

DIN EN 13941-1:2019-12 (D/E)

Fernwärmerohre - Auslegung und Installation von gedämmten Einzel- und Doppelrohr-Verbundsystemen für direkt erdverlegte Heißwasser-Fernwärmenetze - Teil 1: Auslegung; Deutsche und Englische Fassung EN 13941-1:2019

District heating pipes - Design and installation of thermal insulated bonded single and twin pipe systems for directly buried hot water networks - Part 1: Design; German and English version EN 13941-1:2019

Inhalt	Seite
Europäisches Vorwort.....	7
Einleitung	9
1 Anwendungsbereich.....	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe, Einheiten und Symbole	11
3.1 Begriffe	11
3.1.1 Symbole	12
3.1.2 Abkürzungen	17
4 Allgemeine Anforderungen.....	18
4.1 Funktionale Anforderungen	18
4.2 Nutzungsdauer	18
4.3 Voruntersuchungen.....	18
4.4 Bestimmung der Projektklasse.....	20
4.4.1 Risikobewertung	20
4.4.2 Projektklassen.....	20
4.5 Projektdokumentation.....	22
4.5.1 Allgemeines.....	22
4.5.2 Betriebsdaten	23
4.5.3 Daten bezüglich des Rohrleitungssystems.....	23
4.6 Trassenauswahl und Positionierung der Rohre.....	25
4.6.1 Mindestabstände zwischen parallelen Rohren	25
4.6.2 Parallele Aufgrabungen und Arbeiten von Dritten	26
4.6.3 Mindestabstände zwischen Fernwärmerohrleitungen und unterirdischen Strukturen.....	26
4.7 Entlüftung und Entleerung.....	27
4.8 Armaturen	27
4.9 Beschaffung von Werkstoffen.....	27
4.9.1 Hersteller der Rohrleitungskomponenten	27
4.10 Qualitätssicherung.....	27
4.10.1 Allgemeines	27
4.10.2 Auslegungsphase	28
4.10.3 Ausführungsphase	28
5 Anforderungen für Komponenten und Werkstoffe.....	29
5.1 Grundanforderungen	29
5.2 Stahlmediumrohrteile	29
5.2.1 Allgemeines	29
5.2.2 Spezifikation	29
5.2.3 Kennwerte für Stahl.....	30
5.2.4 Spezifische Anforderungen an Rohrbögen und T-Stücke.....	31
5.2.5 Spezifische Anforderungen für kleine Winkelabweichungen	32

5.2.6	Spezifische Anforderungen für Reduzierstücke.....	33
5.3	Polyurethan-Schaumstoffwärmedämmung	33
5.4	Ummantelung	33
5.5	Werkstoffe für Ummantelungen und die Wärmedämmung von Montagestößen.....	33
5.6	Dehnpolster	33
5.6.1	Allgemeines.....	33
5.6.2	Werkstoffe	34
5.6.3	Steifigkeitseigenschaften.....	34
5.6.4	Auswahl der erforderlichen Dicke der Dehnpolster	35
5.6.5	Kennzeichnung	35
5.7	Armaturen und Zubehör	36
5.7.1	Allgemeine Anforderungen.....	36
5.7.2	Kennzeichnung und Dokumentation	36
6	Auslegung und Berechnung	36
6.1	Allgemeines Verfahren.....	36
6.2	Rohrleitungskomponenten, Bereiche, Bedingungen und Schnittstellen, die in die Analyse einfließen müssen.....	37
6.2.1	Systemkomponenten	37
6.2.2	Bereiche, die spezifische Analysen erfordern	38
6.2.3	Besondere Bedingungen	38
6.2.4	Schnittstellen.....	39
6.3	Vereinfachtes Analyseverfahren.....	39
6.4	Einwirkungen	40
6.4.1	Allgemeines.....	40
6.4.2	Klassifizierung der Einwirkungen und Lastkombinationen	40
6.4.3	Temperaturschwankungen.....	43
6.4.4	Oberlast durch den Boden.....	43
6.4.5	Verkehrslasten.....	43
6.5	Globale Analyse und Wechselwirkung zwischen Rohr und Boden	45
6.5.1	Allgemeines.....	45
6.5.2	Modell für die Wechselwirkung zwischen Rohr und Boden.....	46
6.5.3	Rohr-Boden-Reibung (axial)	47
6.5.4	Horizontale Bodenreaktionskraft (lateral)	50
6.5.5	Kombinierte laterale Steife des Stahlmediumrohres, des PUR, der Dehnpolster und des Bodens	55
6.5.6	Bodeneigenschaften	57
6.5.7	Wärmeausdehnung von vergrabenen Rohrabschnitten	57
6.5.8	Rohrleitungssysteme mit Einmalkompensatoren (EKO).....	60
6.5.9	Spezifische Anforderungen an vertikale und horizontale Stabilität	62
6.5.10	Parallelaufgrabungen	65
6.5.11	Anforderungen für weiche Böden und Setzungsbereiche.....	66
6.5.12	Spezifische Auslegungsanforderungen für überirdische Rohrleitungen mit werkmäßig hergestellten Rohr- und Verbundformstücken	66
6.5.13	Verlegung in Schutzrohren	67
6.6	Bestimmung von Spannungen und Dehnungen	67
6.6.1	Allgemeines.....	67
6.6.2	Querschnittsanalysen, Stahl	67
6.6.3	Bewertung basierend auf einer resultierenden (äquivalenten) Spannung	70
6.6.4	Spannungen und Ovalisierung durch von oben wirkende Lasten.....	70
6.6.5	Auslenkung.....	73
6.6.6	Bögen.....	74
6.6.7	T-Stücke.....	74
6.6.8	Einmalkompensatoren (EKO)	77
6.6.9	PUR und Ummantelung	78
6.7	Ermüdungsanalysen.....	79
6.7.1	Allgemeines.....	79
6.7.2	Lastwechsel	80

6.8	Weitere Maßnahmen.....	82
7	Grenzzustände.....	83
7.1	Allgemeines.....	83
7.2	Grenzzustände von Stahlmediumrohren.....	83
7.2.1	Allgemeines.....	83
7.2.2	Grenzzustand A: Versagen aufgrund plastischer Verformung.....	84
7.2.3	Grenzzustand B: Versagen aufgrund von Ermüdungsbruch.....	87
7.2.4	Grenzzustand C: Versagen aufgrund „Instabilität des Systems oder von dessen Teilen“.....	89
7.2.5	Grenzzustand D: Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	92
7.2.6	Übersicht über die Grenzzustände für Stahl.....	92
7.3	Grenzzustände für PUR und PE.....	95
7.3.1	Druckspannung.....	95
7.3.2	Grenzzustand für Schubspannungen.....	95
7.3.3	Grenzzustand für PE.....	95
7.4	Grenzzustand für Armaturen.....	96
Anhang A (normativ) Auslegung von Rohrleitungsteilen unter Innendruck.....		97
A.1	Allgemeines.....	97
A.2	Gerade Rohre und Bögen.....	97
A.2.1	Gerade Rohre.....	97
A.2.2	Bögen.....	97
A.3	T-Stücke und Abzweige.....	98
A.3.1	Allgemeine Aspekte und Einschränkungen.....	98
A.3.2	Verstärkung.....	98
A.4	Reduzierstücke und Verlängerungen.....	101
A.5	Kappen.....	102
A.5.1	Allgemeines.....	102
A.5.2	Korbbögenförmige Kappe, erforderliche Mindestwanddicke bezogen auf den Innendruck.....	102
A.5.3	Gerade zylindrische Ummantelungen.....	102
Anhang B (informativ) Bodeneigenschaften und geotechnische Parameter für die Analyse von Rohr-Boden Wechselwirkungen.....		103
B.1	Allgemeine Anforderungen.....	103
B.2	Geotechnische Parameter für die globale Analyse (Wechselwirkung zwischen Rohr und Boden).....	103
B.3	Geotechnische Studie.....	104
B.3.1	Feldstudie.....	104
B.3.2	Typische Werte in Bezug auf Mittelwerte.....	104
B.3.3	Untersuchung der Grenzflächenreibung.....	105
B.4	Kennwerte für Bodeneigenschaften.....	105
B.4.1	Typische Werte in Bezug auf Mittelwerte.....	105
B.4.2	Räumliche Variation der Bodeneigenschaften.....	106
B.5	Modellunsicherheit bei Bestimmung geotechnischer Parameter.....	107
Anhang C (informativ) Flexibilität und Spannungserhöhungen von Rohrkomponenten.....		109
C.1	Allgemeines.....	109
C.2	Flexibilitätsfaktoren für Rohrkomponenten.....	109
C.2.1	Bögen.....	109
C.2.2	T-Stücke.....	110
C.2.3	Andere Komponenten.....	110
C.3	Spannungserhöhung in Rohrelementen.....	110
C.3.1	Stumpfschweißverbindungen.....	110
C.3.2	Bögen.....	110
C.3.3	T-Stücke.....	112
C.3.4	Kleine Winkelabweichungen.....	114
C.3.5	Reduzierstücke.....	115
Anhang D (informativ) Berechnung der Wärmeverluste.....		117

D.1	Allgemeines.....	117
D.2	Wärmeverlust von wärme gedämmten Rohren.....	117
D.2.1	Paar von Einzelrohren – Berechnung des spezifischen Wärmeverlustes	117
D.2.2	Symmetrische und (a) antisymmetrische Wärmeverlustfaktoren nach Multipol-Gleichungen nullter Ordnung:	118
D.2.3	Mittels einer Annäherung nullter Ordnung für die (s) symmetrischen und (a) antisymmetrischen Probleme kann die Wärmebeständigkeit berechnet werden:	118
D.2.4	Spezifischer Wärmeverlust von Rohren	119
D.2.5	Doppelrohre — Berechnung des spezifischen Wärmeverlustes	119
D.2.6	Temperatur von Rohren	120
D.2.7	(s) symmetrische und (a) antisymmetrische Wärmeverlustfaktoren nach Multipol- Gleichungen erster Ordnung:	121
D.2.8	Spezifischer Wärmeverlust von Rohren	122
Anhang E (informativ) Spezifische Anforderungen für Doppelrohrsysteme		123
E.1	Allgemeines.....	123
E.2	Komponenten und Werkstoffe.....	123
E.2.1	Doppelrohrsystem	123
E.2.2	Fixierungsplatten.....	124
E.3	Max. erlaubte Spannungen für spezifische Elemente von Doppelrohrsystemen	124
E.3.1	Projektklassen	124
E.3.2	Bodenreibung, Reibungslänge von Doppelrohren und Rohrausdehnung.....	125
E.3.3	Axiale Spannung in Vorlauf- und Rücklaufstahlmediumrohren.....	127
E.3.4	Maße der Fixierungsplatten	129
E.3.5	Dehngrenze der Fixierungsplatte	133
E.3.6	Nachweis der Schweißnähte.....	134
E.3.7	Vertikale und horizontale Stabilität von Doppelrohrsystemen im Boden	137
E.3.8	Spannungserhöhungsfaktoren für Bögen, T-Stücke	137
E.3.9	Ermüdung	137
E.4	Verlegungsanforderungen	137
E.4.1	Verlegeverfahren	137
E.4.2	Abschlüsse von geraden Rohrabschnitten.....	137
E.4.3	Einsatz von gedämmten Doppelrohrarmaturen	137
E.4.4	Einsatz von Übergangselementen (Doppelrohr — Einzelrohr)	137
E.4.5	Anforderungen hinsichtlich des Schweißens und Prüfens von Stahlrohrmediumverbindungen	137
Anhang F (normativ) Druckprüfung von Dehnpolstern.....		138
Anhang G (informativ) Grundsätze zur Bestimmung der Biegemomente und Axialkräfte zur Prüfung von Fernwärmearmaturen.....		140
G.1	Einleitung.....	140
G.2	Allgemeine Erwägungen zur Bestimmung der Prüfwerte für Biegemomente	140
G.3	Bestimmung von Biegemomenten aus Bodensetzungen	141
G.4	Berechnungsergebnisse und Bewertung.....	142
G.5	Beständigkeit gegenüber axialen Kräften.....	144
Anhang H (informativ) Anwendungsbereich der EN 13941 in Bezug auf die Druckgeräterichtlinie (PED), 2014/68/EU, 15. Mai 2014.....		145
H.1	Allgemeines.....	145
H.2	Leitlinien	146
Anhang I (informativ) Qualitätssicherungsprogramm und Dokumentation		149
Anhang J (informativ) Ummantelung: Gleichungen für Miner-Regel.....		152
Anhang K (informativ) Festigkeitsberechnung beim horizontalen Richtbohren		154
K.1	Einleitung.....	154
K.2	Bestimmung der Zugkräfte	155
K.2.1	Zugkraft, resultierend aus dem Rollensystem.....	155
K.2.2	Zugkraft, resultierend aus einem geraden Abschnitt des Bohrloches.....	156

K.2.3	Zugkraft, resultierend aus gebogenen Abschnitten des Bohrloches	157
K.2.4	Gesamtzugkraft.....	159
K.3	Bestimmung des Längsbiegemoments	160
K.4	Bestimmung des umlaufenden Biegemoments durch Oberlast.....	160
K.5	Bestimmung der Spannung.....	160
K.6	Bewertung eines möglichen Zusammenbruchs der Rohrleitung aufgrund des externen Bohrspülungsdrucks oder des externen Grundwasserdrucks (Risiko des Ausknickens)	160
K.7	Bewertung des maximalen Bodendrucks auf dem PUR und der Ummantelung.....	161
K.8	Bestimmung des höchsten zulässigen Drucks im Bohrloch	161
K.9	Vertikale Bodenlast nach Fertigstellung des horizontalen Richtbohrens (HDD)	161
K.9.1	Einleitung.....	161
K.9.2	Wölbung	161
K.9.3	Berechnungsverfahren für vertikale Bodenlasten (homogene Bodenmasse)	161
K.9.4	Berechnungsverfahren zur Bestimmung des horizontalen Stützdrucks (mit reduzierter vertikaler Last)	163
	Literaturhinweise	164

Contents

Page

European foreword.....	8
Introduction	10
1 Scope.....	11
2 Normative references.....	11
3 Terms and definitions, units and symbols	12
3.1 Terms and definitions	12
3.1.1 Symbols.....	13
3.1.2 Abbreviations	19
4 General requirements	19
4.1 Functional requirements.....	19
4.2 Service life.....	19
4.3 Preliminary investigations	20
4.4 Determination of project class	21
4.4.1 Risk assessment.....	21
4.4.2 Project classes	21
4.5 Design documentation	23
4.5.1 General.....	23
4.5.2 Operational data.....	24
4.5.3 Data related to the pipe system	24
4.6 Route selection and positioning of the pipes	26
4.6.1 Minimum distances between parallel pipes.....	26
4.6.2 Parallel excavations and works of third parties	27
4.6.3 Minimum distance between district heating pipes and underground structures	27
4.7 Venting and draining	27
4.8 Valves.....	27
4.9 Procurement of materials	28
4.9.1 Manufacturer of pipeline components.....	28
4.10 Quality control	28
4.10.1 General.....	28
4.10.2 Design phase	28
4.10.3 Installation phase.....	28
5 Requirements for components and materials.....	29
5.1 Basic requirements	29
5.2 Steel service pipe components.....	29
5.2.1 General.....	29
5.2.2 Specification.....	30
5.2.3 Characteristic values for steel	30
5.2.4 Specific requirements for bends and T-pieces.....	31
5.2.5 Specific requirements for small angular deviations	32
5.2.6 Specific requirements for reducers.....	33
5.3 Polyurethane foam thermal insulation.....	33
5.4 Casing	33
5.5 Materials for casing and thermal insulation of field joints.....	33
5.6 Expansion cushions.....	33
5.6.1 General.....	33
5.6.2 Materials.....	34

5.6.3	Stiffness properties.....	34
5.6.4	Selecting required thickness of expansion cushions.....	35
5.6.5	Marking.....	35
5.7	Valves and accessories.....	35
5.7.1	General requirements.....	35
5.7.2	Marking and documentation.....	36
6	Design and calculation.....	36
6.1	General procedure.....	36
6.2	Pipeline components, areas, conditions and interfaces to be included in the analyses.....	37
6.2.1	Components.....	37
6.2.2	Areas requiring specific analyses.....	38
6.2.3	Special conditions.....	38
6.2.4	Interfaces.....	38
6.3	Simplified analysis procedure.....	39
6.4	Actions.....	39
6.4.1	General.....	39
6.4.2	Classification of actions and load combinations.....	39
6.4.3	Temperature variations.....	41
6.4.4	Top load from soil.....	42
6.4.5	Traffic loads.....	42
6.5	Global analysis and pipe-soil interaction.....	44
6.5.1	General.....	44
6.5.2	Modelling pipe-soil interaction.....	44
6.5.3	Pipe to soil friction (axial).....	46
6.5.4	Horizontal soil reaction (lateral).....	48
6.5.5	Combined lateral stiffness of steel service pipe, PUR, expansion cushions and soil.....	53
6.5.6	Soil properties.....	55
6.5.7	Thermal expansion of buried pipe sections:.....	55
6.5.8	Pipe systems with single use compensators (SUC's).....	58
6.5.9	Specific requirements for vertical and horizontal stability.....	60
6.5.10	Parallel excavations.....	63
6.5.11	Requirements for soft soils and settlement areas.....	64
6.5.12	Specific design requirements for above-ground pipelines with factory made pipe and fitting assemblies.....	64
6.5.13	Insertion into protection pipe.....	64
6.6	Determination of stresses and strains.....	65
6.6.1	General.....	65
6.6.2	Cross section analyses, steel.....	65
6.6.3	Assessment on the basis of a resultant (equivalent) stress.....	66
6.6.4	Stresses and ovalization from top load.....	67
6.6.5	Deflection.....	69
6.6.6	Bends.....	69
6.6.7	T-pieces.....	70
6.6.8	Single Use Compensators (SUC's).....	73
6.6.9	PUR and casing.....	74
6.7	Fatigue analyses.....	75
6.7.1	General.....	75
6.7.2	Action cycles.....	75
6.8	Further actions.....	77
7	Limit states.....	77
7.1	General.....	77
7.2	Limit states for service pipes of steel.....	78

7.2.1	General.....	78
7.2.2	Limit state A: Failure caused by plastic deformation.....	78
7.2.3	Limit state B: Failure caused by fatigue	81
7.2.4	Limit state C: Failure caused by instability of the system or part of it.....	84
7.2.5	Limit state D: Serviceability limit state	86
7.2.6	Survey of limit states for steel	86
7.3	Limit states for PUR and PE	89
7.3.1	Compressive stress.....	89
7.3.2	Limit state for shear stress	89
7.3.3	Limit state for PE	89
7.4	Limit states for valves.....	89
Annex A (normative) Design of piping components under internal pressure.....		91
A.1	General.....	91
A.2	Straight pipe and bends	91
A.2.1	Straight pipes.....	91
A.2.2	Bends	91
A.3	T-pieces and branch connections.....	92
A.3.1	General aspects and limitations	92
A.3.2	Reinforcement.....	92
A.3.2.1	General.....	92
A.3.2.2	Dissimilar material of shell and reinforcement.....	92
A.3.2.3	Thickness ratio	93
A.3.2.4	Calculation method for reinforcement area.....	93
A.3.2.5	Reinforcement by increased wall thickness.....	93
A.3.2.6	Reinforcement by compensating plates.....	94
A.4	Reducers and extensions.....	95
A.5	Dished ends	95
A.5.1	General.....	95
A.5.2	Ellipsoidal Dished Head Minimum required wall thickness for internal pressure ...	96
A.5.3	Straight cylindrical shells.....	96
Annex B (informative) Soil properties and geotechnical parameters for pipe/soil interaction analyses.....		97
B.1	General requirements	97
B.2	Geotechnical parameters for global analysis (pipe-soil interaction)	97
B.3	Geotechnical Study	98
B.3.1	Field study	98
B.3.2	Typical values, referred to mean value.....	98
B.3.3	Investigation of interface friction	98
B.4	Characteristic values for soil properties	98
B.4.1	Typical values, referred to mean value.....	98
B.4.2	Spatial variation of soil properties	99

B.5	Model uncertainty when determining geotechnical parameters.....	100
Annex C (informative)	Flexibility and stress concentration of pipe components.....	102
C.1	General	102
C.2	Flexibility factors for pipe components.....	102
C.2.1	Bends.....	102
C.2.2	T-pieces	102
C.2.3	Other components.....	103
C.3	Stress concentration in pipe elements.....	103
C.3.1	Butt welds.....	103
C.3.2	Bends.....	103
C.3.2.1	Stress concentration factors for bends: Simplified method.....	103
C.3.2.2	Stress concentration factors for bends: exact calculation	104
C.3.3	T-pieces	105
C.3.3.1	General	105
C.3.4	Small angular deviations	107
C.3.5	Reducers	108
Annex D (informative)	Calculation of heat losses	110
D.1	General	110
D.2	Heat losses of thermal insulated pipes	110
D.2.1	Pair of single pipes — calculation of specific heat loss	110
D.2.2	symmetrical and (a) antisymmetrical heat loss factors according to zero-order multipole formulae:	111
D.2.3	Using Zero-order approximation for (s) symmetrical and (a) antisymmetrical problem the heat resistance can be calculated:	111
D.2.4	specific heat loss of pipes.....	112
D.2.5	Twin Pipes — calculation of specific heat loss.....	112
D.2.6	temperatures of pipes.....	113
D.2.7	(s) symmetrical and (a) antisymmetrical heat loss factors according to first-order multipole formula:	114
D.2.8	specific heat loss of pipes.....	115
Annex E (informative)	Specific requirements for twin pipe systems	116
E.1	General	116
E.2	Component and materials	116
E.2.1	Twin Pipe assembly	116
E.2.2	Fixing bars	117
E.3	Max. allowable stresses for specific twin pipe system elements:	118
E.3.1	Project classes.....	118
E.3.2	Soil friction, twin pipe friction length and pipe expansion	118

E.3.3	Axial stress in the flow and return steel service pipes	120
E.3.4	Dimensions of the fixing bars	122
E.3.4.1	General.....	122
E.3.4.2	loads on the fixing bars type A	123
E.3.4.3	loads on the fixing bar type B	124
E.3.5	Stress proof of the fixing bar	126
E.3.6	Proof of the welds	127
E.3.7	Vertical and horizontal stability of the twin pipe assembly in the soil	129
E.3.8	Stress concentration factors for bends, T-pieces.....	129
E.3.9	Fatigue.....	129
E.4	Installation requirements.....	130
E.4.1	Installation methods:.....	130
E.4.2	Straight pipe section terminations:.....	130
E.4.3	Use of insulated twin pipe valves:.....	130
E.4.4	Use of transition assembly (twin pipe — single pipe):.....	130
E.4.5	requirements for welding and testing of steel service pipe joints:.....	130
Annex F (normative)	Compressive testing of expansion cushions.....	131
Annex G (informative)	Principles for determination of bending moments and axial forces for testing of district heating valves.....	133
G.1	Introduction.....	133
G.2	General considerations for determination of test values for bending moments.....	133
G.3	Determination of bending moments from soil settlements	134
G.4	Calculation results and evaluation	134
G.5	Resistance to axial forces	137
Annex H (informative)	Scope of EN 13941 in relation to Pressure Equipment Directive (PED), 2014/68/EU, May 15th, 2014	138
H.1	General.....	138
H.2	Guidelines	139
Annex I (informative)	Quality control program and documentation.....	142
Annex J (informative)	Casing: Formulas for Miner Rule	145
Annex K (informative)	Strength calculation of horizontal directional drillings.....	147
K.1	Introduction.....	147
K.2	Determination of pulling forces.....	148
K.2.1	Pulling force, resulting from the roller system	148
K.2.2	Pulling force, resulting from a straight section of borehole.....	148
K.2.3	Pulling force, resulting from curved sections of the borehole	150
K.2.3.1	General friction force.....	150
K.2.3.2	Friction resulting from elastic soil reaction in curved borehole sections.....	150

K.2.3.3 Friction due to the axial pulling force in curved borehole sections.....	151
K.2.3.4 Total force in a curved section.....	152
K.2.4 Total pulling force	152
K.3 Determination of the longitudinal bending moment	153
K.4 Determination of the circumferential bending moment from top load.....	153
K.5 Determination of stress.....	153
K.6 Assessment of possible collapse of the pipeline due to external drilling fluid pressure or external ground water pressure (risk of buckling)	153
K.7 Assessment of maximum soil pressure on PUR and casing.....	153
K.8 Determination of maximum allowable pressure in the bore hole	154
K.9 Vertical soil load after completion of horizontal directional drilling (HDD)	154
K.9.1 Introduction	154
K.9.2 Arching	154
K.9.3 Calculation method for vertical soil load (homogeneous soil mass)	154
K.9.4 Calculation method for horizontal support pressure (with reduced vertical load)	155
Bibliography	156