



**MN-Kappa diagram rechthoekige betondoorsnede**

**400 x 600**

algemene gegevens

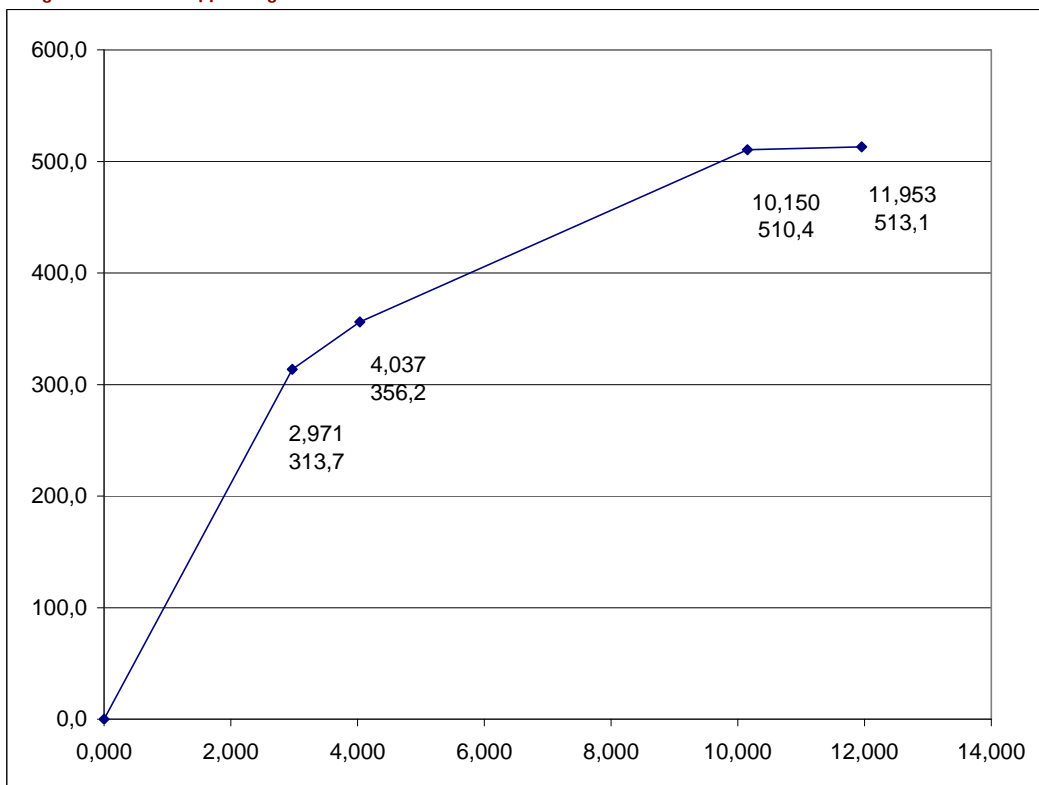
werk  
 werknummer  
 onderdeel

werk  
 werknummer  
 onderdeel

**M-N-kappa-diagram, invoergegevens**

betonkwaliteit	=	=	C28/35
staalsoort	=	=	B 500
wapeningsklasse	A, B of C (gebruikelijke kwaliteit is klasse A)	=	A
betonbreedte	b	=	400 mm
betonhoogte	h	=	600 mm
normaalkracht in doorsnede	$N_{Ed}$	=	2000 kN
trekzijde betondekking	$c_t$	=	54 mm
diameter beugel / verdeelwap. 1e laag	$d_{rbgl,t}$	=	10 mm
gemiddelde diameter hoofdwapening	$d_{rhw,t}$	=	32 mm
aanwezige wapening	$A_{s,t}$	=	672 mm <sup>2</sup>
drukzijde betondekking	$c_c$	=	54 mm
diameter beugel / verdeelwap. 1e laag	$d_{rbgl,c}$	=	10 mm
diameter hoofdwapening	$d_{rhw,c}$	=	32 mm
aanwezige wapening	$A_{s,c}$	=	1500 mm <sup>2</sup>
moment waarvoor stijfheid berekend wordt $M_{Ed}$ met $M_{Ed} = N_{Ed} * e_t$		=	450 kNm
stijfheid $(EI)_{Ed}$		=	5,802 .10 <sup>4</sup> kNm <sup>2</sup>
controle relatieve verlengingen en verkortingen ( maximum waarde controles)		=	0,89

**het getekende M-N-kappa- diagram**





onderdeel

**M-N-kappa-diagram resultaten**

scheurmoment	$M_r$	=	313,7	kNm
stuikmoment	$M_{c,pl}$	=	356,2	kNm
vloeimoment	$M_y$	=	510,4	kNm
bezwijkmoment	$M_{Rd}$	=	513,1	kNm
stijfheid bij scheurmoment	$(EI)_0$	=	10,557	$\cdot 10^4$ kNm <sup>2</sup>
stijfheid bij stuikmoment	$(EI)_{c,pl}$	=	8,823	$\cdot 10^4$ kNm <sup>2</sup>
stijfheid bij vloeimoment	$(EI)_y$	=	5,029	$\cdot 10^4$ kNm <sup>2</sup>
stijfheid bij bezwijkmoment	$(EI)_{Rd}$	=	4,293	$\cdot 10^4$ kNm <sup>2</sup>
onderste waarden van de tak:	moment M1	=	356,2	kNm
	$\kappa_1$	=	4,037	$\cdot 10^{-3}/m$
bovenste waarden van de tak:	moment M2	=	510,4	kNm
	$\kappa_2$	=	10,150	$\cdot 10^{-3}/m$
optredende waarden:	$\kappa_d$	=	7,755	$\cdot 10^{-3}/m$
	stijfheid $(EI)_{Ed}$	=	5,802	$\cdot 10^4$ kNm <sup>2</sup>
	$E_{eff,Ed}$	=	0,8059	$\cdot 10^4$ kN/m <sup>2</sup>

**berekening 4 punten M-N-kappa-diagram**

cilinderdruksterkte	$f_{ck}$	=	28	N/mm <sup>2</sup>
betondruksterkte	$f_{cd} = f_{ck}/1,5$	=	18,7	N/mm <sup>2</sup>
gemiddelde cilinderdruksterkte	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	=	36	N/mm <sup>2</sup>
staaltreksterkte	$f_{yk}$	=	500	N/mm <sup>2</sup>
cilindretreksterkte	$f_{ctm} = 0,3f_{ck}^{(2/3)}$ als $f_{ck} < 50$ of $f_{ctm} = 2,12 \ln(1 + f_{cm}/10)$	=	2,77	N/mm <sup>2</sup>
staaltreksterkte	$f_{yd}$	=	435	N/mm <sup>2</sup>
elasticiteitsmodulus staal	$E_s$	=	200000	N/mm <sup>2</sup>
relatieve verlenging staal	$\epsilon = f_{yd} / E_s$	=	2,175	$\cdot 10^{-3}$
traagheidsmoment	$I$	=	0,0072	m <sup>4</sup>
nuttige hoogte	$d$	=	520	mm
wapeningspercentage trekzijde	$\rho_{1,trek}$	=	0,323	%
wapeningspercentage drukzijde	$\rho_{1,druk}$	=	0,721	%
wapeningspercentage trek- + drukzijde	$\rho_{1,trek + druk}$	=	1,044	%
afstand wapening tot trekzijde beton	$a_t = c_t + d_{bgl,t} + 0,5 d_{hw,t}$	=	80,0	mm
afstand wapening tot drukzijde beton	$a_c = c_c + d_{bgl,c} + 0,5 d_{hw,c}$	=	80,0	mm
excentriciteit	$e_t = M_{Ed} / N_{Ed}$	=	225,0	mm

**berekening van punt 1** **scheurmoment  $\sigma_{c,trek} = f_{ctm}$  en  $\epsilon_c < \epsilon_{c3}$**

hoogte betondrukzone ongescheurd	$x_{ong}$	=	512,7	mm	
$\epsilon_c$	$\sigma_c$	$N_c = \frac{1}{2} b x^2 \epsilon_{c,trek} E_c / (h-x)$	=	1666	kN
$\epsilon_{s,druk}$	$\sigma_{s,druk}$	$N_{s,druk} = A_{s,druk} (x-a_c) / (h-x) \epsilon_{c,trek} E_s$	=	386	kN
$\epsilon_s$	$\sigma_s$	$N_s = A_s (h-x-a_t) / (h-x) \epsilon_{c,trek} E_s$	=	-3	kN
$\epsilon_{c,trek}$	$\sigma_{c,trek}$	$N_{c,trek} = \frac{1}{2} (h-x) b \epsilon_{c,trek} E_c$	=	-48	kN
		$N_{Ed}$	=	-2000	kN
		$\sum H=0 : N_c + N_{s,druk} - N_s - N_{c,trek} - N_{Ed}=0$	$\sum$	1	

**spanningen en vervormingen**

relatieve verkorting drukzone beton	$\epsilon_c = x / (h-x) * \epsilon_{ct}$	=	1,523	$\cdot 10^{-3}$
betondrukspanning in drukzone	$\sigma_c = E_c * \epsilon_c$	=	16,25	N/mm <sup>2</sup>
relatieve verkorting staal in drukzone	$\epsilon_{s,druk} = (x-a_c) / (h-x) \epsilon_{ct}$	=	1,286	$\cdot 10^{-3}$
staaldrukspanning in drukzone	$\sigma_{s,druk} = E_s * \epsilon_{s,druk}$	=	257,1	N/mm <sup>2</sup>
relatieve verlenging staal in trekzone	$\epsilon_s = (h-x-a_t) / (h-x) * \epsilon_{ct}$	=	0,022	$\cdot 10^{-3}$
staalspanning in trekzone	$\sigma_s = E_s * \epsilon_s$	=	4,3	N/mm <sup>2</sup>
elasticiteitsmodulus staal	$E_s$	=	200000	N/mm <sup>2</sup>
relatieve verlenging beton in trekzone	$\epsilon_{ct} = f_{ctm} / E_c$	=	0,2593	$\cdot 10^{-3}$
trekspanning in beton in trekzone	$\sigma_{c,trek} = f_{ctm}$	=	2,77	N/mm <sup>2</sup>
elasticiteitsmodulus beton	$E_c = f_{cd} / \epsilon_{c3}$	=	10667	N/mm <sup>2</sup>
relatieve verkorting drukzone beton	$\epsilon_{c3}$	=	1,75	$\cdot 10^{-3}$

**berekening scheurmoment  $M_r$**

	$N_c (1/2 h - 1/3 x)$	=	215,1	kNm
	$N_{s,druk} (1/2 h - a_c)$	=	84,9	kNm
	$N_s (1/2 h - a_t)$	=	0,6	kNm
	$N_{c,trek} [1/2 h - 1/3 (h-x)]$	=	13,1	kNm
scheurmoment	$M_r$	$\sum M =$	313,7	kNm
<b>kromming</b>	$\kappa_r = (\epsilon_c + \epsilon_{c,trek}) / h$	=	2,971	$\cdot 10^{-3}/m$
stijfheid bij scheurmoment	$(EI)_0 = M_r / \kappa_r$	=	10,557	$\cdot 10^4$ kNm <sup>2</sup>
elasticiteitsmodulus doorsnede	$E_{eff,0} = (EI)_0 / I$	=	1,4663	$\cdot 10^4$ kN/m <sup>2</sup>
controle $\epsilon_c / \epsilon_{c3}$	$1,523 / 1,75$	=	0,87	-



onderdeel

berekening van punt 2		stuikmoment $\sigma_c = f_{cd}, \epsilon_c = \epsilon_{c3}$	
staal vloeit, betondrukzone $> \epsilon_{c3}$	$x_{c,pl}$	=	433,5 mm
$\epsilon_c = 1,750$	$\sigma_c = 18,7$ N/mm <sup>2</sup>	$N_c = 1/2 b x f_{cd}$	= 1618 kN
$\epsilon_{s,druk} = 1,427$	$\sigma_{s,druk} = 285$	$N_{s,druk} = A_{s,druk} (x-a_c) * f_{cd} * E_s / (x * E_c)$	= 428 kN
$\epsilon_s = 0,349$	$\sigma_s = 70$	$N_s = -A_s (h-x-a_t) * f_{cd} * E_s / (x * E_c)$	= -47 kN
		$-N_{Ed}$	= -2000 kN
		$\Sigma H=0 : N_c + N_{s,druk} - N_s - N_{Ed}=0$	$\Sigma$ -0,3
<b>spanningen en vervormingen</b>			
relatieve verkorting drukzone beton	$\epsilon_c = \epsilon_{c3}$	=	1,750 ‰
betondrukspanning in drukzone	$\sigma_c = f_{cd} = E_c * \epsilon_c$	=	18,7 N/mm <sup>2</sup>
elasticiteitsmodulus beton	$E_c = f_{cd} / \epsilon_{c3}$	=	10667 N/mm <sup>2</sup>
relatieve verkorting staal in drukzone	$\epsilon_{s,druk} = (x-a_c) / x * \epsilon_c$	=	1,427 ‰
staaldrukspanning in drukzone	$\sigma_{s,druk} = E_s * \epsilon_{s,druk}$	=	285,4 N/mm <sup>2</sup>
relatieve verlenging staal in trekzone	$\epsilon_s = (h-x-a_t) / x * \epsilon_c$	=	0,349 ‰
staalspanning in trekzone	$\sigma_s = E_s * \epsilon_s$	=	70 N/mm <sup>2</sup>
elasticiteitmodulus staal	$E_s$	=	200000 N/mm <sup>2</sup>
<b>berekening stuikmoment <math>M_{c,pl}</math></b>			
	$N_c (1/2 h - 1/3 x)$	=	251,7 kNm
	$N_{s,druk} (1/2 h - a_c)$	=	94,2 kNm
	$N_s (1/2 h - a_t)$	=	10,3 kNm
	$M_{c,pl}$	=	356,2 kNm
stuikmoment	$K_{c,pl} = (\epsilon_{c3} + \epsilon_s) / (h-a_t)$	=	4,04 $\cdot 10^{-3}$ /m
<b>kromming</b>	$(EI)_{c,pl} = M_{c,pl} / K_{c,pl}$	=	8,823 $\cdot 10^4$ kNm <sup>2</sup>
stijfheid bij stuikmoment	$E_{eff,c,pl} = (EI)_{c,pl} / I$	=	1,2254 $\cdot 10^4$ kN/m <sup>2</sup>
elasticiteitsmodulus doorsnede		=	
controle $\epsilon_c / \epsilon_{cu3} <= 1$	1,750 / 3,50	=	0,50

berekening van punt 3		vloeimoment $\sigma_s = f_{yd}; \epsilon_{c3} < \epsilon_c < \epsilon_{cu3}$	
staal vloeit, betondrukzone $> \epsilon_{c3}$	$x_y$	=	305,7 mm
$\epsilon_c = 3,103$	$\sigma_c = 18,7$ N/mm <sup>2</sup>	$y = \text{ lengte horizontale tak betondrukzone}$	= 133,3 mm
$\epsilon_{c3} = 1,750$	$\sigma_{c3} = 18,7$	$N_{c1} = y b f_{cd}$	= 995 kN
$\epsilon_{s,druk} = 2,291$	$\sigma_{s,druk} = 435$	$N_{c2} = 1/2 (x-y) b f_{cd}$	= 644 kN
$\epsilon_s = 2,175$	$\sigma_s = 435$	$N_{s,druk} = A_{s,druk} \sigma_{s,druk}$	= 653 kN
		$N_s = -A_s \cdot f_{yd}$	= -292 kN
		$-N_{Ed}$	= -2000 kN
		$\Sigma H=0 : N_{c1} + N_{c2} + N_{s,druk} - N_s - N_{Ed}=0$	$\Sigma$ -0,8
<b>spanningen en vervormingen</b>			
relatieve verkorting drukzone beton	$\epsilon_c = x_y \epsilon_s / (h - a_t - x)$	=	3,103 ‰
betondrukspanning in drukzone	$\sigma_{c1} = f_{cd} = E_c * \epsilon_{c3}$	=	18,7 N/mm <sup>2</sup>
elasticiteitsmodulus beton	$E_c = f_{cd} / \epsilon_{c3}$	=	10667 N/mm <sup>2</sup>
relatieve verkorting drukzone beton	$\epsilon_{c2} = \epsilon_{c3}$	=	1,750 N/mm <sup>2</sup>
betondrukspanning in drukzone	$\sigma_{c3} = f_{cd} = E_c * \epsilon_{c3}$	=	18,7 N/mm <sup>2</sup>
relatieve verkorting staal in drukzone	$\epsilon_{s,druk} = (x - a_c) * \epsilon_{c3} / (x-y)$	=	2,29 ‰
staaldrukspanning in drukzone	$\sigma_{s,druk} = E_s * \epsilon_{s,druk}$	=	435 N/mm <sup>2</sup>
relatieve verlenging staal in trekzone	$\epsilon_s = f_{yd} / E_s$	=	2,175 ‰
staalspanning in trekzone	$\sigma_s = E_s * \epsilon_s$	=	435 N/mm <sup>2</sup>
elasticiteitmodulus staal	$E_s$	=	200000 N/mm <sup>2</sup>
<b>berekening vloeimoment <math>M_y</math></b>			
	$N_{c1} (1/2 h - 1/2 y)$	=	232,3 kNm
	$N_{c2} (1/2 h - y - 1/3 (x-y))$	=	70,3 kNm
	$N_{s,druk} (1/2 h - a_c)$	=	143,6 kNm
	$N_s (1/2 h - a_t)$	=	64,3 kNm
	$M_y$	=	510,4 kNm
vloeimoment	$K_{y} = (\epsilon_c + \epsilon_s) / (h-a_t)$	=	10,150 $\cdot 10^{-3}$ /m
<b>kromming</b>	$(EI)_y = M_y / K_y$	=	5,029 $\cdot 10^4$ kNm <sup>2</sup>
stijfheid bij vloeimoment	$E_{eff,y} = (EI)_y / I$	=	0,6984 $\cdot 10^4$ kN/m <sup>2</sup>
elasticiteitsmodulus doorsnede		=	
controle $\epsilon_c / \epsilon_{cu3} <= 1$	3,103 / 3,50	=	0,89
controle $\epsilon_{c3} / \epsilon_c <= 1$	1,750 / 3,103	=	0,56



onderdeel

berekening van punt 4		bezwijkmoment $\epsilon_c = \epsilon_{cu3}$	
hoogte betondrukzone	$x_u = N_c / (\alpha \cdot b \cdot f_{cd})$	=	292,8 mm
	$\alpha =$	=	0,75 -
	$\beta =$	=	0,39 -
	$\epsilon_{uk}$ art. 3,2,7 (2)	=	25 ‰
	$\epsilon_{ud} = 0,9 \epsilon_{uk}$	=	22,5 ‰
$\epsilon_c = 3,500$	$\sigma_c = 18,7$	$N_c = \alpha \cdot b \cdot x \cdot f_{cd}$	= 1639,8 kN
$\epsilon_{s,druk} = 2,544$	$\sigma_{s,druk} = 435$	$N_{s,druk} = A_{s,c} \cdot f_{yd}$	= 652,5 kN
$\epsilon_s = 2,715$	$\sigma_s = 435$	$N_s = A_{s,t} \cdot f_{yd}$	= -292,3 kN
		$N_{Ed}$	= -2000,0 kN
		$\Sigma H=0 : N_c + N_{s,druk} - N_s - N_{Ed}=0$	$\Sigma$ 0 kN
<b>spanningen en vervormingen</b>			
relatieve verkorting drukzone beton	$\epsilon_c = \epsilon_{cu3}$	=	3,50 ‰
betondrukspanning	$\sigma_c = f_{cd}$	=	18,7 N/mm <sup>2</sup>
relatieve verkorting staal	$\epsilon_{s,druk} = (x - a_c) / x \cdot \epsilon_{cu3}$	=	2,544 ‰
staalspanning	$\sigma_{s,druk} = f_{yd}$	=	435 N/mm <sup>2</sup>
relatieve verlenging staal	$\epsilon_s = (h - x - a_t) / x \cdot \epsilon_{cu3}$	=	2,715 ‰
staalspanning	$\sigma_s = f_{yd}$	=	435 N/mm <sup>2</sup>
<b>berekening bezwijkmoment</b>	$M_{Rd} = N_c \cdot (0,5h - \beta x) + N_{s,druk} \cdot (0,5h - a_c) + N_s \cdot (0,5h - a_t)$	=	513,1 kNm
<b>kromming</b>	$\kappa_{Rd} = (\epsilon_{cu3} + \epsilon_s) / (h - a_t)$	=	11,953 · 10 <sup>-3</sup> /m
stijfheid bij bezwijkmoment	$(EI)_{Rd} = M_{Rd} / \kappa_{Rd}$	=	4,293 · 10 <sup>4</sup> kNm <sup>2</sup>
elasticiteitsmodulus doorsnede	$E_{eff,Rd} = (EI)_{Rd} / I$	=	0,5962 · 10 <sup>4</sup> kN/m <sup>2</sup>
controle $\epsilon_s / \epsilon_{ud} = \epsilon_s / 0,9 \epsilon_{uk} < 1,0$	2,715 / 22,5	=	0,12 -
controle $\epsilon / \epsilon_s$	2,175 / 2,715	=	0,80 -
controle $\epsilon_{s,y} / \epsilon_{s,druk}$	2,175 / 2,544	=	0,86 -

opmerking: