

B03-101

Beräkningsanvisning för strukturrepons Strukturrepons vid impulsbelastning

Författare: Morgan Johansson. Ansvarig utgivare: Björn Ekengren.

1 Orientering	1
1.1 Samlingsdokument	1
1.2 Om detta dokument	1
2 Förutsättningar	2
3 Enfrihetsgradssystem vid karakteristisk last	4
4 Enfrihetsgradssystem vid förfinad beräkning	6
4.1 Koncept	6
4.2 Elastisk respons	7
4.3 Plastisk respons	9
4.4 Elastoplastisk respons	9
5 Transformation av balk till ett enfrihetsgradssystem	10
5.1 Koncept	10
5.2 Transformationsfaktorer	12
6 Respons för balk	14

1 Orientering

1.1 Samlingsdokument

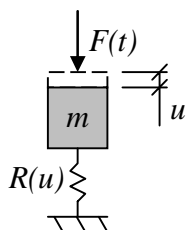
För allmän information om MSB:s kunskapsdokument i serien Beräkning av impulsbelastade konstruktioner, se dokument B01-101. Där ges bland annat övergripande bakgrund, en sammanfattande beteckningslista samt referenser. För en förteckning av utgivna och kommande dokument i serien hänvisas till dokument B01-102.

1.2 Om detta dokument

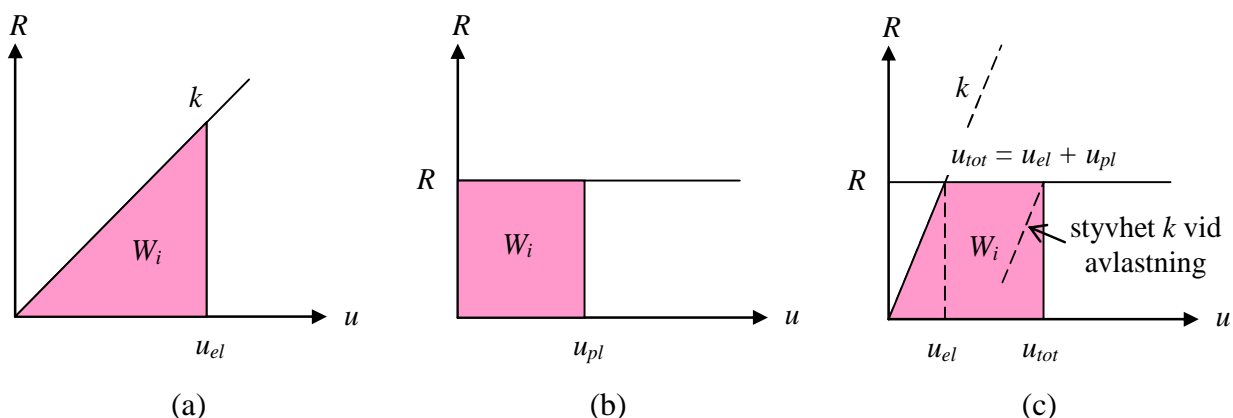
I detta dokument behandlas hur responsen hos en dynamiskt belastad konstruktion kan bestämmas. Presenterat resonemang utgår från belastning av ett enfrihetsgradssystem (*single-degree-of-freedom system*), vilket förkortat ofta benämns som SDOF efter sin engelska förkortning. Teoretisk bakgrund för här redovisade samband behandlas i Johansson och Laine (2012c).

2 Förutsättningar

Ett odämpat dynamiskt enfrihetsgradssystem visas i Figur 2.1 och består av en massa m som utsätts för en yttre tidsberoende last $F(t)$. Som motstånd till denna last finns ett inre statiskt motstånd $R(u)$. Detta inre motstånd beskrivs här utgående från tre typer av responser: elastiskt, plastiskt och elasto-plastiskt beteende, se Figur 2.2.

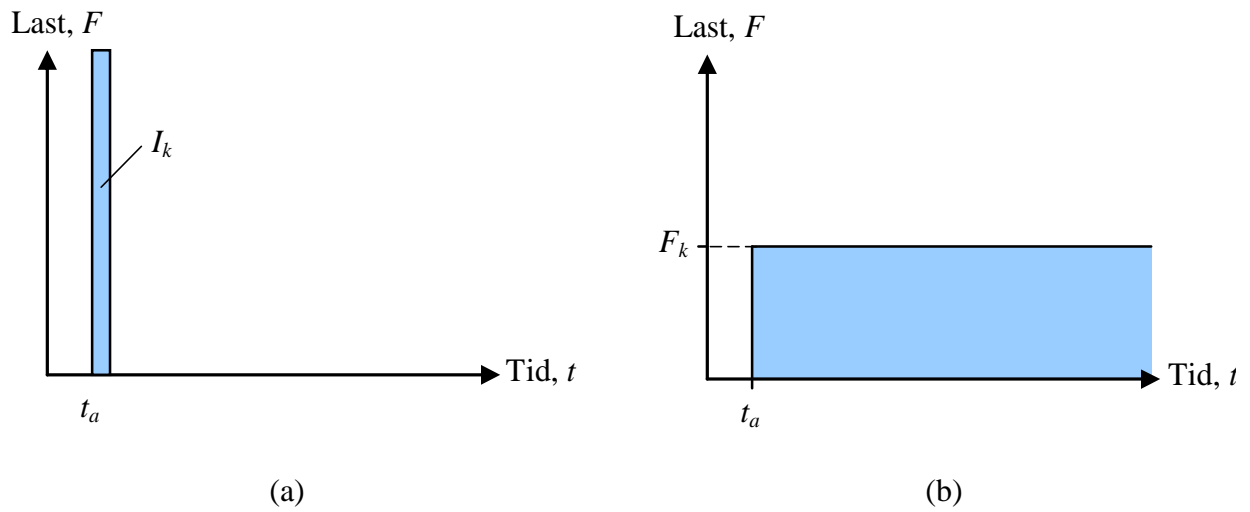


Figur 2.1 Definition av ett odämpat enfrihetsgradssystem, SDOF.



Figur 2.2 Strukturell respons med antagande om: (a) linjärelastisk respons, (b) plastisk respons, (c) elastoplastisk respons.

I Figur 2.3 illustreras två dynamiska ytterlighetsfall – ideal impulslast, med karakteristisk impuls I_k , samt så kallad trycklast med karakteristisk trycklast F_k . Ett godtyckligt last-tidssamband $F(t)$ kommer att befinna sig någonstans mellan dessa båda fall. Förenklat kan sägas att en last med kort varaktighet går mot ett fall motsvarande det för karakteristisk impuls och en last med lång varaktighet går mot ett fall med karakteristisk trycklast. Det ska dock poängteras att vad som menas med kort respektive lång varaktighet beror på den belastade strukturens egenskaper.



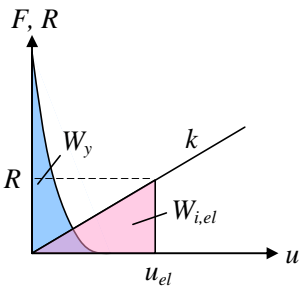
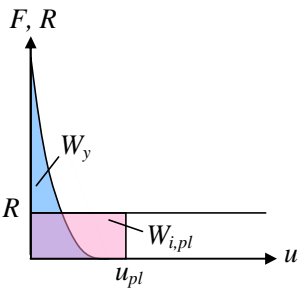
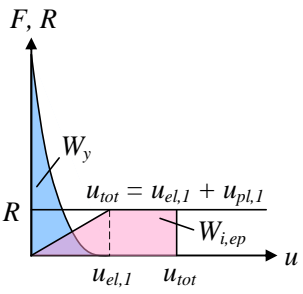
Figur 2.3 Illustration av dynamiska ytterlighetsfall som börjar verka vid tiden t_a : (a) karakteristisk impuls I_k , (b) karakteristisk trycklast F_k .

3 Enfrihetsgradssystem vid karakteristisk last

I Tabell 3.1 och Tabell 3.2 sammanställs uttryck för att beräkna yttre arbete, inre arbete, förskjutning samt ekvivalent statisk last för ett enfrihetsgradssystem belastat med en karakteristisk impuls I_k respektive en karakteristisk trycklast F_k enligt Figur 2.3. Uttryck är framtagna för linjärelastisk, plastisk eller elastoplastisk respons.

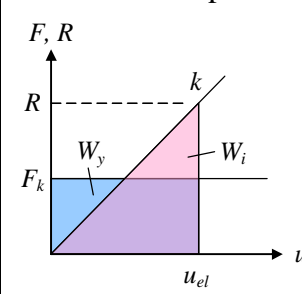
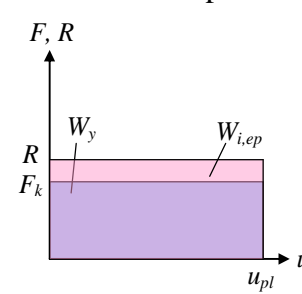
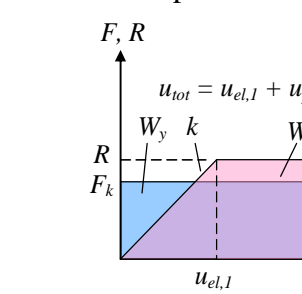
Vid omvandling av en dynamisk last till en ekvivalent statisk last är det viktigt att fortfarande komma ihåg att den bakomliggande lasten är dynamisk. Detta innebär att en maximal förskjutning i en given riktning även kommer att resultera i en förskjutning i motsatt riktning när belastad konstruktion svänger tillbaka. Dvs. vid användande av den framtagna ekvivalenta statiska lasten bör denna hanteras som två olika laster – en statisk last som verkar i två motsatta riktningar.

Tabell 3.1 Uttryck för att beräkna yttre arbete, inre arbete, förskjutning samt ekvivalent statisk last för ett enfrihetsgradssystem med linjärelastisk, plastisk eller elastoplastisk respons som är belastat med en karakteristisk impuls I_k enligt Figur 2.3a.

Begrepp	Elastisk respons	Plastisk respons	Elastoplastisk respons
			
Yttre arbete	$W_y = E_k = \frac{I_k^2}{2m}$	$W_y = E_k = \frac{I_k^2}{2m}$	$W_y = E_k = \frac{I_k^2}{2m}$
Inre arbete	$W_{i,el} = \frac{ku_{el}^2}{2}$	$W_{i,pl} = Ru_{pl}$	$W_{i,ep} = R \left(\frac{u_{el,1}}{2} + u_{pl,1} \right)$
Total förskjutning	$u_{tot} = u_{el}$	$u_{tot} = u_{pl}$	$u_{tot} = u_{pl} + \frac{u_{el,1}}{2}$
Elastisk förskjutning	$u_{el} = \frac{I_k}{m\omega}$	–	$u_{el,1} = \frac{R}{k}$
Plastisk förskjutning	–	$u_{pl} = \frac{I_k^2}{2mR}$	$u_{pl,1} = u_{pl} - \frac{u_{el,1}}{2}$
Ekvivalent statisk last	$Q_{el} = I_k \omega$	$Q_{pl} = R$	$Q_{ep} = R$
Vinkel-frekvens	$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$	–	–

Beräkning av impulsbelastad konstruktion

Tabell 3.2 Uttryck för att beräkna yttre arbete, inre arbete, förskjutning samt ekvivalent statisk last för ett enfrihetsgradssystem med linjärelastisk, plastisk eller elastoplastisk respons som är belastat med en karakteristisk trycklast F_k enligt Figur 2.3b.

Begrepp	Elastisk respons	Plastisk respons	Elastoplastisk respons
			
Yttre arbete	$W_y = F_k u$	$W_y = F_k u$	$W_y = F_k u$
Inre arbete	$W_{i,el} = \frac{k u_{el}^2}{2}$	$W_{i,pl} = R u_{pl}$	$W_{i,ep} = R \left(\frac{u_{el,1}}{2} + u_{pl,1} \right)$
Total förskjutning	$u_{tot} = u_{el}$	$u_{tot} = u_{pl}$	$u_{tot} = \begin{cases} u_{el}, & F_k \leq \frac{R}{2} \\ \frac{R}{2(R-F_k)} \cdot u_{el,1}, & \frac{R}{2} < F_k < R \\ \infty, & F_k \geq R \end{cases}$
Elastisk förskjutning	$u_{el} = \frac{2F_k}{k}$	–	$u_{el,1} = \frac{R}{k}$
Plastisk förskjutning	–	$u_{pl} = \begin{cases} 0, & F_k < R \\ \infty, & F_k \geq R \end{cases}$	$u_{pl,1} = \frac{2F_k - R}{2(R - F_k)} \cdot u_{el,1}$
Ekvivalent statisk last	$Q_{el} = 2F_k$	–	$Q_{ep} = \begin{cases} R, & F_k < R \\ -, & F_k \geq R \end{cases}$

4 Enfrihetsgradssystem vid förfinad beräkning

4.1 Koncept

I avsnitt 3 ges uttryck för hur maximal förskjutning kan bestämmas vid belastning av en karakteristisk impulslast respektive en karakteristisk trycklast. Dessa uttryck fyller ett viktigt syfte i att de är enkla att använda samt ger en snabb och konservativ bedömning av den aktuella responsen. För en godtycklig dynamisk last med impuls I_I resulterar de dock i en förskjutning som är en faktor δ för stor om de används i kombination med det konservativa antagandet att $I_k = I_I$. Det är därför av intresse att även kunna utföra en förfinad, mer exakt beräkning, för en sådan last. Detta är möjligt genom att introducera en korrektionsfaktor

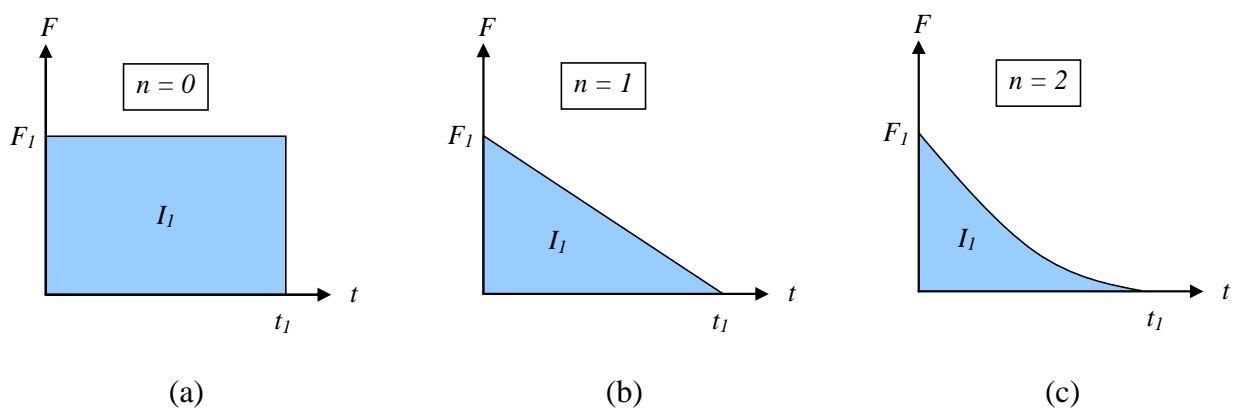
$$\gamma_I = \frac{I_1}{I_k} \quad (4.1)$$

med vilken impulsen I_I kan reduceras för att ta fram en representativ karakteristisk impulslast

$$I_k = \frac{I_1}{\gamma_I} \quad (4.2)$$

för vilken förskjutningen blir korrekt. Storleken på faktorn γ_I beror på aktuellt last-tidssamband samt responsen i det system som studeras. Här utgås från tre olika last-tidssamband, med form enligt ekvation (4.3) och illustrerade i Figur 4.1, vid elastisk eller plastisk respons.

$$F(t) = F_1 \left(1 - \frac{t}{t_1}\right)^n, \quad n = 0, 1, 2 \quad (4.3)$$



Figur 4.1 Last-tidssamband där samband för förfinad beräkning tagits fram: (a) rektangulär last, (b) triangulär last, (c) kvadratisk avtagande last. Faktorn n anger hur lasten avtar med tiden enligt ekvation (4.3).

4.2 Elastisk respons

För ett system med elastisk respons fås ett fel, en ökning av förskjutningen, med en faktor

$$\delta_{el} = \gamma_I - 1 \quad (4.4)$$

där $\gamma_I = \gamma_I(T/t_I)$ definieras i ekvation (4.1) och beror på kvoten mellan systemets periodtid T och lastens varaktighet t_I enligt Tabell 4.1.

Tabell 4.1 Sammanställning av samband mellan felet δ_{el} , korrektionsfaktorn γ_I och kvoten T/t_I för ett system med elastisk respons och last-tidssamband enligt Figur 4.1.

δ_{el} [%]	γ_I [-]	T/t_I $n = 0$	T/t_I $n = 1$	T/t_I $n = 2$
1	1,01	12,89	10,60	8,84
2	1,02	9,22	7,45	6,13
3	1,03	7,51	6,10	5,00
4	1,04	6,52	5,33	4,35
5	1,05	5,86	4,75	3,90
10	1,10	4,20	3,41	2,78
15	1,15	3,48	2,82	2,29
20	1,20	3,06	2,47	1,98
25	1,25	2,78	2,23	1,77
50	1,50	2,10	1,56	1,18
75	1,75	1,80	1,23	0,91
100	2,00	1,57	1,02	0,74
150	2,50	1,26	0,76	0,54
200	3,00	1,05	0,61	0,43
300	4,00	0,79	0,44	0,30
400	5,00	0,63	0,34	0,23
600	7,00	0,45	0,24	0,16
900	10,00	0,31	0,16	0,11

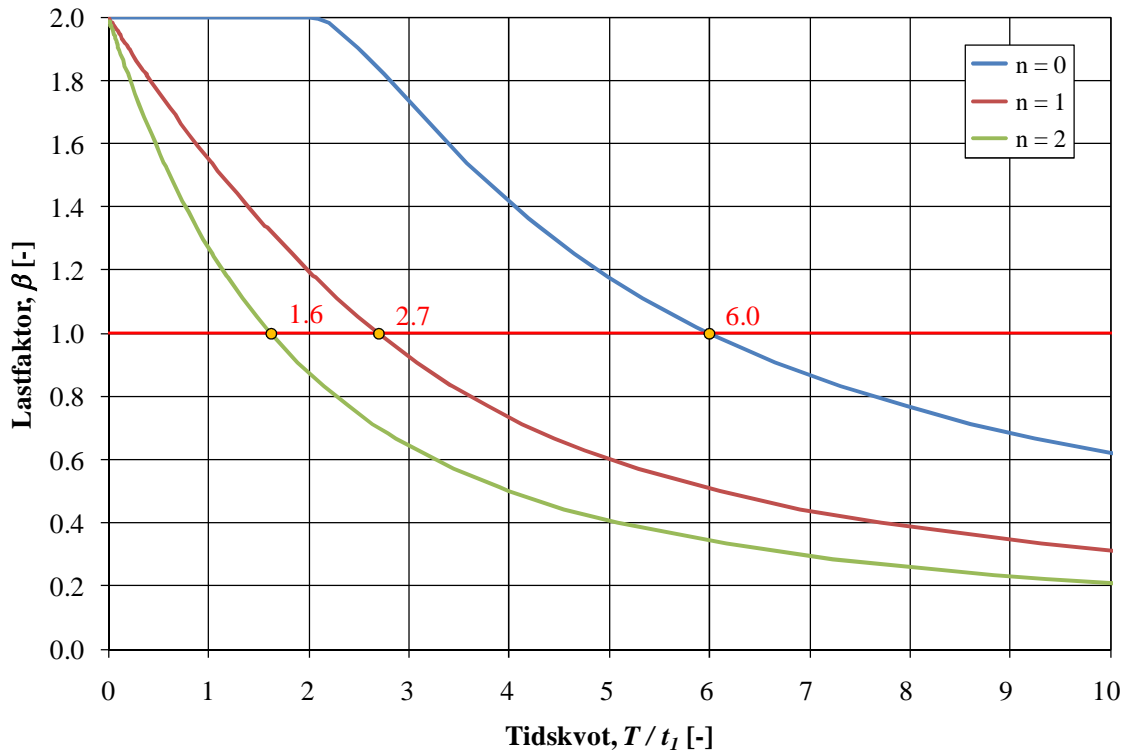
Detta innebär exempelvis att om $n = 1$ och kvoten $T/t_I = 4,75$ så är felet $\delta_{el} = 5\%$, vilket innebär att förskjutningen u_{el} kommer att överskattas med 5% om impulsen $I_k = I_I$ approximativt används som indata i uttryck enligt Tabell 3.1. Genom att istället använda $I_k = I_I / \gamma_I$, där $\gamma_I = 1,05$, fås dock en korrekt förskjutning u_{el} .

Beräkning av impulsbelastad konstruktion

Sambanden i Tabell 4.1 är anpassade för en dynamisk last som kan liknas vid en karakteristisk impulslast. Om lastens varaktighet är så lång att kvoten T/t_1 blir liten är det dock mer lämpligt att istället likna den vid en karakteristisk trycklast. Sambandet mellan ekvivalent statisk last Q och maximallasten F_1 kan tecknas som

$$Q = \beta \cdot F_1 \quad (4.5)$$

där $\beta \leq 2$ är en lastfaktor som beror på förhållandet mellan systemets egenperiod T och den dynamiska lastens varaktighet t_1 enligt Figur 4.2.



Figur 4.2 Förhållande mellan lastfaktor β och tidskvot T/t_1 . Markeringar visar för vilka tidskvoter som $\beta = 1,0$.

4.3 Plastisk respons

För ett system med plastisk respons fås ett fel, en ökning av förskjutningen, med en faktor

$$\delta_{pl} = \gamma_I^2 - 1 \quad (4.6)$$

där $\gamma_I = \gamma_I(\gamma_F)$ definieras i ekvation (4.1) och beror på kvoten

$$\gamma_F = \frac{F_1}{R} \quad (4.7)$$

mellan lastens maximallast F_1 och systemets kapacitet R enligt Tabell 4.2.

Tabell 4.2 Sammanställning av samband mellan felet δ_{pl} och faktorerna γ_I och γ_F för ett system med plastiskt respons och last-tidssamband enligt Figur 4.1.

δ_{pl} [%]	γ_I [-]	$\gamma_F = \frac{F_1}{R}$ $n = 0$	$\gamma_F = \frac{F_1}{R}$ $n = 1$	$\gamma_F = \frac{F_1}{R}$ $n = 2$
1	1,005	100	-	-
2	1,010	52	70	77
3	1,015	35	46	52
4	1,020	27	35	39
5	1,025	21	29	32
10	1,049	11	15	17
15	1,072	7,7	10	12
20	1,095	6,0	8,0	9,0
25	1,118	5,0	6,7	7,5
50	1,225	3,0	4,0	4,5
75	1,323	2,3	3,1	3,5
100	1,414	2,0	2,7	3,0

Detta innebär exempelvis att om $n = 1$ och $\gamma_F = 10$ så blir felet $\delta_{pl} = 15\%$, vilket innebär att förskjutningen u_{pl} kommer att överskattas med 15 % om impulsen $I_k = I_1$ approximativt används som indata i uttryck enligt Tabell 3.1. Genom att istället använda $I_k = I_1/\gamma_I$, där $\gamma_I = 1,072$, fås dock en korrekt förskjutning u_{pl} .

4.4 Elastoplastisk respons

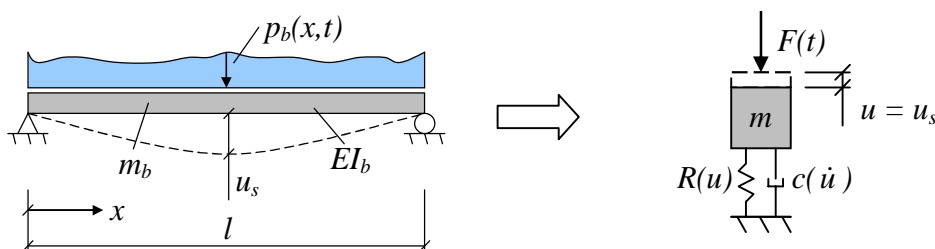
Några motsvarande samband som de i avsnitt 4.2 och avsnitt 0 ges inte här för elastoplastisk respons. Finns det behov av att göra en förfinad beräkning för ett sådant system rekommenderas istället att använda central differensmetod enligt dokument B03-102.

5 Transformation av balk till ett enfrihetsgradssystem

5.1 Koncept

I avsnitt 4 har responsen hos ett impulsbelastat och tryckbelastat enfrihetsgradssystem behandlats. För att kunna använda där presenterade uttryck på verkliga konstruktioner är det nödvändigt att först transformera studerad konstruktion, exempelvis en balk, till ett enfrihetsgradssystem. Detta är möjligt genom att använda så kallade transformationsfaktorer κ som väljs så att rörelseenergi samt utträttat yttre- och inre arbete i balk och enfrihetsgradssystem förblir desamma. För detta nyttjas antagandet att utböjningsformen hos belastad balk bibehålls oavsett lastnivå, något som gör det möjligt att beskriva utböjningen längs hela balken genom att enbart ange förskjutningen i en punkt. Denna punkt, den så kallade systempunkten, ges egenskaper så att dess förskjutning u_s motsvaras av den i ett ekvivalent enfrihetsgradssystem, se Figur 5.1.

Omvandling av balken till ett ekvivalent enfrihetsgradssystem görs genom att i systempunkten applicera en massa m , en dämpning c , en mothållande kraft $R(u)$ samt en yttre last $F(t)$. I Figur 5.1 jämförs ingående parametrar i en balk med dem för ett ekvivalent enfrihetsgradssystem.



Figur 5.1 Jämförelse av parametrar ingående hos balk samt i ekvivalent enfrihetsgradssystem.

Kopplingen mellan balk och ekvivalent enfrihetsgradssystem kan med antagande om linjärelastisk respons, $R(u) = ku$, tecknas som

$$m = \kappa_m m_b \quad (5.1)$$

$$c = \kappa_c c_b \quad (5.2)$$

$$k = \kappa_k k_b \quad (5.3)$$

$$F = \kappa_F F_b \quad (5.4)$$

där m_b , c_b , k_b och F_b motsvarar balkens aktuella massa, dämpning, styvhet samt yttre last och κ är transformationsfaktorer för respektive egenskap. Därmed kan uttrycket för det dynamiska systemet ändras från

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = F(t) \quad (5.5)$$

till

$$\kappa_m m_b \ddot{u} + \kappa_c c_b \dot{u} + \kappa_k k_b u = \kappa_F F_b(t) \quad (5.6)$$

Beräkning av impulsbelastad konstruktion

En impulslast är ett kortvarigt förlopp varvid dämpningens betydelse är liten för den resulterande maximala förskjutningen. Det är därför vanligt att på säker sida bortse från dämpningens inverkan. Med utgångspunkt från att dämpningen försummas kan ekvation (5.6) skrivas om som

$$\frac{\kappa_m}{\kappa_F} m_b \ddot{u} + \frac{\kappa_k}{\kappa_F} k_b u = F_b(t) \quad (5.7)$$

och genom att låta

$$\kappa_{mF} = \frac{\kappa_m}{\kappa_F} \quad (5.8)$$

samt nyttja att

$$\kappa_k = \kappa_F \quad (5.9)$$

så fås att den dynamiska grundekvationen för det omvandlade systemet kan uttryckas som

$$\kappa_{mF} m_b \ddot{u} + k_b u = F_b(t) \quad (5.10)$$

För ett godtyckligt system kan detta istället tecknas som

$$\kappa_{mF} m_b \ddot{u} + R_b(u) = F_b(t) \quad (5.11)$$

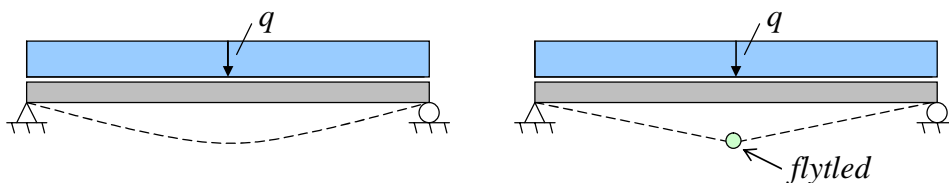
där $R_b(u)$ beskriver balkens respons vid statisk belastning. Enda skillnaden mellan ekvation (5.5) och ekvation (5.10) är att parametern κ_{mF} i den senare har applicerats på balkens massa m_b . I praktiken innebär detta att det enbart är balkens massa som behöver transformeras för att omvandla balken till ett enfrihetsgradssystem medan styvhet (inre kraft) och last är samma som för balken.

5.2 Transformationsfaktorer

Grunduttryck för beräkning av κ ges i Tabell 5.1. För elastisk och plastisk respons fås olika utböjningsformer, vilket också påverkar resulterande värden på κ . I Figur 5.2 exemplifieras denna skillnad i utböjningsform för en fritt upplagd balk utsatt för en jämnt utbredd last. Härledda κ -värden för ett antal vanliga belastningsfall ges i Tabell 5.2 och Tabell 5.3.

Tabell 5.1 Grunduttryck för beräkning av κ -värden där $m'(x)$, $M(x)$ samt $u''(x)$ anger massa per längdenhet, moment respektive krökning i snitt x .

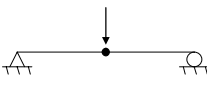
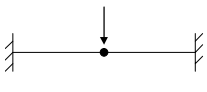
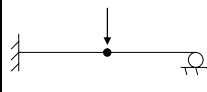

Beskrivning	Transformationsfaktor	Beskrivning	Uttryck
Bevarande av rörelseenergi	$\kappa_m = \int_{x=0}^{x=l} \frac{m'(x) \cdot u(x)^2}{m_b \cdot u_s^2} dx$	Massa	$m_b = \int_{x=0}^{x=l} m'(x) dx$
Bevarande av yttre arbete	$\kappa_F = \int_{x=0}^{x=l} \frac{q(x) \cdot u(x)}{F_b \cdot u_s} dx$	Last	$F_b = \int_{x=0}^{x=l} q(x) dx$
Bevarande av inre arbete	$\kappa_k = \int_{x=0}^{x=l} \frac{M(x) \cdot u''(x)}{F_b \cdot u_s} dx$		



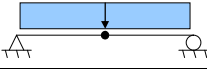
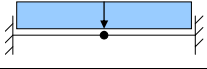
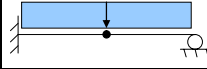
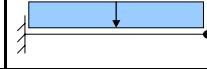
Figur 5.2 Utböjningsform hos en fritt upplagd balk belastad med en jämnt utbredd last när ingående linjärelastisk respektive plastisk respons antas. Vid plastisk respons fås, via flytledsteori, samma utböjningsform oberoende av randvillkor.

Beräkning av impulsbelastad konstruktion

Tabell 5.2 Sammanställning av transformationsfaktorer κ_m , κ_F samt κ_{mF} för balk med varierande randvillkor och belastad med punktlast. Svart punkt markerar systempunktens läge.

	Punktlast			
				
	Utböjningskurva elastiskt fall			
κ_m	0,486	0,371	0,445	0,236
κ_F	1,000	1,000	1,000	1,000
κ_{mF}	0,486	0,371	0,446	0,236
	Utböjningskurva plastiskt fall			
κ_m	0,333	0,333	0,333	0,333
κ_F	1,000	1,000	1,000	1,000
κ_{mF}	0,333	0,333	0,333	0,333

Tabell 5.3 Sammanställning av transformationsfaktorer κ_m , κ_F samt κ_{mF} för balk med varierande randvillkor och belastad med jämnt utbredd last. Svart punkt markerar systempunktens läge.

	Jämnt utbredd last			
				
	Utböjningskurva elastiskt fall			
κ_m	0,504	0,406	0,483	0,257
κ_F	0,640	0,533	0,600	0,400
κ_{mF}	0,787	0,762	0,805	0,642
	Utböjningskurva plastiskt fall			
κ_m	0,333	0,333	0,333	0,333
κ_F	0,500	0,500	0,500	0,500
κ_{mF}	0,667	0,667	0,667	0,667

6 Respons för balk

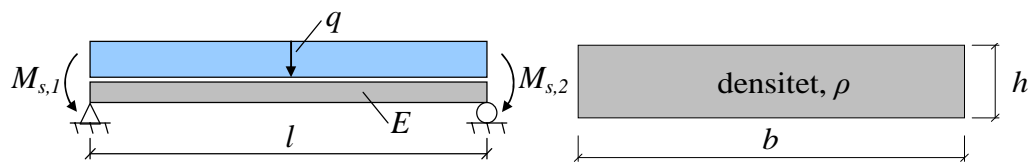
Respons för balk baseras på information i avsnitt 3. Genom att kombinera uttryck i Tabell 3.1 med ekvation (5.11) i avsnitt 5.1 kan uttryck enligt Tabell 6.1 tas fram. För en balk med rektangulärt tvärsnitt enligt Figur 6.1 ges uttryck för ekvivalent statisk last samt resulterande moment i Tabell 6.2.

Vid kapacitetskontroll gäller för elastisk och plastisk respons att $q_{el} \leq q_{rd}$ respektive att $\theta_{pl} \leq \theta_{rd}$, där index *rd* betecknar maximal kapacitet.

Tabell 6.1 Uttryck för att beräkna yttre arbete, inre arbete, förskjutning samt ekvivalent statisk last för balk med linjärelastisk eller plastisk respons som är belastat med en karakteristisk impuls I_k .

Begrepp	Elastisk respons	Plastisk respons
Yttre arbete	$W_y = E_k = \frac{I_k^2}{2\kappa_{mF}m_b}$	$W_y = E_k = \frac{I_k^2}{2\kappa_{mF}m_b}$
Inre arbete	$W_{i,el} = \frac{k_b u_{el}^2}{2}$	$W_{i,pl} = R_b u_{pl}$
Total förskjutning	$u_{tot} = u_{el}$	$u_{tot} = u_{pl}$
Elastisk förskjutning	$u_{el} = \frac{I_k}{\kappa_{mF}m_b\omega_b}$	–
Plastisk förskjutning	–	$u_{pl} = \frac{I_k^2}{2\kappa_{mF}m_b R_b}$
Vinkel-frekvens	$\omega_b = \sqrt{\frac{k_b}{\kappa_{mF}m_b}}$	–
Ekvivalent statisk last	$q_{el} = \sqrt{\frac{EI_b}{\kappa_{mF}m_b \cdot \alpha l^3}} \cdot i$	$q_{pl} = \frac{i^2}{\kappa_{mF} \cdot \rho \cdot l \cdot \theta_{pl}}$
Faktor för randvillkor	$\alpha = \frac{EI_b}{l^3} \cdot \frac{1}{k_b}$	$u_{pl} = \frac{\theta_{pl} l}{2}$

Beräkning av impulsbelastad konstruktion



Figur 6.1 Balk för framtagning av ekvivalent statisk last och moment. Beteckningar $M_{s,1}$ och $M_{s,2}$ representerar de stödmoment som uppstår av balkens aktuella randvillkor.

Tabell 6.2 Ekvivalent statisk last och moment för balk enligt Figur 6.1 med linjärelastisk eller plastisk respons som är belastat med en karakteristisk impuls I_k .

Begrepp	Elastisk respons	Plastisk respons
Ekvivalent statisk last	$q_{el} = \sqrt{\frac{E}{12\kappa_{mF}\alpha \cdot \rho}} \cdot \frac{i \cdot h}{l^2}$	$q_{pl} = \frac{i^2}{2\kappa_{mF} \cdot h \cdot \rho \cdot u_{pl}}$
Ekvivalent moment	$\frac{1}{2}(M_{s,1} + M_{s,2}) + M_f = \frac{i \cdot h}{16\sqrt{3}} \cdot \sqrt{\frac{E}{\kappa_{mF}\alpha \cdot \rho}}$	$\frac{1}{2}(M_{s,1} + M_{s,2}) + M_f = \frac{i^2 \cdot l}{8\kappa_{mF} \cdot \rho \cdot \theta_{pl}}$
Faktor för randvillkor	$\alpha = \frac{EI_b}{l^3} \cdot \frac{1}{k_b}$	$u_{pl} = \frac{\theta_{pl} l}{2}$

De i Tabell 6.2 redovisade uttrycken visar vilken betydelse som olika parametrar har på det resulterande momentet hos en impulsbelastad balk. Motsvarande uttryck för momentet i en statiskt belastad balk fås som

$$\frac{1}{2}(M_{s,1} + M_{s,2}) + M_f = \frac{q \cdot l^2}{8} \quad (6.1)$$

och jämförs detta med uttrycken för ekvivalent moment i Tabell 6.2 framgår en tydlig skillnad. Den stora betydelse som spännvidden har för det resulterande momentet i en statiskt belastad balk – proportionellt mot l^2 – försvinner helt hos en impulsbelastad balk med elastisk respons och minskas till att enbart vara proportionellt mot l för en balk med plastisk respons. Vidare får balkens massa, via densiteten, en betydande inverkan på resulterande moment. För en elastisk balk medför en ökad styvhet – via elasticitetsmodul E och tvärsnittshöjd h – ett ökat resulterande moment medan en stor rotationskapacitet hos en plastisk balk innebär ett minskat moment.