5 Conception technique de la chaîne de manutention

5.1 Grandeurs de calcul

Dénomination	Symbole de formule	Unité
Force de traction totale de la chaîne	F	N
Force de traction du périmètre de chaîne en tout	F_g	N
Force de traction du périmètre de chaîne par ligne de chaîne	F_i	N
Force de traction du support de chaîne (en fonction du fléchissement)	F_s	N
Force de traction centrifuge de la chaîne	F_f	N
Force de prétension de la chaîne	F_v	N
Résistance à la traction	F_b	N
Nombre de lignes de chaînes	i	----
Hauteur de manutention	H	m
Longueur de manutention horizontale	B	m
Entraxe	a	m
Angle d'inclinaison du convoyeur	α	° (degré)
Masse de la chaîne par mètre de chaîne	M_K	kg/m
Masse du bien à manutentionner par mètre de chaîne	M_F	kg/m
Capacité de manutention (unité)	Q_S	unité/h
Capacité de manutention (masse)	Q_M	t/h
Largeur interne de manutention	b	m
Hauteur interne de manutention	h	m
Superficie de la section du convoyeur	A_M	m²
Masse en vrac du matériau à manutentionner	γ	t/m³

Dénomination	Symbole de formule	Unité
Densité	φ	----
Coefficient de friction entre la douille et le galet de roulement	μ_3	----
Diamètre intérieur du brin lâché	f	m
Coefficient de friction (entre le matériau à manutentionner et l'acier)	μ_4	----
Entraxe de la charge isolée	l_s	m
Coefficient de résistance au roulement	μ_2	----
Vitesse de la chaîne	v	m/s
Coefficient de friction de glissement	μ_1	----
Surface articulée de la chaîne	A_K	cm²
Espacement du diamètre intérieur	a_d	m
Coefficient de sécurité	k	----
Longueur de la chaîne depuis le brin lâché	l_d	m
Pressage de surface articulée effectif	P_{eff}	N/mm²
Pression de surface articulée autorisée	P_{zul}	N/mm²
Pas de chaîne	p	m
Vitesse angulaire	ω	s^{-1}
Nombre de dents	z	----
Diamètre primitif de référence	d_0	m
Puissance du moteur de l'entraînement	P	kW
Rendement de l'entraînement	η	----

5.2 Type de convoyeurs

Les convoyeurs sont classés dans deux principales catégories:

- chaînes de manutention à glissement
- chaînes de manutention à roulement

Il faut en outre opérer une distinction entre les configurations ci-après:

- manutention horizontale
- manutention diagonale
- manutention verticale
- manutention combinée

5.3 Masse totale du matériau à manutentionner

C'est à dire la masse totale du bien à manutentionner chargé ou devant être déplacé sur les chaînes de manutention ou sur des éléments porteurs (plaques, poutres transversales, entretoises, convoyeurs à charnières, etc.).

Selon la répartition de la charge sur la chaîne de manutention, il faut distinguer la charge ponctuelle, la charge isolée et la charge linéaire. Lors de la conception de la chaîne de manutention, il faut, en cas de charge concentrée, recalculer une surface réduite des axes de chaîne et en plus la flexion et la pression pour les galets de roulement.

5.4 Charge admissible des galets de roulement

La charge admissible des galets de roulement dépend du matériau des galets, du type de palier, de la vitesse de chaîne, de la température et de la lubrification. Les galets de roulement en acier à surface trempée sont autorisés à supporter une charge pouvant atteindre jusqu'à 800 N/cm² à une vitesse de chaîne peu élevée (< 0,25m/s) et une pression de surface suffisante.

Les galets de roulement en acier revenu ou non trempé, en fonte grise ou en matière plastique sont dotés de pressions de palier admissibles plus faibles (cf. tableaux ci-après).

Les avantages des galets de roulements en matières plastiques:

- Absence d'entretien
- Construction légère
- Fonctionnement peu bruyant
- Grande résistance aux produits chimique.

Il est en outre possible d'améliorer les caractéristiques de glissement des galets de roulement par des coussinets. Les bronzes plombifères (pressions de surface jusqu'à 300 N/cm²) ainsi que des matériaux de palier spéciaux pour un fonctionnement nécessitant peu d'entretien sont des matériaux de palier appropriés.

Les tableaux ci-après 3a et b indiquent les charges admissibles de rouleaux pour les chaînes de manutention selon DIN 8165 et DIN 8167 qui doivent être multipliées conformément à la formule indiquée par les facteurs de correction correspondants des tableaux 4 à 8:

$$\text{Charge admissible du galet de roulement} = \text{valeur de tableau} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5$$

Chaîne selon DIN 8165	Association de matériaux Douille / rouleau C15E/C15E C15E/9SMn28E
FVT 40	2000
FVT 63	3000
FVT 90	3800
FVT 112	5100
FVT 140	7050
FVT 180	10550
FVT 250	15550
FVT 315	21500
FVT 400	23900
FVT 500	31200
FVT 630	39400

Chaîne selon DIN 8167	Association de matériaux Douille / rouleau C15E/C15 E C15E/9SMn28E
MT 20	1050
MT 28	1350
MT 40	1900
MT 56	2750
MT 80	3850
MT 112	5200
MT 160	7200
MT 224	10050
MT 315	13500
MT 450	18450
MT 630	26000
MT 900	36450

Tab. 3: charge admissible des galets de roulement (N/rouleau) pour les chaînes porteuses à rouleaux selon DIN 8165 et DIN 8167

Type de rouleau	f_1
Galet de roulement	1,0
Galet épaulé	0,9

Tab. 4: Facteur f1: type de rouleau

Matériau de rouleau (douille en acier de cémentation trempé)	f_2
Acier de cémentation trempé	1,00
Acier inoxydable trempé	0,60
Acier inoxydable non trempé	0,30
Acier standard non trempé	0,20
Fonte grise	0,12

Tab. 5: Facteur f2: matériau de rouleau

Conditions de lubrification	f_3
lubrification suffisante, sans impuretés ou rugosité	1,0
lubrification insuffisante, sans impuretés ou rugosité	0,4 - 0,6
sans lubrification avec beaucoup d'impuretés et rugosité	0,2 - 0,35

Tab. 6: Facteur f3: lubrification

Vitesse de chaîne en m/s	f_4
0,10	1,15
0,25	1,00
0,50	0,85
1,00	0,50

Tab. 7: Facteur f4: Vitesse de chaîne

Température en °C	f_5
20 - 200	1,00
200 - 260	0,50
260 - 285	0,25
285 - 300	0,15

Tab. 8: facteur f5: température

Association de matériaux		Pression de palier spécifique max. en N/cm²
Rouleau	Douille	
Acier de cémentation trempé	Acier de cémentation trempé	800
Acier d'amélioration revenu	" "	300
Acier non trempé	" "	160
Fonte grise	" "	100
Bronze	" "	300
Polyamide 6	" "	50

Tab. 9: valeurs maximales admissibles de la pression spécifique

5.5 Coefficients de friction

5.5.1 Friction de glissement des chaînes sur une base en régime permanent

Matériau de la glissière	μ_1	
	Lubrification insuffisante	Lubrification correcte
Acier	0,35	0,25
Matière plastique	0,20	0,15
Bois dur	0,30	0,25

Tab. 10: coefficient de friction de glissement μ_1

5.5.2 Friction de roulement des chaînes en acier

Coefficient de résistance au roulement $\mu_2 = \frac{2 \cdot c + \mu_3 \cdot d_3}{d_5}$ $\mu_2 = 0{,}08 \ldots \underline{0{,}12} \ldots 0{,}18$

d_3 = diamètre de douille [mm]
d_5 = diamètre de rouleau [mm]
c = coefficient expérimental,
dépendant du matériau et de la rugosité de la surface de contact

Conditions de guidage c
0,5 rouleau en acier sur guide en acier avec surface lisse
0,6 valeur moyenne
1,0 rouleau en acier sur guide en acier avec surface rugueuse

Tab. 11: coefficient c en fonction du matériau et de la surface de contact

Association de matériau rouleau / douille	μ_3	
	Lubrification insuffisante	Lubrification correcte
Rouleau en acier sur douille	0,30	0,20
Rouleau avec douille en bronze sur douille enacier	-	0,15
Rouleau en PA6 sur douille en acier	0,15	0,10
Rouleau avec palier à roulement sur douille en acier	0,03	0,015 ... 0,005

Tab. 12: coefficient de friction entre le rouleau et la douille μ_3

5.5.3 Coefficient de friction entre le matériau à manutentionner et l'acier μ_4, Poids en vrac γ et densité φ

Type de matériau à manutentionner	Coefficient de friction μ_4	Poids en vrac γ en t/m³	Densité φ
Cendres	0,85	0,50	0,70
Minerai	1,20	2,25	0,60
Céréales	0,50	0,65	0,80
Copeaux de bois	0,80	0,25	0,75
Gravier	1,00	1,75	0,65
Charbon	0,90	0,80	0,50
Coke	1,00	0,45	0,60
Limon	0,75	1,25	0,70
Farine	0,50	0,60	0,70
Sable	0,80	1,55	0,60
Cailloutis	0,65	1,80	0,65
Tourbe	0,70	0,40	0,80
Ciment	0,65	1,20	0,70

Tab. 13: coefficient de friction entre le matériau à manutentionner et l'acier, poids en vrac et densité

5.6 Calcul de la force de traction totale d'une chaîne F

La force de traction totale d'une chaîne F est obtenue en additionnant la force de traction du périmètre total F_g, la force de traction d'appui de chaîne F_s et la force de traction centrifuge de chaîne F_f.

$$F = F_g + F_s + F_f$$

5.6.1 Force de traction d'appui de chaîne F_s

La force de traction d'appui de chaîne se produit lorsque la chaîne est fléchie et dépend de la masse propre de la chaîne et de la longueur du brin lâché.

$$F_s = \frac{M_K \cdot 9{,}81 \cdot a_d^{\,2}}{8 \cdot f} \cdot \sqrt{1 + 16 \cdot \frac{f^2}{a_d^{\,2}}}$$

Le fléchissement f étant déterminé à partir de l'équation suivante:

$$f = \sqrt{0{,}375 \cdot a_d \cdot (l_d - a_d)} \qquad (\text{f devrait être sélectionné} \approx 10\% \text{ de } a_d)$$

5.6.2 Force de traction centrifuge de chaîne F_f

La force de traction centrifuge de la chaîne est une force de traction dépendant de la vitesse de la chaîne v et du diamètre du pignon de chaîne qui doivent être considérés comme composants de la force de traction totale de la chaîne, surtout en cas de vitesses de chaîne élevées.

$$F_f = M_K \cdot v^2$$

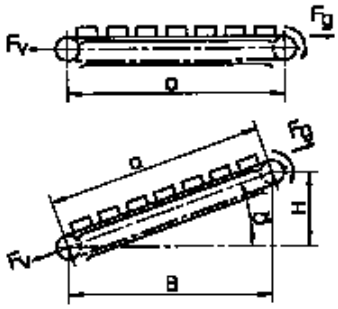
L'équation suivante s'applique : $v = \omega \cdot \frac{d_0}{2}$; $\omega = 2 \cdot p \cdot n$ (n = nombre de rotations du pignon de chaîne en s^{-1})

5.6.3 Force de traction du périmètre de chaîne F_g

La force de traction du périmètre (force utile) résulte du couple de l'entraînement par chaîne à transmettre qui dépend des sollicitations de fonctionnement. Vous trouverez ci-après, en fonction du type de convoyeur, quelques formules de calcul permettant de déterminer la force de traction du périmètre total F_g. Pour les convoyeurs composés de plusieurs lignes de chaînes, la force de traction du périmètre de chaîne par ligne F_i est obtenu à partir du rapport:

$$F_i = \frac{F_g}{i}$$

Friction de glissement



$$F_g = 1{,}1 \cdot a \cdot \mu_1 \cdot 9{,}81 \cdot (2 \cdot M_K + M_F) \qquad Q_S = \frac{3600 \cdot v}{l_s}$$

$$F_v = 2{,}2 \cdot (F_s + a \cdot \mu_1 \cdot 9{,}81 \cdot M_K)$$

$$F_g = 1{,}1 \cdot a \cdot 9{,}81 \cdot \left[(M_K + M_F) \cdot (\mu_1 \cdot \cos\alpha + \sin\alpha) + M_K \cdot (\mu_1 \cdot \cos\alpha - \sin\alpha)\right]$$

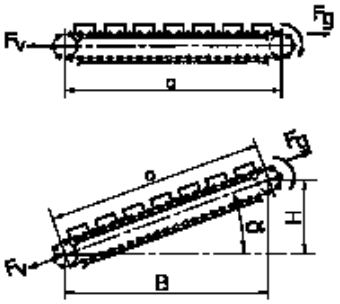
si $(\mu_1 \cdot \cos\alpha - \sin\alpha) < 0$:

$$F_g = 1{,}1 \cdot a \cdot 9{,}81 \cdot (M_K + M_F) \cdot (\mu_1 \cdot \cos\alpha + \sin\alpha)$$

$F_v = 2{,}2 \cdot F_s$ ... si $H/B > \mu_1$

$F_v = 2{,}2 \cdot [F_s + 9{,}81 \cdot M_K \cdot (B \cdot \mu_1 - H)]$ ... si $H/B < \mu_1$

Friction de roulement



$$F_g = 1{,}1 \cdot a \cdot \mu_2 \cdot 9{,}81 \cdot (2 \cdot M_K + M_F) \qquad Q_S = \frac{3600 \cdot v}{l_s}$$

$$F_v = 2{,}2 \cdot (F_s + a \cdot \mu_2 \cdot 9{,}81 \cdot M_K)$$

$$F_g = 1{,}1 \cdot a \cdot 9{,}81 \cdot \left[(M_K + M_F) \cdot (\mu_2 \cdot \cos\alpha + \sin\alpha) + M_K \cdot (\mu_2 \cdot \cos\alpha - \sin\alpha)\right]$$

si $(\mu_2 \cdot \cos\alpha - \sin\alpha) < 0$:

$$F_g = 1{,}1 \cdot a \cdot 9{,}81 \cdot (M_K + M_F) \cdot (\mu_2 \cdot \cos\alpha + \sin\alpha)$$

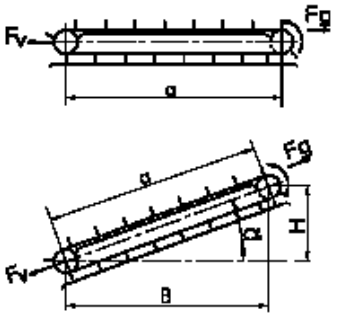
$F_v = 2{,}2 \cdot F_s$ ... si $H/B > \mu_2$

$F_v = 2{,}2 \cdot [F_s + 9{,}81 \cdot M_K \cdot (B \cdot \mu_2 - H)]$ ... si $H/B < \mu_2$

Convoyeur à chaîne à plateaux

$$F_g = 1{,}1 \cdot a \cdot 9{,}81 \cdot \left(2 \cdot M_K \cdot \mu_1 + \frac{Q_M}{3{,}6 \cdot v} \cdot \mu_4\right)$$

$$F_v = 2{,}2 \cdot (F_s + a \cdot \mu_1 \cdot 9{,}81 \cdot M_K)$$



$$F_g = 1{,}1 \cdot a \cdot 9{,}81 \cdot \left[\begin{array}{l} M_K \cdot (\mu_1 \cdot \cos\alpha + \sin\alpha) + \frac{Q_M}{3{,}6 \cdot v} \cdot (\mu_4 \cdot \cos\alpha + \sin\alpha) + \\ M_K \cdot (\mu_2 \cdot \cos\alpha - \sin\alpha) \end{array}\right]$$

si $(\mu_1 \cdot \cos\alpha - \sin\alpha) < 0$:

$$F_g = 1{,}1 \cdot a \cdot 9{,}81 \cdot \left[M_K \cdot (\mu_1 \cdot \cos\alpha + \sin\alpha) + \frac{Q_M}{3{,}6 \cdot v} \cdot (\mu_4 \cdot \cos\alpha + \sin\alpha)\right]$$

$F_v = 2{,}2 \cdot F_s$ ... si $H/B > \mu_1$

$F_v = 2{,}2 \cdot [F_s + 9{,}81 \cdot M_K \cdot (B \cdot \mu_1 - H)]$ ... si $H/B < \mu_1$

5.7 Détermination de la résistance à la traction nécessaire de la chaîne F_b

$$F_b = k \cdot F_i$$

Facteur de sécurité k k = 5 ... 7 ... 12

Le facteur de sécurité k dépend surtout des conditions de fonctionnement et du nombre de dents du pignon de chaîne. Généralement, k se situe entre 6 et 7.

5.8 Détermination de la puissance d'entraînement requise P

$$P = \frac{F \cdot v}{1000 \cdot \eta} \quad ; \quad \text{avec } \eta = 0{,}75 \ldots 0{,}8 \ldots 0{,}9$$

5.9 Détermination de la pression de la surface articulée P_{eff}

$$P_{eff} = \frac{F}{A_K}$$

Diagramme pour P_{zul}

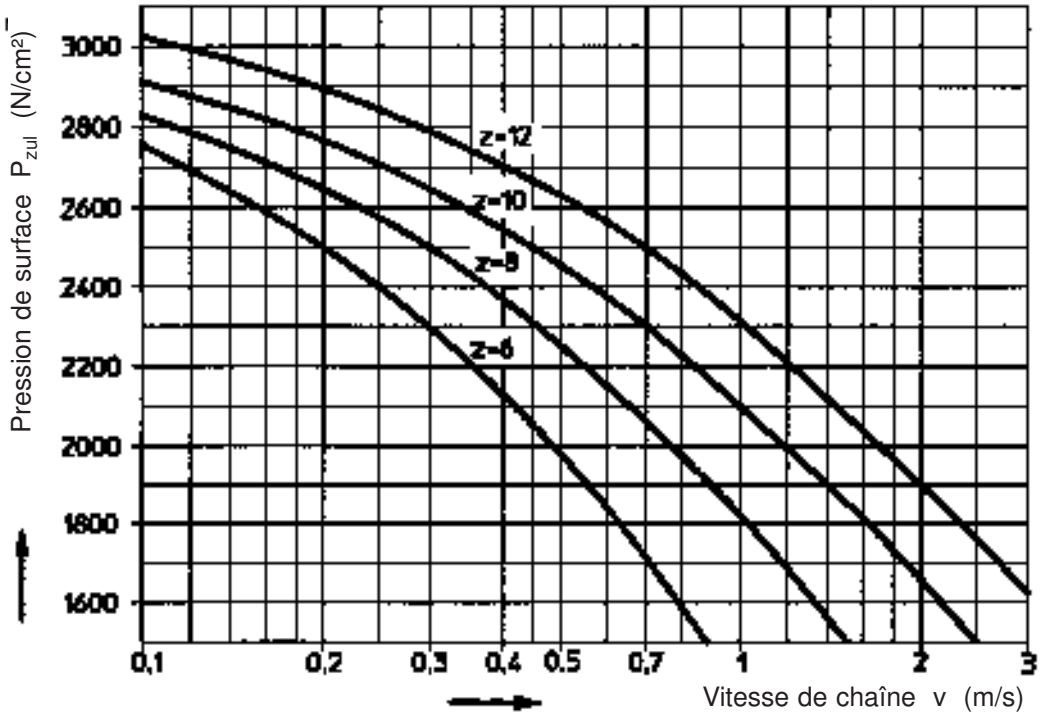


Fig. 7: pression de surface articulée

5.10 Exemples de calcul

Exemple 1 : Convoyeur à plateaux, horizontal

Matériau à manutentionner	: Copeaux de bois
Parcours de convoyage	: 40 m
Capacité de convoyage	: 25 t/h
Largeur interne de convoyage	: 400 mm
Hauteur interne de convoyage	: 300 mm
Nombre de lignes de chaînes	: 1
Nombre de dents du pignon de chaîne	: 8

a) Détermination de la vitesse de la chaîne

$$Q_M = 3600 \cdot v \cdot A_M \cdot \gamma$$

$$v = \frac{Q_M}{3600 \cdot A_M \cdot \gamma}$$

$$v = \frac{25}{3600 \cdot 0{,}09 \cdot 0{,}25} = \underline{\underline{0{,}31\ {}^{m}\!/_{s}}}$$

$$A_M = b \cdot h \cdot \varphi$$

$$A_M = 0{,}4 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}75$$

$$A_M = 0{,}09\ m^2$$

$Q_M = 25\ {}^{t}\!/_{h}$

$\gamma = 0{,}25$ (voir section 4.5.3)

$\varphi = 0{,}75$ (voir section 4.5.3)

$b = 0{,}4\,m$

$h = 0{,}3\,m$

b) Détermination de la force de traction de la chaîne

$$F_g = 1{,}1 \cdot a \cdot 9{,}81 \cdot \left(2 \cdot M_K \cdot \mu_1 + \frac{Q_M}{3{,}6 \cdot v} \cdot \mu_4 \right)$$

$$F_g = 1{,}1 \cdot 40 \cdot 9{,}81 \cdot \left(2 \cdot 8 \cdot 0{,}35 + \frac{25}{3{,}6 \cdot 0{,}31} \cdot 0{,}8 \right)$$

$$F_g = \underline{\underline{10150\,N}}$$

$$F_i = \frac{F_g}{i} = \frac{10150}{1} = F \quad (F_s \text{ et } F_f \text{ négligeables})$$

$$F_b = k \cdot F = 7 \cdot 10150 = \underline{\underline{71050\ N}}$$

$a = 40\ m$

$M_K = 8\ {}^{kg}\!/_{m}$

$\mu_1 = 0{,}35$ (voir section 4.5.1)

$\mu_4 = 0{,}8$ (voir section 4.5.3)

$i = 1$

$k = 7$

1. Hypothèse : sélection de la chaîne de manutention à plateaux TF 90 selon tableau page 50
Pas standard : p = 125 mm

c) Vérification par calcul de la pression de surface articulée

$$P_{eff} = \frac{F}{A_K} \leq P_{zul}$$

$$P_{eff} = \frac{10150}{5} = \underline{\underline{2030\ {}^{N}\!/_{cm^2}}} < 2500\ {}^{N}\!/_{cm^2}$$

$F = 10150\ N$

$A_K = 5\ cm^2$ (voir tableau 50)

$P_{zul} = 2500\ {}^{N}\!/_{cm^2}$ (voir section 4.9)

Taille de chaîne TF 90 correctement choisie!

Exemple 1: Convoyeur à plateaux, horizontal - suite

d) Détermination de la force pré-tension de la chaîne (pré-tension de ressort)

$$F_v = 2{,}2 \cdot (F_s + a \cdot \mu_1 \cdot 9{,}81 \cdot M_K)$$

$$F_v = 2{,}2 \cdot (0 + 40 \cdot 0{,}35 \cdot 9{,}81 \cdot 8)$$

$$F_v = \underline{\underline{2420\ N}}$$

$F_s = 0$ (car le brin lâché est soutenu)

$a = 40\ m$

$M_K = 8\ {}^{kg}/_{m}$

$\mu_1 = 0{,}35$ (voir section 4.5.1)

e) Puissance d'entraînement requise

$$P = \frac{F \cdot v}{1000 \cdot \eta}$$

$$P = \frac{10150 \cdot 0{,}31}{1000 \cdot 0{,}8} = \underline{\underline{3{,}9\ kW}}$$

$F = 10150\ N$

$v = 0{,}31\ {}^{m}/_{s}$

$\eta = 0{,}8$

Exemple 2: Convoyage de palettes

Matériau à manutentionner	: palettes
Parcours de convoyage	: 30 m
Taille de palette	: Longueur: 1200 mm, largeur: 800 mm
Masse totale par palette	: 600 kg
Nombre de lignes de chaînes	: 2
Vitesse de chaîne	: 0,2 m/s
Nombre de dents du pignon de chaîne	: 10
Nombre max. de palettes	: 20 Stück
type de chaîne choisi	: chaîne porteuse à rouleaux selon DIN 8165

a) Détermination de la force de traction de la chaîne

$$F_g = 1{,}1 \cdot a \cdot \mu_2 \cdot 9{,}81 \cdot (2 \cdot M_K + M_F)$$

$$F_g = 1{,}1 \cdot 30 \cdot 0{,}12 \cdot 9{,}81 \cdot (2 \cdot 11 + 400)$$

$$F_g = \underline{\underline{16400\ N}}$$

$$F_i = \frac{F_g}{i} = \frac{16400}{2} = \underline{\underline{8200\ N}}$$

$$F_b = k \cdot F_i$$

$$F_b = 7 \cdot 8200 = \underline{\underline{57400\ N}}$$

$a = 30\ m$

$\mu_2 = 0{,}12$ (estimée voir section 4.5.2)

$$M_K = 2 \cdot 5{,}5\ {}^{kg}/_{m} = \underline{\underline{11\ {}^{kg}/_{m}}}$$

$$M_F = \frac{20\ St \cdot 600\ {}^{kg}/_{piece}}{30\ m}$$

$$M_F = \underline{\underline{400\ {}^{kg}/_{m}}}$$

$k = 7$

Choix de la chaîne FVT 63, avec une charge de rupture minimale de 63 kN (voir tableau page 44)

Exemple 2: Convoyage de palettes - suite

b) Vérification par calcul de la pression de la surface articulée de la chaîne

$$P_{eff} = \frac{F_i}{A_K} \leq P_{zul}$$

$F_i = 8200$ N

$A_K = 3{,}7\,cm^2$ (voir tableaux pages 44 et 45)

$P_{zul} = 2780\ N/cm^2$ (voir section 4.9)

$$P_{eff} = \frac{8200}{3{,}7} = \underline{\underline{2220\ N/cm^2}} \leq 2780\ N/cm^2$$

c) Vérification par calcul de la charge des galets de roulement

Nombre de rouleaux porteurs : 4 Stück
Pas de chaîne : 100 mm
Masse de palette : 600 kg

Charge de rouleau présente $= \frac{600 \cdot 9{,}81}{4} = \underline{\underline{1472\ N/rouleau}} \approx \underline{\underline{1500\ N/rouleau}}$

charge admissible de rouleau : voir section 4.4

Chaîne porteuse à rouleau FVT 63 : $3000\ N/rouleau \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5$

- Galet de roulement — f_1 : 1,0
- Acier de cémentation, trempé — f_2 : 1,0
- lubrification insuffisante, sans impuretés ou rugosité — f_3 : 0,4...0,6
- Vitesse de chaîne = 0,2 m/s — f_4 : 1,0
- Température ambiante 10 - 25 °C — f_5 : 1,0

charge admissible de rouleau = $3000\ N/rouleau \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}4 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 = \underline{\underline{1200\ N/rouleau}}$

charge de rouleau existante = $1500\ N/rouleau > \underline{\underline{1200\ N/rouleau}}$

En fonction de la lubrification de la chaîne (facteur f_3) la charge admissible de rouleau peut être dépassée. Il est donc opportun de sélectionner la taille de chaîne au-dessus. FVT 90

d) Puissance d'entraînement requise

$$P = \frac{F_g \cdot v}{1000 \cdot \eta}$$

$$P = \frac{16400 \cdot 0{,}2}{1000 \cdot 0{,}8} = \underline{\underline{4{,}1\ kW}}$$

$F_g = 16400$ N

$v = 0{,}2\ m/s$

$\eta = 0{,}8$