

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM

**Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Kar
Gépszerkezettan tanszék**

Glöckler László

MŰSZAKI MECHANIKA III.

Acélszerkezetek példatár

**Pécs
2004.**

Szerző: Glöckler László
főiskolai adjunktus
Pécsi Tudományegyetem
Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Kar

Kéziratot lektorálta: Dr. Kosaras Gellért
okl. közlekedésmérnök
ny. főiskolai tanár

Kiadó: Pécsi Tudományegyetem
Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Kar
Pécs

**Az Acélszerkezetek példatár az ERFP-DD2002-HU-B-01. sz
Phare pályázat alapján készült**

BEVEZETÉS

Az épületgépész szakos üzemmérnökök gyakorlati munkájában nagyon sokféle acélszerkezet fordul elő, melyeket vagy meg kell terveznie, vagy el kell készítenie, vagy karban kell tartania. Ezért feltétlenül szükséges, hogy a tárgykört ismerje olyan szinten, hogy egyszerűbb tervezéseket el tudjon végezni, illetve az acélszerkezetek kivitelezésében jártas legyen.

Az egyes témakörök elején mindig egy jellegzetes mintapéldát mutatunk be, részletesen kidolgozva. Ezután közöljük a feladatokat és a feladatok megoldását.

A példatárban megtalálhatók a feladattal kapcsolatos tudnivalók, a feladat kiírása, illetve a szükséges táblázatok.

TARTALOMJEGYZÉK

1. Csővezetéki rendszerek	5
1.1 Hőtágulás-kiegyenlítő	5
1.2 Csőmegfogások	8
1.3 Csővezeték tartószerkezetei	14
2. Tervezési feladat	21
2.1 Csőtávvezeték	21
2.2 Alátámasztások távolságának meghatározása	26
2.3 Csőtartók	28
2.4 Tervezési feladat	29
3. Csavarozott, szegecselt kapcsolatok	36
3.1 Mintafeladatok	36
3.2 Feladatok	38
4. Hegesztett kapcsolatok	47
4.1 Tompavarratos kapcsolatok	47
4.1.1 Mintafeladatok	47
4.1.2 Feladatok	48
4.2 Sarokvarratos kapcsolatok	56
4.2.1 Mintapélda	56
4.2.2 Feladatok	60

1. CSŐVEZETÉKI RENDSZEREK

1.1. Hőtágulás–kiegyenlítők

A csővezetékeknél a hőmérséklet által okozott hosszúságváltozás felvételéről – abban az esetben, ha több könyökcső vagy ív van a vezetékben – nem kell külön gondoskodni, mert a könyökcsövek felveszik a hosszváltozást. Különösen akkor, ha a könyökcsöveket ilyen igénybevételre számítva rugalmas acélból készítjük.

Ha a könyökcsövek nem elegendőek a hosszváltozások feltételére, akkor külön hőtágulás-kiegyenlítő szerkezeteket kell a csővezetékbe beépíteni. Ennek a feladata a fix megfogások közötti vezeték szakasz hőtágulásának felvétele. A kiegyenlítőket aszerint osztályozhatjuk, hogy irányváltást igényelnek-e vagy sem.

1.1.1. Irányváltást igénylő kiegyenlítők

Ezek a kiegyenlítők általában csőből készülnek. Kivitelezésük egyszerű és ezért gazdaságos is, gyakorlatilag karbantartást nem igényelnek és bármely üzemi nyomáson üzembiztosak. Ezért hőtágulás kiegyenlítésére ez az egyik legelterjedtebb megoldás. Ide soroljuk az ívcsöveket, valamint az U és líra alakú hőtágulás-kiegyenlítőket (kompenzátórokat).

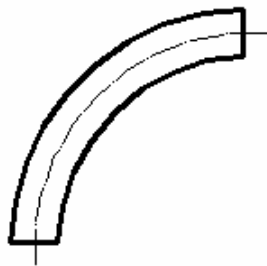
1.1.1.1. Ívcső

A csőívek, amint nevük is mutatja, legtöbbször 90° -os szögben meghajlított csőszakaszok, amelyek a hozzájuk csatlakozó egyenes száruk hosszváltozásait a szög kisebbbédése révén veszik fel.

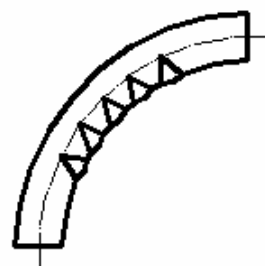
Az acél ívcsöveket a vezetékbe hegesztéssel építik be, mert a karimás kötések a hibaforrások számát növelik. Ugyanis a karimák síkjai a hőtágulási nyomtatékok hatására nem maradnak párhuzamosak, ezért a tömítések könnyen áteresztővé válnak.

A csőívek készíthetők hideg, vagy meleg (1.1/a. ábra) hajlítással. Különösen hidegen hajlított ívcsöveknél a csőívekben maradó feszültségek keletkeznek, ezek azonban nem veszélyesek, tehát utólagos feszültségmentesítésre nincs szükség.

A redőzött csőíveket csak melegen végzett redőzéssel lehet készíteni (1.1/b. ábra).



1.1/a. ábra



1.1/b. ábra

A csőíveket általában előfeszítés nélkül építik be. Ennek oka egyrészt az, hogy az ívek csak a beszerelés után a teljes szárhossznak megrövidítésével feszíthetők elő. Másrészt pedig elegendő szárhosszknál az előfeszítés szükségtelen a viszonylag kis értékű erők miatt.

1.1.1.2. U- és líra alakú hőtágulás-kiegyenlítők

Csak hosszú egyenes szakaszoknál alkalmazzák. Ívcsövekből és egyenes csődarabokból áll, így az ívcsövekre mondottak ezekre a kiegyenlítőkre is vonatkoznak.

Az U alakú kiegyenlítők azonos vagy különböző szárhosszúsággal készíthetők (1.2/a., 1.2/b. ábra).

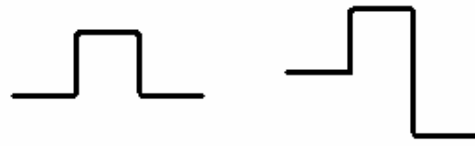
Ha a szükséges kinyúláshoz nem áll rendelkezésre elegendő építési hely, vagy egy kiegyenlítővel nagy hőtágulási erő keletkezne, akkor a kiegyenlítő rugalmassága két kiegyenlítő tag összeépítésével fokozható (1.3. ábra)

A líra alakú kompenzátorok csak kialakításban különböznek az U alakú kiegyenlítőktől, de alak eltérésük következtében rugalmasabbak, ugyanolyan hőtáguláshoz kisebb helyet igényelnek. Elkészítése viszont nehezebb, ezért többnyire csak ott alkalmazzák, ahol kisebb helyigénye előnyösen kihasználható. A kiegyenlítő rugalmasságának növelése érdekében két tag is összeépíthető (1.4. ábra)

Ezeket a kiegyenlítőket rendszerint előfeszítéssel építik be, ezzel kisebb kinyúlású kiegyenlítő készíthető, ezért a kiegyenlítő előfeszítése mindig gazdaságos. Az előfeszítés a hőmérséklet függvénye, értékét a teljes hőtágulás százalékában fejezzük ki és nagysága általánosan a teljes tágulásnak 50 %-a.

Előfeszítés alatt értjük a kompenzátor szárainak még a készítéskor meghatározott távolsággal való szétfeszítését. Ennek célja a cső szilárdságának minél jobb kihasználása. Azáltal, hogy az előfeszítéskor ellenkező előjelű feszültségeket hozunk létre a cső keresztmetszetében, az üzemi körülmények között fellépő feszültség ennek megfelelően kisebb lesz, mivel a vezeték tágulásakor a szerelési feszültségről 0-ra csökken, majd további tágulásnál 0-ról az üzemi maximális értékig nő.

Az 1.5. ábrán egy előfeszítetlen U kompenzátor tágulási viszonyai, míg az 1.6. ábrán egy 50%-osan előfeszített U kompenzátor tágulási viszonyai láthatók.

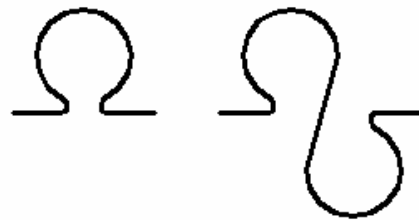


1.2/a. ábra

1.2/b. ábra



1.3. ábra



1.4. ábra



1.5. ábra



1.6. ábra

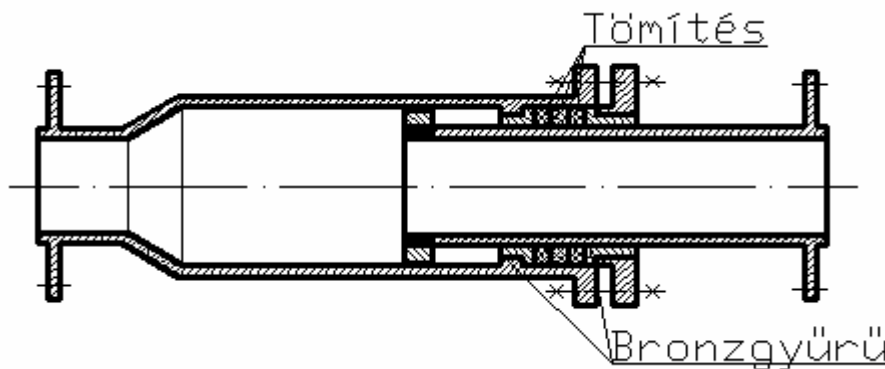
1.1.2. Irányváltózt nem igénylő kiegyenlítők

Ha a vezetékbe helyhiány vagy egyéb ok miatt csőből készült kiegyenlítőt nem lehet beépíteni, akkor a hőtágulás felvételére más típusú hőtágulás-kiegyenlítőt kell alkalmazni. Ide soroljuk a tömszelencés, a lencsés és hullámlemezes kiegyenlítőket.

1.1.2.1. Tömszelencés kiegyenlítő

Ez a hőtágulás-kiegyenlítő a vezeték hőtágulását mozgó csövének elmozdulása révén veszi fel. A kompenzátor tömítése miatt állandó felügyeletre és karbantartásra szorul, a tömítést gyakran kell cserélni. A tömítés szorító hatása miatt a csúszó felületek között súrlódó erő ébred, amely a fix csőmegfogásokra fejt ki hatását. A súrlódó erő nagysága a tömítőfelületek simaságától, a tömítőanyagtól és a szorító hatástól függ.

Az összerozsdásodás megakadályozására célszerű mind a háznál, mind a szelencénél bronzgyűrűt alkalmazni (1.7. ábra).

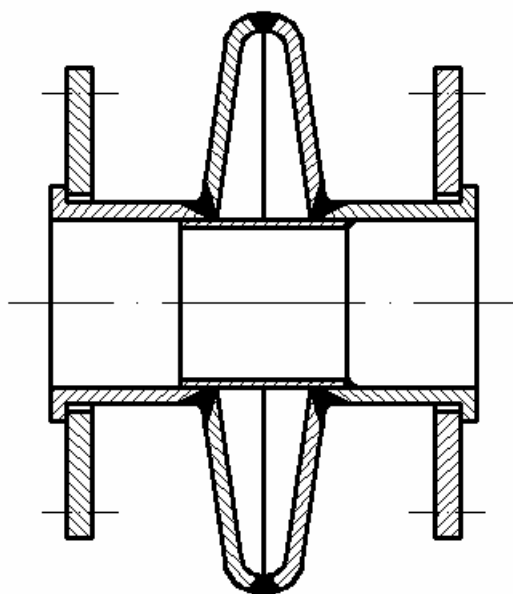


1.7. ábra

1.1.2.2. Lencsés kiegyenlítő

Ez a kompenzátor a nyúlásokat a hullám alakú lencse elem segítségével veszi fel. A lencse elem a vezeték falvastagságával azonos, vagy ettől kevésbé eltérő vastagságú lehet. Anyaguk lehet ötvöztelen, vagy ötvözött szénacél, mely meleg állapotban sajtolással, vagy hegesztéssel készül. Általában csak kisebb nyomásoknál alkalmazható.

A keresztmetszet állandósága egyik oldalon behegesztett betétcső alkalmazásával biztosítható. Többszörös lencse elem beépítésével nagyobb nyúlások felvételére is alkalmas lesz. Hátrányuk, hogy vízszintes beépítés esetén a lencse elembe lerakódás jöhet létre, ami üzemzavarok előidézője lehet (1.8. ábra).



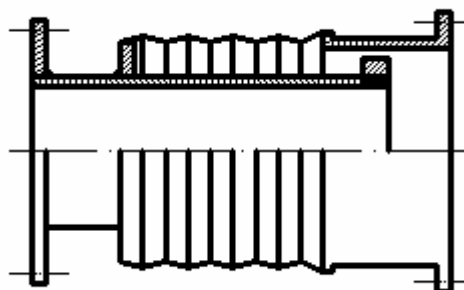
1.8. ábra

1.1.2.3. Hullámlemezkes kompenzátor

Csak abban különbözik az előbbi típusú kompenzátorától, hogy a tágulást különleges acéllemezből készült hullámlemez veszi fel, amelynek vastagsága kicsi és anyaga ötvözött acél. Tulajdonságai megegyeznek a lencse típusú kompenzátoréval. Kicsi hullámszám esetén a hullámlemez közvetlenül a két csővéghez rögzíthető (1.9. ábra). Nagyobb hullámszám esetén a kihajlás elkerülésére vezetőcső alkalmazható (1.10. ábra).



1.9. ábra



1.10.áb

1.2. Csőmegfogások

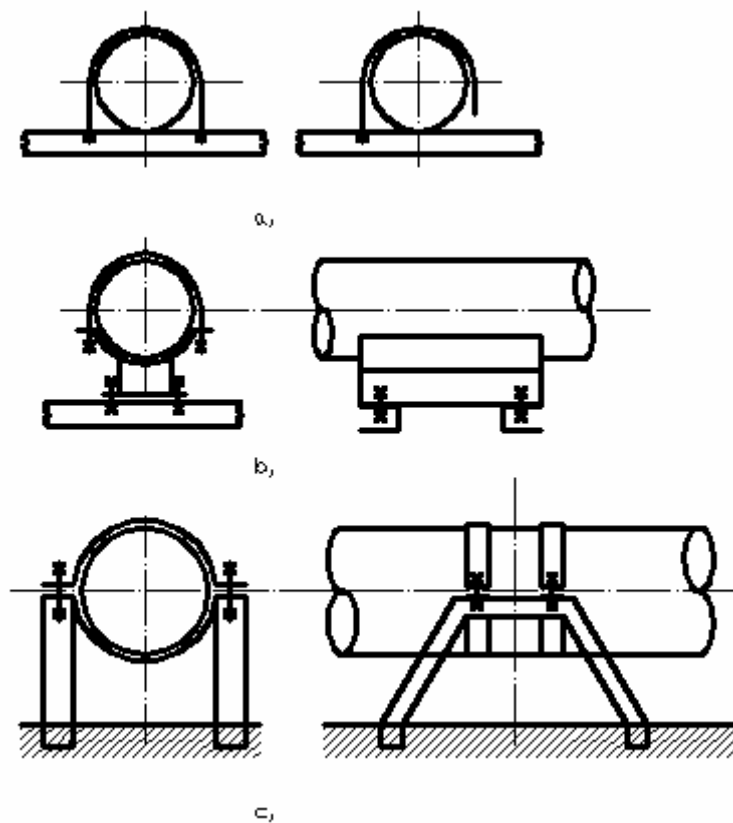
A csőmegfogások a tartószerkezeteknek olyan részei, amelyek közvetlenül kapcsolódnak a csővezetékhez, feladatuk pedig a vezeték rögzítése a tartószerkezetekhez oly módon, hogy a vezetékszárak a fix megfogások között szabadon tudjanak elmozdulni. Ha a csőtartók ezt nem engedik meg, akkor a vezetékben a hőtágulások hatására meg nem engedhető feszültségek jönnek létre, amelyek előbb-utóbb a cső tönkremenetelét okozzák. Jól kialakított csőtartóknál a hőtágulásból származó erőket a fix megfogások veszik fel. Figyelemmel kell lenni a csőtartók kialakításánál arra, hogy a mozgások a cső szigetelését ne károsítsák, a vezetékhez való hozzáférhetőséget a karbantartási munkánál biztosítsák. Szerkezeti kialakítása és feladatától függően lehet fix megfogás, alátámasztás, felfüggesztés és különleges csőmegfogás.

1.2.1. Fix megfogás

Ez a megfogás a vezetéket mereven rögzíti a tartószerkezethez, ezáltal a vezeték üzem közbeni elmozdulását (vízlejtés, vízütés) meggátolja. A vezeték rögzítése a fix megfogásban csőtengely irányú erőket ébreszt, ezért szerkezeti kialakításukat elsősorban ez a szempont szabja meg.

1.2.1.1. Csavaros kapcsolású fix megfogás

Az ilyen fix megfogásoknak ott van jelentősége, ahol gyakran kell azt feloldani akár üzemvitel, akár karbantartás céljából. Kiseb méretű, szigetelés nélküli vezetékhez egy- vagy kétszáras leszorítókenyeeles megfogás alkalmazható (1.11/a. ábra). Nagyobb méretű hőszigetelt vezeték esetén a leszorítókenyeeleket lemezből készített saruhoz kell csavarozni (1.11/b. ábra). Ha a vezetéket vasbeton védőcsatornában vagy betonalapzat fölött kell vezetni, akkor idomacélből készített bakszerkezet tartja, amelyet betonalapzatba építenek (1.11/c. ábra).



1.11.ábra

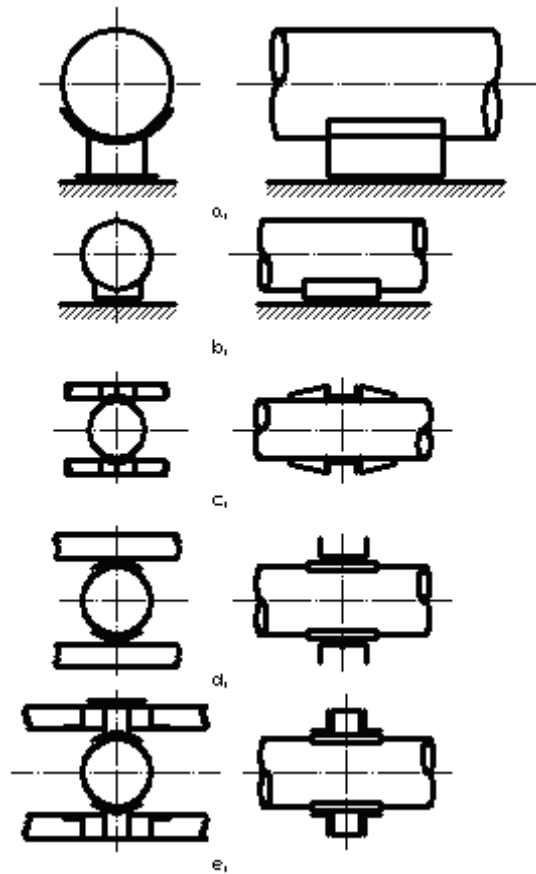
Amennyiben a tengelyirányú (axiális) erőhatások nagyok, úgy a vezetékre ütközőlemezeket ajánlatos hegeszteni, amelyek a vezeték megcsúszását a bilincsek lazulása esetén megakadályozzák.

1.2.1.2. Hegesztett kapcsolású fix megfogás

Ez a megfogási mód egyszerűbb kivitelű, mint az előző. Olyan esetekben célszerű alkalmazni, amikor fix megoldást a vezeték üzembe helyezése után nem kell megbontani. Az 1.12/a. ábra lemezből készített sarut ábrázol, amelyet a csőhöz és a tartószerkezethez hegesztenek. Az 1.12/b. ábrán a saru melegen hajlított U idomacélból készült.

Az 1.12/c. ábra lemezből készített ütközőbakos fix megfogást ábrázol, melynek előnye az egyszerűség és a nyomtékmentesség. Főleg szabadban elhelyezkedő csővezetékek esetén alkalmazzák.

Ha a vezeték nyomvonalvezetése miatt a fix megfogásból származó nyomték felvételére a tartószerkezet nem alkalmas, akkor ilyen helyen az 1.12/d. ábra szerinti csuklósan elforduló fix megfogást kell beépíteni. Ha szükség van bizonyos hossz tengelyre merőleges elmozdulásra akkor az 1.12/e. ábra szerinti fix megfogást kell alkalmazni.



1.12. ábra

1.2.2. Alátámasztások

Az alátámasztások a fix megfogásoktól abban különböznek, hogy lehetővé teszik a vezeték elmozdulását. Kialakításuknál ügyelni kell arra, hogy a csúszó saru kinyúljon a szigetelésből, de azért minél kevesebb keresztmetszet vegyen részt a hőkivezetésben.

Az alátámasztásokat az alábbi csoportokba oszthatjuk:

csúszó, görgős, gördülőhengeres, gördülő golyós, vezetett.

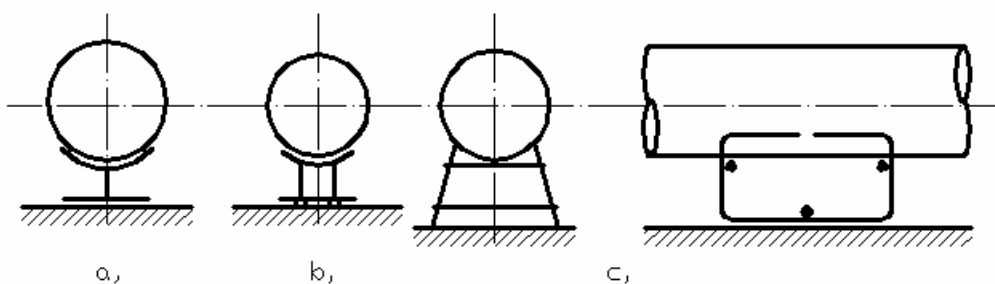
1.2.2.1. Csúszó alátámasztások

A csúszó alátámasztás kialakításánál fontos, hogy az alátámasztás a vezeték elmozdulásával minél kisebb súrlódó erőt adjon át a tartószerkezetre. Ezért csúszó alátámasztás főleg olyan helyen alkalmazható, ahol a fellépő viszonylag tetemes súrlódó erő nem befolyásolja a tartószerkezet méreteit.

Csúszó alátámasztás esetén a csőre erősített saru a vezeték hőtágulásakor csúszósúrlódással csúszik el a tartószerkezeten. A keletkező súrlódó erő a felületek közötti csúszósúrlódási tényező függvénye. A csúszó alátámasztás esetén a csúszó felület lehet acél, beton, vagy kerámit. Ezen két utóbbi felületet olyan helyen célszerű alkalmazni, ahol nagy a veszélye az összerozsdásodásnak, illetve kívánatos a súrlódó erő csökkentése.

A csúszó alátámasztások (1.13/a. ábra) közül a legegyszerűbb a csúszó saru, amely lemezből készíthető és a csőhöz hegesztéssel vagy csavaros kapcsolattal köthető. Ha a támaszt olyan helyen alkalmazzuk, ahol fokozottan van kitéve korrózióknak, akkor a csúszó talpra félgömb alakú szegecsfejeket vagy kis lapocskákat hegesztenek (1.13/b.

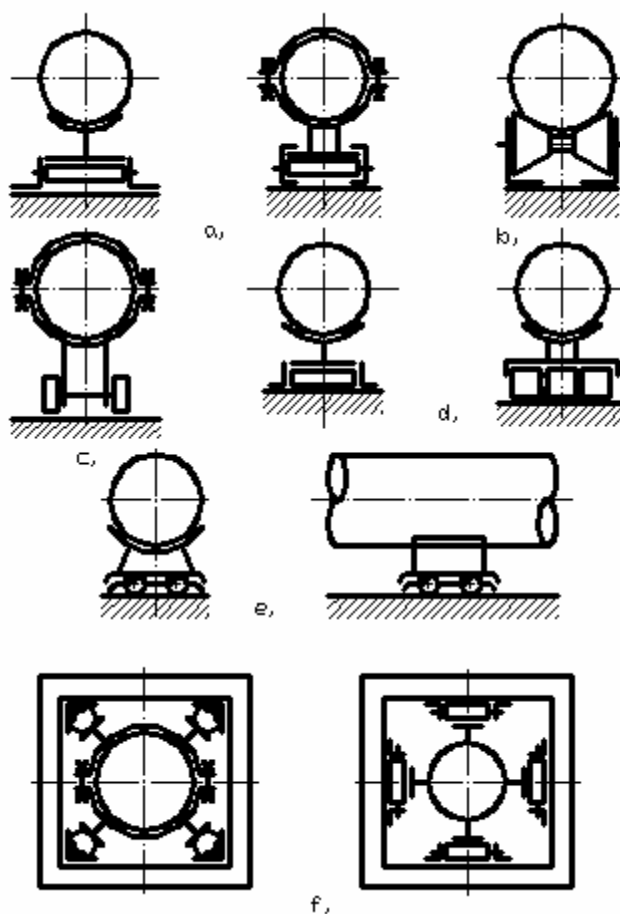
ábra). A köracélból készült „csúszószánkós” alátámasztást főleg szigetelt vezeték esetén alkalmazzák, olyan helyen, ahol a hővesztesség csökkentés a cél. (1.13/c. ábra).



1.13.ábra

1.2.2.2. Görgős alátámasztások

Ezeknél az alátámasztásoknál a csőre erősített sarú nem közvetlenül a tartószerkezeten, hanem csapágyakban forgó hengeren fekszik fel és a sarú elmozdulásakor a henger forgó mozgást végez. Ez az alátámasztás előnyösebb, mint a csúszó, mert a tartószerkezetekre azonos súrlódási tényezők mellett kisebb erőket ad át.



1.14.ábra

Hőszigetelt vezetéknél általában hengeres görgőt alkalmaznak hegesztett kapcsolattal, vagy bilincses kialakítással (1.14/a. ábra). Amennyiben hőszigetetlen a vezeték a sarú elhagyásával közvetlenül helyezhető rá a kúpgörgőkre (1.14/b. ábra). A nagyobb méretű vezetéket gurulókerekes sarura vagy kocsiira lehet fektetni (1.14/c. ábra).

1.2.2.3. Gördülőkerekes alátámasztás

Abban különbözik a görgős alátámasztástól, hogy a hengergörgő a sarú alatt haladó mozgást végez. A görgő egyenes haladása vezetőkerettel (1.14/d. ábra), vagy a görgő alatt elhelyezett két vezetősínnel biztosítható.

1.2.2.4. Gördülőgolyós alátámasztás

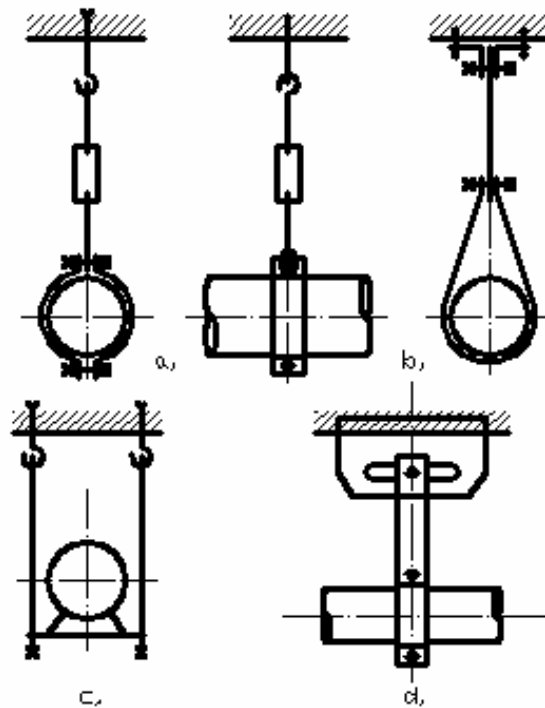
Ennél az alátámasztási típusnál a hengergörgőket golyók helyettesítik (1.14/e. ábra). Ezt a típust különösen ott használják, ahol a vezeték több irányban mozog.

1.2.2.5. Vezetett alátámasztások

Vezetett alátámasztások esetén a vezeték csak meghatározott irányban mozoghat. A vezetett golyós-keretes és a vezetett hengergörgős-keretes (1.14/f. ábra) alátámasztás esetén a vezeték oldalirányú mozgását lehet megakadályozni.

1.2.3. Csőfelfüggesztések

A csőtartók harmadik csoportjába a függesztések sorolhatók. Ezekre az jellemző, hogy a csővezetékek csuklós kiképzésű horgokra vannak felakasztva és a horgok a cső mozgására függőleges síkban ferde helyzetbe kerülnek. Előnyük az egyszerű kivétel, de hátrányuk az, hogy a csövet függőleges síkba tengelyirányban kiemelik, a cső hullámvonal alak felvételét ezáltal elősegítik.



1.15.ábra

Az elmozduláskor létrejövő kis erők elérése céljából aránylag hosszú horgokat kell alkalmazni, ami az építési magasságot erősen megnöveli. Szabadban való vezetésnél a szélerek felvétele is nehézséget okozhat, a vezeték oldalirányú lengésbe jöhet, ezért az ilyen vezeték felfüggesztését oldalirányú mozgásgátló szerkezetekkel ajánlatos kiegészíteni.

A függesztés méretezésénél arra is figyelemmel kell lenni, hogy szerelési pontatlanságok miatt az egyes horgokra a szomszédos horgok terhelései is átadódhatnak. Ezért a függesztéseket mindig az egy függesztésre eső terhelés kétszeres értékével kell figyelembe venni.

$$F_{\text{méretezési}} = 2 F \text{ [kN]}$$

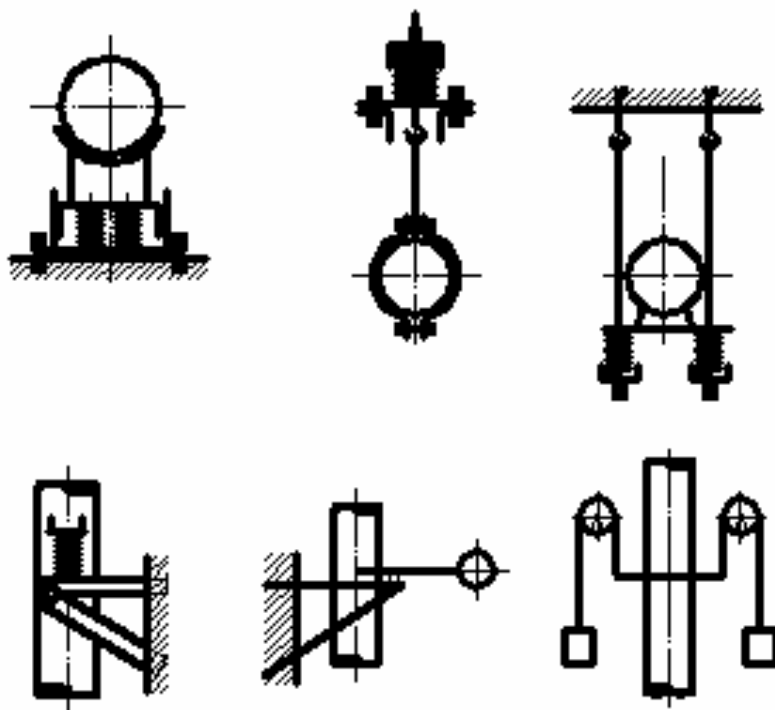
Viszonylag nagy mozgású vezetékekhez használható csőfelfüggesztést a (1.15/a. ábrán) láthatunk.

A horog hossza a beépített feszítőanyával változtatható. A horog alsó füle a csőhöz hegesztett vagy csavarozott kötéllel kapcsolható. Ha a vezeték hideg közeget szállít, a bilincs az 1.15/b. ábra szerint alakítható ki.

Kis szerelési magasság esetén a horog hossza az 1.15/c. ábra szerint kialakítással növelhető.

Ha a vezeték nem hullámosodhat, vagy a rendelkezésre álló építési magasság kevés a horgos felfüggesztésre, akkor az 1.15/d. ábrán látható megoldás javasolt, ahol a tartószerkezetre átadódó erő a csúszó vagy gördülő alátámasztásnak veendő figyelembe.

1.2.4. Különleges csőmegfogások



1.16.ábra

Ide soroljuk a rugós és az ellensúlyos csőmegfogókat.

Ilyen alátámasztásokat csak indokolt esetben alkalmazunk, amikor a vezeték rezgéseit kell felfogni vagy az alátámasztásról való felemelkedést kell megakadályozni.

1.2.4.1. Rugós csőmegfogások

Jellemzőjük, hogy a vezeték dinamikus erőhatásait csillapított értékekkel továbbítják a tartószerkezetre, vagy veszik át a tartószerkezetekről. Ezért ezeket elsősorban akkor al-

kalmazzuk, ha az alátámasztó szerkezet rezgése a vezeték üzembiztonságát veszélyezteti, vagy a vezeték rezgése káros a tartószerkezetre. Valójában minden csőmegfogás rugók beépítésével rugós csőmegfogásként is alkalmazható.(1.16.ábra)

1.2.4.2. Ellensúlyos csőmegfogások

Ez a csőmegfogás az ellensúly tömegének nagy tehetetlensége miatt dinamikus és gyors rezgések felvételére nem alkalmas. A karon függő ellensúlyos csőmegfogás viszonylag kisebb, a csigákon függő pedig nagyobb elmozduláshoz használható.(1.16.ábra)

1.2.5. Egyéb csőmegfogások

Az előzőekben felsorolt csőmegfogások nemcsak acél-, hanem réz- és alumínium csövekhez is használhatók.

A kisebb átmérőjű ólomvezeték, igen csekély szilárdsága miatt, idomacél vályúba fektetik és így erősítik a tartószerkezethez. A nagyobb átmérőjű ólomvezeték viszont idomacélból készült kosárszerkezetbe helyezik. Ugyanígy szerelik a PVC csöveket is.

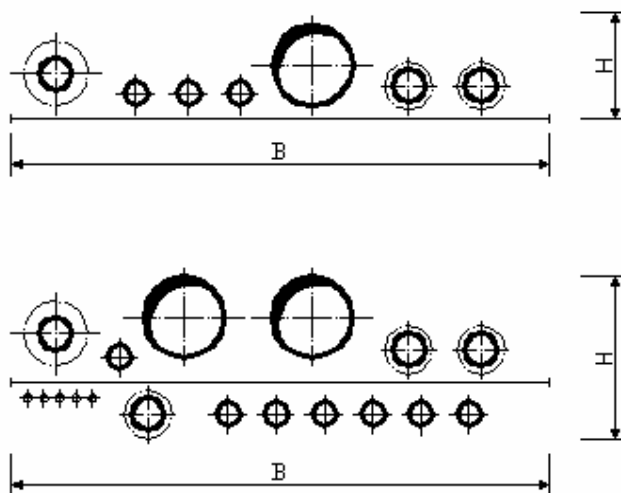
Kemény PVC csövet az acélsőhöz hasonlóan fémbilincssel lehet rögzíteni. A PVC cső igen érzékeny a karcolásra, ezért a bilincset lágy anyaggal (gumi) előzetesen be kell burkolni. Ha a csőben meleg közeget szállítanak, akkor a csövet idomacél vályúba vagy kosárszerkezetbe ajánlatos helyezni.

1.3. Csővezetékek tartószerkezetei

Egy-egy csővezeték létesítése során a tartószerkezetek egész sorából létrehozott tartószerkezeti rendszer kialakítható beton, vasbeton vagy acélszerkezeti elemekből. A csővezeték és tartószerkezet viszonyát csőelrendezésnek nevezzük. A csőelrendezés meghatározza a tartószerkezeti elemek kialakítását.

1.3.1. Csőelrendezés

1.3.1.1. Vízszintes csőelrendezés

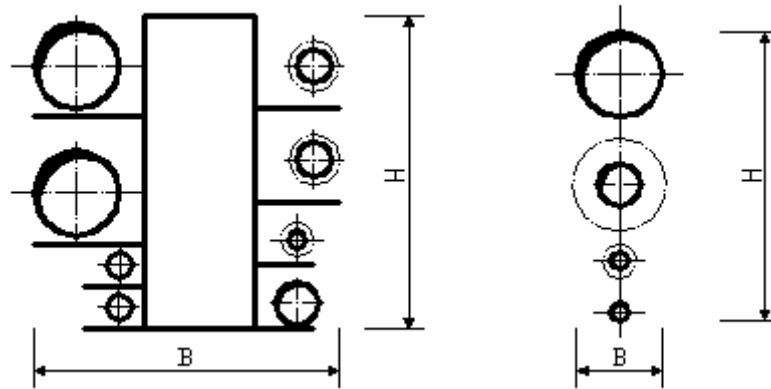


1.17.ábra

A vízszintes csőelrendezés esetében a csövek vízszintes síkban egymás mellett helyezkednek el. Az elrendezés lehet egy- és többsorú. (1.17. ábra)

1.3.1.2. Függőleges csőelrendezés

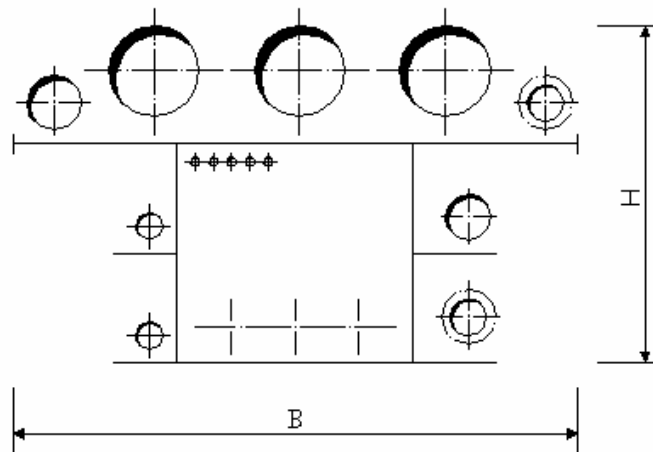
Függőleges a csőelrendezés, ha egymás alatt függőleges síkban vezetjük a csöveket. A csöveket ez esetben függőleges tartószerkezeti elem hordja, vagy más esetben nagy átmérőjű vezetékre függesztik a kisebb átmérőjű csöveket. Egymás mellett több függőleges síkban elhelyezett csőhálózat esetén több oszlopú függőleges csőelrendezésről beszélünk. (1.18. ábra)



1.18.ábra

1.3.1.3. Vegyes csőelrendezés

Leggyakoribb a függőleges és a vízszintes csőelrendezés kombinációja. Ez esetben a tartószerkezetek vízszintes és függőleges tartószerkezeti elemei is vannak. (1.19. ábra)



1.19.ábra

A csővezetékek a bennük lévő közeg szállításán kívül egyben tartószerkezeti feladatot is ellátnak. A vezetékrendszeren belül a csöveket meghatározott távolságban kell alátámasztani, illetve rögzíteni. Az alátámasztási, függesztési vagy rögzítési pontok közötti szakaszon a csővezeték önhordásáról beszélünk. Az önhordó szakasz hossza különböző átmérő esetén az alábbi táblázat adatai szerint változik.

Cső külső átmérője [mm]	Szigeteletlen vezeték		Szigetelt vezetékek							
			50C ^o -ig		100C ^o -ig		150C ^o -ig		200C ^o -ig	
	gáz, levegő, gőz- vezeték	vízzel töltött veze- zeték	gáz, levegő, gőz- vezeték	vízzel töltött veze- zeték	gáz, levegő, gőz- vezeték	vízzel töltött veze- zeték	gáz, levegő, gőz- vezeték	vízzel töltött veze- zeték	gáz, levegő, gőz- vezeték	vízzel töltött veze- zeték
Önhordó támaszhossz [m]										
25	2,6	2,4	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8
30	2,8	2,6	2,2	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
38	3,2	2,9	2,5	2,5	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,3
44,5	3,4	3,1	2,7	2,6	2,7	2,6	2,7	2,6	2,6	2,5
57	3,9	3,5	3,1	3,0	3,0	2,9	3,0	2,8	2,9	2,8
76	5,2	4,5	4,2	3,9	4,1	3,9	4,1	3,8	4,0	3,8
89	5,6	4,8	4,5	4,2	4,4	4,1	4,4	4,1	4,3	4,1
108	6,1	5,3	5,1	4,7	5,0	4,7	5,0	4,6	4,9	4,6
133	6,8	5,8	5,8	5,3	5,6	5,2	5,6	5,1	5,5	5,1
159	7,5	6,3	6,4	5,7	6,3	5,7	6,2	5,6	6,1	5,5
194	8,2	6,8	7,2	6,4	7,1	6,3	7,0	6,2	6,8	6,2
219	8,7	7,3	7,8	6,8	7,6	6,7	7,5	6,7	7,4	6,6
273	9,7	7,8	8,7	7,5	8,5	7,4	8,5	7,4	8,4	7,4
324	10,6	8,7	9,6	8,3	9,5	8,2	9,4	8,1	9,3	8,1
356	11,4	9,2	10,3	8,7	10,2	8,7	10,0	8,6	10,0	8,6
419	12,1	9,5	11,1	9,4	11,0	9,4	10,9	9,4	10,8	9,3

Az értékek tájékoztató jellegűek.

1.3.2. Tartószerkezetek

A vezeték tartó rendszert a terepszinthez viszonyított magassági elhelyezkedés szerint osztályozhatjuk. Így megkülönböztetünk terepszint alatti, terepszint közeli és terepszint feletti csővezetési módot.

1.3.2.1. Terepszint alatti tartószerkezeti rendszer

A csővezetékek ebben az esetben lefektethetők közvetlenül a földbe ásott árokba földtakarással, vagy elhelyezhetők csőalagútba illetve csőcsatornába.

A terepszint alatti vezetés előnyei:

Külső behatás, sérülés elleni fokozottabb védelem.

A csővezeték fölött a forgalom akadálytalanul lebonyolítható.

A külső hőmérséklet változásból adódó hőingadozás csekély.

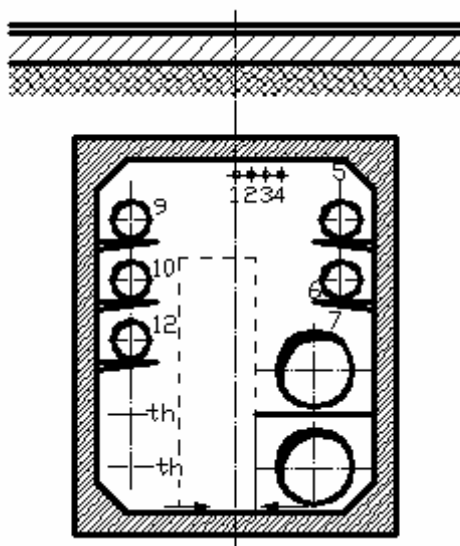
1.3.2.1.1. Közvetlenül árokba fektetett vezetékrendszer

Ehhez kell a legkevesebb tartószerkezet. A fagy elleni védelmet a megfelelő földtakarás biztosítja. Nehézséget jelent, hogy a megrongálódott szakasz nehezen hozzáférhető és

nehezen cserélhető. Minden javítás külön földmunkával jár. A kibontások veszélyeztetik a szomszédos csővezetékek épségét. Üzemeltetési szempontból sem a legjobb megoldás, mert a csőhálózat nem áttekinthető.

1.3.2.1.2. Csőalagút

Csőalagútról akkor beszélünk, ha a vezetékrendszer védelmére nem bontható földműszerkezetű, szelvényben járható, terepszint alatti védőszerkezetet létesítenek (1.20. ábra).



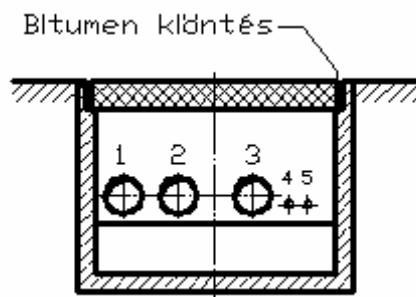
1.20. ábra

A csőalagút készülhet földtakarással, de a leggyakrabban földműszerkezete fölött közvetlenül út alépitménye, vagy terepszint kezdődik. A csőtartó és rögzítő elemek az alagút köpenyszerkezetéhez kapcsolódnak. Az alagút belmagassága legkevesebb 1,9–2,2 m között legyen. Keresztmetszete négyszög, kör, félkör, vagy egyéb síkgörbékkel összeállított szelvény lehet. A szerkezet anyaga általában vasbeton, szerkezete pedig részben vagy egészében előre gyártott. A csőalagutak vezetési mód előnye, hogy a csőhálózat vezetése zavartalan, a karbantartása és javítási munkák nem járnak külön bontási munkálatokkal. Az alagútba szerelt vezetékhalozat nincs kitéve az időjárás viszontagságainak. Hátrányos a nagy építési költség, ami a csőalagút magassági és szélességi méreteitől függ. A hőtágulás-kiegyenlítő szerkezetek választéka szűkül.

1.3.2.1.3. Csőcsatorna

A csővezetékeket és vonalvezetésüket csatornaszerkezet védi. A csatorna a csőalagúttal szemben bontható földműszerkezetű, úgynevezett fedlapokkal borított.

A csatornaszelvény magassága általában 0,6–1,5 m között változik. Szelvény keresztmetszete jól kihasználható, mivel járhatónak kell lennie. A csőtartó szerkezeti elemeket a csatorna falába betonozzák. Kialakítása leggyakrabban vízszintes csőelrendezést tesz lehetővé (1.21. ábra). Csőcsatornák tervezésekor a hőtágulás-kiegyenlítő rendszer kialakítása a legfontosabb feladat. Hosszú egyenes szakaszon kompenzátorfülkét kell létesíteni. A terepszint alatti vezetésmódok mindegyike olyan, hogy az üzem vagy üzemrész esztétikai összhangját nem zavarja, ami sok esetben fontos szempont lehet.



1.21.ábra

1.3.2.2. Terepszint közeli tartószerkezeti rendszer

Terepszinti vezetésmódról beszélünk abban az esetben, ha a csővezetékeket magassági értelemben a rendezett terepszint közelében, külön védőszerkezet beépítése nélkül vezetjük.

A csőhálózat vezetése lehet:

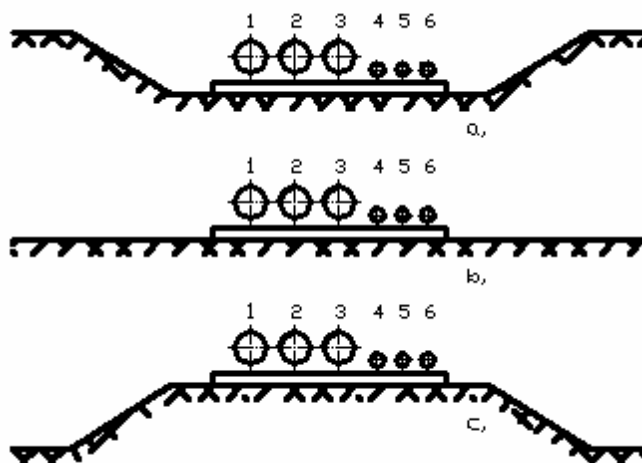
bevágásban (1.22/a. ábra)

a környező terep szintjével azonos magasságban (1.22/b. ábra)

töltés kialakítással (1.22/c. ábra)

A csövek elrendezése ilyen esetben vízszintes. A csőmegfogást beton- vagy vasbeton támaszokkal valósítják meg. Tartószerkezeti szempontból ez a legolcsóbb vezetési mód.

Előnye, hogy könnyen áttekinthető. Meghibásodás esetén bontási munka nélkül hozzá lehet férni a hibás csőszakaszhoz. Hátránya, hogy helyigényes és a keresztező műtárgyak (utak) kialakítása költséges, kialakításához nagy kiterjedésű földmunka szükséges.



1.22.ábra

1.3.2.3. Terepszint feletti tartószerkezeti rendszer

Kialakításuk szerint megkülönböztetünk:

Oszlopsoros csővezeték alátámasztást.

Keretsoros csővezeték alátámasztást.

Hídszerkezetes csővezeték alátámasztás

1.3.2.3.1. Oszlopsoros csővezeték alátámasztás

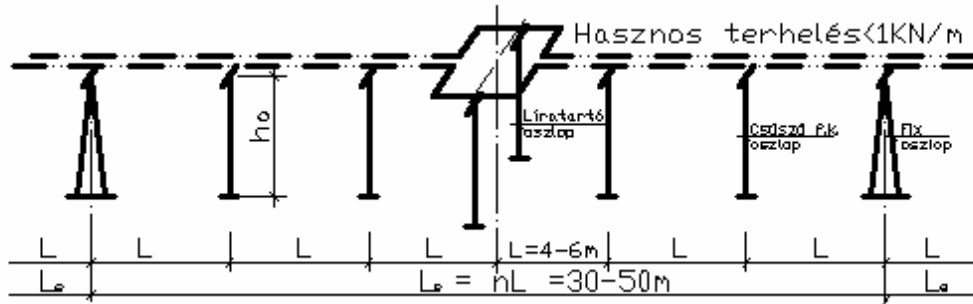
A csőelrendezés két cső esetén függőleges, kettőnél több cső esetén általában vízszintes. Az alátámasztó oszlopokat a számított alátámasztási távolságra kell elhelyezni (1.23. ábra). Gyakran előfordul, hogy egy kis átmérőjű csővezetéknek kell nagy átmérőjű cső vagy csövekkel együtt vezetni. Ekkor a nagyobb átmérőjű vezeték figyelembevételével kell az alátámasztási távolságot megállapítani és a kis átmérőjű csöveket, erre függesztik fel. A terhelés számításakor a kis átmérőjű csövekből adódó többletterhelést is figyelembe kell venni.

Ezen tartószerkezeti rendszer oszlopelemei kétfélek lehetnek:

Csőtengely irányú, vízszintes terhelést felvevő úgynevezett fix oszlopok

Erőtengely irányú, csőmozgást nem akadályozó, úgynevezett elmozdulást biztosító fejkiképzésű oszlopok

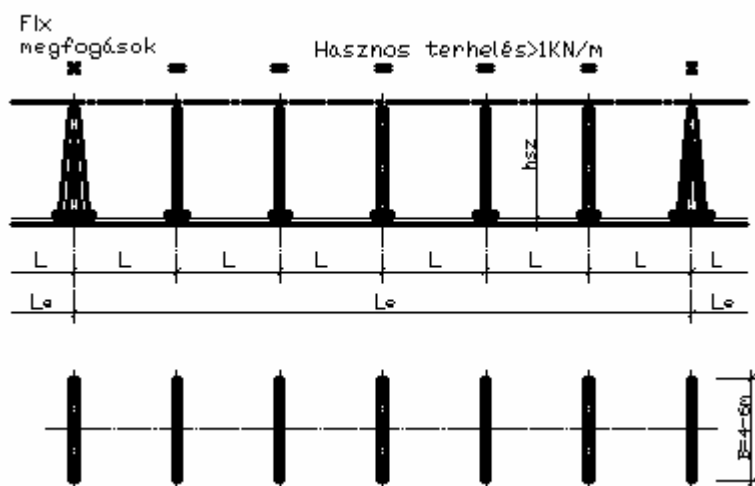
Az oszlopok csőből, illetve osztott szelvényű kivitelben készülhetnek. A hőtágulás-kiegyenlítő alátámasztására külön alátámasztó oszlopot kell elhelyezni.



1.23.ábra

1.3.2.3.2. Keretsoros csővezeték alátámasztási rendszer

Ilyen esetben a csőrendszer vízszintes, és nagyon gyakran több sorban helyezkedik el. A csöveket a csőtengelyre merőleges irányú keretszerkezetekkel támasztjuk alá. A hőtágulás-kiegyenlítő rendszer sarokívekkel oldható meg és így külön tartószerkezet a kiegyenlítő rendszernek nem kell (1.24. ábra).



1.24.ábra

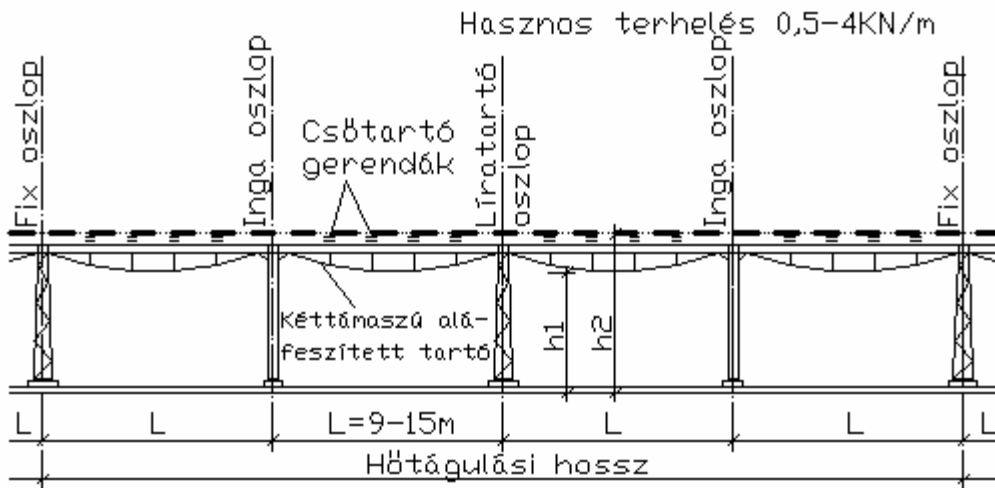
A keretsoros csőtartó szerkezetek áttekinthető csőelrendezést adnak.

1.3.2.3.3. Csőtartó hídszerkezetek

Leggyakrabban kéttámaszú kialakítású hidakat alkalmaznak, melyek lehetnek aláfeszítettek, rácsos vagy gerinclemezes főtartójúak. Az aláfeszített hídszerkezetek kis teherbírási rendszerek kialakításához alkalmazhatók (1.25. ábra). Hasznos teherbíráruk 2–3 kN/m értékig, fesztávolságuk 15 m-ig gazdaságos.

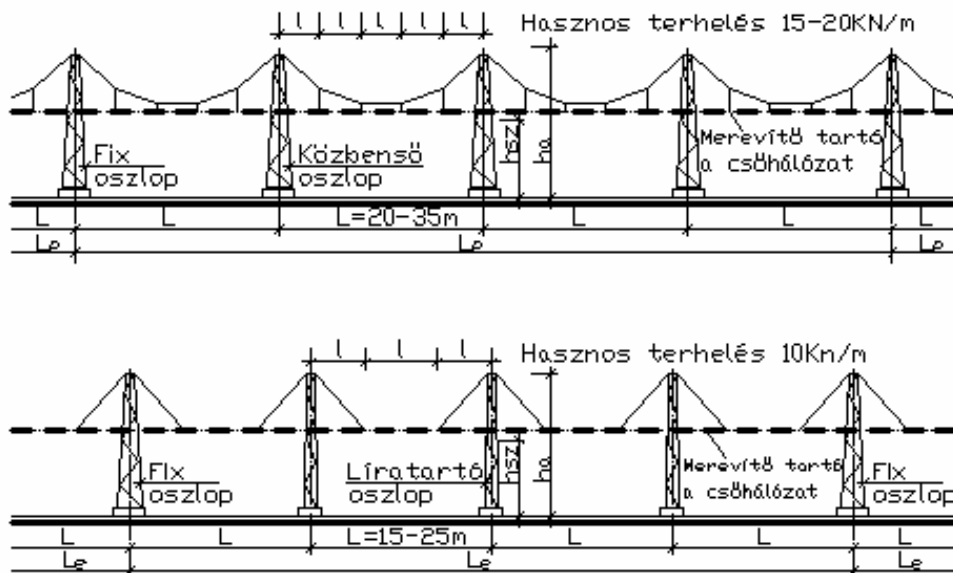
Az ilyen jellegű csőtartó hidakat hegesztett kivitelben készítik és csavarozott kapcsolatokat csak a helyszíni illesztéséhez és bekötéséhez használunk.

Kialakítás szempontjából megkülönböztetünk járható és nem járható hidakat. Általában 15–20 kN/m hasznos teherbírási fölért célszerű a hidakat járhatóan kialakítani. Így a csövek jól ellenőrizhetők, javíthatók és a szerelvények könnyen kezelhetők.



1.25.ábra

Elterjedt még a függesztett rendszerű csőtartó híd alkalmazása is. A függesztő rendszer lehet kötélsoxszög alakú vagy feszítőszerű (1.26. ábra) rendszerű. A szerkezeti kialakítás általában függőleges csőelrendezést tesz lehetővé.



1.26.ábra

2. TERVEZÉSI FELADAT

2.1. Csőtávvezeték tervezése

A csőtávvezetékek tervezésénél az áramlási viszonyoknak megfelelő átmérőjű cső szilárdsági méretezése is fontos feladat. Olyan szempontokat kell figyelembe venni, hogy az áramló közeggel (hőszigeteléssel) terhelt cső – önsúlyát és a hozzá tartozó szerelvényeket (tolózár, szelep stb.) is beleszámítva – az alátámasztások közötti szakaszok szilárdságilag is megfelelők legyenek. Mindezek mellett egyik lényeges feladat a hő okozta tágulások felvétele, illetve azt felvevő eszközök, berendezések méretezése. Ez általában bonyolult matematikai formulákkal, többszörös egyenletekkel oldható meg. Tervezési feladatoknál azonban a bonyolult matematikai összefüggések helyett szilárdsági képleteket, hozzá kapcsolódó diagramokat alkalmazunk oly módon, hogy azok érvényességi feltételeit is figyelembe vesszük. Tervezéskor ajánlatos a megfelelő szakirodalom tanulmányozása is, melyből néhányat az alábbiakban sorolunk fel:

Szerkezetterv gyűjtemény TTI 69-5

Szántay B.: Vegyipari készülékek szerkesztése

Öry R.: Vegyipari csővezetékek

A hőtágulási hatások vizsgálatánál az alábbiakból induljunk ki:

Lineáris hőtágulás nagysága

$$\Delta L = a \cdot L_0 \cdot \Delta t$$

ahol:

$$\text{St37 anyagra } a \cong 1,17 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mm}}{\text{mmC}^\circ}$$

illetve a 2.1. diagram szerint más anyagokra is meghatározhatjuk. Ez utóbbi előnyösebb, mert a hőtágulási együttható a hőmérséklettel változik és az anyag ötvözői is befolyásolják. (2.1. diagram)

Az anyag rugalmassági modulusa (E [MPa]) szintén hőmérséklet és anyagfüggő, ezért célszerűen a 2.2. diagram segítségével vehetjük figyelembe. A hőtágulásokat minden körülmények közt ki kell egyenlíteni, a szabad tágulást korlátozni nem szabad, mert ez tetemes többlet feszültség fellépésével jár.

A kiegyenlítés módjai:

a csővezetékek megfelelő vonalvezetésével (ívcsöves kiegyenlítő)

U alakú kompenzátor

Csőlíra

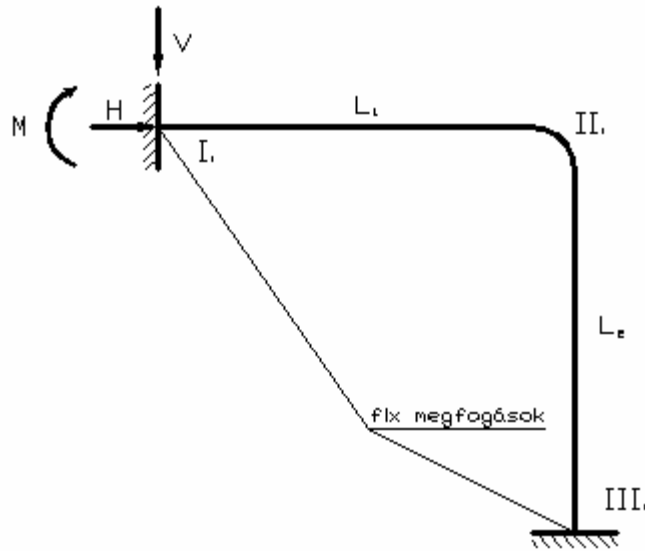
Z kompenzátor

egyéb (tömszelencés, hullámlemezes, csuklós stb.) kompenzátorok alkalmazása.

A továbbiakban ezen kiegyenlítők méretezéseikhez használható összefüggéseket vesszük sorba, melyek a csőtávvezeték tervezéséhez szükségesek.

2.1.1. Egyszerű ívsöves kiegyenlítő

(Sarokforduló-kiegyenlítés a csővezeték vonalvezetésével)



2.1. ábra

A 2.1. ábrán bemutatott egyszerű ívső (sarokforduló) méretezéséhez a következő szilárdsági összefüggések, illetve a kapcsolódó 2.3. diagram használhatók:

$$\text{I. pontnál: } s_{hj} = a \cdot \frac{D}{L} \text{ N/mm}^2 \text{ [MPa]}$$

$$\text{II. pontnál: } s_{hj} = b \cdot \frac{D}{L} \text{ N/mm}^2 \text{ [MPa]}$$

$$\text{III. pontnál: } s_{hj} = c \cdot \frac{D}{L} \text{ N/mm}^2 \text{ [MPa]}$$

$$H = H_o \frac{I}{L^2} \text{ [N]} \quad L_1 \text{ irányba ható erő}$$

$$V = V_o \frac{I}{L^2} \text{ [N]} \quad L_2 \text{ irányba ható erő}$$

$$M = s \cdot K$$

ahol:

D = a cső külső Ø-je (m)

L = $L_1 + L_2$ = kiterített hossz (m)

a és b = feszültség-szorító (N/mm²) a 2.3. diagram alapján

H_o és V_o = egység-erők (Nm²/cm⁴) a 2.3. diagramból.

A 2.3. diagram görbéi a következő feltételek mellett érvényesek:

A csővezeték hajlítási sugarai egyenlők (R)

A lekerekítési sugár $R = 4 D \sim (4NA)$ D = csővezetékek külső Ø-je

A diagram (St37) anyagra vonatkozik 50%-os előfeszítés esetén 400°C hőmérsékletre és figyelembe veszi többek között a Kármán-féle horpadási elméletet is.

A megengedett feszültségek

t °C	$\sigma_{hj\text{ meg}}$ előfeszítéssel MPa	$\sigma_{hj\text{ meg}}$ előfeszítés nélkül MPa
0 – 120-ig	90	70
120 – 400-ig	80	55

Az összefüggések alkalmazására szolgáljon az alábbi példa:

Sarokforduló szárai: $L_1 = 8,5\text{ m}$ $L_2 = 12\text{ m}$

Csővezeték: $D = \varnothing 245 \times 6,3\text{ mm}$
 $I = 3367\text{ cm}^4$ $K = 274,9\text{ cm}^3$

Hőmérséklet: $t = 350^\circ\text{C}$

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{12}{8,5} = 1,41 \qquad L = L_1 + L_2 = 20,5\text{ m}$$

A 2.3. diagramból

$$a = 3,55 \cdot 10^3\text{ N/mm}^2$$

$$H_o = 160\text{ Nm}^2/\text{cm}^4$$

$$V_o = 320\text{ Nm}^2/\text{cm}^4$$

Ezek ismeretében az I. pontban

$$s_{hj} = 3,55 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,245}{20,5} = 42,4\text{ N/mm}^2 < s_{hj\text{ meg}} = 70\text{ N/mm}^2$$

$$H = 160 \cdot \frac{3367}{20,5^2} = 1282\text{ N} = 1,28\text{ kN}$$

$$V = 320 \cdot \frac{3367}{20,5^2} = 2564\text{ N} = 2,56\text{ kN}$$

Mivel a sarokfordulót nem 400°C -ra, hanem 350°C -ra kell számítani, a kapott értéket a 2.4. diagramból vett számmal meg kell szorozni. St37-es anyagra 350°C -nál ez 0,9!

Az ívcsövet előfeszítés nélkül alkalmazzuk, melyet szintén át kell számolnunk:

$$\frac{100 - v}{50} = \frac{100 - 0}{50} = 2 \quad \text{tényezővel kell szorozni az 50%-ra kapott értékeket.}$$

$$\text{Így: } s_{hj} = 42,4 \cdot 0,9 \cdot 2 = 76,32\text{ N/mm}^2 > s_{hj\text{ meg}} = 70\text{ MPa}$$

Mivel a fellépő feszültség nagyobb a megengedett értéknél, ezért a sarokfordulót elő kell feszíteni. Az előfeszítést 50%-ra felvéve $\frac{100 - 50}{50} = 1$, vagyis ezzel kell szorozni,

$$\text{így a } s_{hj} = 42,4 \cdot 0,9 \cdot 1 = 38,16\text{ N/mm}^2 < s_{hj\text{ meg}} = 80\text{ MPa}$$

A fellépő fixponti erők:

$$H = 1,28 \cdot 0,9 = 1,15\text{ kN}$$

$$V = 2,56 \cdot 0,9 = 2,3\text{ kN}$$

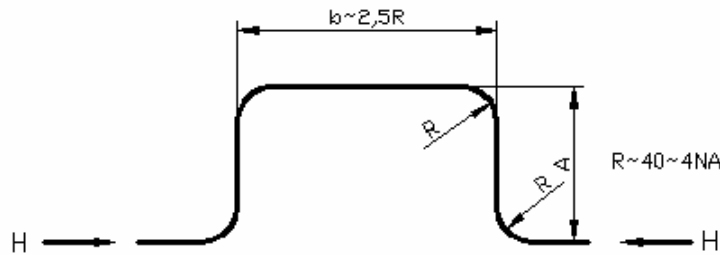
$$M = 38,16 \cdot 2,75 \cdot 10^7 = 1,049 \cdot 10^7\text{ Nmm}$$

Előfeszítés: A csővezeték szereléskor a hőtágulás bizonyos %-ával megrövidítve szerelik össze, ezáltal az üzemi igénybevétel kisebb lesz. Az előfeszített állapotban keletkező húzó igénybevétel üzemi állapotban nyomó feszültséggé válik.

Megjegyzés: A csővezeték L_1/L_2 tényezője mellett (legkedvezőbb az 1/1) a kiterített csőhossznak (L) van a legnagyobb jelentősége. Ez az erőknél különösen érvényes, mert az L a második hatványon szerepel.

2.1.2. Normál „U” alakú kompenzátor

Leggyakoribb formája:



2.2. ábra

Az alábbi számítási mód a következő feltételek esetén érvényes:

- Valamennyi sugár (R) egyenlő
- A szárak egymástól való távolsága $b = \text{min. } 2,5 R$

E feltételek mellett a szárban fellépő legnagyobb fajlagos feszültség

$$s_{\text{hajl.}} = \frac{E \cdot D}{10^6} \cdot \frac{\Delta L}{A^2 \cdot C_0} \cdot \frac{100 - \nu}{100} \left[\text{N/mm}^2 \right]$$

Reakcióerő

$$H = \frac{E \cdot I}{10^9} \cdot \frac{\Delta L}{A^3 C_2} \cdot \frac{100 - \nu}{100} \left[\text{N} \right]$$

E = a csőanyag rugalmassági modulusa az üzemi hőmérsékleten $[\text{N/mm}^2]$
2.2. diagram

ΔL = a cső teljes megnyúlása $[\text{mm}]$

A = „U” kompenzátor kinyúlása $[\text{m}]$

D = cső külső \varnothing $[\text{mm}]$

R = $x \cdot D =$ hajlítási sugár $[\text{mm}] \sim 4 \text{ NÁ } (4 D)$

ν = előfeszítés %-ban

A C_0 és C_2 állandókat a 2.5. és 2.6. diagram tartalmazza az „s” falvastagság, a „D”,

$X = \frac{R}{NA}$ és $\frac{A}{R}$ függvényében. E számítási mód szintén figyelembe veszi a Kármán-féle csőkeresztmetszet laposodásának elméletét, amelyek nemcsak a „H” fixpont-erőre, hanem még fokozottabb mértékben a hajlító igénybevétel ($\sigma_{\text{hajl.}}$) nagyságára vannak kihatással.

Példa: egy egyenes, 50 m hosszú, $\varnothing 245 \times 6,3$ mm, 300°C-os gőzvezeték részére kell kialakítani „U” kompenzátort.

$$D = \varnothing 245 \text{ mm}$$

$$s = 6,3 \text{ mm}$$

St37-es anyag

A 2.1. diagram alapján a teljes megnyúlás:

$$\Delta L = 0,36 \frac{\text{cm}}{\text{m}} \cdot 50 \text{ m} = 18 \text{ cm}$$

A 2.2. diagram alapján:

$$E = 1,9 \cdot 10^5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Az előfeszítés: $\nu = 50\%$ -os legyen,

$$\sigma_{\text{hajl. meg}} = 80 \text{ MPa-nak feltételezve}$$

$$s_{\text{max}} = \frac{ED}{10^6} \cdot \frac{\Delta L}{A^2 \cdot C_0} \cdot \frac{100 - \nu}{100} = \frac{1,9 \cdot 10^5 \cdot 245 \cdot 180}{10^6 \cdot A^2 \cdot C_0} \cdot \frac{100 - 50}{100} = \frac{4189,5}{A^2 \cdot C_0}$$

Az „A” kinyúlást felvéve: $A = 4$ m-re; $R = 5 \cdot 250 = 1250$; $x = 5$

$$A^2 = 16 \text{ m}^2; \quad \frac{A}{R} = 3,2$$

$$C_0 = 4 \text{ (2.5. diagramból)}$$

$$s_{\text{hajl. max}} = \frac{4189,5}{16 \cdot 4} = 65,46 \text{ N/mm}^2 < s_{\text{meg}} = 80 \text{ MPa}$$

Tehát megfelel.

A fixpontban ható reakcióerők:

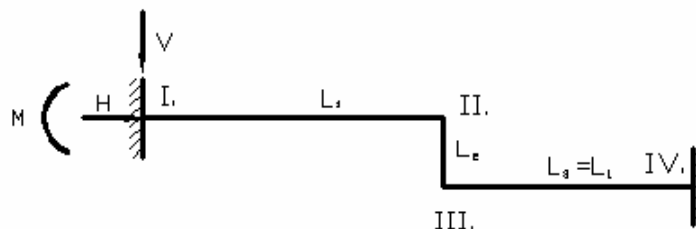
$$I = 3,36 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$H = \frac{EI}{10^9} \cdot \frac{\Delta L}{A^3 \cdot C_2} \cdot \frac{100 - \nu}{100} = \frac{1,9 \cdot 10^5 \cdot 3,36 \cdot 10^7 \cdot 180}{10^9 \cdot 64 \cdot C_2} \cdot \frac{100 - 50}{100} = \frac{8978}{C_2}$$

A 2.6. diagramból $C_2 = 1,55$ tehát

$$H = \frac{8978}{1,55} = 5792 \text{ N} \cong 5,8 \text{ kN}$$

2.1.3. Egyenlőszárú Z kompenzátor



2.3. ábra

Számítás módja hasonló a 2.1.1. alatti sarokfordulóhoz. Ugyanazok az egyenletek használhatók, csak az állandók mások, azok a 2.7. diagramban találhatóak.

Hajlítási feszültség az I. és IV. pontban:

$$s_{\text{hajl}} = a \cdot \frac{D}{L} \quad [\text{MPa}]$$

A II. és III. pontban:

$$s_{\text{hajl}} = b \cdot \frac{D}{L} \quad [\text{MPa}]$$

Reakcióerők:

$$L_1 \text{ irányában: } H = H_0 \cdot \frac{I}{L^2} \quad [\text{N}]$$

$$L_2 \text{ irányában: } V = V_0 \cdot \frac{I}{L^2} \quad [\text{N}]$$

ahol:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 \text{ m-ben}$$

A 2.7. diagram szintén St37-es csőanyagra, 400°C hőmérsékletre és $v = 50\%$ -os előfeszítésre vonatkozik. Az esetleges átszámításokat a 2.4. diagram alapján kell végezni.

Amennyiben L_1 és L_2 között nem nagy a különbség, úgy a fenti számításmód alkalmazható, a hiba nem jelentős.

Az eredő erő: $F_c = \sqrt{H^2 + V^2} [\text{N}]$ a rendszer súlypontján keresztül ferde irányban hat.

2.2. Alátámasztások távolságainak meghatározása

Az alátámasztási távolság meghatározása két követelmény kielégítésével történik.

Az alátámasztási távolságnak olyannak kell lenni, hogy a vezetékben a folyadékot maradéktalanul le lehessen üríteni, azaz a vezetékben ellenesés ne keletkezzon.

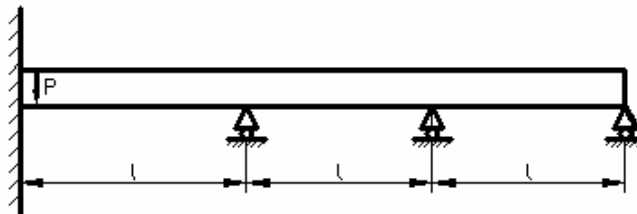
Ellenesés kritériuma: azt mondja ki, hogy a cső tengely rugalmas lehajlási vonalának inflexiós pontjába húzott érintőnek vízszintesnek kell lennie, hogy az ürítés maradéktalanul megvalósítható legyen. Ehhez az egyik alátámasztást kell annyival lejjebb helyezni, azaz a vezetéket olyan lejtéssel fektetni, hogy az inflexiós pontba húzott érintő vízszintes legyen.

Az alátámasztási távolság csak olyan nagy lehet, amelynél a vezetékben keletkező igénybevételek a megengedett határt nem lépik túl.

Az alátámasztási távolságot mindkét feltételre meg kell határozni és a mértékadó távolságként a kisebb távolságot kell választani.

2.2.1. Pakusa szerint

A vezeték alátámasztása az alábbi modellel közelíthető meg, amelynél:



2.4. ábra

A támaszköz:

$$1 \leq 0,0165 \sqrt[3]{\frac{a \cdot E \cdot I \cdot 10^2}{q}} \text{ [m]}$$

ahol:

a = 3 mm/m maximális lejtés engedhető meg

E = N/mm² (2.2. diagramból)

I = cm⁴

q = N/m folyóméterenkénti csősúly

q = 1,2 · q_{cső} + q_{víz} + q_{szig.}

ρ_{szig} ~ 2000 N/m³ – salakgyapot sűrűsége

v_{szig} = 4–6 cm – szigetelés vastagsága

2.2.2. A cső szilárdsági méretezése alapján

$$\text{A támaszköz } 1 \leq \sqrt{\frac{12K \left(s_{\text{meg}} - \frac{p \cdot D}{4 \cdot s} \right) m}{n \cdot q}} \text{ (cm)}$$

m = 0,8

}biztonsági tényezők

n = 1,1

K = a cső keresztmetszeti tényezője mm³

σ_{meg} = 100 N/mm²

p = belső nyomás N/mm²

D = cső külső átmérője mm

s = cső falvastagsága mm

q = centiméterenkénti csősúly N/cm

2.2.3. A csővezeték maximális lehajlása alapján

A valóságban az ilyen csővezetékek többtámaszú határozatlan tartók, amelyeknél a lehajlás meghatározása viszonylag bonyolult. Ezért közelítő módszerként kéttámaszú tartónak feltételezzük és a lehajlást ez alapján, határozzuk meg:

$$f_{\text{cső}} = \frac{5q l^4}{384 I \cdot E} \leq f_{\text{meg}}$$

A csővezetéknel a megengedett lehajlás értéke:

$$f_{\text{meg}} = \frac{l}{500}$$

2.3. Csőtartók

A csőtartók helyes kialakítása a tervezés egyik fontos része, mert ezeknek a nem megfelelő kialakítása esetén a csőben vagy a tartószerkezetben meg nem engedhető igénybevételek keletkeznek, amelyek a csővezeték üzemét lehetetlenné teszik.

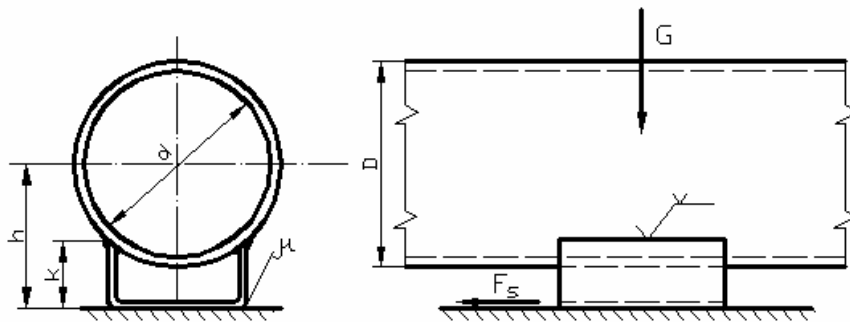
A csőtartók feladata a vezeték rögzítése a tartószerkezethez oly módon, hogy a vezeték-szárak a fix megfogások között szabadon tudjanak elmozdulni. Ha a csőtartók ezt nem engedik meg, akkor a vezetékben a hőtágulások hatására meg nem engedhető feszültségek jönnek létre, amelyek előbb-utóbb a cső tönkremenetelét okozzák.

2.3.1. Alátámasztások

A csőre erősítendő saruk kialakításánál ügyelni kell arra, hogy a csúszósaru kinyúljon a szigetelésből, de azért minél kevesebb acél keresztmetszet álljon rendelkezésre a hőkivezetéshez.

A csúszó alátámasztás jellemzője az, hogy a saru csőtengely irányában elcsúszik a tartószerkezeten. A tartószerkezet lehet acél, beton, vagy keramit. Az összerozsdásodás elkerülése miatt lehetőleg beton vagy keramit alátámasztást célszerű választani. A sarut a csőhöz hegesztéssel kell rögzíteni.

A csúszó támasz hegesztési varratának szilárdsági vizsgálata.



2.5. ábra

Az adott támaszközű csővezeték egy támasztásra jutó súlyerő (G), a cső önsúlyából (szigetelő anyaggal együtt), és a vezetékben lévő folyadék súlyából határozzuk meg. Így a súrlódó erő:

$$F_s = m \cdot G$$

ahol a csúszó súrlódási tényező értékei:

- acél – betonon $\mu = 0,5$
- acél – acélon $\mu = 0,4$
- acél – keramiton $\mu = 0,3$

A hegesztési varratot a súrlódó erő hajlításra és nyírásra veszi igénybe.

Az igénybevételek nagysága:

$$M = F_s \cdot k; \quad T = F_s$$

A varratban fellépő feszültségek:

$$s_{\perp} = \frac{M}{2 \cdot \frac{a \cdot l_h^2}{6}} \quad \text{- tompa varrat}$$

$$a = 0,8 \cdot v_{\min} \quad \text{- varrat méret}$$

$$l_h = l - 2 \cdot d \quad \text{- hasznos varrat hossz}$$

$$t_{\parallel} = \frac{T}{2 \cdot a \cdot l_h}$$

A redukált feszültség:

$$s_r = \sqrt{s^2 + 2t^2} \leq s_H$$

Abban az esetben, ha a támasz görgős, a súrlódó erőt a

$$F_s = \frac{f + \mu \cdot r}{R} \cdot G$$

képletből számoljuk, ahol

$f = 0,05$ cm a gördülő ellenállás karja

μ = csúszó súrlódási tényező

r = görgő csapjának sugara

R = a görgő sugara

2.4. Tervezési feladat

Tervezze meg a mellékelt csővezeték nyomvonal (2.6. ábra) és az alapadatok ismeretében a csővezeték a szükséges fix megfogásokkal, illetve alátámasztásokkal és tervezzen a „B” szakaszra csővezeték tartó hidat, illetve az „f-g” szakaszhoz szükséges tartóoszlopot, vagy oszlopokat.

$$p = \dots\dots\dots \text{MPa}$$

$$h = \dots\dots\dots \text{m}$$

$$t = \dots\dots\dots \text{°C}$$

$$Q = \dots\dots\dots \text{m}^3/\text{s}$$

$$A = \dots\dots\dots \text{m}$$

$$B = \dots\dots\dots \text{m}$$

Szerelési hőmérséklet 20°C

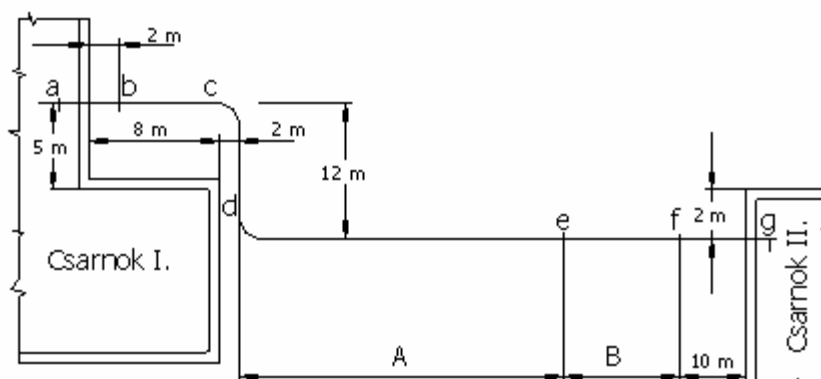
A feladat kidolgozása során rajzolja meg:

csővezeték kétvonalas főösszeállítási rajzát,

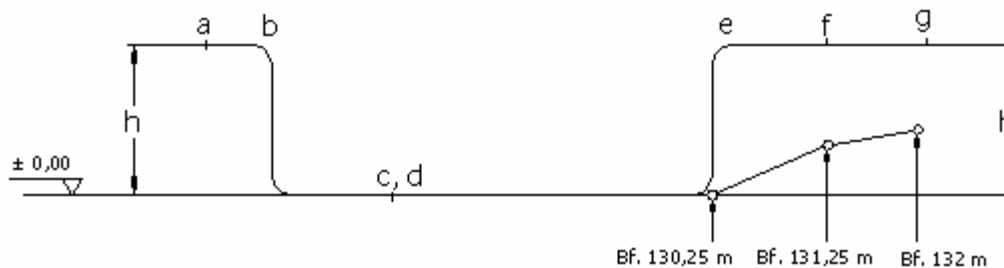
részletes kiviteli tervet, alkatrészrajz szintig.

A számításokat összefűzött, megkeretezett A4-es írólapokon (tintával írva) kell beadni.

CSŐVEZETÉK TERVEZÉSI FELADAT
ALAPRAJZ



FÜGGŐLEGES CSŐTERV



2.6. ábra

A feladat kidolgozása során:

a víz áramlási sebességének ($v \approx 2 \text{ m/s}$); nyomásának, térfogatáramlásának ismeretében válassza ki a szükséges szabványos csővezeték ($d_{\text{szabv.}}$),

számítsa ki a víz tényleges áramlási sebességét ($v_{\text{tényl.}}$),

ellenőrizze a cső falvastagságát (s) ha $\sigma_{\text{meg}} = 100 \text{ MPa}$ (St37; 20°C -on)

$C=C_1+C_2=2\text{mm}$ (kerekített érték),

határozza meg a fix megfogások és alátámasztások helyeit, és tervezze meg a hőtágulás okozta feszültségek kiegyenlítését, iránytörések (kompenzátorok) közebeiktatásával,

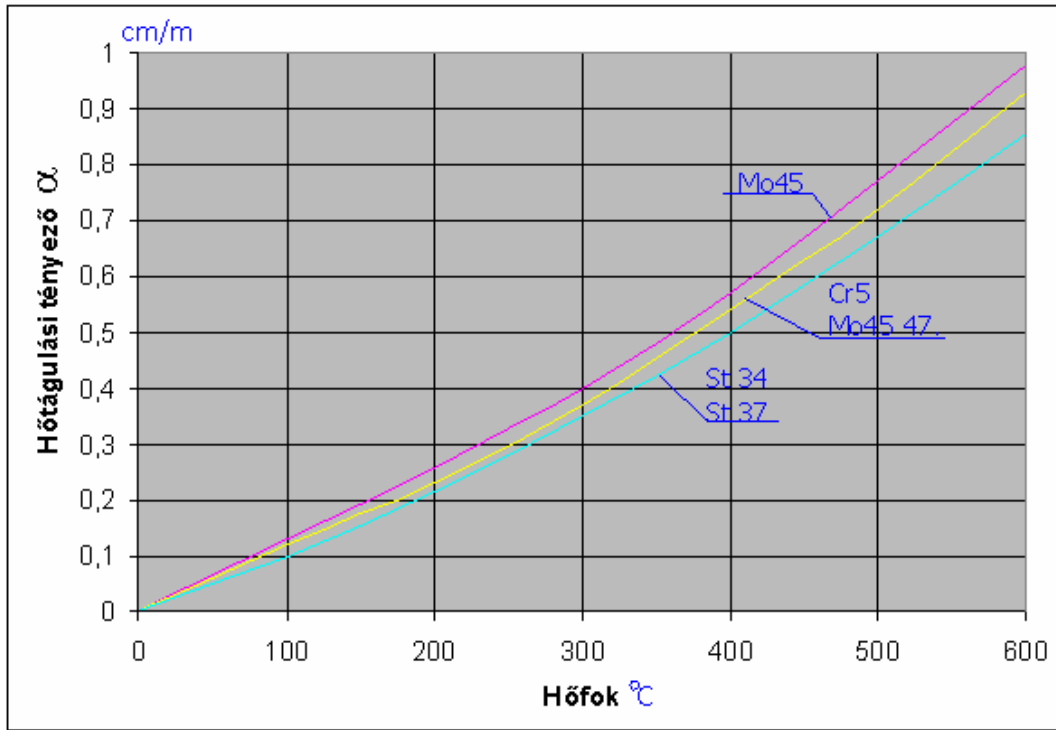
számítsa ki a fix megfogásokra jutó erőt,

tervezze meg az egyenes csőmegfogó szerkezeteket (fix megfogás, alátámasztás),

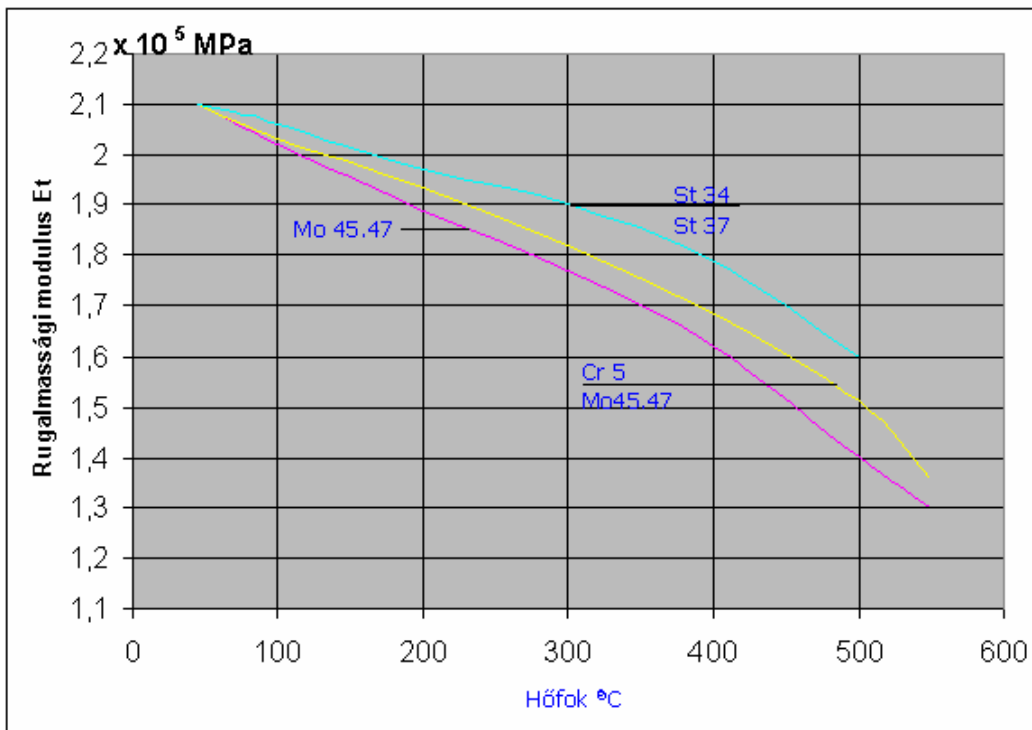
tervezzen a „B” szakaszra egy csővezeték tartó hidat és méretezze szilárdságilag,

tervezzen az „f-g” szakaszra csővezeték tartóoszlopot és méretezze szilárdságilag,

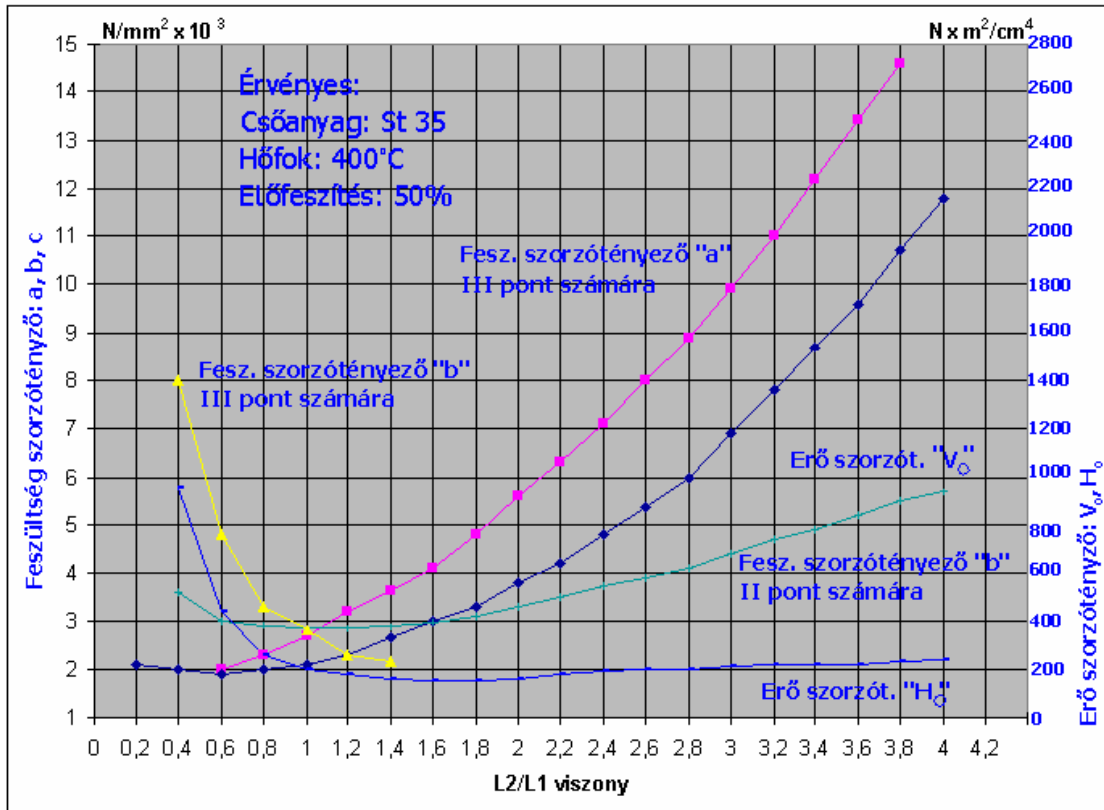
készítsen műszaki leírást a tervezési feladathoz.



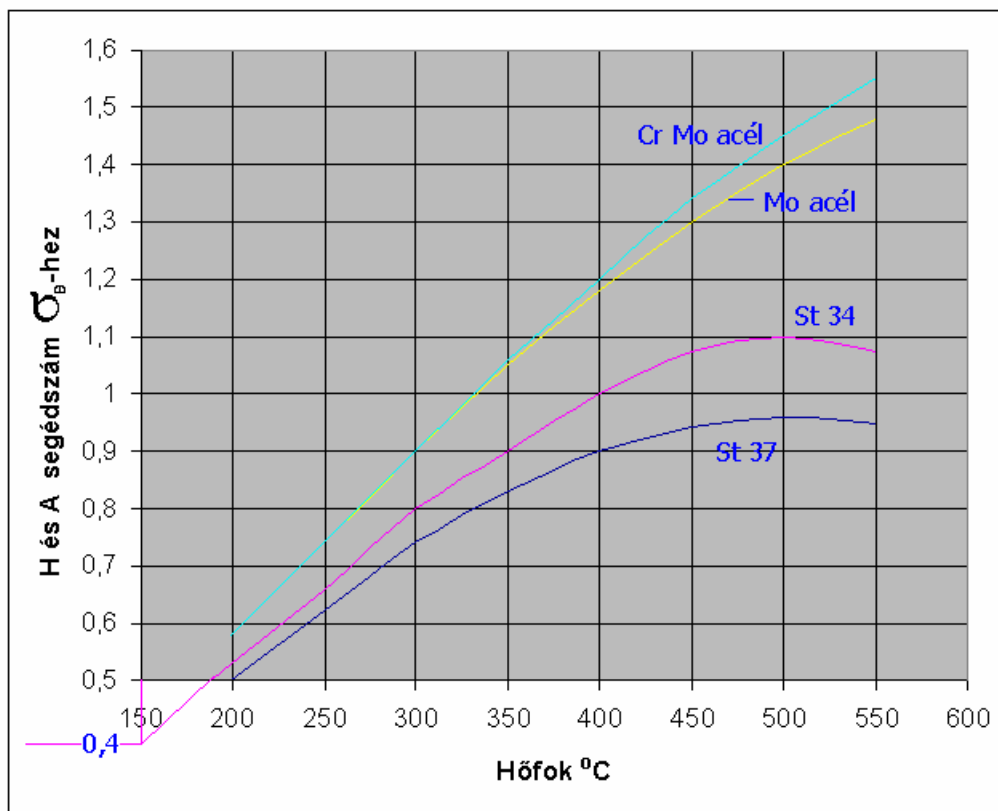
2.1. diagram



2.2. diagram

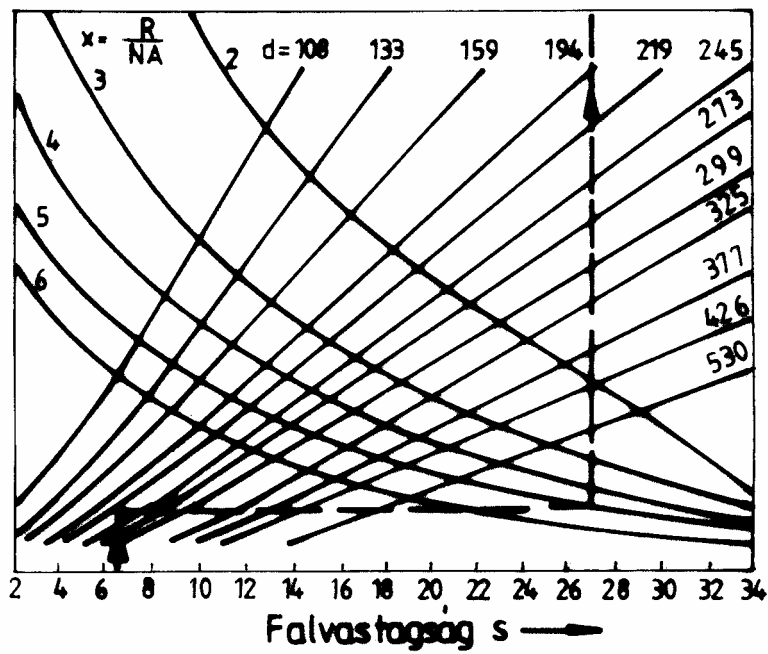
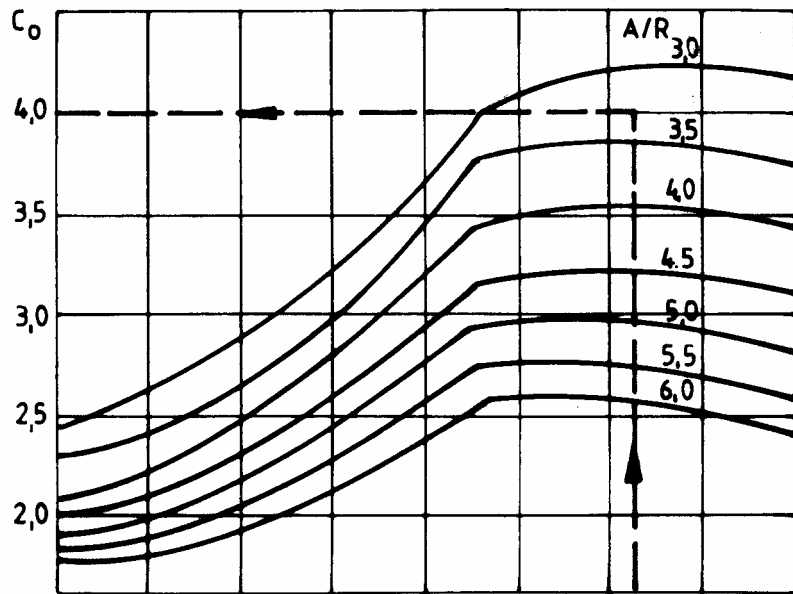


2.3. diagram

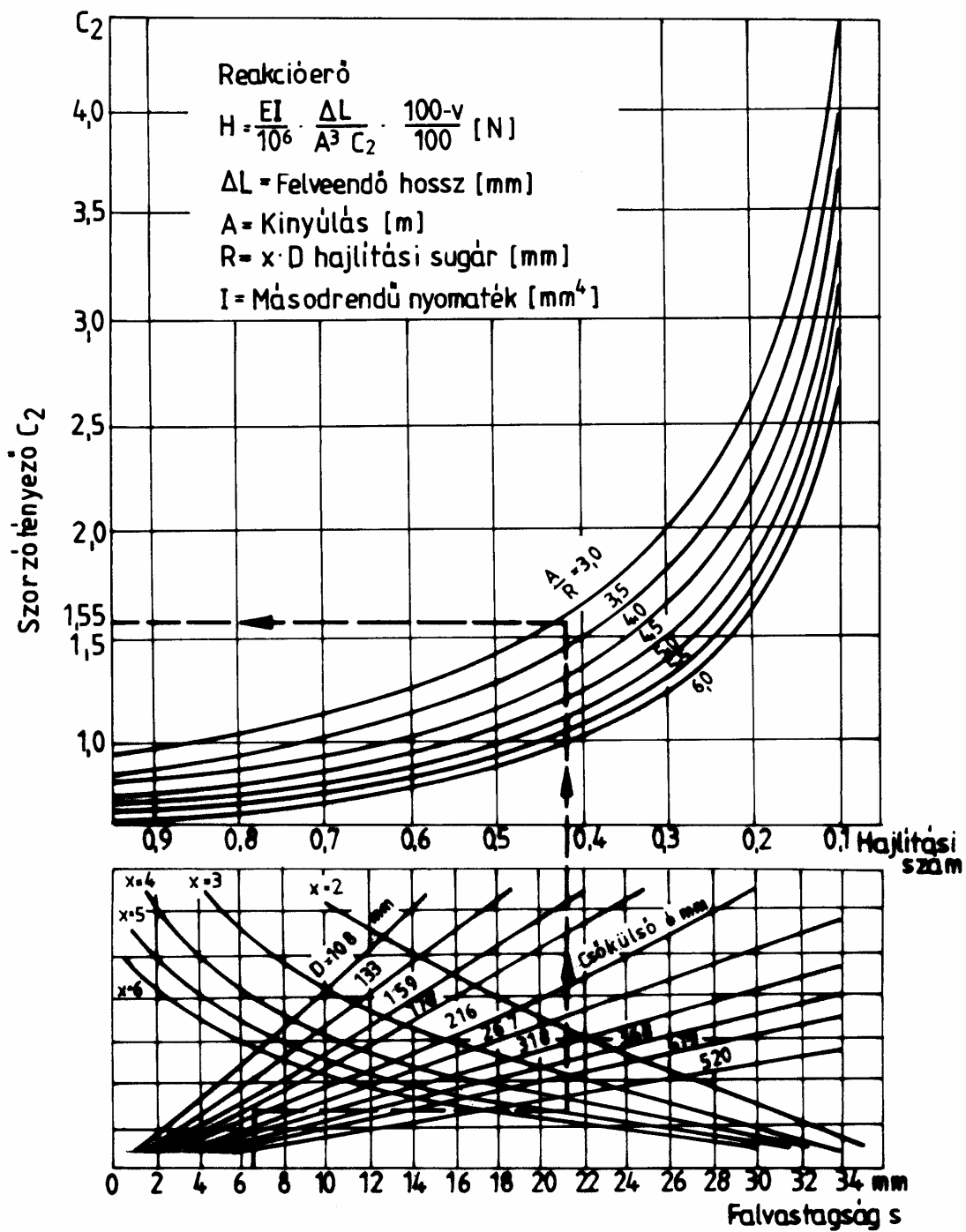


2.4. diagram

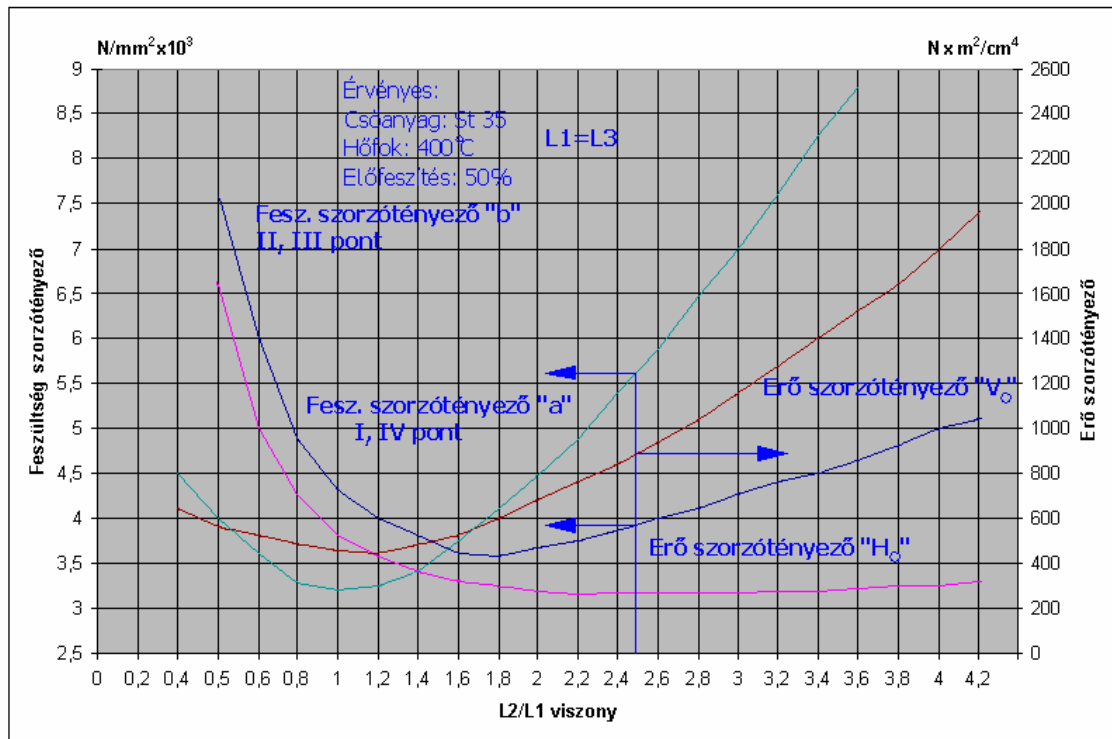
C_0 értékei a cső falvastagsága és a cső külső átmérő függvényében δ meghatározásához



2.5. diagram



2.6. diagram



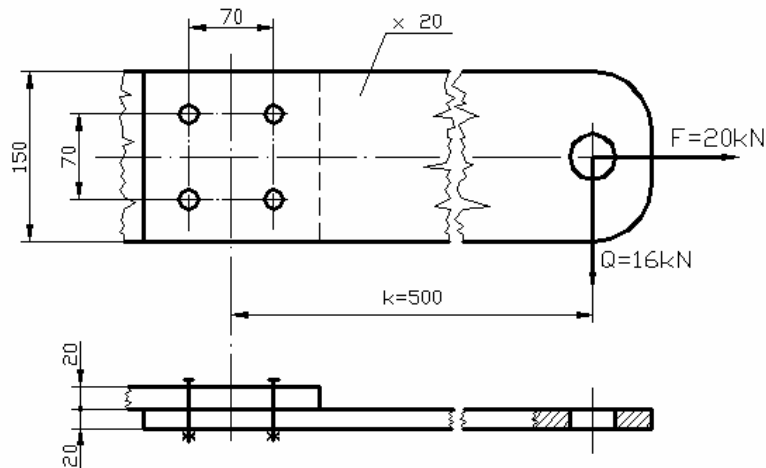
2.7. diagram

3. CSAVAROZOTT, SZEGECSELT KAPCSOLATOK

3.1. Mintafeladat

Méretezzük az alábbi csavarozott kapcsolatot és ellenőrizzük az alapanyagot, ha

a lemez anyaga S235JR	$\sigma_{\text{meg}} = 160 \text{ MPa}$	$p_{\text{meg.l}} = 420 \text{ MPa}$
a csavar anyaga 5.6	$\tau_{\text{meg}} = 210 \text{ MPa}$	$p_{\text{meg.cs}} = 420 \text{ MPa}$



3.1.ábra

A függőleges Q terhelésből egy csavarra jutó terhelés

$$Y = \frac{Q}{n} = \frac{16}{4} = 4 \text{ kN}$$

A vízszintes F terhelésből egy csavarra jutó terhelés

$$X = \frac{F}{n} = \frac{20}{4} = 5 \text{ kN}$$

A csavarkötést terhelő nyomaték

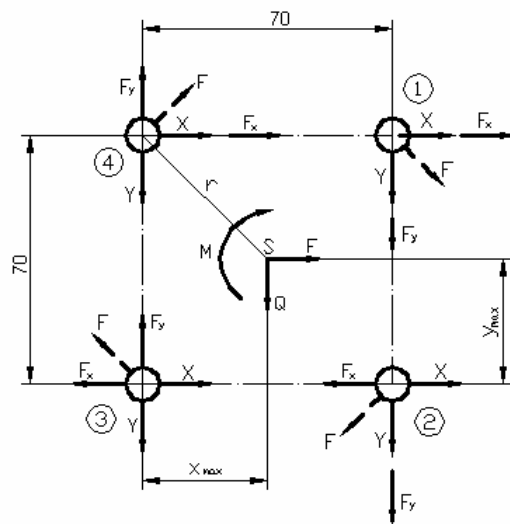
$$M = k \cdot Q = 0,5 \cdot 16 = 8 \text{ kNm}$$

A nyomaték okozta nyíróerő a csavarban

$$F_y = \frac{M}{\sum r_i^2} \cdot x_{\text{max}}; \quad F_x = \frac{M}{\sum r_i^2} \cdot y_{\text{max}}$$

$\sum r_i^2$ -a csavarkép súlypontja és a csavarok közti távolságok négyzetösszege.

$$\sum r_i^2 = 4 \cdot r^2 = 4 \cdot \sqrt{2}^2 \cdot 0,035^2 = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$



3.2.ábra

$$F_y = \frac{8}{9,8 \cdot 10^{-3}} \cdot 3,5 \cdot 10^{-2} = 28,57 \text{ kN}$$

$$F_x = \frac{8}{9,8 \cdot 10^{-3}} \cdot 3,5 \cdot 10^{-2} = 28,57 \text{ kN}$$

A legjobban igénybevett csavarban (1. pont az ábrán) fellépő nyíróerő

$$T_1 = \sqrt{(X + F_x)^2 + (Y + F_y)^2} = 46,77 \text{ kN}$$

Az egyszerűen nyírt csavar szükséges keresztmetszete

$$A_{\min} = \frac{T_1}{t_{\text{meg}}} = \frac{46,77 \cdot 10^3}{210} = 222,73 \text{ mm}^2$$

Az illesztő csavar szükséges átmérője

$$d = \sqrt{\frac{4A}{p}} = 16,84 \text{ mm}$$

Ehhez választott csavar M16-os illesztőcsavar, mert ennek $\varnothing 17$ az illesztett átmérője.

Ellenőrzés palástnyomásra

$$p = \frac{T_1}{v_{\min} \cdot d} = \frac{46770}{20 \cdot 17} = 137,5 \text{ N/mm}^2 = 137,5 \text{ MPa}$$

$p = 137,5 \text{ MPa} < p_{\text{meg}} = 420 \text{ MPa}$. Tehát megfelel. Ez a lemezre is megfelel.

A lemezek ellenőrzése:

$$A = 20 \cdot (150 - 2 \cdot 17) = 2320 \text{ mm}^2$$

$$I_z = \frac{20 \cdot 150^3}{12} - 2 \left(\frac{20 \cdot 17^3}{12} + 20 \cdot 17 \cdot 35^2 \right) = 4,77 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

A fellépő feszültségek

Húzás:

$$s_h = \frac{F}{A} = \frac{20000}{2320} = 8,62 \text{ N/mm}^2 = 8,62 \text{ MPa}$$

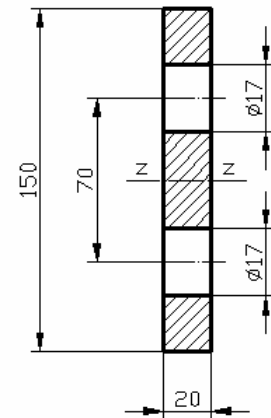
Hajlítás:

$$s_{hj} = \frac{M}{I_z} \cdot e = \frac{8 \cdot 10^6}{4,77 \cdot 10^6} \cdot 75 = 125,78 \text{ MPa}$$

A maximális fellépő feszültség:

$$s_{\max} = s_h + s_{hj} = 8,62 + 125,78 = 134,4 \text{ MPa}$$

Mivel $\sigma_{\max} < \sigma_{\text{meg}} = 160 \text{ MPa}$, ezért a keresztmetszet megfelel!



3.3. ábra

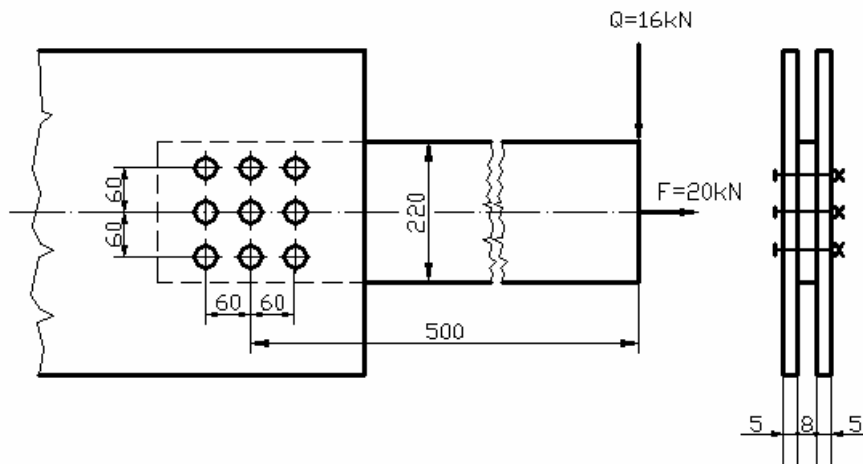
3.2. Feladatok

Határozza meg az alábbi szegecselt kapcsolatoknál a legnagyobb szegecserőt, és méretezze a szegecszet.

A szegecs anyagára megengedett feszültségek:

$$\tau_{\text{meg}} = 210 \text{ MPa} \quad p_{\text{meg}} = 420 \text{ MPa}$$

3.2.1.



3.4.ábra

Megoldás

$$M = 16 \cdot 0,5 = 8 \text{ kNm}$$

$$X = 2,22 \text{ kN}$$

$$Y = 1,78 \text{ kN}$$

$$\sum r_i^2 = 4(60^2 + 60^2) + 4 \cdot 60^2 = 4,32 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$x_{\text{max}} = y_{\text{max}} = 60 \text{ mm}$$

$$F_x = F_y = \frac{8 \cdot 10^6}{4,32 \cdot 10^4} \cdot 60 = 11,1 \cdot 10^3 \text{ N} = 11,1 \text{ kN}$$

$$T_{\text{max}} = \sqrt{(2,22 + 11,1)^2 + (1,78 + 11,1)^2} = 18,53 \text{ kN}$$

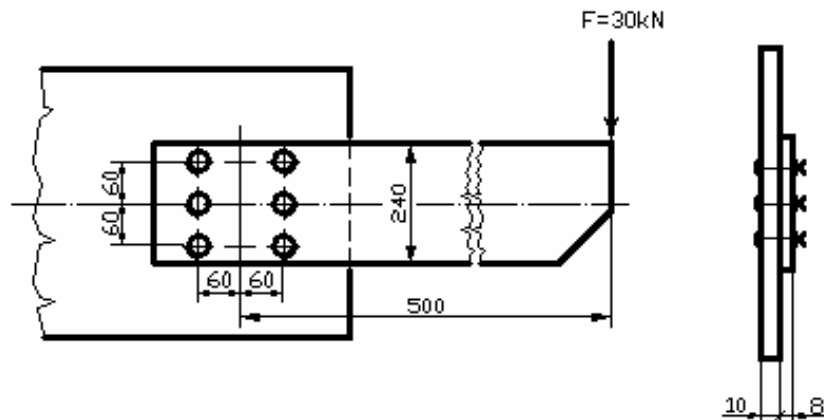
$$A_{\text{min}} = \frac{18,53 \cdot 10^3}{2 \cdot 210} = 44,12 \text{ mm}^2$$

$$d = 7,49 \text{ mm}$$

Választott szegecs $\varnothing 8 \text{ mm}$.

$$p_{\text{max}} = \frac{18,53 \cdot 10^3}{8 \cdot 8} = 289,5 \text{ MPa}$$

3.2.2.



3.5.ábra

Megoldás

$$M = 15 \text{ kNm}$$

$$Y = 5 \text{ kN}$$

$$\sum r_i^2 = 2 \cdot 60^2 + 4(60^2 + 60^2) = 3,6 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$x_{\max} = y_{\max} = 60 \text{ mm}$$

$$F_x = F_y = \frac{15 \cdot 10^6}{3,6 \cdot 10^4} \cdot 60 = 2,5 \cdot 10^4 \text{ N} = 25 \text{ kN}$$

$$T_{\max} = \sqrt{25^2 + (5 + 25)^2} = 39,05 \text{ kN}$$

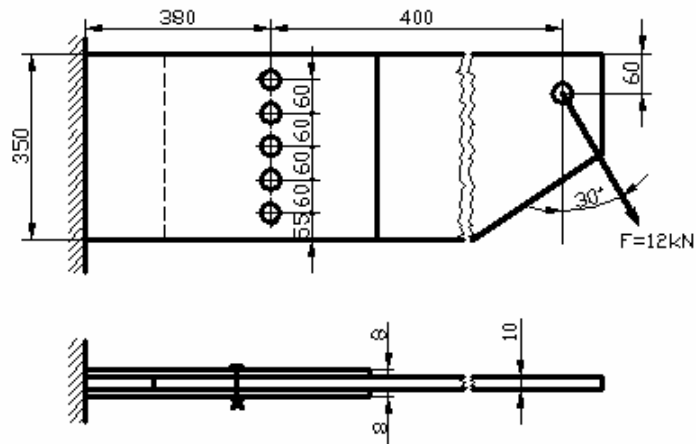
$$A_{\min} = \frac{39,05 \cdot 10^3}{210} = 185,95 \text{ mm}^2$$

$$d = 15,38 \text{ mm}$$

Választott szegecs $\varnothing 16 \text{ mm}$.

$$p_{\max} = \frac{39,05 \cdot 10^3}{16 \cdot 8} = 305,08 \text{ MPa}$$

3.2.3.



3.6.ábra

Megoldás

$$M = 10,4 \cdot 0,4 + 6 \cdot 0,115 = 4,85 \text{ kNm}$$

$$X = 1,2 \text{ kN}$$

$$Y = 2,08 \text{ kN}$$

$$\sum r_i^2 = 2 \cdot 60^2 + 2 \cdot 120^2 = 3,6 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$F_x = \frac{4,85 \cdot 10^6}{3,6 \cdot 10^4} \cdot 120 = 1,617 \cdot 10^4 \text{ N} = 16,17 \text{ kN}$$

$$T_{\max} = \sqrt{(1,2 + 16,17)^2 + 2,08^2} = 17,49 \text{ kN}$$

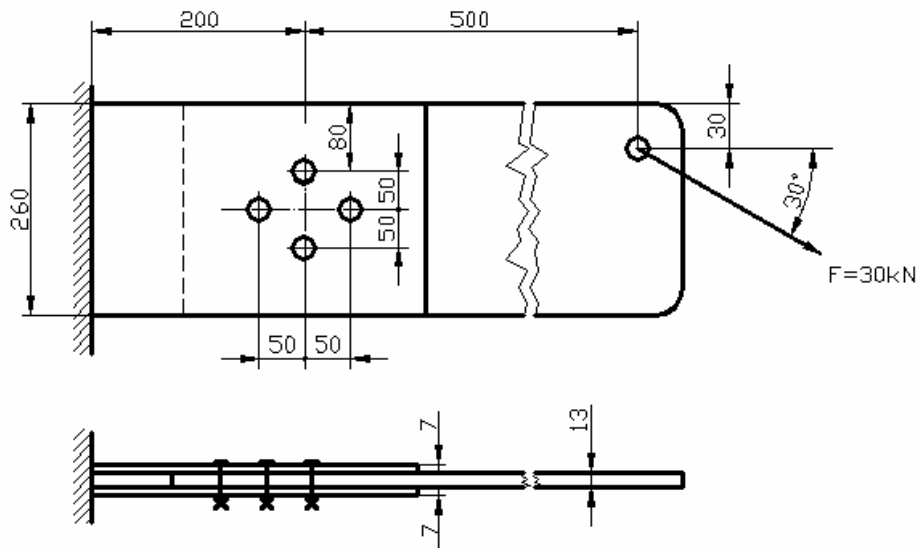
$$A_{\min} = \frac{17,49 \cdot 10^3}{2 \cdot 210} = 41,65 \text{ mm}^2$$

$$d = 7,28 \text{ mm}$$

Választott szegecs $\varnothing 8 \text{ mm}$.

$$p_{\max} = \frac{17,49 \cdot 10^3}{8 \cdot 10} = 218,6 \text{ MPa}$$

3.2.4.



3.7.ábra

Megoldás

$$M = 25,98 \cdot 0,1 + 0,5 \cdot 15 = 10,1 \text{ kNm}$$

$$X = 6,49 \text{ kN}$$

$$Y = 3,75 \text{ kN}$$

$$\sum r_i^2 = 4 \cdot 50^2 = 10^4 \text{ mm}^2$$

$$F_x = F_y = \frac{10,1 \cdot 10^6}{10^4} \cdot 50 = 5,05 \cdot 10^4 \text{ N} = 50,5 \text{ kN}$$

$$T_{\max} = \sqrt{(6,49 + 50,5)^2 + 3,75^2} = 57,2 \text{ kN}$$

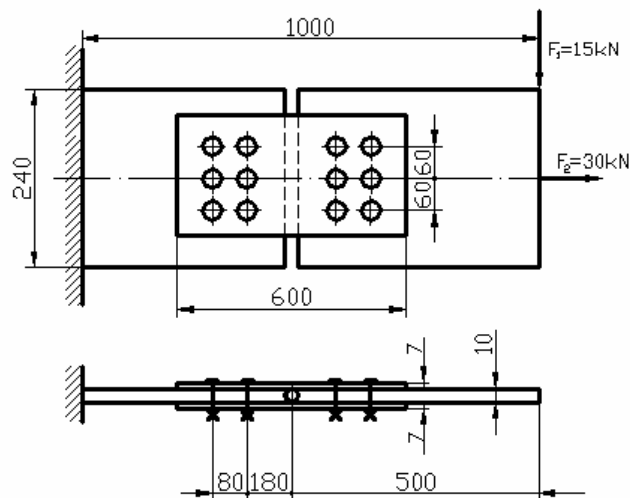
$$A_{\min} = \frac{57,2 \cdot 10^3}{2 \cdot 210} = 136,19 \text{ mm}^2$$

$$d = 13,17 \text{ mm}$$

Választott szegecs $\varnothing 14 \text{ mm}$.

$$p_{\max} = \frac{57,2 \cdot 10^3}{14 \cdot 13} = 314,29 \text{ MPa}$$

3.2.5.



3.8.ábra

Megoldás

$$M = 0,72 \cdot 15 = 10,8 \text{ kNm}$$

$$X = 5 \text{ kN}$$

$$Y = 2,5 \text{ kN}$$

$$\sum r_i^2 = 2 \cdot 40^2 + 4(40^2 + 60^2) = 2,4 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$F_x = \frac{10,8 \cdot 10^6}{2,4 \cdot 10^4} \cdot 60 = 2,7 \cdot 10^4 = 27 \text{ kN}$$

$$F_y = \frac{10,8 \cdot 10^6}{2,4 \cdot 10^4} \cdot 40 = 1,8 \cdot 10^4 \text{ N} = 18 \text{ kN}$$

$$T_{\max} = \sqrt{(5 + 27)^2 + (2,5 + 18)^2} = 38 \text{ kN}$$

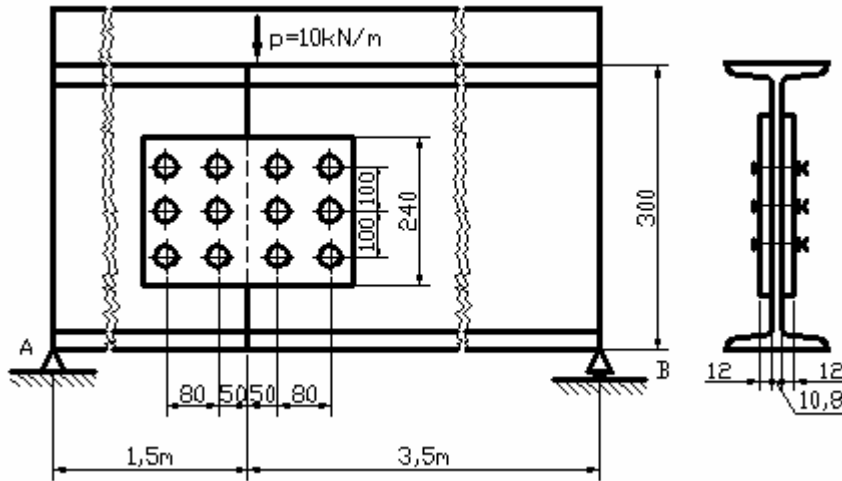
$$A_{\min} = \frac{38 \cdot 10^3}{2 \cdot 210} = 90,48 \text{ mm}^2$$

$$d = 10,73 \text{ mm}$$

Választott szegecs $\varnothing 12 \text{ mm}$.

$$p_{\max} = \frac{38 \cdot 10^3}{12 \cdot 10} = 316,67 \text{ MPa}$$

3.2.6.



3.9.ábra

Megoldás

$$M_{\max} = 27,11 \text{ kNm}$$

$$F_{\max} = 9,1 \text{ kN}$$

$$Y = \frac{9,1}{6} = 1,52 \text{ kN}$$

$$\sum r_i^2 = 2 \cdot 40^2 + 4(40^2 + 100^2) = 49600 \text{ mm}^2$$

$$F_x = \frac{27,11 \cdot 10^3}{4,96 \cdot 10^4} \cdot 100 = 54,66 \text{ kN}$$

$$F_y = \frac{27,11 \cdot 10^3}{4,96 \cdot 10^4} \cdot 40 = 21,86 \text{ kN}$$

$$T_{\max} = \sqrt{54,66^2 + (1,52 + 21,86)^2} = 59,45 \text{ kN}$$

$$A_{\min} = \frac{59,45 \cdot 10^3}{2 \cdot 210} = 141,55 \text{ mm}^2$$

$$d = 13,42 \text{ mm}$$

Választott szegecs $\varnothing 14 \text{ mm}$.

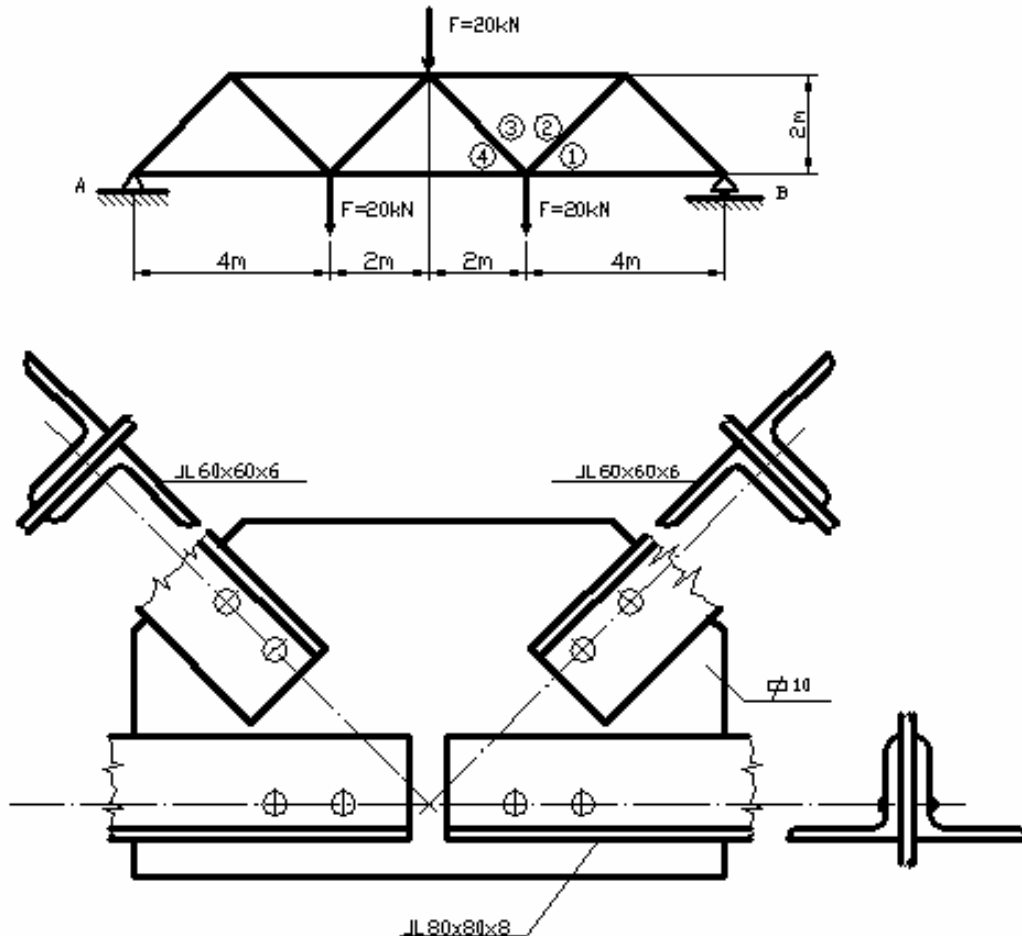
$$p_{\max} = \frac{59,45 \cdot 10^3}{10,8 \cdot 14} = 386,57 \text{ MPa}$$

3.2.7.

Ellenőrizze a rácsos tartó megadott csomópontjainak szegecskapcsolatát.

A szegecs átmérője: $\varnothing 18$ mm

$$\tau_{\text{meg}} = 210 \text{ MPa} \quad p_{\text{meg}} = 420 \text{ MPa}$$



3.10.ábra

Megoldás

$$S_1 = 30 \text{ kN}$$

$$S_2 = 42,43 \text{ kN} \oplus$$

$$S_3 = -14,14 \text{ kN}$$

$$S_4 = 70 \text{ kN} \oplus$$

$$t_{4\text{max}} = \frac{70 \cdot 10^3}{2 \cdot 2 \cdot \frac{18^2 p}{4}} = 68,77 \text{ MPa}$$

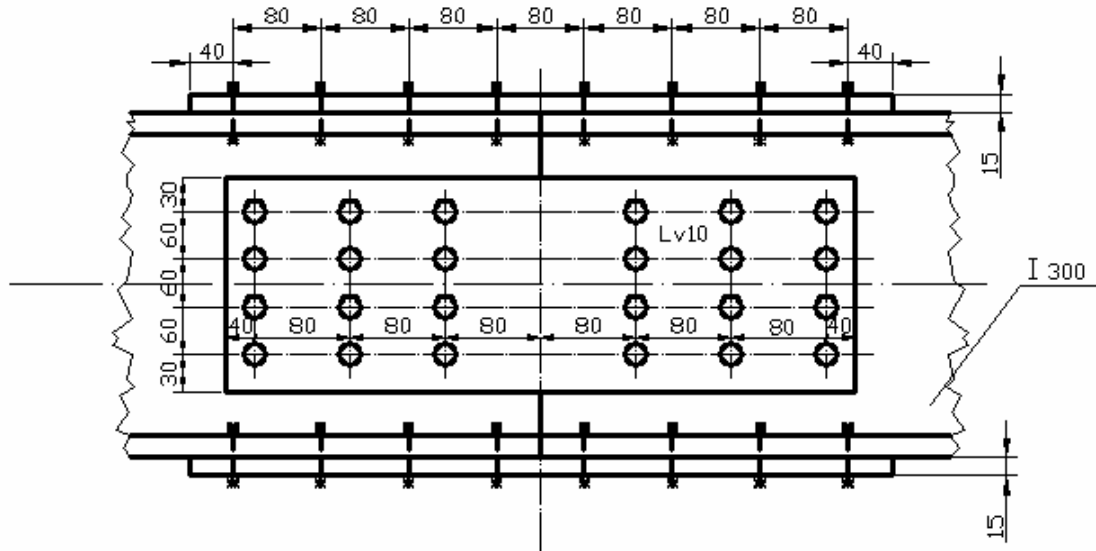
$$p_{\text{max}} = \frac{70 \cdot 10^3}{18 \cdot 10 \cdot 2} = 194,4 \text{ MPa}$$

3.2.8.

Ellenőrizze az I 300-as tartót, ha csavarozott kapcsolattal oldjuk meg a toldást.

A tartó terhelése a toldás helyén: $M = 50 \text{ kNm}$; $F_y = 5 \text{ kN}$

A csavarok anyaga 5.6 $\tau_{\text{meg}} = 210 \text{ MPa}$; $p_{\text{meg}} = 420 \text{ MPa}$



3.11.ábra

Megoldás:

$$M_g = 8,8 \text{ kNm} \quad M_{\text{öv}} = 41,2 \text{ kNm}$$

Gerinccsavarok

$$Y = \frac{5}{12} = 0,42 \text{ kN}$$

$$\sum r_i^2 = 1,052 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

$$F_x = 7,528 \text{ kN} \quad F_y = 6,692 \text{ kN}$$

$$T_{\text{max}} = \sqrt{7,528^2 + (6,692 + 0,42)^2} = 10,36 \text{ kN}$$

$$A_{\text{min}} = \frac{10,36 \cdot 10^3}{2 \cdot 210} = 24,67 \text{ mm}^2$$

$$d_g = 5,6 \text{ mm} \quad \text{Választott csavar M6-os.}$$

$$p_{\text{max}} = \frac{10,36 \cdot 10^3}{6 \cdot 10,8} = 159,87 \text{ MPa}$$

Övcsavarok

$$T_{\text{max}} = \frac{41,2}{0,3} = 137,3 \text{ kN}$$

$$T_{\text{max}_1} = \frac{137,3}{8} = 17,17 \text{ kN}$$

$$A_{\min} = \frac{17,17 \cdot 10^3}{210} = 81,76 \text{ mm}^2 \quad d_{\text{öv}} = 10,2 \text{ mm}$$

Választott csavar M12-es.

$$p_{\text{öv max}} = \frac{17,17 \cdot 10^3}{12 \cdot 15} = 95,39 \text{ MPa}$$

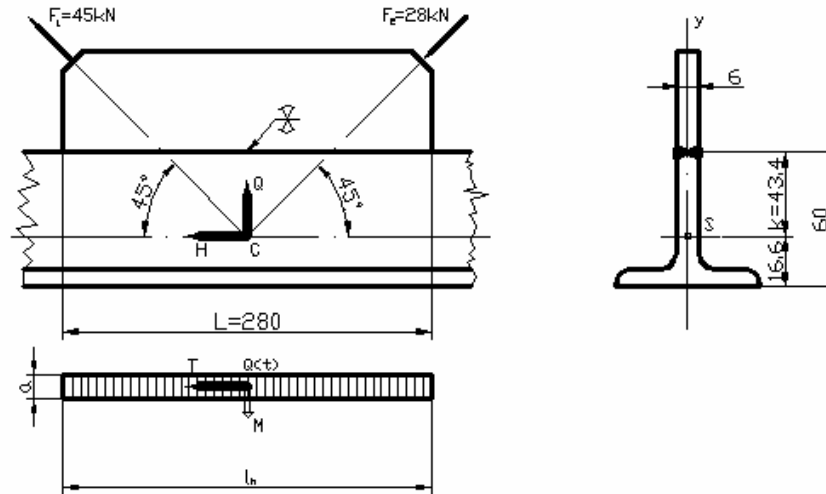
4. HEGESZTETT KAPCSOLATOK MÉRETEZÉSE

4.1. Tompavarratos kapcsolatok

4.1.1. Mintapélda

Ellenőrizzük a csomólemez III. osztályú X varratát. A szerkezet anyaga S235JR

A varrat határfeszültsége: $\sigma_H = 200 \text{ MPa}$



4.1. ábra

A varrat hasznos méretei:

$$a = v_{\min} = 6 \text{ mm}$$

$$l_h = L - 2\delta = L - 2a = 280 - 12 = 268 \text{ mm}$$

A varrat igénybevétele:

$$H = (F_1 + F_2) \cos 45^\circ = (45 + 28) \cdot 0,707 = 51,62 \text{ kN}$$

$$Q = (F_1 - F_2) \sin 45^\circ = (45 - 28) \cdot 0,707 = 12,02 \text{ kN}$$

Mivel a „C” csomópont a varrat hossztengeyétől $k = 43,4 \text{ mm}$ külpontossággal helyezkedik el, így a varrat igénybevételei:

$$M = k \cdot H = 0,0434 \cdot 51,62 = 2,24 \text{ kNm nyomaték}$$

$$T = H = 51,62 \text{ kN nyíróerő, illetve}$$

$$Q = 12,02 \text{ kN húzóerő}$$

A varratban fellépő feszültségek

Húzó:

$$s_{\perp}^I = \frac{Q}{a \cdot l_h} = \frac{12,02 \cdot 10^3}{6 \cdot 268} = 7,5 \text{ N/mm}^2 = 7,5 \text{ MPa}$$

Hajlító:

$$s_{\perp}^{\parallel} = \frac{M}{\frac{a \cdot l_h^2}{6}} = \frac{2,24 \cdot 10^6}{\frac{6 \cdot 268^2}{6}} = 31,2 \text{ N/mm}^2 = 31,2 \text{ MPa}$$

Nyíró:

$$t_{\parallel} = 1,5 \frac{T}{a \cdot l_h} = 1,5 \cdot \frac{51,62 \cdot 10^3}{6 \cdot 268} = 48,2 \text{ N/mm}^2 = 48,2 \text{ MPa}$$

A varratban fellépő maximális feszültség:

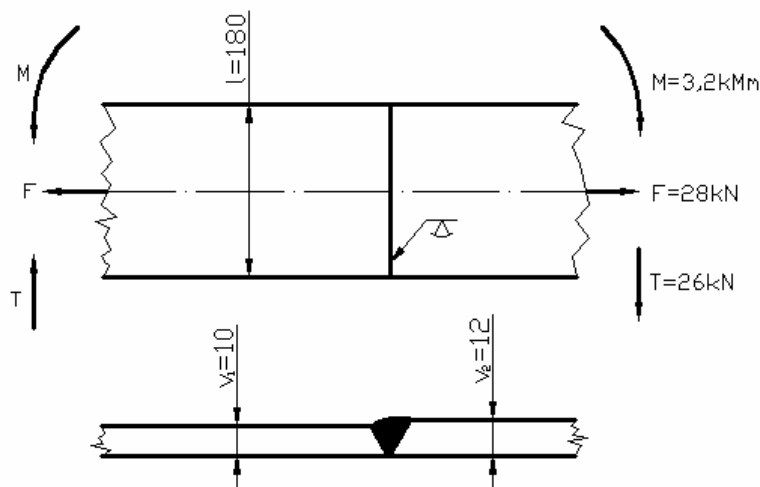
$$s_r = \sqrt{(s_{\perp}^{\parallel} + s_{\perp}^{\perp})^2 + 2p_{\parallel}^2} = \sqrt{(7,5 + 31,2)^2 + 2 \cdot 48,2^2} = 78,38 \text{ MPa}$$

$$s_r = 78,38 \text{ MPa} < s_H = 200 \text{ MPa}$$

Tehát megfelel!

4.1.2. Feladatok

4.1.2.1. Két különböző vastagságú lemezt gyökutánhegesztés nélküli III. osztályú tompavarrattal kötünk össze. Ellenőrizzük a varratot, ha a varrat határfeszültsége: $\sigma_H = 200 \text{ MPa}$



4.2. ábra

Megoldás

$$a = 0,8 \cdot v_1 = 8 \text{ mm}$$

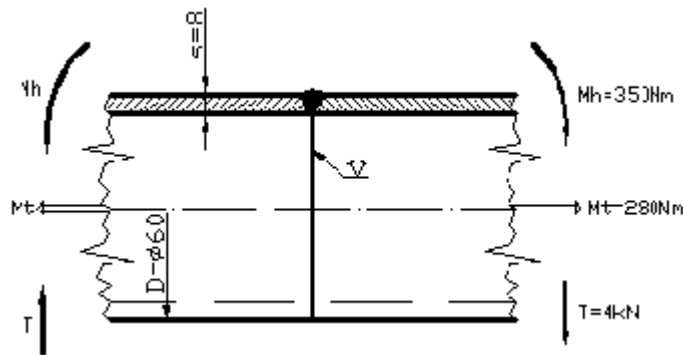
$$l_h = 180 - 2 \cdot 8 = 164 \text{ mm}$$

$$s_{\perp}^{\perp} = \frac{28 \cdot 10^3}{8 \cdot 164} = 21,3 \text{ MPa} \quad s_{\perp}^{\parallel} = \frac{3,2 \cdot 10^6}{\frac{8 \cdot 164^2}{6}} = 89,23 \text{ MPa}$$

$$t_{\parallel} = 1,5 \cdot \frac{26 \cdot 10^3}{8 \cdot 164} = 29,73 \text{ MPa}$$

$$s_r = \sqrt{(21,3 + 89,23)^2 + 2 \cdot 29,73^2} = 118,26 \text{ MPa}$$

4.1.2.2. A vázolt cső jelzett keresztmetszetében gyökutánhegesztés nélküli III. osztályú V varrattal van toldva. Ellenőrizzük a varratot az adott igénybevételre, ha a varratra a határfe-szültség: $\sigma_H = 200 \text{ MPa}$



4.3. ábra

Megoldás

$$a = 0,8 \cdot s = 6,4 \text{ mm}$$

$$s_{\perp} = \frac{350 \cdot 10^3}{\frac{60^4 p}{64} - \frac{47,2^4 \cdot p}{64}} \cdot \frac{60}{2} = 26,75 \text{ MPa}$$

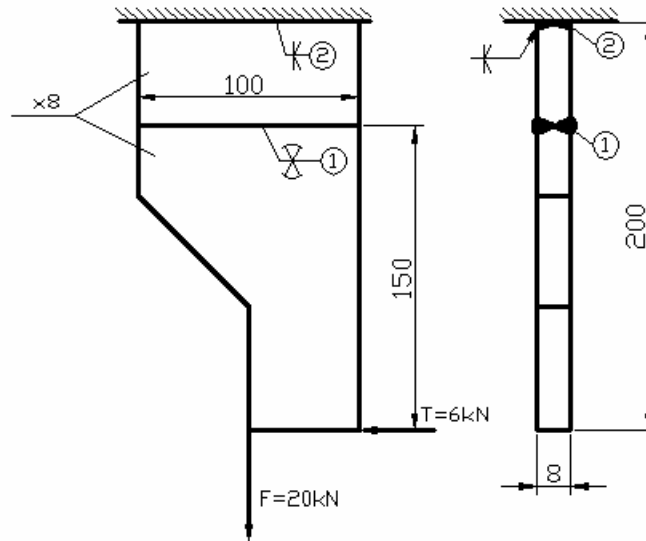
$$t_{\parallel}^I = \frac{4}{3} \cdot \frac{4 \cdot 10^3}{\frac{60^2 p}{4} - \frac{47,2^2 p}{4}} = 4,95 \text{ MPa}$$

$$t_{\parallel}^{II} = \frac{280 \cdot 10^3}{\frac{60^4 p}{32} - \frac{47,2^4 p}{32}} \cdot 30 = 10,69 \text{ MPa}$$

$$s_r = \sqrt{26,75^2 + 2(4,95 + 10,69)^2} = 34,71 \text{ MPa}$$

4.1.2.3. Ellenőrizze a lemezbekötések III. osztályú tompavarratait, ha a varratra a határfe-
szültség: $\sigma_H = 200 \text{ MPa}$

4.1.2.3.1.



4.4. ábra

Megoldás

1. jelű varrat.

$$a = 8 \text{ mm} \quad l_h = 100 - 16 = 84 \text{ mm}$$

$$F = 20 \text{ kN} \quad T = 6 \text{ kN} \quad M = 6 \cdot 0,15 = 0,9 \text{ kNm}$$

$$s_{\perp}^I = \frac{20 \cdot 10^3}{8 \cdot 84} = 29,76 \text{ MPa} \quad s_{\perp}^{II} = \frac{0,9 \cdot 10^6}{8 \cdot 84^2} = 95,66 \text{ MPa}$$

$$t_{\parallel} = 1,5 \cdot \frac{6 \cdot 10^3}{8 \cdot 84} = 13,39 \text{ MPa}$$

$$s_r = \sqrt{(29,76 + 95,66)^2 + 2 \cdot 13,39^2} = 126,84 \text{ MPa}$$

2. jelű varrat

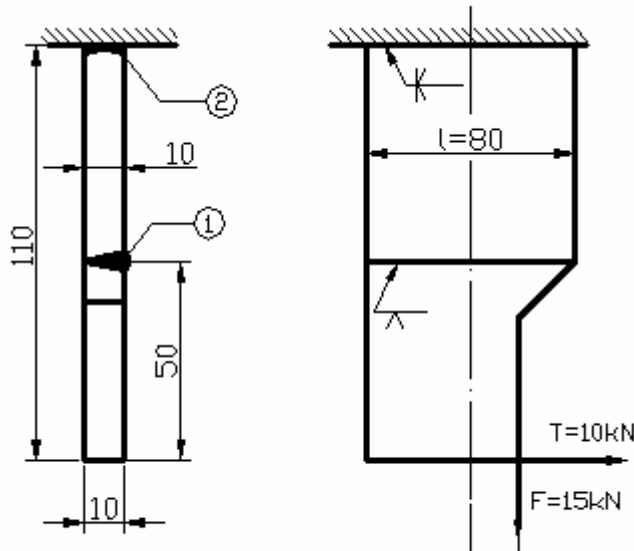
$$a = 8 \text{ mm} \quad l_h = 84 \text{ mm}$$

$$F = 20 \text{ kN} \quad T = 6 \text{ kN} \quad M = 1,2 \text{ kNm}$$

$$s_{\perp}^I = \frac{20 \cdot 10^3}{8 \cdot 84} = 29,76 \text{ MPa} \quad s_{\perp}^{II} = \frac{1,2 \cdot 10^6}{8 \cdot 84^2} = 127,55 \text{ MPa}$$

$$t_{\parallel} = \frac{6 \cdot 10^3}{8 \cdot 84} = 8,93 \text{ MPa}$$

$$s_r = \sqrt{(29,76 + 127,55)^2 + 2 \cdot 8,93^2} = 157,82 \text{ MPa}$$



4.5. ábra

Megoldás

1. jelű varrat

$$a = 8 \text{ mm}$$

$$l_h = 64 \text{ mm}$$

$$F = 15 \text{ kN}$$

$$T = 10 \text{ kN}$$

$$M = 350 \text{ kNmm}$$

$$s_{\perp}^I = \frac{15 \cdot 10^3}{8 \cdot 64} = 29,3 \text{ MPa}$$

$$s_{\perp}^{II} = \frac{350 \cdot 10^3}{\frac{8 \cdot 64^2}{6}} = 64,1 \text{ MPa}$$

$$t_{\parallel} = 1,5 \cdot \frac{10 \cdot 10^3}{8 \cdot 64} = 29,3 \text{ MPa}$$

$$s_r = \sqrt{(29,3 + 64,1)^2 + 2 \cdot 29,3^2} = 102,2 \text{ MPa}$$

2. jelű varrat

$$a = 10 \text{ mm}$$

$$l_h = 60 \text{ mm}$$

$$F = 15 \text{ kN}$$

$$T = 10 \text{ kN}$$

$$M = 950 \text{ kNmm}$$

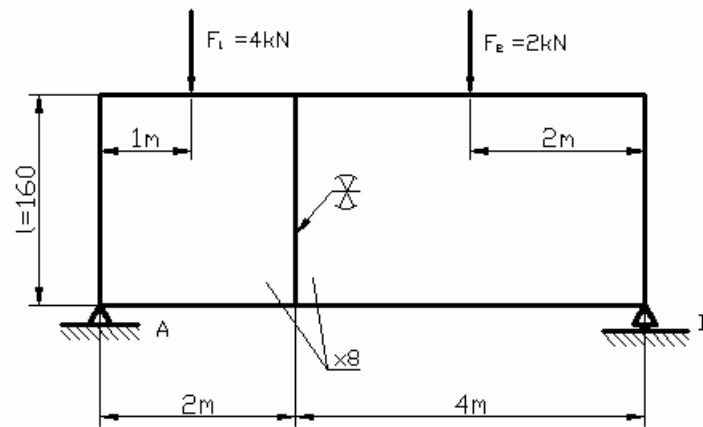
$$s_{\perp}^I = \frac{15 \cdot 10^3}{10 \cdot 60} = 25 \text{ MPa}$$

$$s_{\perp}^{II} = \frac{950 \cdot 10^3}{\frac{10 \cdot 60^2}{6}} = 158,3 \text{ MPa}$$

$$t_{\parallel} = \frac{10 \cdot 10^3}{10 \cdot 60} = 16,67 \text{ MPa}$$

$$s_r = \sqrt{(25 + 158,3)^2 + 2 \cdot 16,67^2} = 184,8 \text{ MPa}$$

4.1.2.3.3.



4.6. ábra

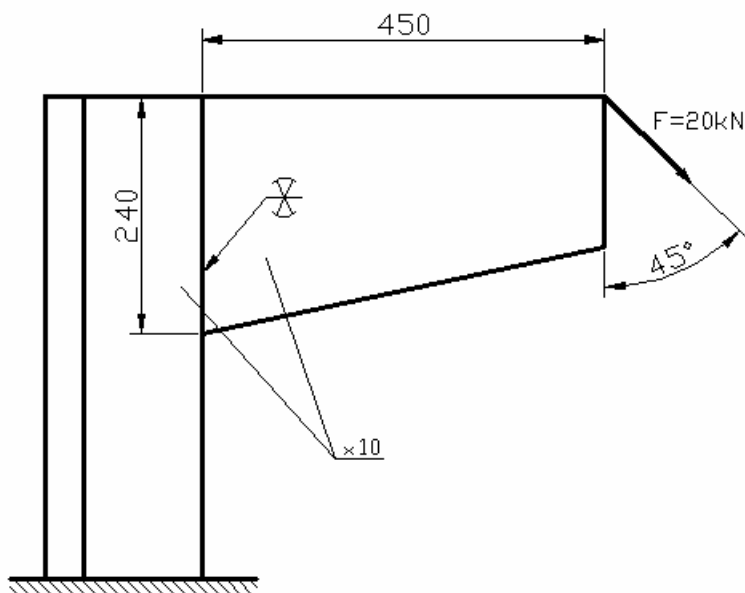
Megoldás

$$M_{\max} = 4 \text{ kNm} \quad a = 8\text{mm} \quad I_h = 144\text{mm}^4$$

$$s_{\perp} = \frac{4 \cdot 10^6}{\frac{8 \cdot 144^2}{6}} = 144,6 \text{ MPa} = s_r$$

4.1.2.4. Ellenőrizze a lemeztoldások III. osztályú tompavarratát, ha a varratok gyökután-hegesztés nélkül készültek és a varratra a határfeszültség: $\sigma_H = 200 \text{ MPa}$

4.1.2.4.1.



4.7. ábra

Megoldás

$$a = 10 \text{ mm}$$

$$l_h = 220 \text{ mm}$$

$$F = 14,14 \text{ kN}$$

$$T = 14,14 \text{ kN}$$

$$M = 8,06 \text{ kNm}$$

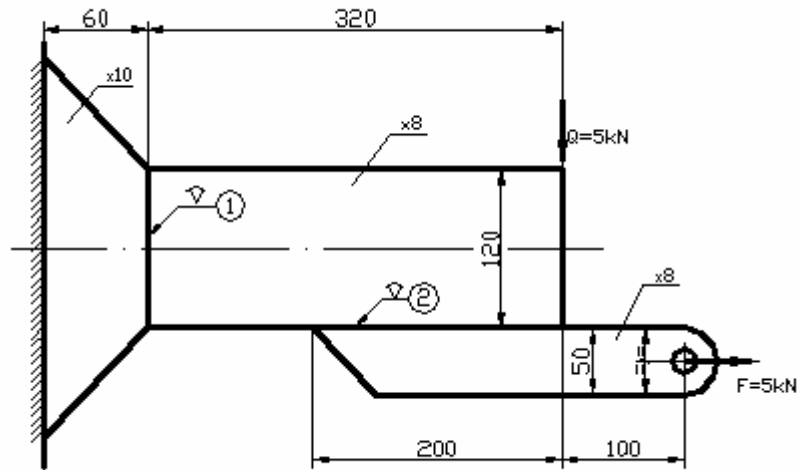
$$s_{\perp}^I = \frac{14,14 \cdot 10^3}{10 \cdot 220} = 6,42 \text{ MPa}$$

$$s_{\perp}^{II} = \frac{8,06 \cdot 10^6}{10 \cdot 220^2} = 99,9 \text{ MPa}$$

$$t_{\parallel} = 1,5 \frac{14,14 \cdot 10^3}{10 \cdot 220} = 9,64 \text{ MPa}$$

$$s_r = \sqrt{(6,42 + 99,9)^2 + 2 \cdot 9,64^2} = 107,2 \text{ MPa}$$

4.1.2.4.2.



4.8. ábra

Megoldás

1. varrat

$$a = 6,4 \text{ mm}$$

$$l_h = 107,2 \text{ mm}$$

$$F = 5 \text{ kN}$$

$$T = 5 \text{ kN}$$

$$M = 1,175 \text{ kNm}$$

$$s_{\perp}^I = \frac{5 \cdot 10^3}{6,4 \cdot 107,2} = 7,29 \text{ MPa}$$

$$s_{\perp}^{II} = \frac{1,175 \cdot 10^6}{\frac{6,4 \cdot 107,2^2}{6}} = 95,86 \text{ MPa}$$

$$t_{\parallel} = 1,5 \cdot \frac{5 \cdot 10^3}{6,4 \cdot 107,2} = 10,94 \text{ MPa}$$

$$s_r = \sqrt{(7,29 + 95,86)^2 + 2 \cdot 10,94^2} = 104,3 \text{ MPa}$$

2. jelű varrat

$$a = 6,4 \text{ mm}$$

$$l_h = 187,2 \text{ mm}$$

$$T = 5 \text{ kN}$$

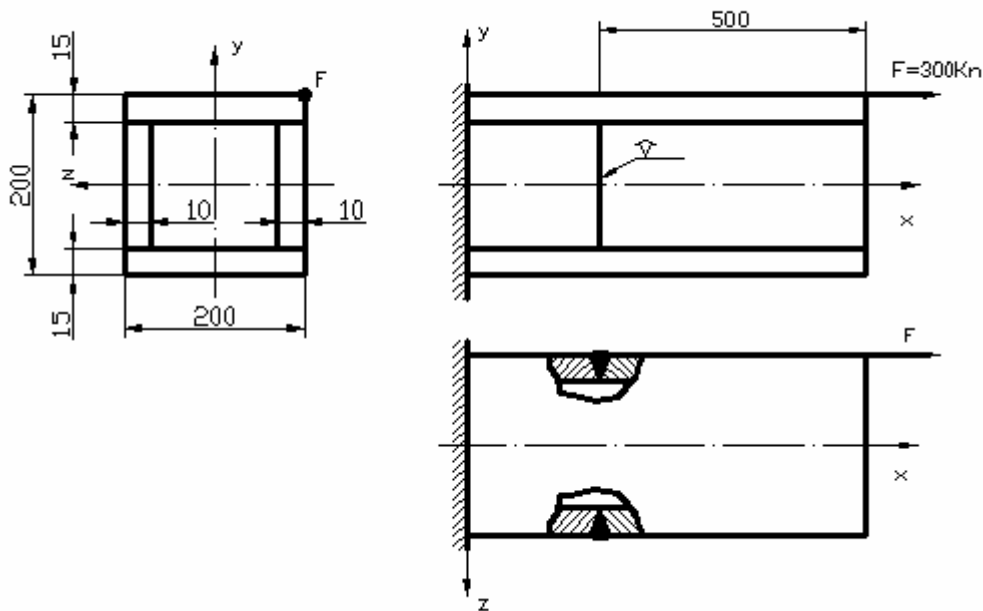
$$M = 0,125 \text{ kNm}$$

$$s_{\perp} = \frac{0,125 \cdot 10^6}{\frac{6,4 \cdot 187,2^2}{6}} = 3,34 \text{ MPa}$$

$$t_{\parallel} = 1,5 \cdot \frac{5 \cdot 10^3}{6,4 \cdot 187,2} = 6,26 \text{ MPa}$$

$$s_r = \sqrt{3,34^2 + 2 \cdot 6,26^2} = 9,46 \text{ MPa}$$

4.1.2.4.3.



4.9. ábra

Megoldás

$a=8\text{mm}$

$$A = 2 \cdot 15 \cdot 200 + 2 \cdot 8 \cdot 170 = 8720 \text{ mm}^2$$

$$I_z = \frac{200^4}{12} - \frac{184 \cdot 170^3}{12} = 5,8 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$I_y = \frac{200^4}{12} - \frac{170 \cdot 184^3}{12} = 4,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$F = 300 \text{ kN}$$

$$M_z = 30 \text{ kNm}$$

$$M_y = 30 \text{ kNm}$$

$$s_{\perp}^I = \frac{300 \cdot 10^3}{8720} = 34,4 \text{ MPa}$$

$$s_{\perp}^{II} = \frac{30 \cdot 10^6}{5,8 \cdot 10^7} \cdot 85 = 43,9 \text{ MPa}$$

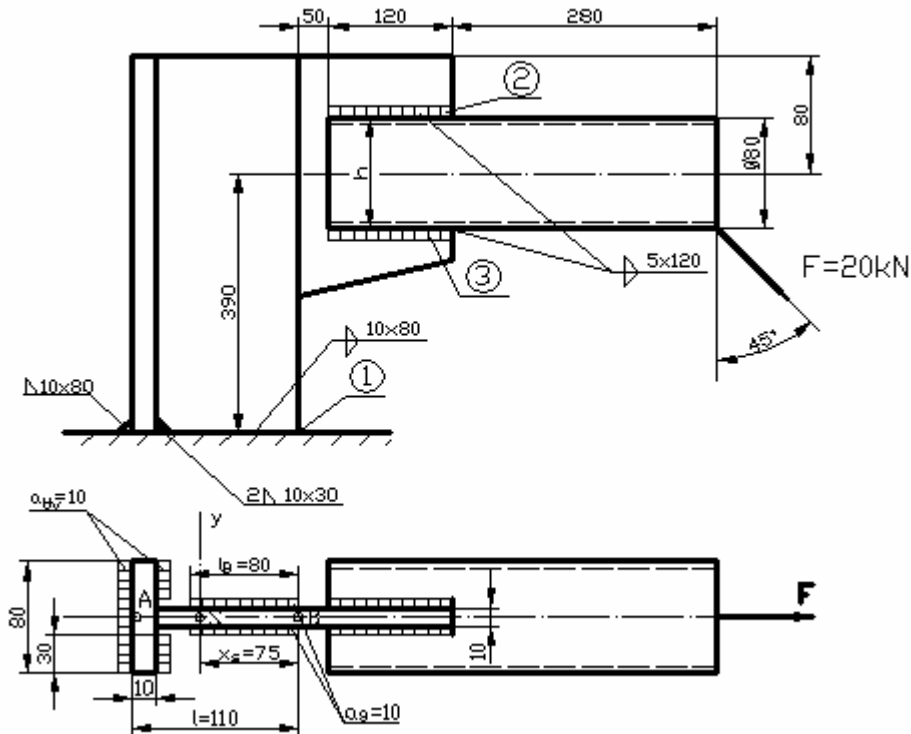
$$s_{\perp}^{III} = \frac{30 \cdot 10^6}{4,5 \cdot 10^7} \cdot 100 = 66,67 \text{ MPa}$$

$$s_r = s_{\perp}^I + s_{\perp}^{II} + s_{\perp}^{III} = 144,97 \text{ MPa}$$

4.2. Sarokvarratos kapcsolatok

4.2.1. Mintapélda

Ellenőrizze a sarokvarratos kötés hegesztési varratait, ha a határfeszültség: $\sigma_H = 200 \text{ MPa}$



4.10. ábra

Az 1. jelű kapcsolat ellenőrzése:

Az ábrán megadott III. osztályú varrathosszak hasznos hosszának tekinthetők (a „T” szelvény a valóságban körbehegesztett)

A kapcsolat igénybevétele:

$$M = 0,525 \cdot 14,14 + 0,35 \cdot 14,14 = 12,37 \text{ kNm}$$

$$T_g = 14,14 \text{ kN (csak a gerincvarrat veszi fel)}$$

$$N = 14,14 \text{ kN}$$

A hegesztett T szelvény (alapanyag) másodrendű nyomatéka a súlyponti y–y tengelyre.

$$I_y = \frac{10 \cdot 100^3}{12} + 10 \cdot 100 \cdot (75 - 50)^2 + \frac{80 \cdot 10^3}{12} + 80 \cdot 10 \cdot (110 - 75 - 5)^2 = 2,19 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

A hajlítónyomatékból az alapanyag szélső szálaiban a feszültség:

$$\sigma_A = \frac{M}{I_y} \cdot e_1 = \frac{1,237 \cdot 10^7}{2,19 \cdot 10^6} \cdot 35 = 197,69 \text{ N/mm}^2 = 197,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_B = -\frac{M}{I_y} \cdot e_2 = -\frac{1,237 \cdot 10^7}{2,19 \cdot 10^6} \cdot 75 = -423,63 \text{ N/mm}^2 = -423,63 \text{ MPa}$$

Így az övben és gerincben ébredő erőhatás

$$F_{\text{öv}} = s_A \cdot A_{\text{öv}} = 197,69 \cdot 10 \cdot 80 = 1581552 \text{ N} = 158,15 \text{ kN}$$

$$F_g = -s_B \cdot A_g = -423,63 \cdot 10 \cdot 100 = -423.630 \text{ N} = -423,63 \text{ kN} \quad (\text{nyomott oldal})$$

Az „N” normálerő a teljes varratot terheli

$$r_{\perp}^I = \frac{14,1 \cdot 10^3}{10(80 + 2 \cdot 30) + 2 \cdot 10 \cdot 80} = -4,7 \text{ MPa}$$

$$s_{\perp}^I = t_{\perp}^I = \frac{r_{\perp}^I}{\sqrt{2}} = -3,3 \text{ MPa}$$

Az öv varrataiban fellépő feszültségek: (M_y nyomatékból)

$$r_{\perp\text{öv}}^{\text{II}} = \frac{F_{\text{öv}}}{A_{\text{öv}}} = \frac{1,58 \cdot 10^5}{10(80 + 2 \cdot 30)} = 112,8 \text{ N/mm}^2 = 112,8 \text{ MPa}$$

$$s_{\perp\text{öv}}^{\text{II}} = t_{\perp\text{öv}}^{\text{II}} = \frac{r_{\perp\text{öv}}^{\text{II}}}{\sqrt{2}} = 80,0 \text{ MPa}$$

Így az öv varrataiban fellépő eredő feszültség:

$$s_{r\text{öv}} = \sqrt{(s_{\perp}^I + s_{\perp\text{öv}}^{\text{II}})^2 + 2(t_{\perp}^I + t_{\perp\text{öv}}^{\text{II}})^2} = \sqrt{(-3,3 + 80,00)^2 + 2(-3,3 + 80,00)^2} = 132,8 \text{ MPa}$$

$\sigma_r < \sigma_H$ Tehát az övvarratok megfelelnek!

A gerinc varrataiban fellépő feszültség: (M_y nyomatékból)

$$r_{\perp g}^{\text{III}} = -\frac{F_g}{A_{g v}} = -\frac{4,23 \cdot 10^5}{2 \cdot 80 \cdot 10} = -264,76 \text{ N/mm}^2 = -264,76 \text{ MPa}$$

$$s_{\perp g}^{\text{III}} = t_{\perp g}^{\text{III}} = \frac{r_{\perp g}^{\text{III}}}{\sqrt{2}} = -187,8 \text{ MPa}$$

$$t_{\parallel g} = \frac{T_g}{A_{g v}} = \frac{14,1 \cdot 10^3}{2 \cdot 80 \cdot 10} = 8,8 \text{ N/mm}^2 = 8,8 \text{ MPa} \quad (\text{Nyíróerőből})$$

Így a gerinc varrataiban fellépő eredő feszültség:

$$\begin{aligned} s_{r g} &= \sqrt{(s_{\perp}^I + s_{\perp g}^{\text{III}})^2 + 2(t_{\perp}^I + t_{\perp g}^{\text{III}})^2 + 2t_{\parallel g}^2} = \\ &= \sqrt{(-3,3 - 187,8)^2 + 2(-3,3 - 187,8)^2 + 2 \cdot 8,8^2} = 331,23 \text{ MPa} > s_H \end{aligned}$$

Tehát a gerincvarratok az adott igénybevételekre nem felelnek meg.

Növeljük meg a „T” szelvény „I” méretét 200 mm-re, így az „I_g” gerincvarrat hasznos hosszúsága 160 mm-re nő. Ezzel a megadott x_s értéke 125 mm-re növekszik.

Így az igénybevételek:

$$M_y = 0,575 \cdot 14,14 + 0,35 \cdot 14,14 = 13,08 \text{ kNm}$$

$$T_g = 14,14 \text{ kN}$$

$$N = 14,14 \text{ kN}$$

A hegesztett T szelvény (alapanyag) másodrendű nyomatóka súlyponti y - y tengelyre.

$$I_y = \frac{10 \cdot 190^3}{12} + 10 \cdot 190 \cdot 30^2 + \frac{80 \cdot 10^3}{12} + 80 \cdot 10 \cdot 70^2 = 1,14 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

Az alapanyag szélső szálaiban a fellépő feszültségek:

$$s_A = \frac{1,308 \cdot 10^7}{1,14 \cdot 10^7} \cdot 75 = 86,05 \text{ N/mm}^2 = 86,05 \text{ MPa}$$

$$s_B = -\frac{1,308 \cdot 10^7}{1,14 \cdot 10^7} \cdot 125 = -143,42 \text{ N/mm}^2 = -143,42 \text{ MPa}$$

A fellépő erőhatások:

$$F_{\text{öv}} = s_A \cdot A_{\text{öv}} = 86,05 \cdot 10 \cdot 80 = 68840 \text{ N} = 68,8 \text{ kN}$$

$$F_g = -s_b \cdot A_g = -143,42 \cdot 10 \cdot 190 = -272498 \text{ N} = 272,5 \text{ kN}$$

Az „N” normálerőből fellépő feszültség:

$$r_{\perp}^I = \frac{14,14 \cdot 10^3}{10(80 + 2 \cdot 30) + 2 \cdot 160 \cdot 10} = -3,08 \text{ N/mm}^2 = -3,1 \text{ MPa}$$

$$s_{\perp}^I = t_{\perp}^I = \frac{r_{\perp}^I}{\sqrt{2}} = -2,18 \text{ MPa}$$

Az öv varrataiban fellépő feszültség:

$$r_{\perp \text{öv}}^{\text{II}} = \frac{F_{\text{öv}}}{A_{\text{öv}}} = \frac{68,8 \cdot 10^3}{10(80 + 2 \cdot 30)} = 49,14 \text{ N/mm}^2 = 49,14 \text{ MPa}$$

$$s_{\perp \text{öv}}^{\text{II}} = t_{\perp \text{öv}}^{\text{II}} = \frac{r_{\perp \text{öv}}^{\text{II}}}{\sqrt{2}} = 34,85 \text{ MPa}$$

Az öv varrataiban fellépő eredő feszültség:

$$s_{r \text{öv}} = \sqrt{(s_{\perp}^I + s_{\perp \text{öv}}^{\text{II}})^2 + 2(t_{\perp}^I + t_{\perp \text{öv}}^{\text{II}})^2} = \sqrt{(-2,18 + 34,85)^2 + 2(-2,18 + 34,85)^2} = 56,58 \text{ MPa}$$

$$s_{r \text{öv}} = 56,58 \text{ MPa} < s_h = 200 \text{ MPa} . \quad \text{Tehát az övvarratok megfelelnek!}$$

A gerinc varrataiban fellépő feszültségek:

$$r_{\perp g}^{\text{III}} = \frac{F_g}{A_g} = -\frac{2,725 \cdot 10^5}{2 \cdot 160 \cdot 10} = -85,16 \text{ N/mm}^2 = -85,16 \text{ MPa}$$

$$s_{\perp g}^{\text{III}} = t_{\perp g}^{\text{III}} = \frac{r_{\perp g}^{\text{III}}}{\sqrt{2}} = -60,39 \text{ MPa}$$

$$t_{\parallel g} = \frac{1,414 \cdot 10^4}{2 \cdot 160 \cdot 10} = 4,42 \text{ N/mm}^2 = 4,42 \text{ MPa}$$

A gerinc varrataiban fellépő eredő feszültség:

$$s_r = \sqrt{(s_{\perp}^I + s_{\perp g}^{\text{III}})^2 + 2(t_{\perp}^I + t_{\perp g}^{\text{III}})^2} + 2 \cdot t_{\parallel g}^2 = \\ = \sqrt{(-2,18 - 60,39)^2 + 2(-2,18 - 60,39)^2} + 2 \cdot 4,42^2 = 108,19 \text{ MPa}$$

$\sigma_r < \sigma_H$. Tehát így már a bekötés megfelel.

A 2-es és a 3-as jelű varratok ellenőrzése.

A hasznos varrathossz:

$$l_h = l - 2a = 120 - 10 = 110 \text{ mm}$$

A varratok igénybevétele:

$$M = 0,34 \cdot 14,1 - 0,04 \cdot 14,1 = 4,23 \text{ kNm}$$

A nyomatékból a varratban fellépő nyíróerő:

$$T_o = \frac{M}{h} = \frac{4,23 \cdot 10^6}{80} = 52875 \text{ N} = 52,9 \text{ kN}$$

A terhelés vízszintes komponensének egy varratra jutó hatása:

$$X = \frac{14,14 \cdot 10^3}{4} = 3535 \text{ N}$$

A terhelés függőleges komponensének egy varratra jutó hatása:

$$Y = \frac{14,14 \cdot 10^3}{4} = 3535 \text{ N}$$

Így a feszültség:

A 2. jelű varrat:

$$t_{||} = \frac{\frac{T_o}{2} + X}{a \cdot l_h} = \frac{\frac{5,29}{2} \cdot 10^4 + 3,53 \cdot 10^3}{5 \cdot 110} = 54,45 \text{ MPa}$$

$$r_{\perp} = \frac{Y}{a \cdot l_h} = \frac{3,53 \cdot 10^3}{5 \cdot 110} = 6,42 \text{ N/mm}^2 = 6,42 \text{ MPa}$$

$$s_{\perp} = t_{\perp} = \frac{r_{\perp}}{\sqrt{2}} = 4,55 \text{ MPa}$$

$$s_r = \sqrt{s_{\perp}^2 + 2t_{\perp}^2 + 2t_{||}^2} = \sqrt{4,55^2 + 2 \cdot 4,55^2 + 2 \cdot 54,45^2}$$

$$s_r = 77,4 \text{ MPa} < s_H = 200 \text{ MPa} \quad \text{Tehát megfelel!}$$

A 3. jelű varrat:

$$t_{||} = \frac{\frac{T_o}{2} - X}{a \cdot l_h} = \frac{\frac{5,29}{2} \cdot 10^4 - 3,53 \cdot 10^3}{5 \cdot 110} = 41,67 \text{ MPa}$$

$$r_{\perp} = 6,42 \text{ MPa}$$

$$s_{\perp} = t_{\perp} = \frac{r_{\perp}}{\sqrt{2}} = 4,55 \text{ MPa}$$

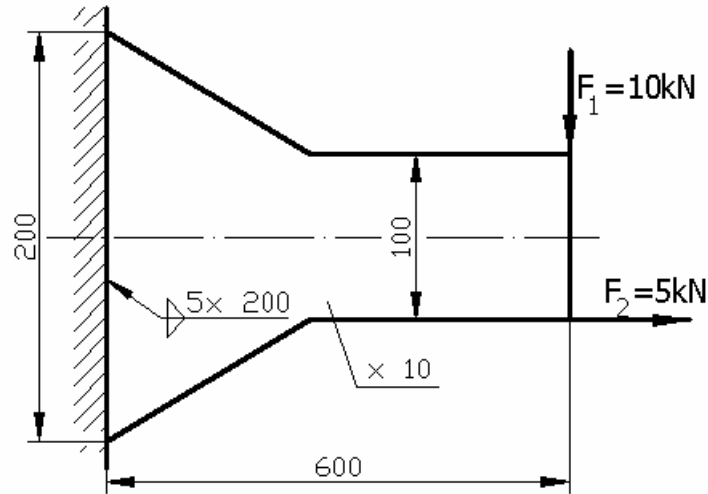
$$s_r = \sqrt{s_{\perp}^2 + 2t_{\perp}^2 + 2t_{||}^2} = \sqrt{4,55^2 + 2 \cdot 4,55^2 + 2 \cdot 41,67^2} = 58,93 \text{ MPa}$$

Tehát megfelel!

4.2.2. Feladatok

4.2.2.1. Határozza meg a III. osztályú sarokvarratokban ébredő feszültségeket.

4.2.2.1.1.



4.11. ábra

Megoldás

$$F = 5 \text{ kN} \quad T = 10 \text{ kN} \quad M = 5,75 \text{ kNm}$$

$$a = 5 \text{ mm} \quad l_h = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$$

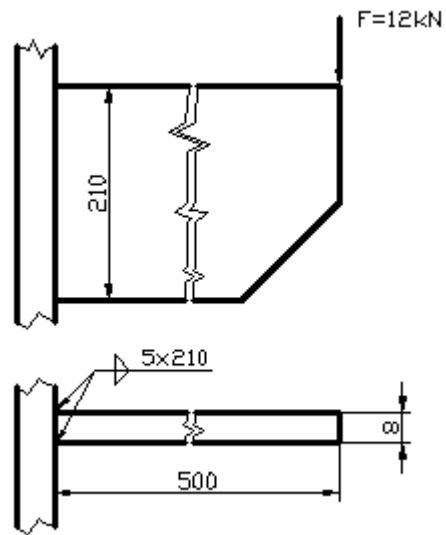
$$r_{\perp}^I = \frac{5 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 190} = 2,63 \text{ MPa} \quad s_{\perp}^I = t_{\perp}^I = \frac{r_{\perp}^I}{\sqrt{2}} = 1,86 \text{ MPa}$$

$$r_{\perp}^{II} = \frac{5,75 \cdot 10^6}{2 \cdot \frac{5 \cdot 190^2}{6}} = 95,57 \text{ MPa} \quad s_{\perp}^{II} = t_{\perp}^{II} = \frac{r_{\perp}^{II}}{\sqrt{2}} = 67,78 \text{ MPa}$$

$$t_{\parallel} = \frac{10 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 190} = 5,26 \text{ MPa}$$

$$s_r = \sqrt{(1,86 + 67,78)^2 + 2(1,86 + 67,78)^2 + 2 \cdot 5,26^2} = 120,84 \text{ MPa}$$

4.2.2.1.2.



4.12. ábra

Megoldás

$$T = 12 \text{ kN} \quad M = 6 \text{ kNm}$$

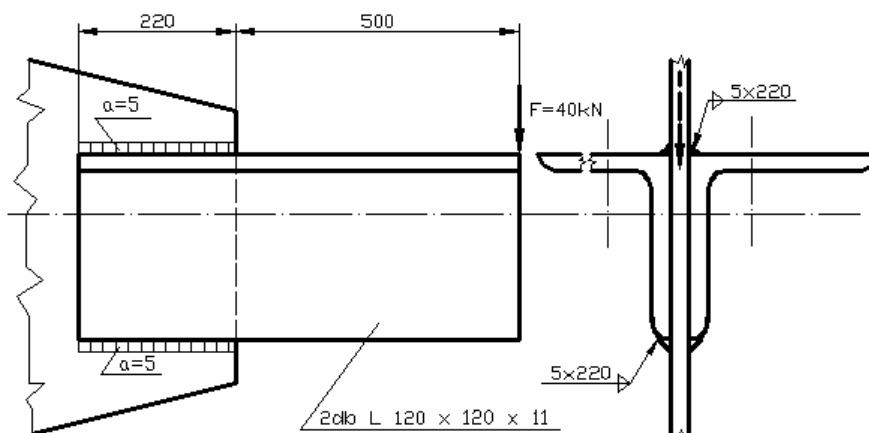
$$a = 5 \text{ mm} \quad l_h = 200 \text{ mm}$$

$$r_{\perp} = \frac{6 \cdot 10^6}{2 \cdot \frac{5 \cdot 200^2}{6}} = 90 \text{ MPa} \quad s_{\perp} = t_{\perp} = 63,83 \text{ MPa}$$

$$t_{\parallel} = \frac{12 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 200} = 6 \text{ MPa}$$

$$s_r = \sqrt{63,83^2 + 2 \cdot 63,83^2 + 2 \cdot 6^2} = 110,88 \text{ MPa}$$

4.2.2.1.3.



4.13. ábra

Megoldás

$$F = 40 \text{ kN} \quad (F_1 = 20 \text{ kN}) \quad M = 24,4 \text{ kNm} \quad (M_1 = 12,2 \text{ kNm})$$

$$a = 5 \text{ mm} \quad l_h = 220 - 10 = 210 \text{ mm}$$

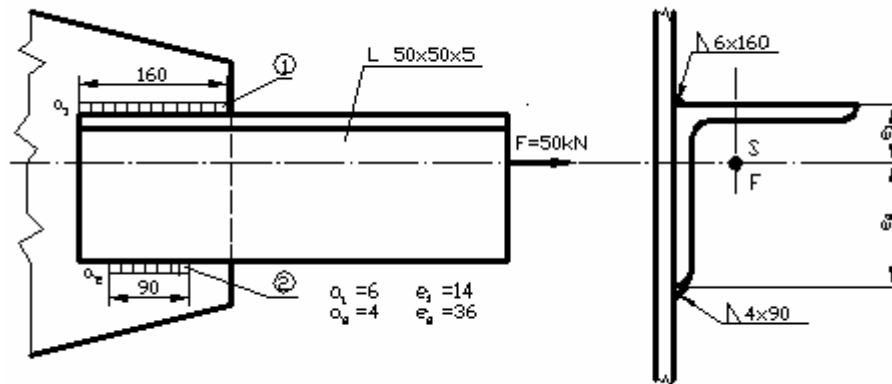
$$r_{\perp} = \frac{20 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 210} = 9,52 \text{ MPa} \quad s_{\perp} = t_{\perp} = \frac{r_{\perp}}{\sqrt{2}} = 6,75 \text{ MPa}$$

$$V = \frac{12,2 \cdot 10^3}{120} = 101,7 \text{ kN}$$

$$t_{\parallel} = \frac{101,7 \cdot 10^3}{5 \cdot 210} = 96,83 \text{ MPa}$$

$$s_r = \sqrt{6,75^2 + 2 \cdot 6,75^2 + 2 \cdot 96,83^2} = 137,43 \text{ MPa}$$

4.2.2.1.4



4.14. ábra

.Megoldás

$$T_1 = 36 \text{ kN} \quad T_2 = 14 \text{ kN} \quad M = 0,7 \text{ kNm}$$

$$1. \text{ varrat} \quad a_1 = 6 \text{ mm} \quad l_{h1} = 160 - 12 = 148 \text{ mm}$$

$$r_{\perp} = \frac{0,7 \cdot 10^6}{\frac{6 \cdot 148^2}{6}} = 31,96 \text{ MPa} \quad s_{\perp} = t_{\perp} = 22,67 \text{ MPa}$$

$$t_{\parallel} = \frac{36 \cdot 10^3}{6 \cdot 148} = 40,54 \text{ MPa}$$

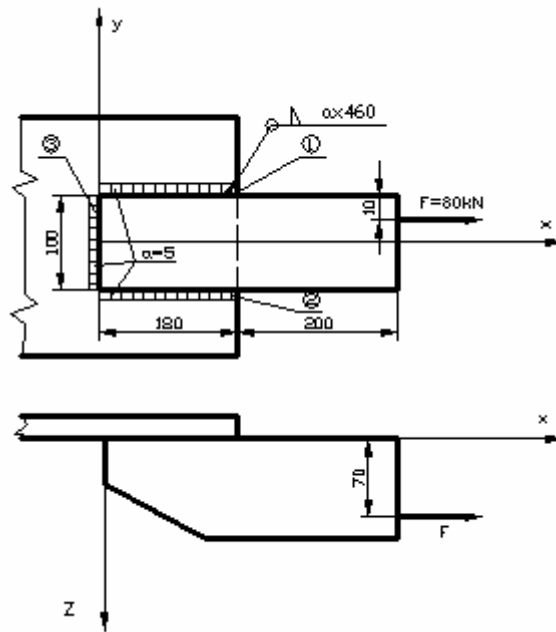
$$s_r = \sqrt{22,67^2 + 2 \cdot 22,67^2 + 2 \cdot 40,54^2} = 69,49 \text{ MPa}$$

$$2. \text{ varrat} \quad a_2 = 4 \text{ mm} \quad l_{h2} = 90 - 8 = 82 \text{ mm}$$

$$t_{\parallel} = \frac{14 \cdot 10^3}{4 \cdot 82} = 42,68 \text{ MPa}$$

$$s_r = \sqrt{2 \cdot 42,68^2} = 60,36 \text{ MPa}$$

4.2.2.1.5.



4.15. ábra

Megoldás

$$F_x = 80 \text{ kN} \quad M_y = 5,6 \text{ kNm} \quad M_z = 3,2 \text{ kNm}$$

$$1. \text{ varrat:} \quad a_1 = 5 \text{ mm} \quad l_{h1} = 180 - 10 = 170 \text{ mm}$$

$$r_{\perp} = \frac{5,6 \cdot 10^6}{2 \cdot \frac{5 \cdot 170^2}{6}} = 116,26 \text{ MPa} \quad s_{\perp} = t_{\perp} = \frac{r_{\perp}}{\sqrt{2}} = 82,46 \text{ MPa}$$

$$t_{\perp}^{\parallel} = \frac{80 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 170} = 47,06 \text{ MPa}$$

$$V = \frac{3,2}{0,1} = 32 \text{ kN}$$

$$t_{\parallel}^{\parallel} = \frac{32 \cdot 10^3}{5 \cdot 170} = 37,65 \text{ MPa}$$

$$s_{r1} = \sqrt{82,46^2 + 2 \cdot 82,46^2 + 2(47,06 + 37,65)^2} = 186,41 \text{ MPa}$$

$$2. \text{ varrat:} \quad a_2 = 5 \text{ mm} \quad l_{h2} = 180 - 10 = 170 \text{ mm}$$

$$r_{\perp} = 116,26 \text{ MPa} \quad s_{\perp} = t_{\perp} = 82,46 \text{ MPa}$$

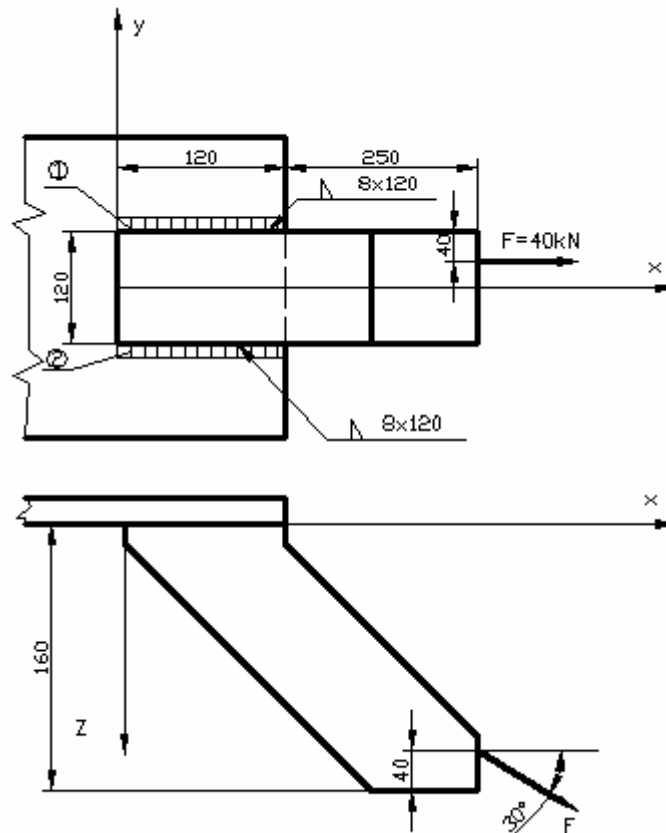
$$t_{\parallel}^{\perp} = 47,06 \text{ MPa}$$

$$t_{\parallel}^{\parallel} = -37,65 \text{ MPa}$$

$$s_{r2} = \sqrt{82,46^2 + 2(47,06 - 37,65)^2 + 2 \cdot 82,46^2} = 143,44 \text{ MPa}$$

$$3. \text{ varrat } d_{r3} = 0$$

4.2.2.1.6.



4.16. ábra

Megoldás

$$a = 8 \text{ mm} \quad l_h = 120 - 16 = 104 \text{ mm} \quad F_x = 34,64 \text{ kN} \quad F_z = 20 \text{ kN}$$

$$M_x = 0,4 \text{ kNm} \quad M_y = 2,04 \text{ kNm} \quad M_z = 0,69 \text{ kNm}$$

$$t_{\parallel}^I = \frac{34,64 \cdot 10^3}{2 \cdot 8 \cdot 104} = 20,82 \text{ MPa} \quad V = \frac{0,69 \cdot 10^3}{120} = 5,75 \text{ kN}$$

$$t_{\parallel}^{II} = \frac{5,75 \cdot 10^3}{8 \cdot 104} = 6,9 \text{ MPa} \quad Q = \frac{0,4 \cdot 10^3}{120} = 3,33 \text{ kN}$$

$$r_{\perp}^I = \frac{3,33 \cdot 10^3}{8 \cdot 104} = 4 \text{ MPa} \quad s_{\perp}^I = t_{\perp}^I = \frac{r_{\perp}^I}{\sqrt{2}} = 2,84 \text{ MPa}$$

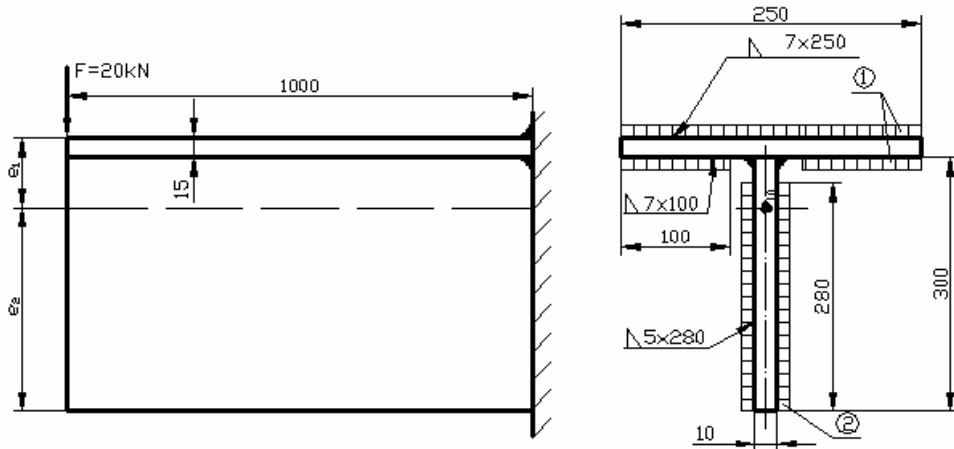
$$r_{\perp}^{II} = \frac{20 \cdot 10^3}{2 \cdot 8 \cdot 104} = 12 \text{ MPa} \quad s_{\perp}^{II} = t_{\perp}^{II} = \frac{r_{\perp}^{II}}{\sqrt{2}} = 8,52 \text{ MPa}$$

$$r_{\perp}^{III} = \frac{2,04 \cdot 10^6}{2 \cdot \frac{8 \cdot 104^2}{6}} = 70,73 \text{ MPa} \quad s_{\perp}^{III} = t_{\perp}^{III} = \frac{r_{\perp}^{III}}{\sqrt{2}} = 50,16 \text{ MPa}$$

$$s_{r,1} = \sqrt{(2,84 + 8,52 + 50,16)^2 + 2(2,84 + 8,52 + 50,16)^2 + 2(20,82 + 6,9)^2} = 113,5 \text{ MPa}$$

$$s_{r,2} = \sqrt{(-2,84 + 8,52 + 50,16)^2 + 2(-2,84 + 8,52 + 50,16)^2 + 2(20,82 + 6,9)^2} = 98,7 \text{ MPa}$$

4.2.2.1.7.



4.17. ábra

Megoldás

$$T = 20 \text{ kN}$$

$$M = 20 \text{ kNm}$$

$$I = 6,39 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$s_{\text{öv max}} = \frac{20 \cdot 10^6}{6,39 \cdot 10^7} \cdot 77,5 = 24,26 \text{ MPa}$$

$$s_{\text{g max}} = \frac{20 \cdot 10^6}{6,39 \cdot 10^7} \cdot 237,5 = 74,33 \text{ MPa}$$

$$F_{\text{öv}} = 15 \cdot 250 \cdot 24,26 = 9,09 \cdot 10^4 \text{ N} = 90,9 \text{ kN}$$

$$F_{\text{g}} = 10 \cdot 300 \cdot 74,33 = 2,23 \cdot 10^5 \text{ N} = 223 \text{ kN}$$

Öv varratok: $a = 7 \text{ mm}$

$$r_{\perp} = \frac{90,9 \cdot 10^3}{7 \cdot (250 + 2 \cdot 100)} = 28,86 \text{ MPa} \quad s_{\perp} = t_{\perp} = \frac{r_{\perp}}{\sqrt{2}} = 20,4 \text{ MPa}$$

$$s_{r\text{öv}} = \sqrt{20,4^2 + 2 \cdot 20,4^2} = 35,45 \text{ MPa}$$

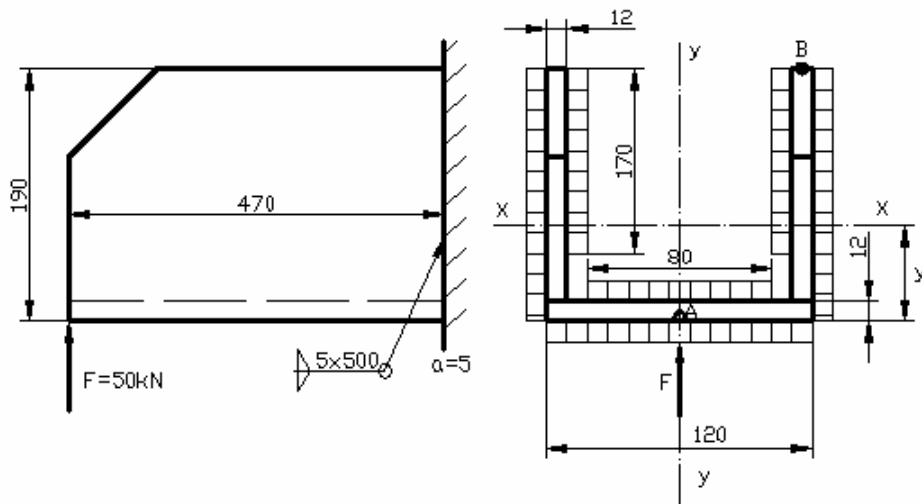
Gerinc varratok: $a = 5 \text{ mm}$

$$r_{\perp} = \frac{223 \cdot 10^3}{5 \cdot 2 \cdot 280} = 79,64 \text{ MPa} \quad s_{\perp} = t_{\perp} = \frac{r_{\perp}}{\sqrt{2}} = 56,48 \text{ MPa}$$

$$t_{\parallel} = \frac{20 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 280} = 7,14 \text{ MPa}$$

$$s_{r\text{g}} = \sqrt{56,48^2 + 2 \cdot 56,48^2 + 2 \cdot 7,14^2} = 98,34 \text{ MPa}$$

4.2.2.1.8.



4.18. ábra

Megoldás

$$T = 50 \text{ kN} \quad M = 23,5 \text{ kNm}$$

Alapanyagra:

$$s_s = 77,05 \text{ mm} \quad I_x = 2,1 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$s_A = \frac{23,5 \cdot 10^6}{2,1 \cdot 10^7} \cdot 77,05 = 86,22 \text{ MPa}$$

$$s_B = \frac{23,5 \cdot 10^6}{2,1 \cdot 10^7} \cdot 112,95 = 126,4 \text{ MPa}$$

Gerincvarratok:

$$F_g = 2 \cdot 12 \cdot 178 \cdot 126,4 = 5,4 \cdot 10^5 \text{ N} = 540 \text{ kN}$$

$$r_{\perp} = \frac{540 \cdot 10^3}{5(2 \cdot 170 + 2 \cdot 190)} = 150 \text{ MPa} \quad s_{\perp} = t_{\perp} = \frac{r_{\perp}}{\sqrt{2}} = 106,4 \text{ MPa}$$

$$t_{\parallel} = \frac{50 \cdot 10^3}{5(2 \cdot 170 + 2 \cdot 190)} = 13,9 \text{ MPa}$$

$$s_{rg} = \sqrt{106,4^2 + 2 \cdot 106,4^2 + 2 \cdot 13,9^2} = 185,3 \text{ MPa}$$

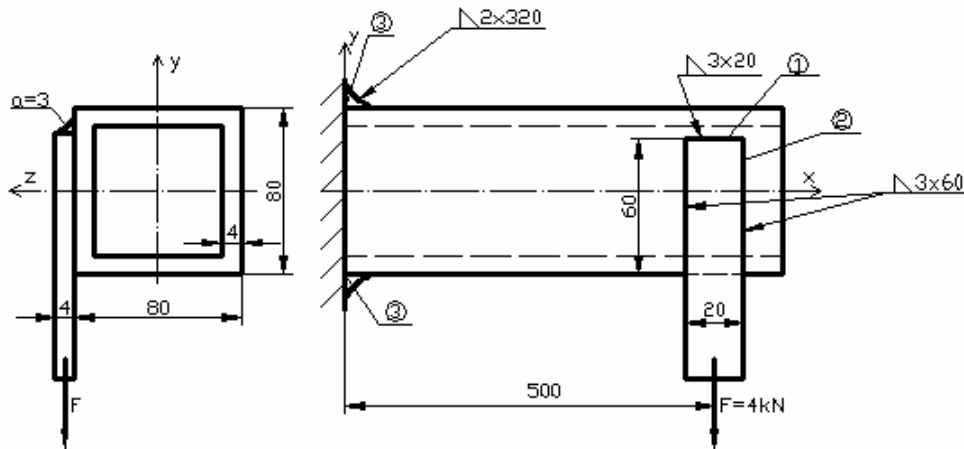
Övvarratok:

$$F_{\text{öv}} = 12 \cdot 120 \cdot 86,22 = 1,24 \cdot 10^5 \text{ N} = 124 \text{ kN}$$

$$r_{\perp} = \frac{124 \cdot 10^3}{5(120 + 80)} = 124 \text{ MPa} \quad s_{\perp} = t_{\perp} = \frac{r_{\perp}}{\sqrt{2}} = 87,9 \text{ MPa}$$

$$s_{r_{\text{öv}}} = \sqrt{87,9^2 + 2 \cdot 87,9^2} = 152,3 \text{ MPa}$$

4.2.2.1.9.



4.19. ábra

Megoldás:

1 varrat: $\sigma_r = 0$

2. varrat: $T = 4 \text{ kN}$ $a = 3 \text{ mm}$ $l_h = 60 - 2 \cdot 3 = 54 \text{ mm}$

$$t_{\parallel} = \frac{4 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 54} = 12,35 \text{ MPa}$$

$$s_r = \sqrt{2 \cdot 12,35^2} = 17,45 \text{ MPa}$$

3. varrat: $T = 4 \text{ kN}$

$M_x = 0,042 \cdot 4 = 0,168 \text{ kNm}$ $M_z = 0,5 \cdot 4 = 2 \text{ kNm}$

$$a = 2 \text{ mm} \quad I_{z \text{ var rat}} = \frac{84^4}{12} - \frac{80^4}{12} = 7,36 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$r_{\perp} = \frac{2 \cdot 10^6}{7,36 \cdot 10^5} \cdot 42 = 114,13 \text{ MPa} \quad s_{\perp} = t_{\perp} = \frac{r_{\perp}}{\sqrt{2}} = 80,9 \text{ MPa}$$

$$t_{\parallel}^1 = \frac{0,168 \cdot 10^6}{2 \cdot 82 \cdot 82 \cdot 2} = 6,24 \text{ MPa}$$

Öv varratok:

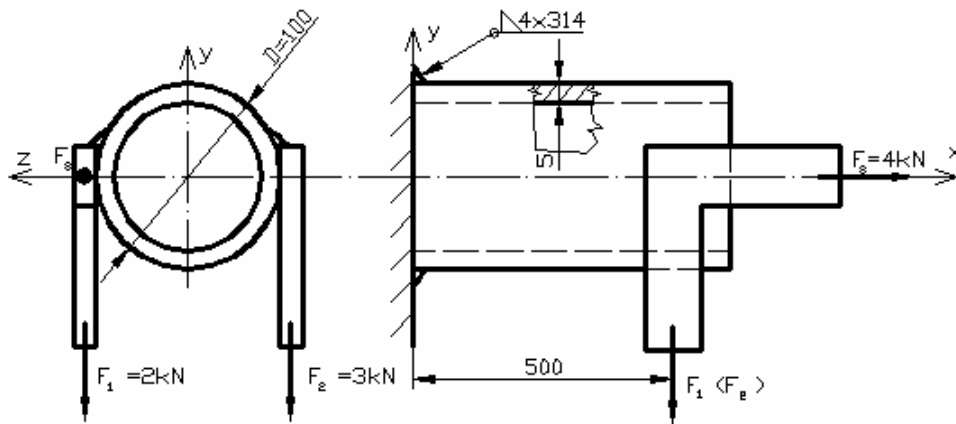
$$s_r = \sqrt{80,9^2 + 2 \cdot 80,9^2 + 2 \cdot 6,24^2} = 140,4 \text{ MPa}$$

Gerincvarratok:

$$t_{\parallel}^{\text{II}} = \frac{4 \cdot 10^3}{2 \cdot 2 \cdot 80} = 12,5 \text{ MPa}$$

$$s_r = \sqrt{80,9^2 + 2 \cdot 80,9^2 + 2(6,24 + 12,5)^2} = 142,6 \text{ MPa}$$

4.2.2.1.10.



4.20. ábra

Megoldás:

$$F = 4 \text{ kN} \quad T = 5 \text{ kN}$$

$$M_x = 0,05 \text{ kNm} \quad M_y = 0,2 \text{ kNm} \quad M_z = 2,5 \text{ kNm}$$

$$a = 4 \text{ mm} \quad I_y = I_z = 1,77 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \quad A = 1,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$r_{\perp}^I = \frac{4 \cdot 10^3}{1,3 \cdot 10^3} = 3,07 \text{ MPa} \quad s_{\perp}^I = t_{\perp}^I = \frac{r_{\perp}^I}{\sqrt{2}} = 2,18 \text{ MPa}$$

$$r_{\perp}^{II} = \frac{0,2 \cdot 10^6}{1,77 \cdot 10^6} \cdot 54 = 6,1 \text{ MPa} \quad s_{\perp}^{II} = t_{\perp}^{II} = \frac{r_{\perp}^{II}}{\sqrt{2}} = 4,3 \text{ MPa}$$

$$r_{\perp}^{III} = \frac{2,5 \cdot 10^6}{1,77 \cdot 10^6} \cdot 54 = 76,3 \text{ MPa} \quad s_{\perp}^{III} = t_{\perp}^{III} = \frac{r_{\perp}^{III}}{\sqrt{2}} = 54,1 \text{ MPa}$$

$$t_{\parallel}^I = 4/3 \cdot \frac{5 \cdot 10^3}{1,3 \cdot 10^3} = 5,13 \text{ MPa}$$

$$t_{\parallel}^{II} = \frac{0,05 \cdot 10^6}{2 \cdot 1,77 \cdot 10^6} \cdot 54 = 0,76 \text{ MPa}$$

$$s_r = \sqrt{(2,18 + 4,3 + 54,1)^2 + 2(2,18 + 4,3 + 54,1)^2 + 2(5,13 + 0,76)^2} = 105,3 \text{ MPa}$$

A ferde hajlításból fellépő feszültségeket biztonsági okokból egy pontban tételeztük fel!