

**Sallittu kirjallisuus**

- tentissä jaettava kaavakokoelma

**Kirjoita jokaiseen paperiin:**

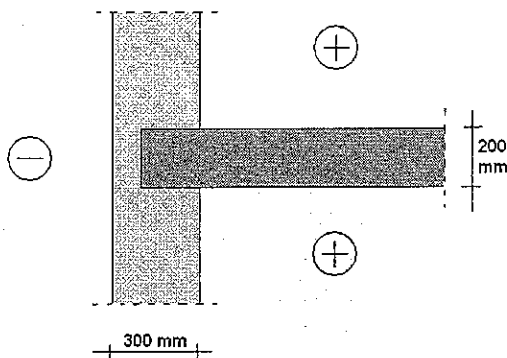
- opintojakson koodi, nimi ja päivämäärä
- oma nimi, op: no, ja osasto
- luentojen kuunteluvuosi, monesko yritys tai 'korotus

1.

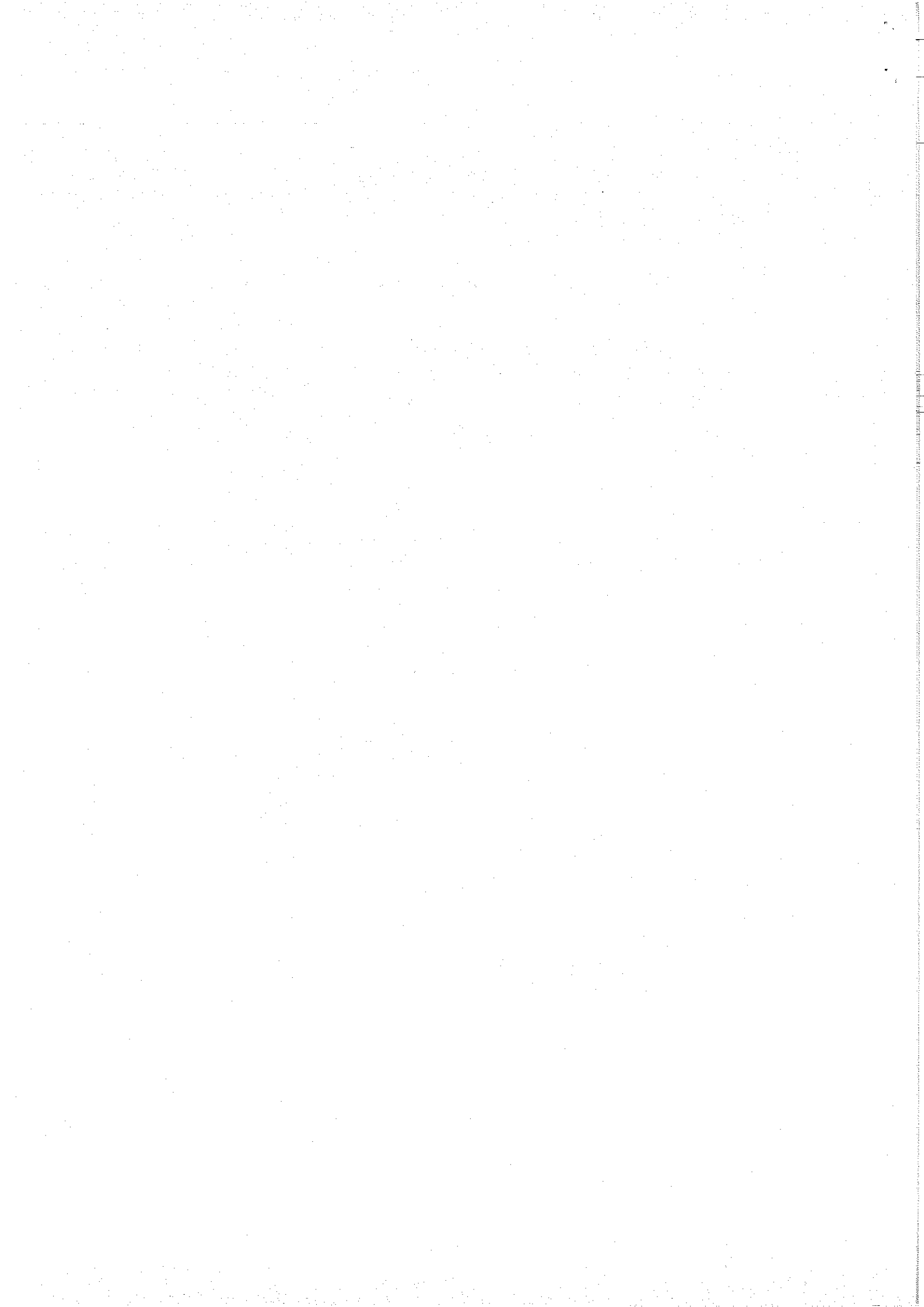
- a) Osallistut yksikerroksisen puurakenteisen koulurakennuksen homevaurioiden korjausprojektiin. Seinien ensimmäisten avauskohtien perusteella homeetta esiintyy syvyyssuunnassa eri kohdissa sijainnin vaihdelta eri puolilla rakennusta. Esitä pääpiirteissään mitä homeen esiintymiskohdan perusteella voidaan päätellä vaurion aiheuttajasta.
- b) Olet mukana asuinkerrostalon suunnittelussa johon on esitetty betonisandwich-ulkoseinä-rakennetta. Suunnittelukokouksessa sinulta kysytään elementtien saumauksen suunnittelusta. Esitä pääpiirteissään mihin saumausratkaisussa tulee kiinnittää erityistä huomiota, jotta lopputulos olisi mahdollisimman hyvä. Mitä merkitystä ko. suunnitteluun saumausmassan tyypillä on?

2. a) Osallistut koulurakennuksen, johon on suunniteltu ryömintätällainen alapohja, suunnitteluun. Tarkastellessa pääpiirustuksia huomaat että perusmuurin korkeus vaihtelee välillä 400mm...900mm. Esitä mikä merkitys perusmuurin lämpöteknisessä tarkastelussa on ko. korkeuden vaihtelulla.

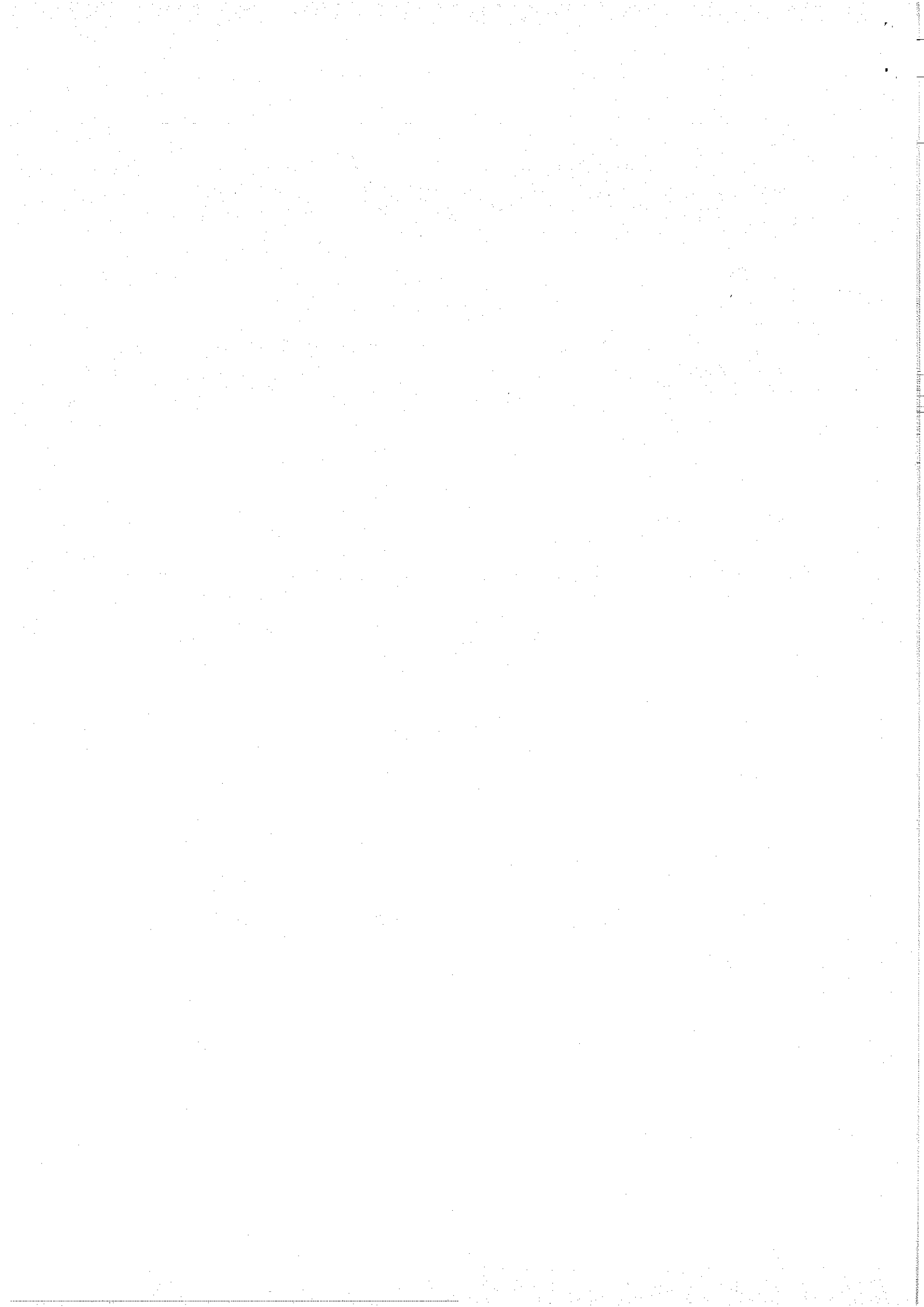
- b) Osallistut Siporex - rakenteiden tuotekehitysprojektiin. Numeerisella laskentaohjelmalla (esim. HEAT2) olet laskenut lämpövirran suuruutta välipohjadetaljin kohdalta lämpötilaeron ollessa 20 astetta. Lämpövirran suuruudeksi olet saanut  $8,95 \text{ W/m}^2$  ulkoseinän pinnalla, kun tarkastelualueen korkeus on ollut 1 metri. Mikä on laskentatuloksesi perusteella välipohjadetaljin viivamaisen lisäkonduktanssin ( $\Psi$ ) arvo.



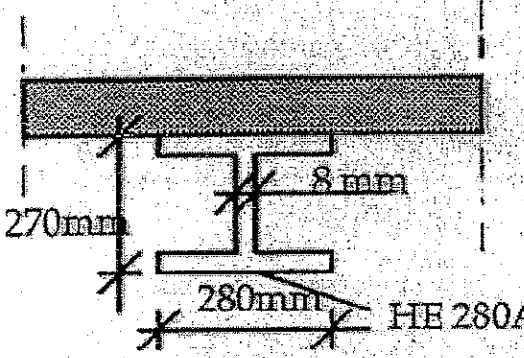
Siporexin tiheys  $400 \text{ kg/m}^3$  (karkaistu kevytbetoni), laskennassa olet käyttänyt määräysten ohjeita.







- Määritä kuvan mukaisen suojaamattoman teräspalkin lämpötila 10 minuutin kuluttua palon alkamisesta SRMK B7:n ohjeen mukaisesti. Palotilan lämpötilan nousu vastaa liitteen 1. tapausta case 2.

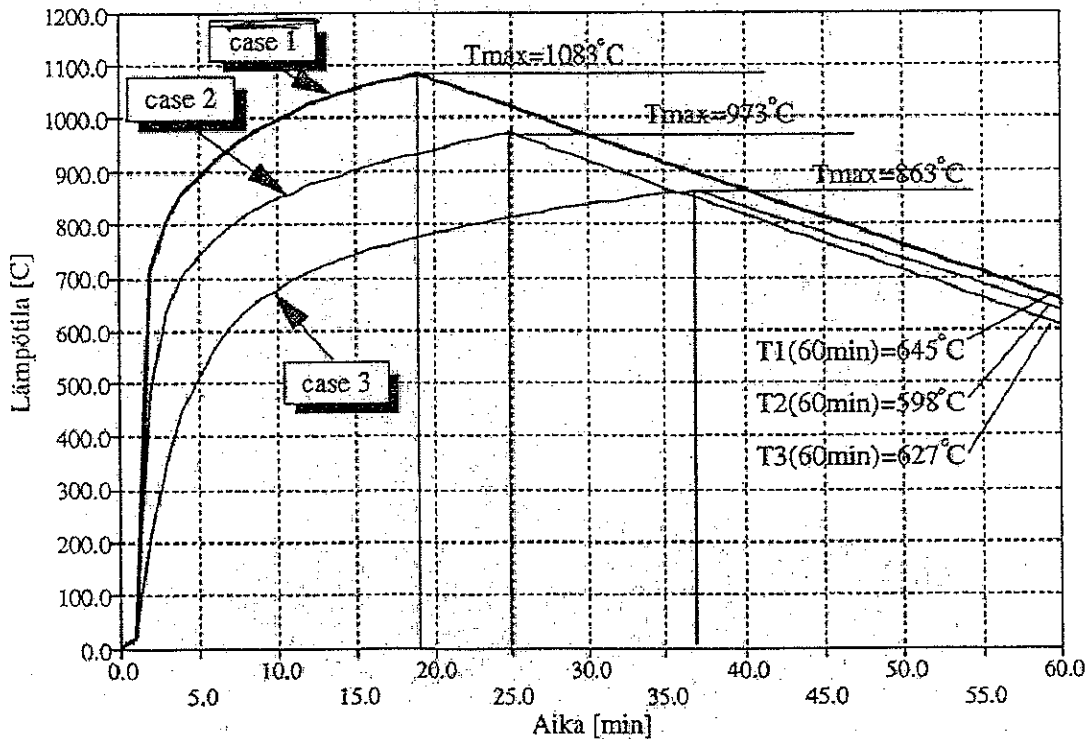
 <p>Palotila (laatan alapuolinen palo)</p>	<p>Palkin poikkileikkausala 9726*10-6 m<sup>2</sup>          Palolle altis pinta-ala 1.364 m<sup>2</sup>/m          Ominaislämpökapasiteetti 600 J/(kg*K)</p> <p>Ohje: Maksimiaika-askel 2 min.          Vakio λs, ρs, cs</p> <p>748 °C</p>
---	---

- b) Esitä pääpiirteissään mitä olennainen vaatimus paloteknisessä suunnittelussa tarkoittaa, ja miten vaatimuksen täyttäminen voidaan osoittaa.

Liite 1

AIKA [min]	AIKA [min]	CASE 1	CASE 2	CASE 3					
0	0	20	20	20					
0.0166667	1	714.43589	483.37036	211.77004	0.5166667	31	947.88377	899.76302	844.18458
0.0333333	2	804.86664	637.85084	347.31984	0.5333333	32	937.4571	899.34635	848.14818
0.05	3	855.70738	704.15186	444.25303	0.55	33	927.05044	878.92969	851.98643
0.0666667	4	891.58957	743.84318	514.60798	0.5666667	34	916.63377	868.51302	855.70742
0.0833333	5	919.88489	772.88565	566.59961	0.5833333	35	906.2171	858.09635	859.31853
0.1	6	943.65346	795.83623	605.83882	0.6	36	895.80044	847.67969	862.82678
0.1166667	7	964.26738	815.2914	636.16931	0.6166667	37	885.38377	837.26302	866.33503
0.1333333	8	982.41645	832.0855	660.22367	0.6333333	38	874.9671	826.84635	869.84328
0.15	9	998.50518	846.79597	679.81045	0.65	39	864.55044	816.42969	873.35153
0.1666667	10	1012.8113	859.93055	696.1759	0.6666667	40	854.13377	806.01302	876.85978
0.1833333	11	1025.5498	871.79695	710.18208	0.6833333	41	843.7171	795.59635	880.36803
0.2	12	1036.8988	882.64448	722.42834	0.7	42	833.30044	785.17969	883.87628
0.2166667	13	1047.013	892.95535	733.35421	0.7166667	43	822.88377	774.76302	887.38453
0.2333333	14	1056.0278	901.99583	743.19533	0.7333333	44	812.4671	764.34635	890.89278
0.25	15	1064.0631	910.74354	752.22455	0.75	45	802.05044	753.92969	894.40103
0.2666667	16	1071.2254	918.89574	760.57318	0.7666667	46	791.63377	743.51302	897.90928
0.2833333	17	1077.6097	926.81653	768.25337	0.7833333	47	781.2171	733.09635	901.41753
0.3	18	1083.2004	934.25697	775.65094	0.8	48	770.80044	722.67969	904.92578
0.3166667	19	1072.8838	941.3588	782.52629	0.8166667	49	760.38377	712.26302	908.43403
0.3333333	20	1062.4671	948.14866	789.03614	0.8333333	50	749.9671	701.84635	911.94228
0.35	21	1052.0504	954.65654	795.21458	0.85	51	739.55044	691.42969	915.45053
0.3666667	22	1041.6338	960.90338	801.09637	0.8666667	52	729.13377	681.01302	918.95878
0.3833333	23	1031.2171	966.90914	806.70885	0.8833333	53	718.7171	670.59635	922.46703
0.4	24	1020.8004	972.67969	812.07532	0.9	54	708.30044	660.17969	925.97528
0.4166667	25	1010.3838	982.26302	817.21581	0.9166667	55	697.88377	649.76302	929.48353
0.4333333	26	999.9671	991.84635	822.1483	0.9333333	56	687.4671	639.34635	932.99178
0.45	27	989.5504	941.42969	826.8882	0.95	57	677.05044	628.92969	936.50003
0.4666667	28	979.13377	931.01302	831.44968	0.9666667	58	666.63377	618.51302	940.00828
0.4833333	29	968.7171	920.59635	835.84537	0.9833333	59	656.2171	608.09635	943.51653
0.5	30	958.3004	910.17969	840.08645	1	60	645.80044	597.67969	947.02478

Palotilan lämpötilan kehitys  
palokuorman ollessa 150 MJ/m<sup>2</sup>



SRMK B7-1986 Teräsrakenteet

## 8 PALOMITOITUS

### 8.1 Suunnitteluperusteet

Kantavat rakenteet mitoitetaan palon vaikutukselle kohdan 3.6.1 mukaisissa murtorajatiloiissa. Osastoivien rakenteiden tulee täyttää sovellettavan standardin tiiviys- ja eristävyysvaatimukset. Murtorajatilamittaus suoritetaan kohdan 4 mukaisesti käyttäen kohdassa 8 esitettyjä kuormia ja aineominaisuuksia. Kaikissa rakenneluokissa aine- ja kuormien osavarmuuslukuna käytetään arvoa 1.0.

Rakenteet mitoitetaan siten, että ne kestävät vaaditun palonkestoaajan. Palotilariämpötilan kehittyminen lasketaan sovellettavan standardin mukaan.

### 8.2 Kuormat

Hyötykuormina käytetään rakenteiden suunnittelua varten määritettyjä ominaiskuormia. Oleskelu- ja kokoontumiskuormana saa kuitenkin käyttää arvoa 0,75 kN/m<sup>2</sup>, tuugoskuormana arvoa 2,0 kN/m<sup>2</sup> sekä lumi-kuorman arvona 50 % ja tuulikuorman arvona 30 % ominaiskuormasta. Lisäksi saa tehdä Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B1 mukaiset kuormien vähennykset oleskelu- ja kokoontumiskuormien arvoihin mitoitettaessa pystyrakenteita.

Vaarallisinta kuormitusyhdistelmää määritettäessä noudatetaan yleisesti käytettyjä periaatteita. Lumi- ja tuulikuorman ei kuitenkaan oleteta esiintyvän palon aikana samanaikaisesti.

### 8.3 Rakenneteräksen aineominaisuudet

Teräksen lujuus  $f_{tr}$  lasketaan kaavasta 8.1. Lujuus vastaa 0,2 % muodonmuutosta:

$$f_{tr} = f_y \cdot e^{-1,3 \cdot \left( \frac{T_s - 20}{580} \right)^{2,3}} \quad (8.1)$$

jossa  $T_s$  on teräksen lämpötila [°C].

Kimmokerroin  $E_t$  lasketaan kaavasta 8.2 ja liukkerroin  $G_t$  kaavasta 8.3.

$$E_t = 210\,000 \cdot e^{-0,3 \cdot \left( \frac{T_s - 20}{430} \right)^{0,5}} \quad (8.2)$$

$$G_t = 0,4 \cdot E_t \quad (8.3)$$

Teräksen lämpöpiteneminen  $\Delta l/l$  [-] lasketaan kaavasta 8.4.

$$\Delta l/l = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot T_s + 0,4 \cdot 10^{-8} \cdot T_s^2 - 2,416 \cdot 10^{-4} \quad \text{kun } 20 \leq T_s < 750 \text{ °C}$$

$$\Delta l/l = 1,1 \cdot 10^{-2} \quad \text{kun } 750 \leq T_s < 860 \text{ °C} \quad (8.4)$$

$$\Delta l/l = 2 \cdot 10^{-5} \cdot T_s - 6,2 \cdot 10^{-4} \quad \text{kun } 860 \leq T_s \leq 1200 \text{ °C}$$

jossa  $l$  on teräsoosan pituus lämpötilassa +20 °C

$\Delta l$  on teräsoosan lämpöpitenevä  
 $T_s$  on teräsoosan lämpötila [°C].

Tässä ohjeessa esitettyjä laskentamenetelmiä käytettäessä teräksen lämpöpiteneminen voidaan vaihtoehtoisesti laskea kaavasta 8.5.

$$\Delta l/l = 14 \cdot 10^{-6} \cdot (T_s - 20) \quad (8.5)$$

Teräksen ominaislämpö  $c_p$  [J/kg°C] lasketaan kaavasta 8.6.

$$c_p = 425 + 0,773 \cdot T_s - 1,69 \cdot 10^{-3} \cdot T_s^2 + 2,22 \cdot 10^{-6} \cdot T_s^3 \quad \text{kun } 20 \leq T_s < 600 \text{ °C}$$

$$c_p = 666 + \frac{13002}{738 - T_s} \quad \text{kun } 600 \leq T_s < 735 \text{ °C} \quad (8.6)$$

$$c_p = 545 + \frac{17820}{T_s - 731} \quad \text{kun } 735 \leq T_s < 900 \text{ °C}$$

$$c_p = 650 \quad \text{kun } 900 \leq T_s < 1200 \text{ °C}$$

Tässä ohjeessa esitettyjä laskentamenetelmiä käytettäessä teräksen ominaislämmölle  $c_p$  voidaan vaihtoehtoisesti käyttää lämpötilasta riippumatonta vakioarvoa 600 J/kg°C.

Teräksen lämmönjohtavuus  $\lambda$  [W/m°C] lasketaan kaavasta 8.7.

$$\lambda = 54 - 3,33 \cdot 10^{-2} \cdot T_s \quad \text{kun } 20 \leq T_s < 800 \text{ °C} \quad (8.7)$$

$$\lambda = 27,3 \quad \text{kun } 800 \leq T_s \leq 1200 \text{ °C}$$

Tässä ohjeessa esitettyjä laskentamenetelmiä käytettäessä teräksen lämmönjohtavuudelle  $\lambda$  voidaan vaihtoehtoisesti käyttää lämpötilasta riippumatonta vakioarvoa 45 W/m°C.

### 8.4 Teräksen lämpötilan nousu

Teräksen lämpötilan otaksutaan olevan tarkasteltavana ajankohtana sama koko poikkileikkauksessa ja koko sauvan pituudelta. Lämpötilan otaksutaan muuttuvan suoraviivaisesti palosuojauksen paksuussuunnassa.

Suojaamattoman teräksen lämpötilan nousu  $\Delta T_s$  [°C] lasketaan kaavasta 8.8.

## Liite 3

36

$$\Delta T_s = \frac{\alpha_c + \alpha_r}{c_s \cdot \rho_s} \cdot \frac{F}{V} \cdot (T - T_s) \cdot \Delta t \quad (8.8)$$

- jossa  $\alpha_c$  on kuljettumisen lämmönsiirtymiskerroin,  $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{C}$   
 $\alpha_r$  on säteilyn lämmönsiirtymiskerroin kaavan 8.9 mukaan [ $\text{W/m}^2\text{C}$ ]  
 $c_s$  on teräksen ominaislämpö kaavan 8.6 mukaan [ $\text{J/kgC}$ ]  
 $\rho_s$  on teräksen tiheys,  $\rho_s = 7850 \text{ kg/m}^3$   
 $F$  on teräsojan palolle altis pinta-ala pituus yksikköä kohti [ $\text{m}^2/\text{m}$ ]  
 $V$  on teräsojan tilavuus pituusyksikköä kohti [ $\text{m}^3/\text{m}$ ]  
 $T$  on palotilan lämpötila ajanhetkellä  $t$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]  
 $T_s$  on teräsojan lämpötila ajanhetkellä  $t - \Delta t$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]  
 $\Delta t$  on laskenta-aikaväli, enintään 5 s [s].

$$\alpha_r = \frac{\epsilon_s \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}}{T - T_s} \cdot [(T + 273)^4 - (T_s + 273)^4] \quad (8.9)$$

- jossa  $\epsilon_s$  on resultiiva emissiokerroin,  $\epsilon_s$  arvona voidaan käyttää 0,5 ilman tarkempaa selvitystä.

Palosuojatun teräksen lämpötilan nousu  $\Delta T_s$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] lasketaan kaavasta 8.10: Palotilan lämpötilan nousun aikana  $\Delta T_s \geq 0$ .

$$\Delta T_s = \frac{\lambda_s}{d_s \cdot c_s \cdot \rho_s} \cdot \frac{F}{V} \cdot \frac{1}{1 + \mu / \lambda_s} \cdot (T - T_s) \cdot \Delta t - (\epsilon_s^{\text{palo}} - 1) \cdot \Delta T \quad (8.10)$$

- jossa  $\lambda_s$  on palosuojajäsenen lämmönjohtavuus [ $\text{W/m}^2\text{C}$ ]  
 $d_s$  on palosuojajäsenen paksuus [m]  
 $F$  on palosuojajäsenen sisäpinnan pinta-ala teräsojan pituusyksikköä kohti [ $\text{m}^2/\text{m}$ ]  
 $\mu$  on tekijä [-], joka ottaa huomioon palosuojajäsenen ominaislämmön. Tekijä  $\mu$  lasketaan kaavasta 8.11, kun palosuojajäsenen ominaislämpö on otettu huomioon määritettäessä palosuojajäsenen lämmönjohtavuuden arvoja  $\lambda_s$ .  
 $\Delta t$  on laskenta-aikaväli, enintään 30 s [s]  
 $\Delta T$  on palotilan lämpötilan muutos laskenta-aikavälillä  $\Delta t$  [ $^{\circ}\text{C}$ ].

$$\mu = \frac{c_s \cdot \rho_s}{c_r \cdot \rho_r} \cdot d_r \cdot \frac{F_r}{V_r} \quad (8.11)$$

- jossa  $c_s$  on palosuojajäsenen ominaislämpö [ $\text{J/kgC}$ ]  
 $\rho_s$  on palosuojajäsenen tiheys [ $\text{kg/m}^3$ ].

Palosuojatun teräksen lämpötilan nousua määritettäessä teräksen ominaislämpönä  $c$  käytetään sovelletun standardin mukaista arvoa. Eristeen lämmönjohtavuutena  $\lambda$ , ja ominaislämpönä  $c$  käytetään sovelletun standardin perusteella kokeista johdettuja arvoja.

## 8.5 Laskennallisia ohjeita

Sauvan ja sen osien muunnettuna hoidettuna  $\bar{\lambda}$  käytetään teräsojan vallitsevan lämpötilan mukaan laskettuja arvoja. Nurjahdusluokkana käytetään luokkaa C. Kiepähähduskestävyyden laskentaan liittyvässä kaavassa 4.21 tekijä  $\eta = 1,5$ .

## 8.6 Yksikerroksiset tuotanto- ja varastorakennukset

Yksikerroksisen tuotanto- ja varastorakennuksen te-  
 räsrungeissa tai sen osissa voidaan käyttää palosuojajä-  
 matonta terästä sellaisissa paikoissa, joissa tuotanto-  
 ja varastorakennusten paloturvallisuutta koskevat oh-  
 jeet E2 edellyttävät 15 minuutin palonkestoaikaa se-  
 ruavissa tapauksissa:

- koko runko, kun rakennus on varustettu automaattisella vesisprinklauslaitteistolla, jonka suunnittelussa on otettu huomioon rakenteiden jäähtyminen
- kattorakenteet palotilan hitaasti lämpötilan nousun vuoksi palovaarallisuusluokkaan 1 kuuluvissa paikoissa pidättävissä rakennuksissa, joiden korkeus on vähintään 14 m, kun kattorakenteiden läheisyydessä ei ole huomattavaa määrää palokuormaa
- pilari, joiden poikkiteikkaukset  $F/V$  on enintään  $180 \text{ m}^2$ , palovaarallisuusluokkaan 1 kuuluvissa paloapitettävissä rakennuksissa.

Tämä edellyttää lisäksi, että yläpohjan lämmöneriste on palamaton tai tähän tarkoitukseen erikseen hyväksyttyä rakennustarviketta ja kahtavien rakennusosien ns. jatkuva sortuma on estetty.