

GEÇMİŞTEN BUGÜNE YAPI ÇELİĞİ VE ÖNEMLİ YAPISAL ÖZELLİKLERİ

Filiz PİROĞLU(*), Erdoğan UZGİDER(*), Murat VURAL(**), Özden B. ÇAĞLAYAN(*)

GİRİŞ

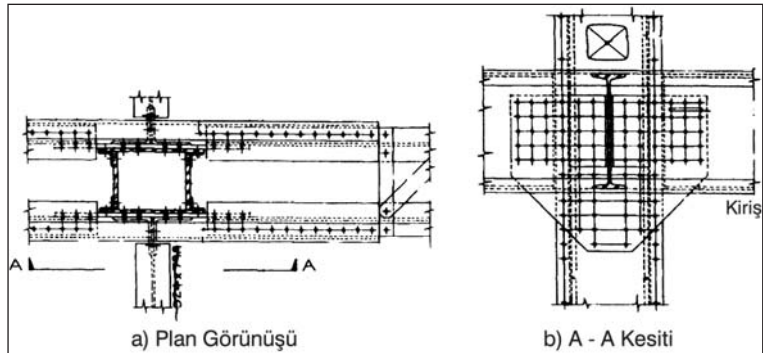
Günümüzde mühendisler, çelik ve profil üretiminde kullanılan teknolojiye hızlı gelişme nedeniyle çok çeşitli kalitede çelik malzemesi ve profil cinslerini tasarımlarında kullanma şansına sahiptir. Yüksek mukavemetli çelik kullanılırken, deformasyon ve titreşim genliği için öngörülen sınırların varlığı akılda tutulmalıdır. Bu yazıda, mühendislere yardımcı olmak amacıyla, en yaygın şekilde kullanılan yapı çelikleri, özellikleri ve önemli uygulamaları verilecektir. Ayrıca, yapı çeliklerinin kaynaklanabilirliğinden bahis edilecektir.

GEÇMİŞTE TASARIM

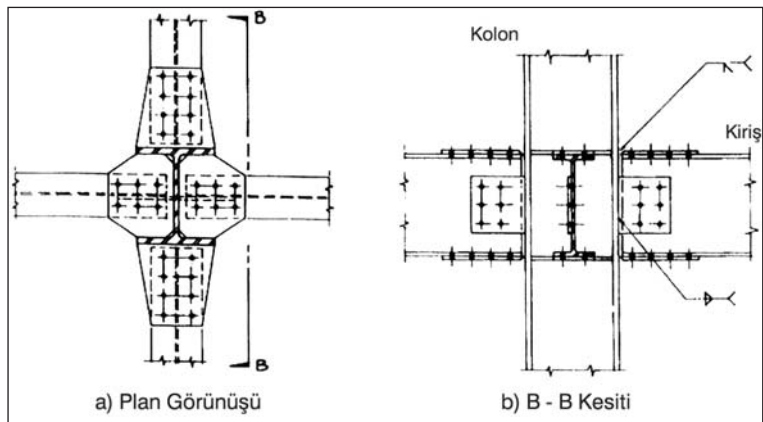
Çeliğin çok katlı yapı konstrüksiyonlarında kullanılışının başlangıcı 1800'li yılların sonlarına rastlar. 1888 senesinde Chicago'da 14 katlı Tacoma Binası ve ardından New York'ta 39.32 metre yüksekliğindeki Tower Building binası inşa edilmiştir. Bu yıllarda çelik yapı tasarımında kullanılan yumuşak karbonlu çeliğin (mild carbon steel), dökme çelik (cast iron) ve dövme çelik (wrought iron) gibi malzemelere göre mukavemet ve süneklik bakımından üstünlükleri keşfedildikçe, gökdelen olarak isimlendirilen iş merkezlerinin kat sayıları giderek artmıştır. Bu durum 1920'lerin sonlarına kadar devam etmiştir.

Daha sonra haddeleme metodlarında meydana gelen teknolojik gelişmeler nedeniyle, büyük profillerin imalatının mümkün hale gelmesinin yanısıra, yüksek hızlı asansörlerin geliştirilmeleri ile çok katlı çelik yapıların inşası daha ekonomik hale gelmiştir. Bunu izleyen dönemlerde haddeha-

neler, daha çok standart olarak adlandırılan korniyer (köşebent), U-profil, I-profil ve çelik levha üretmeye başlamışlardır. Bunun yanısıra, bu ürünleri stoklayarak gelen talepleri de daha hızlı karşılama olanağı bulmuşlardır. Böylece çelik yapı endüstrisinde çok katlı çelik yapılar için gereken büyük kolon ve kiriş kesitlerini oluşturmak için standart olarak adlandırılan profiller kullanılmış ve bunlar perçinleme tekniği ile biraraya getirilerek birleştirilmişlerdir. Öte yandan, bu şekilde oluşturulan yapma profillerin maliyeti bugünün şartlarıyla karşılaştırıldığında oldukça pahalıya malolmuştur. Bunun da nedenini dataylandırma, delik açma, perçinlerin yerine takılması ve montaja



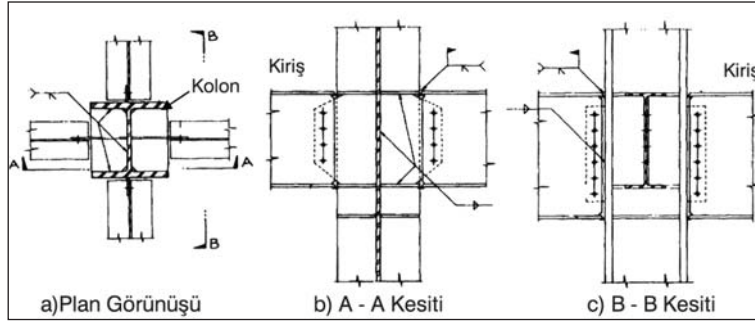
Şekil 1 - 1920'lerden Evvelki Yıllarda Bütünüyle Perçinli Olarak U ve L Profilleri ile Levhalardan Oluşturulmuş Bir Kolon-Kiriş Birleşimi ve Teşkilî



Şekil 2 - 1950-1960 Arası Atölye Kaynaklı, Bulonlu Şantiye Kolon-Kiriş Birleşimi

(*) İTÜ - İnşaat Fakültesi

(**) İTÜ - Makina Fakültesi



Şekil 3 - 1980'lerde kullanılan ve tamamen kaynaklı olarak teşkil edilen Kolon-Kiriş Birleşimi ve Teşkili

Tablo 1 - Çelik Yapıda Kullanılan Bulonların DIN ISO 898 - Kısım1 (4.79) Uyarınca Tanımlanan Malzeme Özellikleri

Bulon Mukavemet Sınıfı (Standart Gösterim)	Malzeme ve Isıl İşlem	Kimyasal Bileşim ve (%) cinsinden ağırlıklar				min. Tavlama Isısı (°C ¹⁾)
		C		P	S	
		min	max	max	max	
3.6 ²⁾	Karbon miktarı düşük çelik	-	0.20	0.05	0.06	-
4.6 ²⁾	Karbon miktarı düşük veya orta çelik	-	0.55	0.05	0.06	-
5.6	Karbon miktarı düşük veya orta çelik	-	0.55	0.05	0.06	-
8.8 ³⁾	Karbon miktarı düşük, sıcak haddelenmiş ve tavllanmış katkılı (örneğin Bor, Mn veya Cr alaşımlı) çelik	0.15	0.35	0.04	0.05	425
8.8 ³⁾	Karbon miktarı orta, sıcak haddelenmiş ve tavllanmış çelik	0.25	0.55	0.04	0.05	450 ¹⁾
10.9 ³⁾	Sıcak haddelenmiş ve tavllanmış, karbon miktarı düşük ve katkılı (örneğin Bor, Mn veya Cr alaşımlı) çelik	0.15	0.35	0.04	0.05	340
10.9 ³⁾	Sıcak haddelenmiş ve tavllanmış karbon miktarı orta veya katkılı (örneğin Bor, Mn veya Cr alaşımlı) çelik	0.25	0.55	0.04	0.05	425
	veya katkılı (örneğin Bor, Mn veya Cr alaşımlı) çelik	—	—			
	veya alaşımlı çelik ⁴⁾	0.20 ⁵⁾	0.55			
12.9 ³⁾	Alaşımlı çelik ⁴⁾	0.20	0.50	0.035	0.035	380

- Her deney öncesinde ve sonrasında DIN ISO 898 - Tablo 2'de tanımlanan minimum ısısın 100 °C'lik değerinin altındaki bir ısı derecesinde ve 30 dakikalık bir sertleşme süresince ölçülen Vicker birim sertlik değerlerinin birbirinden farkı 20'yi geçmemek üzere, tek bir bulonda ölçülen 3 adet sertlik derecesinin ortalama değeri
- Bu mukavemet sınıflarına ait çeliklerde kükürt, fosfor ve kurşun oranları aşağıda görülmektedir :
S : % 0.34 P : % 0.11 Pb : % 0.35
- M20'den büyük bulonlarda yeterli sertlik derecesinin sağlandığının varsayılabilmesi için, malzeme mukavemeti 10.9 olan bulonların kullanılması gerekebilir.
- Alaşımlı çeliklerin içinde aşağıda yer alan metallere biri veya birçoğu yer almalıdır : Krom, Nikel, Molibden, Vanadyum
- Bulonun dış kısmındaki çekirdek bünyesinde martenzit miktarı yaklaşık %90 olmalıdır ki, bu mukavemet sınırları için malzemenin sertliğinin yeterli olduğu varsayılabilir.
- Bu malzemeye karşı gelen ürünlerin mukavemet sınırlarının gösteriminde kullanılan işaretin altı mutlaka çizilmelidir.
- M20'den büyük bulonlar için tavlama ısısının + 425 °C olmasına izin verilir.
- Bazı ülkelerde çelik malzemesinde bu karbon miktarının bulunması halinde, bu tür çeliklere düşük karbonlu çelik (low carbon steel) adı verilmektedir.

karşı gelen büyük maliyetler oluşturmaktadır. Şekil 1, 2 ve 3'de standart profiller ve levhalar kullanılmak suretiyle oluşturulan yapma kiriş ve kolon birleşim teşkilleri verilmektedir. Şekil 1'de tamamen perçinli olarak U ve L profilleri ile levhalardan oluşturulmuş kolon-kiriş birleşimi ve teşkili görülmektedir. Şekil 2 ve 3 ise, günümüzde tamamen kaynaklı olarak teşkil edilen kolon - kiriş birleşim detaylarına kademeli geçişi göstermektedir.

PERÇİNLEME, KAYBOLMUŞ SANAT

Çelik yapılarda kullanılan en eski birleşim aracı olan perçin, 1850'den önceki yıllarda gemi ve kazan üretiminde kullanılmaktaydı. Daha sonraki yıllarda yumuşak çelikten (mild steel) üretilen bulonlar popüler hale gelmiştir. Günümüzde kullanılan yüksek mukavemetli bulonların geliştirilmesinden evvel perçinler, bulonlardan daha güçlü birleşim araçları olarak kabul edilirdi. Bunun nedeni ise, iyi uygulanmış perçinin deliğini tamamen dolduruyor olması ve perçinli birleşimlerde, birleşen yüzeyler arasında sürtünme etkisinin oluşmasıdır. Bunun bir sonucu olarak, ilk çelik çerçeveli çok katlı taşıyıcı sistemlerde perçinli birleşimler kullanılmıştır.

YÜKSEK MUKAVEMETLİ BULON

1950 yıllarından itibaren yüksek mukavemetli bulonların çok katlı yüksek yapılarda perçinlerin yerini alması konusu, ciddi olarak düşünülmeye başlanmıştır. Bu bulonların yumuşak çelikten (mild steel) üretilen bulonlara göre yaklaşık iki misli daha fazla çekme mukavemetine sahip olması nedeniyle, demiryolu endüstrisindeki gelişmelere paralel olarak demiryollarında ve köprülerinde ve ağır makina endüstrisinde kullanımına neden olmuştur. Yüksek mukavemetli bulon uygulamasının en önemli avantajı, bulonlara uygulanabilen dönme momentleri ve bunun sonucu olarak bulon eksenine doğrultusunda ortaya çıkan "öngerme kuvveti" nedeniyle birleştirilen yüzeylere

uyguladığı basınç kuvvetidir. Birleşim yüzeyleri arasında oluşan basınç gerilmeleri ve oluşturduğu sürtünme kuvvetleri, birleşime önemli miktarda yük taşıma kapasitesi kazandırmaktadır. Böylece yükler kirişten kolona veya kirişten kirişe, kayma ve ezilme mekanizmalarından çok sürtünme ile aktarılır.

Bu tür birleşimler için hesap ve teşkil kuralları Alman DAST - Richtlinie 010 (Deutscher Ausschuss für Stahlbau) Standardı'nda ve AISC (American Institute of Steel Construction) Dizayn Standartları'nda verilmiştir.

Günümüzde kullanılan normal bulonlar (malzeme kalitesi 3.6, 4.6, 5.6 ve 8.8) ve yüksek mukavemetli bulonlar (malzeme kalitesi 10.9 ve 12.9) için malzeme özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

GÜNÜMÜZ YAPI ÇELİKLERİ

20. yüzyılın başına kadar iki farklı kalitede çelik malzeme mevcutken, bugün çok çeşitli çelik kaliteleri ve çok amaçlı çelik cinsleri mühendislerin kullanımına sunulmuştur. Günümüzde kullanılan yapı çelikleri, ASTM (American Standard for Testing Materials) Normu'na göre Tablo 2'de bazı önemli özellikleriyle birlikte verilmiştir.

DIN 17100'e göre günümüz yapı çeliklerinin kimyasal bileşimleri ve mukavemet özellikleri Tablo 3 ve 4'de görülmektedir.

MUKAVEMET VE KAYNAKLANABİLİRLİK İÇİN ALAŞIM OLUŞTURMA

Bütün yapı çelikleri, bileşimlerine katılan çeşitli bileşenlerle mukavemet ve kaynaklanabilirlik özelliği kazanırlar. Karbon katkısı, çeliği sertleştirerek çekme mukavemetini artırır. Karbon katkısı arttırıldıkça çeliğin sünekliği ve kaynaklanabilirliği azalır. Çeliğe sertlik kazandırmada mangan de önemli bir katkı sağlar. Az miktarda kullanıldığı takdirde molibden (Mo), krom (Cr), vanadyum (V) ve kolombiyum (veya Nb niobyum) da çeliğe atmosferik korozyon direnci ve tokluk kazandıran katkılardır.

Yapı çeliğinin sertliği mukavemetiyle ilişkili olmasının yanı sıra, kaynaklanabilirlik özelliğinin de göstergesi olması nedeniyle önemlidir. İyi kay-

naklanabilirlik özelliği için, ASTM Standartları'nda katkı maddelerinin katılım miktarları sınırlandırılmıştır.

KARBON EŞDEĞERİ

İngiliz Kaynak Enstitüsü'nden Dr. Winterton, çeliğin kimyasal kompozisyonundaki çeşitli maddelerin mekanik özelliklerine etkisini araştırırken, bunların sertlik üzerine etkisini farketmiştir. Çeliğin sertliği'nin kaynaklanabilirliği ve çatlama özelliği ile olan yakın ilişki nedeniyle Dr. Winterton, yapı çeliklerinin kim-

Tablo 2 - ASTM*) standartlarında tanımlı yapı çelikleri)**

ASTM*) Gösterilişi	Mekanik Özellikler		Kimyasal Bileşenler****) (%)					
	Çekme Mukavemeti	Akma Sınır Gerilmesi	C	Mn	P	S	Si	Cu
LEVHA ve PROFİLLER	t/cm ²	t/cm ²						
A36	4.24 – 5.62	2.53 (min)	0.26-0.29	0.80-1.20	0.04	0.05	0.15-0.40	0.20 (min)
A242 HSLA	4.92 (min)	2.95; 3.23; 3.52	0.15	1.00	0.15	0.05		0.20
A441	4.22 – 4.92	2.81; 2.95; 3.23; 3.52	0.22	0.85-1.25	0.04	0.05	0.40	0.20
A514	7.03 – 9.14	6.33–7.03	0.10-0.21	0.45-1.50	0.035	0.04	0.20-0.80	0.50' ye kadar
A572	4.22 – 5.62	2.95; 3.52; 4.22; 4.57	0.21-0.26	1.35	0.04	0.05	0.15-0.40	
A588	4.43 – 4.92	2.95; 3.23; 3.52	0.10-0.19	0.50-1.35	0.04	0.05	0.15-0.90	0.20-0.50
A709	4.08 – 5.62 6.33 – 7.03 7.73 – 9.14	2.53–3.52 4.92-6.33	0.10-0.25	0.40-1.50	0.035	0.04	0.15-0.80	0-0.50

*) ASTM (American Standard for Testing Materials)

**) A514 dışında bütün çelikler sıcak hadde mamüldür. Ancak, A514 tavlanmış ve temperlenmiştir.

***) Burada yer alan kimyasal elementlerin açıklamaları aşağıda görülmektedir:
C:karbon Mn:manganez P:fosfor Si:silisyum Cu:bakır S:kükürt

Tablo 3 - DIN 17100 Uyarınca Yapı Çeliklerinin Kimyasal Bileşimi

ÇELİK CİNSİ	Deoksidasyon Şekli ¹⁾	Kimyasal Bileşim (kütleel ağırlık %)							Azotu bağlayan elemanların katkısı
		C				P	S	N ²⁾	
		mm cinsinden mamül et kalınlığı							
		≤16	≤100	≤100	>100				
St 37-2	4)	0.17	0.20	0.20		0.05	0.05	0.009	-
USt 37-2	U	0.17	0.20	0.20		0.05	0.05	0.007	-
RSt 37-2	R	0.17	0.17	0.20	*)	0.05	0.05	0.009	-
St 37-3	RR	0.17	0.17	0.17		0.04	0.04	-	evet
St 44-2	R	0.21	0.21	0.22	*)	0.05	0.05	0.009	-
St 44-3	RR	0.20	0.20	0.20		0.04	0.04	-	evet
St 52-3 ⁵⁾	RR	0.20	0.22 ⁶⁾	0.22	*)	0.04	0.04	-	evet

*) istenilen özellikte

1) U: gazı alınmamış (dinlendirilmemiş)

R: gazı alınmış (dinlendirilmiş)

RR: tam gazı alınmış (tam dinlendirilmiş)

2) Eğer her % 0.001 N için verilen en fazla fosfor miktarının altında % 0.005 kadar bir P tutulabildiği takdirde, verilen maksimum değer aşılmasına izin verilir. Azot miktarı ise % 0.012'yi aşmamalıdır.

3) Örneğin, en az % 0.020 A_{1 toplam}

4) Serbest bırakılmış.

5) Silisyum miktarı % 0.55'i ve Manganez miktarı ise % 1.60'ı aşmamalıdır.

6) 16 mm < kalınlık ≤ 30 mm için, maksimum C %0.20.

Tablo 4 - Çeliklerin Karakteristik Mukavemet Özellikleri

Çelik Cinsi	Çekme Mukavemeti	Akma üst sınırı					Kopma uzaması ($L_0 = 5 d_0$)					Bükme deneyi (180°)			Çentik darbe işi ²⁾																											
		mm cinsinden mamül et kalınlığı					mm cinsinden mamül et kalınlığı					mm cinsinden mamül et kalınlığı			mm cinsinden mamül et kalınlığı																											
	$\geq 3^3)$ ≤ 100 N/mm ²	>100	≤ 16	>16	>40	>80	>100	Konum	$\geq 3^3)$	>40	>63	>100	Konum	$\geq 3^3)$	>63	>100	İşlenme ⁴⁾	deney sıcaklığı	≥ 10	>16	>63	>100																				
		N/mm ² (min)					% min					çap ³⁾			J min																											
St 37-2	340 den 470'e kadar	İstenilen Mukavemette	{	235	225	215	205	195	İstenilen Mukavemette	{	boyuna	26	25	24	İstenilen Mukavemette	{	boyuna	1a	1,5 a	İstenilen Mukavemette	SV, NT	+ 20	27	-	-																	
USt 37-2																										235	225	215	215	215	enine	24	23	22	enine	2a	2,5 a	SV, NT	+ 20	27	-	-
R St 37-2																																										
St 37-3																																										
St 44-2	410 dan 540'a kadar	İstenilen Mukavemette	{	275	265	255	245	235	İstenilen Mukavemette	{	boyuna	22	21	20	İstenilen Mukavemette	{	boyuna	2,5 a	3 a	İstenilen Mukavemette	ST, NT	+ 20	27	27	-																	
St 44-3																										275	265	255	245	235	enine	20	19	18	enine	3 a	3,5 a	SV	+ 0	27	27	23
St 52-3	490 dan 630'a kadar	İstenilen Mukavemette	{	355	345	335	325	315	İstenilen Mukavemette	{	boyuna	22	21	20	İstenilen Mukavemette	{	boyuna	2,5 a	3 a	İstenilen Mukavemette	SV	+ 0	27	27	23																	
	NT																									- 20	27	27	23													

- 1) Çekme ve bükme deneylerinden elde edilen değerler boyuna doğrultuda yüklenmiş numuneler kullanıldığında geçerlidir. Genişliği ≥ 600 mm olan yassı mamuller için enine doğrultuda yükleme yapılmış numune testlerinden elde edilen sonuçlar geçerlidir.
- 2) Deney sonuçları üç deneyden elde edilen ortalama değerlerdir. 23 veya 27 J'lik min. ortalama değerler max. %30 aşılabılır.
- 3) Kalınlık < 3 mm için bak DIN 17100 Tablo 2
- 4) SV=Sıcak Şekil Verilmiş, NT=Normalizasyon Tavlama yapılmış
- 5) a=numune kalınlığı

yasal bileşenleri ile sertliği arasındaki ilişkiyi veren bir formül geliştirmiştir. Karbon Eşdeğeri formülünün kaynakta ön ısıtma gereksinimine yol gösteren birçok versiyonları mevcuttur. AWS (American Welding Society) Amerikan Kaynak Birliği Standardı'nca kullanılan Karbon Eşdeğeri (CE) ifadesi aşağıda görülmektedir :

$$CE = C + (Mn + S)/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

Bu ifadedeki kimyasal elementler % olarak yerine konur ve % olarak Karbon Eşdeğeri elde edilir. Verilen bu formülde yer alan kimyasal elementler aşağıda açıklanmaktadır :

C:Karbon Si:Silikon Mo:Molbden Ni:Nikel

Mn:Manganez Cr:Krom V:Vanadyum Cu:Bakır

İyi derecede kaynaklanabilirlik özelliği için karbon eşdeğeri CE'nin %45' in altında kalması gerekir. Orta derecede kaynaklanabilirlik için CE - karbon eşdeğerinin %45 ila %60 arasında olması istenir. Ancak bu son halde, uygun bir ön ısıtma da gerekir.

YÜKSEK MUKAVEMET İÇİN TAVLAMA VE TEMPERLEME

Yüksek mukavemetli çelik elde etmek için katkı maddeleri kullanma dışında, bazı çelik cinslerini tavlarken ve temperleyerek kalitesini iyileştirmek mümkündür. Temperleme çeliğin sünekliğini artırır, fakat çekme mukavemetini azaltır. Isı derecesi ve süre önemlidir. Bu yöntemde önce çelik malzeme,

"ostenit" olarak bilinen kristal yapıya ulaşacak dereceye kadar ısıtılır. Eğer su ile hızlı olarak soğutulursa, kırılgan "martenzit" yapıya sahip olur. Buna karşılık kontrollü olarak yavaş soğutulduğunda, yani temperlendiğinde, çelik iyi bir süneklik kabiliyetine, kırılma dayanımına ve yüksek çekme mukavemetine sahip olur. Günümüzde bu tür çelikler, çeşitli üretici firmalar tarafından çelik dizaynı yapan mühendislerin kullanımına sunulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Çelik Yapılar, H. Deren, E. Uzgider, F. Piroğlu; Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 2003.
- [2] Malzeme Bilimi, K. Onaran; Bilim Teknik Yayınevi, 1993.
- [3] Metaller Şekil Verme, L. Çapan; Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1999.
- [4] Schweißtechnik metallischer Werkstoffe, S. Anık ve L. Dorn, DVS Verlag, Düsseldorf, 1995.
- [5] The Science and Practice of Welding, A.C. Davies, Cambridge University Press, 1993.
- [6] Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, M. Vural; Birsan Yayınevi, İstanbul, 1993.
- [7] Structural Steel Design, L.Tall (editor); Ronald Press Company, 1974.
- [8] Steel Structures : Design and Behavior, Salmon & Johnson, Prentice Hall, 1997.
- [9] Stahlbau Handbuch - für Studium und Praxis, Stahlbau Verlag, Köln, 1982.