



Magyar Mérnöki Kamara

A
Magyar Mérnöki Kamara
Anyagmozgatógép, Építőgép, Felvonó Tagozat
Feladat Alapú Pályaműve

A pályamű címe: Daruk méretezési segédlete

MMK azonosító száma: 2/2017-AÉFT FAP

Témavezető: Gódor Balázs

Közreműködő szakértők: Kéki László, Székely Bence

Lektor: Hajdu László

Budapest, 2017. szeptember 30.

Tartalomjegyzék

Lektori nyilatkozat	6
Bevezetés.....	7
A pályamű vezetői összefoglalója.....	8
1. A pályázat eredeti célkitűzése és a téma indokoltsága	9
2. Előszó	10
2.1. Előírások, méretezési eljárások hatása az emelőgépekre	10
2.2. Méretezési elvek történetének rövid áttekintése	11
2.3. A méretezési eljárások értékelése az üzemeltetői szemszögből	13
3. Általános elvek és követelmények a tervezésnél	14
3.1. Szabványok alkalmazásának általános elvei	14
4. Módszerek a szerkezetek alkalmazásának igazolására	15
4.1. Méretezési eljárások.....	15
4.1.1. Határállapot módszere	15
4.1.2. Megengedett feszültség módszere	17
4.2. Magas kockázatú alkalmazások	17
5. Daruk osztályba sorolása az MSZ EN 13001-1 szerint	18
5.1. A működési ciklusok összes száma.....	18
5.2. Példa a ciklus számítására:.....	19
5.3. Átlagos elmozdulás vagy szögelfordulás	21
5.4. Példa az átlagos elmozdulás számítására	21
5.5. Terhelések gyakorisága.....	24
5.6. Példa terhelésterjedelem tényező meghatározására:	25
5.7. Gyorsulások átlagos száma	26
5.8. Feszültségtörténet meghatározása.....	27
5.8.1. Általános elvek	27
5.8.2. Feszültség amplitúdók gyakorisága	27
5.9. Daruk osztályba sorolása az ISO 4301-1 szabvány szerint.....	28
6. Darukra ható terhelések meghatározása az MSZ EN 13001-2 szerint	30
6.1. Jelölések, megnevezések.....	30
6.2. Terhelések csoportosítása.....	34
6.3. Rendszeres terhelések	34
6.3.1. Önsúlyból származó terhelések	35

6.3.2.	Teheremelésből származó terhelések.....	36
6.3.3.	Emelt teher egy részének elengedése.....	41
6.3.4.	Egyenetlen felületen való haladás.....	41
6.3.5.	Hajtások okozta terhelések	44
6.3.6.	Elmozdulások okozta terhelések.....	46
6.4.	Esetleges terhelések	48
6.4.1.	Üzemi szélterhelések	48
6.4.1.1.	Daru szélterhelése.....	48
6.4.1.2.	Emelt teher szélterhelése	54
6.4.2.	Egyéb környezeti terhelések	54
6.4.3.	Ferdefutás okozta terhelések.....	55
6.5.	Rendkívüli terhelések.....	62
6.5.1.	Üzemen kívüli szélterhelések	62
6.5.2.	Hirtelen teheremelés okozta terhelések	64
6.5.3.	Túlterhelés	64
6.5.4.	Ütközőerők.....	66
6.5.5.	Emelt teher elejtése és mechanikai hiba okozta terhelések	67
6.6.	Egyéb terhelések	69
6.6.1.	Próbaterhelések	69
6.6.1.1.	Statikus terheléses vizsgálat	69
6.6.1.1.	Dinamikus terheléses vizsgálat.....	70
6.6.2.	Felállítás, szerelés és szállítás okozta terhelések	70
6.6.3.	Személyek mozgására szolgáló részek terhelései.....	71
6.7.	Terheléskombinációk	72
6.7.1.	Megfelelőség igazolása.....	72
6.7.2.	Terhelés kombinációk táblázatai	72
6.7.3.	Terheléskombinációk magyarázata az MSZ EN 13001-2 szerint.	76
7.	MSZ EN 15011 szabvány szerinti javasolt osztályba sorolás	77
8.	Kötél méretezése az MSZ EN 13001-3-2 szabvány szerint.....	78
8.1.	A kötéltönkremenetelének vizsgálata	80
8.2.	Igazolás statikus terhelés esetén.....	81
8.2.1.	Függőleges emelés esete	81
8.2.1.1.	Kötélterő tervezési értéke	81
8.2.1.2.	Tehetlenségi és nehézségi erők hatásai	82
8.2.1.3.	Kötélvezetés hatásfoka	82
8.2.1.4.	Nem párhuzamos kötélagak esete	83
8.2.1.5.	Emelt teherre ható vízszintes erők.....	83

8.2.2.	Nem függőleges tehermozgatások esete	83
8.2.2.1.	Kötélerő tervezési értéke	83
8.2.2.2.	Egyenértékű kötélerő meghatározása	84
8.2.2.3.	Tehetlenségi hatás.....	85
8.2.2.4.	Kötélvezetési tényező	86
8.2.2.5.	Nem párhuzamos kötelek	86
8.2.3.	Kötélerő tervezési határértéke	86
8.3.	Igazolás fáradási feszültség megfelelőségére.....	87
8.3.1.	Általános követelmény	87
8.3.2.	Kötélerő tervezési értéke	87
8.3.2.1.	Alapvető feltétel	87
8.3.2.2.	Tehetlenségi hatás.....	88
8.3.2.3.	Nem párhuzamos kötélágak	88
8.3.2.4.	Vízszintes erők hatása függőleges emelésnél.....	90
8.3.3.	Kötélerő tervezési határértéke	90
8.3.3.1.	Kiinduló összefüggés.....	90
8.3.3.2.	Kötélerő történet paraméter.....	90
8.3.3.3.	Kötélerő spektrum tényezője.....	90
8.3.3.4.	A hajlítások számának relatív gyakorisága	91
8.3.4.	További hatások a kötélerő tervezési határérték számításához	91
8.3.4.1.	Alap összefüggés	91
8.3.4.2.	Dob és a korongok átmérői.....	92
8.3.4.3.	A kötélem elemi szál szakító szilárdsága.....	92
8.3.4.4.	Elhagyási szög	93
8.3.4.5.	Kötél kenése	93
8.3.4.6.	Horony.....	93
8.3.4.7.	Kötél típusok	94
8.3.4.8.	További előírások többretegű dob esetén	95
8.4.	Példa kötélem méretezésére az MSZ EN 13001-3-2 szerint.....	95
9.	Kerék/sín kapcsolat méretezése MSZ EN 13001-3-3 szabvány szerint	100
9.1.	Alkalmazási terület.....	100
9.2.	Szabvány általános előírásai	102
9.2.1.	Keményégi görbe az érintkezési felület alatt	102
9.2.2.	Egyenértékű rugalmassági modulus meghatározása.....	104
9.3.	Igazolás statikus terhelésre.....	104
9.3.1.	Tervezett érintkezési erő	105
9.3.2.	Statikus érintkezési erő határértéke	105

9.3.2.1.	A statikus érintkezési erő határértékének meghatározása	105
9.3.2.2.	Sarok nyomás vonal érintkezés esetén	108
9.3.2.3.	Nem állandó nyomáseloszlás vonal érintkezés esetén	108

Lektori nyilatkozat

A lektori nyilatkozat mellékelve.

Bevezetés

A „Daruk méretezési segédlete” című dokumentum elsősorban a tervező, karbantartó mérnököknek készült a gépészeti számítások elkészítéséhez. Nem tértünk ki a daruk tervezéséhez szükséges biztonsági követelmények bemutatására. A segédlet egy hosszabb folyamat során megszülető, az EN szabványokon alapuló, méretezési kézikönyv első része lenne.

A jelenlegi fázis megvalósulásának a célja, bemutatni azokat a fogalmakat, méretezési eljárásokat, amelyeket korábban daruk tervezésekor nem alkalmaztak tekintettel a régi magyar szabványok használatára. Ilyen fogalmak az élettartamra méretezés, az osztott biztonsági tényező és további újdonságok, (például a kötelek fáradásvizsgálata, NF csavarkötés méretezése, terhelések bonyolult csoportosítása stb.). De korábban nem megfogalmazott terhelések is megjelentek, mint például a „skewing”, aminek pontos magyar fordítása sem honosodott még meg. (Lehet ferdefutás, beékelődés stb.)

A méretezési segédlet önállóan nem használható, a tárgykörbe tartozó MSZ EN szabványokkal együtt alkalmas a tervezői munka megkönnyítésére. Mivel a szabványok szerzői jogi védelem alatt állnak, részeiben vagy egészében felhatalmazás nélkül másolni, sokszorosítani, forgalmazni, árusítani vagy bármilyen egyéb módon terjeszteni, közreadni tilos, ezért csak oly mértékben kerültek az anyagba a szabvány részletei, melyek a szabvány megértéséhez, és az összefüggések bemutatásához feltétlen szükségesek voltak.

Ennek megfelelően elsősorban arra törekedtünk, hogy az angol nyelvű szabványok érthetőek legyenek, ezt a nagyon sok szakkifejezés fordításával próbáltuk elérni.

A segédletben több, a témakörhöz tartozó szabvány került ismertetésre.

A táblázatok és ábrák fejléce, feliratozása jellemzően nem lett lefordítva magyar nyelvre, de a szakkifejezések gyűjteményében, vagy a fejezetcímeknél megtalálhatóak azok. Problémát jelentett, hogy az angol szakkifejezések, szövegösszefüggések értelmezése a segédlet készítőinek tudására épült, ezért felhívjuk az alkalmazók figyelmét, hogy a magyar fordítást mindenki a saját felelősségére használja, ellenőrizze azokat, mert a szöveg nem egy szakértői testület által jóváhagyott tartalom.

Köszönetet mondunk A **Magyar Mérnöki Kamarának**, hogy segítette megvalósulni, pályázat útján, ezt a hiánypótló segédletet. Célunk a segédlet teljessé tétele, a darukra vonatkozó további szabványok feldolgozásával, mint például az acélszerkezetek nagy fejezete.

A pályamű vezetői összefoglalója

A tervezési segédlet elkészítésével alapvetően teljesítettük a pályázat célkitűzésében foglaltakat. A pályázatban szereplő mennyiségi (oldalszám) vállalás teljes mértékben nem valósult meg, melynek alapvető oka a szabványokban szereplő táblázatok kihagyása volt. A szabványosítási törvénnyel összhangban, csak annyi tartalom került változatlan formában a szabványokból a segédletbe, ami mindenképpen szükséges volt az érthetőség miatt. Az EN szabványok alapján történő tervezés nélkülözhetetlen feltétele a szabvány megvásárlása, ezt nem pótolhatja és nem is akarja pótolni ez a segédlet.

A segédlet fő funkciója, az angol kifejezéseken alapuló méretezési, számítási eljárások megismertetése, alkalmazásának bemutatása, valamint a darutípusra vonatkozó konkrét követelmények, adatok megadása.

Ennek megfelelően bemutatjuk:

- a méretezési eljárások elméleti háttérét,
- a méretezési eljárásokat, a megfelelőség igazolásához,
- a daruk osztályba sorolását, példákkal,
- a darukra ható terhelések számítását, a lehetséges terheléskombinációkkal együtt,
- a darukötél méretezésének eljárását,
- a kerék/sín kapcsolat méretezését.

A bemutatást segíti a szöveges magyarázatok, az ábrák, táblázatok beillesztése a segédletbe.

Különösen fontos része a segédletnek, a pályamű készítőinek fordításán alapuló, „Jelölések, megnevezések” fejezetek, amelyek akár szótárként is használhatók a szabványok alkalmazása során.

Célunk volt a gyakorló tervező mérnök szempontjait figyelembevevő segédlet összeállítása.

Bízunk benne, hogy sok mérnök kollégának tudunk ezen a módon segítséget adni a mindennapi munkájához.

1. A pályázat eredeti célkitűzése és a téma indokoltsága

Pályázatunk célja egy olyan, korszerű emelőgépek tervezését segítő mérnöki segédanyag létrehozása, amely mind a tagozat szakmai továbbképzéseiben, mind az egyetemi oktatásban, mind pedig a mérnöki gyakorlatban jól hasznosítható. Bízunk abban, hogy pályázati célkitűzésünk elnyeri a tisztelt FAP Testület és a Tanács tetszését, és támogatják annak megvalósítását.

Cél: A pályázat célja egy olyan, Magyarországon eddig nem létező, mérnöki tervezési segédlet (sokszorosítható tananyag) létrehozása, amely segít kitölteni a modern európai emelőgépes szabványok alkalmazását segítő hazai szakirodalomban lévő űrt.

Korszerűség: A daruk területén megjelenő új harmonizált európai méretezési szabványok fokozott mértékben vetik fel e területen tevékenykedő szakértői gárda átképzési igényét. Az megcélzott tervezési segédlet megjelentetése megteremti annak lehetőségét, hogy a daruk méretezési területén tevékenykedő szakemberek olyan kiadvány együttest hozzanak létre, amivel tanfolyami képzés keretében az emelőgép szakértők olyan támogatást nyerjenek, aminek segítségével a legkorszerűbb ismeretek alapján tudják a daruk legfontosabb alkatrészeinek megfelelését önálló munkával ellenőrizni, igazolni.

Tagi, megbízási igény: A hazai gazdasági életben mind gyakrabban jelentkezik az igény, amikor olyan egyedi anyagmozgatási feladat adódik, amely széria daruval nem oldható meg, oda egyedi tervezésű és kivitelezésű berendezés szükséges. Az ilyen feladatok kellő hatékonysággal csak a közelmúltban megjelent harmonizált szabványok figyelembe vételével oldhatóak meg.

Gyakorlati alkalmazhatóság: A pályázatban bemutatásra kerülő méretezési elvek, valamint a hozzájuk tartozó magyarázatok és a kidolgozott mintafeladatok megteremtik annak lehetőségét, hogy az emelőgépes területen dolgozó szakértők és tervezők olyan ismeretekre tegyenek szert, amivel a megbízóik igényeinek meg tudjanak felelni.

Hasznosíthatóság a továbbképzésben: A pályázati anyag a továbbképzésben hatékony segédeszközként használható.

2. Előszó

2.1. Előírások, méretezési eljárások hatása az emelőgépekre

Azok számára, akik régóta vannak kapcsolatban az emelőgépek üzemeltetésével feltehetően, hogy az azonos feladatra különböző időpontokban beszerezhető emelőgépek tömege az egyes típusváltások függvényében időről időre változik. Míg a tömegváltás az 1990 évek végéig úgy az acélszerkezetek területén, mint a gépészeti egységeknél – azonos, vagy még növelt teherbírás (teljesítőképesség/teljesítményszint) esetén is – egyértelműen a tömegcsökkenés irányában hatott, addig 2010 után ez a folyamat lelassul, az acél tartószerkezetek területén, ha nem is látványos, de bizonyos önsúlynövekedés figyelhető meg.

E folyamatról mindenki maga is meggyőződhet, ha megvizsgálja az üzemében különböző időpontokban beszerezett hasonló műszaki paraméterű emelőgépek adattábláját, szállítólevelének/leveleinek tömegadatát.

A tapasztalható tömegváltozások okai a következőkre vezethetők vissza:

- szilárdsági méretezések elméleti háttérének fejlődésére;
- a számítástechnikai eszközök elterjedésére, beleértve a különböző méretezési programok kifejlesztésére, fejlődésére;
- a szerkezetorientált anyagvizsgálati eredmények gyakorlatban való elterjedésére;
- méretezéseket érintő, a gépek biztonságát növelő rendeletekben előírt változások, amelyek közül a következőket kell kiemelni
 - o a tartószerkezetekben 2010 után bekövetkező tömegcsökkenés az Eurocode (parciális biztonsági tényezők) alapú méretezési elvek bevezetésére vezethető vissza;
 - o ugyancsak az egyes szerkezetek tömegcsökkenésének irányába hatnak/hathatnak a gépek biztonsági követelményeiről és megfelelőségének tanúsításáról szóló 16/2008 (VIII. 30) NFGM (42/2006 EC direktíva) rendelet (továbbiakban: GI) következő előírásai:
 - **3. § (1) Gép vagy részben kész gép csak akkor hozható forgalomba vagy helyezhető üzembe, ha megfelel az e rendelet szerinti biztonsági és egészségvédelmi előírásoknak, és rendeltetésszerű összeszerelés, karbantartás és használat vagy az **ésszerűen előre látható rendellenes használat mellett** nem veszélyeztetni személyek, állatok életét, testi épségét, egészségét és a vagyonszámot.**
 - GI 1. melléklet 1. Alapvető biztonsági és egészségvédelmi követelmények 1.1.2. A biztonság beépítésének alapelvei pont:
 - a) ...**A gépet úgy kell megtervezni és gyártani, hogy a rendellenes használat kizárható legyen**, ha az ilyen használat veszélyt idéz elő.

b) A **gépet úgy kell tervezni** és gyártani, hogy funkciójának megfeleljen, és kezelése, beállítása, karbantartása előrelátható körülmények között ne veszélyeztesse a veszélynek kitett személyeket, figyelembe véve **az ésszerűen előrelátható rendellenes használatot is**.

c) A legmegfelelőbb módszer kiválasztásakor a gyártónak vagy meghatalmazott képviselőjének a következő alapelveket kell alkalmaznia, **a megadott sorrendben**:

1. a kockázatok lehető legnagyobb mértékű kiküszöbölése vagy csökkentése (eleve biztonságos gép tervezése és gyártása),
2. a nem kiküszöbölhető kockázatokra vonatkozóan a szükséges védőintézkedések megtétele,
3. a felhasználók tájékoztatása az elfogadott védőintézkedések bármilyen hiányosságából eredően fennmaradó kockázatokról, megjelölve, hogy szükség van-e speciális képzésre, és meghatározva bármilyen egyéni védőeszköz használatának szükségességét.

d) A gép tervezésekor és gyártásakor figyelembe kell venni azokat **a korlátozásokat**, amelyeket a szükséges vagy előrelátható egyéni védőeszköz használata eredményezhet a kezelőszemély számára.

e) **A gépet el kell látni minden olyan speciális berendezéssel és kellekkel**, amely biztonságos beállításához, karbantartásához és használatához szükséges.

2.2. Méretezési elvek történetének rövid áttekintése

Az 1950 ~ 1970-es években az emelőgépek tervezéséhez is a kiinduló pont - a kályha - a szakkönyvekben leírtak voltak, amely tartalmazta a szerző által javasolt méretezési előírásokat. Ezek a szakkönyvek a kor technikai fejlettségén, elsősorban a több évtized alapján felhalmozott gyakorlati tapasztalatokon alapultak. Ezek a kiadványok a nyomdai átfutások miatt esetenként 5-10 éves késéssel jelentek meg, és a szerzőjüket, kiadójukat és tartalmukat mindenkor „megszűrte” a regnáló politika aktuális irányvonala. Ezek a szakirodalmak hivatkoztak szabványokra is, amelyek nagyobb részben biztonsági előírásokat, konstrukciós kialakítási módokat, kisebb részben konkrét számítási eljárásokat tartalmaztak. A nemzeti (magyar) szabványok alkalmazása az egykori szocialista országok jogi szabályozásának megfelelően kötelező volt, aminek magyarzata a „diplománélküli főmérnökök korszakára” vezethető vissza. Az „E szabvány előírásaitól való eltérést a Magyar Szabványügyi Hivatal elnöke engedélyezhet” kitétel az eltérés lehetőségét ugyan nyitva tartotta, de az egyenértékű biztonság bizonyításának objektív feltételei szervezetileg nem volt biztosított, mert az MSZH elnöke az államigazgatás szerves résztvevője volt, és a vállalatok döntő hányada a rendszer-váltásig állami irányítás alatt állt.

Az 1970-ben jelent meg a FEM¹ 1970 évi kiadása, amely az emelőgépek méretezését gyökeresen átalakította. A FEM előírásait nagyszámú DIN méretezési szabvány követ-

¹ FEM: FEDERATION EUROPEENNE DE LA MANUTENTION (Európai Anyagmozgatási Szövetség)

te. Ugyan az 1953-ban alakult FEM először 1962-ben próbálkozott egységes elvek alapján általános emelőgép méretezési előírásainak kidolgozásával. Az első kiadás megjelenése után az akkor korszerűnek tartott ismeretek miatt széles körben rövid időn belül elterjedt, de 1970-re a területhez tartozó széleskörű gyártói kapacitás bővülése miatt a széles körben zajló kutatási munkák eredményei alapján a korábban lefektetett elveket módosítani, korrigálni kellett. Az 1970-es kiadáshoz pontosítani kellett például a terhelési diagramokat és az üzemeltetési osztályok fejezetet, melynek eredményeként 4 csoport helyett 6 osztályba sorolták az emelőgépeket. A kísérleti eredmények miatt változott a kifáradással foglalkozó fejezet és átdolgozásra kerültek az NF csavarkötésre vonatkozó fejezetek.

A legutolsó emelőgép méretezési változat kiadása a FEM 1.001 3. kiadás 1987-ben következett be, amely a mai napig meghatározza a tervező mérnökök munkáját, és hatással volt az EN szabványok megalkotására is.

Időközben elkészült a FEM 9-es számjeggyel kezdődő ajánlás sorozata is, amely a sorozatgyártású emelőgépek méretezésével, osztályba sorolás elvével, élettartamuk meghatározásának módjával foglalkozik, ami előrevetíti az emelőgépek tervezésénél az élettartamra való méretezés alapelvének széleskörű bevezetését, mert ezzel az eljárással az üzemeltetési körülmények követelményeinek megfelelő (teherbírás, emelési teljesítmény, élettartam stb.), optimális kihasználtságú szerkezetek tervezése válik lehetővé. Ez természetesen az üzemeltetőtől is a gyártói előírások, valamint a méretezési előírásokhoz kapcsolódó időszakos vizsgálati eljárásban meghatározottak következetes betartását igényli.

Az élettartamra való méretezéskor szerkezetek besorolását két tényező határozza meg:

- használati idő vagy ciklusszám,
- terhelési spektrum, viszonylagos terhelés értéke.

Az Európai Unió létrejötte, bővülése szorosabb gazdasági együttműködést okozott. Az egységes piac miatt szükségessé vált a szabványok, jogszabályok egységes rendszerének kidolgozása, előírására, azoknak a tagországokkal való elfogadtatása, mert csak így lehetett a közös korszerű, nagyfokú biztonságot jelentő szabályozások műszaki színvonalát kialakítani, betartatni.

Az Európai Unió Tanácsa elsőként a magasépítéssel kapcsolatos mérnöki tevékenységre vonatkozó EN szabványokat az úgynevezett EUROCODE szabványokat dolgoztatta ki, fogadtatta el.

E szabványok felépítése, szakkifejezései, fogalmi köre, módszertana a mai napig meghatározza a magasépítészeti szerkezetek, így a tartószerkezetek statikai méretezésre vonatkozó méretezési eljárásokat, szabványokat. Az elmúlt 50 év műszaki fejlődésének hatására olyan új fogalmak kerültek bevezetésre, mint a használhatósági határállapot, tervezési érték, hatás, ellenállás, parciális tényező stb.. Az emelőgépekre vonatkozó régebbi EN szabványok még sorozatban az FEM 1.001 előírásaira hivatkoznak, azonban az újonnan megjelenő darukra vonatkozó szabványok már szakítanak ezzel a

„hagyománnyal” és nemcsak elnevezéseikben, hanem tartalmukban követik a matematikai statisztikai módszereken alapuló méretezési eljárások követelményeit.

2.3. A méretezési eljárások értékelése az üzemeltetői szemszögből

Minden bizonnyal az emelőgépet üzemeltetők többségében jogosan merül fel az a kérdés, hogy az előzőekben leírtak mennyiben érintik:

- az üzemeltetői magatartást,
- azok az üzemeltetői magatartásra mennyiben hatnak,
- egyáltalán egy üzemeltetőt mennyiben érint a gyártóra/gyártmányra vonatkozó előírás-, és műszaki követelményrendszer.

A különböző szakértői konferenciákon, továbbképzéseken elhangzott előadások, valamint az ott megvitatott témák, valamint a baleseti statisztikák alapján megállapítható, hogy míg az emelőgépeken kívüli gépi berendezések üzemeltetése során a bekövetkezett műszaki hibák mintegy 25-30 %-a származik emberi mulasztásokból, vagy hibás emberi cselekedetből (kezelői hiba), addig az emelőgépeknél kialakult hibák mintegy 70-75 %-a származik a kezelői hibából, a gyártók által előírtak be nem tartásából.

Tekintettel arra, hogy az előbb leírtak még abból az időből származnak, amikor a gépészeti, acélszerkezeti elemek, szerkezetek méretezése a hagyományos, egységes „biztonsági tényező”-s elveken alapultak, amikor a szerkezetek a kellően „nagyvonalú” méretezési elvekből adódóan a túlterhelésekkel, szabálytalan kezelésekkel szemben jelentő tartalékokkal rendelkeztek. A mai, kiélezett gazdasági versenyből adódó költséghatékony, megtakarításelvű kialakítást lehetővé tevő méretezésekkel létrehozott szerkezetek - még **„az ésszerűen előrelátható rendellenes használatot is”** figyelembe vevő méretezések mellett sem - rendelkeznek minden esetben a korábbi gyakorlat alapján egyes helyeken kialakult kezelői gyakorlatból adódó hatások elviselésének képességével.

A leírtak alapján mindenféleképpen előnyösnek és hatékonynak tartjuk az emelőgépekkel kapcsolatba kerülőket – legyenek azok tervezők, vagy üzemeltetők – azokkal a méretezési eljárásokkal megismertetni, amelyek alapján a gyártók tervezői berendezéseiket kialakítják, mert ennek keretében képet kaphatnak arról, hogy gépeik, berendezéseik milyen hatások, erők feltételezésével kerültek kialakításra, és milyen tevékenységek egyidejűségének elkerülésével tudják meghosszabbítani berendezéseik élettartamát. Az eljárások bemutatásával arra is megnyílik az üzemeltetők lehetősége, hogy az egyes időszakos vizsgálati előírások mögötti szerkezet élettartami feltételrendszert megismerjék.

3. Általános elvek és követelmények a tervezésnél

3.1. Szabványok alkalmazásának általános elvei

Az Európai Unió országainak gyakorlatában használatos szabványok jelzete „EN” kitéltet tartalmaznak. Ezek a szabványok az MSZ EN ISO 12100:2011, **Gépek biztonsága. A kialakítás általános elvei. Kockázatértékelés és kockázatcsökkentés** szabvány alapján lehetnek:

- „A” típusú a szabvány (biztonsági alapszabvány), ha alapvető biztonsági követelményeket, alapfogalmakat és alapelveket ír elő, amely valamennyi gépre alkalmazható.
- „B” típusú a szabvány (általános biztonsági szabvány), ha olyan biztonsági szempontot vagy biztonsági berendezést tárgyal, amely a gépek egy nagyobb csoportjához használható.
- „C” típusú szabvány (gépek biztonsági szabványa), részletes biztonsági követelményeket tartalmaz egy meghatározott gépre vagy gépcsoporra.

Amikor egy „C” típusú szabvány előírása eltér a vonatkozó „A” vagy „B” típusú szabványtól, akkor a „C” típusú szabvány elsőbbséget élvez.

Példa az „A” típusú szabványra:

MSZ EN ISO 12100 Gépek biztonsága. A kialakítás általános elvei.

Példa a „B” típusú szabványra:

MSZ EN ISO 14122 Gépek biztonsága. Gépi berendezések helyhez kötött feljárói.

MSZ EN 60204 Gépi berendezések biztonsága. Gépek villamos szerkezetei.

Példa a „C” típusú szabványra:

MSZ EN 13586 Daruk. Feljárók

MSZ EN 15011 Daruk. Híd- és bakdaruk

Azok a szabványok, amelyek összhangban vannak bármelyik direktíva előírásaival, emelőgépek esetében GI-ben előírtakkal, annak nem mondanak ellent, azok a harmonizált szabványok.

Azokban az esetekben, amikor egy emelőgép valamelyik egységének tervezésekor, ellenőrzésekor, a megoldandó műszaki problémára nem áll rendelkezésre szabvány, akkor azt az adott területre vonatkozó valamelyik direktíva² előírása alapján - gép esetében a GI - figyelembe vételével kell megoldani.

Csak abban az esetben adható ki egy emelőgép EK megfelelésének igazolása (CE jel), ha a gépre vonatkozó valamennyi harmonizált szabványt betartották, vagy a vonatkozó direktíva előírásai szerint készült.

² <http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/nando/index.cfm?fuseaction=directive.main>

Amennyiben a kivitelezett szerkezet, gép létesítésekor nem harmonizált szabványokban, előírásokban rögzítetteket is alkalmaztak (pl. FEM, MSZ vagy DIN előírások), akkor igazolni kell, hogy az alkalmazott megoldás egyenértékű biztonságot nyújt a vonatkozó harmonizált szabvány által előírtakkal, és csak az igazolás birtokában adható ki az EK megfelelőségi nyilatkozat. A megfelelőség igazolását az Európai Unióban a bejelentett szervezetek a **Notified Bodies**³ adhatják ki

Valamennyi darutípusra tartalmaz tervezési előírást az MSZ EN 13001, Daruk. Általános kialakítás című szabványsorozat. Egyes darutípusokra vonatkozó szabványok speciális követelményeket írnak elő, illetve pontosítják az egyes paramétereket. Ezekre történő utalásokat tartalmazza az itt összeállított tervezési segédlet.

Igazoló számításokkal kell a tervezőnek bizonyítania, hogy az általa tervezett daru megfelel a MSZ EN 13001 szabványsorozat követelményeinek, és így az alkalmas a biztonságos, egészséget nem veszélyeztető munkavégzésre.

Azokra a veszélyekre, amelyekre nem terjed ki, sem a hivatkozott szabványsorozat, sem a darutípusra vonatkozó szabvány, abban az esetben az MSZ EN ISO 12100 szabvány követelményeinek alkalmazásával kell a biztonságos üzemeltetési feltételeket kialakítani.

4. Módszerek a szerkezetek alkalmasságának igazolására

4.1. Méretezési eljárások

E tervezési segédlet a határállapokra történő méretezést ismerteti.

- Osztott biztonsági tényező használata.

Osztott biztonsági tényező azt jelenti, hogy különféle terheléseknek, önsúly, hasznos teher, szélteher stb. a terhelés veszélyének megfelelő értékű a biztonsági tényező. A szabványok nyelvezete szerint parciális tényező, amely azonos a részleges biztonsági tényező fogalmával.

- Egységes biztonsági tényező használata

A szabvány lehetőséget ad olyan daru esetén, ahol a teherbírás növekedése a szerkezetben keletkező igénybevételek növekedésével jár együtt, a megengedett feszültség alkalmazására. Ebben az esetben úgynevezett általános (egységes) biztonsági tényezőt kell alkalmazni

A biztonsági tényezők értékeit a szabvány pontosan előírja, nagyságát a későbbiekben részletesen ismerteti a segédlet.

4.1.1. Határállapot módszere

A darunak, részegységeinek, anyagainak határállapota azok a terhelési értékek, amelyeknél nagyobbak a daru biztonságos, rendeltetésszerű működését megakadályozzák.

³ <http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/nando/>

Ilyen határállapotok:

- Teherbírási határállapotok
 - maradó alakváltozás, törés, NF csavar megcsúszás,
 - fáradásos törés, repedés kialakulása,
 - kihajlás, horpadás,
 - elbillenés, stabilitásvesztés.
- Használati határállapotok:
 - használatot rontó rugalmas alakváltozás,
 - rezgések (ergonómiai szempont is)
 - melegedés (pl. fék)

Az ellenőrző számítások készítésekor az alábbi elveket, eljárásokat kell alkalmazni:

- merev test kinematikai modell,
- rugalmas anyagmodell,
- az üzemi viszonyok közben fellépő terhelések, alakváltozások, gyorsulások, belső erők pillanatnyi értékei és azok lehetséges variációja,
- az üzemi viszonyokon kívül figyelembe kell venni:
 - üzemen kívüli terheléseket (pl. szél),
 - szerelési állapotot,
 - vizsgálatok során keletkező igénybevételeket, (pl. próbaterhelés).

A számítási eljárások alkalmazhatóak feszültségeken alapuló határállapot elemzéshez, továbbá erőkkel, nyomatékokkal és alakváltozásokkal történő igazolásra is.

Hatások tervezési értéke:

- részegységre jutó terhelés meghatározása:
 - parciális biztonsági tényező,
 - dinamikus tényező figyelembevétele.
- terheléskombináció meghatározása, szükség esetén kockázati tényező figyelembe vételével, (pl. olvasztott fém mozgása)
- igénybevétel meghatározása a vizsgált elemnél,
- igénybevételből és helyi hatásokból keletkező feszültség meghatározása.

Ellenállások tervezési értéke:

- anyag, kapcsolat, részegység szilárdsági ellenállásának meghatározása az ellenállás tényező figyelembe vételével.

A szerkezet akkor megfelelő, ha a hatásokból számított tervezési érték kisebb vagy egyenlő az ellenállás tervezési értékénél.

4.1.2. Megengedett feszültség módszere

A megengedett feszültség módszer speciális esete a határállapot módszernek (osztott biztonsági tényező elve), ahol az összes terhelésnek azonos a parciális biztonsági tényezője (egységes biztonsági tényező elve). Az általános biztonsági tényező tartalmazza az ellenállási tényezőt is.

Hatások tervezési értéke:

- részegységre jutó terhelés meghatározása, a dinamikus tényező figyelembevételével,
- terheléskombináció meghatározása,
- igénybevétel meghatározása a vizsgált elemnél,
- igénybevételből és helyi hatásokból keletkező feszültség meghatározása,

Ellenállások tervezési értéke:

- anyag, kapcsolat, részegység szilárdsági ellenállásának meghatározása a teljes biztonsági tényező és a kockázati tényező figyelembe vételével.

Ebben az esetben is a szerkezet akkor megfelelő, ha a hatásokból számított tervezési érték kisebb vagy egyenlő az ellenállás tervezési értékénél.

4.2. Magas kockázatú alkalmazások

Ahol a mozgási út beállításának biztosítása érdekében a daru vagy a futómacska ütközője előfeszített csavarkötéssel megvalósított súrlódásos kapcsolattal van rögzítve, továbbá a rögzítést csak a súrlódás biztosítja és a végütköző mögött másodlagos biztosító eszköz nem helyezkedik el, úgy az ütköző tervezéséhez $\gamma_n = 1,6$ kockázati tényezőt kell alkalmazni⁴.

Amennyiben a daru stabilitása üzemén kívüli szélben nem felel meg a későbbiekben részletezett követelményeknek, rögzítő kikötéseket kell alkalmazni. A kikötés méretezéséhez a vonatkozó parciális biztonsági tényezők mellett az alábbi kockázati tényezőket kell alkalmazni:

A kockázati tényezőt acél elemek alkalmazásakor $\gamma_n = 1,2$, míg sodronykötelek vagy láncok alkalmazása esetén $\gamma_n = 1,6$ értékre kell felvenni⁵.

⁴ MSZ EN 15011:2011+A1:2014 – 5.5.3.3.

⁵ MSZ EN 15011:2011+A1:2014 – 5.2.3.3.

5. Daruk osztályba sorolása az MSZ EN 13001-1 szerint

A daruk osztályba sorolása a régi magyar és külföldi szabványokban is már szerepelt. A fő szempont ezekben az esetekben az volt, hogy a nagyobb kihasználtságú daruk biztonságát növeljék. Csoportszámától függött például az acélszerkezet, a kötélkiválasztás biztonsági tényezője is.

Az új EN és ISO szabványok élettartamra történő méretezést alkalmaznak. Méretezési alapelv az, hogy adott időtartamra (jellemzően 10 évre, vagy egyéb megállapodás szerinti időre), a csoportszámnak megfelelő kihasználtság esetén, a daru biztonságosan üzemeljen.

Az osztályozás, a csoportba sorolás mind az egyedileg tervezett és gyártott, mind a sorozatgyártásra tervezett daruk esetén is használható. Az egyedileg tervezett daruknál a leendő felhasználó a szándékolt használat alapján adja meg a csoportba soroláshoz szükséges adatokat, és ezeknek megfelelően történik a tervezés. Sorozatgyártású daruk esetén a felhasználó kiválasztja az igényeinek megfelelő csoportszámú darut, és azt vásárolja meg.

Az osztályba sorolás történhet a teljes darura, a főbb részegységekre és az alkatrészekre is. A sorozatgyártású daruknál célszerű úgy méretezni a szerkezeti részeket, hogy a különböző elemek azonos élettartamúak legyenek, annak ellenére, hogy a kihasználtságuk nem lesz egyforma.

Az üzemi viszonyokat az alábbi jellemzők határozzák meg:

- a működési ciklusok összes száma a meghatározott hasznos élettartam során,
- az átlagos elmozdulások nagysága,
- a mozgatott terhek relatív gyakorisága (terhelés eloszlás)
- mozgásonkénti gyorsulások átlagos száma.

5.1. A működési ciklusok összes száma

Egy ciklus akkor kezdődik, amikor a daru készen áll a teher megemelésére, és akkor végződik, amikor az azonos feladatnál a daru ismételten készen áll a következő teher megemelésére. A különböző feladatokat r –rel jelöljük.

Ciklusok jele: C

Ciklusok osztálya: U0 ~ U9

A C működési ciklusok U osztályait az MSZ EN 13001-:2015 szabvány 3. táblázata tartalmazza.

Osztály	Működési ciklusok teljes száma
U_0	$C \leq 1,60 \times 10^4$
U_1	$1,60 \times 10^4 < C \leq 3,15 \times 10^4$
U_2	$3,15 \times 10^4 < C \leq 6,30 \times 10^4$
U_3	$6,30 \times 10^4 < C \leq 1,25 \times 10^5$
U_4	$1,25 \times 10^5 < C \leq 2,50 \times 10^5$
U_5	$2,50 \times 10^5 < C \leq 5,00 \times 10^5$
U_6	$5,00 \times 10^5 < C \leq 1,00 \times 10^6$
U_7	$1,00 \times 10^6 < C \leq 2,00 \times 10^6$
U_8	$2,00 \times 10^6 < C \leq 4,00 \times 10^6$
U_9	$4,00 \times 10^6 < C \leq 8,00 \times 10^6$

A daru élettartama alatt elért ciklusok összes száma a különböző tipikus feladatokhoz tartozó ciklusok számának összessége. Az egyes r feladathoz tartozó ciklusok α_r viszonylagos száma a következő módon számítható:

$$\alpha_r = C_r / C$$

ahol: C_r az r feladathoz tartozó ciklusok száma

Különböző szerkezeti részekhez tartozó ciklusszámokat a tervezés során, külön-külön meg kell határozni. (pl. daru acélszerkezet, főemelőmű, segédemelőmű, macska haladás, fék, keréktengely stb.)

5.2. Példa a ciklus számítására:

Feladat: markolós daruval kell bepakolni surrantóba a bunkerekben tárolt ömlesztett anyagokat.

Töltési adatok számítása					
		Műanyag aprólék	Fa aprólék	Markoló térfogata (m3):	5
Töltési arány (%):		60	40	Töltési tényező (%)	90
Sűrűség (t/m3)	tárolóban	0,2	0,3	Szükséges kapacitás (m3):	71
Töltési tömeg (t/h)		15,3	5,0	Szükséges ciklusszám:	13
Töltési mennyiség (m3/h)		45,9	6,7		
Emelt tömeg (t):		9,2	2,0		
Maximális töltési mennyiség (m3/h)			53		
Töltési hatásfok (%):			75		
Mértékadó töltési mennyiség (m3/h)			71		

sebességek:	v_e (m/min):	16
	v_h (m/min):	60
	v_m (m/min):	32

Ciklusidő számítása						
	távolság	idő	együtt- mozgás (%)	mértékadó idő	emelt teher (kg)	
	m	s			s	1. eset
süllyesztés	4	17	100	17	üres	üres
megfogás		10	100	10	üres	üres
emelés	4	17	100	17	7 700	2 500
macska haladás	14	30	50	15	7 700	2 500
híd haladás	30	35	100	35	7 700	2 500
süllyesztés	5	21	100	21	7 700	2 500
nyitás		5	100	5	üres	üres
emelés	5	21	100	21	üres	üres
híd haladás	30	35	100	35	üres	üres
macska haladás	14	30	50	15	üres	üres
	összesen:			3,1	min	
	számított ciklusszám:			19	markolás/h	

teherbírás	t	12,5
műveleti ciklusok száma:		
műveleti ciklusok száma	db/óra	13
napi órák száma	óra/nap	24
napok száma	nap/év	340
évek száma	év	10
jellemző emelt teher 1	t	7 700
százalékos aránya	%	60
jellemző emelt teher 2	t	2 500
százalékos aránya	%	40
jellemző emelt teher 3	t	0
százalékos aránya	%	90
markoló tömege	t	3,5
macska tömege	t	4
híd tömege	t	18
műveleti ciklusok száma	összesen	1 037 952
emelés ideje	óra	15 989
macska haladás ideje	óra	13 001
híd haladás ideje	óra	14 858

Tehát a számított műveleti ciklusszám 1 037 952 ennek megfelelően a besorolás: U₇

5.3. Átlagos elmozdulás vagy szögelfordulás

A daru különböző mechanizmusai, egy ciklus alatt, eltérő elmozdulásokat, elforgásokat végeznek. (horogszerkezet, daruhíd, futómacska, gémszerkezet)

Az elmozdulás két munkatér közötti utat jelenti, például horogszerkezetnél teher emelésekor az alsó és felső horogállás közötti távolság. Ezek a távolságok egy origó ponttól (pl. talajszint) mérhetőek, és ezeknek a különböző távolságoknak a felhasználásával határozható meg az átlagos elmozdulás.

Számítás menete:

- meghatározzuk a lehetséges ismétlődő feladatok számát: r ,
- ezekhez a feladatokhoz munkahelyzeteket rendelünk: 1. munkatér, 2. munkatér,
- meghatározzuk (vagy megbecsüljük) az egy feladathoz tartozó munkaterek helyzetét az origóhoz képest: x_{ri} (1. munkatér) és x_{rj} (2. munkatér) méterben
- megadjuk az egyes feladathoz tartozó használati gyakoriságot: n_{ri} (1. munkatér) és n_{rj} (2. munkatér)
- meghatározzuk a különböző feladatokhoz tartozó ciklusok viszonylagos számát: α_r
- kiszámoljuk az egy feladathoz tartozó átlagos elmozdulást: \bar{x}_r

$$\bar{x}_r = \frac{\sum_{j=1}^n (n_{rj} * x_{rj})}{\sum_{j=1}^n n_{rj}} - \frac{\sum_{i=1}^m (n_{ri} * x_{ri})}{\sum_{i=1}^m n_{ri}}$$

- kiszámoljuk a teljes élettartam alatt várható átlagos elmozdulást: \bar{X}_{lin}

$$\bar{X}_{lin} = \sum_r (\alpha_r * \bar{x}_r)$$

Az átlagos szögelfordulásokat hasonló módon kell kiszámolni.

Ha egy munkatéren belül is van munkamozgás, akkor azt külön feladatnak kell tekinteni!

Az \bar{X}_{lin} átlagos elmozdulás D osztályait az MSZ EN 13001-1:2015 szabvány 3. táblázata tartalmazza.

5.4. Példa az átlagos elmozdulás számítására

Egy daru a raktártérben lévő kétféle méretű és minőségű, egymásra halmozott bugákat szállítja a kemence előtti görgősorra.

Buga1 magassága: 600 mm

Buga2 magassága: 400 mm

Halmazolási magasság:

Buga1 esetén: 8 buga

Buga2 esetén: 12 buga

Daru emelési magassága: 8 000 mm

Szállítási magasság: felső horogállás

Megfogószerkezet magassága: 1 200 mm

Görgősor szintje: 1 500 mm

A daru óránként 6 buga mozgatását végzi, egy műszakban. Általában a szállított bugáknak a 40%-a 600 mm magas.

- Meghatározzuk az ismétlődő feladatok számát. Ehhez szükséges a ciklusok száma,
 - óránként 6 buga,
 - naponta 8 óra x 6 buga = 48 ciklus,
 - évente 255 nap x 48 ciklus = 12 240 ciklus,
 - 10 évet figyelembe véve: 10 év x 12 240 ciklus = 122 400 ciklus.
- Két feladat van:
 - Buga1 halmaz, ismétlődő feladatok száma: $r_1 = 0,4 \times 122\,400 = 48\,960$ ciklus
 - Buga2 halmaz, ismétlődő feladatok száma: $r_2 = 0,6 \times 122\,400 = 73\,440$ ciklus
- Meghatározzuk az egy feladathoz tartozó elmozdulások gyakoriságát:
 - 1. feladat esetén 1 féle pozíció gyakorisága: $n_{1i} = 8\,160$ db
 - 2. feladat esetén 1 féle pozíció gyakorisága: $n_{2i} = 6\,120$ db
- Meghatározzuk a feladatonkénti munkaterekhez tartozó elmozdulásokat, lásd a táblázatokat.

r₁. feladat			
1. munkatér úthossz	2. munkatér úthossz	elmozdulás	
2 000	5 300	x ₁₁	14 600
2 600	5 300	x ₁₂	15 800
3 200	5 300	x ₁₃	17 000
3 800	5 300	x ₁₄	18 200
4 400	5 300	x ₁₅	19 400
5 000	5 300	x ₁₆	20 600
5 600	5 300	x ₁₇	21 800
6 200	5 300	x ₁₈	23 000

r ₂ . feladat			
1. munkatér úthossz	2. munkatér úthossz	elmozdulás	
2 000	5 300	x ₂₁	14 600
2 400	5 300	x ₂₂	15 400
2 800	5 300	x ₂₃	16 200
3 200	5 300	x ₂₄	17 000
3 600	5 300	x ₂₅	17 800
4 000	5 300	x ₂₆	18 600
4 400	5 300	x ₂₇	19 400
4 800	5 300	x ₂₈	20 200
5 200	5 300	x ₂₉	21 000
5 600	5 300	x ₂₁₀	21 800
6 000	5 300	x ₂₁₁	22 600
6 400	5 300	x ₂₁₂	23 400

- Kiszámoljuk az egy feladathoz tartozó átlagos elmozdulást: \bar{x}_r

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum_{j=1}^8 (n_{1j} * x_{1j})}{\sum_{j=1}^8 n_{1j}} - \frac{\sum_{i=1}^8 (n_{1i} * x_{1i})}{\sum_{i=1}^8 n_{1i}}$$

$$\bar{x}_1 = 18,8 \text{ m}$$

$$\bar{x}_2 = \frac{\sum_{j=1}^{12} (n_{1j} * x_{1j})}{\sum_{j=1}^{12} n_{1j}} - \frac{\sum_{i=1}^{12} (n_{1i} * x_{1i})}{\sum_{i=1}^{12} n_{1i}}$$

$$\bar{x}_2 = 19 \text{ m}$$

- Meghatározzuk a különböző feladatokhoz tartozó ciklusok viszonylagos számát: α_r

$$\alpha_1 = 0,4 \qquad \alpha_2 = 0,6$$

- Kiszámoljuk a teljes élettartam alatt várható átlagos elmozdulást: \bar{X}_{lin}

$$\bar{X}_{lin} = \sum_2 (\alpha_r * \bar{x}_r) = 18,92 \text{ m}$$

Lineáris elmozdulás			
Osztályok			Átlagos elmozdulás tartomány X_{lin} [m]
Emelés	Macska haladás	Daru haladás	
$Dh0$	$Dt0$	$Dc0$	$X_{lin} \leq 0,63$
$Dh1$	$Dt1$	$Dc1$	$0,63 < X_{lin} \leq 1,25$
$Dh2$	$Dt2$	$Dc2$	$1,25 < X_{lin} \leq 2,5$
$Dh3$	$Dt3$	$Dc3$	$2,5 < X_{lin} \leq 5$
$Dh4$	$Dt4$	$Dc4$	$5 < X_{lin} \leq 10$
$Dh5$	$Dt5$	$Dc5$	$10 < X_{lin} \leq 20$
$Dh6$	$Dt6$	$Dc6$	$20 < X_{lin} \leq 40$
$Dh7$	$Dt7$	$Dc7$	$40 < X_{lin} \leq 80$
$Dh8$	$Dt8$	$Dc8$	$80 < X_{lin} \leq 160$
$Dh9$	$Dt9$	$Dc9$	$160 < X_{lin} \leq 320$

A táblázat szerinti besorolás: Dh5

Fontos!

Van olyan szerkezeti elem, mint például a csapágy, ahol az élettartam a működési időtől (fordulatok száma) függ. Az EN szerinti osztályba sorolásnál közvetlenül nem szerepel a működési idő, míg a FEM osztályba sorolása a terhelési tényezőtől és a működési időtől függ. Az EN előírás szerint a működési időnél fontosabb a ciklusszám, az átlagosan megtett út, a gyorsítások száma. A működési idő számolható a ciklusok számával, az átlagos úthosszal és a mozgási sebességgel.

5.5. Terhelések gyakorisága

A terhelések gyakorisága szerinti osztályba sorolás hasonló a korábbi szabványok besorolásával.

A terhelésterjedelem-tényező kifejezi a daru üzemi viszonyait, a különböző hasznos terheket, a terhelésváltozásokat. Az eljárás itt is a részfeladatok meghatározásával és azok összegzésével történik.

Számítás menete:

- meghatározzuk a lehetséges ismétlődő feladatok számát: r ,
- meghatározzuk az r feladathoz tartozó ciklusok számát: C_r
- meghatározzuk az r feladat során az i terhelés nagyságát: Q_i
- meghatározzuk az i terheléshez tartozó ciklusok számát: C_i
- meghatározzuk a legnagyobb terhelést az r feladat esetén: Q_r

A terhelésterjedelem-tényező az alábbi módon számítható egy r feladathoz: kQ_r

$$kQ_r = \sum_i \frac{C_i}{C_r} * \left(\frac{Q_i}{Q_r}\right)^3$$

Ha több feladat van, akkor a tényező a következő módon számítható: kQ

$$kQ = \sum_r \frac{C_r}{C} * kQ_r * \left(\frac{Q_r}{Q}\right)^3$$

ahol Q a Q_r értékek közül a legnagyobb, lényegében a maximális teherbírás.

A kQ terhelésterjedelem-tényező Q osztályait az MSZ EN 13001-1:2015 szabvány 4. táblázata tartalmazza.

Osztály	Terhelési spektrum tényező
Q_0	$kQ \leq 0,0313$
Q_1	$0,0313 < kQ \leq 0,0625$
Q_2	$0,0625 < kQ \leq 0,1250$
Q_3	$0,1250 < kQ \leq 0,2500$
Q_4	$0,2500 < kQ \leq 0,5000$
Q_5	$0,5000 < kQ \leq 1,0000$

5.6. Példa terhelésterjedelem tényező meghatározására:

Feladat egy markoló daru emelőművének a terhelésterjedelem tényező meghatározása.

Emelőmű kihasználtsága				
	mozgások aránya (%)	mozgások száma (db / műszak)	működési idő (s / ciklus)	össz működési idő (min / műszak)
terhelési eset				
7700 kg	30	91	37	28,2
2500 kg	20	61	37	18,8
üres	50	152	37	47,0
	összesen:	304	összesen:	94

Markoló tömege: 3 500 kg, így az emelt terhek:

$$Q_1 = 7\,700 + 3\,500 \text{ (kg)}$$

$$Q_2 = 2\,500 + 3\,500 \text{ (kg)}$$

$$Q_3 = 0 + 3\,500 \text{ (kg)}$$

Az alkalmazott összefüggés:

$$kQ_r = \sum_i \frac{C_i}{C_r} \cdot \left(\frac{Q_i}{Q_r} \right)^3$$

$$kQ_r = \frac{91}{304} * \left(\frac{11200}{11200} \right)^3 + \frac{61}{304} * \left(\frac{6000}{11200} \right)^3 + \frac{152}{304} * \left(\frac{3500}{11200} \right)^3$$

$$kQ_r = 0,3 + 0,03 + 0,015 = 0,345$$

A számítás szerint a besorolás: **Q₄**

5.7. Gyorsulások átlagos száma

A teher kívánt helyzetének elérése érdekében valamennyi mozgás esetén gyorsításra van szükség. A gyorsulások (ezek lehetnek gyorsítások vagy lassítások egyaránt) átlagos száma kifejezi egy munkafolyamat (ciklus) során a teher gyorsításainak számát (emelés és süllyesztés is).

Gyorsulások száma: p

Gyorsulások számának p osztálya: P

Gyorsulások számának P osztályait az MSZ EN 13001-1:2015 szabvány 5. táblázata tartalmazza.

Osztály	Gyorsulások átlagos száma
P_0	$P = 2$
P_1	$2 < P \leq 4$
P_2	$4 < P \leq 8$
P_3	$8 < p$

5.8. Feszültségtörténet meghatározása

5.8.1. Általános elvek

A daru szerkezeti elemeinek fáradásos szilárdságának igazoló számításához meg kell határozni az üzemi viszonyokból származó feszültségtörténeteket.

A feszültségtörténet megjelenítése a fáradási szempontból lényeges feszültségváltozások összessége.

A fáradási szilárdság igazolásakor az eseti vagy kivételes terheket nem kell figyelembe venni.

A fáradási szilárdság igazolásakor a terheléseket meg kell szorozni a φ dinamikus tényezővel, míg az összes γ_p részleges biztonsági tényezőt 1-nek kell venni.

Azokat a feszültségtörténeteket, amelyek nem lineárisan arányosak (mint a tartó felső szálában a gerendaelméletből és a kerékterhelésből származó helyi hatások, vagy a hajtóműtengelyben a hajlításból és csavarási nyírásból származó feszültségek), külön kell meghatározni. Az ilyen történetek egyesített hatásainak fáradási értékelése az egyes esetek kölcsönhatásán alapul.

A feszültségtörténeteket ábrázolni kell a legnagyobb feszültség amplitúdók időtartama és a feszültség amplitúdók gyakorisága és a hozzá tartozó középfeszültségek függvényében.

5.8.2. Feszültség amplitúdók gyakorisága

Minden feszültségciklust jellemez az alsó és felső szélsőértéke, amiből meghatározhatók a feszültség amplitúdók és a középfeszültségek.

$$\sigma_a = (\sigma_u - \sigma_b)/2 \quad 6$$

$$\sigma_m = (\sigma_u + \sigma_b)/2$$

Ahol: σ_u a feszültségciklus felső szélső értéke;
 σ_b a feszültségciklus alsó szélső értéke;
 σ_a feszültségamplitúdó;
 σ_m középfeszültség.

Minden azonosított feszültségciklust osztályozni kell a statisztikai megjelenítéshez. Ebből a szempontból minden olyan feszültségciklus, amelyiknek az amplitúdója az i tartományban van, és amelyiknek a középfeszültsége a j tartományban van, az a ij feszültségciklus-osztályba esik. Az ij osztály feszültségciklusainak száma (gyakoriság) az n_{ij} .

⁶ MSZ EN 13001-1:2015 – 4.4.2.

A normálfeszültségek amplitúdóinak gyakoriságát meg kell határozni pozitív és negatív középvezültségekre is, a nyírófeszültségek amplitúdóinak gyakoriságát elegendő csak a pozitív középvezültségekre meghatározni.

A feszültségtörténetek kétváltozós megjelenítését az MSZ EN 13001-1:2015 szabvány 6. ábrája szemlélteti.

Számítás menete:

- meg kell határozni minden r feladathoz tartozó ij osztály feszültségciklusainak a számát: $n_{ij}^{(r)}$
- meg kell határozni a működési ciklusok számát: C
- meg kell határozni minden r feladathoz tartozó ciklusok viszonylagos értékét: α_r

$$n_{ij} = \sum_r \alpha_r * C * n_{ij}^{(r)}$$
$$n = \sum_i \sum_j n_{ij}$$

ahol: **n** a feszültségciklusok összes száma

A fáradásvizsgálatokat a különböző szerkezetekre vonatkozó szabványok ismertetik.

5.9. Daruk osztályba sorolása az ISO 4301-1 szabvány szerint

Az MSZ EN 13001 szabványsorozat nem ad egy jellel jellemezhető daru besorolást. A darugyártók a daruk használhatóságának kifejezésére rendszerint az ISO szerinti csoportszámot választják. A következő táblázat bemutatja az ISO szerinti csoportszámokat, melyek a már ismertetett ciklusszámokon és a terhelési tényezőkön alapulnak. Terhelési tényezőtől 6 csoport van (MSZ EN esetén 4), mint látható a kisebb kihasználtságú daruk csoportszámát növelték. A számítási eljárás hasonló az MSZ EN 13001-1 előírásával.

Table 4 — Classes A for group classification

Classes Q_p and load spectrum factor K_p		Classes U and total number of work cycles											
		U_0	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9		
Class Q_p	Design value of load spectrum factor K_p	$1,6 \times 10^4$	$3,15 \times 10^4$	$6,3 \times 10^4$	$1,25 \times 10^5$	$2,5 \times 10^5$	$5,0 \times 10^5$	$1,0 \times 10^6$	$2,0 \times 10^6$	$4,0 \times 10^6$	$8,0 \times 10^6$		
Q_{p0}	0,031 3	A03	A02	A01	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6		
Q_{p1}	0,062 5	A02	A01	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7		
Q_{p2}	0,125 0	A01	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8		
Q_{p3}	0,250 0	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9		
Q_{p4}	0,500 0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10		
Q_{p5}	1,000 0	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11		

6. Darukra ható terhelések meghatározása az MSZ EN 13001-2 szerint

6.1. Jelölések, megnevezések

Az alábbi táblázat tartalmazza az MSZ EN 13001-2:2014 szabványban lévő jelölések magyar nevét.

Jelölés, rövidítés	Leírás
A1 - A4	Terheléskombinációk, beleértve a rendszeres terheléseket
A	A darurészegység jellemző felülete
A_g	Az összes emelt teher felületének a szélirányra merőleges síkú vetülete
A_c	A rácsos tartóelem határolóvonala által bezárt terület az elemet jellemző d magasság síkjában
A_j	Egyetlen daruelem felülete a rá jellemző d magasság síkjára vetítve
b_h	A sínfej szélessége
b	A daruelem jellemző szélessége
B1 - B5	A rendszeres és esetleges terhelések kombinációi
c	Rugóállandó
c_o, c_a, c_{oy}, c_{oz}	Légellenállás tényezők
C1 - C11	Rendszeres, esetleges és rendkívüli terheket tartalmazó terheléskombinációk
CFF, CFM	F/F vagy F/M rendszerben kapcsolt kerékpárok
d	A daruelem jellemző mérete
d_i, d_n	Az i -edik vagy n -edik kerékpár és a vezetőelem távolsága
e_G	A sínhézag szélessége
f	Súrlódási együttható
f_i	Terhelés
f_q	Sajátfrekvencia
f_{rec}	A $v(z)$ számításakor használt jelölés
F	Erő
F_x, F_y, F_z	Szélhatás
\hat{F}	A legnagyobb ütközőerő
F_i, F_f	A kezdeti (i) és végső (f) hajtóerő
ΔF	A hajtóerő változása
$F_{x1i}, F_{x2i}, F_{y1i}, F_{y2i}$	Az érintő irányú kerékerők (kerékterhelés)
F_y	Vezetőerő
F_{z1i}, F_{z2i}	Függőleges kerékerők (kerékterhelés)

Jelölés, rövidítés	Leírás
F/F, F/M	Fix (rögzített)/Fix (F/F), illetve Fix/Mozgó (F/M) jelölések rövidítései a darukerekek oldalirányú elmozdulási képességének jelölésére
g	gravitációs gyorsulás
h	A pillanatnyi forgáspont és a vezetőelem távolsága oldalazás esetén
$h(t)$	Időfüggő egyenetlenségi függvény
h_s	Illesztési lépcső magassága a sínpályában
H_1, H_2	Egyenlőtlen tömegeloszlásból származó oldalirányú kerékterhelések
HC1 to HC4	Merevségi osztályok
HD1 to HD5	Emelőmű hajtás működési osztálya
i	Futó-sorszám
IFF, IFM	F/F és F/M rendszerek független kerék-párjai
j	Futó-sorszám
k	Futó-sorszám
K	A terep ellenállási tényezője
K_1, K_2	Egyenetlenségi tényező
l	Daru fesztáv
l_a	Daru elem aerodinamikai hosszúsága
l_o	Daru elem geometriai hossza
m_H	Emelt teher tömege
m	Daru és emelt teher együttes tömege
Δm_H	Eleresztett vagy elejtett része az emelt tehernek
n	Egy pályaoldalon található kerekek száma
n_m	η takarási tényező kitevője
p	Kapcsolt kerék-párok száma
q	Egyenértékű statikus szélnyomás
\bar{q}	Átlagos szélnyomás
$q(z)$	Egyenértékű statikus szélnyomás rendkívüli szélterhelés esetén (szélviharban)
$q(3)$	Szélnyomás $v(3)$ szélsébségnél
r	Kerék sugara
R	Rendkívüli szélterhelés visszatérési ideje
Re	Reynolds-szám
s_g	Vezetőelem és sín közötti távolság
s_y	Oldalirányú megcsúszás a vezetőelemnél

Jelölés, rövidítés	Leírás
ΔS	A terhelés változása
t	Idő
u	Az ütköző összenyomódása
u	Az ütköző legnagyobb összenyomódása
v	A daru haladási sebessége
v	Átlagos szélesebesség
v^*	Átlagos szélesebesség abban az esetben, ha a szél iránya nem merőleges a vizsgált daru szerkezeti elemének hossz tengelyére
$v(z)$	Egyenértékű statikus szélviharsebesség
$v(z)^*$	Egyenértékű statikus szélviharsebesség abban az esetben, ha a szél iránya nem merőleges a vizsgált daru szerkezeti elemének hossz tengelyére
$v(3)$	3 másodpercre átlagolt szélleköési sebesség
v_g	A három másodperces szélleköés amplitúdója
v_h	Emelési sebesség
$v_{h,max}$	A legnagyobb állandósult emelési sebesség
$v_{h,CS}$	Állandósult emelési kúszósebesség
$v_m(z)$	A z magasságban, tíz percre átlagolt szélviharsebesség
v_{ref}	A szélviharsebesség referenciaértéke
w_b	A vezetőelemek közötti távolság
z	A talajszint feletti magasság
$z(t)$	A tömegközéppont koordinátája az idő függvényében
α_r	Vízonított aerodinamikai hossz
α_w	a v vagy $v(z)$ szélesebesség és a vizsgált daru szerkezeti elemének hossz tengelye által bezárt szög
α	Ferdefutási szög
α_g	Az α ferdefutási szögnek a vezetőelem játékból származó összetevője
α_G	Φ_4 számításakor használt mennyiség
α_s	Φ_4 számításakor használt mennyiség
α_t	Az α ferdefutási szög tőréséből származó része
α_w	Az α ferdefutási szög kopásból származó része
β	A vízszintes sík és a nem vízszintesen ható szél közötti szög
β_2	A Φ_2 számításakor használt mennyiség
β_3	A Φ_3 számításakor használt mennyiség
γ_t	Általános biztonsági tényező
γ_m	Ellenállás-tényező
γ_n	Kockázati tényező
γ_p	Részleges biztonsági tényező
δ	A Φ_4 számításakor használt mennyiség
ε_s	Szokásos indítóerő-tényező
ε	A szokásos átlagos hajtóerő tehetetlenségi tényezője

Jelölés, rövidítés	Leírás
η	Takarási tényező
η_w	Üzemen kívüli állapotban fennmaradó emelt teher tényezője
λ	Aerodinamikai karcsúsági tényező
μ, μ'	Az I feszítáv részei
F	Az F_y vezetőerő számításakor használt mennyiség
F_{1i}, F_{2i}	Az F_{y1i} és F_{y2i} számításakor használt mennyiség
ξ	A Φ_7 számításakor használt mennyiség
ξ_{1i}, ξ_{2i}	Az F_{x1i} és F_{x2i} számításakor használt mennyiség
$\xi_G(\alpha_G), \xi_S(\alpha_S)$	Görbületi tényezők
ρ	A levegő sűrűsége
ϕ	Tömörsegi tényező
Φ_i	Dinamikus tényezők
Φ_1	Az emelési folyamat hatásából a daruszerkezetre ható dinamikus tényező
Φ_2	Rögzítetlen, földre helyezett teher emelésére vonatkozó tehetetlenségi és súlyerők dinamikus tényezője
Φ_{2C}	Rögzítetlen, földre helyezett teher emelésére vonatkozó tehetetlenségi és súlyerők dinamikus tényezője rendkívüli terhelési esetben
Φ_{2min}	A Φ_2 számításakor használt változó
Φ_3	Az emelt teher egy részének hirtelen elengedésére vonatkozó tehetetlenségi és súlyerők dinamikus tényezője
Φ_4	Az egyenetlen felszínen való haladásból származó terhelések dinamikus tényezője
Φ_5	Az összes hajtás gyorsulásából származó terhelések dinamikus tényezője
Φ_6	A próbateherből származó terhelések dinamikus tényezője
Φ_7	Az ütközőerőkből származó terhelések dinamikus tényezője
Φ_8	A szélleökések reakciótényezője
Φ_L, Φ_{ML}	
Ψ	A légellenállás-tényezők számításakor használt csökkentő tényező

6.2. Terhelések csoportosítása

A darukra ható terhelések alapvetően három csoportba sorolhatóak: rendszeres terhelések, esetleges terhelések és rendkívüli terhelések. A szabványok ugyan minden a darukra ható terhelést ezekbe a csoportokba sorolnak, azonban bizonyos hatások esetén (figyelembe véve azok gyakoriságát és jellegét) megengedik az átjárást a csoportok között. Jelen segédlet az egyértelműen egyik csoportba sem besorolható, illetve más terhelésekkel nem kombinálandó terheléseket külön csoportba sorolja (egyéb terhelések).

Rendszeres terhelések:

- Önsúlyból származó terhelések
- Teheremelésből származó terhelések
- Emelt teher egy részének elengedése
- Egyenetlen felületen való haladás
- Hajtások okozta terhelések
- Elmozdulások okozta terhelések

Esetleges terhelések:

- Üzemi szélterhelések
- Egyéb környezeti terhelések
- Ferdefutás okozta terhelések

Rendkívüli terhelések:

- Üzemen kívüli szélterhelések
- Hirtelen teheremelés okozta terhelések
- Túlterhelés
- Ütközőerők
- Emelt teher elejtése és mechanikai hiba okozta terhelések

Egyéb terhelések:

- Próbaterhelések
- Felállítás, szerelés és szállítás okozta terhelések
- Személyek mozgására szolgáló részek terhelései
- Ésszerűen előre látható rendellenes használatból adódó terhelések

6.3. Rendszeres terhelések

Rendszeres terhelések alatt a darura a normál üzemelés során, a tervezéskor figyelembe vett üzemi körülmények között, ható terheléseket kell érteni. Ezek a daru normál

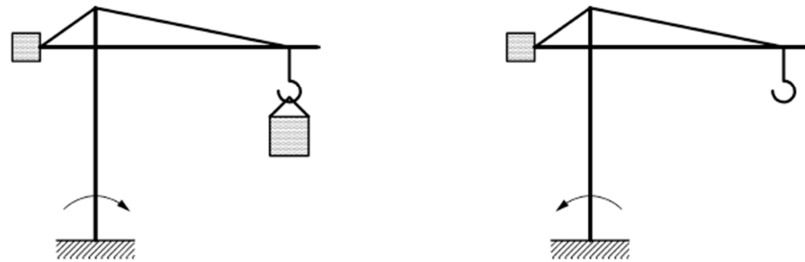
üzeme alatt nem feltétlen minden emelési műveletkor, de rendszeresen fellépnek. A terhelések nagysága ugyan az esetek többségében nem határozható meg pontosan, de megjelenésük a daruval végzett egyes műveletekkel determinisztikus kapcsolatban áll.

6.3.1. Önsúlyból származó terhelések

A daru tartószerkezetének és gépészeti berendezéseinek méretezésekor számolni kell a szerkezetek önsúlyával, mint terheléssel. A szerkezeti tömegek osztályozni kell aszerint, hogy azok hatása kedvező, vagy kedvezőtlen. Ezt a besorolást minden részegység vizsgálata esetén, minden szerkezeti elemre és terhelési esetre el kell végezni.

Példa:

Az ábrán látható első esetben, a torony befogására (rögzítésére) vonatkozóan az ellensúly tömege kedvező hatásúnak minősíthető, míg a második esetben kedvezőtlennek. Az ellensúlyt tartó (hátranyúló) gémtag esetében azonban ez a tömeg mindkét esetben kedvezőtlennek minősül.



A daru önsúlyából adódó terhelésekre vonatkozó parciális biztonsági tényezők (γ_p) értékei, a különböző terhelési esetekre vonatkozóan az alábbi táblázatban vannak összefoglalva⁷:

Masses of crane parts and their centres of gravity	Load combinations in accordance with 4.3.6					
	A		B		C	
	unfavourable	favourable	unfavourable	favourable	unfavourable	favourable
obtained by calculation	1,22	0,95	1,16	0,97	1,10	1,00
obtained by weighing	1,16	1,00	1,10	1,00	1,05	1,00

A parciális biztonsági tényezők értéke, figyelembe véve a gyártási tűrésekből adódó pontatlanságokat különbözik a számítással, illetve a tényleges mérlegeléssel meghatározott tömegekre.

Bizonyos alkalmazások esetén számolni kell a daru szerkezetére lerakódó szennyeződésekkel (pl. egy acélöntő műben a grafitpor) is. Ezek hatását a szerkezetek önsúlyának megfelelő mértékű növelésével kell figyelembe venni.

A darura a teher elemelése és lerakása pillanatában, a szerkezetben kialakuló gerjesztett lengések miatt a saját szerkezeti tömeg tehetetlenségéből adódóan egy dinamikus

⁷ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.3.4.

többletterhelés hat. Ezt a többletterhelést egy φ_1 jelű dinamikus tényező alkalmazásával kell figyelembe venni.

A φ_1 dinamikus tényező értéke kedvezőtlen tömegű szerkezetrészek esetén általánosan:

$$\varphi_1 = 1 \div 1,1 \quad 8$$

A φ_1 dinamikus tényező értéke kedvező tömegű szerkezetrészek esetén általánosan:

$$\varphi_1 = 0,95 \div 1 \quad 9$$

Gémes daruk esetén az értékek a fenti határokon belül, a szerkezet várható viselkedésének figyelembe vételével szabadon megválaszthatóak.

Híd- és bakdaruk esetén a kedvezőtlen hatásokra vonatkozó tényező értéke:

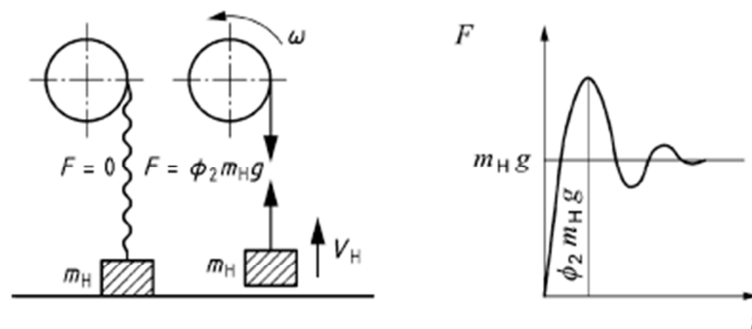
$$\varphi_1 = 1,1 \quad 10$$

A kedvező hatásokra vonatkozó tényező értéke pedig:

$$\varphi_1 = 0,95 \quad 11$$

6.3.2. Teheremelésből származó terhelések

A teher földről történő elemelése pillanatában, amikor annak tehetetlen tömegét az emelési sebességre kell hirtelen felgyorsítani, a daru szerkezetére a névlegesnél jóval nagyobb terhelés hat. Ezt a hatást a teheremelésre vonatkozó, φ_2 jelű dinamikus tényezővel kell figyelembe venni. Ennek nagysága elsősorban attól függ, hogy az elemelkedés pillanatában a terhet milyen gyorsulással (tehát milyen sebességre és mennyi idő alatt) kell felgyorsítani. Ezt befolyásolja a daru vezérlése (emelési sebessége és annak szabályozása), illetve a gyorsítási út, amit elsősorban a szerkezet merevsége (annak rugalmas alakváltozása) határoz meg.



⁸ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.2.1.

⁹ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.2.1.

¹⁰ MSZ EN 15011:2011+A1:2014 – 5.2.1.3.1.

¹¹ MSZ EN 15011:2011+A1:2014 – 5.2.1.3.1.

Ezen dinamikus tényező értéke, bizonyos esetekben, a rendszeres és a rendkívüli terhelések számítása esetén különböző lehet. Ennek oka, hogy a modern daruknál, ahol az emelési sebesség szabályozása a teheremelés kezdetén a kezelőtől függetlenül, automatikusan történik, a szabályozó rendszer meghibásodása esetén a tervezettnél jóval nagyobb dinamikus igénybevételnek lesz kitéve a szerkezet. A rendszeres terhelések során alkalmazott dinamikus tényező jelölése a továbbiakban φ_2 -vel, míg a rendkívüli terheléseknél alkalmazott φ_{2C} -vel történik. A rendszeres és a rendkívüli terhelések esetére alkalmazott számítási eljárás csak a mértékadó emelési sebességben (v_h) tér el egymástól.

A teheremelésre vonatkozó dinamikus tényezők meghatározása három féle módon történhet: egyszerűsített számítással, összetett dinamikus analízissel, illetve kísérleti úton. Jelen segédlet a továbbiakban csak a szabványban is megtalálható egyszerűsített eljárással foglalkozik.

Az egyszerűsített számítási eljárás lényege, hogy a daru szerkezetét egy úgynevezett merevségi osztályba (**HC**), az emelőmű hajtását pedig egy hajtásrendszer osztályba (**HD**) kell sorolni, majd ezek segítségével, egy tapasztalati úton meghatározott módosító tényezőkkel súlyozott képlettel becsülhető meg a teheremelés során kialakuló dinamikus hatásokat reprezentáló φ_2 tényező:

$$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 \cdot v_h \quad 12$$

Ahol: φ_2 teheremelés dinamikus tényezője (-);

$\varphi_{2,min}$ dinamikus tényező alapértéke (-);

β_2 merevségi osztály (**HC**) súlyozó tényezője (s/m);

v_h hajtásrendszer osztálytól (**HD**) függő mértékadó emelési sebesség (m/s).

A merevségi osztály (**HC**):

A daruk szerkezetük rugalmassága alapján négy merevségi osztályba sorolhatóak. Általános esetben az osztályok kiválasztása az alábbi táblázat alapján lehetséges:

Stiffness class	Characteristic vertical load displacement δ
HC1	$0,8 \text{ m} \leq \delta$
HC2	$0,3 \text{ m} \leq \delta < 0,8 \text{ m}$
HC3	$0,15 \text{ m} \leq \delta < 0,3 \text{ m}$
HC4	$\delta < 0,15 \text{ m}$

Ahol: **HC1-HC4** merevségi osztály (-);

δ mértékadó függőleges elmozdulás (m/s).

¹² MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.2.2.

A mértékadó függőleges elmozdulás (δ) mértéke függ a tehertartó elem (emelőlánc, vagy kötél) viselkedésétől a daru acélszerkezetének rugalmasságától és az alátámasztó szerkezetek merevségétől is. Értékének közelítő meghatározása a különböző darutípusok esetén eltérő eljárásokkal lehetséges. Általános esetben ki kell számítani a tehertartó elem alsó pontjának (jellemzően a horogszerkezet) függőleges elmozdulását a maximális névleges terhelés (biztonsági és dinamikus tényezők nélkül) hatására. A számítás során figyelembe kell venni az emelőmű (a tehertartó elemmel együtt), az acélszerkezet és az alátámasztás várható viselkedését (merevségét) is.

Gémes daruk esetén az általános esetre vonatkozó eljárást kell alkalmazni, azzal a különbséggel, hogy az emelési osztály a számított érték segítségével az alábbi táblázatból választható ki:

Vertical load displacement δ	Hoisting class
$1,6 \text{ m} \leq \delta$	HC1
$0,55 \text{ m} \leq \delta < 1,6 \text{ m}$	HC2
$0,20 \text{ m} \leq \delta < 0,55 \text{ m}$	HC3
$\delta < 0,20 \text{ m}$	HC4

Híd és bakdaruk esetén szintén alkalmazható az általános esetre leírt eljárás, de megengedett egy egyszerűsített módszer használata is. Ennek lényege, hogy az emelési osztály a mértékadó függőleges elmozdulás (δ) értékének meghatározása nélkül, egy elméleti dinamikus tényező (ϕ_{2t}) segítségével választható ki. Ezen elméleti tényező a tehertartó elem rugalmassága mellett figyelembe veszi a daru szerkezeti részeinek és magának az emelt tehernek a merevségét is.

Feltétel	Emelőosztály
$\phi_{2t} \leq 1,07 + 0,24v_{h,max}$	HC1
$1,07 + 0,24v_{h,max} < \phi_{2t} \leq 1,12 + 0,41v_{h,max}$	HC2
$1,12 + 0,41v_{h,max} < \phi_{2t} \leq 1,17 + 0,58v_{h,max}$	HC3
$1,17 + 0,58v_{h,max} < \phi_{2t}$	HC4

Ahol: ϕ_{2t} elméleti dinamikus tényező (-);

$v_{h,max}$ maximális emelési sebesség (m/s).

Az elméleti dinamikus tényező (ϕ_{2t}) számítása mind köteles, mind pedig láncos emelőművek esetén azonos módon lehetséges:

$$\phi_{2t} = 1 + \frac{2,8 \cdot v_{h,max}}{0,45 + \left(\frac{f_{u,rc} \cdot l_{rc}}{1500 \cdot Z_a} \right)^{0,5}}$$

13

¹³ MSZ EN 15011:2011+A1:2014 – 5.2.1.3.2.2.

- Ahol: ϕ_{2t} elméleti dinamikus tényező (-);
 $v_{h,max}$ maximális emelési sebesség (m/s);
 $f_{u,rc}$ teher tartó elem (kötél vagy lánca) anyagának szakítószilárdsága (N/mm²);
 l_{rc} egy kötélt vagy lánca hossz (m);
 Z_a teher tartó elem kihasználtsági együtthatója (-).

A teher tartó elem kihasználtsági együtthatójának (Z_a) meghatározása az alábbi formulával lehetséges:

$$Z_a = \frac{n_{rc} \cdot F_{b,rc}}{WLL} \quad 14$$

- Ahol: Z_a teher tartó elem kihasználtsági együtthatója (-);
 n_{rc} kötélt vagy lánca szám (-);
 $F_{b,rc}$ egy kötélt vagy lánca teljes tényleges szakítóereje (N);
 WLL névleges teherbírás (N).

A merevségi osztály súlyozó tényezője (β_2):

A súlyozó tényező a merevségi osztály (**HC**) függvényében az alábbi táblázatból választható ki:

Stiffness class	Factor β_2 [s/m]
HC1	0,17
HC2	0,34
HC3	0,51
HC4	0,68

A hajtásrendszer osztály (**HD**):

A darut a hajtásrendszerének működése ismeretében az alábbi osztályok valamelyikébe kell besorolni:

HD1	Az emelőmű nem üzemeltethető kúszósebességgel, vagy a teheremelés megkezdése nem csak kúszósebességgel lehetséges.
HD2	Az emelőmű a teheremelés kezdetén, a kezelőtől függetlenül, legalább egy előre beállított ideig kúszósebességgel üzemel.

¹⁴ MSZ EN 15011:2011+A1:2014 – 5.2.1.3.2.2.

HD3	Az emelőmű vezérlése a teher földről való elemelésének végéig állandó kúszósebességet biztosít.
HD4	A darukezelő fokozatmentesen változtatható sebességgel vezérelhet, amely folyamatos sebességátmenetet biztosít.
HD5	Az emelőeszköz előfeszítése után az emelőmű hajtásvezérlése a darukezelőtől független gyorsulással éri el a kiválasztott sebességet, miközben biztosítja, hogy a teheremelés dinamikus tényezője (ϕ_2) ne haladja meg az alapértéket ($\phi_{2,min}$).

A mértékadó emelési sebesség (v_h):

Az emelőmű mértékadó emelési sebessége a hajtásrendszer osztály (**HD**) ismeretében az alábbi táblázatból választható ki a különböző terhelési esetekre:

Load combination	Hoist drive class				
	HD1	HD2	HD3	HD4	HD5
A, B ϕ_2	$v_{h,max}$	$v_{h,CS}$	$v_{h,CS}$	$0,5 \cdot v_{h,max}$	0
C ϕ_{2C}		$v_{h,max}$		$v_{h,max}$	$0,5 \cdot v_{h,max}$

Ahol: ϕ_2 teheremelés dinamikus tényezője rendszeres és esetleges terhelések esetén (-);

ϕ_{2C} teheremelés dinamikus tényezője rendkívüli terhelések esetén (-);

$v_{h,max}$ legnagyobb lehetséges emelési sebesség (m/s);

$v_{h,CS}$ állandó kúszósebesség (m/s).

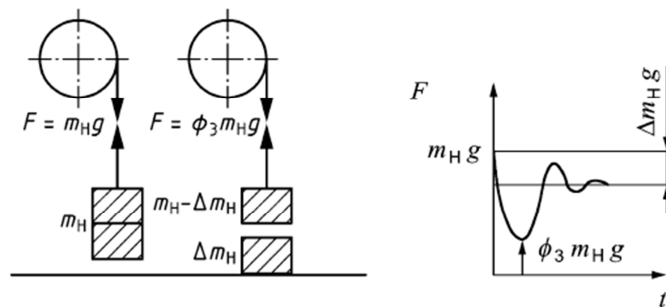
A dinamikus tényező alapértéke ($\phi_{2,min}$):

A dinamikus tényező alapértékei az alábbi táblázatból választhatóak ki a merevségi osztály (**HC**) és a hajtásrendszer osztály (**HD**) függvényében:

Stiffness class	Hoist drive class				
	HD1	HD2	HD3	HD4	HD5
HC1	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
HC2	1.1	1.1	1.05	1.1	1.05
HC3	1.15	1.15	1.05	1.15	1.05
HC4	1.2	1.2	1.05	1.2	1.05

6.3.3. Emelt teher egy részének elengedése

Azon daruk esetén, amelyek az általuk végzett munkaciklus során az emelt teher egy részét szándékoltnan elejtik (ilyenek például a mágnes, illetve markoló üzemű daruk), számolni kell a teher elejtésekor fellépő dinamikus terheléssel. Ennek figyelembe vétele a φ_3 jelű dinamikus tényezővel lehetséges.



A dinamikus tényező közelítő értéke az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m_H}{m_H} \cdot (1 + \beta_3)$$

15

Ahol: φ_3 teher-elejtés dinamikus tényezője (-);

Δm_H elejtett teher tömege (kg);

m_H teljes emelt teher (kg);

$\beta_3 = 0,5$ dinamikus jelleg tényező markolóval, vagy hasonló, lassú kioldású szerkezettel szerelt darukra;

$\beta_3 = 1,0$ dinamikus jelleg tényező mágnessel, vagy hasonló, gyors kioldású szerkezettel szerelt darukra.

A φ_3 dinamikus tényező negatív értéke a szerkezetre ható emelőerőt jelent.

6.3.4. Egyenetlen felületen való haladás

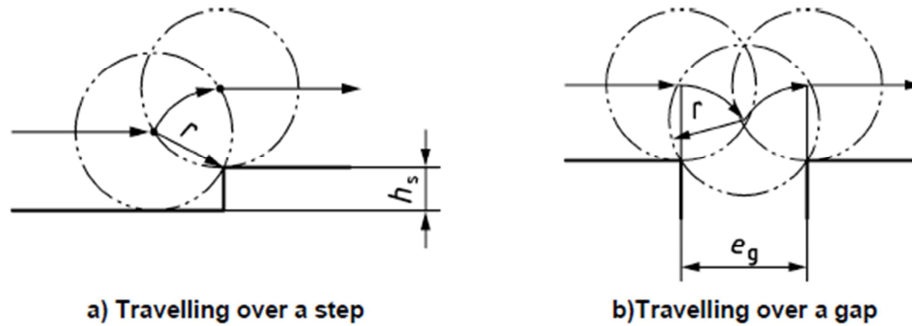
A darura úton, terepen vagy sínpályán haladásakor ható dinamikus terheléseket meg kell határozni, és az ellenőrző számítások során figyelembe kell venni. Ez történhet kísérleti vagy számítási módszerrel, a daru vagy a futómacska és a pálya megfelelő modellezése segítségével.

A darura haladás közben ható terhelések számításakor a fellépő gyorsulásokat úgy kell meghatározni, hogy a darura ható súlyerőket meg kell szorozni egy φ_4 jelű tényezővel.

Amennyiben a daru várható viselkedése megfelel az egytömegű lengőrendszer modelljének (a mértékadó válaszlengések csak egy-egy sajátfrekvencián lépnek fel, illetve forgómozgás nem lép fel) úgy az erre vonatkozó összefüggések alkalmazhatóak.

¹⁵ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.2.3.

A fellépő dinamikus hatásokat két esetre kell meghatározni: illesztési lépcsőn való áthaladás (φ_{4S}), illetve illesztési hézagon való áthaladás (φ_{4G}) esetére:



Illesztési lépcsőn való áthaladás dinamikus tényezője (φ_{4S}):

$$\varphi_{4S} = 1 + \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \cdot \frac{2 \cdot v_t^2}{g \cdot d_w} \cdot \xi_s$$

16

Ahol: φ_{4S} illesztési lépcsőn való áthaladás dinamikus tényezője (-);

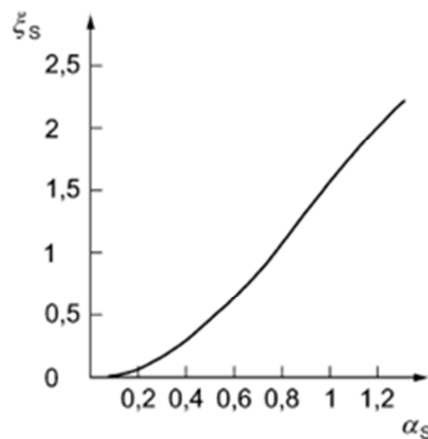
v_t daru állandó haladási sebessége (m/s);

d_w kerékátmérő (m);

$g = 9,81$ gravitációs gyorsulási együttható (m/s²);

ξ_s görbületi tényező (-).

A görbületi tényező értéke az α_s paraméter függvényében a következő diagramról olvasható le:



A ξ_s görbületi tényező meghatározásához szükséges α_s paraméter:

$$\alpha_s = \frac{2 \cdot f_q \cdot h_s}{v_t} \cdot \sqrt{\frac{d_w}{h_s}}$$

17

¹⁶ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.2.4.

¹⁷ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.2.4.

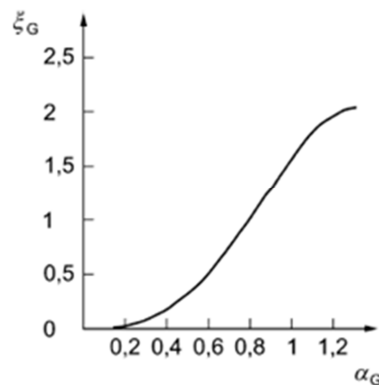
- Ahol: α_s illesztési lépcső görbületi tényező paramétere (-);
 f_q a daru, mint egytömegű lengőrendszer sajátfrekvenciája (Hz);
 h_s illesztési lépcső magassága (m);
 v_t daru állandó haladási sebessége (m/s);
 d_w kerékátmérő (m).

Illesztési hézagon való áthaladás dinamikus tényezője (φ_{4G}):

$$\varphi_{4G} = 1 + \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \cdot \frac{2 \cdot v_t^2}{g \cdot d_w} \cdot \xi_G \quad 18$$

- Ahol: φ_{4G} illesztési lépcsőn való áthaladás dinamikus tényezője (-);
 v_t daru állandó haladási sebessége (m/s);
 d_w kerékátmérő (m);
 $g = 9,81$ gravitációs gyorsulási együttható (m/s²);
 ξ_s görbületi tényező (-).

A görbületi tényező értéke az α_G paraméter függvényében a következő diagramról olvasható le:



A ξ_s görbületi tényező meghatározásához szükséges α_s paraméter:

$$\alpha_G = \frac{f_q \cdot e_G}{v_t} \quad 19$$

- Ahol: α_G illesztési hézag görbületi tényező paramétere (-);
 f_q a daru, mint egytömegű lengőrendszer sajátfrekvenciája (Hz);
 e_G illesztési hézag szélessége (m);
 v_t daru állandó haladási sebessége (m/s).

¹⁸ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.2.4.

¹⁹ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.2.4.

Híd és bakdaruknál folyamatos úttetek vagy rések nélküli vágányok esetében:

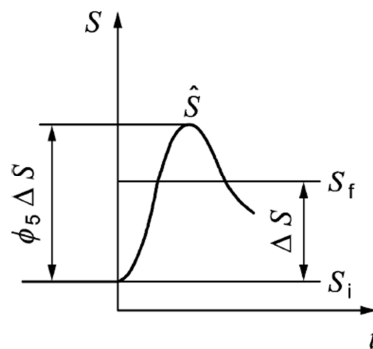
$$\varphi_4 = 1$$

20

Gumikerekű bakdaruk esetén a φ_4 tényező meghatározásakor a kerék rugalmasságát is figyelembe kell venni.

6.3.5. Hajtások okozta terhelések

A daru mozgásában a különböző hajtásokkal (például haladó-, emelő- és forgatóművek hajtásai) létrehozott gyorsulások és lassulások meghatározása a merevtest modellen alapuló kinematikus és dinamikus mechanikai egyenletekkel lehetséges. Ezek azonban nem veszik figyelembe a szerkezetek rugalmasságának hatásait, így a kialakuló terheléseket egy φ_5 jelű dinamikus tényezővel módosítva kell számítani.



A hajtóerő által előidézett gyorsulások és lassulások számítása során a legnagyobb terhbírásnak megfelelő terhet a gém csúcsára vagy közvetlenül a futómacska alá rögzítettnek kell tekinteni. A terhelést a hajtóerőknek kitett egységekre, illetve ahol ez értelmezhető, a darura és az összes emelt teherre hatónak kell tekinteni.

Ha az átvihető erő nagyságát a súrlódás vagy a hajtásrendszer jellege korlátozza (például kerék és sín kapcsolata esetén), és a számított erő értéke nagyobb, mint a maximálisan átvihető, akkor a maximálisan átvihető erő értékkel kell számolni.

A hajtásokkal történő gyorsítások és lassítások során a hajtásrendszerben fellépő dinamikus terheléseket is figyelembe vevő legnagyobb terhelés (függetlenül a terhelés jellegétől) az alábbi egyenlettel írható le:

$$\hat{S} = S_i + \varphi_5 \cdot (S_f - S_i)$$

21

- Ahol: \hat{S} kialakuló legnagyobb terhelés;
 S_i terhelés kezdeti értéke;
 S_f terhelés végértéke;
 φ_5 hajtásrendszerre jellemző dinamikus tényező.

²⁰ MSZ EN 15011:2011+A1:2014 – 5.2.1.3.3.

²¹ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.2.5.

A hajtásrendszerre jellemző φ_5 dinamikus tényező értékei általános esetben:

$\varphi_5 = 1$	Centrifugális erőkre
$1 \leq \varphi_5 \leq 1,5$	Holtjátékmentes hajtásnál, ill. olyan esetben, amikor a hajtás holtjátéka nincs hatással a kialakuló terhelésekre (pl. fogaskerék hajtóműveknél), lágy erőátmenet esetén.
$1,5 \leq \varphi_5 \leq 2$	Holtjátékmentes hajtásnál, ill. olyan esetben, amikor a hajtás holtjátéka nincs hatással a kialakuló terhelésekre (pl. fogaskerék hajtóműveknél), hirtelen erőváltozások esetén.
$\varphi_5 = 3$	Jelentős holtjátékú hajtás esetén (pl. nyílt fogaskerék hajtásoknál), ha a kialakuló terhelések nincsenek rugalmas lengő rendszeri modellel pontosabban meghatározva.

Erők esetén a fenti egyenlet a következő formában értelmezhető:

$$\hat{F} = F_i + \varphi_5 \cdot m \cdot a \quad 22$$

Ahol: \hat{F} kialakuló legnagyobb erőhatás (N);
 F_i erőhatás kezdeti értéke (N);
 m gyorsított tömeg (kg);
 a gyorsulás vagy lassulás nagysága (m/s^2).

Híd és bakdaruk esetén a hajtásrendszerre jellemző φ_5 tényező két részből tevődik össze: az egyik a daruval egymás után sorozatosan végzett pozícionáló mozgások tényezője (φ_p), a másik pedig egy a hajtásrendszerre jellemző általános erősítési tényező (φ_{5h}). Az együttes dinamikus tényező (φ_5) a két résztényező szorzataként áll elő:

$$\varphi_5 = \varphi_p \cdot \varphi_{5h} \quad 23$$

Ahol: φ_5 együttes, hajtásrendszerre jellemző dinamikus tényező;
 φ_p sorozatos pozícionálási mozgások tényezője;
 φ_{5h} hajtásrendszerre jellemző általános erősítési tényező.

A sorozatos pozícionálási mozgások φ_p dinamikus tényezője az alábbi táblázat segítségével határozható meg²⁴:

²² MSZ EN 15011:2011+A1:2014 – 5.2.1.3.4.

²³ MSZ EN 15011:2011+A1:2014 – 5.2.1.3.4.

²⁴ MSZ EN 15011:2011+A1:2014 – B melléklet

A mozgásvezérlés típusa	Emelés	Vízszintes mozgások
Fokozat nélküli sebességszabályozás	1,0	1,0
Kétlépcsős sebességszabályozás	1,0	1,15
Egylépcsős sebességszabályozás	1,15	1,3

Az egyes hajtásrendszerekre jellemző általános erősítési tényezők (ϕ_{5h}) az alábbi táblázat segítségével határozhatók meg²⁵:

Vízszintes irányú mozgásokra:

A hajtás típusa	ϕ_5 tényező	
	A zárt hajtóműre jellemző holtjáték	Megemelt holtjáték, pl. nyitott fogaskerek esetén
Fokozatmentes sebességszabályozás	1,2	1,5
Többlépcsős sebességszabályozás	1,6	2,0
Kétlépcsős sebességszabályozás	1,8	2,2
Egylépcsős sebességszabályozás	2,0	2,4

Függőleges irányú mozgásokra:

A hajtás típusa	ϕ_5 tényező emeléskor	ϕ_5 tényező süllyesztéskor
Fokozatmentes sebességszabályozás	1,05	1,10
Többlépcsős sebességszabályozás	1,15	1,20
Kétlépcsős sebességszabályozás	1,20	1,35
Egylépcsős sebességszabályozás	1,20	1,30

6.3.6. Elmozdulások okozta terhelések

A daru méretezése során figyelembe kell venni a különböző szerkezeti részek elmozdulása által okozott terhelésekkel. Ezek lehetnek szándékos mozgások (például az el-lensúly helyének módosítása), illetve nem szándékos mozgások (például a darupálya támaszsüllyedése).

Az elmozdulások által okozott terhelésekre vonatkozó parciális biztonsági tényezők (γ_p) értékei, a különböző terhelési esetekre vonatkozóan az alábbi táblázatban vannak összefoglalva²⁶:

²⁵ MSZ EN 15011:2011+A1:2014 – 5.2.1.3.4.

²⁶ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.3.5.

Table 10 — Values of the partial safety factors to be applied to loads due to intended displacements

Values of partial safety factor γ_p	Load combinations in accordance with 4.3.6		
	A	B	C
unfavourable load effects	1,10	1,05	1,00
favourable load effects	0,90	0,95	1,00

Table 11 — Values of the partial safety factors to be applied to loads due to unintended displacements

	Load combinations in accordance with 4.3.6		
	A	B	C
γ_p	1,10	1,05	1,00

6.4. Esetleges terhelések

Esetleges terhelések alatt, a daru tervezett élettartam során nagy valószínűséggel sokszor, ám sztochasztikus jelleggel fellépő terheléseket értjük. A rendszeres terhelésekkel ellentétben ezek kialakulása a daruval végzett műveletekhez nem kapcsolható, így nagyságuk mellett megjelenésük is valószínűségi változóval írható csak le. Ilyenek például kültéri daruk esetén a gyakrabban (pl. évszakfüggően) előforduló időjárásirhatások.

6.4.1. Üzemi szélterhelések

6.4.1.1. Daru szélterhelése

Üzemi szélterhelésnek nevezzük azt a szelet, amely esetén a darunak folyamatosan üzemben kell tudnia maradni és ellátni feladatát. Megengedhető legnagyobb nagyságát a daru tervezésekor kell meghatározni, figyelembe véve annak telepítési helyét, illetve feladatát. A szél irányát minden esetben a legkedvezőtlenebbnek kell feltételezni, ami a különböző terheléskombinációk esetén különböző szélirányokat is jelenthet.

A szerkezeti elemekre ható szél erő mellett a karcsú szerkezeti elemek aeroelasztikusan is instabillá válhatnak (a hossz tengelyükre merőlegesen fújó szél esetén kialakuló önlengés, vagy légörvények hatására). Jelen segédlet ez utóbbi jelenségekkel nem foglalkozik, ám a tervezés során figyelembe kell venni, hogy e jelenségek hatásai nem minden esetben hanyagolhatók el.

A daru működése szempontjából három különböző nagyságú karakterisztikus szél erőt kell meghatározni, majd ezeket az egyes terhelési esetekben, illetve az egyes komponensek méretezésekor figyelembe venni. Az egyes szél erő típusokat a W1, W2 és W3 indexek jelölik.

F_{W1}	A daru szerkezetére ható szél erő
F_{W2}	A daru hajtásrendszereire ható szél erő azok indításakor
F_{W3}	A daru hajtásrendszereire ható szél erő állandósult haladási sebesség mellett

Ezen szél erők nagyságát a daru egészére és minden (szélnek kitett) szerkezeti elemére külön-külön meg kell határozni. A daru egészére ható szél erő az egyes szerkezeti elemekre ható szél erők összegeként írható fel. Mindhárom szél erő nagysága az alábbi módon számítható:

$$F_W = q(3)_W \cdot c_a \cdot A$$

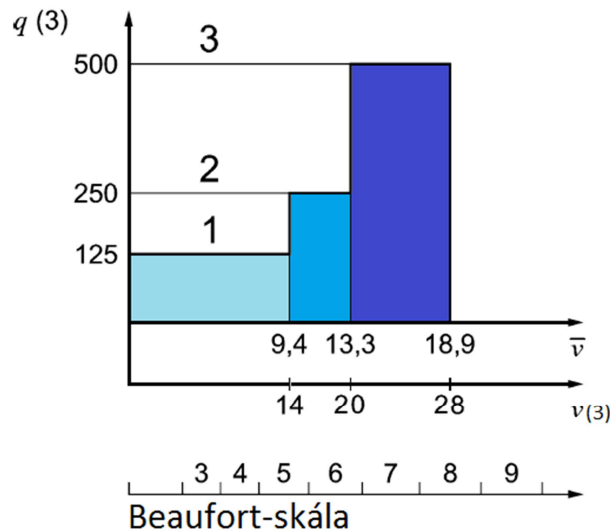
27

²⁷ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.3.1.

- Ahol: F_w az adott szerkezeti elemre ható szélterhelés (N);
 $q(3)_w$ átlagos szélnyomás érték az adott típusú szélterheléshez (N/m²);
 c_a szerkezeti elem légellenállás-tényezője (-);
 A szerkezeti elem jellemző szélfelülete (m²).

Az átlagos szélnyomás értéke ($q(3)_w$):

Az üzemi szélterhelések három kategóriába sorolhatók: kicsi (1), közepes (2) és nagy (3). Ezek közül kell a daru tervezésekor kiválasztani azt, amelyben a darunak még működőképesnek kell maradnia. Az alábbi ábrán láthatók a szélsébségek szintjei és az ezekhez tartozó szélnyomások alapértékei, továbbá a Beaufort-skála megfelelő szélsébségekhez rendelt értékei is. Ezek alapján választható ki a kívánt üzemi szélterhelés kategóriája: kicsi (1), közepes (2) vagy nagy (3):



- Ahol: $q(3)$ átlagos szélnyomás alapértéke (N/m²);
 \bar{v} a Beaufort-skálára vonatkoztatott, talajszint felett 10 m magasságban, 10 perc átlagában mért átlagos szélsébség (m/s);
 $v(3)$ a 3 másodpercre átlagolt szélsebesség (m/s).

A különböző szélterhelési kategóriákhoz (1,2,3) tartozó, és különböző működési módokhoz tartozó karakterisztikus, átlagos szélnyomás értékek ($q(3)_{w1}$, $q(3)_{w2}$, $q(3)_{w3}$) az alábbi táblázat segítségével határozhatók meg²⁸:

²⁸ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.3.1.

Wind State	Design wind pressures at different Wind effect levels [N/m ²]		
	$q^{(3)}_{w1}$	$q^{(3)}_{w2}$	$q^{(3)}_{w3}$
Light (1)	125	88	46
Normal (2)	250	175	92
Heavy (3)	500	350	185

A szerkezeti elemek légellenállás-tényezői (c_a):

A daru szerkezeti részeinek légellenállás-tényezői az alábbi összefüggés szerint kell meghatározni:

$$c_a = c_0 \cdot \psi$$

29

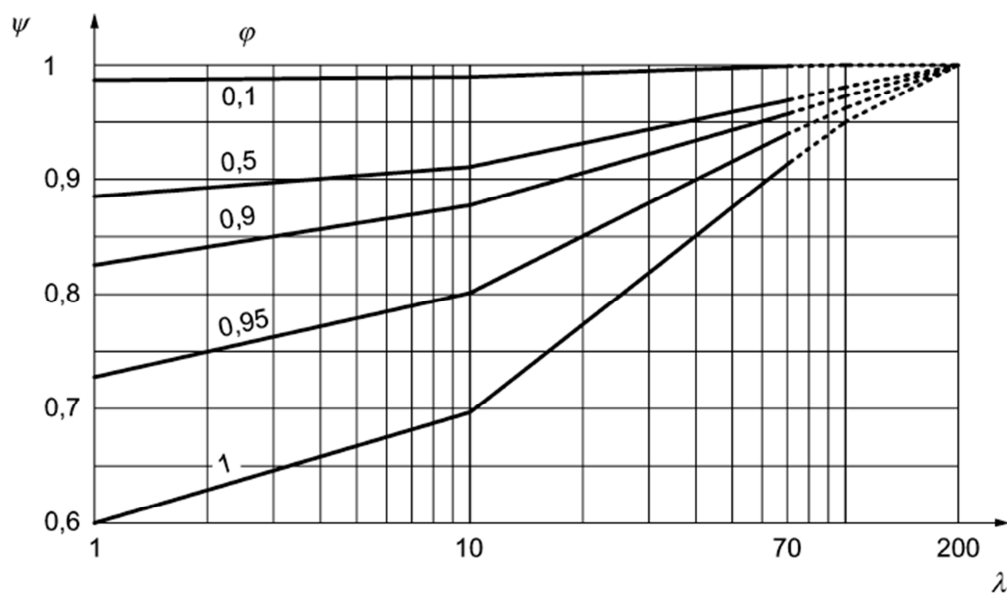
Ahol: c_a az adott szerkezeti elem légellenállás-tényezője;

c_0 adott keresztmetszetű, végtelen hosszúságú szerkezeti elem légellenállás-tényezője;

ψ a szerkezeti elemek véges hosszúsága miatti csökkentő tényező.

Az adott keresztmetszetű, végtelen hosszúságú szerkezeti elemek légellenállás-tényezői (c_0) az MSZ EN 13001-2:2014 – „A” melléklete segítségével határozhatók meg

A ψ csökkentő tényezőt az elem relatív tömörségi tényező (ϕ) és aerodinamikai karcsúsága (λ) függvényében az alábbi diagramból kell meghatározni:



²⁹ MSZ EN 13001-2:2014 – A melléklet

A relatív tömörségi tényező (φ) egy elsősorban rácsos tartók esetén értelmezhető arányszám, amely megadja a tartó befoglaló méretekhez képest számított kitöltöttséget. Értéke tömör tartók (pl. szekrénytartók, vagy hengerelt I-tartók) esetén mindig 1. Rácsos tartók esetén pedig a következőképpen számítható:

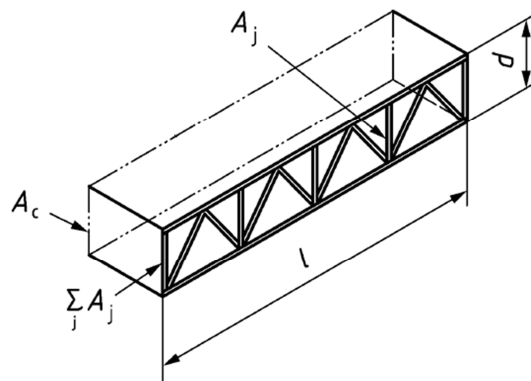
$$\varphi = \frac{\sum_j A_j}{A_c} \quad 30$$

Ahol: A_c a síkbeli vetület befoglaló méretei alapján számított terület (m^2);

$\sum A_j$ az egyes elemek vetületi területeinek összege (m^2);

A_j a tartót felépítő egyes szerkezeti elemek síkbeli vetülete alapján számított területe (m^2).

Példa:



Az ábrán látható egyszerű, síkbeli rácsos tartó esetén (a tartó síkjára merőleges szélirányt feltételezve) a φ relatív tömörség a következőképpen számítható:

$$\varphi = \frac{\sum_j A_j}{A_c} = \frac{21 \cdot A_j}{l \cdot d}$$

Feltételezve, hogy az egyes rácsrudak síkbeli vetületének területei egyenlők!

Az aerodinamikai

$$\lambda = \frac{\alpha_r \cdot l_0}{d_c} \quad 31$$

Ahol: λ aerodinamikai karcsúság (-);

α_r viszonyított aerodinamikai hossz (-);

l_0 geometriai hossz (mm);

d_c szerkezeti elem jellemző mérete (mm).

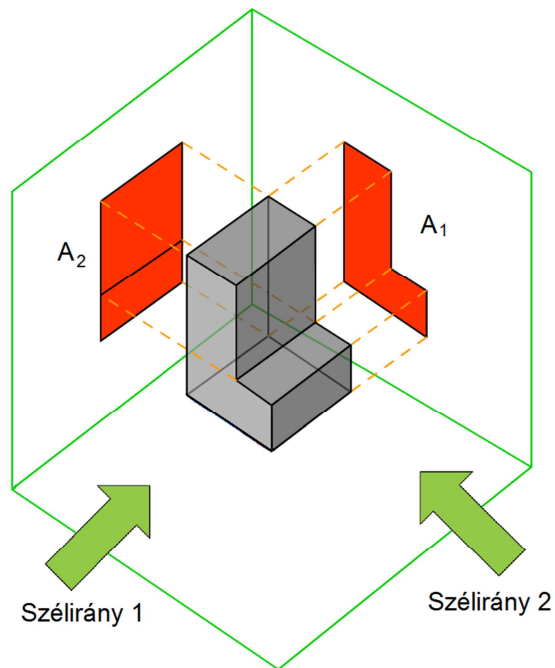
³⁰ MSZ EN 13001-2:2014 – A melléklet

³¹ MSZ EN 13001-2:2014 – A melléklet

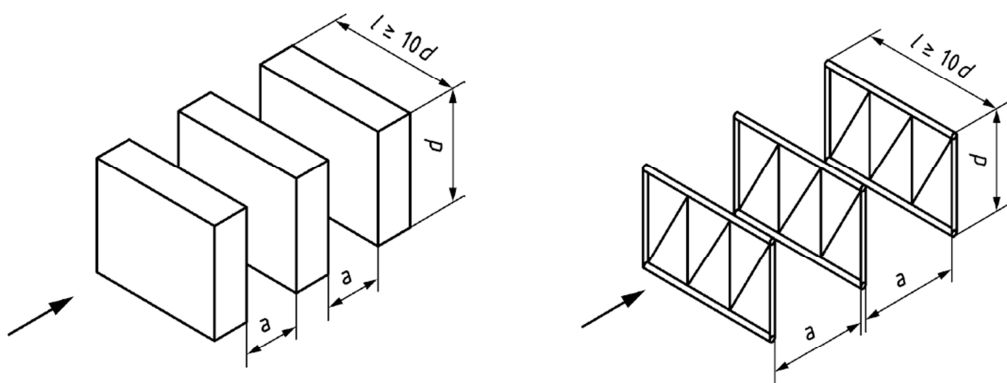
A viszonyított aerodinamikai hossz (α_r) az MSZ EN 13001-2:2014 – „A” melléklete segítségével, a szerkezeti elem jellemző mérete (d_c) pedig az MSZ EN 13001-2:2014 – „A” melléklete segítségével határozható meg.

A szerkezeti elemek jellemző szélfelülete (A):

Az egyes szerkezeti elemek jellemző szélfelülete általános esetben megfelel azok szélirányból képzett geometriai vetületének:



Takarásban lévő azonos elemek esetén az egyes elemeknek külön-külön meg kell határozni a jellemző szélfelületét.



A teljes (összegzett) jellemző szélfelület 9, vagy kevesebb azonos elem esetén:

$$A_t = \frac{1 - \eta^{n_m}}{1 - \eta} \cdot A$$

32

- Ahol: A_t teljes jellemző szélfelület (m²);
 η takarási tényező (-);
 n_m megegyező elemek száma (-);
 A egy elem jellemző szélfelülete (m²).

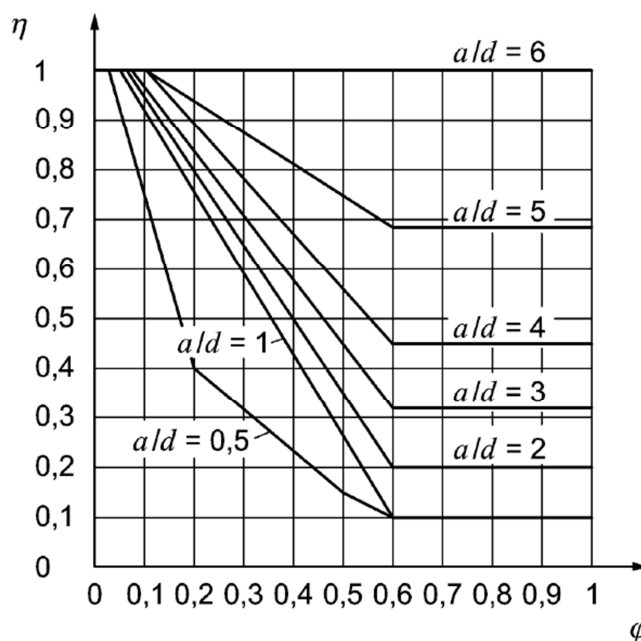
A teljes (összegzett) jellemző szélfelület 9-nél több azonos elem esetén:

$$A_t = \left[\frac{1 - \eta^9}{1 - \eta} + (n_m - 9) \cdot \eta^8 \right] \cdot A$$

33

- Ahol: A_t teljes jellemző szélfelület (m²);
 η takarási tényező (-);
 n_m megegyező elemek száma (-);
 A egy elem jellemző szélfelülete (m²).

A takarási tényező (η) az adott szerkezeti elem relatív tömörségétől (φ) és az elemek magasságának (d) és távolságának (a) arányától függően az alábbi diagram segítségével határozható meg³⁴:



³² MSZ EN 13001-2:2014 – A melléklet

³³ MSZ EN 13001-2:2014 – A melléklet

³⁴ MSZ EN 13001-2:2014 – A melléklet

6.4.1.2. Emelt teher szélterhelése

Az emelt teherre ható szélterőt a darura hatóhoz hasonló módon kell meghatározni:

$$F_{L,W} = q(3)_W \cdot c_a \cdot A_g$$

35

Ahol: $F_{L,W}$ a teherre ható szélterő (N);

$q(3)_W$ átlagos szélnyomás érték az adott típusú szélterőhöz (N/m²);

c_a teher légellenállás-tényezője (-);

A_g teher jellemző szélfelülete (m²).

A tervezés fázisában az esetek többségében nem állnak rendelkezésre kellő pontosságú aerodinamikai információk az emelendő terhekről, így ilyen esetekben az alábbi konzervatív közelítéssel lehet élni³⁶:

$$c_a: \quad c_a = 2,4$$

$$A_g: \quad A_g = 0,5 \cdot WLL$$

WLL tonnában kifejezve

A_g értéke minimálisan 0,8 m²

6.4.2. Egyéb környezeti terhelések

A kültéri használatú daruk esetén, a telepítési környezetnek megfelelő mértékben figyelembe kell venni az egyéb időjárási jelenségekből adódó terheléseket is. Ilyenek lehetnek például a szélsőséges hőmérsékleti viszonyok, a hó és a jég által okozott többletterhelés, illetve az ezekből származó járulékos terhelések, mint például az önsúly és szélterhelésnek kitett felület növekedése is³⁷.

Figyelembe kell venni továbbá a daru tartószerkezetét érő külső gerjesztések hatásait is. Ilyenek lehetnek például a beltéri hídaruval egy csarnokban üzemelő gépek, a tengerparti, vagy tengeri daru hullámterhelése, vagy a földrengés által okozott gerjesztés is. A vonatkozó harmonizált szabvány³⁸ előírásai szerint a külső gerjesztés által okozott terhelések mind a rendkívüli terhelések csoportjába tartoznak, azonban ezek hatásainak vizsgálatáról egyáltalán nem szolgál információkkal. Jelen segédlet szerzői azt javasolják, hogy a gyakorlatban (a földrengésteher kivételével) ezek besorolása mindig a daru működési környezetének ismeretében, egyedi elbírálás alapján történjen az esetleges, vagy a rendkívüli terhelések közé.

³⁵ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.3.1.

³⁶ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.3.1.

³⁷ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.3.

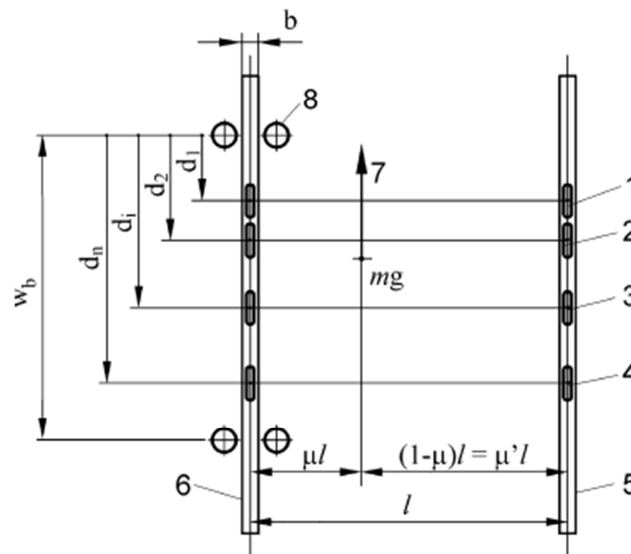
³⁸ MSZ EN 13001-2:2014

6.4.3. Ferdefutás okozta terhelések

Ferdefutásból származó terhelésnek nevezzük a futókeréken gördülő daruk (vagy futómacskák ill. egyéb párhuzamos sín páron mozgó részegységek) vezetőeleménél és kerekeinél, állandó sebességű haladás közben kialakuló oldal- és hosszirányú terheléseket. Ezek a terhelések az első vezetőelemnél ébredő vezetőerőből adódnak, amely a futókerekeket eltéríti a szabadon futó, természetes haladási irányukból. Ennek a vezetőerőnek az eltérítő hatása miatt alakulnak ki a reakcióerők az egyes kerekeknél. Vezetőelemként általában a kerekek peremei szolgálnak, de lehetnek külön erre a célra alkalmazott függőleges tengelyű vezetőgörgők is.

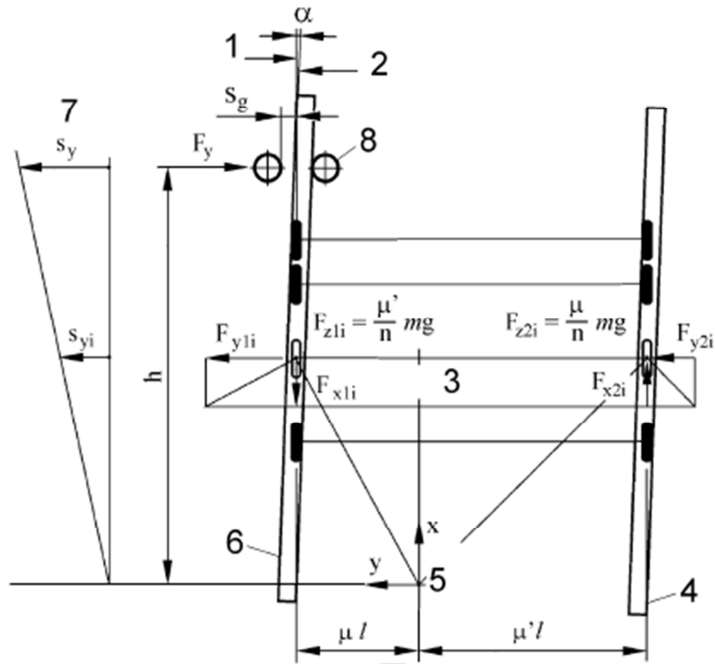
A ferdefutási terhelések általános esetben esetleges terhelésnek számítanak, ám előfordulásuk gyakorisága a darutípustól, a felépítéstől, a tengelyek párhuzamossági hibáitól és a daru működési módjától függően az esetleges terhelésekre jellemzőnél jóval gyakoribb is lehet. Ilyen esetekben az előfordulás gyakorisága alapján a rendszeres terhelések csoportjába is sorolhatóak.

Feltételezve, hogy adott ferdefutási szöggel (α) és állandó sebességgel halad, az alábbi egyszerűsített mechanikai modellel számíthatók a darura ható erők:



Jelmagyarázat

- | | | | |
|---|--------------------|---|----------------|
| 1 | 1. kerékpár | 5 | 2. sín |
| 2 | 2. kerékpár | 6 | 1. sín |
| 3 | i -edik kerékpár | 7 | Haladási irány |
| 4 | n -edik kerékpár | 8 | Vezetőelem |



Jelmagyarázat

- | | |
|----------------------|---------------------------------|
| 1 Haladási irány | 5 Pillanatnyi forgási középpont |
| 2 Sínirány | 6 1. sín |
| 3 i -edik kerékpár | 7 Csúszás |
| 4 2. sín | 8 Vezetőelem |

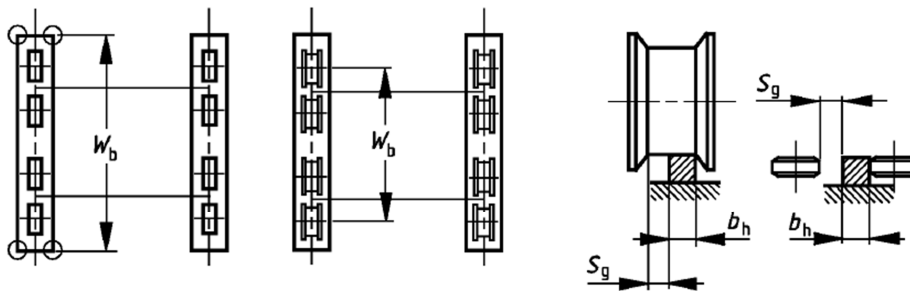
- Ahol: α ferdefutási szög;
- b_h sínfej szélessége;
- s_g vezetőelem és a sín közötti játék;
- d_i i -edik kerékpár távolsága a vezetőelemtől;
- w_b szélső vezetőelemek távolsága;
- μ a tömegközéppontnak és annak a sínnek a távolsága, ahol a vezetőerő fellép, a fesztáv százalékában;
- l fesztávolság;
- G_t a daru és az emelt teher együttes súlyereje;
- F_{x1i} ,
 F_{y1i} azon a sínen futó kerekeknél ébredő reakcióerők, amelynél a vezetőerő is fellép;
- F_{x2i} ,
 F_{y2i} a másik sínen futó kerekeknél ébredő reakcióerők.

Az első vezetőelemnél kialakuló F_y vezetőerő téríti vissza a pályára a daru irányába. Ennek nagysága függ az α ferdefutási szögtől, a daru szerkezeti kialakításától, a kerekek és a sín közötti súrlódási erő nagyságától és az emelt teher helyzetétől is. A veze-

tőerő hatására a daru egyes kerekeinél, azok kialakításától függően, x és y irányú reakcióerő alakul ki.

A ferdefutási szög (α):

A ferdefutási szög értéke függ a vezetőelem és a sín közötti játéktól (s_g), a sín méretétől (b_h), a vezetőelemek távolságától (w_b), a szerkezetek építési tűréseitől és a kopás mértékétől is.



Értéke, a harmonizált szabványok előírásainak betartásával készült daruk esetén, az alábbi táblázat alapján határozható meg³⁹:

$\alpha = \alpha_g + \alpha_w + \alpha_t$				
Peremes kerék esetén:			Vezetőgörgő esetén:	
α_g	$\alpha_g = \frac{s_{g,min}}{w_b}$, ha $s_g \leq \frac{4}{3} \cdot s_{g,min}$ $\alpha_g = 0,75 \cdot \frac{s_g}{w_b}$, ha $s_g > \frac{4}{3} \cdot s_{g,min}$			
$s_{g,min}$	Daruknál:	10 mm	Daruknál:	5 mm
	Futómacskák-nál:	4 mm	Futómacskák-nál:	2 mm
α_w	$\alpha_w = 0,1 \cdot \frac{b_h}{w_b}$		$\alpha_w = 0,03 \cdot \frac{b_h}{w_b}$	
Ahol:	α ferdefutási szög (rad); α_g vezetőelem játéka miatti eltérés (rad); $\alpha_t = 0,001$ tűrések miatti eltérés (rad); α_w kopás miatti eltérés (rad); s_g vezetőelem és a sín közötti játék (mm);			

³⁹ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.3.4.

$s_{g,min}$	a számításokhoz használt minimális játék a vezetőelem és a sín között (mm);
b_h	sínfej szélessége (mm);
w_b	szélső vezetőelemek távolsága (mm).

A további számítások során alkalmazott ferdefutási szög értéke legfeljebb $\alpha \leq 0,015$ radián lehet.

Az első vezetőelemnél kialakuló vezetőerő (F_y):

A daru „helyes pályára” állításához szükséges vezetőerő elsősorban az egyes kerek-nél fellépő súrlódási erő nagyságától, illetve ezek, a daru pillanatnyi forgáspontjához viszonyított geometriai helyzetétől függ. Nagyságát az alábbi, egyszerűsített mechanikai modellen alapuló összefüggéssel lehet meghatározni:

$$F_y = v \cdot f \cdot G_t \quad 40$$

- Ahol:
- F_y vezetőerő (N);
 - v kialakítástól függő erőtényező (-);
 - f gördülő kerék súrlódási tényezője (-);
 - G_t a daru és az emelt teher együttes súlyereje (N).

A kialakítástól függő erőtényező a hajtásrendszer és a kerek rögzítésétől függően többféle lehet. Függ attól, hogy az egyes kerékpárok összekapcsoltak-e (a közös áthajtó tengelyes hajtás a mai modern daruknál már viszonylag ritka), illetve, hogy az egyes kerek rögzítése megengedi-e az oldalirányú elmozdulást. Ez alapján az egyes kerek négy osztályba sorolhatóak⁴¹:

	Coupled (C)	Independent (I)
Fixed/Fixed (F/F)	CFF	IFF
Fixed/Movable (F/M)	CFM	IFM

Az osztály ismeretében a kialakítástól függő erőtényezőt (v) az alábbi összefüggésekkel lehet meghatározni:

⁴⁰ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.3.4.

⁴¹ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.3.4.

Az erőtenyező **CFF** és **IFF** rendszerek esetén:

$$v_{FF} = 1 - \frac{(\sum d_i)^2}{n \cdot [p \cdot (\mu - \mu^2) \cdot l^2 + \sum d_i^2]} \quad 42$$

Az erőtenyező **CFM** és **IFM** rendszerek esetén:

$$v_{FM} = (1 - \mu) \cdot \left[1 - \frac{(\sum d_i)^2}{n \cdot (p \cdot \mu \cdot l^2 + \sum d_i^2)} \right] \quad 43$$

- Ahol:
- v_{FF}** erőtenyező CFF és IFF rendszerek esetén (-);
 - v_{FM}** erőtenyező CFM és IFM rendszerek esetén (-);
 - d_i** i-edik kerékpár távolsága a vezetőelemtől (mm);
 - n** kerékpárok száma (-);
 - p** összekapcsolt kerékpárok száma (-);
 - μ** a tömegközéppontnak és annak a sínnek a távolsága, ahol a vezetőerő fellép, a fesztáv százalékában (-);
 - l** fesztávolság (mm).

Amennyiben az első kerékpár kerékpereme szolgál vezetőelemként is, úgy **d₁ = 0**.

A gördülő kerekek oldalirányú elmozdításához szükséges erő súrlódási tényezője (**f**) az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$f = \mu_0 \cdot [1 - e^{(-250 \cdot \alpha)}] \quad 44$$

- Ahol:
- f** gördülő kerék súrlódási tényezője (-);
 - μ₀** súrlódási együttható alapértéke (-),
= 0,2 általános körülmények között,
= 0,3 speciális, tisztított sínek esetén;
 - e = 2,72** Euler-féle szám (-);
 - α** ferdefutási szög (rad).

A kerekeknél kialakuló reakcióerők (**F_{x1j}, F_{y1j}, F_{x2j}, F_{y2j}**):

⁴² MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.3.4.

⁴³ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.3.4.

⁴⁴ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.3.4.

A kerekeknél kialakuló reakcióerőket a vezető sínen futó kerekeknél (1-es index), és a túloldali sínen futó kerekeknél (2-es index) a következő összefüggésekkel lehet meghatározni⁴⁵:

Vezetősín, pályairány (i-edik kerék):		$F_{x1i} = \xi_{1i} \cdot f \cdot G_t$		
Vezetősín, keresztirány (i-edik kerék):		$F_{y1i} = v_{1i} \cdot f \cdot G_t$		
Nem vezető sín, pályairány (i-edik kerék):		$F_{x2i} = \xi_{2i} \cdot f \cdot G_t$		
Nem vezető sín, keresztirány (i-edik kerék):		$F_{y2i} = v_{2i} \cdot f \cdot G_t$		
	CFF	IFF	CFM	IFM
ξ_i	$\frac{l \cdot (\mu - \mu^2) \cdot \sum d_i}{n \cdot [p \cdot (\mu - \mu^2) \cdot l^2 + \sum d_i^2]}$	0	$\frac{l \cdot (\mu - \mu^2) \cdot \sum d_i}{n \cdot [p \cdot \mu \cdot l^2 + \sum d_i^2]}$	0
v_{1i}	$\frac{(1-\mu)}{n} \cdot \left(1 - \frac{d_i \cdot \sum d_i}{p \cdot (\mu - \mu^2) \cdot l^2 + \sum d_i^2}\right)$		$\frac{(1-\mu)}{n} \cdot \left(1 - \frac{d_i \cdot \sum d_i}{p \cdot \mu \cdot l^2 + \sum d_i^2}\right)$	
v_{2i}	$\frac{\mu}{n} \cdot \left(1 - \frac{d_i \cdot \sum d_i}{p \cdot (\mu - \mu^2) \cdot l^2 + \sum d_i^2}\right)$		0	
Ahol:	F_{x1i} , F_{y1i}	azon a sínen futó kerekeknél ébredő reakcióerők, amelynél a vezetőerő is fellép (N);		
	F_{x2i} , F_{y2i}	a másik sínen futó kerekeknél ébredő reakcióerők (N);		
	ξ_i	erőtényező hosszirányú erők (-);		
	v_{1i} , v_{2i}	erőtényezők keresztirányú erők (-);		
	d_i	i-edik kerékpár távolsága a vezetőelemtől (mm);		
	n	kerékpárok száma (-);		
	p	összekapcsolt kerékpárok száma (-);		
	μ	a tömegközéppontnak és annak a sínnek a távolsága, ahol a vezetőerő fellép, a fesztáv százalékában (-);		
	l	fesztávolság (mm).		
	f	gördülő kerék súrlódási tényezője (-);		
	G_t	a daru és az emelt teher együttes súlyereje (N).		

⁴⁵ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.3.4.

Az első vezetőelemnél kialakuló vezetőerőt (F_y) terelőgörgők alkalmazása esetén teljes egészében az első terelőgörgő veszi fel. Peremes kerekek alkalmazása esetén azonban azok méretezésekor megosztható az alábbi módon⁴⁶:

Daru egy sarokpont-ra jutó kerekeinek száma	Daru kerekeinek teljes száma	Vezetőerő megosztása
≤ 2	≤ 8	Csak a külső kerék vehető figyelembe
3 - 4	12 - 16	Egyenlően megosztva a két legkülső keréken
$4 <$	$16 <$	Egyenlően megosztva a három legkülső keréken

A híd és bakdaruk ferdefutásból származó terheléseinek pontosabb meghatározására, illetve a speciális kialakítású szerkezetek sajátosságainak figyelembe vételére az MSZ EN 15011:2011 + A1:2014 szabvány 5.2.1.4. fejezete és D melléklete, a darupályákra vonatkozóan pedig az MSZ EN 1991-3:2007 szabvány 2.7.4. fejezete tartalmaz részletesebb eljárásokat.

⁴⁶ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.2.5.

6.5. Rendkívüli terhelések

A rendkívüli terhelések a darura ható azon terhelések, amelyek kialakulása egy minimumtól független külső hatás (pl. ritkább időjárási hatások), vagy egy nem tervezett belső hatás (valamely részegység nem észlelt meghibásodása) révén alakulhatnak ki. Ezen terhelések megjelenése szintén sztochasztikus jelleget mutat, azonban kialakulásuk az esetleges terhelésekkel ellentétben a berendezés teljes élettartama alatt sem feltétlen következik be.

6.5.1. Üzemen kívüli szélterhelések

Az üzemen kívüli szélterhelés számítása az üzemi szélterhelés számításához hasonló módon lehetséges, annyi különbséggel, hogy ilyenkor minden részegység méretezése a legnagyobb szélterhelésre történik (nincsenek a különböző részegységekre vonatkozó szélterhelés típusok). A legnagyobb szélerőt az alábbi képlettel kell meghatározni:

$$F_{W,max} = q(z) \cdot c_a \cdot A \quad 47$$

Ahol:	$F_{W,max}$	az adott szerkezeti elemre ható maximális szélerő (N);
	x	
	$q(z)$	egyenértékű statikus szélnyomás (N/m ²);
	c_a	szerkezeti elem légellenállás-tényezője (-);
	A	szerkezeti elem jellemző szélfelülete (m ²).

A légellenállás tényezők (c_a) és a jellemző szélfelületek (A) megegyeznek az üzemi szélterhelésénél számítottakkal.

Az egyenértékű statikus szélnyomás ($q(z)$) meghatározása a szélsébségek és a levegő sűrűsége ismeretében az alábbi összefüggéssel lehetséges:

$$q(z) = \frac{1}{2} \cdot \rho_{lev} \cdot \left[f_{rec} \cdot v_{ref} \cdot \left(\left(\frac{z_{max}}{10} \right)^{0,14} + 2 \cdot \varphi_8 \cdot \sqrt{6 \cdot K_t} \right) \right]^2 \quad 48$$

Ahol:	$q(z)$	egyenértékű statikus szélnyomás (N/m ²);
	$\rho_{lev} = 1,25$	levegő sűrűsége (kg/m ³);
	f_{rec}	ismétlődési időköz tényező (-);
	v_{ref}	50 éves visszatérési periódusú szélvihar referenciasebessége nyílt terepen, 10 m magasságban, 10 perc átlagában (m/s);
	z_{max}	a szélnek kitett felület súlypontjának talajszint feletti magassága (m);

⁴⁷ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.4.2.

⁴⁸ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.4.2.

$\varphi_8 = 1,1$ széllokési választényező (-);
 $K_t = 0,0055$ talajfelszín aerodinamikai súrlódási tényezője (-).

Az ismétlődési időköz tényező (f_{rec}):

Az ismétlődési időköz tényező, egy a rendkívüli szélterhelés visszatérési periódusán, azaz ismétlődési időközén (R_{rec}) alapuló valószínűségi változó. Mivel a szélterhelés számítások során alkalmazott referencia szélviharsebesség visszatérési periódusa 50 év, így az ennél kevesebb élettartamra tervezett daruk esetében ennek értéke (valószínűségi alapon) csökkenthető. A tervezési élettartam daruk tervezése esetén általában 5-50 év közötti, így ennek függvényében az ismétlődési időköz tényező értéke⁴⁹:

R_{rec} (év)	f_{rec}
5	0,8155
10	0,8733
25	0,9463
50	1

Szélvihar referenciasebessége (v_{ref}):

Az 50 éves visszatérési periódusú szélvihar referenciasebessége Magyarország területén konzervatív közelítéssel mindenütt 28 m/s⁵⁰. Az Európa más országaira, illetve Magyarországra vonatkozó részletesebb adatok az MSZ EN 13001-2:2014 szabvány 12. ábráján találhatóak.

Híd és bakdaruk esetén, a szabadtéri daruk üzemen kívüli szélterhelését úgy kell meghatározni, hogy az R_{rec} ismétlődési időköz ne legyen kevesebb, mint⁵¹:

- 25 év a tengerpart menti területeken;
- 10 év a szárazföldön;
- 5 év a bel- és kültéren egyaránt üzemelő daruk esetén.

A daruk üzemen kívüli szélben történő rögzítésére szolgáló eszközök méretezéséhez használt parciális biztonsági tényező minimális értéke: $\gamma_p = 1,6$ legyen!⁵²

⁴⁹ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.4.2.

⁵⁰ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.4.2.

⁵¹ MSZ EN 15011:2011+A1:2014 – 5.2.1.1.

⁵² MSZ EN 15011:2011+A1:2014 – 5.4.5.2.

6.5.2. Hirtelen teheremelés okozta terhelések

Az emelési sebességet szabályozó rendszerrel felszerelt daruknál e rendszer meghibásodása esetén a tervezettnél nagyobb sebességgel történhet a teher földről elemelése. Ilyenkor az emelési sebesség szabályozásának hiányában a tervezettnél jóval nagyobb dinamikus igénybevételnek lehet kitéve a szerkezet, amit annak méretezésekor figyelembe kell venni.

A rendkívüli terhelések során alkalmazott dinamikus tényező (φ_{2c}) számításának módja megegyezik a rendszeres terhelések során alkalmazottéval (φ_2), annyi különbséggel, hogy a számítás során figyelembe vett emelési sebesség (v_h) magasabb.

Olyan daruknál, ahol az emelési sebesség nem szabályozott, ezeket a rendkívüli terheléseket nem szükséges figyelembe venni.

6.5.3. Túlterhelés

A daruk szerkezeti elemeinek és gépészeti berendezéseinek túlterhelését többnyire az emelőművekbe épített túlterhelésgátlók akadályozzák meg. A túlterhelés megakadályozása a daru kialakításától függően történhet az emelési mozgás, illetve némely esetekben (többnyire gémes daruknál) a haladó mozgás korlátozásával. A túlterhelésgátló berendezések működési módjukból kifolyólag minden esetben valamilyen késleltetéssel tudják csak megakadályozni az előre beállítottnál nagyobb terhelések kialakulását. A késleltetési idő nagysága függ a szerkezeti kialakítástól, a berendezés típusától (direkt, vagy indirekt), illetve egyéb környezeti hatásoktól is.

Az emelőműre és a daru szerkezetére a túlterhelés pillanatában ható legnagyobb erő (figyelembe véve a túlterhelésgátló berendezés késleltetését is):

$$F_L = \varphi_L \cdot m_H \cdot g$$

53

Ahol:	F_L	túlterheléskor fellépő legnagyobb erő (N);
	ϕ_L	túlterhelési erőtenyező (-);
	m_H	névleges teherbírás az adott pozícióban (kg);
	g = 9,81	gravitációs gyorsulás (m/s ²).

A túlterhelési erőtenyező (φ_L) nagysága a túlterhelés jellegétől függően kétféle lehet: erő jellegű túlterhelés (az emelőmű működtetésekor alakulhat ki), vagy nyomaték jellegű túlterhelés (gémes daruknál a teher radiális irányú mozgásakor alakulhat ki).

Túlterhelési erőtenyező erő jellegű túlterheléskor (φ_{FL}):

⁵³ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.4.7.

Az erő jellegű túlterheléskor alkalmazandó erőtényezőt, indirekt működésű túlterhelésgátlók esetén, az alábbi módon kell meghatározni:

$$\varphi_{FL} = 1 + \frac{\Delta F}{F_R} + \frac{C_H \cdot v_h \cdot \left(t_{IAL} + t_{br} + \frac{t_{st}}{2} \right)}{m_H \cdot g} \quad 54$$

Ahol:	φ_{FL}	túlterhelési erőtényező (-);
	ΔF	beállított erőtöbblet (N);
	F_R	névleges teherbírás hatására kialakuló erő (N);
	C_H	a daru szerkezetének és a teher felfüggesztésének együttes merevsége (N/m);
	v_h	a teher megemelésékor elérhető legnagyobb emelési sebesség (m/s);
	t_{IAL}	túlterhelésgátló válaszüideje (s);
	t_{br}	fékrendszer reakcióideje (s);
	t_{st}	emelőmű megállításához szükséges idő, a fékerő és a növekvő kötélterő figyelembe vételével (s);
	m_H	névleges teherbírás az adott pozícióban (kg);
	$g = 9,81$	gravitációs gyorsulás (m/s^2).

Az erőtényező nagysága indirekt működésű túlterhelésgátlók esetén nem lehet kevesebb, mint $\varphi_{FL,min} = 1,25^{55}$.

A túlterhelésgátlón beállított ΔF erőtöbblet értékét úgy kell meghatározni, hogy a normál használat mellett fellépő dinamikus tényezők ne hozzák működésbe azt. A beállított érték jellemzően a névleges teherbírás 110%-a alatti, de semmiképpen nem több mint annak 125%-a⁵⁶. Az erőtöbblet a névleges teherbírás és a beállított érték különbsége.

A teher megemelésékor elérhető legnagyobb emelési sebesség (v_h) megfelel a mértékadó emelési sebesség A és B terhelési esetre megadott értéknek.

Erő jellegű túlterheléskor a direkt működésű túlterhelésgátlók erőtényezőjének nagyságát az alkalmazott biztonsági berendezés (például súrlódó tengelykapcsoló, vagy nyomáshatároló szelep) működési karakterisztikája alapján kell meghatározni. Az alkalmazandó erőtényező értéke nem lehet kevesebb $\varphi_{FL,min} = 1,4^{57}$.

⁵⁴ MSZ EN 13001-2:2014 – C melléklet

⁵⁵ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.4.7.

⁵⁶ MSZ EN 15011:2011+A1:2014 – 5.5.1.2.

⁵⁷ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.4.7.

Túlterhelési erőtenyező nyomaték jellegű túlterheléskor (φ_{ML}):

A nyomaték jellegű túlterheléskor, a teher túlfutása miatt szükséges erőtenyezőt az alábbi módon kell meghatározni:

$$\varphi_{ML} = 1 + \frac{\Delta M}{M_0} + \frac{v_R \cdot \left(t_{IAL} + t_{br} + \frac{t_{st}}{2} \right)}{R_0} \quad 58$$

Ahol:	φ_{ML}	túlterhelési erőtenyező (-);
	ΔM	működtető nyomaték beállítási túrése (Nm);
	M_0	névleges teherbírás hatására kialakuló nyomaték (Nm);
	v_R	a teher legnagyobb radiális irányú mozgatási sebessége (m/s);
	t_{ML}	túlterhelésgátló válaszüideje (s);
	t_{br}	fékrendszer reakcióideje (s);
	t_{st}	haladómű megállításhoz szükséges idő (s);
	R_0	teher radiális pozíciója (sugara) a túlterhelésgátló működtetési helyén (m).

Híd és bakdaruk direkt működésű túlterhelésgátlóinál az erőtenyező értéke pneumatikus és mechanikus (súrlódási) elven működő rendszereknél legfeljebb $\varphi_{FL,max} = 1,6$, míg hidraulikus rendszereknél legfeljebb $\varphi_{FL,max} = 1,4$ legyen⁵⁹.

6.5.4. Ütközőerők

Ütközők alkalmazása esetén az ütköző erők alapértéke a hagyományos merevtest-moddal számítható. A számításhoz általában a névleges haladási sebesség 0,7-szerese használható, és a daruhoz nem mereven rögzített teher (például kötélzeten függő) tömege is elhanyagolható. Az ütközéskor kialakuló dinamikus hatások figyelembe vétele érdekében az így kapott ütköző erőt meg kell szorozni egy φ_7 dinamikus tényezővel. Az ütköző erőkre vonatkozó dinamikus tényező értéke elsősorban az alkalmazott ütköző karakterisztikájától függ. Számítása a következő módon lehetséges:

$$\varphi_7 = 1,25 + 0,7 \cdot (\xi - 0,5) \quad 60$$

Ahol:	φ_7	ütköző erő dinamikus tényezője;
	ξ	ütköző karakterisztika tényezője.

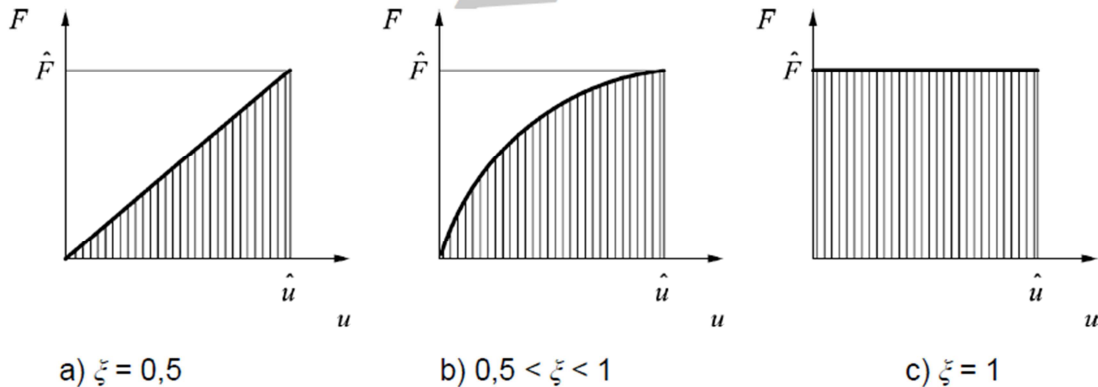
⁵⁸ MSZ EN 13001-2:2014 – C melléklet

⁵⁹ MSZ EN 15011:2011+A1:2014 – 5.2.1.5.1.

⁶⁰ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.4.4.

Az ütköző erő dinamikus tényezőjének minimális értéke $\phi_7 = 1,25$ kell legyen!

Az ütköző karakterisztika három kategóriába sorolható: lineáris karakterisztikájú ütközők (például hagyományos rugók) esetén $\xi = 0,5$, négyzet karakterisztikájú ütközők (például hidraulikus ütközők) esetén $\xi = 1$, míg egyéb karakterisztikájú ütközők (például poliuretán- vagy gumiütközők) esetén $0,5 < \xi < 1$ közötti értéket vehet fel.



A köztes állapotokra jellemző ξ ütköző karakterisztika tényező megfelel az adott karakterisztikájú ütköző merev, négyzet karakterisztikájú ütközőhöz képest azonos benyomódás esetén elnyelt energiának (relatív ütköző energia). Ez a következőképpen számítható:

$$\xi = \frac{1}{\hat{F}_b \cdot \hat{u}} \cdot \int_0^{\hat{u}} F_b du \quad 61$$

- ξ ütköző karakterisztika tényezője (relatív ütköző energia);
- $F_b(u)$ ütköző erő;
- u ütköző benyomódás;
- \hat{F}_b legnagyobb ütköző erő;
- \hat{u} legnagyobb ütköző benyomódás.

6.5.5. Emelt teher elejtése és mechanikai hiba okozta terhelések

Ha a daru valamilyen műszaki vagy kezelői hiba miatt az emelt terhet, vagy annak egy részét hirtelen, nem tervezett módon elejti (például kötélszakadás, vagy az emelőeszköz kioldódása miatt), annak szerkezetére jelentős dinamikus terhelések hathatnak. Ilyen lehet például a leterhelt gém hirtelen tehermentesítés miatti osterszerű visszacsapódása, majd visszazuhanása a normál, üzemi pozícióba. Amennyiben az ilyen jellegű hatásokra külön dinamikai elemzés nem készül, úgy ezeket a daru szerkezetének tö-

⁶¹ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.4.4.

megére ható, $\varphi_9 = -0,3$ nagyságú dinamikus tényező alkalmazásával kell figyelembe venni⁶².

Az emelt teher elejtéséhez hasonlóan komoly dinamikus terhelést jelenthet a daru gépészeti berendezéseinek mechanikai meghibásodása vagy törése. A dinamikus hatásokból származó terhelések meghatározásánál az egyes hajtásrendszerekre (az emelőműre és a haladó hajtásokra külön-külön) a korábban ismertetett módon kell eljárni. A mechanikai meghibásodásokkal összefüggő dinamikus terhelésekre a $\varphi_{5C} = 1,5$ értéket kell alkalmazni⁶³.

⁶² MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.4.9.

⁶³ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.4.10.

6.6. Egyéb terhelések

Az ebbe a csoportba sorolt terhelések ugyan szabvány szerint a rendkívüli terhelések csoportjába sorolandóak, azonban a daru jellegétől függően inkább esetleges terhelésnek tekinthetők, továbbá nem feltétlen vonatkoznak rájuk a rendkívüli terhelésekre vonatkozó egyéb előírások és megfontolások sem (pl. az egyes határállapotok megfelelőségi kritériumai). Ezen okoknál fogva jelen segédlet e terheléseket külön csoportba sorolja (egyéb terhelések).

6.6.1. Próbaterhelések

A darukon az üzembe helyezésük előtt, illetve az életciklusuk során bizonyos időközönként túlterheléses vizsgálatokat kell végezni. A daru szerkezetének, illetve gépészeti berendezéseinek alkalmasnak kell lennie e terhelések elviselésére is, így ezek méretezésekor ezeket is figyelembe kell venni. A túlterheléses vizsgálatoknak két típusa van: a statikus és a dinamikus vizsgálatok.

6.6.1.1. Statikus terheléses vizsgálat

A statikus terheléses vizsgálat során a darut megterhelik a névleges teherbírásának 125%-ával a legkedvezőtlenebb terhelési pozíció(k)ban (pl. a főtartó közepén és a konzolok végén). A próbateher növelése (létrehozása) az emelőmű hajtásának működtetése nélkül is megengedett, tehát a hajtásrendszernek és a tartószerkezetnek el kell viselnie a terhelést, azonban a hajtásoknak nem kell tudnia megmozdítania azt.

A próbateher nagysága általános esetben:

$$M_{TLS} = 1,25 \cdot WLL \quad 64$$

Ahol: M_{TLS} statikus próbaterhelés nagysága (kg);

WLL névleges teherbírás (kg).

Híd és bakdaruk esetén a statikus terheléses vizsgálat során alkalmazott terhelési érték a névleges teherbírás 125%-a, illetve a teheremelésre vonatkozó dinamikus tényező (φ_2) és a teherbírás szorzata közül a nagyobb értékű:

$$M_{TLS} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot WLL \\ \varphi_2 \cdot WLL \end{array} \right\} \quad 65$$

Ahol: M_{TLS} statikus próbaterhelés nagysága (kg);

WLL névleges teherbírás (kg);

φ_2 teheremelés dinamikus tényezője a rendszeres terhelésekre vonatkozóan.

⁶⁴ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.4.3.

⁶⁵ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.4.3.

6.6.1.1. Dinamikus terheléses vizsgálat

A dinamikus terheléses vizsgálat során a darut megterhelik a névleges teherbírásának 110%-ával, majd a daru minden hajtásrendszerének megfelelőségét működési próbákkal ellenőrzik. A hajtásrendszereknek tehát nem csak elviselnie kell a terhelést, hanem mozgatnia is kell tudni.

A próbateher nagysága általános esetben, figyelembe véve a dinamikus hatásokat:

$$M_{TLD} = 1,1 \cdot \varphi_6 \cdot WLL \quad 66$$

Ahol: M_{TLD} dinamikus próbaterhelés nagysága (kg);

WLL névleges teherbírás (kg);

φ_6 próbaterhelés dinamikus tényezője (-).

A próbaterhelés dinamikus tényezője (φ_6) a teheremelés dinamikus tényezőjéből (φ_2) képezhető az alábbi módon:

$$\varphi_6 = 0,5 \cdot (1 + \varphi_2) \quad 67$$

Ahol: φ_6 próbaterhelés dinamikus tényezője;

φ_2 teheremelés dinamikus tényezője a rendszeres terhelésekre vonatkozóan.

A daru stabilitásának és szilárdságának igazolására szolgáló számításokban, a próbaterhelésekre vonatkozó teheresetekben a normál üzemi szélterhelés 16%-át kell figyelembe venni⁶⁸.

6.6.2. Felállítás, szerelés és szállítás okozta terhelések

A daru résegységeinek szállításához, felállításához és karbantartásához szükséges emelési és rögzítési pontokat úgy kell méretezni, hogy azok szilárdságilag feleljenek meg az ezen műveletek során fellépő erőhatásoknak. A számítások során az e műveletek alatt megengedett szélesebbeségre jellemző szélterhelést, és az egyéb környezeti hatásokat is figyelembe kell venni.

Mind a híd és bakdaruknál, mind pedig a gémes daruknál megengedett a felállításhoz illetve karbantartáshoz használt emelési pontok méretezése a rugalmas alakváltozás

⁶⁶ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.4.3.

⁶⁷ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.4.3.

⁶⁸ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.4.3.

elmélete mellett a képlékeny alakváltozás elméletével is. Ennek részletesebb szabályait a vonatkozó szabványok tartalmazzák^{69,70}.

6.6.3. Személyek mozgására szolgáló részek terhelései

A kezelő- és karbantartó személyzet hozzáférését biztosító feljárók, járdák és állások terheléseit a daru tervezése folyamán figyelembe kell venni. Az ezekre ható terheléseket helyi jellegűnek kell tekinteni, tehát elegendő csak a személyek hozzáférését biztosító eszközöket és azok közvetlen tartószerkezeteit vizsgálni. A feljárókra, járdákra, állásokra és korlátokra ható terheléseket más terhelésekkel nem kell kombinálni.

A hozzáférést biztosító szerkezeteket a következő koncentrált terhelésekre kell méretezni (minden szerkezetnél a legkedvezőtlenebb terhelési pozíciókat feltételezve)⁷¹:

Szerkezeti elem	Terhelés iránya	Terhelés nagysága
Kézlécek, korlátok, kapaszkodók	vízszintes	300 N
Személyek mozgására szolgáló szerkezetek (létrák, járdák, állások)	függőleges	1500 N
Személyek mozgása mellett anyagtárolásra is alkalmas szerkezetek	függőleges	3000 N

A személyek mozgására szolgáló részek minimálisan előírt parciális biztonsági tényezőjét $\gamma_p = 1,22$ értékűre kell felvenni⁷².

⁶⁹ MSZ EN 14985:2012 - 5.2.8.4.

⁷⁰ MSZ EN 15011:2011+A1:2014 – 5.2.2.4.

⁷¹ MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.4.13.

⁷² MSZ EN 13001-2:2014 – 4.2.4.13.

6.7. Terheléskombinációk

6.7.1. Megfelelőség igazolása

A daru megfelelőségének igazolásához a különböző független terhelési hatásokat teherkombinációkba kell csoportosítani. Ezen teherkombinációk, az egyedi terhelésekhez hasonlóan három kategóriába sorolhatóak:

- rendszeres terhelések (A),
- esetleges terhelések (B),
- rendkívüli terhelések (C).

Azt, hogy a különböző terheléskombinációkban mely terheléseket, és milyen mértékben kell figyelembe venni, a következő táblázatok tartalmazzák. A vonatkozó harmonizált szabványok által előírt szabványos teherkombinációk mellett D-vel jelölve tartalmazza a javasolt egyéb terhelésekre vonatkozó teherkombinációkat is.

6.7.2. Terhelés kombinációk táblázatai

A következő 3 táblázat a terhelési csoportokhoz tartozó kombinációkat mutatja a hozzájuk tartozó biztonsági tényezőkkel.

Jelen segédlet csak a daruk szilárdsági megfelelőségére vonatkozó terheléskombinációk táblázatait tárgyalja. A stabilitásra vonatkozó táblázatok az MSZ EN 13002:2014 szabvány 13. táblázata tartalmazza.

Terheléskombinációk „A”

Terhelési kategóriák	Terhelések		Vonatkozó fejezet	"A" terheléskombinációk				
				Részleges biztonsági tényező γ_p	A1	A2	A3	A4
Rendszeres	Nehézségi gyorsulás és kölcsönhatások	Daru tömege	4.2.2.1	9.táblázat	ϕ_1	ϕ_1	1	-
		Emelt teher tömege	4.2.2.2	1,34	ϕ_2	ϕ_3	1	-
		Haladás egyenetlen felületen	4.2.2.4	1,22	-	-	-	ϕ_4
	Hajtások okozta gyorsulás	Emelő mozgás nélkül	4.2.2.5	1,34	ϕ_5	ϕ_5	-	ϕ_5
		Minden mozgás			-	-	ϕ_5	-
	Elmozdulások	4.2.2.6	4.3.5. szerint	1	1	1	1	
Teljes biztonsági tényező csak a "megengedett feszültség eljárásnál" γ_F				-	1,48			
Ellenállás tényező γ_m				1,1	-			

Terheléskombinációk „B”

Terhelési kategóriák	Terhelések		Vonatkozó fejezet	"B" terheléskombinációk					
				Részleges biztonsági tényező γ_p	B1	B2	B3	B4	B5
Rendszeres	Nehézségi gyorsulás és kölcsönhatások	Daru tömege	4.2.2.1	9.táblázat	ϕ_1	ϕ_1	1	-	-
		Emelt teher tömege	4.2.2.2	1,22	ϕ_2	ϕ_3	1	-	-
		Haladás egyenetlen felületen	4.2.2.4	1,16	-	-	-	ϕ_4	ϕ_4
	Hajtások okozta gyorsulás	Emelő mozgás nélkül	4.2.2.5	1,22	ϕ_5	ϕ_5	-	ϕ_5	-
		Minden mozgás			-	-	ϕ_5	-	-
	Elmozdulások		4.2.2.6	4.3.5. szerint	1	1	1	1	1
Esetleges	Környezeti hatások	Üzemi szél	4.2.3.1	1,22	1	1	1	1	1
		Hó és jég	4.2.3.2	1,22	1	1	1	1	1
		Hőmérséklet változás	4.2.3.3	1,16	1	1	1	1	1
	Ferdefutás		4.2.3.4	1,16	-	-	-	-	1
Teljes biztonsági tényező csak a "megengedett feszültség eljárásnál" γ_f				-	1,34				
Ellenállás tényező γ_m				1,1	-				

Terhelési kategóriák	Terhelések		Vonatkozó fejezet	"C" terheléskombinációk											
				Részleges biztonsági tényező γ_p	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
Rendszeres	Nehézségi gyorsulás és kölcsönhatások	Daru tömege	4.2.2.1	9.táblázat	ϕ_1	1	ϕ_1	1	1	1	1	1	1	1	1
		Emelt teher tömege	4.2.2.2	1,1	ϕ_{2C}	ϕ_3	η_w	-	1	1	ϕ_L	ϕ_9	1	1	-
		Haladás egyenetlen felületen	4.2.2.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Hajtások okozta gyorsulás	Emelő mozgás nélkül	4.2.2.5	1,1	-	-	ϕ_5	-	-	-	-	-	-	-	-
		Minden mozgás			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Elmozdulások		4.2.2.6	4.3.5. szerint	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Esetleges	Környezeti hatások	Üzemi szél	4.2.3.1	1,16	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
		Hó és jég	4.2.3.2	1,1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Hőmérséklet változás	4.2.3.3	1,05	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ferdefutás		4.2.3.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rendkívüli	Üzemen kívüli szél		4.2.4.2	1,1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Próbaterhelés		4.2.4.3	1,1	-	-	ϕ_6	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ütköző erő		4.2.4.4	1,1	-	-	-	ϕ_7	-	-	-	-	-	-	-
	Billentő erő		4.2.4.5	1,1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
	Vészleállítás		4.2.4.6	1,1	-	-	-	-	-	ϕ_5	-	-	-	-	-
	Szerkezet meghibásodása		4.2.4.10	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	ϕ_5	-	-
	Alátámasztást érő gerjesztés		4.2.4.11	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
Teljes biztonsági tényező csak a "megengedett feszültség eljárásnál" γ_f				-	1,22										
Ellenállás tényező γ_m				1,1	-										

6.7.3. Terheléskombinációk magyarázata az MSZ EN 13001-2 szerint.

Terhelés-kombinációk	Szabvány vonatkozó fejezete	Leírás
A1	4.2.2.2	Teher emelése és mozgatása, az emelő mozgásokon kívüli gyorsulásokat kell figyelembe venni.
A2	4.2.2.3	Emelt teher hirtelen szabaddá válása, egyéb terhek az A1 szerint.
A3	4.2.2.5	Függő teher vagy teherfelvevő eszközzel emelt teher. Bármely hajtás okozta gyorsító, lassító erők valamennyi kombinációja, beleértve az emelőművet is.
A4	4.2.2.4	Haladó mozgások egyenetlen felületen, emelőmozgás nélkül.
B1 - B4	4.2.3.1	Azonos A1 - A4 kombinációkkal, kiegészítve üzemi széllel és más környezeti hatásokkal.
B5	4.2.3.4	Normál üzemelésű daru, kiegészítve üzemi széllel és más környezeti hatásokkal, valamint a ferdefutás hatásával.
C1	4.2.4.1	Normál üzemelésű daru földön fekvő terhet emel legnagyobb emelési sebességgel.
C2	4.2.4.2	Daru üzemen kívül, üzemen kívüli szélhatás és más környezeti hatás terhelése.
C3	4.2.4.3	Daru vizsgálati körülmények között (próbaterhelés), a különböző mozgások hatásai kombinálódnak a szélterheléssel.
C4	4.2.4.4	Daru emelt teherrel és az ütközőerők hatása.
C5	4.2.4.5	Daru emelt teherrel és a billenőerők hatása.
C6	4.2.4.6	Daru emelt teherrel és a vészleállítás hatása.
C7	4.2.4.7 4.2.4.8	Túlterhelés elleni védelem miatt fellépő erők. A 4.2.4.7 és a 4.2.4.8 pontok szerinti terheléseket külön kell figyelembe venni.
C8	4.2.4.9	Teherejtésből származó erők.
C9	4.2.4.10	Daru emelt teherrel miközben a szerkezet meghibásodása okoz terhelést.
C10	4.2.4.11	Daru emelt teherrel miközben az alátámasztást külső erő gerjeszti.
C11	4.2.4.12	Darura jutó terhelések az összeszereléskor, szétszereléskor és szállításkor.

7. MSZ EN 15011 szabvány szerinti javasolt osztályba sorolás

	Használat módja	U-osztály	Q-osztály
1	Kézi működtetésű daruk	U0 – U2	Q1 – Q4
2	Szerelő és karbantartó daruk, időszakos haszná- lattal	U1 – U3	Q0 – Q2
3	Általános műhelydaruk, horogüzemmel	U2 – U5	Q0 – Q2
4	Gyári és raktári daruk, időszakos használattal	U2 – U5	Q1 – Q3
5	Raktári daruk, folyamatos működéssel	U5 – U8	Q1 – Q3
6	Papírgyári daruk a gyártási folyamatban	U3 – U5	Q3 – Q5
7	Hajóépítő daruk, horogüzemmel	U2 – U5	Q1 – Q3
8	Daruk acélgyártási folyamatban	U4 – U6	Q3 – Q5
9	Pályaudvari daruk	U5 – U7	Q2 – Q3
10	Kikötői konténerdaruk	U6 – U8	Q2 – Q3
11	Rakodódaruk markolóval vagy mágnessel	U6 – U9	Q3 – Q5
12	Hulladéktéri daruk markolóval vagy mágnessel	U6 – U8	Q3 – Q5
13	Hulladékkezelő daruk markolóval	U5 – U8	Q3 – Q5

8. Kötél méretezése az MSZ EN 13001-3-2 szabvány szerint

Az alábbi táblázat tartalmazza az MSZ EN 13001-3-2 szabványban lévő jelölések magyar megfelelőjét.

Jelölés	Megnevezés
a	Gyorsulás
C	Működési ciklusok összes száma
D	Vonatkozó átmérő
D_{drum}	Kötéldob legkisebb átmérő
D_{sheave}	Kötélkorong legkisebb átmérő
D_{comp}	Kiegyenlítő korong legkisebb átmérő
d	Kötél átmérő
d_{bearing}	Csapágy vagy tengely átmérő
F_{equ}	Egyenértékű kötél erő
F_{gd}	Önsúlyból származó tömegezők, kivéve emelt teher, módosítva γ_p -vel
F_{gl}	Emelt teher tömegereje, módosítva γ_p -vel
F_o	További erők, módosítva γ_p -vel
$F_{\text{Rd,s}}$	Kötél tervezési határ ereje statikus igénybevétel esetén
$F_{\text{Rd,f}}$	Kötél tervezési határ ereje fáradási igénybevétel esetén
$F_{\text{Sd,s}}$	Kötél tervezési ereje statikus igénybevétel esetén
F_r	Kötél tömeg haladási ellenállása esetén, módosítva γ_p -vel
$F_{\text{Sd,f}}$	Kötél tervezési ereje fáradási igénybevétel esetén
F_t	Szorító erő, módosítva γ_p -vel
F_u	Kötél minimális szakítóereje
F_w	Kötél a szélereből,
f_f	Teljes hatás tényező
f_{f1}	Átmérőkből adódó hatás tényező
f_{f2}	Kötél szakító szilárdságából származó hatás tényező
f_{f3}	Kötél érintkezési (menet, perem) szögéből származó hatás tényező
f_{f4}	Kötél kenéséből származó hatás tényező
f_{f5}	Többrétegű dob esetén a hatás tényező

Jelölés	Megnevezés
f_{f6}	Kötél horony átmérő hatás tényező
f_{f7}	Kötél típus hatás tényező
f_{s1}	Kötélvezetés hatás tényezője
f_{s2}	Nem párhuzamos kötélfűtésből származó hatás tényező
f_{s3}	Vízszintes hatások okozta hatás tényező
f_{si}^*	Fáradási határból származó hatás tényező
g	Nehézségi gyorsulás
i	Emelés és süllyesztés ciklusainak indexe
i_{max}	Mozgások teljes száma
k_r	Kötélterő spektrum tényezője
l_r	A kötélfűtésének száma a daru tervezett élettartama alatt.
q	Magassági szint gyakorisági tényezője
m_H	Emelt teher tömege
m_{Hr}	Emelt teher tömege a vizsgált kötélfűtésben
m_r	Kötél által forgatott tömeg
m_t	Kötél által húzott tömeg
n_s	Álló kötélfűtésok száma a hajtó dob és a mozgó részek között
n_m	Mechanikai áttétel aránya
n_r	Kötélfűtésről lefutó kötelek száma
R_0	Elemi szál minimális szakítószilárdsága
R_{Dd}	Referencia érték a hajlítási átmérő és kötélfűtésátmérő aránya alapján
R_r	Kötél elemiszál szakító szilárdsági csoportja
r_g	Kötélfűtés horony sugár
s_r	Kötélterő történet paraméter
t	Kötélfűtéstípus tényező
w	Hajlítások száma mozgásonként
w_c	Hajlítások száma
w_D	Hajlítások száma egy referencia pontnál
w_{tot}	Hajlítások összes száma
$z, z_i, z_{min}, z_{max}, z_{ref}$	Magassági koordináta

Jelölés	Megnevezés
α	Lejtő szöge
β, β_{\max}	A ható erő vonala és a kötélág által bezárt szög
γ	A függőleges és a működő kötéltől által bezárt szög, a teherre ható vízszintes erőnél
γ_n	Kockázati tényező
γ_p	Részleges biztonsági tényező
γ_{rb}	Kötél minimális ellenállás tényezője (statikus)
γ_{rf}	Kötél minimális ellenállás tényezője (fáradási)
δ	Horony tengely és a kötéltől által bezárt szög
ε	Kötélkorongok síkja által bezárt szög
η_s	Egy kötéltörés hatásfoka
η_{tot}	Kötélvezetés teljes hatásfoka
ν_r	Összes hajlítás számának viszonylagos értéke
Φ	Tehetetlenségi vagy tömeg erő hatásának dinamikus tényezője
Φ^*	Fáradást okozó tehetetlenségi vagy tömeg erő hatásának dinamikus tényezője
Φ_2	Rögzítetlen teher elemelésekor keletkező dinamikus tényező
Φ_5	Teher gyorsulása okozta dinamikus tényező
Φ_6	Próbaterhelés dinamikus tényezője
ω	Horony profil nyílásának szöge

A daruknál kétféle felhasználása lehet a köteleknek, futó kötélt és tartó kötélt.

- **Futó kötelek**

A daruknál a terhelés, a hajlítás a sodronykötelekben feszültséget okoz. Ezek együttesen alkotják a kötéltre ható összegzett fáradási hatást, amit az s_r kötélterő történet paraméter fejez ki. A kötélterő történet paramétere független az időtől.

A kötelek és kötéltörés elemeinek kiválasztásánál a statikus és fáradási szilárdság megfelelőségét kell igazolni.

- **Tartó kötelek**

A tartó kötelek a daru szerkezeti részeinek tekintendők.

8.1. A kötéltönkremenetelének vizsgálata

A kötélt biztonságos használatának érdekében az ISO 4309 szabványban előírtakat kell alkalmazni.

Polimer kötélkorongnál, amit kizárólagosan egyrétegű tekerccseléssel használunk, valószínűbb a nagyobb arányú belső, mint a külső tönkremenetel, ezért ebben az esetben az ISO 4309 szabványt nem alkalmazható.

A megfelelőség igazolásának a dokumentációja az alábbiakat tartalmazza:

- tervezési feltételezések, beleértve a számítási modellek;
- vonatkozó terhelések és terhelési kombinációk;
- kötélf specifikáció és a tervezéshez meghatározott kötelek száma;
- vonatkozó határállapotok;
- a megfelelőségi igazolásának számítási eredményei és az alkalmazott teszt vizsgálatok.

8.2. *Igazolás statikus terhelés esetén*

Az EN 13001-2 szerinti terhelési esetekre igazolni kell a statikus szilárdsági megfelelőséget:

$$F_{Sd,s} \leq F_{Rd,s} \quad 73$$

ahol

$F_{Sd,s}$ kötélf tervezési ereje statikus igénybevétel esetén

$F_{Rd,s}$ kötélf tervezési határ ereje statikus igénybevétel esetén

8.2.1. Függőleges emelés esete

8.2.1.1. Kötélterő tervezési értéke

$$F_{Sd,s} = \frac{m_{Hr} \cdot g}{n_m} \cdot \Phi \times f_{S1} \times f_{S2} \times f_{S3} \times \gamma_p \times \gamma_n \quad 74$$

ahol

Emelt teher tömege a vizsgált kötélfágban. Figyelembe kell venni a teher tömegének a megoszlását. Az emelt teher tömege tartalmazza a terhet, a függesztékek és a kötélf szerkezetre ható szerelvények tömegét is. Statikailag határozatlan szerkezetek esetén figyelembe kell venni a kötelek rugalmasságát is.

A teher elrendezését az MSZ EN 13001-3-2 szabvány 1. ábrája mutatja.

n_m kötélfágak mechanikai áttétele

Φ tehetetlenségi és nehézségi erők dinamikus tényezője, 5.2.2 szerint

$f_{S1} - f_{S3}$ kötélfterő hatástényezője 5.2.3 – 5.2.5 szerint

m_{Hr} és γ_p Részleges biztonsági tényező MSZ EN 13001-2 szerint:

$\gamma_p = 1,34$ rendszeres terhek esetén

$\gamma_p = 1,22$ esetleges terhek esetén

$\gamma_p = 1,10$ rendkívüli terhek esetén

γ_n kockázati tényező (MSZ EN 13001-2 szerint), ahol alkalmazása szükséges;

⁷³ MSZ EN 13001-3-3:2014 – 5.1.

⁷⁴ MSZ EN 13001-3-3:2014 – 5.2.1.

8.2.1.2. Tehetetlenségi és nehézségi erők hatásai

8.2.1.2.1. Dinamikus tényező

Függőleges emeléskor a rögzítetlen tömegek elemelésekor keletkező tehetetlenségi hatásokat, a gyorsulási vagy lassítási hatásokat kell figyelembe venni az 5.2.2.2 – 5.2.2.4 pontok szerint.

8.2.1.2.2. Rögzítetlen teher elemelése

$$\Phi = \Phi_2$$

ahol

Φ_2 dinamikus tényezője a tehetetlenségi és nehézségi erők hatásának, a teher talajról történő elemelésekor

8.2.1.2.3. Függesztett teher gyorsítása vagy lassítása

$$\Phi = 1 + \Phi_5 \times \frac{a}{g} \quad 75$$

ahol

Φ_5 teher gyorsulása okozta dinamikus tényező, MSZ EN 13001-2 szerint

a függőleges gyorsulás vagy lassulás

g nehézségi gyorsulás

8.2.1.2.4. Próbateher

$$\Phi = \Phi_6$$

ahol

Φ_6 próbaterhelés dinamikus tényezője MSZ EN 13001-2 szerint

8.2.1.3. Kötélvezetés hatásfoka

A kötélerő hatás tényezőt a kötélfűtés hatásfoka alapján kell számolni:

$$f_{s1} = \frac{1}{\eta_{tot}} \quad 76$$

A teljes kötélfűtés hatásfokát az alábbiak szerint kell számolni:

$$\eta_{tot} = \frac{(n_s)^{n_s}}{n_m} \times \frac{1 - (n_s)^{n_m}}{1 - \eta_s} \quad 77$$

ahol

η_s egy kötélfűtés hatásfoka

$\eta_s = 0,985$ kötélfűtés gördülő csapággal

⁷⁵ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 5.2.2.3.

⁷⁶ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 5.2.3.

⁷⁷ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 5.2.3.

$\eta_S = 0,985 \times \left(1 - 0,15 \times \frac{d_{bearing}}{D_{Sheave}} \right)$	kötélkorong sikló csapággal
n_m	mechanikai áttétel (példa az MSZ EN 13001-3-2 szabvány 2. ábra)
n_S	álló kötélszikók száma a hajtó dob és a mozgó részek között

8.2.1.4. Nem párhuzamos kötélszikók esete

Amikor az emelt teherhez tartozó kötélszikók nem párhuzamosak, akkor a kötélerő megnő. A kötélerő hatástényezőjét a legkedvezőtlenebb helyzetben kell meghatározni, az alábbiak szerint:

$$f_{S2} = \frac{1}{\cos \beta_{max}} \quad 78$$

ahol

β_{max} a terhelés iránya és a kötélszikó közötti legnagyobb szög.
(példa az MSZ EN 13001-3-2 szabvány 3. ábra)

8.2.1.5. Emelt teherre ható vízszintes erők

A kötélerő meghatározásánál a vízszintes erőknek a növelő hatását, szabadon lengő teher esetén, nem kell figyelembe venni. (macska és híd gyorsulása, szélteher)

Nem párhuzamos kötelek esetén (kötél piramis, 4. ábra) a vízszintes erők jelentősen növelik a kötélerőt. Ezt a hatást figyelembe kell venni, és a hatás tényezőt az alábbiak szerint kell számolni:

$$f_{S3} = 1 + \frac{F_h}{m_H \times g \times \tan \gamma} \leq 2 \quad 79$$

ahol

F_h az emelt teherre ható vízszintes erő
 m_H az emelt teher tömege
 γ a gravitációs terhelés iránya és a kötélszikó iránya által bezárt legnagyobb szög

A képlet alkalmazásakor a Φ és f_{S3} tényezőket csak akkor lehet külön kezelni, ha működik olyan technikai eszköz, mely megakadályozza az egyidejű vízszintes és a függőleges gyorsulásokat. (példa az MSZ EN 13001-3-2 szabvány 4. ábra)

8.2.2. Nem függőleges tehermozgatások esete

8.2.2.1. Kötélerő tervezési értéke

Nem függőleges tehermozgatáskor (például az MSZ EN 13001-3-2 szabvány 5. és 6. ábra) a kötélerő tervezési értékét az alábbiak szerint kell számolni:

⁷⁸ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 5.2.4.

⁷⁹ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 5.2.5.

$$F_{sd,s} = \frac{F_{equ}}{n_m} \cdot \Phi \times f_{s1} \times f_{s2} \times \gamma_n$$

ahol

F_{equ}	a kötélt hajtásrendszer egyenértékű kötélereje az 5.3.2 szerint, ahol figyelembe kell venni a statikailag határozatlan rendszereket, valamint egyenlőtlen terhelések esetén a kötelek rugalmasságát;
n_m	a kötélt hajtás mechanikai áttétele;
Φ	dinamikus tényező a tehetetlenségi erők esetén 5.3.3 szerint;
f_{s1}, f_{s2}	kötélterő hatás tényezők 5.3.4 és 5.3.5 pontok szerint;
γ_n	kockázati tényező (MSZ EN 13001-2 szerint), ahol alkalmazása szükséges;
m_{r1}, m_{r2}, m_{r3}	kötél hajtás által forgatott tömegek, a gyorsulásra vonatkozó koordináta rendszerben;
m_{t1}, m_{t2}	kötél hajtás által elmozduló tömegek, a gyorsulásra vonatkozó koordináta rendszerben;
F_{equ}, F_w, F_r	erők, lásd 5.3.2 pontot;
a	gyorsulás;
n_m	kötélvezetés mechanikai áttétele;
m_t	kötél hajtás által elmozduló tömeg, a gyorsulásra vonatkozó koordináta rendszerben;
F_t	feszítő erő, 5.3.2 szerint

8.2.2.2. Egyenértékű kötélterő meghatározása

Általában a teherhatások a nehézségi erők, a különféle ellenállások (gördülő vagy csúszó, kerekek, csapágyak), kötélt feszítő erő, szélerő és még további erők (például ütközőerő, klimatikus hatások okozta erők) hozzájárulnak az egyenértékű kötélterőhöz, melyet a képlet mutat. Az egyedi hatásokat módosítani kell a vonatkozó biztonsági tényezőkkel (MSZ EN 13001-2 szerint). A terhelések kombinációját az MSZ EN 13001-3-2 szabvány 2. táblázata tartalmazza.

$$F_{equ} = F_{gd} + F_{gl} + F_r + F_w + F_t + F_o \quad 81$$

ahol

F_{gd}	kötélhajtással mozgatott tömegeerők, kivéve emelt teher, módosítva γ_p -vel;
F_{gl}	kötélhajtással mozgatott emelt teher, módosítva γ_p -vel;
F_r	ellenállás okozta erő, módosítva γ_p -vel;
F_w	szél okozta erő, módosítva γ_p -vel;
F_t	kötél feszítő erő, módosítva γ_p -vel;
F_o	további erők, módosítva γ_p -vel;

⁸⁰ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 5.3.1.

⁸¹ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 5.3.2.

1. táblázat γ_p értékei⁸²

	Megnevezés	Rendszeres teher A teherkombináció	Esetleges teher B teherkombináció	Rendkívüli teher C teherkombináció
F_{gd}	Tömegterhek, kivéve emelt teher	1,22	1,16	1,1
F_{gl}	Emelt teher	1,34	1,22	1,1
Φ	Tehetetlenségi erő	1,34	1,22	1,1
F_r	Ellenállás okozta erő	1,34	1,22	1,1
F_t	Kötél feszítő erő	1,22	1,16	1,1
F_w	Szél okozta erő (üzemi)	-	1,22	1,16
	Szél okozta erő (üzemen kívüli)	-	-	1,1
F_o	Hó és jég	-	1,22	1,1
	Hőmérséklet	-	1,16	1,05
	Ütköző erő	-	-	1,1

8.2.2.3. Tehetetlenségi hatás

A nem függőleges hajtások gyorsulásból származó tehetetlenségi hatását dinamikus tényező számításával kell figyelembe venni:

$$\Phi = 1 + \frac{(\sum m_t + \sum m_r) \times a \times \Phi_5 \times \gamma_p}{F_{equ}} \quad 83$$

ahol

$\sum m_t$ az elmozduló tömegek összege, a gyorsítás koordináta tengelyének irányában;

$\sum m_r$ a kötélhajtás által forgatott tömegek összege, a gyorsítás koordináta tengelyének irányában; (MSZ EN 13001-3-2 szabvány 5. és 6. ábra)

a gyorsítás vagy lassítás

Φ_5 a terhek gyorsításához tartozó dinamikus tényező; (MSZ EN 13001-2 szerint)

γ_p tehetetlenségi hatás biztonsági tényezője a 2. táblázat szerint;

F_{equ} egyenértékű kötelerő

⁸² MSZ EN 13001-3-2:2014 – 5.3.2.

⁸³ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 5.3.3.

8.2.2.4. Kötélvezetési tényező

A kötélerő tervezési értékének számításakor figyelembe kell venni a kötélhajtás hatásfokát, mint hatás tényezőt f_{S1} , amit az 5.2.3 pont szerint kell számolni.

8.2.2.5. Nem párhuzamos kötelek

A kötélerő tervezési értékének számításakor figyelembe kell venni a nem párhuzamos kötelek hatásfokát, mint növelő tényezőt f_{S2} , amit az 5.2.4 pont szerint kell számolni.

8.2.3. Kötélerő tervezési határértéke

A kötélerő tervezési értékét az alábbiak szerint kell számolni:

$$F_{Rd,s} = \frac{F_u}{\gamma_{rb}} \quad 84$$

ahol

F_u kötel minimális szakítóereje

γ_{rb} kötel ellenállás tényezője

A kötel ellenállás tényezőjét a kötélhajtás geometriája alapján kell meghatározni:

$$\gamma_{rb} = 1,35 + \frac{5,0}{\left(\frac{D}{d}\right)^{0,8} - 4} \geq 2,07 \quad 85$$

ahol

D a legkisebb átmérő: $D = \text{Min} (D_{korong}; 1,125 \times D_{dob}; 1,125 \times D_{comp})$

d kötelátmérő

A D/d áttétel nem lehet kisebb 11,2 -nél.

A 3. táblázat mutatja a legkisebb ellenállás tényező értéket a D/d függvényében⁸⁶.

D/d	11,2	12,5	14,0	16,0	18,0	$\geq 20,0$
γ_{rb}	3,07	2,76	2,52	2,31	2,17	2,07

⁸⁴ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 5.4.

⁸⁵ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 5.4.

⁸⁶ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 5.4.

8.3. Igazolás fáradási feszültség megfelelőségére

8.3.1. Általános követelmény

A kísérletek eredménye szerint a kötelek kifáradási szilárdsága, a hajlítások száma szempontjából (kötélerő és hajlítások száma összefüggés), közelítőleg fordítottan arányos az alkalmazott kötélfeszítő erő négyzetével. Azzal a további megköttéssel, hogy a kötélszál-átmértőhöz viszonyított aránya (D/d), a hajlítások számának növekedésével (w_{tot}) a következő összefüggés szerint szintén növelendő:

$$\frac{D}{d} \sim 1,125^{\log_2(w_{tot})} \quad 87$$

(vagyis a hajlítások számának (w_{tot}) megkétszerezésekor, a hajlítási átmértő, kötélszál-átmértő arány (D/d) 1,125-szeresére növekszik), a kötélszál-átmértő hajlítások számához viszonyított összefüggése szerint pedig közel fordítottan arányos a harmadik hatvánnyal. Így ez a kiegészítő követelmény a „kötélszál történetben” is szerepel.

A kötélen véghezvitt hajlítások számának meghatározásakor, minden mozgást figyelembe kell venni, amely a darura meghatározott munkaciklus részét képezi (történjen az akár terhelt, akár terheletlen állapotban). A kötélszál spektrum számításakor a különböző terhelési szinteket külön esetekként vesszük figyelembe. A részletes (hajlítási) számítást lásd az MSZ EN 13001-3-2 szabvány „A” függelékben.

A kötélszál fáradási feszültségének megfelelőségéhez igazolni kell az alábbiakat:

$$F_{Sd,f} \leq F_{Rd,f} \quad 88$$

ahol

$F_{Sd,f}$ kötélszál tervezési értéke fáradás esetén

$F_{Rd,f}$ kötélszál tervezési határértéke fáradás esetén

8.3.2. Kötélszál tervezési értéke

8.3.2.1. Alapvető feltétel

A kötélszál tervezési értékének számításakor a rendszeres terhelést kell figyelembe venni (terhelési kombináció A, MSZ EN 13001-2 szerint), oly módon, hogy a részleges biztonsági tényezők és a kötélszálvezetés hatásfoka 1.

Függőleges emelés esetén:

$$F_{Sd,f} = \frac{m_{Hr} \times g}{n_m} \times \Phi^* \times f_{S2}^* \times f_{S3}^* \times \gamma_n \quad 89$$

⁸⁷ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.1.

⁸⁸ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.1.

⁸⁹ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.2.1.

ahol

m_{Hr}	az emelt teher tömege (m_H), vagy az emelt tömegnek az a része, amelyik a kötélágra hat. (1. ábra)
g	nehézségi gyorsulás
n_m	kötélágak vezetésének mechanikai áttétele
Φ^*	a tehetetlenségi és tömegeroők dinamikus tényezője 6.2.2. pont szerint
f_{S2}^*, f_{S3}^*	kötélerőt hatás tényező, a 6.2.3. és a 6.2.4. szerint
γ_n	kockázati tényező (MSZ EN 13001-2 szerint)

Nem függőleges hajtás esetén:

$$F_{Sd,f} = \frac{F_{equ}}{n_m} \times \Phi^* \times f_{S2}^* \times \gamma_n \quad 90$$

ahol

F_{equ}	kötélre ható egyenértékű erő, az 5.2.3. pont elvei szerint
n_m	kötélvezetés mechanikai áttétele
Φ^*	tehetetlenségi hatások dinamikus tényezője, 6.2.2. pont szerint
f_{S2}^*	kötélerő hatás tényező a 6.2.3. pont szerint
γ_n	kockázati tényező (MSZ EN 13001-2 szerint)

A függőleges és nem függőleges kötélhajtások esetén további kiegészítések vannak:

- A kötélerő hatás tényező f_{si}^* helyett a f_{si} használható.
- A kötélerő dinamikus tényező Φ^* helyett a Φ használható.

8.3.2.2. Tehetlenségi hatás

A rövid idejű tehetlenségi hatásokat nem kell figyelembe venni az összes hajlításnál. Ezért a dinamikus tényezőt az alábbiak szerint kell számolni:

$$\begin{aligned} \Phi^* &= \sqrt[3]{\frac{(w-1) + \Phi^3}{w}} & \text{for } w \geq 1 \\ \Phi^* &= \Phi & \text{for } w = 0,5 \end{aligned} \quad 91$$

ahol

w	tényleges hajlítások száma elmozdulásonként
Φ	dinamikus tényező (5.2.2 vagy 5.3.3 szerint)

8.3.2.3. Nem párhuzamos kötélágak

A fáradási szilárdság ellenőrzésekor figyelembe kell venni a nem párhuzamos kötélfűzést. A kötélerő hatás tényező f_{S2}^* számításánál figyelembe kell venni a működési területnél az emelési magasság és a kötélszög eloszlását.

⁹⁰ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.2.1.

⁹¹ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.2.2.

Amikor a daru használatok körülbelül azonos a leggyakoribb működésnél az emelési magasság tartománya, akkor a sűrűség függvény állandó értékű.

$$q(z) = \frac{1}{z_2 - z_1} \quad 92$$

f_{S2}^* értékét az alábbi módon kell számítani:

$$f_{S2}^* = 1 + \left[\frac{1}{\cos \beta(z_2)} - 1 \right] \times \left(\frac{z_{ref} - z_2}{z_{ref} - z_1} \right)^{0,9} \quad 93$$

Általános esetben f_{S2}^* értékét az alábbi módon kell számítani:

$$f_{S2}^* = \sqrt[3]{\int_{z_{min}}^{z_{max}} \frac{q(z)}{\cos^3 \beta(z)} dz} \quad 94$$

ahol

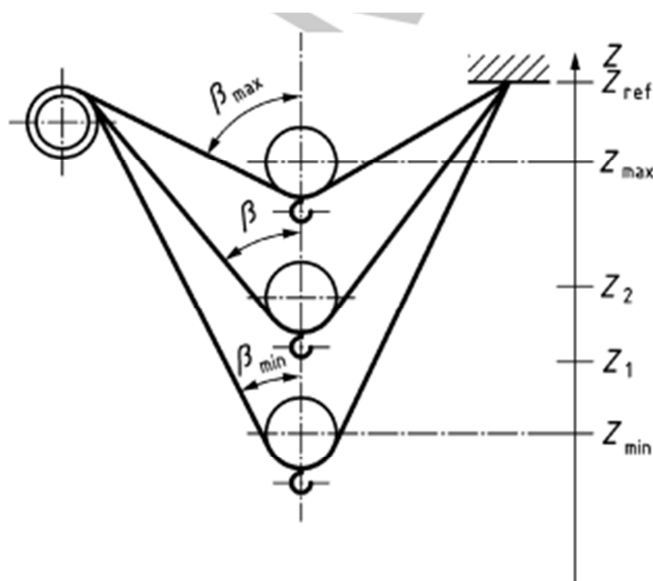
z magassági koordináta az MSZ EN 13001-3-2 szabvány 7. ábra szerint a teljes működési tartomány z_{min} - től z_{max} -ig a leggyakoribb működési tartomány z_1 - től z_2 -ig

z_{ref} referencia magasság

$\beta(z)$ a teher és a kötélág által bezárt szög

$q(z)$ a daru egyenértékű emelési magasságának eloszlása, amikor a működési tartományban használják, ahol

$$\int_{z_{min}}^{z_{max}} q(z) dz = 1 \quad 95$$



⁹² MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.2.3.

⁹³ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.2.3.

⁹⁴ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.2.3.

⁹⁵ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.2.3.

8.3.2.4. Vízszintes erők hatása függőleges emelésnél

Összekapcsolt nem párhuzamos kötelek használatakor (4. ábra szerint), f_{S3}^* értékét az alábbi módon kell számítani:

$$f_{S3}^* = f_{S3} \quad 96$$

ahol

f_{S3} kötélerő hatás tényező, amit az átlagos γ szög alapján kell számolni (5.2.5 szerint)

Amikor a vízszintes erők és az emelés gyorsulása nem egyidejű, vagy jelentős különbség van a gyorsulási idők között, akkor $f_{S3}^* = 1$ értékű.

8.3.3. Kötélerő tervezési határértéke

8.3.3.1. Kiinduló összefüggés

A kötélerő tervezési határértékét az alábbi módon kell számítani:

$$F_{Rd,f} = \frac{F_u}{\gamma_{rf} \times \sqrt[3]{s_r}} \times f_f \quad 97$$

ahol

F_u kötéll előírt minimális szakítóerő

s_r kötélerő történet paramétere

γ_{rf} kötéll minimális ellenállás tényezője: $\gamma_{rf} = 7$;
 γ_{rf} egy eredő biztonsági tényező (figyelembe veszi a fáradási feszültségérték bizonytalanságát, és a fáradás okozta kár lehetséges következményeit) és a tényező csökkenti az F_u fáradási feszültségértékét a referencia pontnál. (3.3.4 pont szerint)

f_f további hatások tényezője (3.4 fejezet és képlet)

8.3.3.2. Kötélerő történet paraméter

Hasonló, mint a feszültség történet paramétert az MSZ EN 13001-1 szabványban, a kötélerő történet paramétert is az alábbiak szerint kell számolni.

$$s_r = k_r \times v_r \quad 98$$

ahol

k_r kötélerő spektrum tényező

v_r összes hajlítás számának viszonylagos értéke

8.3.3.3. Kötélerő spektrum tényezője

A kötélerő spektrum tényezőjét az alábbi módon kell számolni:

⁹⁶ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.2.4.

⁹⁷ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.3.1.

⁹⁸ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.3.2.

$$k_r = \sum_{i=1}^{i_{max}} \left(\frac{F_{Sd,f,i}}{F_{Sd,f}} \right)^3 \times \frac{w_i}{w_{tot}}$$

99

ahol

- i az $f_{sd,f,i}$ erővel történt mozgás indexe
- i_{max} a kötélnél tartozó ciklusszám. Figyelembe kell venni azt, hogy a ciklusszám kötélnként C/l_r , ahol az összes munkaciklus C .
- $F_{Sd,f,i}$ a kötélerő tervezési értéke az i -edik mozgásnál;
- $F_{Sd,f}$ a kötélerő maximális tervezési értéke;
- w_i egy mozgáshoz tartozó hajlítások száma;
- w_{tot} a kötélnél tervezett élettartama alatt az összes hajlítás száma;

- C a daru élettartama alatt a munkaciklusok összes száma, figyelembe véve az EN 13001-1 előírást
- l_r kötelek száma a daru tervezett élettartama alatt, (tájékoztató értéket ad a B melléklet)

A hajlítások összes számát az alábbiak szerint kell számolni:

$$w_{tot} = \sum_{i=1}^{i_{max}} w_i$$

100

ahol

- w_i a hajlítások száma mozgásonként
- i_{max} a kötélnél elmozdulások összes száma

8.3.3.4. A hajlítások számának relatív gyakorisága

A hajlítások gyakoriságának relatív értékét az alábbi módon kell számolni:

$$v_r = \frac{w_{tot}}{w_D}$$

101

ahol

- w_{tot} a kötélnél tervezett élettartama alatt a hajlítások teljes száma
- w_D a hajlítások száma a referencia pontnál: $w_D = 5 \cdot 10^5$

8.3.4. További hatások a kötélerő tervezési határérték számításához

8.3.4.1. Alap összefüggés

A kötélerő tervezési határértékének számításánál figyelembe kell venni további hatásokat:

$$f_f = f_{f1} \times f_{f2} \times f_{f3} \times f_{f4} \times f_{f5} \times f_{f6} \times f_{f7}$$

102

ahol

- $f_{f1} - f_{f7}$ hatástényezők a 3.4.2 ponttól a 3.4.6 pontig.

⁹⁹ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.3.3.

¹⁰⁰ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.3.3.

¹⁰¹ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.3.4.

¹⁰² MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.4.1.

8.3.4.2. Dob és a korongok átmérői

A 3.1 pont szerint további követelmény a kötélnél hajlítási átmérő D és a kötélnél átmérő d arányának D/d növelése a hajlítások számától W_{tot} függően a képlet szerint.

D értéket az alábbi módon kell számolni:

$$D = \text{Min}[D_{korong}; 1,125 \times D_{dob}; 1,125 \times D_{comp}] \quad 103$$

Referencia érték a hajlítási átmérő és kötélnél átmérő aránya alapján

$$R_{Dd} = 10 \times 1,125^{\log_2\left(\frac{W_{tot}}{8000}\right)} \quad 104$$

Az f_{f1} tényezőt az alábbi módon kell számolni:

$$f_{f1} = \frac{D/d}{R_{Dd}} \quad 105$$

A választott D/d arány nem lehet kisebb, mint 11,2; és oly módon kell kiválasztani, hogy az f_{f1} tényező nagyobb vagy egyenlő legyen, mint 0,75.

A táblázatban az általában használatos értékek szerepelnek.

D/d	11,2	12,5	14,0	16,0	18,0	20,0	22,4	25,0	28,0	31,5
-------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

8.3.4.3. A kötélnél elemi szál szakító szilárdsága

Nem lineáris a kapcsolat a kötélnél elemi szál szakító szilárdsági fokozata R_r és a kötélnél tervezési határértéke között, amit figyelembe kell venni az alábbiak szerint:

$$f_{f2} = \left(\frac{1770}{R_r}\right)^{0,6} \quad R_r > 1770 \quad 106$$

$$f_{f2} = 1 \quad R_r \leq 1770$$

ahol

R_r a kötélnél szilárdsági fokozata, amely egy számmal van jelölve (pl. 1770, 1960, stb) az MSZ EN 12385-4 szerint.

¹⁰³ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.4.2.

¹⁰⁴ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.4.2.

¹⁰⁵ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.4.2.

¹⁰⁶ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.4.3.

8.3.4.4. Elhagyási szög

A kötélszögkorongnál vagy kötéldobnál az elhagyási szöget bemutatja az MSZ EN 13001-3-2 szabvány 8. ábrája. Az elhagyási szöget mindig pozitív értékűnek kell venni. A kötélt kiválasztott (P) pontjában, az elhagyási szög (δ) tervezési értékénél figyelembe kell venni a leggyakoribb munkatartományban ($Z_1 - Z_2$) az f_{f3} tényező értékét, melyet a szabvány 5. táblázata tartalmazza. Az elhagyási szög tervezési értékét az alábbiak szerint kell számolni:

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{\sum_{j=1}^n \delta_j^3}{n}} \quad 107$$

ahol

δ_j^3 a kötélnél a dobánál vagy korongnál lévő j -edik érintő irányú érintkezési pontjánál lévő elhagyási szög (szabvány 8. ábra szerint);

n az érintkezési pontok száma a kötélt leggyakrabban hajlított részén (szabvány 8. ábra szerint például $n = 6$);

Horony tengely és a kötélt által bezárt szög δ	f_{f3} nem forgásmentes kötélt	f_{f3} forgásmentes kötélt
$\leq 0,5^\circ$	1,0	1,0
$1,0^\circ$	0,95	0,95
$2,0^\circ$	0,86	0,84
$3,0^\circ$	0,84	nem vonatkozik
$4,0^\circ$	0,82	

Közbenes értékek interpolálhatók.

8.3.4.5. Kötél kenése

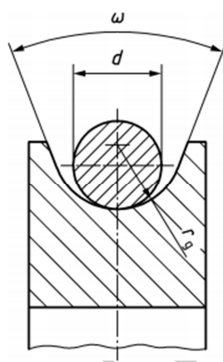
A belső kenéssel gyártott kötelek esetén a tényező értéke $f_{f4} = 1$. Kenés nélküli kötelek esetén (például tiszta helyiségben) a tényező értéke $f_{f4} = 0,5$.

8.3.4.6. Horony

Az f_{f6} tényező meghatározásakor figyelembe kell venni a horony sugár r_g és a kötélt átmérőjének d az arányát, valamint a korong két oldala által bezárt ω szög értékét az ábra szerint¹⁰⁸.

¹⁰⁷ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.4.4.

¹⁰⁸ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.4.6.



r_g / d	ω	f_{f6}
0,53	$\leq 60^\circ$	1
0,55		0,92
0,6	Nem követelmény	0,86
0,7		0,79
0,8		0,76
$\geq 1,0$		0,73
Közbeső értékek interpolálhatók.		

8.3.4.7. Kötél típusok

A különböző típusú köteleknek eltérő a fáradási hajlító szilárdsága, amelyet az f_{f7} tényezővel kell figyelembe venni, és az alábbi módon kell számítani:

$$f_{f7} = \frac{1}{t}$$

109

ahol:

t kötéltípus tényező

A kötéltípus tényező a külső pászmák számától függ, értékeket a szabvány 7. táblázata tartalmazza.

Kötél típus MSZ EN 12385-2 szerint	Külső pászmák száma	t - tényező
egyrétegű vagy vonalérintkezésű	3	1,25
	4, 5	1,15
	6 vagy több	1,00
	6 - 10 műanyag bevonattal	0,95
forgásmentes és nem tömörített	mind	1,00
forgásmentes és tömörített	mind	0,9

¹⁰⁹ MSZ EN 13001-3-2:2014 – 6.4.7.

8.3.4.8. További előírások többrétegű dob esetén

Többrétegű dob esetén a kötél tervezett élettartama kevesebb lesz, mint egyrétegű dob esetén:

- fokozott kopás a pászma keresztezéseknél a csúszó kapcsolat miatt
- rugalmas alakváltozás a pászma keresztezéseknél
- az alsó rétegek előfeszítésének a hiánya
- kötelek szétnyomása

Ezeket a hatásokat figyelembe kell venni. A pontosan meghatározott módszerek hiánya miatt, az f_{f5} csökkentő tényezőt alkalmazzuk a kötél tervezési határerejének meghatározásakor, a szabvány 8. táblázata szerint.

$i_{max} \cdot k_r$	f_{f5} dob kötél soroló nélkül	f_{f5} dob kötél sorolóval
$i_{max} \cdot k_r \leq 500$	1,0	1,0
$500 < i_{max} \cdot k_r \leq 1000$	0,9	1,0
$1000 < i_{max} \cdot k_r \leq 2000$	0,8	1,0
$2000 < i_{max} \cdot k_r \leq 5000$	0,7	0,9
$5000 < i_{max} \cdot k_r$	0,6	0,8

Ahol i_{max} a mozgások teljes száma és k_r a kötél erő spektrum tényezője.

8.4. Példa kötél méretezésére az MSZ EN 13001-3-2 szerint

A következő mintapéldában egy forró olvadt fémek kezelését végző, 32 t teherbírású híddaru kötél szerkezetének ellenőrzése látható. A korábban ismertetett számítási eljárás, valamint az alább felsorolt számításhoz szükséges paraméterek alapján, az emelőkötel megfelelősége, mind statikus terhelésre, mind fáradásra igazolható.

Kiinduló alapadatok:

Daru teherbírása:

$$Q_t = 32 \text{ [t]}$$

Kötélzet és horogszerkezet önsúlya:

$$Q_h = 1 \text{ [t]}$$

Teljes terhelés:

$$Q = Q_t + Q_h = 33 \text{ [t]}$$

Horogszerkezetben lévő kötélsorok száma:

$$z = 4$$

Kötélágak száma (kötélágak mechanikai áttétele):

$$k = 8$$

Legnagyobb kötélferdeségi szög:

$$\beta_{max} = 25^\circ$$

Alkalmazott emelőkötel típus:

$$22T6 \times 37 + A0 - Z/s - 180 \text{ (MSZ 2646-69)}$$

Emelőkötel számított szakítóerő:

$$F_{sz} = 303,5 \text{ [kN]}$$

Emelőkötel sodrási tényező (MSZ 15820):

$$s_t = 0,83$$

Emelőkötel tényleges szakítóerő:

$$F_t = F_{sz} \cdot s_t = 252 \text{ [kN]}$$

Kockázati tényező (MSZ EN 13001-2):

$$\gamma_n = 1,25$$

(Megjegyzés: a kockázati tényező szükségességét jelen példában a daru üzemi körülményei – forró, olvadt fém kezelés – indokolták. Normál üzemi körülmények között a $\gamma_n = 1$.)

1. Ellenőrzés statikus terhelésre

Függőleges emelés, kötélterő tervezési értéke, statikus terhelés:

Dinamikus tényező:

$$\Phi = \Phi_2 = 1,19$$

$\Phi_5 = 1,19$ - teher gyorsulás dinamikus tényezője (MSZ EN 13001-2)

Kötélvezetés hatásfok tényezője:

$$f_{s1} = \frac{n_m}{(\eta_s)^{n_s}} \times \frac{1 - \eta_s}{1 - (\eta_s)^{n_m}} = 1,05369$$

$\eta_s = 0,985$ - tárcsahatásfok (gördülőcsapágy esetén)

$n_s = 0$ - álló kötélszekcionok száma a hajtó és a mozgó részek között

$n_m = 8$ - mechanikai áttétel (k)

Kötélterő hatás tényező (nem párhuzamos kötélagakból adódó erő):

$$f_{s2} = \frac{1}{\cos \beta_{max}} = 1,10338$$

$\beta_{max} = 25^\circ$ - a teher és a kötélag által bezárt maximális szög

Kötélterő tervezési értéke:

$$F_{sd,s} = \frac{m_{Hr} \cdot g}{n_m} \cdot \Phi \times f_{s1} \times f_{s2} \times f_{s3} \times \gamma_p \times \gamma_n = 93,8 \text{ [kN]}$$

$m_{Hr} = 33\,000 \text{ [kg]}$ - emelendő teher tömege (Q)

$n_m = 8$ - kötélagak mechanikai áttétele (k)

$f_{s3} = 1$ - vízszintes irányú erőkkel szembe fordított hatás tényező

$\gamma_p = 1,34$ - részleges biztonsági tényező (rendszeres terhekre)

$\gamma_n = 1,25$ - kockázati tényező (MSZ EN 13001-2 szerint)

Függőleges emelés, kötélterő tervezési határértéke, statikus terhelés:

Kötél ellenállás tényezője (min. 2,07):

$$\gamma_{rb} = 1,35 + \frac{5}{\left(\frac{D}{d}\right)^{0,8} - 4} = 1,88 \rightarrow 2,07$$

$D = 562,5 \text{ [mm]}$ - legkisebb mértékadó átmérő

$d = 22 \text{ [mm]}$ - kötélatmérő

Kötélerő tervezési határértéke:

$$F_{Rd,s} = \frac{F_u}{\gamma_{rb}} = 121,7 \text{ [kN]}$$

$F_u = 252 \text{ [kN]}$ - kötélm minimális (tényleges) szakítóereje (F_t)

Összegzés:

Mivel

$$F_{Sd,s} < F_{Rd,s}$$

a számítás szerint a választott kötélm statikus terhelésre **megfelel!**

2. Ellenőrzés fáradásra

Függőleges emelés, fáradási erő:

Tehetetlenségi és tömegterők dinamikus tényezője:

$$\Phi^* = \sqrt[3]{\frac{(w-1) + \Phi^3}{w}} = 1,03162$$

$w = 7$ - tényleges hajlítások száma elmozdulásonként

Módosított kötélerő hatás tényező:

$$f_{S2}^* = 1 + \left[\frac{1}{\cos\beta(z_2)} - 1 \right] \times \left(\frac{z_{ref} - z_2}{z_{ref} - z_1} \right)^{0,9} = 1,027278$$

$\beta(z_2) = 25$ - legnagyobb kötélférdesség a jellemző pozícióban

$z_{ref} = 11473 \text{ [mm]}$ - referencia magasság

$z_1 = 5000 \text{ [mm]}$ - jellemző minimális magasság

$z_2 = 10000 \text{ [mm]}$ - jellemző maximális magasság

Fáradási kötélerő tervezési értéke:

$$F_{Sd,f} = \frac{m_{Hr} \times g}{n_m} \times \Phi^* \times f_{S2}^* \times f_{S3}^* \times \gamma_n = 53,6 \text{ [kN]}$$

$f_{S3}^* = 1$ - vízszintes irányú erőköl származó hatás tényező

Függőleges emelés, fáradási erő határértéke:

Hajlítások teljes száma a kötélmben az élettartam alatt (10 év, 1 műszak, óránként 3 emelési művelet):

Terhelés $F_{Sd,f}$ [kN]	Egy mozgáshoz tartozó hajlítások száma w_i
57,6	84 000
45,0	140 000
30,0	196 000
	$w_{tot} = 420\ 000$

Kötélerő spektrum tényező:

$$k_r = \sum_{i=1}^{i_{max}} \left(\frac{F_{Sd,f,i}}{F_{Sd,f}} \right)^3 \times \frac{w_i}{w_{tot}} = 0,42488$$

Hajlítások relatív gyakorisága:

$$v_r = \frac{w_{tot}}{w_D} = 0,84$$

$w_D = 5 \cdot 10^5$ - hajlítások száma a referencia pontnál

Kötélerő történet paraméter:

$$s_r = k_r \times v_r = 0,3569$$

További hatástényezők:

$$f_f = f_{f1} \times f_{f2} \times f_{f3} \times f_{f4} \times f_{f5} \times f_{f6} \times f_{f7} = 1,20084$$

Átmérőkből adódó hatás tényező:

$$f_{f1} = \frac{D/d}{R_{Dd}} = 1,55389$$

$$R_{Dd} = 10 \times 1,125^{\log_2 \left(\frac{w_{tot}}{8000} \right)} = 16,45444$$

- R_{Dd} - referencia érték a hajlítási átmérő és a kötélatmérő aránya alapján
- $f_{f2} = 1$ - kötélszakító szilárdságából adódó hatás tényező
- $f_{f3} = 0,84$ - tárcsa elhagyási szög hatás tényező
- $f_{f4} = 1$ - kötélenés hatás tényező
- $f_{f5} = 1$ - dob hatás tényező
- $f_{f6} = 0,92$ - kötélfurcsa hatás tényező
- $f_{f7} = 1$ - kötéltípus tényező

Fáradási kötélerő tervezési határértéke

$$F_{Rd,f} = \frac{F_u}{\gamma_{rf} \times \sqrt[3]{S_r}} \times f_f = 60,9 \text{ [kN]}$$

- $F_u = 252 \text{ [kN]}$ - kötélt minimális (tényleges) szakítóereje (F_k)
 $\gamma_{rf} = 7$ - kötélt minimális ellenállás tényezője

Összegzés:

Mivel

$$F_{Sd,f} < F_{Rd,f}$$

a számítás szerint a választott kötélt fáradásra **megfelel!**

9. Kerék/sín kapcsolat méretezése MSZ EN 13001-3-3 szabvány szerint

9.1. Alkalmazási terület

Ez az Európai Szabvány együtt kezelendő az EN13001-1 és az EN13001-2 szabványokkal és meghatároz általános feltételeket, előírásokat és módszereket a mechanikai veszélyek megelőzésére a daruk kerék/sín kapcsolatának tervezésére és ellenőrzésére. Ez az Európai Szabvány magába foglalja az acél és öntöttvas kerekek követelményeit és csak fém kerék/sín kapcsolatra alkalmazható.

EN 13001-3-3 csak az EN 13001-1 szabványnak megfelelő határállapot eljárásokkal foglalkozik.

A szabvány jelöléseit, rövidítéseit tartalmazó táblázat

Jelölés, rövidítés	Leírás
b	Effektív teher tartó (érintkező felületek) szélesség
D_w	Kerék átmérő
E_m	Egyenértékű rugalmassági modulus
E_r	Sín rugalmassági modulus
E_w	Kerék rugalmassági modulus
F	Kerékterhelés
$F_{Rd,s}$	Tervezett érintkezési erő határértéke
$F_{Sd,s}$	Tervezett érintkezési erő
$F_{Rd,f}$	Tervezett érintkezési erő fáradásra
$F_{Sd,f}$	Maximális tervezett érintkezési erő fáradásra
$F_{Sd,f,i}$	Az (i)-edik tervezett érintkezési erő fáradásra
$F_{Sd0,s}$	Tényező nélküli érintkezési erő (kalkulált biztonsági tényező értéke=1)
F_u	Referencia érintkezési erő (fáradásnál)
f_f	További hatások tényezője kifáradásnál
f_{f1}	Saroknyomás csökkentő tényező kifáradásnál
f_{f2}	Nem egyenletes nyomás eloszlás csökkentő tényező kifáradásnál
f_{f3}	Oldalazás csökkentő tényező kifáradásnál
f_{f4}	Hajtott kerék csökkentő tényező kifáradásnál
f_1	Saroknyomás csökkentő tényező
f_2	Nem egyenletes nyomás csökkentő tényező eloszlása
f_y	Folyáshatár vagy az anyag 0,2% maradó alakváltozásához szükséges feszültség, a felület megkeményedését megelőzően.
HBW	Brinell keménység
HB	Faillagos keménység [N/mm ²]
i	Mozgó terhelés indexe

Jelölés, rövidítés	Leírás
i_D	Mozgó terhelés száma a kezdőponttól
i_{tot}	A mozgó terhelések összes száma a kerék vagy a sín tervezett élettartamára
m	log F/log N-görbe meredeksége a mozgó terhelésekre
k_C	Érintkezési erők eloszlási tényezője
r_k	Sín futófelület vagy kerék futófelület görbületének sugara
r_3	Kerék vagy sínfej sarkának lekerekítési sugara
s_C	Egy időben fellépő érintkezési erő
S_C	Egy időben fellépő erők osztályozása
w	A kerék sínnel nem érintkező szélessége
z_{ml}, z_{mp}	A maximális nyírófeszültség mélysége a vonal-, és pont érintkezés esetén külön-külön
α	Ferdefutási szög
α_g	Az α ferdefutási szögnek a vezetőelem játékból származó összetevője
α_t	Az α ferdefutási szög túrésekből származó része
α_w	Az α ferdefutási szög kopásból származó része
γ_{cf}	Érintkezési ellenállás tényező
γ_m	Általános ellenállás együttható; $\gamma_m = 1,1$
γ_n	Kockázati tényező
γ_p	Parciális biztonsági tényező
ν	Radiális terhelési együttható (acélra $\nu = 0,3$)
ν_C	Mozgó terhelések teljes száma
ϕ_i	Dinamikus tényező (lásd. EN 13001-2)

9.2. Szabvány általános előírásai

A szabvány annak igazolására készült, hogy statikus és kifáradási terhelésekre a kiválasztott kerék/sín kapcsolat megfelelő.

A szabvány kétféle tervezési sín/kerék kapcsolatot különböztet meg, melyek a pont érintkezés és a vonal érintkezés. Az érintkezési esetek az MSZ EN 13001-3:2015 szabvány 1. ábráján láthatóak.

<p>a) Vonal érintkezés</p>	<p>b) Pont érintkezés</p> <p>Azok a pont érintkezési esetek, ahol $r_k \leq 5 \times \min(b_r; b_w)$ kívül esnek a szabvány hatókörén.</p> <p>Abban az esetben, ha $r_k > 200 \times \min(b_r; b_w)$, a vonal érintkezés előírásai alkalmazandók.</p>
<p>A tényleges érintkezési szélesség (b_w, b_r) meghatározásához a kerék/sín szélességéből le kell vonni a sarkok lekerekítési sugarait, $2 \times r_3$.</p>	

9.2.1. Keménységi görbe az érintkezési felület alatt

Bizonyítható, hogy az elért keménység kiterjedése az anyagban mélyebb, mint a maximális nyíró terhelés mélysége, kétszeres mélységű. A keménységi értékek meghatározhatók az anyag szakítószilárdságából vagy közelítő keménység átváltási táblázatból. Az általánosan használt anyagokra lásd a szabvány B.1. táblázatát.

Keménység						Keménység				
<i>HV</i>	<i>HBW</i>	<i>HRA</i>	<i>HRB</i>	<i>HRC</i>	<i>HRD</i>	<i>HV</i>	<i>HBW</i>	<i>HRA</i>	<i>HRC</i>	<i>HRD</i>
120	114		67			350	332	68,1	35,5	51,9
130	123		71			360	342	68,7	36,6	52,8
140	133		75,1			370	351	69,2	37,7	53,8
150	142		78,8			380	361	69,8	38,8	54,4
160	152		82,1			390	370	70,3	39,8	55,2
170	161		85			400	380	70,8	40,8	56
180	171		87,3			410	389	71,4	41,8	56,8
190	180		89,6			420	399	71,8	42,7	57,5
200	190		91,8			430	409	72	43,6	58,2
210	199		93,7			440	418	72,3	44,5	58,8
220	209		95,5			450	423	73,3	45,3	59,4
230	218					460	432	73,6	46,1	60,1
240	228	60,7		20,3	40,3	470	442	74,1	46,9	60,7
250	235	61,6		22,2	41,7	480	450	74,5	47,7	61,3
260	247	62,4		24	43,1	490	456	74,9	48,4	61,6
270	256	63,1		26,6	44,3	500	466	75,3	49,1	62,2
280	266	63,8		27,1	45,3	510	475	75,7	49,8	62,9
290	275	64,5		28,5	46,5	520	483	76,1	50,5	63,5
300	285	65,2		29,8	47,5	530	492	76,4	51,1	63,9
310	294	65,8		31	48,4	540	500	76,7	51,7	64,4
320	304	66,4		32,2	49,4	550	509	77	52,3	64,8
330	313	67		33,3	50,2	560	517	77,4	53	65,4
340	323	67,6		34,4	51,1	570	526	77,8	53,6	65,8

Jelölések
HV Vickers keménység
HBW Brinell keménység;
HR Rockwell keménység a következő képpen: *HRA*, *HRB*, *HRC*, *HRD*.

A maximális nyíró terhelés mélysége a következő képletekkel számítható a kétféle érintkezési esetre:

- Vonalérintkezés esetén:

$$z_{ml} = 0,50 \times \sqrt{F_{sd0,s} \times \frac{\pi \times D_w \times (1 - \nu^2)}{b \times E_m}} \quad 110$$

- Pontérintkezés esetén:

$$z_{mp} = 0,68 \times \sqrt[3]{\frac{F_{sd0,s}}{E_m} \times \frac{1 - \nu^2}{\left(\frac{2}{D_w} + \frac{1}{r_k}\right)}} \quad 111$$

ahol,

$F_{sd0,s}$ - maximális, tényezők nélküli tervezett érintkezési erő, ami tartalmazza az EN 13001-2 szerinti A - C teherkombinációkat

E_m - egyenértékű rugalmassági modulus

z_{ml}/z_{mp} - maximális szakítószilárdság mélysége vonal/pont érintkezés esetén

9.2.2. Egyenértékű rugalmassági modulus meghatározása

Az egyenértékű rugalmassági modulus a következő képlettel határozhatjuk meg:

$$E_m = \frac{2 \times E_w \times E_r}{E_w + E_r} \quad 112$$

ahol,

E_m - egyenértékű rugalmassági modulus

E_w - kerék rugalmassági modulusa

E_r - sín rugalmassági modulusa

9.3. Igazolás statikus terhelésre

A kerék/sín kapcsolat statikus terhelésre vonatkozó igazolásához, az EN 13001-2 szerinti összes lényeges terhelési kombinációra be kell bizonyítani, hogy

¹¹⁰ MSZ EN 13001-3-3:2015 – 4.3.

¹¹¹ MSZ EN 13001-3-3:2015 – 4.3.

¹¹² MSZ EN 13001-3-3:2015 – 4.4.

ahol,

$F_{Sd,s}$ - tervezett érintkezési erő

$F_{Rd,s}$ - érintkezési erő tervezett határértéke

9.3.1. Tervezett érintkezési erő

Az MSZ EN 13001-2 szerinti összes lényeges terhelési kombináció szerinti kerék/sín érintkezés tervezett érintkezési erőhatása, $F_{Sd,s}$, tartalmazza a megfelelő dinamikus tényezőket ϕ_i , parciális biztonsági tényezőket γ_p és ahol szükséges a kockázati tényezőket γ_n .

A számításnál az emelt teher és a daru tömeg konfigurációjának lehetséges pozícióiból származó legkedvezőtlenebb terhelési esetet kell figyelembe venni.

9.3.2. Statikus érintkezési erő határértéke

A statikus érintkezési erő határértékét $F_{Rd,s}$, a kerék sugár irányú 0,02%-os maradó alakváltozáshoz szükséges erő határozza meg.

A statikus érintkezési erő határértéke a következőktől függ:

- a kerék/sín anyagának tulajdonságai (rugalmassági modulus, szakítószilárdság és keménység)
- geometria (kerék/sín sugara, rádiuszai)
- további hatások (merevség, sarok hatás)

Azokban az esetekben, amikor $r_k \leq 5 \times \min(b_r; b_w)$ (lásd 1. ábra), a szabvány nem alkalmazható. Abban az esetben a határérték számításához a Hertz elméletet kell alkalmazni.

9.3.2.1. A statikus érintkezési erő határértékének meghatározása

A meghatározáshoz a következő képletek használhatóak:

- nem felület keményített anyagok esetén, úgymint öntött, kovácsolt, hengerelt vagy edzett és nemesített anyagokra:

$$F_{Rd,s} = \frac{(7 + HB)^2}{\gamma_m} \times \frac{\pi \times D_w \times b(1 - \nu^2)}{E_m} \times f_1 \times f_2 \quad 114$$

- felület keményített anyagok esetén, úgymint láng- vagy indukciós keményítés, feltéve, hogy a felület keménysége egyenlő vagy nagyobb, mint $HB=0,6 \times f_y$, és a keményített réteg a szabvány 4.3 pontjában leírtaknak megfelel.

¹¹³ MSZ EN 13001-3-3:2015 – 5.3.2.

¹¹⁴ MSZ EN 13001-3-3:2015 – 4.4.

$$F_{Rd,s} = \frac{(4,2 + f_y)^2}{\gamma_m} \times \frac{\pi \times D_w \times b(1 - \nu^2)}{E_m} \times f_1 \times f_2$$

ahol,

$F_{Rd,s}$ - érintkezési erő tervezett határértéke

E_m - egyenértékű rugalmassági modulus

ν - Radiális terhelési együttható (acélra $\nu = 0,3$)

D_w - kerék átmérő

b - Effektív tehertartó (érintkező felületek) szélesség, ahol $b = \min \{b_r; b_w\}$, lásd 1. ábra

HB - fajlagos keménység, az anyag természetes keménységét alapul véve, a szakítószilárdság mélységénél, lásd. A.1 táblázat.

γ_m - Általános ellenállás együttható; $\gamma_m = 1,1$

f_1 - Saroknyomás csökkentő tényező. Vonal érintkezés esetén, lásd később, pontérintkezés esetén $f_1=1,0$.

f_2 - Nem egyenletes nyomás csökkentő tényező eloszlása. Vonal érintkezés esetén, lásd később, pontérintkezés esetén $f_2=1,0$.

A kerék és sín anyagokra vonatkozó anyagjellemzőket a következő táblázatok tartalmazzák¹¹⁶. Az alkalmazott rövidítések és jelölések:

+N Normalizált

+QT Edzett és hőkezelt

(*) Keményítési folyamat és a kívánt mélység alapján meghatározott keménység

(**) A táblázat értékei a következő minőségi kategóriákra érvényesek JR, J0, J2 és K2.

(***) Az értékek eltérnek az anyag szabványban megadott minimális értéktől, mivel a gördülő érintkezés során a keményedés következik be.

¹¹⁵ MSZ EN 13001-3-3:2015 – 5.3.2.

¹¹⁶ MSZ EN 13001-3-3:2015 – A melléklet

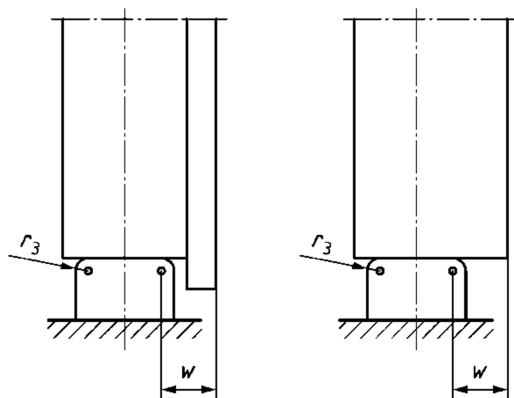
Kerék anyaga					Tervezési keménység <i>HBW</i>
Megnevezés	Szabvány	Anyag sz.	Szállítási állapot	Szakító-szilárdság f_t N/mm ²	
GE 300	EN 10293	1.0558	+N	520	155
EN-GJS 600-3	EN 1563	0.7060	mint öntöt-	600	210 (***)
EN-GJS 700-2	EN 1563	0.7070	mint öntöt-	700	245 (***)
25CrMo4	EN 10083-3	1.7218	+QT	650	190
34CrMo4	EN 10083-3	1.7220	+QT	700	210
42CrMo4	EN 10083-3	1.7225	+QT	750	225
33NiCrMoV14-5	EN 10250-3	1.6956	+QT	1 000	295

Felületükön edzett kerék anyagok					Minimális felületi keménység <i>HBW</i>
Megnevezés	Szabvány	Anyag sz.	Szállítási állapot	Tervezett folyáshatár f_V N/mm ²	
42CrMo4	EN 10083-3	1.7225	+N , felületi edzéssel	420	252 (*)

Sín anyagok					Tervezett keménység <i>HBW</i>
Megnevezés	Szabvány	Anyag sz.	Szállítási állapot	Folyáshatár f_y	
S235 (**)	EN 10025-2	–	+N	360	125 (***)
S275 (**)	EN 10025-2	–	+N	410	145 (***)
S355 (**)	EN 10025-2	–	+N	520	175 (***)
S690Q	EN 10025-6	1.8928	+QT	760	225
C35E	EN 10083-2	1.1181	+N	520	155
C55	EN 10083-2	1.0535	+N	640	190
R260Mn	EN 13674-1	1.0624	+N	870	260

9.3.2.2. Sarok nyomás vonal érintkezés esetén

Vonal érintkezés esetén az érintkezési erő tervezett határértékének meghatározásához a képleteket két, azonos szélességű testek érintkezési esetéből származnak. Az f_1 tényező meghatározása a nem azonos szélességű testek esetén az alábbi korrekciós értékek segítségével lehetséges¹¹⁷:



r_3/w arány	f_1 tényező
$r_3/w \leq 0,1$	0,85
$0,1 < r_3/w < 0,8$	$(0,58 + 0,15(r_3/w)) / 0,7$
$r_3/w \geq 0,8$	1,0

ahol
 w a vizsgált nem érintkező rész szélessége
 r_3 a nem vizsgált részegység (kerék vagy sín) lekerekítési sugara.

Amennyiben a sín szélesebb, mint a kerék, a lekerekítési sugarát (r_3) úgy kell tekinteni mint a kerékét.

9.3.2.3. Nem állandó nyomáseloszlás vonal érintkezés esetén

Nem egyenletes nyomáseloszlás esetén a f_2 tényezőt az alábbi táblázat szerint kell figyelembe venni¹¹⁸:

	Tűrésosztály ISO 12488-1			
	1	2	3	4
Önbeálló kerékbeépítés	1,0	1,0	0,95	0,9
Nem önbeálló kerékbeépítés, rugalmas sínrögztítés	0,95	0,9	0,85	0,8
Nem önbeálló kerékbeépítés, merev sínrögztítés	0,9	0,85	0,8	0,7

¹¹⁷ MSZ EN 13001-3-3 – 5.3.3.

¹¹⁸ MSZ EN 13001-3-3 – 5.3.4.