdot q_{\text{p}}(z_{\text{e}}) \cdot c_{\text{pe}} \cdot A_{\text{ref}} =$$
$$= (1) \cdot 400 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 0{,}8 \cdot 50\text{m}^2 \approx 16000\text{N} = 16\text{kN}. \tag{2}$$

Tuulikuorma suojan puoleiselle päädylle

$$F_{\text{w,suoja}} = (c_{\text{s}} \cdot c_{\text{d}}) \cdot q_{\text{p}}(z_{\text{e}}) \cdot c_{\text{pe}} \cdot A_{\text{ref}} = 1 \cdot 400 \cdot (-0{,}7) \cdot 50 \approx -14\text{kN}. \tag{3}$$

Kokonaiskuormaksi saadaan

$$F_{\text{w}} = F_{\text{w,tuuli}} - F_{\text{w,suoja}} = 16\text{kN} + 14\text{kN} = 30\text{kN} \tag{4}$$

Otaksutaan että päädyn yläosasta (3/5) päätyy kuormittamaan pilarin yläpäätä ja loppuosa (2/5) päätyy suoraan perustukselle. Pilareita kuormittavaksi vaakakuorman resultantiksi tulee siten

$$W = \frac{3}{5} \cdot F_{\text{w}} = \frac{3}{5} \cdot 30\ \text{kN} \approx 18\ \text{kN}, \tag{5}$$

josta yhteen pilariin kohdistuva voima

$$F = \frac{W}{18} = \frac{18\text{kN}}{18} = 1\text{kN}. \tag{6}$$

Alapäästään jäykästi kiinnitetyn pilarin yläpään siirtymä (kts. kaavakokoelma)

$$f = \frac{F \cdot L^3}{3EI}, \tag{7}$$

kun vaakakuorma vaikuttaa pilarin yläpäässä. Siirtymäksi saadaan

$$f = \frac{F \cdot L^3}{3EI} = \frac{1000\text{N} \cdot 4^3\text{m}^3}{3 \cdot 30 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \frac{0{,}2^4\text{m}^4}{12}} \approx 10{,}3\ \text{mm}, \tag{8}$$

joka jo toteuttaisi ehdon ($< L/200 = 20$ mm). Kokeillaan vielä pilareille poikkileikkauksia 300×300 mm^2 ja 400×400 mm^2:

$$f_2 = \frac{F \cdot L^3}{EI_2} = \frac{(18000\text{N}/18) \cdot 4^3\text{m}^3}{30 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \frac{0{,}3^4\text{m}^4}{12}} \approx 2{,}1\ \text{mm}, \tag{9}$$

$$f_3 = \frac{F \cdot L^3}{EI_3} = \frac{(18000\text{N}/18) \cdot 4^3\text{m}^3}{30 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \frac{0{,}4^4\text{m}^4}{12}} \approx 0{,}7\ \text{mm}. \tag{10}$$

Pilari 200×200 mm^2 riittää. Perustukselle tuleva vaakasuuntainen voima on siis $H = 1$ kN yhtä pilaria kohti, ja taivutusmomentti

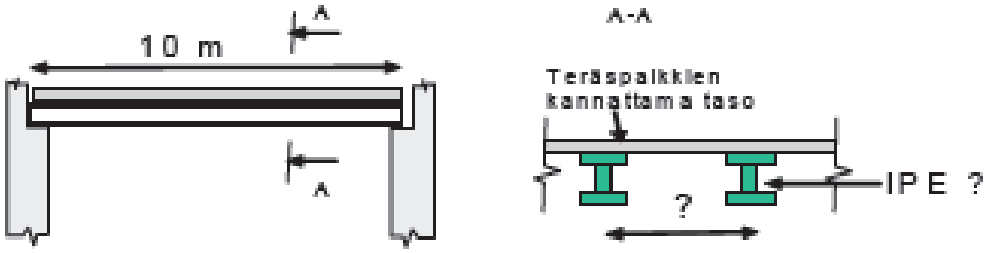
$$M = H \cdot 4{,}0\text{m} = 1\text{kN} \cdot 4{,}0\text{m} \approx 4\ \text{kNm}. \tag{11}$$

(c) Kattorakenteen jäykkyyden vaikutus. **Mikäli kattorakenteen jäykkyys vaakasuunnassa on pieni, on syytä jäykistää rakennuksen molemmat päädyt.** Muussa tapauksessa voidaan olettaa tuulikuorman siirtyvän rakennuksen jäykistettyyn päätyyn.

(d) Diagonaalisauvojen tehtävänä on estää suorakulmaisen kehän/rakenneosan vääristyminen ”salmiakin” muotoon. Pelkkiä vetosauvojakin voidaan käyttää, jolloin vältytään nurjahdustarkasteluilta. Tuulikuorma voi kohdistua rakennuksen kumpaan tahansa päätyyn, joten kaksi vetoa vastaanottavaa diagonaalisauvaa on tarpeen.

(e) Vertikaalisten painovoimasta aiheutuvien kuormien tapauksessa (oma paino, lumikuorma) riittää tarkastella yhden kehän toimintaa ja kuormien välittymistä perustuksille. Vaakasuuntainen tuulikuorma edellyttää koko rakennuksen tarkastelua. Lumen aiheuttama kokonaiskuorma on (10 ´ 40) m2 ´ 2 kN/m2 = 800 kN.

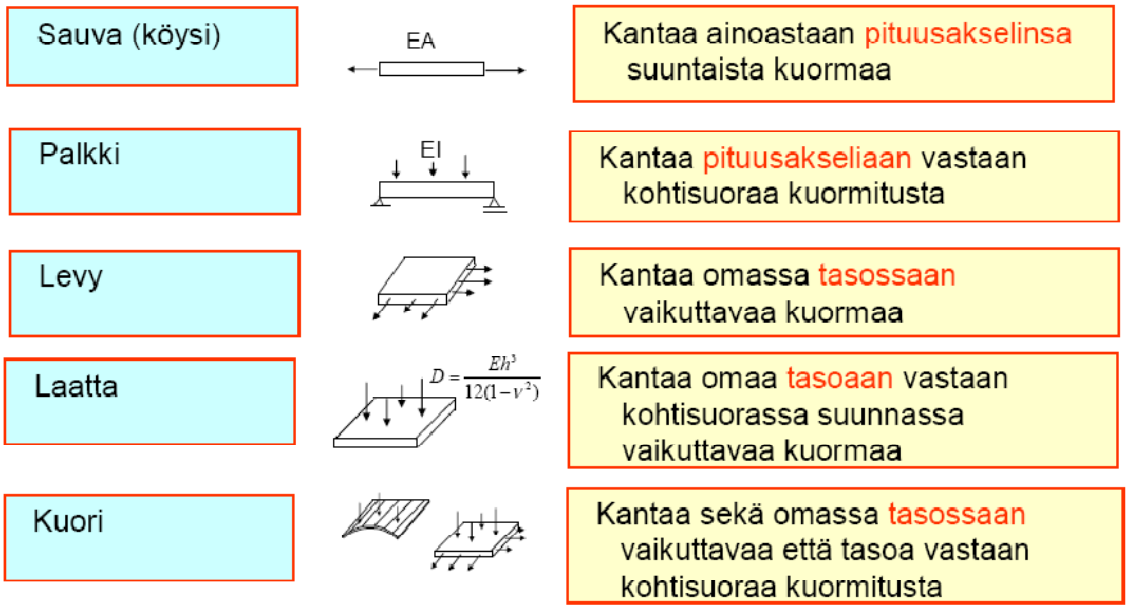
3. Teollisuusrakennuksessa suunnitellaan teräspalkkien kannattamaa teräsbetonitasoa. Palkkien jännemitta on 10 m ja ne ovat tuetut kummastakin päästä nivelellisesti betoniseiniin. Tasolle tuleva hyötykuorma on 50 kN/m^2. Teräsbetonitason omaksipainoksi arvioidaan 7,5 kN/ m^2. Oman painon osavarmuuskertoimena käytetään arvoa1,15 ja hyötykuormalle arvoa 1,5. Teräksen myötölujuutena voidaan käyttää arvoa 355MPa. Suorita teräspalkkien alustava mitoitus määrittämällä sopiva IPE-profiili ja niiden lukumäärä pituusyksikköä kohti. Alustavassa mitoituksessa suunnittelukriteerinä voidaan käyttää sallittua taivutusjännitystä. (6 p)



4. Pilarin tukireaktiona perustusanturaan kohdistuu normaalivoima 1500 kN ja taivutusmomentti 500 kNm. Sallittu pohjapaine on 250 kN/m. Mitoita teräsbetonista tehtävän perustusanturan päädimensiot: pituus, korkeus ja leveys. Teräsbetonin oma paino on25 kN/m^3. Piirrä anturasta periaatepiirustus ja esitä siinä myös pilarin keskilinjan sijainti. Mikä on suunnittelemasi anturan kaatumisvarmuus? Tarkastelu voidaan suorittaa kuormien ja lujuuksien nimellisarvoilla. (6 p)

Rakenteiden mitoituksessa tarkasteltavan rakenneosan kuorman kantokyky perustuu oletettuun teoreettiseen malliin. Miten seuraavien teoreettisten rakenneosien oletetaan kantavan kuormituksia?

Teorian valinnalla otetaan kantaa siihen, mitkä jännitys- ja muodonmuutoskomponentit ovat merkittäviä rakenteen kuormankantokyvyn kannalta



- sauva: kantaa ainoastaan pituusakselinsa suuntaista kuormaa
- palkki: kantaa pituusakseliansa vastaan kohtisuoraa kuormitusta
- laatta: kantaa omaa tasoaan vastaan kohtisuorassa suunnassa vaikuttavaa kuormaa
- kuori: Kantaa sekä omassa tasossaan vaikuttavaa että tasoa vastaan kohtisuoraa kuormitusta

b) Miten tuulikuorma syntyy ja miten se vaikuttaa rakenteisiin. (2 p)

Tuulikuorma syntyy ilmavirtauksen ja rakenteen välisestä vuorovaikutuksesta. Rakenne toimii virtauskentässä esteenä, joka aiheuttaa rakenteeseen kohdistuvan voimavaikutuksen.

• Umpinaisessa rakenteessa tuuli aiheuttaa painetta ulko- ja sisäpintoihin. Sisäpintoihin painevaikutus syntyy ulkovaipan huokoisuudesta
• Avonaisessa rakenteessa painevaikutus voi syntyä myös suoraan sisäpintaan
• Tuuli voi synnyttää pintoihin myös tuulen suuntaan vaikuttavia kitkavoimia

Vaikutus rakenteisiin
– suora painekuorma
– työntövoima
– imupaine
– Huojunta, jolloin rakenteen muodonmuutokset vaikuttavat ilmavirtaukseen
– harmoninen värähtely (mastot, savupiiput, sillat)

c) Mitä tarkoitetaan käsitteellä resonanssi dynaamisen kuorman yhteydessä? (1 p)

Resonanssissa herätteen taajuus (w) yhtyy rakenteen ominaistaajuuteen (wn) ja värähtelyn amplitudi kasvaa vaimentamattomassa värähtelyssä äärettömän suureksi

Rakenteen ominaistaajuus saadaan yhtälön

$$m\ddot{x} + kx = 0$$

ratkaisuna. Esimerkiksi yritteellä

$$x = a \sin \omega t$$

saadaan ominaistaajuudeksi (rad/s)

$$\boxed{\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}}$$

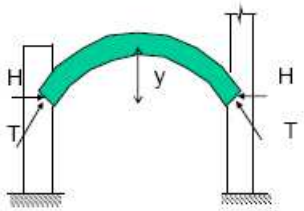
Värähtelyn amplitudin lauseke on

$$\boxed{a = \frac{F}{k} \cdot \frac{1}{1-(\omega/\omega_n)^2}}$$

Kuvassa on esitetty puristettu holvikaari, jonka tukien etäisyys on 5 m. Taulukossa on esitetty holvivoiman T ja sen vaakakomponentin H arvo holvin tukipisteessä sekä arvoja vastaava holvin korkeus y.

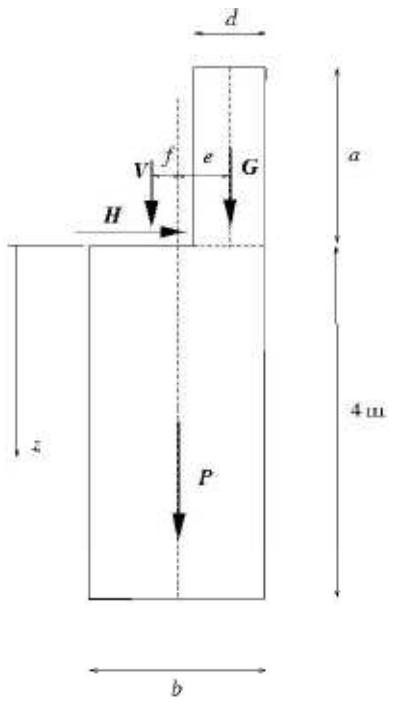
H (kN)	T (kN)	y (m)
10	61,32	5,13
10,25	59,19	4,89
10,5	57,27	4,68
10,75	55,53	4,48
11	53,95	4,29
11,25	52,52	4,13
11,5	51,21	3,97
11,75	50,02	3,83
12	48,93	3,69
12,25	47,94	3,57
12,5	47,03	3,45
12,75	46,19	3,34
13	45,42	3,24
13,25	44,72	3,15
13,5	**44,07**	**3,06**
13,75	43,47	2,97
14	42,92	2,89
14,25	42,41	2,82
14,5	41,95	2,74
14,75	41,52	2,68
15	41,13	2,61

T= holvin puristusvoima tuella
H=T:n vaakakomponentti
y = holvin lakikorkeus



Miten tulkitset taulukossa esitettyjä tuloksia holvia kannattavien pystyrakenteiden suunnittelun kannalta? (3 p)

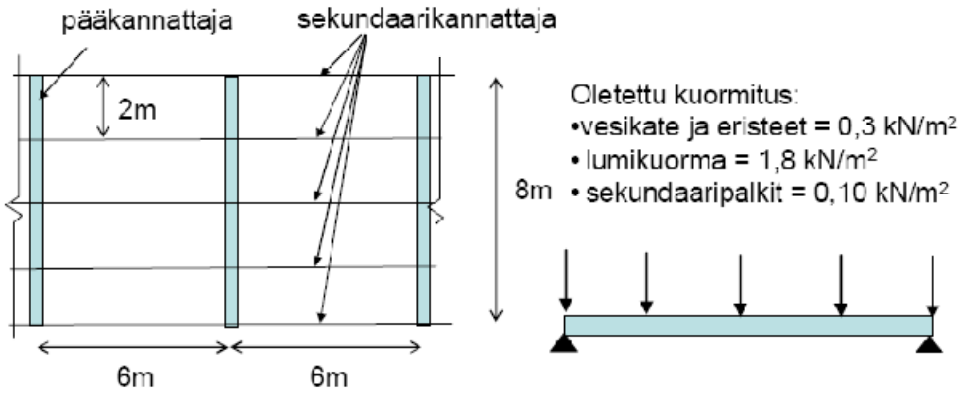
• Puristusvoima T kasvaa holvin korkeuden kasvaessa
• Vaakakomponentti H kasvaa holvin madaltuessa
• Suunnittelun kannalta T:n ja H:n suhde vaikuttaa sekä holvin rakennustapaan että tukirakenteilta edellytettäviin ominaisuuksiin



b) Holvia kannattavat kiviset tukirakenteet, jotka eivät kestä vetoa. Miten holvin tukirakenteet vaikuttavat holvin suunnitteluun? Mitä suunnittelukriteeriä käyttäisit holvin tukirakenteiden perustusten tarkastelussa holvin tukireaktiolle ja millä rakenteellisilla keinoilla voidaan vaikuttaa suunnittelukriteerin toteutumiseen? (3 p)

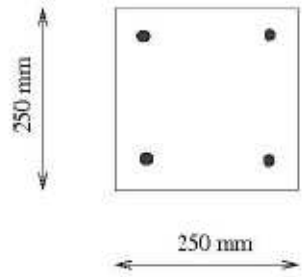
Tähän pitää vielä poimia vastaus!

Vesikaton vapaasti päistään tuetun teräksisen pääkannattajan jänneväli on 8 m. Pääkannattajat ovat 6 metrin välein rakennuksen pituussuunnassa. Pääkannattajille vesikaton kuorma välittyy sekundaaripalkeilta, joita on 2 m:n välein rakenteen leveyssuunnassa. Oman painon osavarmuuskertoimena käytetään arvoa 1,15 ja lumi- ja hyötykuormalle arvoa 1,5. Teräksen myötölujuutena voidaan käyttää arvoa 355 MPa. Teräksen kimmokerroin E on $2{,}1*10_5$ MPa ja Poisson'in luku 0,3. Suorita pääkannattajan alustava mitoitus määrittämällä sopiva (esim.) IPE- tai HE-profiili. Suunnittelukriteerinä käytetään sallittua taivutujännitystä ja sallittua taipumaa. Sallittu taipuma on L/300. (6 p)

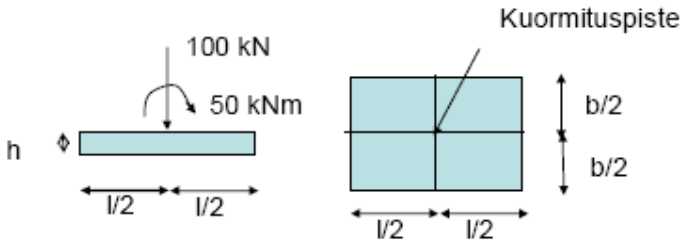


Teräsbetonin toiminta perustuu betonin ja raudoitteen väliseen tartuntaan, joka usein voidaan otaksua täydelliseksi. Määritä tätä oletusta soveltamalla teräksessä ja betonissa

vallitseva jännitys oheisessa teräsbetonipilarin poikkileikkauksessa, jota kuormittaa puristava normaalivoima 200 kN. Pilarissa on neljä halkaisijaltaan 12 mm harjaterästä. Betonin kimmokerroin $E_c = 21$ GPa ja teräksen kimmokerroin $E_s = 210$ GPa. (3 p)

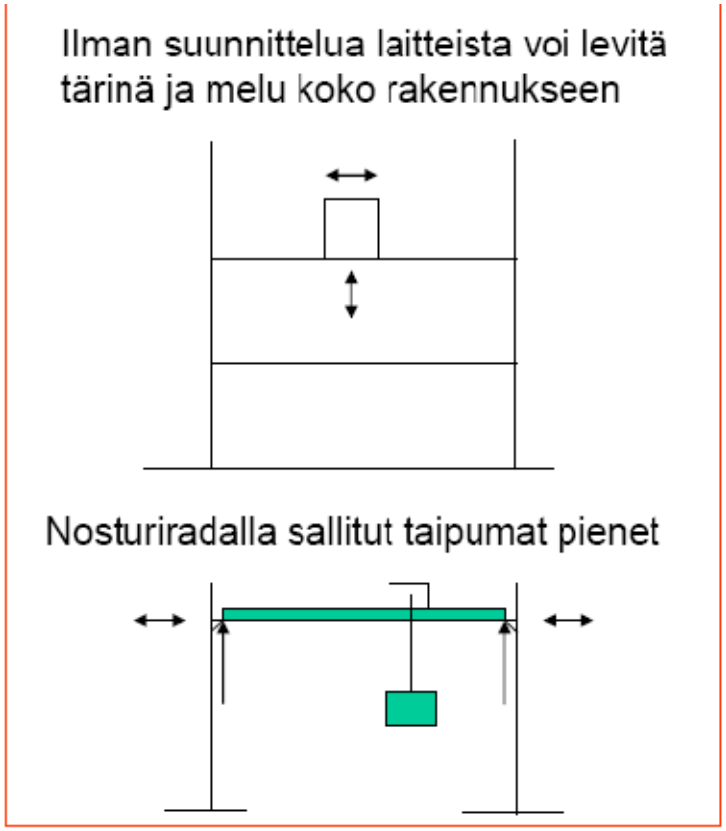


b) Mitoita oheisen teräsbetonisen anturalaatan leveys b, pituus l ja korkeus h siten, että anturan ja maan välinen kontaktipinta on kokonaan puristettu. Työn suorituksen ja rakenteen säilyvyyden kannalta anturan on oltava yli 40 cm paksu. Teräsbetonin oma paino on 25 kN/m^3. Anturan keskipisteessä vaikuttava puristava voima on 100 kN ja momentti 50 kNm. Tarkastelu suoritaan kuormien nimellisarvoilla ilman osavarmuuskertoimia. (3 p)



a) Mitä kuormia ja rasituksia laitteet ja koneet tyypillisesti aiheuttavat niitä kannattaviin rakenteisiin? (1 p)

Paikallisesti suuri massa
• Jatkuva dynaaminen heräte, jonka taajuus esim.
– Akselin pyörimisnopeus
– Iskutiheys mäntäkoneissa
• Lämpötilanmuutokset
• Nostureilla jarrukuorma
• Suuria kuormia laitteiden vikatilanteissa (esim.oikosulku)
– Vikatilanteet eivät välttämättä onnettomuuskuormia

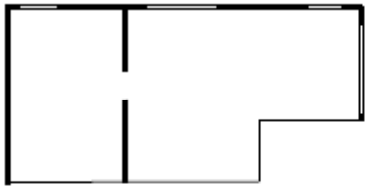


b) Miten hissi- ja porraskuiluja voidaan hyödyntää rakennuksen rungon jäykistyksessä?
• Eräs rakenteen jäykistystapa on kotelotorni, joihin sijoitetaan hissi- ja porraskuilut
• Kuiluja on tavallisesti useita sijoitettuna symmetrisesti rakennuksen tasoleikkauksen painopisteen suhteen
• Kuilujäykistyksessä kaikki vaakakuormat siirretään perustukselle kuilujen kautta

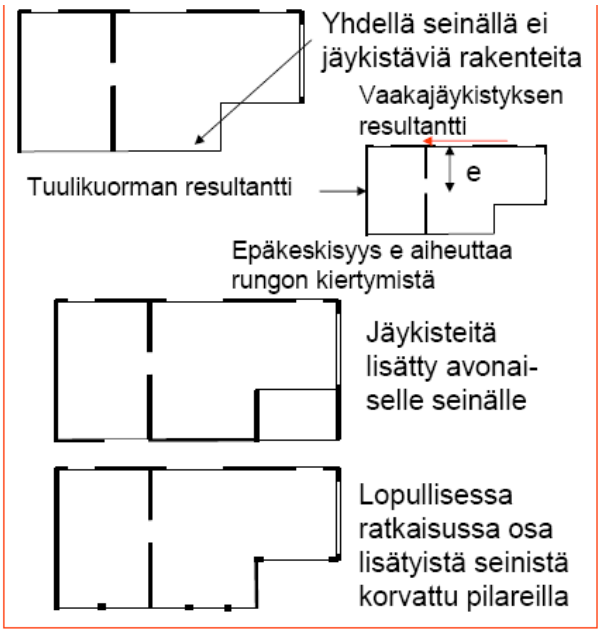
c) Mainitse vähintään neljä mitoituskriteeriä, jotka on tarkistettava mitoitettaessa perustusanturaa? (2 p)
• mitoitus pohjapaineelle (pinta-ala)
• mitoitus leikkausvoimalle
• mitoitus lävistykselle
• mitoitus taivutukselle
• puristuskapasiteetti pystyrakenteen ja anturan liittymisalueella
• raudoituksen ankkurointi
• painumaerot
• kaatuminen ja liukuminen (ei useinkaan mitoittava yksittäisille anturoille)

d) Mainitse kolme eri esijännitysmenetelmää, jolla rakenteisiin tai rakennesosien välisiin liitoksiin voidaan synnyttää esijännitys (1 p).
Terästankojen ja pulttien esikiristys vääntömomentilla
– mutteria kiristettäessä ja sen liikkuessa kierteessä syntyy pulttiin tai tankoon vetojännitys
Osien väliset puristusliitokset (teräs)
– varmistetaan rakenteen toiminnallinen jäykkyys – turvallisuus varmistetaan usein pulttiliitoksella
– yhteen liitettävien osien keskinäinen puristus synnytetään osien välisellä lämpötilaerolla
– kiilapalojen käyttö
Teräsbetonirakenteiden esijännittäminen teräskaapeleilla
– jälkijännitetyssä (valun jälkeen) rakenteessa betonin ja jännityskaapelin välillä ei välttämättä ole tartuntaa
– ennen valua jännitetyillä kaapeleilla betonin ja jännityskaapelin välillä on aina tartunta

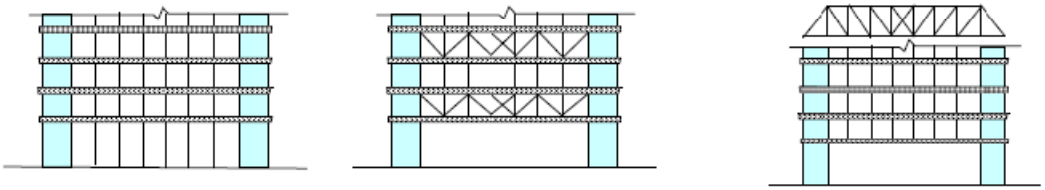
Oheisessa kuvassa on esitetty rakennuksen tasoleikkaus, jossa kantavat pystyrakenteet on korostettu paksulla viivalla.
a) Arvoi tasoleikkauksen perusteella rakennuksen toimintaa vaakakuormille (tuuli). Esitä tarvittaessa myös parannusehdotukset runkoratkaisulle. (3 p)



- Rakennuksen kantavien ja jäykistävien rakenteiden sijoittelu ja tilasuunnittelu vaikuttavat toisiinsa (ikkunat, ovet, huoneistot, talotekniikka)
- Tarkoituksen mukaista olisi vaakakuormien jakautuminen jäykisteille mahdollisimman tasaisesti ja pienin muodonmuutoksin
- Jäykkyyden epätasainen jakautumien aiheuttaa rungon kiertymistä ja mahdollisesti ainakin visuaalisia vaurioita runkoon kiinnitetyille rakenteille



b) Suuren toimistorakennuksen päihin on sijoitettu jäykistystornit, joiden keskinäinen etäisyys on 60 m. Kuvassa on esitetty kolme vaihtoehtoa rakennuksen tasokuormien siirtämiseksi maaperään (pilarit, tasojen väliset ristikot, katolle sijoitettu ristikko). Arvioi vaihtoehtoja kuiluille ja maaperään tulevien kuormien kannalta. (3 p)



1. Poikkileikkaukseltaan suorakaiteen muotoista palkkia kuormittaa tasaisesti jakautunut hyötykuorma **14,6 kN/m**. Palkin oma paino on samoin **14,6 kN/m**. Palkkiin asennetaan paraabelin muotoinen jännekaapeli, jolla saadaan tasainen ylöspäin suuntautunut tasapainottava kuormitus suuruudeltaan **wp = 21,9 kN/m (oma paino + 50% hyötykuormasta**). Määritä tarvittava jännevoiman suuruus. Määritä myös taivutusmomentti palkin puolivälissä. Palkin pituus **L = 22,9 m**, ja jännekaapelin poikkeama neutraaliakselilta **d = 38,1 cm**.

(5) => $y(x) = \frac{w_p}{2T} x^2$

=> $y(\frac{L}{2}) = \frac{w_p}{2T}\left(\frac{L}{2}\right)^2 = \delta$

=> $T = \frac{w_p \cdot L^2}{8 \cdot \delta} = \frac{21{,}9 \cdot 10^3 \cdot 22{,}9^2}{8 \cdot 0{,}381} \approx 3780\,\text{kN}.$

H ≈ T (tehtävän kaavassa annettukin T)
Koordinaatisto sijoitettu jänteen keskelle
Ota T ulos.

Nyt δ = 0,380 ja L= 23 m ja T= 3780 kN
Tentissä wp pitää laskea:
Wp= (8* δ*T)/L^2 = 21, 7 kN/m

Wp = oma paino + 0,5* hyötykuorma (w)

Oma paino: Teräsbetonin oma paino on **25 kN/m3, h = 1,25 m ja b= 0,5 m**
Omapaino: 15,63 kN/m, joten
w= 2*(wp-omapaino) = 12,14 kN/m

Täydestä hyötykuormasta palkkiin syntyvä maksimimomentti:
Maksimimomentti syntyy palkin keskelle = (L/2)

Palkin jänteen puolivälissä vaikuttava nettomomentti

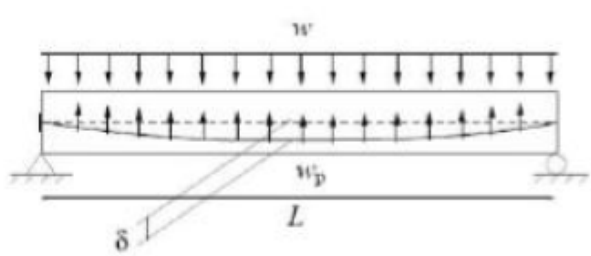
$M_{\text{net}} = \frac{1}{8} w L^2 = \frac{1}{8}(2 \cdot 14{,}6 - 21{,}9)(22{,}9)^2 \approx 479\,\text{kNm}.$

Nyt w= omapaino + w – wp = 6,07 kN/m ja
Mnet = 401 kNm (ehkä näin) tai sit
M = 1/8*12,14*23^2=802,8 kNm

3. Esijännitetyn betonipalkin jännemitta on **23** m. Palkkiin on asennettu paraabelin muotoinen jännekaapeli, jonka poikkeama δ neutraaliakselilta on **380 mm**. Jännevoiman suuruus on **3780 kN**. Palkin poikkileikkauksen korkeus on **1250 mm ja leveys 500 mm**. Teräsbetonin oma paino on **25 kN/m3**. Kuinka paljon hyötykuormaa w palkki voi kantaa (kN/m), jos 50% hyötykuormasta tasapainotetaan jännevoimalla? Kuinka suuri on täydestä hyötykuormasta palkiin syntyvä maksimimomentti? Laskelma suoritetaan kuormien nimellisarvoilla ilman varmuuskertoimia. Jännevoiman T ja jänteen geometrian välillä on yhteys

$$y(x) = \frac{w_p(x)}{2T} x^2$$

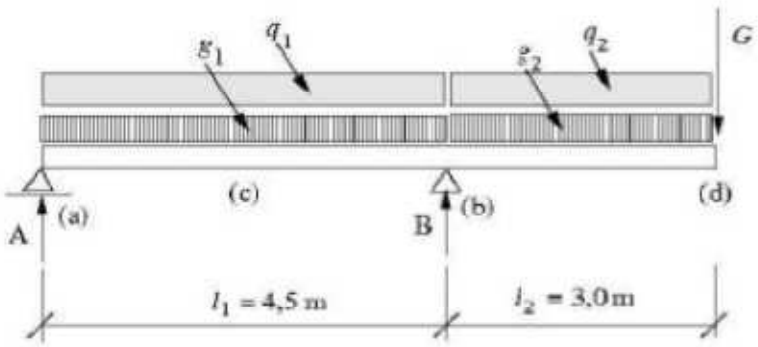
jos yhtälön koordinaatisto on sijoitettu jänteen keskelle.



Oheista palkkia kuormittaa palkin oman painon sisältävä pysyvä kuorma (g_1=15 kN/m ja g_2=15 kN/m) hyötykuorma (q_1=9 kN/m ja q_2=9 kN/m). Lisäksi palkin päähän vaikuttaa

pysyvä pistekuorma G=6 kN. Muodosta Eurokoodin mukaiset kuormien yhdistelmät murtorajatilassa rakenteen kestävyyden (STR) osoittamiseksi. Määritä yhdistelmiä vastaavat taivutusmonentit kestässä (c) ja tuella (b). Sovella tehtävässä annettuja kaavoja kertoimia. Taulukossa olevan kertaoimen $\psi_{0,i}$ arvona voidaan tarvittaessa käyttää arvoa 0,7 ja luotettavuusluokaksi voidaan ottaksua RC 2. (6 p)

6. Oheista ulokepalkkia kuormittaa aukolla AB pysyvä kuorma g_1 = 15 kN/m ja hyötykuorma q_1 = 9 kN/m, ja vastaavasti ulokkeella pysyvä kuorma g_2 = 15 kN/m ja hyötykuorma q_2 = 9 kN/m. Lisäksi ulokkeen päässä on pysyvä pistekuorma G = 6 kN. Muodosta Eurokoodin (SFS-EN 1990) mukaiset kuormien yhdistelmät murtorajatilassa. Määritä yhdistelmiä vastaavat taivutusmomentit kentässä (c) ja tuella (b).



Staattisen tasapainon ja kestävyyden osoittaminen. Rakenteen staattisen tasapainon rajatilaa (EQU) tarkasteltaessa tulee osoittaa, että (SFS-EN 1990, kaava (6.7))

$$E_{d,dst} \leq R_{d,dst}, \tag{1}$$

missä $E_{d,dst}$ on tasapainoa heikentävien kuormien vaikutuksen mitoitusarvo ja $R_{d,dst}$ tasapainoa parantavien kuormien vaikutuksen mitoitusarvo. Tulkittuna kuvan 1 tilanteeseen, ehto (1) voidaan kirjoittaa momenttiehtona

$$M_R \geq M_E, \tag{2}$$

tai yksityiskohtaisemmin

$$\gamma_{g1} g_1 \frac{l_1^2}{2} > \gamma_{g2} g_2 \frac{l_2^2}{2} + \gamma_{q2} q_2 \frac{l_2^2}{2} + \gamma_G G l_2. \tag{3}$$

Tukien välisen kuormituksen tulisi siis tuottaa suurempi momentti (laskettuna välituen (b) suhteen), kuin ulokkeella olevien kuormien yhdistelmän. Kuormitusyhdistelmä muodostetaan käyttäen kaavaa (SFS-EN 1990, kaava (6.10))

$$\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} \text{ "+" } \gamma_P P \text{ "+" } \gamma_{Q,1} Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i>1} \gamma_{Q,1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \tag{4}$$

Merkintä "+" tarkoittaa "yhdistämistä jonkin toisen kanssa", $\sum$ tarkoittaa "suureiden yhdistettyä vaikutusta", ja ψ_0 on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin.

Taulukoissa 1 ja 2 esitetään kriittiset kuormayhdistelmät staattiselle tasapainolle. Taulukon kertoimet ovat γ_G, γ_Q, $\gamma_Q \times \psi$ tai $\xi \times \gamma_G$. Kertoimille sovelletaan seuraavia arvoja: $\gamma_G = 1{,}35$, $\gamma_Q = 1{,}50$, $\psi = 0{,}70$ ja $\xi = 0{,}85$ (epäedullisten pysyvien kuormien pienennyskerroin). Taulukossa 2 esitetään myös kuormitusyhdistelmää vastaava tukireaktio A.

Taulukko 2. Kuormayhdistelmät EQU.

KT	Rajatila	g_1	g_2	q_1	q_2	G	A [kN]
1	(6.7), (6.10)	0,90	1,10	0	1,50	1,10	**-4,03**
2	(6.7), (6.10)	1,15	1,35	0	1,50	1,35	-0,34
3	(6.7), (6.10)	1,00	1,00	0	1,50	1,00	1,25

Kuormitusyhdistelmät (1) ja (2) edellyttävät siis ankkurointia tiellä A. Kuvassa 2 esitetään kuormitustapausta 1 vastaava leikkausvoimajakauma. Kuvissa 3 … 5 esitetään kuormitusyhdistelmiä 1 … 3 vastaavat taivutusmomenttipinnat.

Rakenteen tai rakenneosien sisäinen vaurioituminen. Tarkastelu suoritetaan, kun rakennusmateriaalien lujuus tai liian suuri siirtymätila on määräävä (STR). Tarkastellaan taivutusmomentteja pisteissä (b) ja (c). Kuormitusyhdistelmät määritetään käyttäen kaavaa (4) (SFS-EN 1990, kaava (6.10)), ja lisäksi kaavoja (SFS-EN 1990, kaavoja (6.10a), (6.10b))

$$\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} \text{ "+" } \gamma_P P \text{ "+" } \gamma_{Q,1}\psi_{0,1} Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i>1} \gamma_{Q,1}\psi_{0,i} Q_{k,i}, \tag{5}$$

$$\sum_{j\geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} \text{ "+" } \gamma_P P \text{ "+" } \gamma_{Q,1} Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i>1} \gamma_{Q,1}\psi_{0,i} Q_{k,i}. \tag{6}$$

ψ_0 on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin. Taulukoissa 3 ja 4 esitetään kriittiset kuormayhdistelmät murtorajatilalle STR. Taulukon kertoimet ovat γ_G, γ_Q, $\gamma_Q \times \psi$ tai $\xi \times \gamma_G$. Kertoimille sovelletaan seuraavia arvoja: $\gamma_G = 1{,}35$, $\gamma_Q = 1{,}50$, $\psi = 0{,}70$ ja $\xi = 0{,}85$ (epäedullisten pysyvien kuormien pienennyskerroin).

Taulukko 4. Kuormayhdistelmät murtorajatilalle STR.

KT	kohta	Rajatila	g_1	g_2	q_1	q_2	G	M [kNm]
4	(c)	(6.10)	1,35	1,00 (1,35)	1,50	0	1,00	**47,8**
5	(b)	(6.10)	1,00 (1,35)	1,35	0	1,50	1,35	**-176,0**
6	(c)	(6.10a)	1,35	1,00 (1,35)	1,50×0,7	0	1,00	38,2
7	(c)	(6.10b)	1,15	1,00 (1,15)	1,50	0	1,00	40,5
8	(b)	(6.10a)	1,00 (1,35)	1,35	0	1,50×0,7	1,35	-159,0
9	(b)	(6.10b)	1,00 (1,15)	1,15	0	1,50	1,15	-159,0

Taulukossa 4 esitetään myös kuormitusyhdistelmää vastaava taivutusmomentti $M_{(b)}$ tai $M_{(c)}$. Kuormitusyhdistelmiä 4 … 9 vastaavat momenttipinnat esitetään kuvissa 6 … 11.

Taulukko A1.2(B) (FI) Kuormien mitoitusarvot (STR/GEO) (Sarja B)

Normaalisti vallitsevat ja tilapäiset mitoitustilanteet	Pysyvät kuormat		Määräävä muuttuva kuorma (*)	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat (*)
	Epäedulliset	Edulliset		
(Yht. 6.10a)	$1{,}35\ K_{FI}\ G_{kj,sup}$	$0{,}9\ G_{kj,inf}$		
(Yht. 6.10b)	$1{,}15\ K_{FI}\ G_{kj,sup}$	$0{,}9\ G_{kj,inf}$	$1{,}5\ K_{FI}\ Q_{k,1}$	$1{,}5\ K_{FI}\ \psi_{0,i} Q_{k,i}$

(*)Taulukon A.1.1 mukaiset kuormat ovat muuttuvia kuormia.

Yhdistelmistä käytetään epäedullisempaa:

$$\begin{cases} 1{,}15\,K_{FI}\,G_{kj,sup} + 0{,}9\,G_{kj,inf} + 1{,}5\,K_{FI}\,Q_{k,1} + 1{,}5\,K_{FI}\sum_{i>1}\psi_{0,i}\,Q_{k,i} \\ 1{,}35\,K_{FI}\,G_{kj,sup} + 0{,}9\,G_{kj,inf} \end{cases}$$

K_{FI} riippuu standardin SFS-EN 1990 liitteen B taulukon B2 mukaisesta luotettavuusluokasta seuraavasti:

luotettavuusluokassa RC3 $K_{FI} = 1{,}1$
luotettavuusluokassa RC2 $K_{FI} = 1{,}0$
luotettavuusluokassa RC1 $K_{FI} = 0{,}9$.

1. Vastaa lyhyesti seuraaviin kysymyksiin.

   a) Luettele kolme teräsrakenteille tyypillistä piirrettä. (2 p)

   b) Mikä on ristikon ja palkin toiminnallinen ero kuormien kannossa? (1 p)

   c) Mitä tarkoitetaan taivutetun teräsbetonipoikkileikauksen tasapainoraudoituksella? (1 p)

   d) Mitä tarkoitetaan poikkileikkauksen sydänkuviolla? Miten sitä esimerkiksi voidaan hyödyntää rakennesuunnittelussa (2 p)

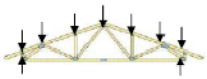
a) Teräs: suuret jännitykset, epästabiiliusilmiöt, liitokset, hitsaukset
   - Teräsrakenteille tyypillistä betoniin ja puuhun verrattuna korkeat jännitykset
   - Rakenteet hoikkia ja omapaino pieni verrattuna hyötykuormaan
   - Paljon mitoitettavia yksityiskohtia – hitsit ja pulttiliitokset
   - Stabiiliusilmiöt tärkeitä (lommahdus, kiepahdus)

b) Ristikko ja palkki
   Ristikko toimii sauvana eli kantaa pituusakselinsa suuntaista kuormaa. Palkissa teoreettisena rakenneosana toimii palkki, usein yhdistetty sauva ja palkki. Palkki kantaa pituusakseliaan vastaan kohtisuoraa kuormaa.

- Ristikko kantaa kuormia sauvan aksiaalisilla muodonmuutoksilla
- Ulkoisen kuormituksen kohdistuttava ristikon solmupisteisiin
- Ristikko mitoitettava palkkina, jos kuorma kohdistuu ristikkosauvaan solmujen välillä
- Kattoristikoksi kutsutaan yleisesti rakennetta, jossa on sekä taivutettuja että aksiaalisesti toimivia sauvoja.
  - Suunnittelussa ja toteutuksessa on varmistettava että rakenteen oletettu ja todellinen toiminta vastaavat toisiaan

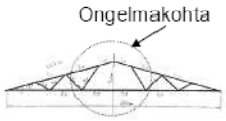
Tyypillinen pientalon/ hallin kattoristikko

Ristikko-teorialla:



Palkki-teorialla:

Virheellinen kattoristikko (onnettomuustutkintalautakunnan raportista)



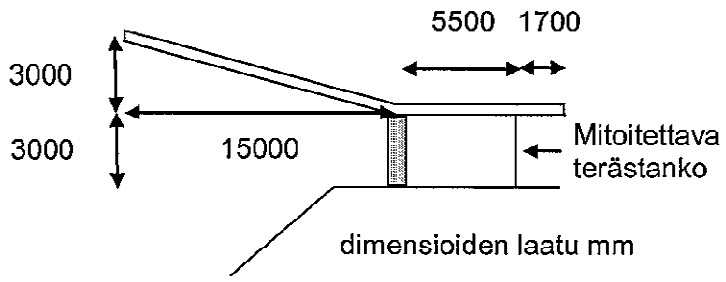
c) Taivutetun teräsbetonipoikkileikkauksen tasapainoraudoitus
Mitä pienempi on teräsmäärä, sitä enemmän sisäinen momenttivarsi pystyy kasvamaan teräksen myödön jälkeen. Jos betonin reunamurtopuristuma saavutetaan samalla kun teräksen myötö alkaa (tasapainoraudoitus) tai jo ennen teräksen myötöä (yliraudoitus), ei plastista vaihetta esiinny ollenkaan

d) Poikkileikkauksen sydänkuvio
Sydänkuvio on poikkileikkauksen alue, jossa vaikuttava puristava (t. vetävä) normaalivoima aiheuttaa poikkileikkauksessa vain puristus- (t veto-) jännitystilan. Sydänkuvion reunaviiva voidaan määrittää poikkipinnan reunapisteissä vaikuttavien voimanvaikutuspisteitä vastaavien neutraaliakselien avulla.

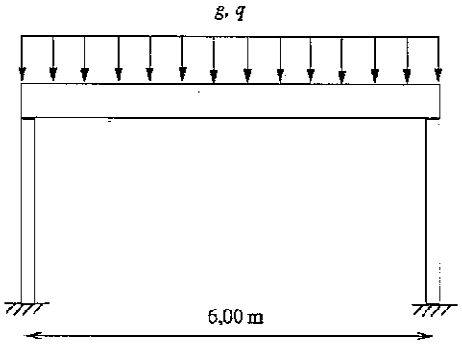
2. Katsomon kattorakenne on kannatettu betonipilareilla ja terästangoilla, joita on sijoitettu 3000 mm:n välein katsomon pituussuunnassa. Rakenteen poikkileikkaus on esitetty kuvassa. Oman painon osavarmuuskerroin on 1,2 ja lumikuorman 1,6. Betonipilarin ja katon kiinnitys on nivelellinen, siten että katon siirtymät pilarin suhteen oletetaan estetyiksi. Katon keskimääräinen paksuus on 100 mm ja teräsbetonin tiheys 2500 kg/m^3. Terässauvan materiaali on S355. Sen lujuutena voidaan käyttää arvoa $\sigma = 355$ MPa, materiaalin osavarmuuskertoimena arvoa 1 ja kimmokertoimena 2,1E10^5 MPa. Lumikuorman suuruus on 1,8 kN/m^2.

a) Suorita terästangon alustava mitoitus (vaadittava teräspinta-ala ja sitä vastaavan poikkileikkausprofiilin valinta) katon omalle painolle ja lumikuormalle. (4 p)

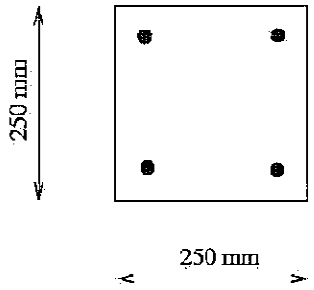
b) Lopullisessa mitoituksessa on otettava huomioon myös tuulikuorma. Mitkä tuulikuorman sisältävät kuormitusyhdistelmät arvioit terässauvan kannalta mitoittaviksi, perustele valinnat? (2 p)



3. Omakotitalon lämpimässä sisätilassa on oheisen kuvan mukainen liimapuinen palkki (L30), jonka jänneväli on 6,0 m. Tarkista riittääkö palkki, jonka poikkileikkauksen leveys b = 190 mm ja korkeus h = 450 mm. Omakotitalo sijaitsee Kajaanissa. Kattorakenteen omapaino on 0,8 kN/m^2 (huopakatto, laudoitus, katon kertopuiset kattopalkit, eristeet ja sisäverhouslevy). Ota myös huomioon lumikuorma 2,2 kN/m^2 ja liimapuupalkin oma paino (puupalkin tiheys 5 kN/m^3). Liimapuupalkki kantaa katon omaa painoa ja lumikuormaa 4,8 metrin levyiseltä kaistalta. Palkkia kannattavien pilarien poikkileikkausmitat ovat 190×190 mm^2. Kertopuiset kattopalkit ja muut kattorakenteet tukevat palkkia niin, että palkin kiepahdus on estetty. Tarkista myös tukipaine ja palkin taipuma (sallittu taipuma on palkin jännemitta jaettuna luvulla 200). Oman painon osavarmuuskerroin on 1,2 ja lumikuorman 1,6. Materiaalin osavarmuuskerroin murtorajatilassa on 1,3 ja käyttörajatilassa 1,0. Palkin taivutuslujuus f_b = 19,2 MN/m^2, leikkauslujuus f_v = 1,8 MN/m^2 ja sallittu tukipaine $f_{c\perp}$ = 2,7 MN/m^2. Yli 300 mm korkeiden palkkien tapauksessa taivutuskapasiteettia pienennetään kertoimella $C_F = (300/h)^{1/9}$, ([h] = mm). Taivutusvastus $W = bh^2/6$. Palkin kimmomoduuli käyttörajatilassa 7000 MN/m^2. (6 p)



4. Suoran teräsbetonipilarin poikkileikkausta kuormittaa puristava normaalivoima 200 kN. Pilarissa on neljä halkaisijaltaan 12 mm harjaterästä. Määritä teräksessä ja betonissa vallitseva jännitys. Betonin kimmokerroin $E_c = 21$ GPa ja teräksen kimmokerroin $E_s = 210$ GPa. (6 p)



1.

a) Mitä hyötyjä saavutetaan rakenteiden esijännittämisellä (2 p)

b) Mitä tarkoitetaan köyden ja puristetun holvikaaren välisellä analogialla? (1 p)

c) Millä eri tavoin tuuli vaikuttaa rakenteisiin, mikä on tuulikuorma määrityksen lähtökohta ja mitä tarkasteluja tuulikuorma edellyttää rakenteen varmuuden kannalta. (3 p)

a) Rakenteiden esijännittämisen hyödyt:
- Pitkät jännevälit – vähemmän pilareita
- Matala rakennekorkeus – matalampi kerroskorkeus
- Hyvä tiiviys, halkeilemattomuus – käyttöiän hallinta
- Parempi materiaalin käyttöaste
- Terästen pysyvä jännitystaso nousee ja terästen jännitysvaihtelut vetoalueella muuttuvista kuormista pienevät

Esijännittämisen haitat:
- Suuremmat alkukustannukset
  – Esijännityslaitteet
  – Ankkurointialueiden vahvennukset
  – Monimutkaisemmat muotit
- Korkealaatuiset ja –lujuiset materiaalit
  – Materiaalin hinta
  – Valmistuksen laadunvalvonta
- Esijännitysvoiman pysyvyyden ja kaapelien ikääntymisen kontrollointi – rakenteen

käyttöikämitoitus

b) Mitä tarkoitetaan köyden ja puristetun hovikaaren välisellä analogialla?
Holvi täysin puristettu, jos sen geometria on peilikuva vastaavan kuormituksen mukaisesta köysikäyrästä

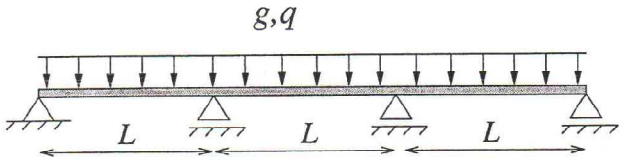
c) Tuulen vaikutus rakenteisiin, määrityksen lähtökohta, mitä tarkasteluja edellytetään rakenteen varmuuden kannalta

Tuulikuorma syntyy ilmavirtauksen ja rakenteen välisestä vuorovaikutuksesta. Rakenne toimii virtauskentässä esteenä, joka aiheuttaa rakenteeseen kohdistuvan voimavaikutuksen.

• Umpinaisessa rakenteessa tuuli aiheuttaa painetta ulko- ja sisäpintoihin. Sisäpintoihin painevaikutus syntyy ulkovaipan huokoisuudesta
• Avonaisessa rakenteessa painevaikutus voi syntyä myös suoraan sisäpintaan
• Tuuli voi synnyttää pintoihin myös tuulen suuntaan vaikuttavia kitkavoimia

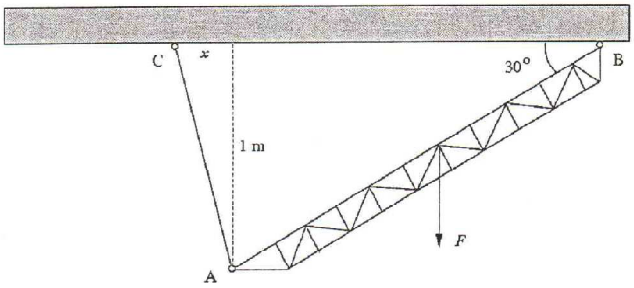
Vaikutus rakenteisiin
– suora painekuorma
– työntövoima
– imupaine
– Huojunta, jolloin rakenteen muodonmuutokset vaikuttavat ilmavirtaukseen
– harmoninen värähtely (mastot, savupiiput, sillat)
Suunnittelussa tarkasteltava
– Koko rakenteen kaatumisvarmuus
– Yksittäisten rakenneosien kestävyys

Määritä alla olevan kolmiaukkoisen palkin rasitukset (taivutusmomentti, leikkausvoima ja tukireaktiot). Kuormituksena on oman painon sisältävä pysyvä kuorma $g_k = 10$ kN/m ja hyötykuorma $q_k = 8$ kN/m. Hyötykuorma voi vaikuttaa koko palkilla tai vain osalla palkkia. Hyötykuorman osavarmuuskerroin on 1,6 ja pysyvän kuorman 1,2. Määritä I-palkilta vaadittava taivutusvastus. Valitse tämän perusteella palkille sopiva HEA-teräspoikkileikkaus. Teräksen mitoituslujuudeksi voidaan olettaa 355 MPa. Palkin taipumaa ei tarvitse tarkastella. Palkin jänneväli $L = 6$ m. (6 p)



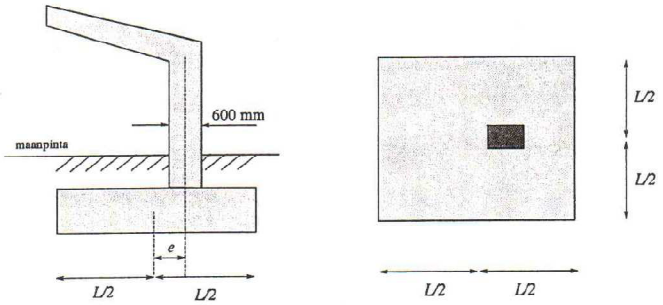
3.

Hyvin jäykkä ristikko AB on ripustettu vaijerilla AC. Ristikon puolivälissä vaikuttaa kuorma $F = 25$ kN suoraan alaspäin. Ristikon ja vaijerin painoa ei tarvitse ottaa tarkastelussa huomioon. Määritä vaijerin kestävyyden kannalta optimaalinen paikka kiinnityskohdalle C (siis mitta x). Mitoita vaijerin poikkileikkauksen pinta-ala, kun varmuuden murron suhteen halutaan olevan 3,0. Vaijerin materiaali on terästä S235, jonka kimmomoduuli $E = 205$ GPa. (6 p)



Alla olevan kuvan mukaisen epäsymmetrisen rakenteen omasta painosta neliönmuotoiselle perustusanturalle aiheutuva aksiaalinen kuorma P_g = 980 kN ja momentti M_g = 240 kNm. Hyötykuormasta aiheutuva aksiaalinen kuorma P_q = 730 kN ja momentti M_q = 190 kNm. Kuormat on annettu pilarin keskilinjalla. Momentti vaikuttaa pilarin poikkileikkauksen lyhyen sivun ympäri. Pilarin poikkileikkaus on 300 x 600 mm^2. Anturan yläpinta sijoitetaan 1,5 m maanpinnan alapuolelle, ja sallittu pohjapaine on 240 kN/m^2. Maan ominaispainoksi otaksutaan 15,7 kN/m^3. Anturan korkeuden on oltava noin 10% sen sivumitasta L. Sijoittamalla pilari epäkeskisesti (etäisyys anturan keskipisteestä e), voidaan vaikuttaa maanpaineen jakautumaan anturan alla. Mitoita anturan sijoitus (mitta e) ja sivun pituus L. Anturan suunnittelukriteerit: (a) Omalla painolla koko pohjapinnan on oltava puristettu, (b) Kokonaiskuormalla vähintään puolet pohjapinnasta oltava puristettu, (c) Mitoitus tehdään käyttäen kuorman nimellisarvoja.

(6 p)



a)
e< L/6
omalla painolla oltava puristettu, joten jätetään hyötykuorma pois tarkastelusta tässä vaiheessa huom! Antura neliönmuotoinen. Miten hyötykuorman momentti??
Oletukset, että pääsee eteenpäin: vain omapainon kuorma ja momentti, ei maamassaakaan.

b) e< L/3 kaikki kuormat mukana
Perustusantura
3. Alla olevan kuvan mukaisen epäsymmetrisen rakenteen omasta painosta ja hyötykuormasta aiheutuva mitoittava aksiaalinen voima P = 1710 kN, ja mitoittava taivutusmomentti M = 430 kNm. Pilarin poikkileikkaus on 300´600 mm2. Anturan alapinta sijoitetaan 1,5 m maanpinnan alapuolelle, ja sallittu pohjapaine on 240 kN/m2. Maan ominaispainoksi otaksutaan 15,7 kN/m3. Mitoita anturan pituus, leveys ja alustavasti korkeus.

Pilarin siirto aiheuttaa sen, että voimasysteemi koostuu ainoastaan vertikaalisesta kuormasta P. Epäkeskisyys

$$e = \frac{M}{P} = \frac{430\,\text{kNm}}{1710\,\text{kN}} \approx 0{,}251\,\text{m}. \qquad (1)$$

Kokeillaan mitoitusta alustavasti valitsemalla anturan pituudeksi L = 2,5 m ja leveydeksi B = 2,0 m ja korkeudeksi h = 0,5 m. Tällöin anturan painoksi muodostuu

$$G_{\text{antura}} = \rho \cdot L \cdot B \cdot h = 25 \cdot 2{,}5 \cdot 2{,}0 \cdot 0{,}5 \approx 62{,}5\,\text{kN}, \qquad (2)$$

ja anturan päällä olevan maan painoksi tulee

$$G_{\text{maa}} = \rho_{\text{m}} \cdot L \cdot B \cdot (1{,}5 - h) = 15{,}7 \cdot 2{,}5 \cdot 2{,}0 \cdot (1{,}5 - 0{,}5) \approx 78{,}5\,\text{kN}. \qquad (3)$$

Kokonaiskuorma koostuu anturan, yläpuoleisen rakenteen (katos) ja anturan päällä olevan maan painosta:

$$F = P + G_{\text{antura}} + G_{\text{maa}} = 1710 + 62{,}5 + 78{,}5 \approx 1851\,\text{kN}. \qquad (4)$$

Maanpaine

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{L \cdot B} = \frac{1851}{2{,}5 \cdot 2} \approx 370\,\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 370\,\text{kPa} > 240\,\text{kPa}. \qquad (5)$$

Valituilla anturan mitoilla muodostuu liian suuri paine maata vasten. Kokeillaan anturalle mittoja $L = 3{,}0\text{m}$, $B = 2{,}7\text{m}$ ja korkeudeksi edelleen $h = 0{,}5\text{m}$. Tällöin anturan painoksi muodostuu

$$G_{\text{antura}} = \rho \cdot L \cdot B \cdot h = 25 \cdot 3{,}0 \cdot 2{,}7 \cdot 0{,}5 \approx 101\,\text{kN}, \qquad (6)$$

ja anturan päällä olevan maan painoksi tulee

$$G_{\text{maa}} = \rho_{\text{m}} \cdot L \cdot B \cdot (1{,}5 - h) = 15{,}7 \cdot 3 \cdot 2{,}7 \cdot (1{,}5 - 0{,}5) \approx 127\,\text{kN}. \qquad (7)$$

Kokonaiskuorma saadaan nyt

$$F = P + G_{\text{antura}} + G_{\text{maa}} = 1710 + 101 + 127 \approx 1940\,\text{kN}, \qquad (8)$$

ja vastaavaksi maanpaineeksi

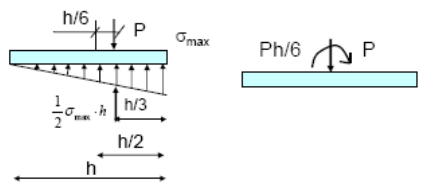
$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{L \cdot B} = \frac{1940}{3 \cdot 2{,}7} \approx 239\,\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \le 240\,\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}. \quad \text{(OK)} \qquad (9)$$

Poikkileikkaus kokonaan puristettu

Kaatava momentti : M $\leq$ Ph/6

Kaatumista vastustava momentti: M $=$ Ph/2

Suorakaiteen muotoisen perustuksen, jonka kontaktipinta maaperään on kokonaan puristettu, kaatumisvarmuus ≥ 3

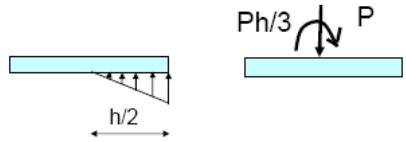


Puolet pohjapinnasta puristettu

Kaatava momentti: Ph/3

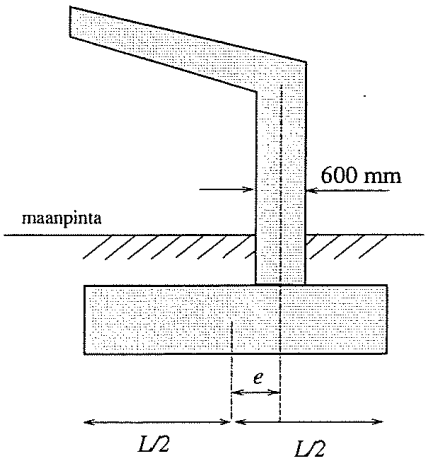
Kaatumista vastustava momentti: Ph/2

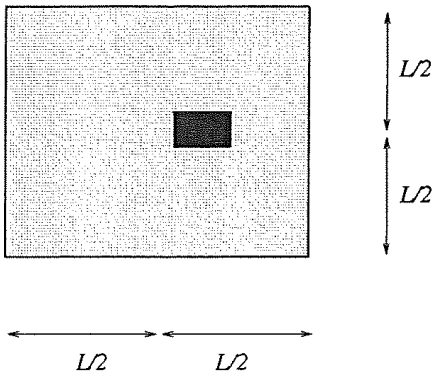
Suorakaiteen muotoisen perustuksen, jonka kontaktipinnasta maaperään yli puolet on puristettu, kaatumisvarmuus ≥ 1,5



Alla olevan kuvan mukaisen epäsymmetrisen rakenteen omasta painosta neliönmuotoiselle perustusanturalle aiheutuva aksiaalinen kuorma P_g = 980 kN ja momentti M_g = 240 kNm. Hyötykuormasta aiheutuva aksiaalinen kuorma P_q = 730 kN ja momentti M_q = 190 kNm. Kuormat on annettu pilarin keskilinjalla. Momentti vaikuttaa pilarin poikkileikkauksen lyhyen sivun ympäri. Pilarin poikkileikkaus on 300 x 600 mm^2. Anturan yläpinta sijoitetaan 1,5 m maanpinnan alapuolelle, ja sallittu pohjapaine on 240 kN/m^2. Maan ominaispainoksi otaksutaan 15,7 kN/m^3. Anturan korkeuden on oltava noin 10% sen sivumitasta L. Sijoittamalla pilari epäkeskisesti (etäisyys anturan keskipisteestä e), voidaan vaikuttaa maanpaineen jakautumaan anturan alla. Mitoita anturan sijoitus (mitta e) ja sivun pituus L. Anturan suunnittelukriteerit: (a) Omalla painolla koko pohjapinnan on oltava puristettu, (b) Kokonaiskuormalla vähintään puolet pohjapinnasta oltava puristettu, (c) Mitoitus tehdään käyttäen kuorman nimellisarvoja.

(6 p)

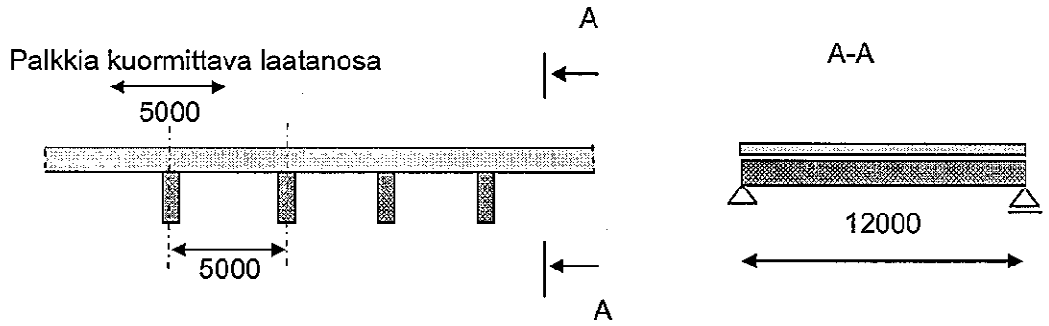




j

2.

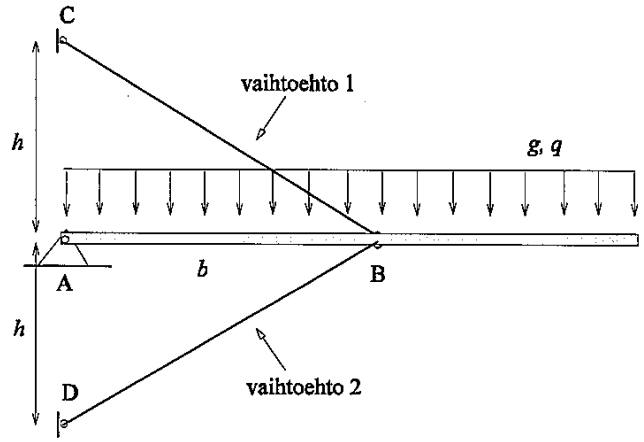
Teollisuusrakennuksen välipohjaratkaisuna mietitään hankesuunnitteluvaiheessa betonilaattaa, jota kannattavat teräspalkit. Laatta ja palkit kantavat kuormia erillisinä rakenteina. Rakenteen periaate on esitetty kuvassa. Laatan hyötykuormaksi oletetaan 5 kN/m^2 ja omaksi painoksi 6,25 kN/ m^2. Hyötykuorman osavarmuuskerroin on 1,6 ja oman painon 1,2. Määritä laattaa kannattavalta palkilta vaadittava taivutusvastus. Valitse tämän perusteella palkille sopiva teräspoikkileikkaus ja ilmoita lopputuloksena tilasuunnitteluun arvio palkilta vaadittavasta korkeudesta. Teräksen mitoituslujuudeksi voidaan olettaa 355 MPa. Kuvassa mitayksikkö on mm. (6p)



$$W_{vaad} \geq \frac{M_{max}}{f_b}$$

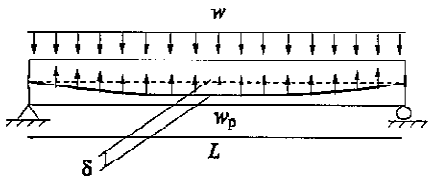
3.

Kuvassa esietty tilapäinen lastauslaituri on tuettu nivelellisesti pisteessä A. Suunnittelijalla on käytettävissään kaksi mahdollista tuentatapaa laiturille: nivelsauva tai vaijeri pisteiden B ja C välille tai vaihtoehtoisesti nivelsauva pisteiden B ja D välille. Tuentapisteiden A ja B välinen etäisyys b = x,xx m ja pystysuuntainen mitta h = x,xx m. Valitse ja perustele mielestäsi sopiva vaihtoehto laiturin tuennalle ja suorita mitoitus. Laiturin omapaino g = xx kN/m ja hyötykuorma q = yy kN/m. laiturin pituus on ** m. Pysyvän kuorman osavarmuuskerroin on 1,2 ja muuttuvan kuorman 1,6. Nivelsauvan materiaali on S355. Sen lujuutena voi käyttää arvoa on σ = 355 MPa ja materiaalin osavarmuuskerroimena arvoa 1. Vaijerin lujuusluokka on 1570/1770. Vaijerin materiaalin osavarmuuskerroin on 1,25. (6 p)



4.

Poikkileikkaukseltaan suorakaiteen muotoista palkkia kuormittaa tasaisesti jakautunut hyötykuorma 14,6 kN/m. Palkin oma paino on samoin 14,6 kN/m. Paraabelin muotoista jännekaapelia käytetään, jotta saataisiin tasainen ylöspäin suuntautunut tasapainottava kuormitus suuruudeltaan w_p = 21,9 kN/m (= oma paino ÷ 50% hyötykuormasta). Määritä vaadittava jännevoima. Määritä myös taivutusmomentti palkin puolivälissä kuormituksen ja jännevoiman nimellisarvoista. Palkin pituus L = 22,9 m, ja jännekaapelin poikkeama palkin neutraaliakselilta δ = 38,1cm.



Vihje: köyden muodon diff.yhtälö $\frac{d^2y}{dy^2} = \frac{w_p}{H}$, jossa H on köyden vaakakiristys. Yhtälön origo on valittu siten, että se sijaitsee jänteen keskellä paraabelin minipisteessä. (6 p)

(5) => $y(x) = \frac{w_p}{2T}x^2$

=> $y(\frac{L}{2}) = \frac{w_p}{2T}\left(\frac{L}{2}\right)^2 = \delta$

=> $T = \frac{w_p \cdot L^2}{8 \cdot \delta} = \frac{21{,}9 \cdot 10^3 \cdot 22{,}9^2}{8 \cdot 0{,}381} \approx 3780\,\text{kN}.$

Palkin jänteen puolivälissä vaikuttava nettomomentti

$$M_{net} = \frac{1}{8}wL^2 = \frac{1}{8}(2 \cdot 14{,}6 - 21{,}9)(22{,}9)^2 \approx 479\,\text{kNm}.$$

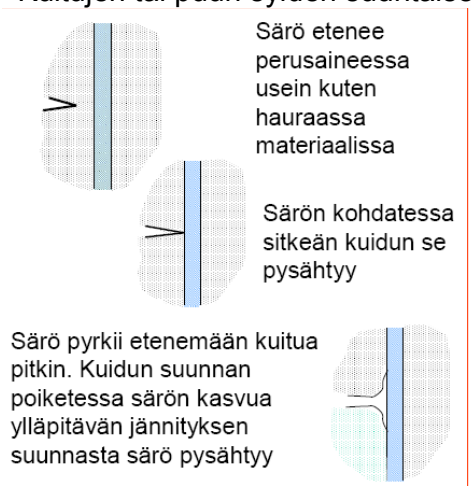
1.

(a) Kuvaa lyhyesti särön etenemisen yleisperiaate komposiittimateriaalissa. Miten särö etenee puussa? (2p)

(b) Mitä tarkoitetaan teräsbetonipoikkileikkauksen yliraudoituksella? (2p)

(c) Mikä on osavarmuuskerroinmenetelmän perusyhtälö, tavoite ja edut? (2p)

a) Särön etenemisen yleisperiaate komposiittimateriaalissa
Komposiitít ovat sitkeämpiä kuin niiden perustana olevat hartsit.
- Hartsiin lisätyt kuidut toimivat särön pysäyttäjinä.
- Puun syyt toimivat kuten komposiittien kuidut.
- Pysäyttävät syitä vastaan kohtisuorat säröt.
- Kuitujen tai puun syiden suuntaiset säröt etenevät kuitenkin helposti



b) Teräsbetonipoikkileikkauksen yliraudoitus
Yliraudoitetussa teräsbetonipoikkileikkauksessa betoni murskautuu ennen kuin vedetyt teräkset saavuttavat myötöjännityksen

c) Osavarmuuskerroinmenetelmän perusyhtälö, tavoite ja edut

$$\boxed{\sum_i \frac{1}{\gamma_{mi}} X_i = \sum_j \gamma_{f_j} F_j}$$

- X_i on kapasiteettitekijä i
- γ_{mi} on kapasiteettitekijän i osavarmuusluku

- F_j on kuormitustekijä j
- γ_{fj} on kuormituksen tai rasituksen osavarmuusluku

Menetelmän tavoitteena on kapasiteetin ja kuorman mediaaniarvojen riittävä erotus/ varmuusmarginaali.

- Parametrimetrikohtaiset osavarmuusluvut eivät ole kovin herkkiä parametrien yksittäisille muutoksille ja lisäksi mitoitusyhtälössä yksittäisen parametrin tilastollisen vaihtelun painoarvo on pienempi kuin esim. kokonaisvarmuuslukumenetelmässä.
- Samoja kertoimia voidaan soveltaa erilaisiin suunnittelukohteisiin
- Osavarmuuskertoimista saadaan tapauskohtaisesti muut varmuutta kuvaavat suureet, kuten kokonaisvarmuusluku

Rajatilamitoitus perustuu osavarmuusmenetelmään.
Osavarmuusluvut ovat rajatilakohtaisia

a) Suunnittelussa rakenteen toiminta yksinkertaistetaan valittavan teoreettisen (matemaattisen) mallin mukaiseksi. Nimeä yleisimmät teoreettiset mallit. Mihin mallin valinnalla otetaan kantaa? (2 p)

b) Miten hauraiden ja sitkeiden materiaalien murtuminen eroaa toisistaan? Mitä tarkoitetetaan vakiomuodonvääristymistyöhypoteesilla ja mille materiaalille sitä usein sovelletaan? (2 p)

c) Mitä tekijöitä on otettava huomioon suunniteltaessa peruspultin kiinnitystä ja kiristystä? Miten pulttien kiristys voidaan tehdä? (2 p)

Tärkein teoreettisista malleista on otaksuma rakenteen muodonmuutosten ja jännitysten välisestä lineaarista riippuvuudesta Hooken laki

Teoria	Rakenne
• Aksiaalisauva	• Ristikko, pilari, palkki (aksiaalikuorma)
• Palkkiteoria	• Palkki, pilari, kehä (taivutus)
• Levyteoria – Tasomuodonmuutostila – Tasojännitystila	• Seinä, putki, levy
• Laattateoria	• Laatta (taivutus)
• Kuoriteoria (kalvotila, taivutustila)	• Säiliöt, katot, ulkovaipat, paineastiat

Teorian valinnalla otetaan kantaa siihen, mitkä jännitys- ja muodonmuutoskomponentit ovat merkittäviä rakenteen kuormankatokyvyn kannalta

b) hauras ja sitkeä murtuminen – erot

	Hauras murtuma	**Sitkeä murtuma**
Nopeus	Etenee materiaalin äänennopeudella	Etenee hitaasti (0-1 m/s)
Muodonmuutos	Pieni, murtopinnat voidaan liittää yhteen	Suuri, murtopintoja ei voi liittää yhteen
Energian kulutus	Pieni, rakenteen elastinen energia riittävä murtuman etenemiseen	Suuri, energiaa tuotava ulkopuolelta kuormitusta kasvattamalla

Vakiomuodonvääristymishypoteesi
Oletus:
kappaleeseen vaikuttava hydrostaattinen paine eli keskimääräinen jännitys ei aiheuta murtumista
Muodonvääristymistyö lasketaan poistamalla jännitys- ja muodonmuutostilasta hydrostaattisen paineen osuus
Sovellettu useissa suunnittelunormeissa varsinkin teräs- ja metallirakenteille
Edellyttää aineen tyssäysrajan (puristuspuolen myötörajan) olevan hieman suurempi kuin aineen vetomurtolujuus

d) Peruspulttien kiinnitys ja kiristys – huomioitavat asiat, miten kiristys voidaan tehdä

Peruspultit ja tartunnat voidaan kiinnittää
– Valamalla muotteihin kiinnitetyt peruspulttiryhmät tai yksittäiset peruspultit kiinni perusvaluun
– Jättämällä betonirakenteeseen varaus, johon pultit voidaan asentaa
– Poraamalla reiät valmiiseen valuun ja suorittamalla kiinnitys (kiila-ankkurein), kemiallisin ankkurein tai juottamalla

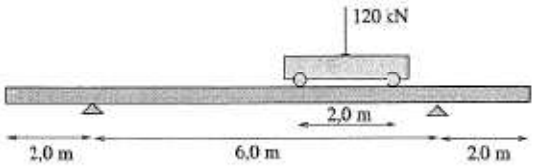
Pultin ankkurointi voi joko kokonaan tai osittain perustua
– pultin ja betonin väliseen tartuntaan
– pulttiin kiinnitettyyn tartuntalevyyn, jolloin pulttivoima siirtyy betoniin puristuksena
– tason läpi meneviin pultteihin, jolloin ankkurointipintana on tason alapinta.

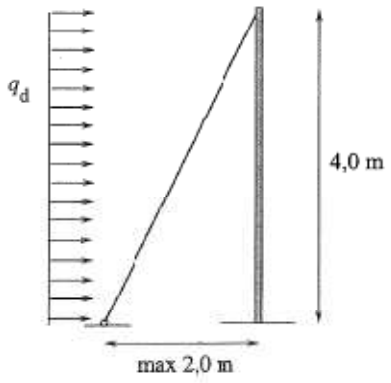
• Puristusvoima suoraan alusrakenteelle
• Vetojännitykset pulteille, jos pulteilla ei esikiristystä
• Mitoituksessa otettava huomioon myös asennusaikaiset tilanteet (esim. ennen jälkivalua)
• Tarkistettava alusrakenteen jännitykset pulttien ankkurointialueella ja puristuspinnassa

• Peruslevy on valittava niin jäykäksi (suhteessa pultteihin) ettei sen muodonmuutoksilla ole vaikutusta kiinnityksen toimintaan.

• Pulttia kiristettäessä se venyy ja siihen syntyy vetojännitys
• Vetojännityksen suuruus riippuu ruuvin jäykkyydestä ja yhteen liitettävien kappaleiden kokoonpuristumasta
• Ruuvi tai pultti kiristetään
– Kiertämällä mutteria vääntömomentilla ruuvin suhteen
– Venyttämällä ruuvia niin, että saavutetaan haluttu esikiristys

Mitoita alustavasti sopiva HEA-teräsprofiili nosturin kannattimeksi. Nosturi aiheuttaa pyörien välityksellä kaksi pistemäistä aina yhtäsuurta liikkuvaa kuormaa F, joiden välinen etäisyys on 2,0 m. Kuorman F suurin arvo on 60 kN, josta pysyvän kuorman osuus on 10 kN. Kuorma vaikuttaa palkin poikkileikkauksen keskilinjalla. Lujuusluokka on S235. Palkin sallittu taipuma on $L/1000$. Käytä tehtävässä mitalle L tukien välistä etäisyyttä. Pysyvän kuorman osavarmuuskerroin on 1,2 ja muuttuvan kuorman 1,6. Alustavan mitoituksen voi suorittaa murtorajatilassa ottaen huomioon sallitun taipuman. Lommahdusta- ja kiepahdusta ei tarvitse tarkastella. (6 p)



4.

Mastopilarin (alapäästä jäykästi tuettu) korkeus on 4,0 m ja poikkileikkaus h x b = 400 x 400 mm^2. Teräsbetonisen mastopilarin materiaali on K40-1. Pilari vahvistetaan jälkikäteen maanjäristyskuormaa vastaan harusvaijerilla. Maanjäristyskuorman suuruudeksi pilarille on arvioitu 15 kN/m. Määritä teräksiseltä harusvaijerilta vaadittava poikkileikkauksen pinta-ala. Vaijerin lujuusluokka on 1570/1770. Teräsvaijerin materiaalin osavarmuuskerroin on 1,25. Mitoituksessa maanjäristyskuorma luokitellaan onnettomuuskuormaksi. Haruksen etäisyyden masto-pilarista on oltava alle 2,0 metriä. Miten kiinnittäisit vaijerin pilariin ja toisesta päästä maanpinnan tasossa olevaan betonilaattaan. (periaate, ei mitoitusta)? (6 p)