A. ÚVOD DO ANALÝZY VÍCEPODLAŽNÍCH A HALOVÝCH OBJEKTŮ

autoři: Doc. Ing. Václav Brabec, CSc., Ing. Antonín Hruška, CSc.

1. ÚVOD 3

2. ÚVOD DO KONSTRUKČNÍ FYZIKY STAVEB 5

2.1 TECHNICKO FYZIKÁLNÍ ANALÝZA STAVEB 5
2.1.1 Uplatnění konstrukční fyziky staveb 5
2.1.2 Složka stavební mechaniky 6
2.1.3 Složka stavební fyziky a klimatologie 6
2.1.4 Složka stavebních hmot 7
2.1.5 Obecná formulace problému 7
2.2 ÚČINKY NESILOVÝCH VLIVŮ NA STAVEBNÍ HMOTY 8
2.2.1 Vliv teploty 8
2.2.2 Vliv vlhkosti 10
2.2.3 Vliv smršťování 11
2.2.4 Chemické vlivy 12
2.3 PŮSOBENÍ NESILOVÝCH VLIVŮ NA STAVEBNÍ KONSTRUKCE 13
2.3.1 Vznik napětí a přetvoření 13
2.3.2 Statická analýza konstrukcí zatížených nesilovými vlivy 15

3. ZATÍŽENÍ POZEMNÍCH STAVEB 18

3.1 DEFINICE ZATÍŽENÍ A JEHO ZDROJE 18
3.2 TŘÍDĚNÍ ZATÍŽENÍ 19
3.3 MODELY ZATÍŽENÍ 21
3.4 VÝZNAMNÁ ZATÍŽENÍ 22
3.5 KOMBINACE ZATÍŽENÍ 27

B. KONSTRUKČNĚ STATICKÁ ANALÝZA VÍCEPODLAŽNÍCH STAVEB

autoři: Doc. Ing. Václav Brabec, CSc., Ing. Antonín Hruška, CSc.

1. PROBLÉMY NAVRHOVÁNÍ VÍCEPODLAŽNÍCH STAVEB 29

2. SPOLUPŮSOBENÍ KONSTRUKČNÍCH PRVKŮ 31

2.1 BUDOVA JAKO PROSTOROVÝ SYSTÉM 31
2.2 DŮSLEDKY SPŘAŽENÍ SVISLÝCH PRVKŮ PRO TYPICKÁ ZATÍŽENÍ 32

3. KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY VÍCEPODLAŽNÍCH BUDOV 39

3.1 DEFINICE KONSTRUKČNÍHO SYSTÉMU 39
3.2 KLASIFIKACE KONSTRUKČNÍCH SYSTÉMŮ VÍCEPODLAŽNÍCH BUDOV 39
3.3 CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI POUŽÍVANÝCH KONSTRUKČNÍCH SYSTÉMŮ 40
3.3.1 Podélný systém 42
3.3.2 Příčný systém 44
3.3.3 Obousměrný systém 46
3.3.4 Jádrový systém 47
3.3.5 Obvodový systém 48
3.3.6 Sendvičový systém 49

4. POŽADAVKY NA KONSTRUKČNÍ PRVKY A NA JEJICH ROZMÍSTĚNÍ 51

4.1 Funkce konstrukčních prvků 51
4.2 Možnosti spřažení svislých prvků 53
4.3 Rozmístění svislých prvků v půdorysu budovy 54

5. VYŠETŘOVÁNÍ NAMÁHÁNÍ NOSNÉ KONSTRUKCE 56

5.1 Základní problémy 56
5.2 Modely konstrukce 56

6. MATERIÁLOVÉ VARIANTY KONSTRUKČNÍCH SYSTÉMŮ 61

6.1 Volba materiálových variant 61
6.2 Vliv technologie provádění 62
6.3 Základní materiálově-technické uspořádání nosné konstrukce 62

7. ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ 63

7.1 Specifické problémy zděných konstrukcí 63
7.2 Konstrukční systémy 64
7.3 Zajištění stability a prostorové tuhosti 64
7.4 Stropní konstrukce 64

8. ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ 65

8.1 Charakteristika technologie 65
8.2 Základní konstrukčně-statická schémata 65
8.3 Tuhost a stabilita nosného systému 66

9. ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ BETONOVÝCH MONOLITICKÝCH KONSTRUKCÍ 67

9.1 Charakteristika technologie 67
9.2 Uspořádání nosného systému 67
9.3 Problémy obvodových plášťů a příček 67

10. ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ PREFABRIKOVANÝCH BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ 68

10.1 Vlastnosti prefabrikovaných konstrukcí 68
10.2 Stěnové montované konstrukce 69
10.3 Stropní konstrukce 73
10.4 Sloupové montované konstrukce 76

11. ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ 79

11.1 Dřevěné unifikované skelety a prostorové jednotky 79
11.2 Akustika, požární ochrana 80

C. KONSTRUKČNĚ STATICKÁ ANALÝZA HALOVÝCH STAVEB

autoři : Doc. Ing. Zdeněk Bill, DrSc., Ing. Vladimír Žďára, CSc.

1. ÚVOD K NAVRHOVÁNÍ NOSNÉ KONSTRUKCE HALOVÉ A VELKOOBJEMOVÉ STAVBY 82

1.1 Funkce a součásti a specifika halových a velkoobjemových objektů 82
1.1.1 Funkce halových objektů 82
1.1.2 Specifika halového objektu 82
1.1.3 Nosná konstrukce a její subsystémy 82
1.2 Vývoj konstrukčních systémů halových objektů 83
1.2.1 Počátky civilizace 83
1.2.2 Egypt, Mezopotámie, Řecko (starověk) 83
1.2.3 Řím 83
1.2.4 Románská a gotická architektura (středověk) 84

1.2.5 Renesance, barok (novověk) ... 84
1.2.6 Novodobé kovové konstrukce (19 a 20. století) ... 85
1.2.7 Novodobé betonové konstrukce (19 a 20. století) ... 86
1.2.8 Novodobé dřevěné konstrukce (19 a 20. století) ... 86

2. KONSTRUKČNĚ STATICKÁ ANALÝZA KONSTRUKČNÍCH HALOVÝCH SYSTÉMŮ ... **87**

2.1 STATICKÉ PŮSOBENÍ OHÝBANÉ, TLAČENÉ A TAŽENÉ KONSTRUKCE ... 87
2.1.1 Rovnováha účinku vnějšího zatížení a vzdorujících sil ... 87
2.2 OHÝBANÁ KONSTRUKCE (NOSNÍK) ... 87
2.2.1 Nosník - napjatost průřezu ... 87
2.2.2 Nosník s hmotou koncentrovanou do pásnic ... 88
2.2.3 Porovnání efektivnosti tvarů průřezu ... 88
2.2.4 Porovnání tuhosti alternativ smykového prostředí nosníku ... 89
2.3 TLAČENÁ KONSTRUKCE ... 90
2.3.1 Působení ideální obloukové konstrukce ... 90
2.3.2 Působení reálné obloukové konstrukce ... 90
2.3.3 Podmínky vzniku tlačené konstrukce ... 91
2.3.4 Vzpěr obloukové konstrukce ... 91
2.3.5 Účinnost obloukové konstrukce ... 92
2.4 TAŽENÁ STŘEŠNÍ KONSTRUKCE ... 93
2.4.1 Působení ideální visuté konstrukce ... 93
2.4.2 Porovnání účinnosti základních typů konstrukcí ... 93
2.5 PROSTOROVÉ USPOŘÁDÁNÍ NOSNÉ KONSTRUKCE A JEJÍ OPĚRNÝ SYSTÉM ... 94
2.5.1 Jednostupňová stropní konstrukce - deska ... 94
2.5.2 Vícestupňová konstrukce zastřešení ... 94
2.6 OPĚRNÝ SYSTÉM KONSTRUKCE ZASTŘEŠENÍ (OHÝBANÉ, TLAČENÉ A TAŽENÉ) ... 95
2.6.1 Význam a funkce opěrného systému ... 95
2.6.2 Zachycení vodorovné síly v opěrném systému ... 95
2.6.3 Otevřené opěrné systémy ... 96
2.6.4 Uzavřené opěrné systémy ... 97
2.6.5 Spojité opěrné systémy ... 97
2.7 PROSTOROVÁ TUHOST NOSNÉ KONSTRUKCE HALOVÉHO OBJEKTU ... 98
2.7.1 Vodorovná zatížení ... 98
2.7.2 Tuhost částí a jejich spolupůsobení ... 98
2.7.3 Konstrukce zajišťující spolupůsobení vazeb opěrného systému ... 99
2.7.4 Prostorové působení konstrukce ... 99
2.8 POROVNÁNÍ EFEKTIVNOSTI KONSTRUKCÍ OHÝBANÝCH, TLAČENÝCH A TAŽENÝCH ... 100
2.8.1 Porovnání efektivnosti konstrukcí ... 100
2.8.2 Optimalizace nosné konstrukce zastřešení a jejího opěrného systému ... 101
2.9 KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY PŘEVÁŽNĚ OHÝBANÉ ... 101
2.9.1 Vymezení pojmu převážně ohýbané soustavy ... 101
2.10 VAZNÍKOVÁ SOUSTAVA ... 102
2.10.1 Vazník a jeho konstrukčně-statická podstata ... 102
2.10.2 Spojité nosníkové konstrukce, nosníky s převislými konci - princip spojitého podepření ... 103
2.10.3 Předpětí nosníkových prvků ... 103
2.10.4 Soustavy s dřevěnými vazníky ... 104
2.10.5 Soustavy s ocelovými vazníky ... 104
2.10.6 Soustavy s betonovými vazníky ... 105
2.11 RÁMOVÁ SOUSTAVA ... 106
2.11.1 Statické působení rámové soustavy ... 106
2.11.2 Jednoduchý vetknutý rám ... 106
2.11.3 Účinky vynucených deformací na vetknutém rámu ... 107
2.11.4 Rámy s vloženými klouby ... 108
2.11.5 Význam tvaru rámu - lomené rámy, rámy s nadvýšenou příčlí ... 108
2.11.6 Sdružené rámy , rámy s přečnívajícími konci - uplatnění principu spojitých konstrukcí ... 109
2.11.7 Předepjaté rámové soustavy ... 109
2.11.8 Rámové soustavy na bázi dřeva ... 110
2.11.9 Rámové soustavy na bázi železobetonu ... 111

2.11.10 Rámové soustavy na bázi kovů ... 112
2.11.11 Soustavy deskové a strukturální ... 112
2.11.12 Desková konstrukce ... 112
2.11.13 Obousměrné působení nosníkových konstrukcí - roštové konstrukce ... 113
2.11.14 Soustavy s plošnými nosníkovými dílci (bezvazníkové soustavy) ... 114
2.11.15 Problematika dotvarování soustav s plošnými nosníkovými dílci ... 114
2.11.16 Zalamované desky - lomenice ... 114
2.11.17 Zakřivené desky - dlouhé válcové a vlnité skořepiny ... 115
2.11.18 Příhradové desky ... 116
2.12 KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY PŘEVÁŽNĚ TLAČENÉ ... 116
2.12.1 Působení převážně tlačeného konstrukčního systému ... 116
2.12.2 Princip statického působení a podporové veličiny ... 117
2.12.3 Statická určitost, citlivost vůči deformacím ... 117
2.12.4 Působení excentrických tlakových sil, stabilizace tvaru tlačeného oblouku ... 118
2.12.5 Zásady stabilizace tvaru oblouku ... 119
2.12.6 Příklad napjatosti konstrukce oblouku ... 120
2.12.7 Obloukové konstrukce na bázi dřeva ... 120
2.12.8 Obloukové konstrukce na bázi oceli ... 121
2.12.9 Obloukové konstrukce na bázi železobetonu ... 122
2.12.10 Plošné konstrukce kleneb a skořepin ... 122
2.12.11 Statické působení konstrukce klenby ... 122
2.12.12 Valená klenba ... 123
2.12.13 Klášterní a křížová klenba ... 123
2.12.14 Novodobé klenby ... 124
2.12.15 Tvarová řešení skořepin ... 124
2.12.16 Statické působení skořepin ... 125
2.12.17 Translační skořepiny ... 125
2.12.18 Translační skořepiny s kladnou (Gaussovou) křivostí - eliptický paraboloid, ... 125
2.12.19 Translační skořepiny se nulovou (Gaussovou) křivostí - krátká válcová skořepina ... 126
2.12.20 Translační skořepiny se nulovou (Gaussovou) křivostí - dlouhá válcová skořepina ... 127
2.12.21 Rotační skořepiny - kopule, ... 127
2.12.22 Konoidní plochy ... 127
2.12.23 Strukturální vícesměrné soustavy ... 128
2.12.24 Prutové struktury stabilizované prostorovým působením - jednovrstvé ... 128
2.12.25 Prutové struktury stabilizované ohybovou tuhostí - jednovrstvé, dvouvrstvé ... 128
2.12.26 Strukturální konstrukce s jednou křivostí - válcové jednovrstvé, dvouvrstvé ... 129
2.12.27 Strukturální konstrukce s dvojí křivostí - strukturální kopule, kužele ... 129
2.13 KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY PŘEVÁŽNĚ TAŽENÉ ... 130
2.13.1 Přehled a specifika tažených konstrukcí ... 130
2.13.2 Tvarové deformace tvarově netuhých tažených konstrukcí ... 131
2.13.3 Podporové reakce tažené střešní konstrukce ... 131
2.14 VISUTÉ VLÁKNOVÉ SOUSTAVY ... 132
2.14.1 Geometrická délka vlákna ... 132
2.14.2 Vodorovná síla a tvar dokonale ohebného vlákna ... 132
2.14.3 Vodorovné síla a tvar reálného vlákna ... 133
2.14.4 Stabilizace visutého zastřešení ... 133
2.14.5 Stabilizace visutého vlákna zatížením - pasivní přitížení, lanové vazníky ... 134
2.14.6 Stabilizace zmenšením průvěsu - strunové a spojité konstrukce ... 135
2.14.7 Stabilizace horizontálních posunů ... 135
2.14.8 Stabilizace ohybovou tuhostí ... 135
2.14.9 Kombinované systémy stabilizace - Jawerthův vazník ... 136
2.14.10 Visuté lanové sítě a membrány ... 136
2.14.11 Lanové sítě stabilizované předpětím (bez smykové tuhosti) ... 136
2.14.12 Membránové visuté soustavy ... 137
2.14.13 Visuté konstrukce ve tvaru minimální plochy - lanové sítě, skořepiny ... 137
2.15 SOUSTAVY NESENÉ PŘETLAKEM VZDUCHU ... 137
2.15.1 Soustavy nesené přetlakem vzduchu - nízkotlaké soustavy ... 137
2.15.2 Soustavy polštářové - středotlaké soustavy ... 138

2.15.3 Soustavy s pneumatickými žebry - vysokotlaké soustavy ... *138*
2.16 ZAVĚŠENÉ SOUSTAVY ... 139
2.16.1 Vnitřní síly s specifika statické analýzy zavěšené soustavy ... *139*

3. KONSTRUKČNĚ STATICKÁ INTERAKCE U STAVEB HALOVÉHO A VELKOOBJEMOVÉHO CHARAKTERU ... **140**

3.1 OBECNÉ PRINCIPY INTERAKCE, VYMEZENÍ PROBLEMATIKY ... 140
3.1.1 Systémový model halového objektu ... *140*
3.1.2 Interakce součástí halového objektu a jejich význam ... *140*
3.1.3 Principy návrhu konstrukcí dělících a obalových - spolupůsobení, vynucené deformace ... *141*
3.2 INTERAKCE MEZI NOSNOU STŘEŠNÍ KONSTRUKCÍ A STŘEŠNÍM PLÁŠTĚM ... 141
3.2.1 Specifika interakce - nosná střešní konstrukce - střešní plášť ... *141*
3.3 INTERAKCE NOSNÉHO SYSTÉMU A STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ U TVAROVĚ TUHÝCH SOUSTAV ... 142
3.3.1 Účinky a důsledky nepříznivých interakcí ... *142*
3.3.2 Veličiny deformace střešní konstrukce ... *143*
3.3.3 Veličiny mezních průhybů a natočení ... *143*
3.3.4 Veličiny deformace v rovině střešního pláště ... *144*
3.4 INTERAKCE NOSNÉHO SYSTÉMU A STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ U TVAROVĚ PODDAJNÝCH SOUSTAV ... 144
3.4.1 Interakce „nosná střešní konstrukce - střešní plášť" u tvarově poddajných soustav ... *144*
3.4.2 Mezní deformace tvarově poddajných soustav ... *145*
3.5 INTERAKCE STŘEŠNÍ KONSTRUKCE S OPĚRNÝM SYSTÉMEM A VERTIKÁLNÍMI KOMPLETAČNÍMI KONSTRUKCEMI ... 146
3.5.1 Interakce „střešní konstrukce - štítová stěna obvodového pláště" u tvarově tuhých soustav ... *146*
3.5.2 Interakce „střešní konstrukce - podélná stěna obvodového pláště" u tvarově tuhých soustav ... *147*
3.5.3 Interakce „nosná střešní konstrukce - obvodový plášť" u tvarově poddajných soustav ... *147*

4. VÝPOČTOVÉ MODELY PRO KONSTRUKČNĚ STATICKOU ANALÝZU ... **149**

4.1 PŮSOBENÍ STŘEŠNÍ TABULE A OPĚRNÉHO SYSTÉMU PŘI PŘENÁŠENÍ VODOROVNÝCH ZATÍŽENÍ ... 149
4.1.1 Výpočtový model ... *149*
4.1.2 Působení střešní tabule ... *149*
4.1.3 Působení svislých nosných konstrukcí ... *150*
4.2 VÝPOČTOVÉ MODELY PŘIHLÍŽEJÍCÍ K INTERAKCI PRIMÁRNĚ NENOSNÝCH KONSTRUKCÍ ... 151
4.2.1 Modelování spolupůsobící soustavy výplně a rámu ... *151*
4.2.2 Využití kontinuálních výpočtových modelů pro analýzu účinků vodorovných zatížení ... *151*
4.2.3 Výpočtový model pro jednopodlažní soustavy ... *152*
4.2.4 Výpočtový model pro dvoupodlažní soustavy ... *153*

LITERATURA ... **155**

OBSAH ... **156**