

Носивост цилиндричних еволвентних зупчаника

- Стандарди DIN 3990 и ISO 6336, методе А, В, С и D
- **Метода А** - Фактори се одређују тачним мерењем и/или детаљним прорачуном уз анализу и симулацију рада комплетног система.
- **Метода В** - Фактори се одређују уз одговарајућа упрошћења, али за већину практичних примена ова метода даје задовољавајуће резултате.
- **Метода С** - У односу на методу В уводи се даље поједностављење прорачуна појединих фактора.
- **Метода D** - Уз поједностављења дата за методу С уводе се још нека, као на пример да се прорачун изводи за константно јединично оптерећење од 350 N/mm^2 .

Оптерећење зупчаника

За прорачун носивости зупчаника потребно је прво одредити **номинално оптерећење**, а затим га кориговати са **факторима оптерећења**:

- фактор радних услова - K_A ,
- фактор унутрашњих динамичких сила - K_V ,
- фактор расподеле оптерећења на спрегнуте парове зубаца - K_α и
- фактор расподеле оптерећења дуж бочне линије - K_β

Рачунско оптерећење зупчаника износи:

$$T_{ra\check{c}} = T K_A K_V K_\alpha K_\beta$$

Номинално оптерећење зупчаника

■ Номинално оптерећење потиче од **номиналног обртног момента који преноси дотични зупчасти пар**. Номинални момент је у ствари максимални дозвољени момент за дотични зупчасти пар. Номинални обртни момент се прорачунава **према отпору радне машине**

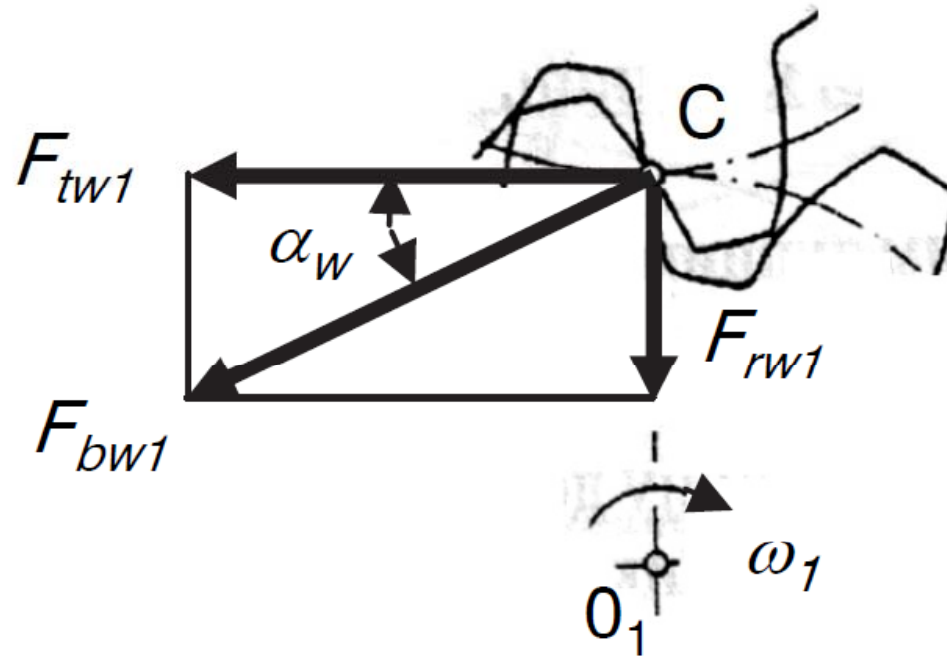
$$T = \frac{P}{\omega} = 9550 \frac{P}{n}$$

мада се он може прорачунати и на основу снаге електромотора, али при томе треба имати у виду да **снага електромотора не одражава реално оптерећење**.

Оптерећење зупчаника са правим зупцима

■ Зупци зупчаника су у току спрезања оптерећени тзв. **номиналном силом F_{bn}** , која се рачуна да је иста на оба спрегнута зупца, мада постоје извесни губици у зупчастом пару. Нормална сила се рачуна по обрасцу:

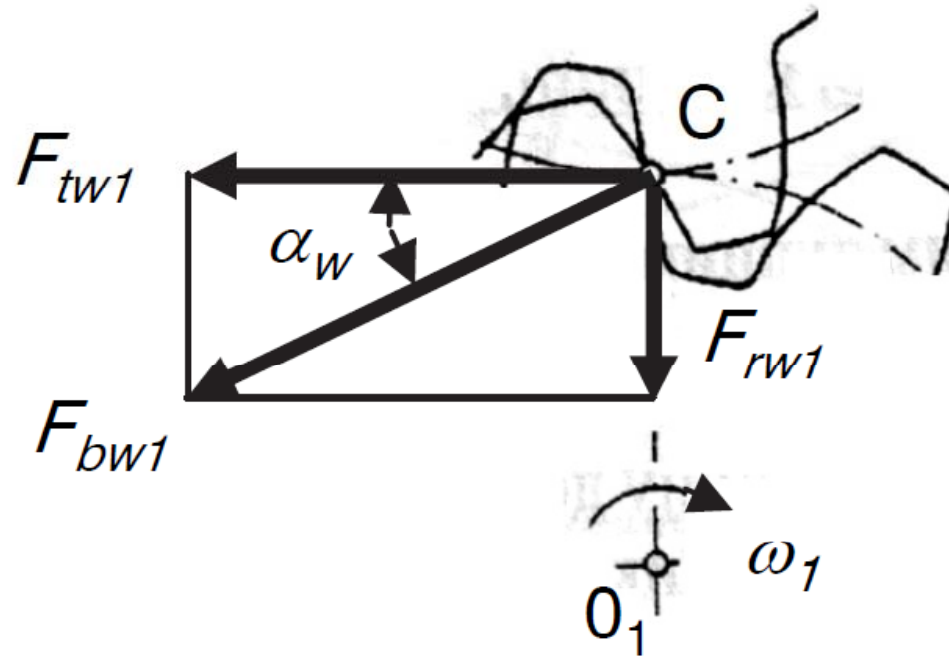
$$F_{bw1} = \frac{T_1}{r_{b1}} = \frac{T_2}{r_{b2}}$$



Оптерећење зупчаника са правим зупцима

- За анализу сила много су погодније тзв. **обимне силе**

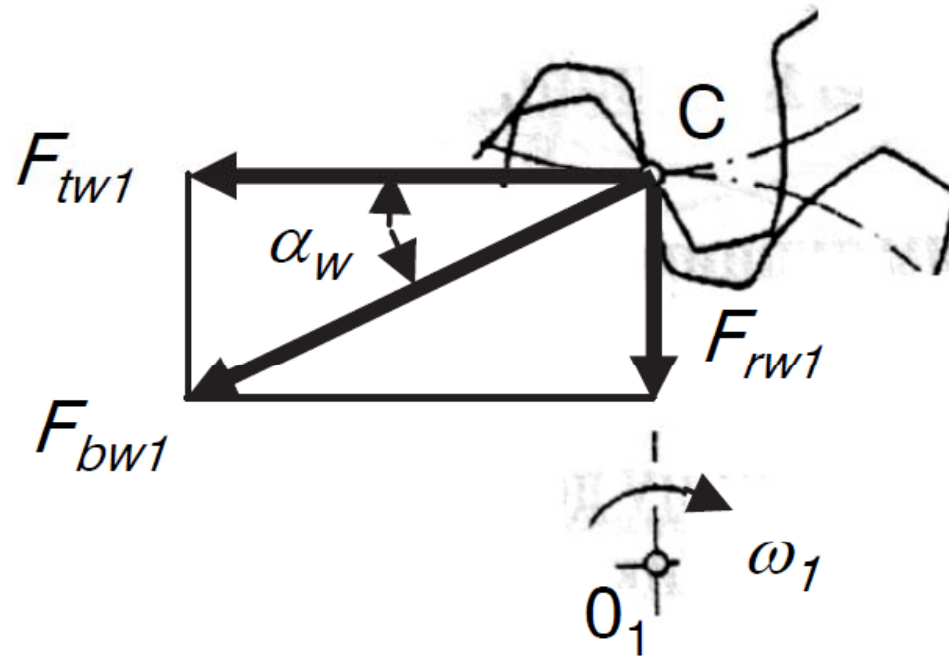
$$F_{tw} = \frac{T}{r_w} = \frac{2T}{d_w} = F_{bw} \cos \alpha_w \quad \text{односно} \quad F_{tw} \approx F_t = \frac{2T}{d}$$



Оптерећење зупчаника са правим зупцима

■ Радијалне силе

$$F_{rw} = F_{tw} \operatorname{tg} \alpha_w \quad \text{односно} \quad F_{rw} \approx F_r = F_t \operatorname{tg} \alpha$$

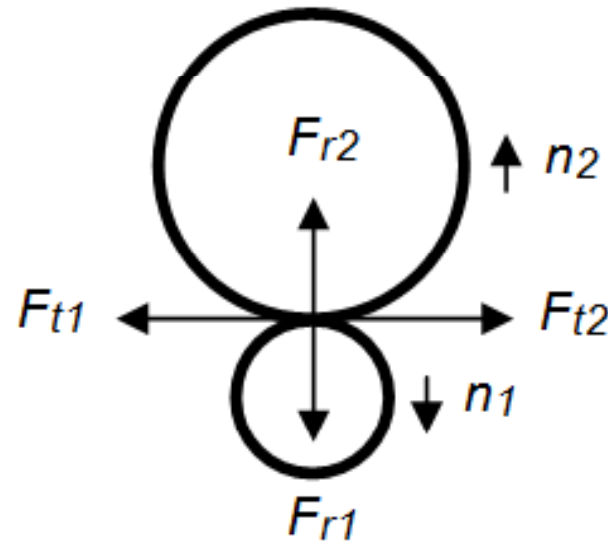


Оптерећење зупчаника са правим зупцима

Смерови тих сила се одређују на следећи начин:

- **обимна сила** увек делује у правцу тангенте кинематских кружница у тачки додира, с тим што сила на гоњеном зупчанику увек делује у смеру обртања, а на погонском, супротно од смера обртања;
- **радијална сила** делује дуж праве која пролази кроз центре кружница, с тим што код сваког зупчаника сила делује од тачке додира кружница ка центру.

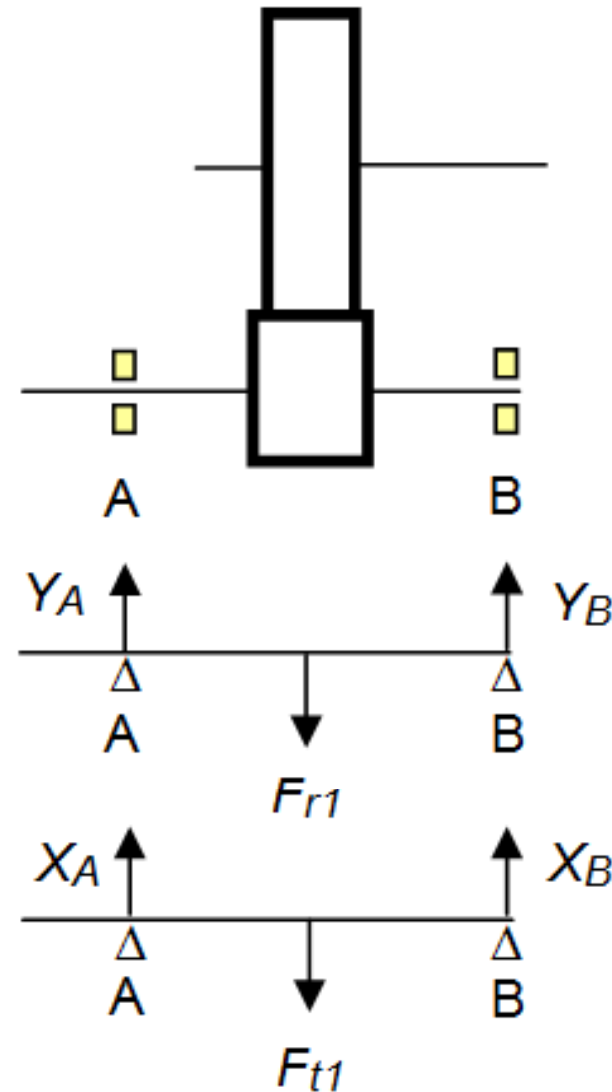
Оптерећење зупчаника са правим зупцима



Вертикална раван

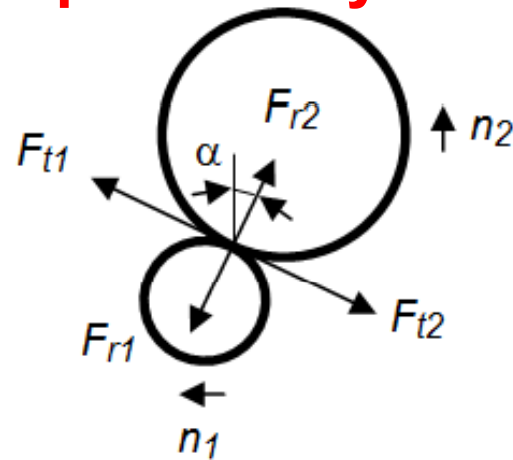
Хоризонтална раван

1



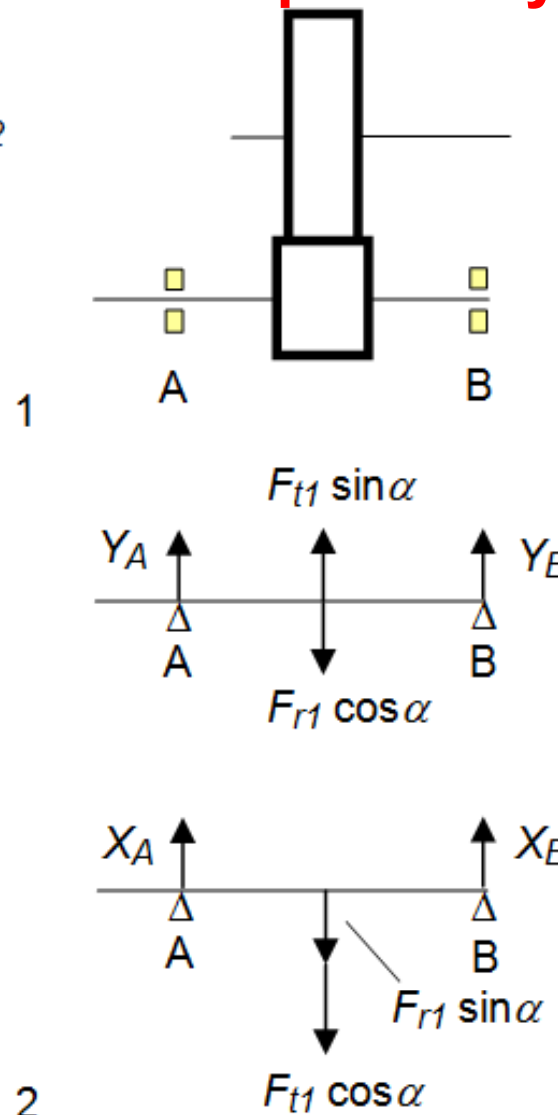
2

Оптерећење зупчаника са правим зупцима



Вертикална равна

Хоризонтална равна



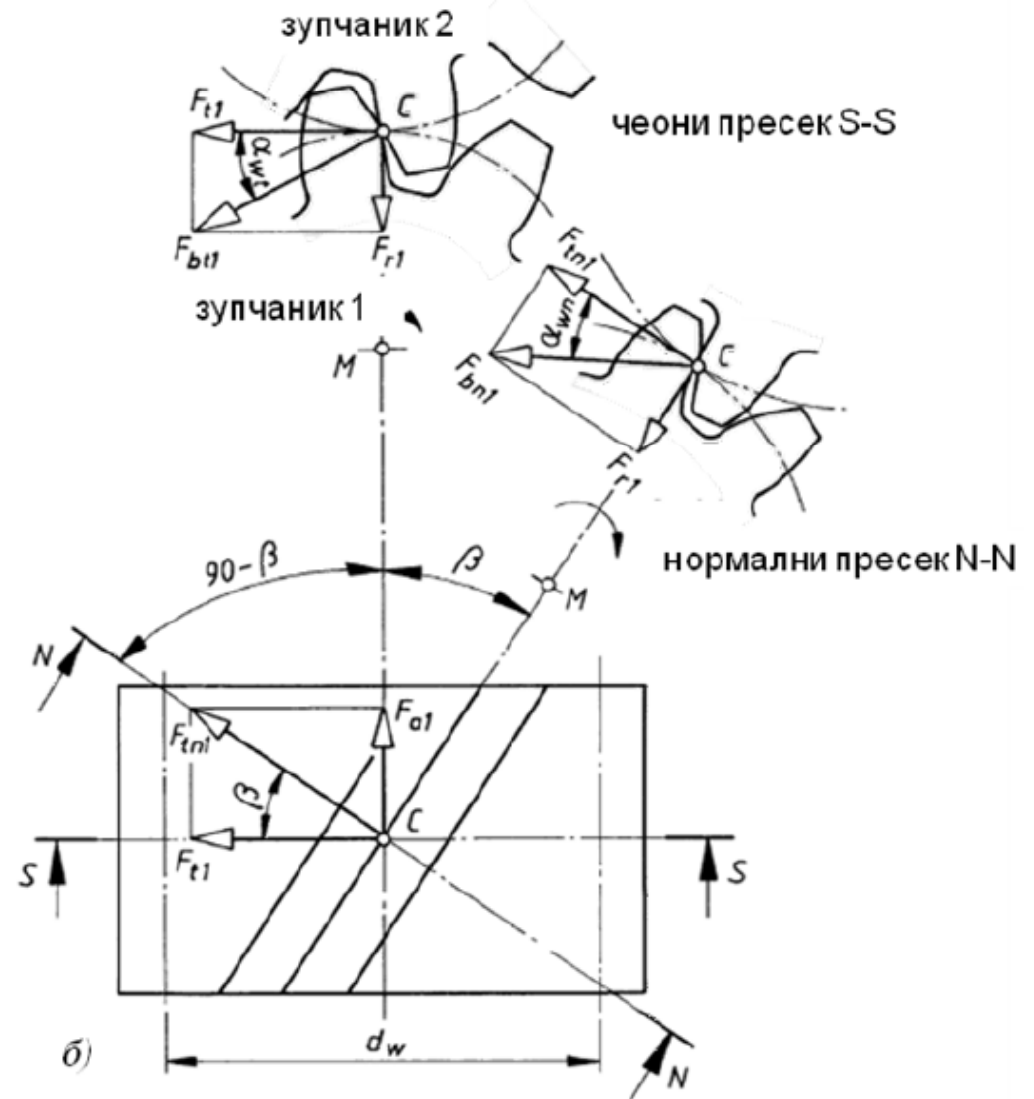
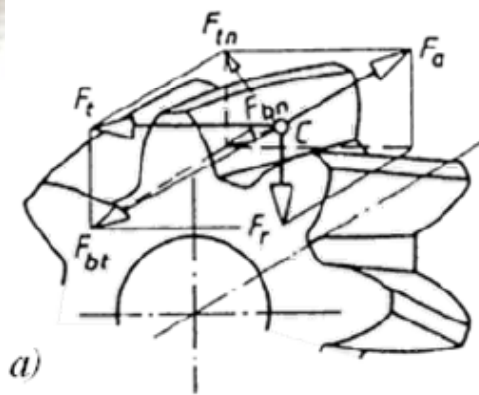
Оптерећење зупчаника са косим зупцима

Зупци зупчаника са косим зупцима оптерећени су, у току спрезања, са тзв. номиналном силом F_{bn} , која се рачуна да је иста на оба спрегнута зупца, мада постоје извесни губици у зупчастом пару.

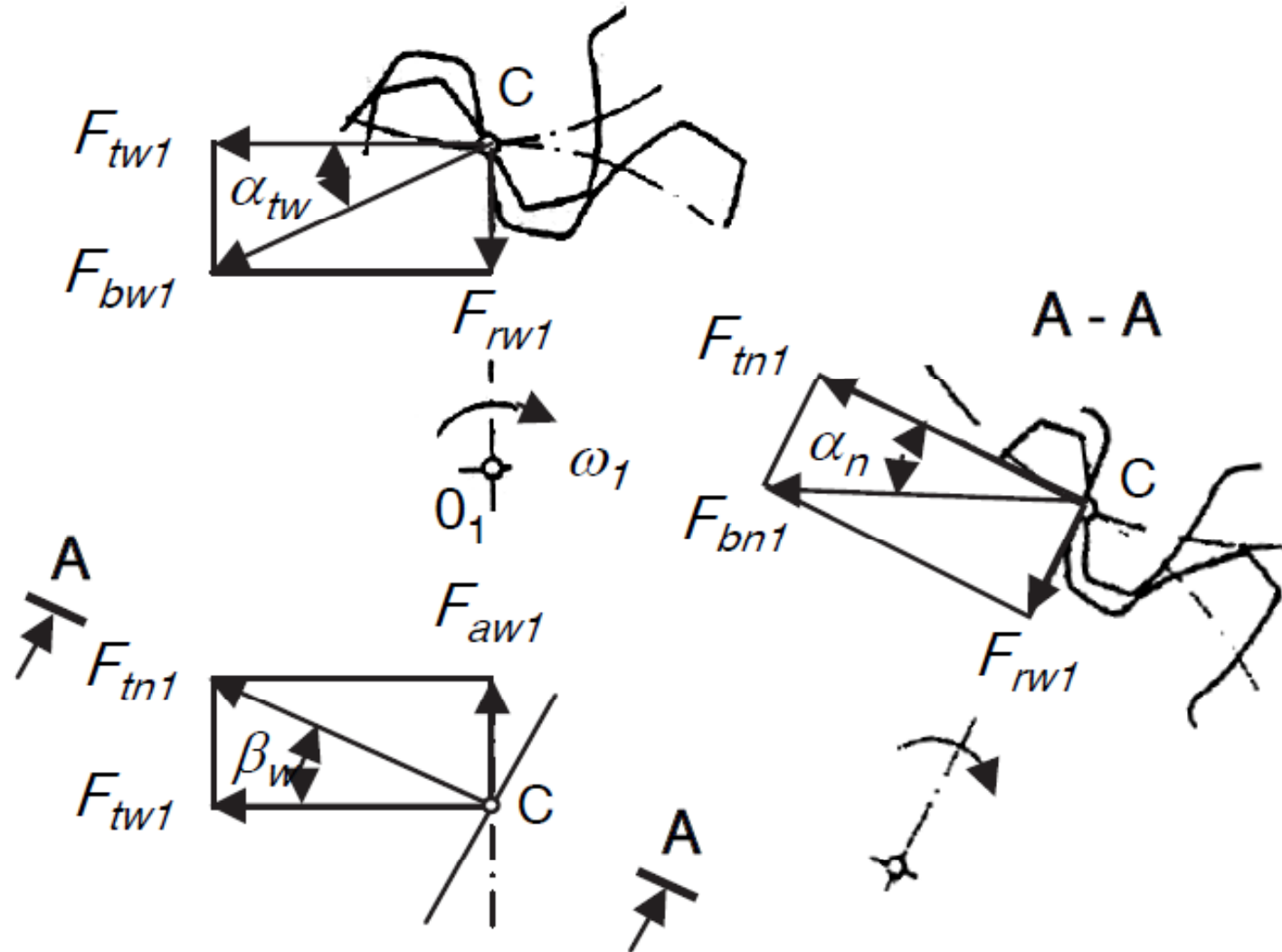
Нормална сила се рачуна по обрасцу:

$$F_{bn} = \frac{F_{tw}}{\cos \beta_w \cos \alpha_n}$$

Оптерећење зупчаника са косим зупцима



Оптерећење зупчаника са косим зупцима



Оптерећење зупчаника са косим зупцима

- За анализу сила много су погодније тзв. **обимне силе**

$$F_{tw} = \frac{T}{r_w} = \frac{2T}{d_w} = F_{bw} \cos \alpha_{tw} \quad \text{односно} \quad F_{tw} \approx F_t = \frac{2T}{d}$$

- **Радијалне силе**

$$F_{rw} = F_{tw} \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \beta_w} \quad \text{односно} \quad F_{rw} \approx F_r = F_t \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \beta}$$

- **Аксијалне силе**

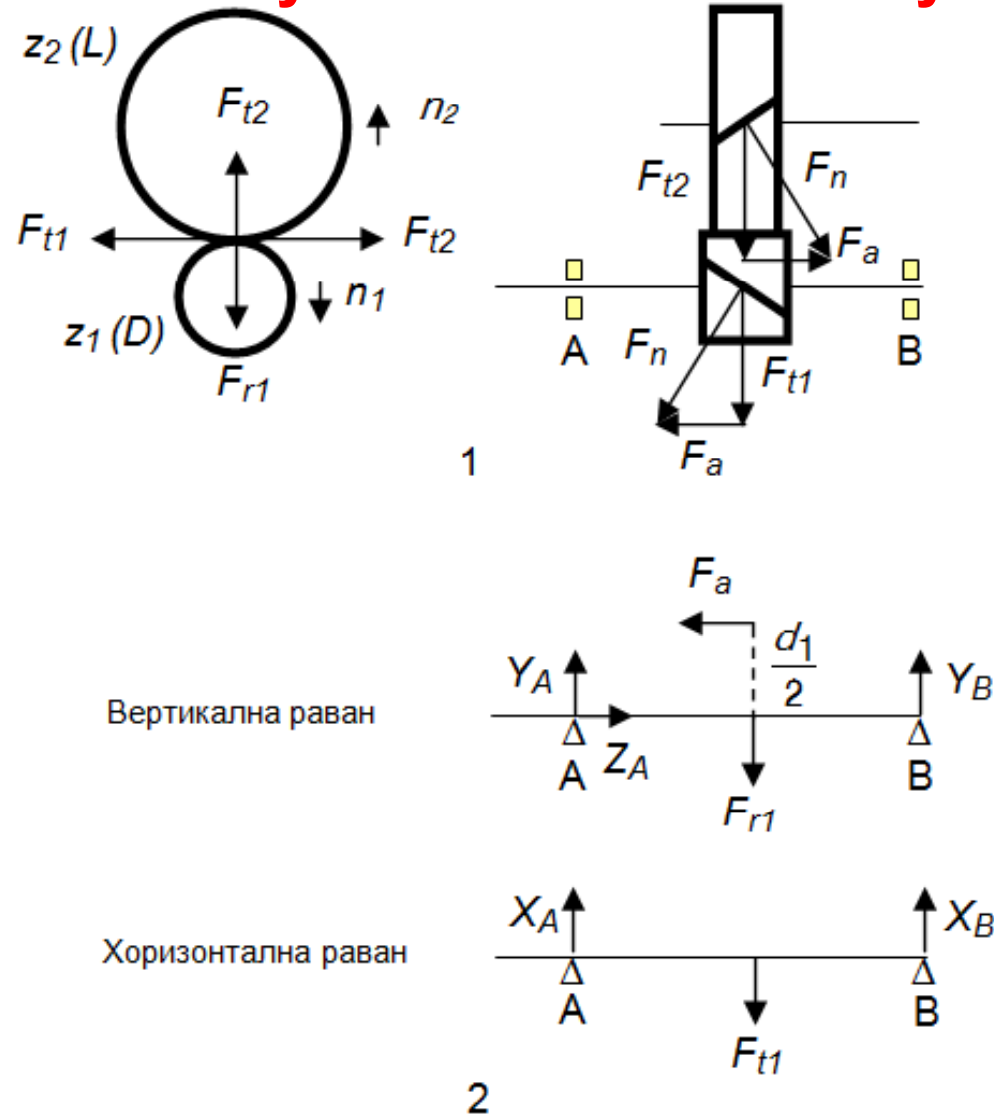
$$F_{aw} = F_{tw} \operatorname{tg} \beta_w \quad \text{односно} \quad F_{aw} \approx F_a = F_t \operatorname{tg} \beta$$

Оптерећење зупчаника са косим зупцима

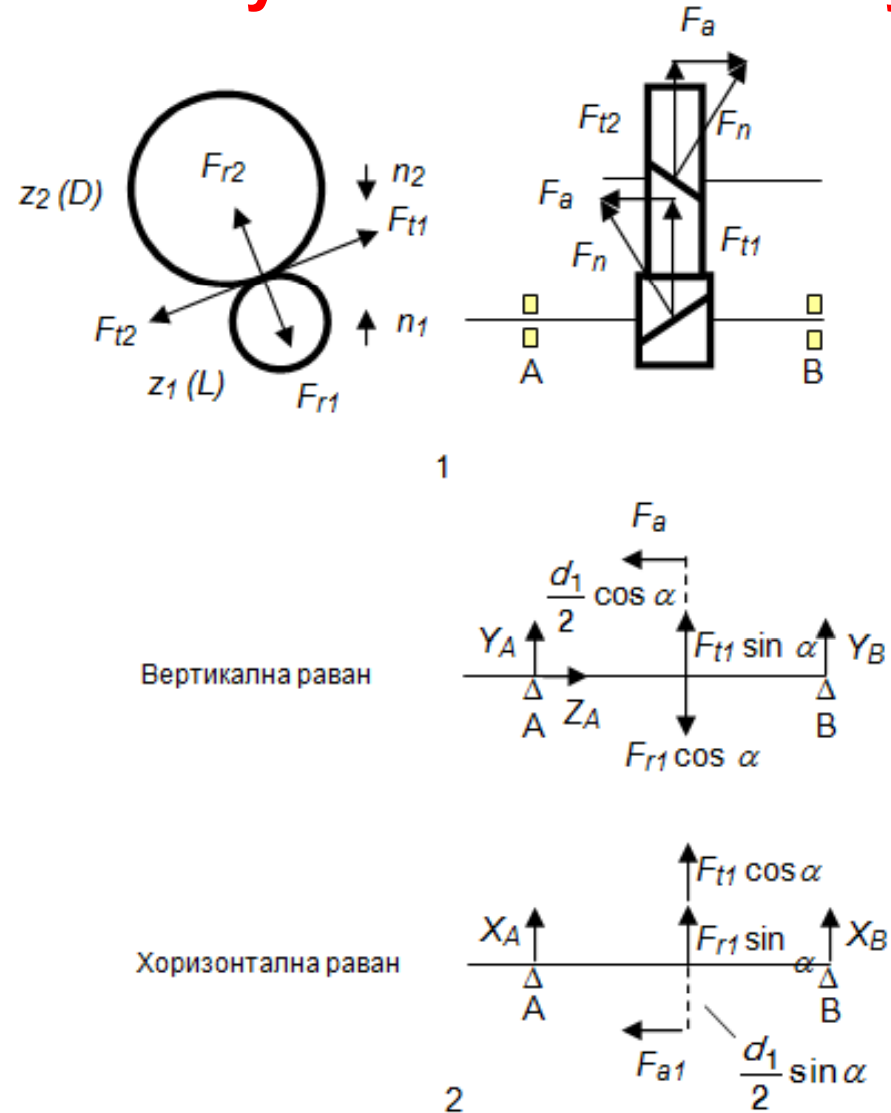
Смерови обимних и радијалних сила одређују се на исти начин као код зупчаника са правим зупцима, док се правац и смер аксијалних сила одређује на следећи начин:

■ **Аксијална сила** делује дуж праве паралелне осама, која пролази кроз тачку додира кинематских кружница, с тим што аксијална сила са одговарајућом обимном силом образује нормалну силу. При дефинисању смера аксијалне силе треба имати у виду да он зависи од смера нагиба бока зупца и да су код спрегнутих зупчаника ти смерови увек супротни, тј. ако је један леви (L) други обавезно мора бити десни (D). Обимна сила се доводи на место где се виде нагиби зубаца и ту се повлачи нормална сила на основу које се одређује смер аксијалне силе.

Оптерећење зупчаника са косим зупцима



Оптерећење зупчаника са косим зупцима



Фактор радних услова - K_A

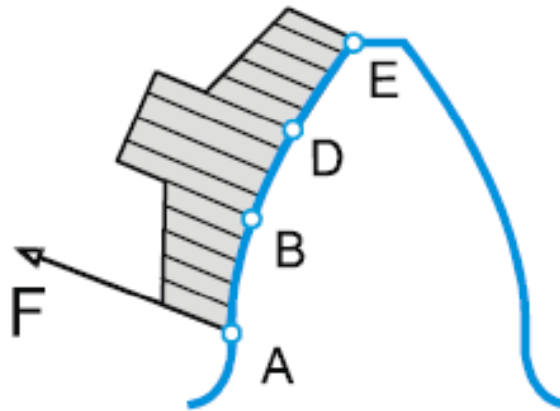
■ Због неравномерног рада погонске и радне машине, долази до неравномерног оптерећења зупчаника у току експлоатације, тако да стварна оптерећења зупчаника нису једнака номиналним. Из тога разлога се, при прорачуну зупчаника, та одступања морају узети у обзир посредством фактора радних услова - K_A .

Табела 4. 39: Вредности фактора радних услова - K_A

| Карактер промене обртног момента | Погонска машина | | | |
|----------------------------------|-----------------|--------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | Електро-мотор | Турбо-машина | Више-цилиндрични клипни мотор | Једно-цилиндрични клипни мотор |
| Равномерно | 1 | 1,25 | 1,5 | 1,75 |
| Са малим ударима | 1,1 | 1,35 | 1,6 | 1,85 |
| Са средњим ударима | 1,25 | 1,5 | 1,75 | 2 |
| Са јаким ударима | 1,5 | 1,75 | 2 | 2,25 |

Фактор унутрашњих динамичких сила - K_v

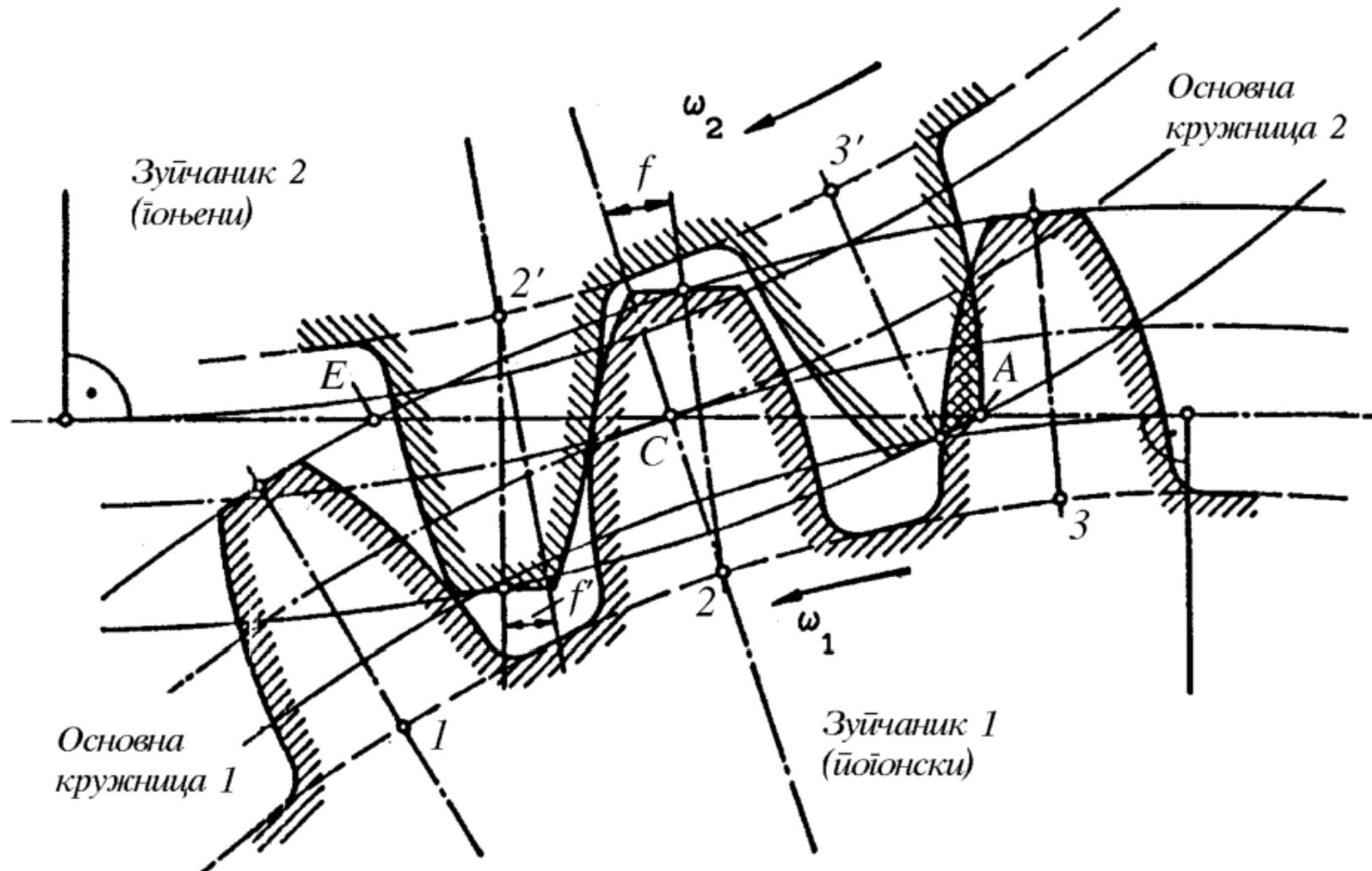
- С обзиром на сталну наизменичну смену једнострове и двострове спреге, мења се и крутост и деформација зупчаника, што узрокује појаву вибрација и удара и, уопште, појаву додатног оптерећења зупчаника.
- Деформације зубаца нарушавају геометрију озубљења и тиме утичу на смањење носивости зупчаника. Наиме, деформација зубаца директно зависи од крутости зубаца, а она, од тренутног броја зубаца у спреси.



Фактор унутрашњих динамичких сила - K_v

- Поред тога и **нетачност геометрије**, која настаје услед **грешака у изради зупчаника**, такође доводи до појаве додатних унутрашњих динамичких сила. Због тога је, при прорачуну чврстоће зупчаника, потребно та додатна оптерећења узети у обзир посредством фактора унутрашњих динамичких сила - K_v .
- Увек се тежи да се смање унутрашње динамичке силе, пре свега, повећањем укупне крутости зубаца, корекцијом профила, како би се ублажио утицај деформација зубаца, и повећањем тачности израде.

Фактор унутрашњих динамичких сила - K_v



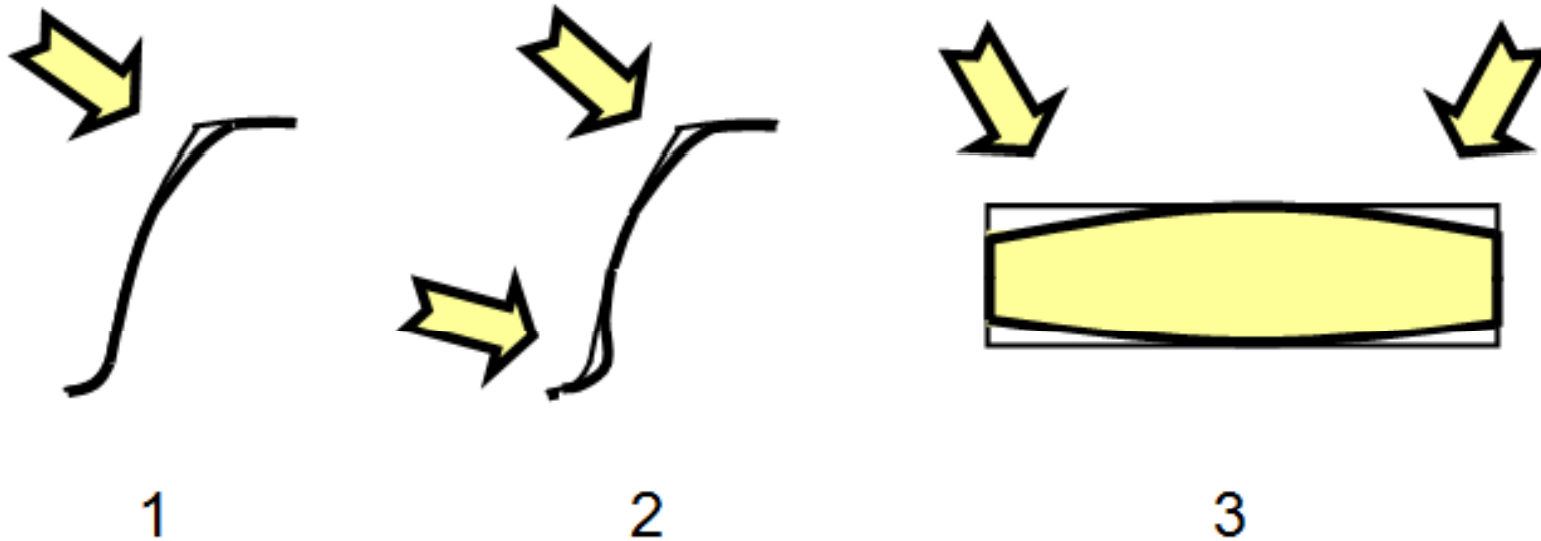
Фактор расподеле оптерећења на парове зубаца - K_α

■ При истовременом спрезању два или више парова зубаца укупно оптерећење се дели на парове спрегнутих зубаца. Међутим, **услед неједнаке крутости парова зубаца**, као и **услед одступања мера и облика зубаца**, по правилу, долази до неравномерне расподеле оптерећења на спрегнуте зупце. Највећи утицај на неравномерност расподеле оптерећења има **одступање корака**. Утицај неравномерне расподеле оптерећења, на парове зубаца који се истовремено налазе у спреси, узима се у обзир посредством фактора K_α .

Фактор расподеле оптерећења на парове зубаца - K_α

- У току рада зупчастог пара долази до хабања бокова зубаца чиме се смањује одступање, које је последица нетачности израде, а тиме и неравномерност расподеле оптерећења.
- Да би се повећала носивост зупчаника често се врши намерно одступање облика бока зупца, у односу на теоретски облик. Таква промена облика назива се **корекција бока зупца** и она може да представља **корекцију профила и корекцију бочне линије зупца**. На тај начин се може, у одређеној мери, компензовати утицај нетачне израде и еластичних деформација на носивост зупчаника, буку и вибрације.

Фактор расподеле оптерећења на парове зубаца - K_α



Корекција профила бока зупца

Корекција бочне линије - буричење

Фактор расподеле оптерећења дуж додирне линије - K_β

- Због нетачности израде, еластичних деформација зупчаника и/или елемената који су са њима у непосредној вези, као и због термичких деформација (услед неједнаке температуре дуж бочне линије) **долази до одступања паралелности бочних линија**, а тиме и до неравномерне расподеле оптерећења дуж бочних линија. Неравномерност расподеле оптерећења, дуж бочне линије, узима се у обзир посредством фактора K_β .

