

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd

Akademický rok 2018/2019

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Určení pravděpodobnosti poruchy na příhradové konstrukci metodou
SBRA

Vypracoval: **Bc. Josef Mareš**
Osobní číslo: **A17N0107P**
Studijní program: **N3607 Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Stavitelství**
Zadávací katedra: **Katedra mechaniky /KME/ - oddělení Stavitelství**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Josef MAREŠ**

Osobní číslo: **A17N0107P**

Studijní program: **N3607 Stavební inženýrství**

Studijní obor: **Stavitelství**

Název tématu: **Určení pravděpodobnosti poruchy na příhradové konstrukci metodou SBRA**

Zadávací katedra: **Katedra mechaniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Provedení a porovnání konstrukčních prvků dle způsobu zatížení a odezvy konstrukce.
2. Výpočet prvků dle pravděpodobnostní metody SBRA a určení poruchy $P_f(i)$ pro dané pruty.
3. Provedení porovnávací studie těchto konstrukčních prvků a to mezi EC3 a SBRA.

Rozsah grafických prací: práce skládající se z výkresů a textových částí

Rozsah kvalifikační práce: úvodní část 50 - 60 stran A4

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

1. ČSN EN 1990 - Zásady navrhování stavebních konstrukcí.
2. ČSN EN 1991 - Zatížení stavebních konstrukcí.
3. ČSN EN 1993 - Navrhování ocelových konstrukcí.
4. kol. autorů: Konstrukce pozemních staveb. Praha, 1968.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Petr Brož, DrSc.**

Katedra mechaniky

Datum zadání diplomové práce: **2. července 2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **4. ledna 2019**

Vlasta Radová

Doc. Dr. Ing. Vlasta Radová
děkanka



Jan Vimmr

Doc. Ing. Jan Vimmr, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 2. července 2018

Čestné prohlášení:

Já Josef Mareš čestně prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně pod odborným dohledem vedoucího diplomové práce Doc. Ing. Petra Brože, DrSc. a Doc. Ing. Petra Kesla za použití odborné literatury a vyhlášek, které jsou uvedeny v seznamu bibliografických údajů.

V Plzni dne:

.....

Bc. Josef Mareš, A17N0107P

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu Doc. Ing. Petru Brožovi, DrSc. a Doc. Ing. Petru Keslovi za jejich ochotu, trpělivost a věnovaný čas při provádění této práce.

Dále bych chtěl poděkovat všem vyučujícím, kteří mě provázeli celým mým studiem. Také díky nim bylo možné zpracovat diplomovou práci a díky nim mi bylo umožněno rozšířit si své vzdělání a obzory v oboru stavitelství.

Anotace:

Předmětem této diplomové práce je návrh a statické posouzení střešního a stropního příhradového, ocelového, trubkového vazníku podle EC a podle simulační metody SBRA.

Návrh a posouzení je prováděn na prvcích (diagonála, svislice, horní/dolní pásnice) v kritických oblastech příhradového vazníku. Navržené prvky podle EC a podle simulační metody SBRA jsou mezi sebou porovnány.

Klíčová slova:

statické posouzení, EC, SBRA, příhradový vazník, diagonála, svislice, horní/dolní pásnice, porovnání EC a metody SBRA

Annotation

The theme of this thesis there is a suggestion and a static assesement of the roof and ceiling, lattice, steel, tubular truss according to EC and according to the SBRA method.

The suggestion and the assessment is done on the elements (diagonal elements, vertical elements, upper / lower flange) in critical areas of the lattice truss.

The suggested elements according to EC and according to the simulation method are compared.

Keywords:

static assessment, EC, SBRA, lattice truss, diagonal, vertical, upper / lower flange, EC comparison and SBRA methods

Seznam obrázků a tabulek:

Seznam obrázků:

Obr. č. 1 Legenda pro ploché střechy.....	16
Obr. č. 2 Vítr – směr příčný (dle ČSN EN 1991-1-4)	19
Obr. č. 3 Vítr – směr podélný (dle ČSN EN 1991-1-4)	19
Obr. č. 4 Schéma příhradového ocelového vazníku (střecha, strop).....	24
Obr. č. 5 Schéma střešní vazničky	24
Obr. č. 6 Schéma stropní vazničky	24
Obr. č. 7 Zatěžovací stav G1 na vazničku - vlastní tíha vazničky	28
Obr. č. 8 Zatěžovací stav G2 na vazničku – stálé zatížení	28
Obr. č. 9 Zatěžovací stav Q3 na vazničku – užité zatížení.....	28
Obr. č. 10 Zatěžovací stav Q4 na vazničku – sníh 100 %.....	29
Obr. č. 11 Zatěžovací stav Q5 na vazničku – sníh 50 %.....	29
Obr. č. 12 Zatěžovací stav Q6 na vazničku – vítr oblast IHF+	29
Obr. č. 13 Zatěžovací stav Q7 na vazničku – vítr oblast IHF-	30
Obr. č. 14 Zatěžovací stav Q8 na vazničku – vítr oblast IHG+	30
Obr. č. 15 Zatěžovací stav Q9 na vazničku – vítr oblast IHG-	31
Obr. č. 16 Zatěžovací stav Q10 na vazničku – vítr oblast I+	31
Obr. č. 17 Zatěžovací stav Q11 na vazničku – vítr oblast I-	31
Obr. č. 18 Zatěžovací stav Q12 na vazničku – vítr oblast H.....	32
Obr. č. 19 Zatěžovací stav Q13 na vazničku – vítr oblast FGF	32
Obr. č. 20 Zatěžovací stav G2, stálé zatížení	34
Obr. č. 21 Zatěžovací stav Q3-Q5, užité zatížení.....	35
Obr. č. 22 Zatěžovací stav Q6-Q8, sníh	35
Obr. č. 23 Zatěžovací stav Q9-Q11, vítr (tlak a sání)	36
Obr. č. 24 Statické schéma	37
Obr. č. 25 Normálové síly	37
Obr. č. 26 Posouvající síly	37
Obr. č. 27 Ohybové momenty	38
Obr. č. 28 Nahrazení lokálních imperfekcí náhradním zatížením.....	41
Obr. č. 29 Vlastní tíha G1 - průhyb	47
Obr. č. 30 Stálé zatížení G2 - průhyb	47
Obr. č. 31 Užité zatížení Q3 - průhyb	47
Obr. č. 32 Vítr Q9 - průhyb	47
Obr. č. 33 Ohybové momenty – vaznička IPE	51

Obr. č. 34 Posouvající síly – vaznička IPE	51
Obr. č. 35 Průhyb – zatěžovací stav G2, stálé zatížení	54
Obr. č. 36 Průhyb – zatěžovací stav Q4, užitné zatížení	54
Obr. č. 37 Zatěžovací stav G1 – vlastní tíha IPE 160	55
Obr. č. 38 Zatěžovací stav G2 – stálé zatížení	55
Obr. č. 39 Zatěžovací stav Q3 – užitné zatížení	56
Obr. č. 40 Zatěžovací stav Q4 – užitné zatížení šachovnice	56
Obr. č. 41 Zatěžovací stav Q5 – užitné zatížení šachovnice	56
Obr. č. 42 Zatěžovací stav G2 – stálé zatížení	58
Obr. č. 43 Zatěžovací stav Q3 – užitné zatížení	59
Obr. č. 44 Zatěžovací stav Q4 – užitné zatížení	59
Obr. č. 45 Zatěžovací stav Q5 – užitné zatížení	60
Obr. č. 46 Zatěžovací stav Q6 – užitné zatížení	60
Obr. č. 47 Zatěžovací stav Q7 – užitné zatížení	61
Obr. č. 48 Horní a dolní pásnice příhradového vazníku – TR 219x16 mm S235	62
Obr. č. 49 Diagonála příhradového vazníku – TR 140x12,5 mm S 235	62
Obr. č. 50 Svislice příhradového vazníku – TR 140x12,5 mm S 235	63
Obr. č. 51 Křížové ztužení – TR 127x10 mm S 235	63
Obr. č. 52 Diagonální ztužení – TR 102x10 mm S 235	64
Obr. č. 53 Podélné ztužení – TR 102x10 mm S 235	64
Obr. č. 54 Statické schéma – stropní příhradový vazník s vyznačenými nejvíce namáhanými prvky	65
Obr. č. 55 Vlastní tíha G1 - průhyb dolní pásnice	71
Obr. č. 56 Stálé zatížení G2 - průhyb dolní pásnice	72
Obr. č. 57 Užitné zatížení Q3 - průhyb dolní pásnice	72
Obr. č. 58 Lineární stabilita Q3; G1+G2	74
Obr. č. 59 Vlastní tvar č. 1	74
Obr. č. 60 Křivky hustoty pravděpodobnosti účinku zatížení a odolnosti konstrukce s vyznačenou oblastí možného vzniku poruchy [11]	77
Obr. č. 61 Křivka trvání zatížení a odpovídající histogramy (zatížení stálé, zatížení nahodilé dlouhodobé, zatížení větrem, zatížení sněhem) [15]	81
Obr. č. 62 Histogram křivky trvání pro stálé zatížení	82
Obr. č. 63 Histogram křivky trvání pro užitné zatížení	83
Obr. č. 64 Histogram geometrické nepřesnosti	83
Obr. č. 65 Histogram meze kluzu S 235	84

Obr. č. 66 Histogram únosnosti ve vzpěrném tlaku – horní pásnice, střešní příhradový vazník	87
Obr. č. 67 Histogram vnitřního účinku, normálová síla – horní pásnice, střešní příhradový vazník	87
Obr. č. 68 Histogram únosnosti v ohybu (plasticita) – horní pásnice, střešní příhradový vazník	88
Obr. č. 69 Histogram vnitřního účinku, ohybový moment – horní pásnice, střešní příhradový vazník	88
Obr. č. 70 Histogram využitelnosti průřezu, ohyb a vzpěrný tlak – horní pásnice, střešní příhradový vazník.....	89
Obr. č. 71 Histogram únosnosti ve vzpěrném tlaku – diagonála, střešní příhradový vazník...	90
Obr. č. 72 Histogram vnitřního účinku, normálová síla – diagonála, střešní příhradový vazník	90
Obr. č. 73 Histogram únosnost v ohybu (elasticita) – diagonála, střešní příhradový vazník...	91
Obr. č. 74 Histogram vnitřního účinku, ohybový moment od vzniklých imperfekcí – diagonála, střešní příhradový vazník.....	91
Obr. č. 75 Histogram využitelnosti průřezu, ohyb od vzniklých imperfekcí a vzpěrný tlak – diagonála, střešní příhradový vazník.....	92
Obr. č. 76 Histogram únosnosti v prostém tlaku – horní pásnice, stropní příhradový vazník.	94
Obr. č. 77 Histogram vnitřního účinku, normálová síla – horní pásnice, stropní příhradový vazník	94
Obr. č. 78 Histogram únosnosti v ohybu (plasticita) – horní pásnice, stropní příhradový vazník	95
Obr. č. 79 Histogram vnitřního účinku, ohybový moment v ose y – horní pásnice, stropní příhradový vazník.....	96
Obr. č. 80 Histogram vnitřního účinku, ohybový moment v ose z – horní pásnice, stropní příhradový vazník.....	96
Obr. č. 81 Histogram využitelnosti průřezu, ohyb v ose z, v ose y a prostý tlak – horní pásnice, stropní příhradový vazník.....	97
Obr. č. 82 Histogram únosnosti ve vzpěrném tlaku – diagonála, stropní příhradový vazník ..	98
Obr. č. 83 Histogram vnitřního účinku, normálová síla – diagonála, stropní příhradový vazník	98
Obr. č. 84 Histogram únosnost v ohybu (elasticita) – diagonála, stropní příhradový vazník ..	99
Obr. č. 85 Histogram vnitřního účinku, ohybový moment od vzniklých imperfekcí – diagonála, stropní příhradový vazník	100
Obr. č. 86 Histogram vnitřního účinku, ohybový moment - diagonála, stropní příhradový vazník	100
Obr. č. 87 Histogram využitelnosti průřezu, ohyb od vzniklých imperfekcí, ohyb a vzpěrný tlak – diagonála, stropní příhradový vazník	101

Seznam tabulek:

Tab. č. 1: Zatížení ploché střechy – směr příčný	17
Tab. č. 2: Zatížení ploché střechy – směr podélný.....	18
Tab. č. 3 Skladba střešní konstrukce	21
Tab. č. 4 Skladba stropní konstrukce	22
Tab. č. 5 Zatížení střešní konstrukce.....	23
Tab. č. 6 Zatížení stropní konstrukce	23
Tab. č. 7 Zatížení působící na vazničku	27
Tab. č. 8 Styčnickové zatížení na střešní příhradový ocelový vazník	33
Tab. č. 9 Zatížení působící na střešní příhradový vazník.....	34
Tab. č. 10 Kombinační součinitele dle druhu zatížení	36
Tab. č. 11 Shrnutí výsledků, vnitřní účinky– střecha.....	38
Tab. č. 12 Návrhové hodnoty imperfekcí ve tvaru počátečního prohnutí e_0/L	41
Tab. č. 13 Zatížení působící na vazničku	50
Tab. č. 14 Kombinační součinitele dle druhu zatížení	50
Tab. č. 15 Styčnickové zatížení na stropní příhradový ocelový vazník.....	57
Tab. č. 16 Zatížení působící na stropní příhradový vazník	57
Tab. č. 17 Kombinační součinitele dle druhu zatížení	61
Tab. č. 18 Vnitřní účinky– stropní příhradový vazník	66
Tab. č. 19 Návrhová pravděpodobnost poruchy p_d pro mezní stav únosnosti [11].....	78
Tab. č. 20 Návrhová pravděpodobnost poruchy p_a pro mezní stav použitelnosti[11]	78
Tab. č. 21 Definice tříd následků [11].....	79
Tab. č. 22 Zatěžovací stavy a jejich vnitřní účinky – horní pásnice, střešní příhradový vazník	86
Tab. č. 23 Zatěžovací stavy a jejich vnitřní účinky – diagonála, střešní příhradový vazník....	86
Tab. č. 24 Zatěžovací stavy a jejich vnitřní účinky – horní pásnice, stropní příhradový vazník	93
Tab. č. 25 Zatěžovací stavy a jejich vnitřní účinky – diagonála, stropní příhradový vazník... 93	93
Tab. č. 26 Využitelnost profilů příhradového, střešního vazníku dle EC a SBRA	103
Tab. č. 27 Hmotnost navrženého, příhradového, střešního vazníku	103
Tab. č. 28 Využitelnost profilů příhradového, stropního vazníku dle EC a SBRA	104
Tab. č. 29 Hmotnost navrženého, příhradového, stropního vazníku.....	104
Tab. č. 30 Enviromentální dopady při výrobě a montáži 1 kg oceli (2).....	105
Tab. č. 31 Enviromentální dopady EC a SBRA, střešní příhradová vazníková konstrukce ..	106
Tab. č. 32 Enviromentální dopady EC a SBRA, stropní příhradová vazníková konstrukce .	106

Obsah

Úvod.....	12
1 Zatížení.....	13
1.1 Zatížení sněhem.....	13
1.2 Zatížení větrem.....	14
1.3 Užité zatížení.....	20
1.4 Stálé zatížení.....	21
1.5 Zatížení, shrnutí.....	23
2 Statický návrh a posouzení podle EC.....	24
2.1 Statický návrh a posouzení střešní konstrukce.....	25
2.1.1 Návrh a posouzení střešního systému X-dek.....	25
2.1.2 Návrh a posouzení vazničky, tenkostěnný profil.....	26
2.1.3 Návrh a posouzení střešního příhradového vazníku.....	27
2.2 Statický návrh a posouzení stropní konstrukce.....	49
2.2.1 Návrh a posouzení trapézový plechu.....	49
2.2.2 Návrh a posouzení IPE vazničky.....	50
2.2.3 Návrh a posouzení stropního příhradového vazníku.....	57
3 Posouzení vazníků metodou SBRA.....	76
3.1 Výpočet pravděpodobnosti poruchy – teoretická část.....	76
3.2 Program Anthill – pracovní část, obecně.....	82
3.3 Posouzení prvků střešního příhradového vazníku metodou SBRA.....	86
3.3 Posouzení prvků stropního příhradového vazníku metodou SBRA.....	93
4 Porovnání výsledků dle EC a metody SBRA.....	102
4.1 Střešní konstrukce dle EC a metody SBRA.....	103
4.2 Stropní konstrukce dle EC a metody SBRA.....	104
4.3 Enviromentální dopady.....	105
5 Závěr.....	107
6 Seznam bibliografických údajů.....	108
7 Použité softwary.....	109

Úvod

Tématem diplomové práce je provedení návrhu a posouzení střešního a stropního příhradového vazníku a jejich vzájemné porovnání.

Statický návrh a posouzení střešní a stropní konstrukce je proveden dle platných norem ČSN EN a dále je provedeno posouzení dle metody SBRA. Nosná střešní a stropní konstrukce je tvořena příhradovými, trubkovými vazníky. Střešní konstrukce je tvořena 6 vazníky po osově vzdálenosti 6 m a 11 vazničkami po osově vzdálenosti 1,5 m. Stropní konstrukci tvoří 11 vazníků po osově vzdálenosti 3 m a 11 vazniček po osově vzdálenosti 1,5 m. Příhradová stropní i střešní konstrukce délky 18 m je tvořena z přímých prutů. Jednotlivé prutu jsou spojeny tuhým svarem.

K návrhu a posouzení je použitý program FIN 2D a FIN 3D. Stropní konstrukce je počítána ve 2D a střešní konstrukce je počítána ve 3D. Posouzení dle metody SBRA je provedeno z vnitřních účinků získaných v programu FIN 2D a FIN 3D. Vnitřní účinky jsou v programu Anthill použity v zatěžovacích stavech v charakteristických hodnotách. Kombinace zatěžovacích stavů je provedena v programu Anthill dle kapitoly 3.2.

Pro zpracování této diplomové práce je vybrán objekt s dvěma nadzemními podlažími s předpokládaným využitím pro tělovýchovu a sport, půdorysné velikosti 18,50 x 30,50 m a výšky 7,60 m. Objekt je umístěn v lokalitě Plzeň – Božkov. Nadmořská výška v této oblasti činí 349 m.n.m.

Zastřešení objektu je tvořeno plochou střechou se sklonem o velikosti $0,5^\circ$ a střecha je nepřístupná pouze s výjimkou běžných oprav. Střešní konstrukce je ukončená atikou. Svislé nosné konstrukce objektu jsou tvořeny z monolitického železobetonového stěnového systému. Založení objektu je předpokládáno na základových pasech.

1 Zatížení

Pro výpočet zatížení byly využity normy ČSN EN 1991-1-3, ČSN EN 1991-1-4 a ČSN EN 1991-1-1.

Pro návrh a posouzení střešních příhradových vazníků je spočítáno klimatické zatížení (sníh a vítr) působící na střešní konstrukci.

Pro střechu nepřístupnou s výjimkou běžných oprav je užité zatížení dle norem zaříděno do kategorie H. Pro stropní konstrukci s plánovaným využitím pro pohybové aktivity je užité zatížení dle norem zaříděno do kategorie C4. Kromě užitého zatížení stropní konstrukce dle kategorie C4 je do užitého zatížení započteno i zatížení od lehkých příček.

Stálé zatížení střešní konstrukce je tvořeno střešním pláštěm, tenkostěnnými vazničkami, kazetovým podhledem a vzduchotechnickým a jiným vedením. Vlastní tíha příhradového vazníku je započtena až při návrhu a posuzování příhradového vazníku ve statickém programu FIN 2D.

Stálé zatížení stropní konstrukce je tvořeno podlahovým souvrstvím (těžká plovoucí podlaha), trapézovým plechem s železobetonovou deskou, ocelovými IPE vazničkami kazetovým podhledem a vzduchotechnickým a jiným vedením. Vlastní tíha příhradového vazníku je započtena až při návrhu a posuzování příhradového vazníku ve statickém programu FIN 3D.

1.1 Zatížení sněhem

Zatížení podle ČSN EN 1991-1-3

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k \quad (1)$$

μ_i tvarový součinitel zatížení sněhem (tvar zastřešení: plochá střecha

$$\alpha = 0,5^\circ \rightarrow \mu_1 = 0,80);$$

C_e součinitel expozice (tímto součinitelem lze vzít v úvahu sfoukávání sněhu, C_e je roven 1,00);

C_t tepelný součinitel (pro významně nižší hodnoty s_k a to především při malém sklonu střechy by se měl uvážit koeficient C_t roven 1,00);

s_k charakteristické zatížení sněhem (z digitální sněhové mapy pro danou oblast odečtena hodnota s_k rovna 0,56 kN/m²; nadmořská výška 349 m.n.m.)

$$s = 0,80 * 1,00 * 1,00 * 0,56 = 0,45 \text{ kN/m}^2$$

1.2 Zatížení větrem

Zatížení podle ČSN EN 1991-1-4

Výpočet základní rychlosti větru v_b :

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} \quad (2)$$

$v_{b,0}$ rychlost větru (větrná oblast II stanovené dle mapy větrných oblastí ČR,
 $v_{b,0}$ je roven 25,00 m/s)

c_{dir} součinitel směru větru (dle národní přílohy c_{dir} je roven 1,00);

c_{season} součinitel ročního období (obvykle c_{season} je roven 1,00);

$$v_b = 1,00 * 1,00 * 25,00 = 25,00 \text{ m/s}$$

Výpočet střední rychlosti větru $v_m(z)$ ve výšce z nad terénem:

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b \quad (3)$$

$c_r(z)$ součinitel drsnosti terénu (viz rovnice (4) a následný výpočet);

$c_0(z)$ součinitel orografie (obvykle je součinitel roven 1,00);

v_b základní rychlost větru (viz rovnice (2) a následný výpočet)

$$v_m(z) = 1,24 * 1,00 * 25,00 = 31,00 \text{ m/s}$$

Výpočet součinitele drsnosti terénu $c_r(z)$:

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z_e}{z_0}\right) \quad (4)$$

k_r součinitel terénu (viz rovnice (5) a následný výpočet);

z_e referenční výška budovy (z_e je roven 7,60 m);

z_0 parametr drsnosti terénu (kategorie drsnosti terénu II, z_0 je roven 0,05 m)

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z_e}{z_0}\right) = 0,246 * \ln\left(\frac{7,60}{0,05}\right) = 1,24$$

Výpočet součinitele terénu k_r :

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z}{z_0}\right)^{0,07} \quad (5)$$

z_0 parametr drsnosti terénu (kategorie drsnosti terénu II, z_0 je roven 0,05 m)

z $z_{min} \leq z \leq z_{max}$

z_{min} minimální výška (kategorie drsnosti terénu II, z_{min} je roven 2 m)

z_{max} maximální výška (z_{max} je roven 200 m)

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{2,00}{0,05}\right)^{0,07} = 0,246$$

Poznámka:

Ve výpočtu součinitele terénu k_r dle rovnice (5) je uvažováno s minimální výškou z_{min} .

Výpočet maximálního dynamického tlaku $q_p(z)$:

$$q_p(z) = C_e(z) * q_b \quad (6)$$

$C_e(z)$ součinitel expozice (viz rovnice (7) a následný výpočet);

q_b základní dynamický tlak větru (viz rovnice (8) a následný výpočet)

$$q_p(z) = 3,68 * 600,63 = 2210,32 \text{ N/m}^2 \cong 2,21 \text{ kN/m}^2$$

Výpočet součinitele expozice $C_e(z)$:

$$C_e(z) = \left(\frac{v_m(z)}{v_b} \right)^2 * \left(1 + \frac{7 * k_1}{C_o(z) * \ln\left(\frac{z_e}{z_o}\right)} \right) \quad (7)$$

$v_m(z)$ střední rychlost větru (viz rovnice (3) a následný výpočet);

v_b základní rychlost větru (viz rovnice (2) a následný výpočet);

k_1 součinitel turbulence (doporučená hodnota k_1 je 1,00)

$C_o(z)$ součinitel orografie (plochý terén, $C_o(z)$ je roven 1,00)

z_e referenční výška budovy (z_e je roven 6,60 m);

z_o parametr drsnosti terénu (kategorie drsnosti terénu II, z_o je roven 0,05 m)

$$C_e(z) = \left(\frac{31}{25} \right)^2 * \left(1 + \frac{7 * 1,00}{1,00 * \ln\left(\frac{7,60}{0,05}\right)} \right) = 3,68$$

Výpočet základního dynamického tlaku větru q_b :

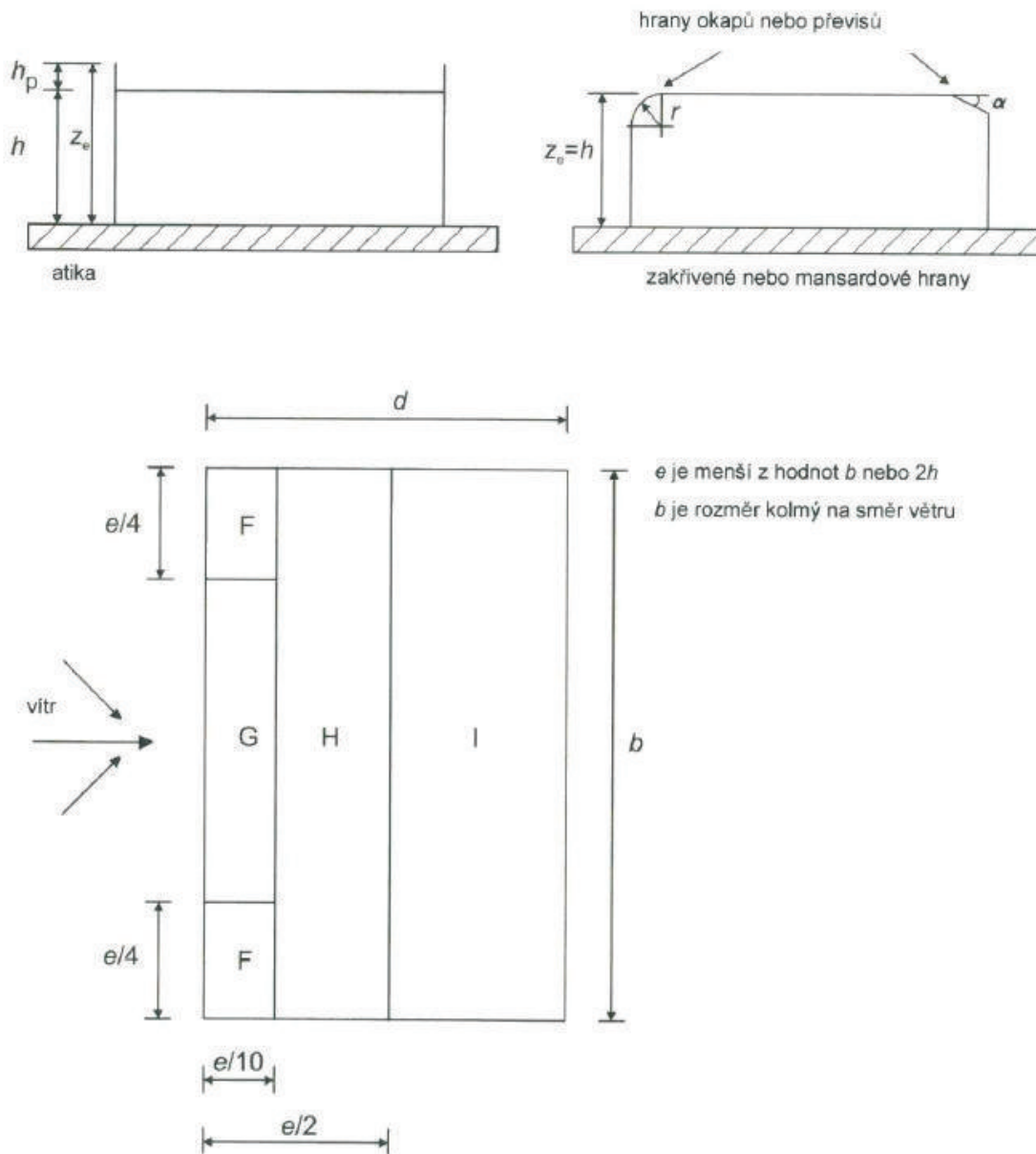
$$q_b = 0,5 * \rho * v_m(z)^2 \quad (8)$$

ρ měrná hmotnost vzduchu (doporučená hodnota ρ rovna 1,25 kg/m³)

$v_m(z)$ střední rychlost větru (viz rovnice (3) a následný výpočet);

$$q_b = 0,5 * 1,25 * 31,00^2 = 600,63 \text{ N/m}^2$$

Rozdělení tlaku na plochou střechu dle působícího zatížení větrem:



Obr. č. 1 Legenda pro ploché střechy

[ČSN EN 1991-1-4]

Poznámka k Obr. č. 1:

Ploché střechy jsou definovány sklonem v rozmezí od -5° do 5° . Řešený objekt v diplomové práci má atiku výšky 0,75 m. Celková výška objektu činí 7,60 m, z toho vyplývá, že výška $h = 6,85$ m a výška $h_p = 0,75$ m.

Zatížení větrem, směr příčný:

$$b = 30,50 \text{ m}; d = 18,50 \text{ m}; h = 7,60 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2h)$$

$$b > 2h; (30,50 > 15,20)$$

$$e = 2h = 15,20 \text{ m}$$

$$e/4 = 3,80 \text{ m}; e/10 = 1,52 \text{ m}$$

Součinitele vnějšího tlaku:

Zatěžovací plocha do 1 m^2 platí součinitel vnějšího tlaku $C_{pe,1}$ dle tabulky z normy

Zatěžovací plocha nad 10 m^2 platí součinitel vnějšího tlaku $C_{pe,10}$ dle tabulky z normy

Zatěžovací plocha mezi 1 m^2 a 10 m^2 platí součinitel vnějšího tlaku C_{pe} dle rovnice (9):

$$C_{pe} = C_{pe,1} + (C_{pe,10} - C_{pe,1}) * \log_{10} A^{NP} \quad (9)$$

Rozdělení objektu na oblasti dle Obr. č. 1:

$$\text{Oblast F: } A = \frac{e}{4} * \frac{e}{10} = 3,30 * 1,32 = 5,78 \text{ m}^2 \rightarrow C_{pe} \text{ nutno přepočítat dle rovnice (9)}$$

$$\text{Oblast G: } A = \frac{e}{10} * \left(b - 2 * \frac{e}{4}\right) = \frac{15,20}{10} * (30,50 - 2 * 3,80) = 34,81 \text{ m}^2 \rightarrow C_{pe,10}$$

$$\text{Oblast H: } A = \left(\frac{e}{2} - \frac{e}{10}\right) * b = \left(\frac{15,2}{2} - 1,52\right) * 30,50 = 185,44 \text{ m}^2 \rightarrow C_{pe,10}$$

$$\text{Oblast I: } A = \left(d - \frac{e}{2}\right) * b = \left(18,50 - \frac{15,2}{2}\right) * 30,50 = 332,45 \text{ m}^2 \rightarrow C_{pe,10}$$

Tlak větru w_e :

$$w_e = q_p(z) * C_{pe}$$

$q_p(z)$ maximální dynamický tlak (viz rovnice (6) a následný výpočet, $q_p(z) = 2,21 \text{ kN/m}^2$);

C_{pe} součinitel vnějšího tlaku dle normy a dle spočtených ploch ploché střechy a

$$h_p/h > 0,10; \frac{0,75}{6,85} > 10; 0,11 > 0,10$$

Tab. č. 1: Zatížení ploché střechy – směr příčný

	Oblast pro směr větru $\theta = 0^\circ$				
	F	G	H	I	
C_{pe}	-1,34	-0,80	-0,70	-0,20	+0,20
$w_e (\text{kN/m}^2)$	-2,96	-1,77	-1,55	-0,44	+0,44

Zatížení větrem, směr podélný

$$b = 18,50 \text{ m}; d = 30,00 \text{ m}; h = 7,60 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2h)$$

$$b > 2h; (18,50 > 15,20)$$

$$e = 2h = 15,20 \text{ m}$$

$$e/4 = 3,80 \text{ m}; e/10 = 1,52 \text{ m}$$

Rozdělení objektu na oblasti dle Obr. č. 1:

$$\text{Oblast F: } A = \frac{e}{4} * \frac{e}{10} = 3,80 * 1,52 = 5,78 \text{ m}^2 \rightarrow C_{pe} \text{ nutno přepočítat dle rovnice (9)}$$

$$\text{Oblast G: } A = b - 2 * \frac{e}{4} = 18,50 - 2 * 3,80 = 10,90 \text{ m}^2 \rightarrow C_{pe,10}$$

$$\text{Oblast H: } A = \left(\frac{e}{2} - \frac{e}{10}\right) * b = \left(\frac{15,20}{2} - 1,52\right) * 18,50 = 112,48 \text{ m}^2 \rightarrow C_{pe,10}$$

$$\text{Oblast I: } A = \left(d - \frac{e}{2}\right) * b = \left(30,50 - \frac{15,20}{2}\right) * 18,50 = 423,65 \text{ m}^2 \rightarrow C_{pe,10}$$

Tlak větru w_e :

$$w_e = q_p(z) * C_{pe}$$

$q_p(z)$ maximální dynamický tlak (viz rovnice (6) a následný výpočet, $q_p(z) = 2,21 \text{ kN/m}^2$);

C_{pe} součinitel vnějšího tlaku dle normy a dle spočtených ploch ploché střechy a

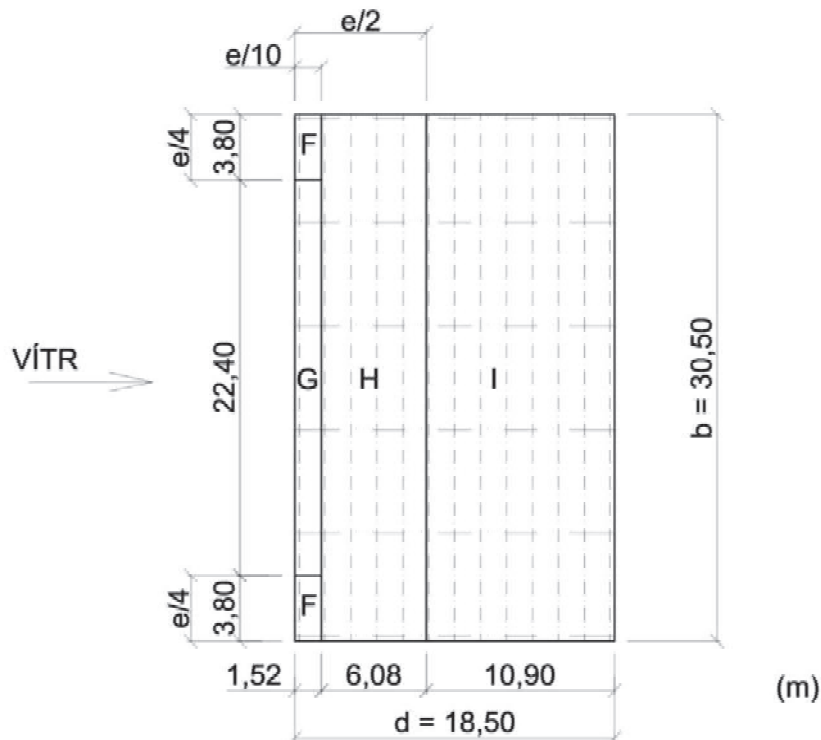
$$h_p/h > 0,10; \frac{0,75}{6,85} > 0,10; 0,11 > 0,10$$

Tab. č. 2: Zatížení ploché střechy – směr podélný

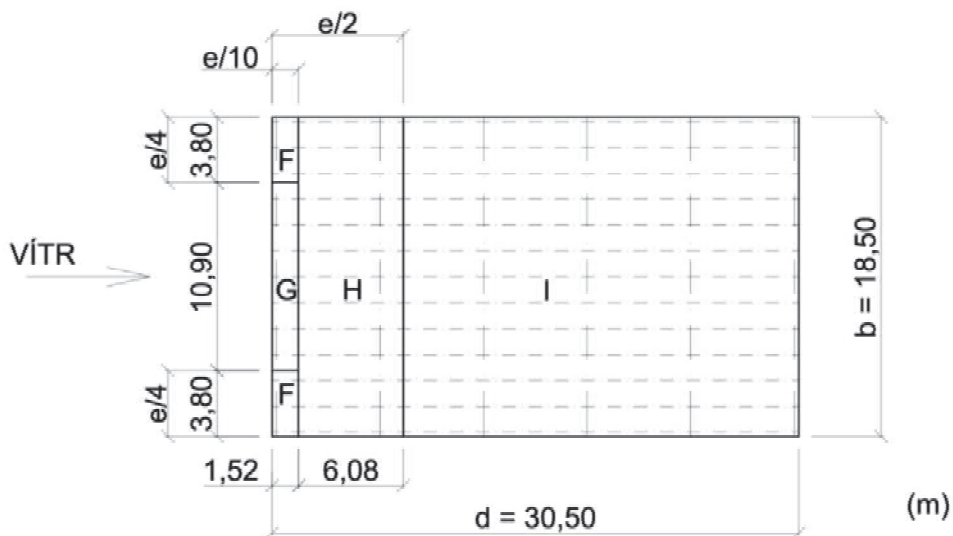
	Oblast pro směr větru $\theta = 90^\circ$				
	F	G	H	I	
C_{pe}	-1,34	-0,80	-0,70	-0,20	+0,20
w_e (kN/m ²)	-2,96	-1,77	-1,55	-0,44	+0,44

Poznámka k Tab. č.1 a Tab. č.2:

Velikosti součinitelů vnějších tlaků je provedeno dle normy ČSN EN 1991-1-4. Před určením velikostí jednotlivých součinitelů dle oblastí FGHI je nutné střechu zatřídit. Jedná se o střechu plochou s atikou a poměrem výšky atiky ku celkové výšce objektu větší než 0,11. V případě, že je velikost plochy oblasti v rozmezí od 1 do 10 m², je nutné uvedený součinitel C_{pe} v normě přepočítat dle vzathu (9). Konkrétně se musí součinitel vnějšího tlaku C_{pe} přepočítávat v oblasti F.



Obr. č. 2 Vítr – směr příčný (dle ČSN EN 1991-1-4)



Obr. č. 3 Vítr – směr podélný (dle ČSN EN 1991-1-4)

Poznámka k Obr. č. 2 a 3:

Jednotlivé oblasti FGHI znázorňují místa ploché střechy zatížené různou velikostí sáním či tlakem větru. Oblasti FGHI jsou zatíženy sáním a oblast I může být zatížena sáním, ale i tlakem viz Tab. č.1 a Tab. č.2. Velikost zatížených ploch FGHI ploché střechy je provedeno dle normy ČSN EN 1991-1-4, konkrétně dle Obr. č. 1.

Na obrázcích jsou zakresleny schématicky příhradové vazníky a vazničky. Nosnou konstrukci střechy tvoří 6 příhradových vazníků a 13 vazniček.

1.3 Užité zatížení

Zatížení podle ČSN EN 1991-1-1

Střešní konstrukce

Kategorie střechy:

- H: střechy nepřístupné, s výjimkou běžné údržby, oprav, nátěrů a menších oprav
- $q_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$

Stropní konstrukce

Kategorie pozemní stavby:

- C4: plochy s možnými pohybovými aktivitami, např. taneční prostory, tělocvičny, scény
- $q_k = 5,00 \text{ kN/m}^2$

Přemístitelné příčky uvažovány jako rovnoměrné zatížení q_k , které se přičtou k užitému zatížení. Jsou uvažovány přemístitelné příčky s vlastní tíhou $\leq 3,00 \text{ kN/m}$

$$\rightarrow q_k = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

Celkem užité zatížení od užitého zatížení dle kategorie a přemístitelných příček:

$$q_k = 5,00 + 1,20 = 6,20 \text{ kN/m}^2$$

1.4 Stálé zatížení

Zatížení podle ČSN EN 1991-1-1

Střešní konstrukce

Tab. č. 3 Skladba střešní konstrukce

Položka č.	Popis vrstvy	Hmotnost / Zatížení	Únosnost	
1	Střešní systém X-dek – KS 1000 XD 100, tloušťka oceli 1,1 mm, vzdálenost podpor po 1,5 m	24,60 kg/m ²	1.1 1.2 1.3 1.4	Tlak: 9,02 kN/m ² Sání: -15,38 kN/m ² a _{min} = 150 mm b _{min} = 300 mm
2	Tenkostěnné profily Z 270/3,0-S – krajní vaznice, Tenkostěnné profily Z 270/2,5-S – vnitřní vaznice, vzdálenost podpor po 6 m	11,33 kg/m	2.1 2.2 2.3 2.4 2.5 2.6	7,61 kN/m 6,91 kN/m -5,55 kN/m -4,28 kN/m 9,32 kN/m 6,21 kN/m
3	Nosná střešní konstrukce – ocelový příhradový vazník, vzdálenost podpor 18 m	nezapočteno	-	Návrh a posouzení
4	Kazetový podhled Knauf AMF Heradesign fine	8,20 kg/m ²	-	neposuzováno
5	Instalace – vzduchotechnika, elektroinstalace, síťové kabely, zdravotní instalace, osvětlení	1,00 kN/m ²	-	neposuzováno

Vysvětlivky k Tab. č. 3:

- 1.x únosnosti dle ČSN EN 14509 (převzato z technického listu výrobce – Kingspan a.s.)
- 1.1 max. zatížení v tlaku (charakteristická hodnota)
- 1.2 max. zatížení na sání větrem (charakteristická hodnota)
- 1.3 min. šířka krajní podpory
- 1.4 min. šířka střední podpory
- 2.x Únosnost dle ČSN EN 1993-1-3 (převzato z technické listu výrobce – KOVOVÉ PROFILY s.r.o.)
- 2.1 Únosnost bez vlivu osově síly (návrhová hodnota)
- 2.2 Únosnost s vlivem osově síly 30 kN (návrhová hodnota, osová síla v tlaku nebo tahu)
- 2.3 Únosnost pro sání bez vlivu osově síly (návrhová hodnota)
- 2.4 Únosnost pro sání s vlivem osově síly 30 kN (návrhová hodnota, osová síla v tlaku nebo tahu)
- 2.5 Maximální zatížení pro deformaci L/200 (charakteristická hodnota, únosnost dle MSÚ není zohledněna)
- 2.6 Maximální zatížení pro deformaci L/300 (charakteristická hodnota, únosnost dle MSÚ není zohledněna)

Stropní konstrukce

Tab. č. 4 Skladba stropní konstrukce

Položka č.	Popis vrstvy	Hmotnost / Zatížení	Únosnost	
1	Taraflex, povrchová úprava Triple-Action ProtecSol (hmotnost Taraflexu včetně lepidla)	5,2 kg/m ²	-	neposuzováno
2	Lepidlo na bázi akrylátu	-	-	neposuzováno
3	Betonová mazanina C 20/25 tl. 70 mm vyztužená kari sítí 100/100/6	175,0 kg/m ²	-	neposuzováno
4	Pe folie separační	-	-	-
5	Akustická podložka Damtec Estra	-	5.1	200 kN/m ²
6	Betonová mazanina C 20/25 vyztužená kari sítí 100/100/6, podkladní beton pro souvrství podlahy, srovnávací tloušťka betonu 100,00+0,35*78,00 = 128,00 mm	320,0 kg/m ²	-	neposuzováno
7	Trapézový plech typ T80/280 tl. plechu 1,25 mm, vzdálenost podpor po 1,5 m	0,129kN/m ²	7.1 7.2 7.3 7.4	30,51 kN/m ² 30,51 kN/m ² 30,51 kN/m ² 30,51 kN/m ²
8	Vaznička IPE (velikost dle návrhu a posouzení)	nezapočteno	-	Návrh a posouzení
9	Nosná střešní konstrukce – ocelový příhradový vazník, vzdálenost podpor 18 m	nezapočteno	-	Návrh a posouzení
10	Kazetový podhled Knauf AMF Heradesign fine, osvětlení v podhledu	8,20 kg/m ²	-	neposuzováno
11	Instalace – vzduchotechnika, elektroinstalace, síťové kabely, zdravotní instalace, osvětlení	1,00 kN/m ²	-	neposuzováno

Vysvětlivky k Tab. č. 4:

5.1 Akustická podložka Damtec Estra – maximální zatížení 200 kN/m² v souladu s EN 826

7.x Únosnost dle ČSN EN 1993-1-3 (převzato z technického listu výrobce – SATJAM s.r.o), bez uvažování vlastní hmotnosti plechu

7.1 Maximální zatížení – mezní stav únosnosti (s materiálovým součinitelem bezpečnosti)

7.2 Maximální zatížení – mezní stav použitelnosti – při průhybu $f = L/150$ (s materiálovým součinitelem bezpečnosti)

7.3 Maximální zatížení při průhybu $f=L/200$ (s materiálovým součinitelem bezpečnosti)

7.4 Maximální zatížení při průhybu $f = L/300$ (s materiálovým součinitelem bezpečnosti)

1.5 Zatížení, shrnutí

Poznámka k Tab. č. 5 a 6:

V tabulkách je uvedeno zatížení, které má vliv na návrh a posouzení nosných prvků střešní konstrukce. Ocelový příhradový vazník v tabulkách není uveden, zatížení příhradového vazníku je započteno při návrhu vlastního výpočtu vnitřních účinků a deformací.

Tab. č. 5 Zatížení střešní konstrukce

Druh zatížení	Hmotnost	Zatížení
Sníh viz kapitola 1.1	-	$s = 0,45 \text{ kN/m}^2$
Vítr viz kapitola 1.2	-	$w_{esF} = -2,96 \text{ kN/m}^2$ $w_{esG} = -1,77 \text{ kN/m}^2$ $w_{esH} = -1,55 \text{ kN/m}^2$ $w_{esI} = -0,44 \text{ kN/m}^2$ $w_{ecl} = 0,44 \text{ kN/m}^2$
Užitné zatížení viz kapitola 1.3.	-	$q_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$
X-dek – KS 1000 XD 100, viz Tab. č. 3 Skladba střešní konstrukce – položka č. 1	$24,60 \text{ kg/m}^2$	$g_{k1} = 0,25 \text{ kN/m}^2$
Tenkostěnný Z profil viz Tab. č. 3 Skladba střešní konstrukce – položka č. 2	$11,33 \text{ kg/m}$	$g_{k2} = 0,11 \text{ kN/m}$
Kazetový podhled viz Tab. č. 3 Skladba střešní konstrukce – položka č. 4	$8,20 \text{ kg/m}^2$	$g_{k4} = 0,08 \text{ kN/m}^2$
Instalace viz Tab. č. 3 Skladba střešní konstrukce – položka č. 5	-	$g_{k5} = 1,00 \text{ kN/m}^2$

Tab. č. 6 Zatížení stropní konstrukce

Druh zatížení	Hmotnost	Zatížení
Užitné zatížení viz kapitola 1.3.	-	$q_k = 6,20 \text{ kN/m}^2$
Betonová mazanina tl. 70 mm viz Tab. č. 4 Skladba stropní konstrukce – položka č. 3	180 kg/m^2	$g_{k3} = 1,80 \text{ kN/m}^2$
Betonová mazanina tl. 128 mm viz Tab. č. 4 Skladba stropní konstrukce – položka č. 6	320 kg/m^2	$g_{k6} = 3,20 \text{ kN/m}^2$
Trapézový plech viz Tab. č. 4 Skladba stropní konstrukce – položka č. 7	-	$g_{k7} = 0,13 \text{ kN/m}^2$
Kazetový podhled viz Tab. č. 4 Skladba stropní konstrukce – položka č. 10	$8,20 \text{ kg/m}^2$	$g_{k10} = 0,08 \text{ kN/m}^2$
Instalace viz Tab. č. 4 Skladba stropní konstrukce – položka č. 11	-	$g_{k11} = 1,00 \text{ kN/m}^2$

Poznámka k Tab. č. 6:

K zatížení od betonové mazaniny je připočtena hmotnost nášlapné vrstvy podlahové konstrukce (hmotnosti položek č. 1 a 3 z Tab. č.4 jsou sečteny).

2 Statický návrh a posouzení podle EC

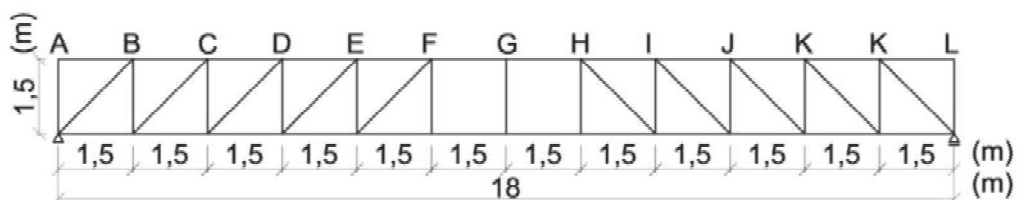
Statický návrh a posouzení příhradové, ocelové, trubkové konstrukce je proveden dle ČSN EN 1993-1-1 a ČSN EN 1993-1-8.

Střešní konstrukce je tvořena 6 vazníky (a-f) a 11 vazničkami. Stropní konstrukci tvoří 11 vazníků (a-j) a 11 vazniček.

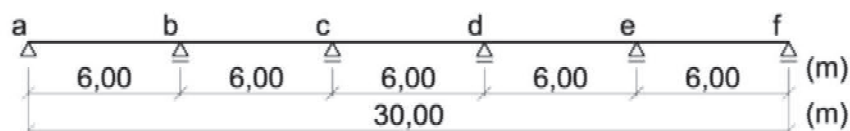
Příhradová stropní i střešní konstrukce délky 18 m je tvořena z přímých prutů. Jednotlivé pruty jsou spojeny tuhým svarem ve styčnicích ležících v jedné rovině, tedy i zatížení působí v téže rovině. Příhradová vazníková konstrukce je podepřena pevným a posuvným kloubem. Schéma příhradové konstrukce je uvedeno na Obr. č. 4.

Zatížení střešní a stropní konstrukce uvedené v kapitole 1.5 je prostřednictvím vazniček přenášeno ve styčnicích spojitého nosníku do příhradové konstrukce. Z uvedených Obr. č. 5 a Obr. č. 6 je patrné, že osová vzdálenost stropních vazníků je 3 m a osová vzdálenost střešních vazníků je 6 m.

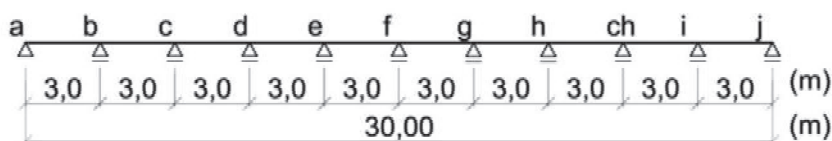
Návrh a posouzení střešní konstrukce je provedeno prostřednictvím softwaru FIN 2D. V tomto modelu není řešeno zavětrování a ztužení konstrukce, ale ve výpočtech je s ním uvažováno. Návrh a posouzení stropní konstrukce je provedeno prostřednictvím softwaru FIN 3D. V tomto modelu je řešeno zavětrování a ztužení konstrukce.



Obr. č. 4 Schéma příhradového ocelového vazníku (střeška, strop)



Obr. č. 5 Schéma střešní vazničky



Obr. č. 6 Schéma stropní vazničky

2.1 Statický návrh a posouzení střešní konstrukce

Návrh a posouzení střešního pláště ze systému X-dek-KS 1000 XD 100 a tenkostěnné profily Z 270/3,0–S krajní vaznice a tenkostěnné profily Z 270/2,5-S vnitřní vaznice je provedeno odborným odhadem dle technického listu výrobce. Únosnosti navržených prvků dle technických listů s vysvětlením jsou uvedeny v kapitole 1.4.

Návrh a posouzení příhradového ocelového vazníku je provedeno dle EC. Geometrie příhradové konstrukce střešního vazníku je zobrazena na Obr. č. 4 v kapitole 2. Osová vzdálenost vazníků je 6 m a osová vzdálenost vazniček je 1,5m.

Pro návrh střešní vazníkové konstrukce je vybrán nejvíce namáhaný vazník. Vazničky uvedené na Obr. č 5 v kapitole 2 přenáší zatížení do vazníků. Vaznička je namodelována v programu FIN 2D jako spojitý nosník s příslušnými zatěžovacími stavy za účelem získání reakčních účinků. Tyto reakční účinky tvoří zatěžovací stavy příhradového vazníku. Příhradový střešní vazník je posuzován ve 2D.

2.1.1 Návrh a posouzení střešního systému X-dek

střešní systém X-dek–KS 1000 XD 100, tl. oceli 1,1 mm

Únosnost/odolnost konstrukce:

$R_{tlak,k} = 9,02 \text{ kN/m}^2$ (charakteristická hodnota)

$R_{sání,k} = -15,38 \text{ kN/m}^2$ (charakteristická hodnota)

Mezní stav použitelnosti - charakteristická kombinace (nevratné mezní stavy):

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + Q_{k1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0i} * Q_{ki} \quad (10)$$

$$E_{tlak,k} = g_{k1} + g_{k4} + g_{k5} + q_k + \Psi_{01} * s + \Psi_{02} * w_{ec} \quad (11)$$

Ψ_{0i} kombinační součinitel

$$E_{tlak,k} = 0,25 + 0,08 + 2,00 + 1,00 + 0,5 * 0,45 + 0,6 * 0,44 = 2,82 \text{ kN/m}^2$$

$$E_{sání,k} = w_{e,s} \quad (12)$$

$$E_{sání,k} = -2,96 \text{ kN/m}^2$$

Posouzení:

$$R_{tlak,k} > E_{tlak,k}; 9,02 > 2,82 \text{ [kN/m}^2] \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$R_{sání,k} > E_{sání,k}; -15,38 > -2,96 \text{ [kN/m}^2] \rightarrow \text{vyhovuje}$$

→ Posuzovaný střešní systém X-dek–KS 1000 XD 100, tl. oceli 1,1 mm vyhovuje

2.1.2 Návrh a posouzení vazničky, tenkostěnný profil

Z 270/3,0-S – krajní vaznice, tenkostěnné profily Z 270/2,5-S – vnitřní vaznice

Únosnost/odolnost konstrukce:

$R_{tlak,d} = 7,61$ kN/m (návrhová hodnota)

$R_{sání,d} = -5,55$ kN/m (návrhová hodnota)

$R_{tlak,k} = 6,21$ kN/m (charakteristická hodnota pro mezní stav použitelnosti, L/300)

Mezní stav únosnosti – trvalá a dočasná situace:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_G * G_{kj} + \gamma_P * P_k + \gamma_{Q1} * Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} * \Psi_{0i} * Q_{ki} \quad (13)$$

$$E_{tlak,d} = \gamma_G * (g_{k1} + g_{k4} + g_{k5}) * b + \gamma_G * g_{k2} + \gamma_Q * q_k * b + \gamma_Q * \Psi_{01} * s * b + \gamma_Q * \Psi_{02} * w_{ec} * b \quad (14)$$

γ_G dílčí součinitel stálého zatížení, nepříznivý účinek na konstrukci ($\gamma_G = 1,35$)

γ_Q dílčí součinitel proměnného zatížení, nepříznivý účinek na konstrukci ($\gamma_Q = 1,5$)

b zatěžovací šířka ($b = 1,50$ m)

Ψ_{0i} kombinační součinitel

$$E_{tlak,d} = 1,35 * (0,25 + 0,08 + 1,00) * 1,50 + 1,35 * 0,11 + 1,5 * 1,00 * 1,50 + 1,50 * 0,5 * 0,45 * 1,50 + 1,5 * 0,6 * 0,44 * 1,50 = 6,19 \text{ kN/m}$$

$$E_{sání,d} = \gamma_Q * w_{es} * b + \gamma_G * (g_{k1} + g_{k4} + g_{k5}) * b + \gamma_G * g_{k2} \quad (15)$$

γ_G dílčí součinitel stálého zatížení, příznivý účinek na konstrukci ($\gamma_G = 1,0$)

γ_Q dílčí součinitel proměnného zatížení, nepříznivý účinek na konstrukci ($\gamma_Q = 1,5$)

b zatěžovací šířka ($b = 1,50$ m)

$$E_{sání,d} = 1,5 * (-2,96) * 1,5 + 1,0 * (0,25 + 0,08 + 1,00) * 1,50 + 1,0 * 0,11 = -4,55 \text{ kN/m}$$

Mezní stav použitelnosti - charakteristická kombinace (nevratné mezní stavy):

$$E_{tlak,k} = (g_{k1} + g_{k4} + g_{k5}) * b + g_{k2} + q_k * b + \Psi_{01} * s * b + \Psi_{02} * w_{ec} * b \quad (16)$$

$$E_{tlak,k} = (0,25 + 0,08 + 1,00) * 1,5 + 0,11 + 1,00 * 1,5 + 0,5 * 0,45 * 1,50 + 0,6 * 0,44 * 1,55 = 4,35 \text{ kN/m}$$

Posouzení:

$$R_{tlak,d} > E_{tlak,d}; 7,61 > 6,19 \text{ [kN/m]} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$R_{sání,d} > E_{sání,d}; -5,55 > -4,55 \text{ [kN/m]} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$R_{tlak,k} > E_{tlak,k}; 6,21 > 4,35 \text{ [kN/m]} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

→ Posuzovaný tenkostěnný profil Z 270/3,0-S – krajní vaznice, tenkostěnné profily Z 270/2,5-S – vnitřní vaznice vyhovuje

2.1.3 Návrh a posouzení střešního příhradového vazníku

Zatížení působící na vazničku – tenkostěnný profil:

Tab. č. 7 Zatížení působící na vazničku

Zatížení	Zatěžovací šířka (m)	Zatížení vazničky (kN/m)	Zatížení vazničky – sloučení (kN/m) Znaménková konvence dle FIN 2D	Zatěžovací stavy vazničky
$s = 0,45 \text{ kN/m}^2$	1,50	0,68	-0,68	Q4-Q5
$w_{eI} = 0,44 \text{ kN/m}^2$		0,66	-0,66	Q6-Q13
$w_{eI} = -0,44 \text{ kN/m}^2$		-0,66	0,66	
$w_{eF} = -2,96 \text{ kN/m}^2$		-4,44	4,44	
$w_{eG} = -1,77 \text{ kN/m}^2$		-2,66	2,66	
$w_{eH} = -1,55 \text{ kN/m}^2$		-2,33	2,33	
$q_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$		1,50	-1,50	Q3
$g_{k1} = 0,25 \text{ kN/m}^2$		0,38	-2,00	G2
$g_{k4} = 0,08 \text{ kN/m}^2$	0,12			
$g_{k5} = 1,00 \text{ kN/m}^2$	1,50			

Poznámka k Tab. č. 7:

Veškeré zatížení uvedené v tabulce bylo násobeno zatěžovací šířkou 1,50 m - osová vzdálenost vazniček. Zatížení s označením g_{k1} , g_{k4} , g_{k5} byly sloučeny (sečteny). Jedná se o stálé zatížení působící prostřednictvím střešních panelů na vazničku.

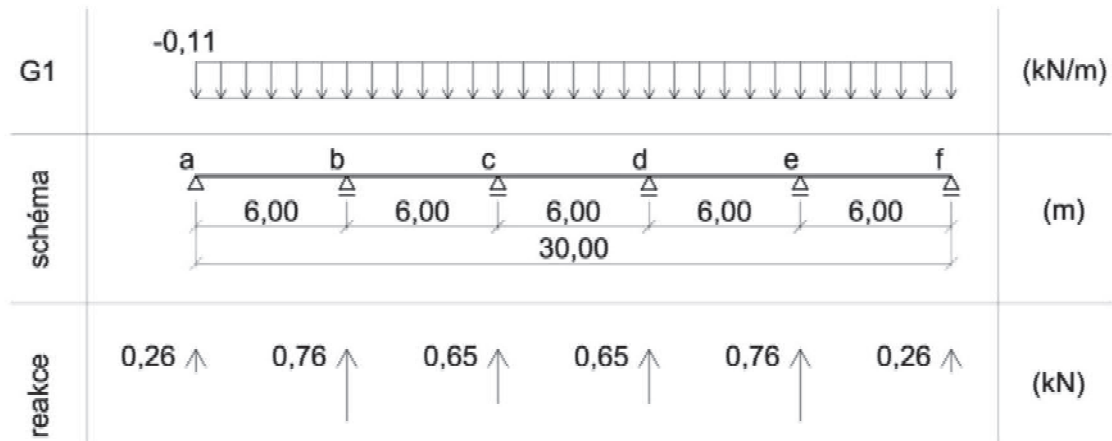
Vlastní tíha vazničky g_{k2} započtena v programu FIN 2D jako vlastní tíha zadávaného prutu. Veškeré hodnoty zatížení jsou uváděny v charakteristických hodnotách.

Byla provedena změna znamének u zatížení vazničky. Znaménková konvence dle statického softwaru FIN 2D. Sání se znaménkem + a tlak se znaménkem -.

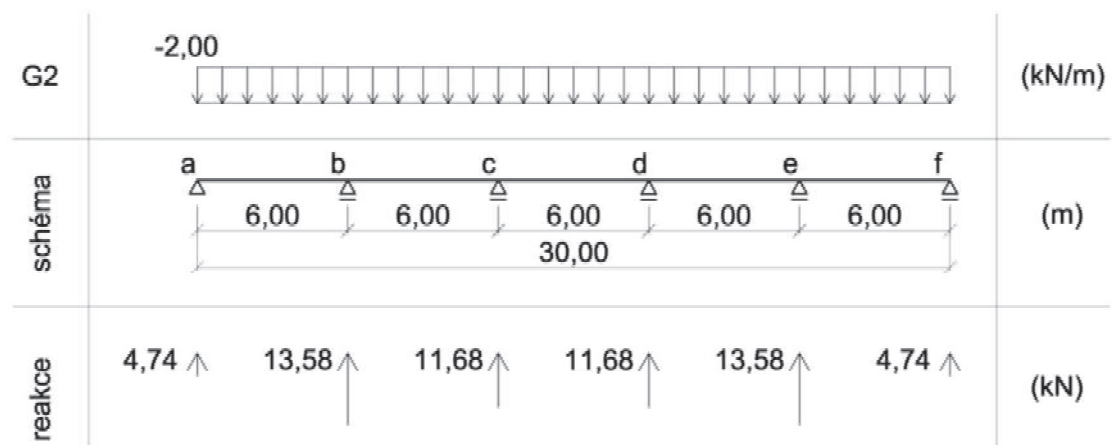
Zatěžovací stavy na vazničku:

- G1 stálé zatížení, vlastní tíha vazničky
- G2 stálé zatížení – vlastní tíha pláště, kazetového podhledu a zavěšených instalací
- Q3 užité zatížení
- Q4 – Q13 klimatické zatížení (sníh, vítr)

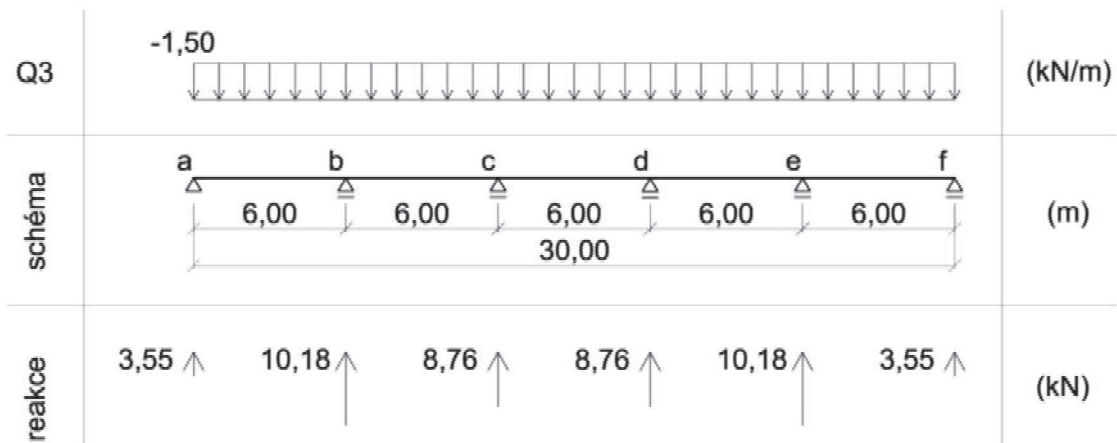
Na obrázcích č. 7 až 19 jsou znázorněny zatěžovací stavy s příslušným zatížením uvedeném v Tab. č. 7, schéma vazničky a reakční účinky. Výpočet reakčních účinků v zatěžovacích stavech je proveden ve statickém softwaru FIN 2D. Reakční účinky v zatěžovacích stavech jsou uvedeny v charakteristických hodnotách.



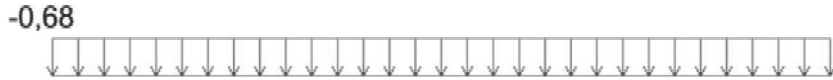
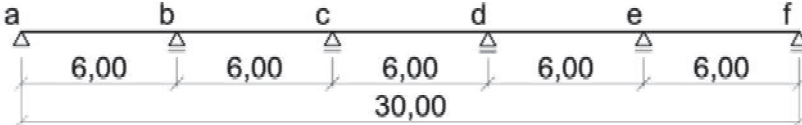

Obr. č. 7 Zatěžovací stav G1 na vazničku - vlastní tíha vazničky




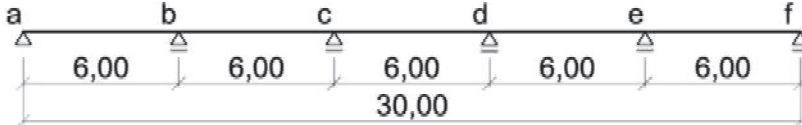

Obr. č. 8 Zatěžovací stav G2 na vazničku – stálé zatížení





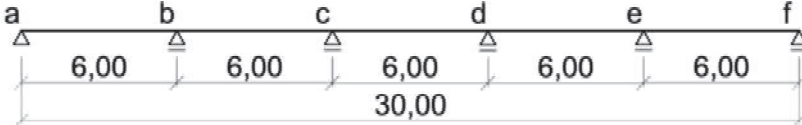

Obr. č. 9 Zatěžovací stav Q3 na vazničku – užité zatížení

Q4		(kN/m)
schéma		(m)
reakce		(kN)

Obr. č. 10 Zatěžovací stav Q4 na vazničku – sníh 100 %

Q5		(kN/m)
schéma		(m)
reakce		(kN)

Obr. č. 11 Zatěžovací stav Q5 na vazničku – sníh 50 %

délka oblasti		(m)
Q6		(kN/m)
schéma		(m)
reakce		(kN)



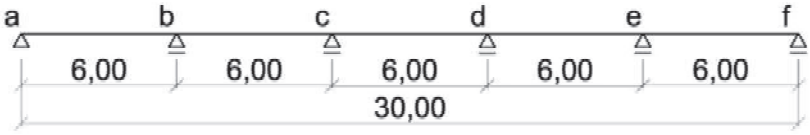

Obr. č. 12 Zatěžovací stav Q6 na vazničku – vítr oblast IHF+

délka oblasti		(m)
Q7		(kN/m)
schéma		(m)
reakce		(kN)

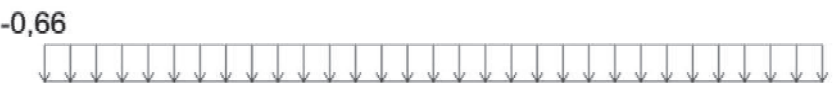
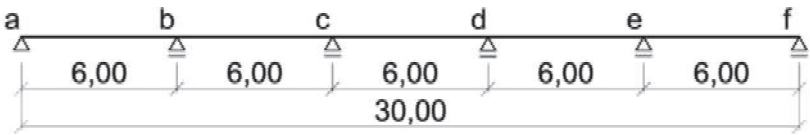

Obr. č. 13 Zatěžovací stav Q7 na vazničku – vítr oblast IHF-

délka oblasti		(m)
Q8		(kN/m)
schéma		(m)
reakce		(kN)

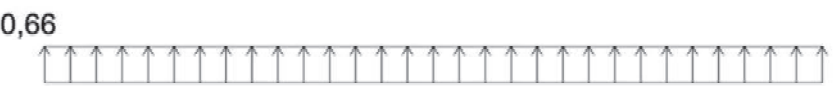
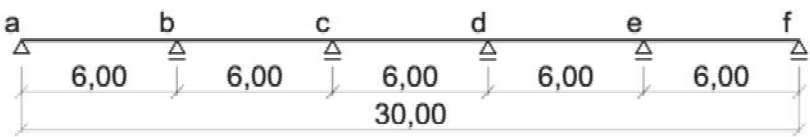

Obr. č. 14 Zatěžovací stav Q8 na vazničku – vítr oblast IHG+

délka oblasti		(m)
Q ₉		(kN/m)
schéma		(m)
reakce		(kN)

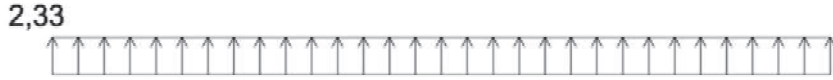
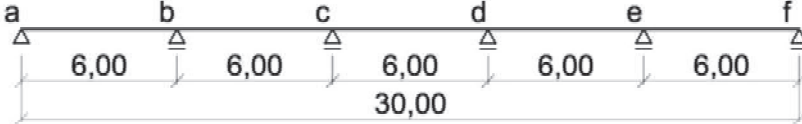
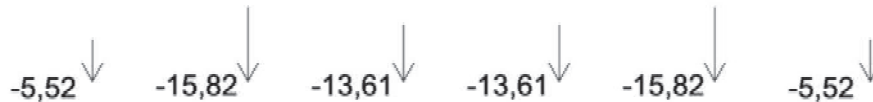
Obr. č. 15 Zatěžovací stav Q₉ na vazničku – vítr oblast IHG-

Q ₁₀		(kN/m)
schéma		(m)
reakce		(kN)

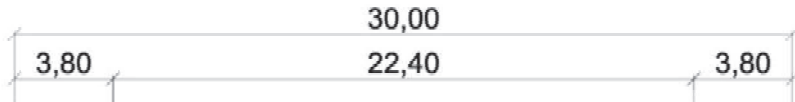
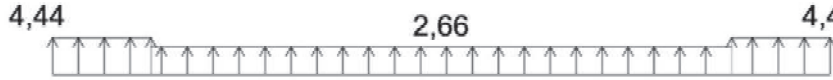
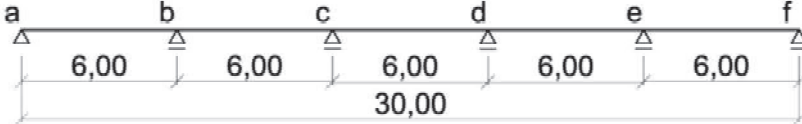

Obr. č. 16 Zatěžovací stav Q₁₀ na vazničku – vítr oblast I+

Q ₁₁		(kN/m)
schéma		(m)
reakce		(kN)

Obr. č. 17 Zatěžovací stav Q₁₁ na vazničku – vítr oblast I-

Q12		(kN/m)
schéma		(m)
reakce		(kN)

Obr. č. 18 Zatěžovací stav Q12 na vazničku – vítr oblast H

délka oblasti		(m)
Q13		(kN/m)
schéma		(m)
reakce		(kN)

Obr. č. 19 Zatěžovací stav Q13 na vazničku – vítr oblast FGF

Tab. č. 8 Styčnickové zatížení na střešní příhradový ocelový vazník

Styčnick - vazník		Reakce /Styčnickové zatížení (kN)					
		a	b	c	d	e	f
Zatěžovací stavy vazničky	G1 – stálé vlastní tíha	0,26	0,76	0,65	0,65	0,76	0,26
	G2 - stálé	4,74	13,58	11,68	11,68	13,58	4,74
	Q3 - užité	3,55	10,18	8,76	8,76	10,18	3,55
	Q4 – sníh 100 %	1,61	4,62	3,97	3,97	4,62	1,61
	Q5 – sníh 50 %	0,81	2,31	1,99	1,99	2,31	0,81
	Q6 – vítr IHF+ podélný směr	-8,69	-12,32	5,29	3,47	4,58	1,55
	Q7 – vítr IHF- podélný směr	-8,48	-14,15	-2,98	-4,09	-4,42	-1,57
	Q8 – vítr IHG+ podélný směr	-6,41	-11,78	5,14	3,51	4,57	1,55
	Q9 – vítr IHG- podélný směr	-6,20	-13,61	-3,12	-4,05	-4,43	-1,57
	Q10 – vítr I+ příčný směr	1,56	4,48	3,86	3,86	4,48	1,56
	Q11 – vítr I- příčný směr	-1,56	-4,48	-3,86	-3,86	-4,48	-1,56
	Q12 – vítr H příčný směr	-5,52	-15,82	-13,61	-13,61	-15,82	-5,52
	Q13 – vítr FGF příčný směr	-10,47	-21,19	-15,00	-15,00	-21,19	-10,47

Poznámka k Tab. č. 8:

Každý styčnick a-f vazničky představuje podporu v podobě vazníku. Největší reakční účinky vznikají ve styčnicích pod označením b,e. Prostřednictvím reakčních účinků je provedeno zatížení na příhradový ocelový vazník. Dimenzování a posuzování příhradového vazníku je prováděno na nejvíce namáhaný vazník, tedy vazník b,e.

Zatěžovací stavy – příhradový vazník:

- G1 stálé zatížení, vlastní tíha příhradového vazníku (bez znázornění na obrázku)
 G2 stálé zatížení – vlastní tíha pláště, kazetového podhledu, tenkostěnného profilu a zavěšených instalací
 Q3 – Q5 užité zatížení
 Q6 – Q11 klimatické zatížení (sníh, vítr)

Na obrázcích č. 20 až 23 jsou znázorněny zatěžovací stavy pro příhradový ocelový vazník s příslušným zatížením uvedeném v Tab. č. 9. Jedná se reakční účinek vazničky ve styčnicku b, nebo e.

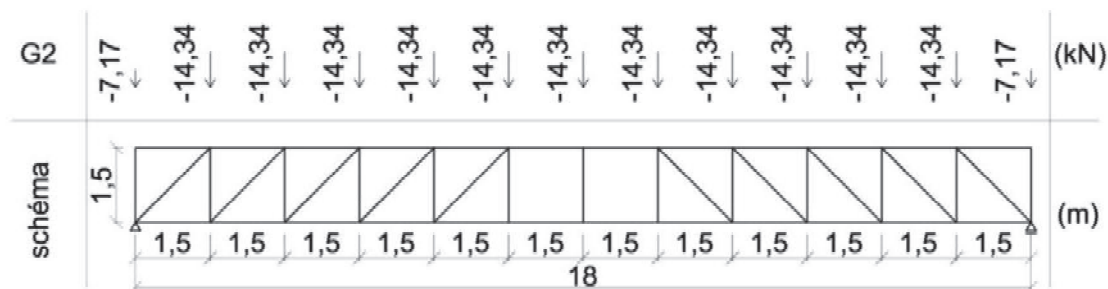
Tab. č. 9 Zatížení působící na střešní příhradový vazník

Zatěžovací stavy vazničky ve styčnicku b, nebo e		Zatěžovací stavy - příhradový vazník	
-	-	G1 – stálé zatížení, vlastní tíha příhradového vazníku	FIN 2D
G1 – stálé vlastní tíha	0,76 kN	G2 – stálé zatížení	-14,34 kN
G2 – stálé	13,58 kN	Q3 – Q5 – užité zatížení	-10,18 kN
Q3 – užité	10,18 kN	Q6 – Q8 – sníh 100%, nebo 50 %	-4,62 kN
Q4 – sníh 100 %	4,62 kN		-2,31 kN
Q5 – sníh 50 %	2,31 kN	Q9 – vítr, podélný směr	-4,58 kN
Q6 – vítr IHF+ podélný směr	4,58 kN	Q10 a Q11 – vítr, příčný směr	4,48 kN
Q11 – vítr I příčný směr	-4,48 kN		15,82 kN
Q12 – vítr H příčný směr	-15,82 kN		21,19 kN
Q13 – vítr FGF příčný směr	-21,19 kN		

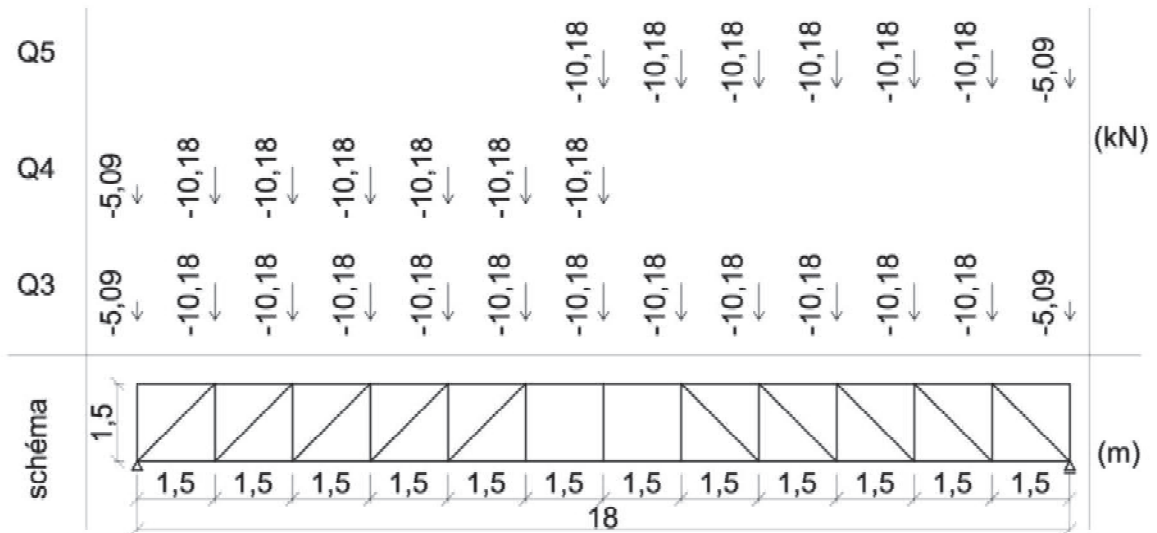
Poznámka k Tab. č. 9:

Zatížení v zatěžovacím stavu G2 příhradového vazníku bylo získáno sečtením hodnot ze zatěžovacích stavů G1 a G2 vazničky ve styčnicku b, nebo e.

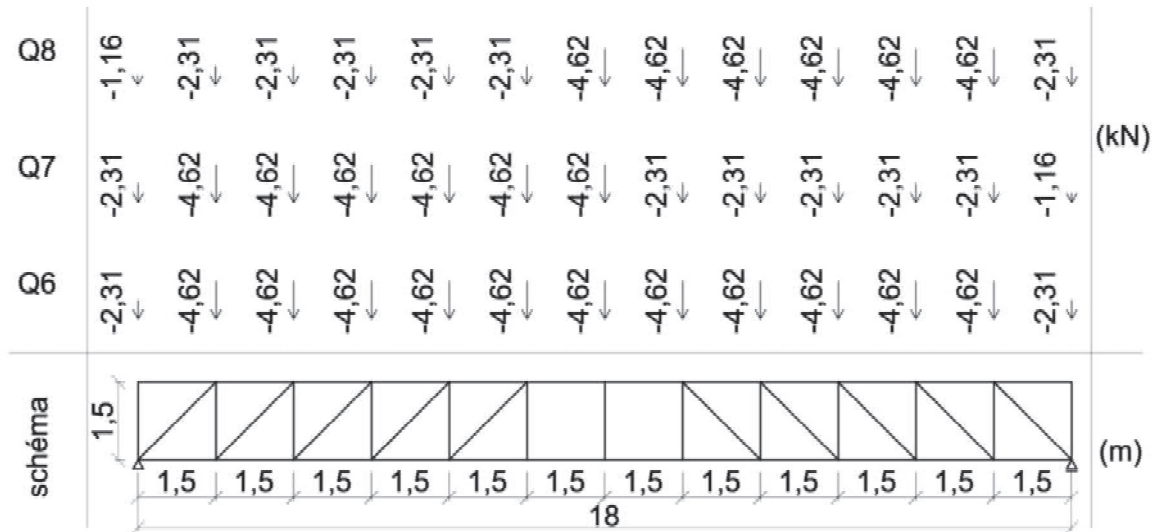
Zatížení příhradového vazníku v zatěžovacích stavech Q10 a Q11 (příčný směr, sání větru) je provedeno dle délek oblastí viz Obr. č. 2 v kapitole 1.2.



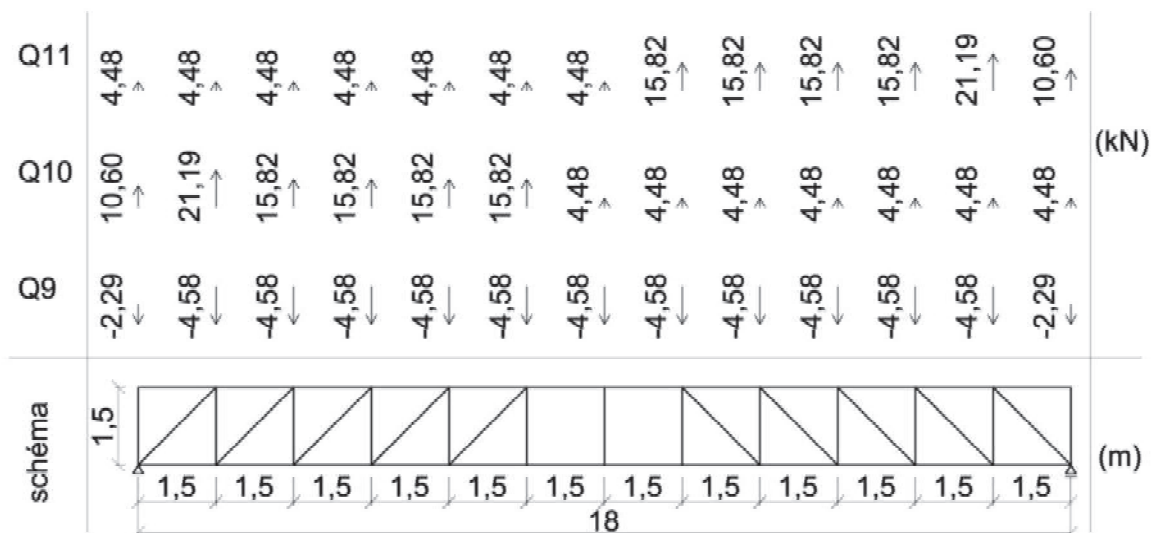
Obr. č. 20 Zatěžovací stav G2, stálé zatížení



Obr. č. 21 Zatěžovací stav Q3-Q5, užitné zatížení



Obr. č. 22 Zatěžovací stav Q6-Q8, sněž



Obr. č. 23 Zatěžovací stav Q9-Q11, vítr (tlak a sání)

Kombinace zatížení:

Tab. č. 10 Kombinační součinitele dle druhu zatížení

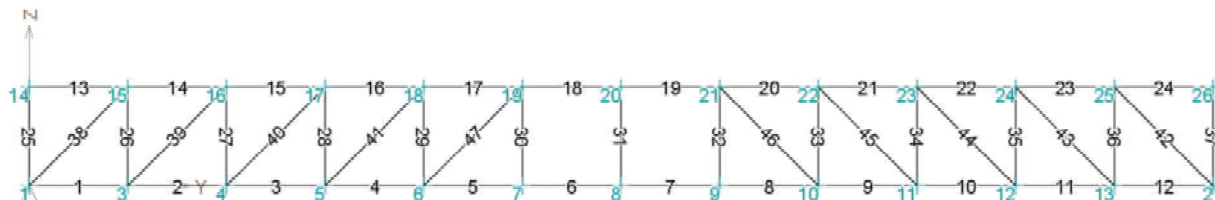
Zatěžovací stav			Dílčí součinitel γ	Součinitel Ψ		
				Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
G1	vlastní tíha	nepříznivý účinek	1,35	-	-	-
		příznivý účinek	1,00	-	-	-
G2	stálé zatížení	nepříznivý účinek	1,35	-	-	-
		příznivý účinek	1,00	-	-	-
Q3-Q5	užitné zatížení	nepříznivý účinek (kategorie H: střechy)	1,50	0	0	0
Q6-Q8	sníh	Nepříznivý účinek (stavby umístěné ve výšce ≤ 1000 m.n.m.)	1,50	0,50	0,20	0
Q9-Q11	vítr	Nepříznivý účinek	1,50	0,60	0,20	0

Hodnoty uvedené v Tab. č. 10 jsou v souladu dle EN 1990.

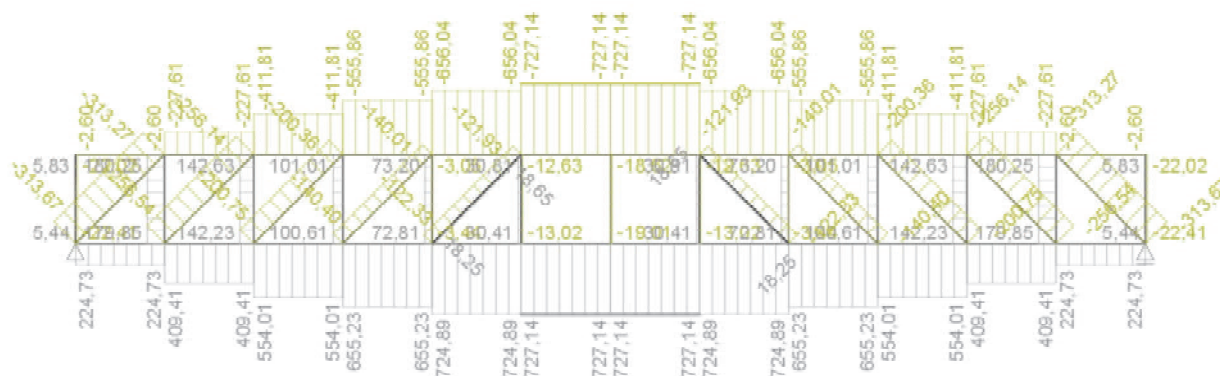
Kombinace zatěžovacích stavů byly provedeny ve výpočetním softwaru FIN 2D. Kombinace zatížení jsou provedeny dle Tab. č. 9, vedlejší proměnná zatížení jsou pronásobena zmenšujícími součiniteli Ψ_0 . Kritická kombinace zatížení: Q3; G1 + G2 + Q9. Kombinace zatížení stálého, užitného a proměnného – vítr, jako vedlejší proměnné zatížení je uvažován vítr. Na vnitřní účinky vytvořené touto kombinací je proveden návrh a posouzení všech prvků příhradového střešního vazníku.

Vnitřní účinky, příhradový ocelový vazník:

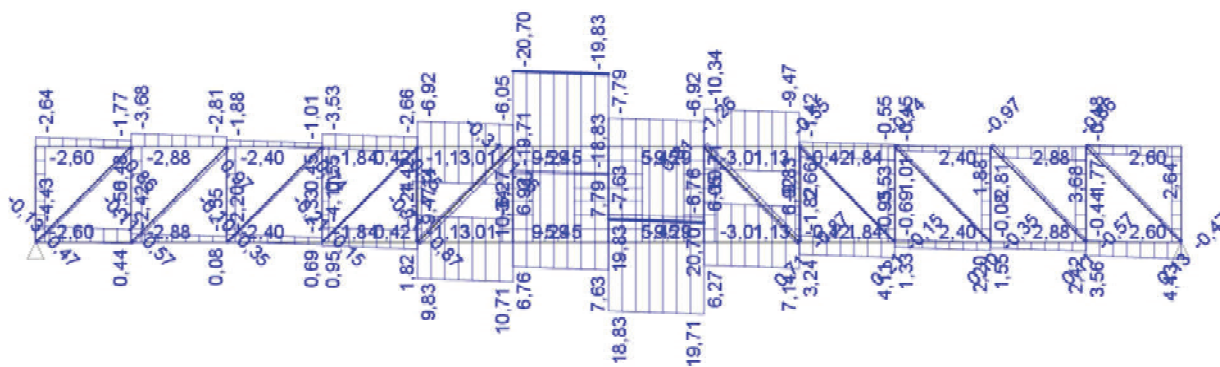
Na obrázcích č. 25 až 27 jsou vykresleny vnitřní účinky působící na konstrukci. Jedná se o obálku komb. I. řádu pro MSÚ, kritická kombinace zatěžovacích stavů: Q3; G1 + G2 + Q9. Statické schéma je zobrazeno na Obr. č. 24. Jedná se o prutovou příhradovou konstrukci s tuhými svařovanými spoji uložena na tuhé železobetonové stěně.



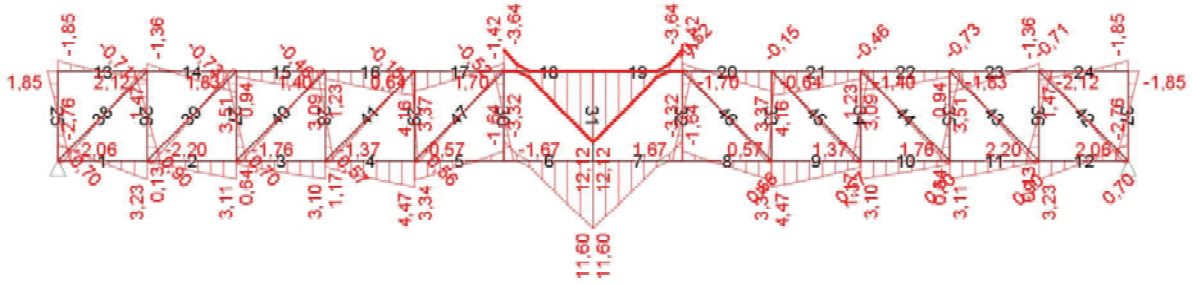
Obr. č. 24 Statické schéma



Obr. č. 25 Normálové síly



Obr. č. 26 Posouvající síly



Obr. č. 27 Ohybové momenty

Tab. č. 11 Shrnutí výsledků, vnitřní účinky– střecha

Vnitřní účinek (MSÚ)		Označení a velikost
Normálová síla	Horní pásnice - tlak	$N_{ED1} = -727,14 \text{ kN}$
	Dolní pásnice - tah	$N_{ED2} = 727,14 \text{ kN}$
	Diagonála - tlak	$N_{ED3} = -313,67 \text{ kN}$
	Svislice – tah	$N_{ED4} = 179,85 \text{ kN}$
Posouvající síla	Horní pásnice	$V_{ED1} = 20,70 \text{ kN}$
	Dolní pásnice	$V_{ED2} = 19,71 \text{ kN}$
	Diagonála	neposuzováno
	Svislice	0
Ohybový moment	Horní pásnice	$M_{ED1} = 12,12 \text{ kN*m}$
	Dolní pásnice	$M_{ED2} = 11,60 \text{ kN*m}$
	Diagonála	neposuzováno
	Svislice	0

Poznámka k Tab. č. 11:

Posouvající síla a ohybový moment nemá žádný vliv na svislice a minimální vliv na diagonálu, proto jsou vnitřní účinky od posouvající síly a ohybového momentu na diagonálu zanedbány. Návrh a posouzení je od posouvající síly a ohybového momentu provedeno na horní a dolní pásnici.

Normálová síla působí na všechny prvky tlakem či tahem. Návrh a posouzení je provedeno na všechny prvky příhradového vazníku.

Velikosti vnitřních účinků jsou odečteny z Obr. č. 25 až 27. Návrh a posouzení se provádí na nejvíce namáhaný prvek-prut příhradového vazníku viz Tab. č. 11.

Návrh prvků příhradového vazníku:

$$A = \frac{N_{ED}}{\gamma_{M0} \cdot f_y} \quad (17)$$

Horní pásnice:

$$A = \frac{N_{ED}}{\gamma_{M0} \cdot f_y} = \frac{765,52 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 235} = 3257,53 \text{ mm}^2 \rightarrow TR 152 \times 12,5 \text{ mm S235}$$

Diagonála a svislice:

$$A = \frac{N_{ED}}{\gamma_{M0} \cdot f_y} = \frac{337,10 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 235} = 1434,47 \text{ mm}^2 \rightarrow TR 89 \times 10 \text{ mm S235}$$

Posouzení prvků příhradového vazníku MSÚ, obecně:**Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu γ_M :**

$\gamma_{M0} = 1,00$ únosnost průřezu kterékoliv třídy průřezu; dle EC 3

$\gamma_{M1} = 1,00$ únosnost průřezu při posuzování stability prutů; dle EC 3

Třída průřezu:

$$\frac{d}{t} \leq 50 \cdot \varepsilon^2 \rightarrow \text{třída průřezu 1} \quad (18)$$

$$\frac{d}{t} \leq 70 \cdot \varepsilon^2 \rightarrow \text{třída průřezu 2} \quad (19)$$

$$\frac{d}{t} \leq 90 \cdot \varepsilon^2 \rightarrow \text{třída průřezu 3} \quad (20)$$

d průměr trubky (mm)

t tloušťka trubky (mm)

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (21)$$

Únosnost průřezu:

$$\pm \frac{N_{ED}}{N_{RD}} + \frac{|M_{y,ED}|}{M_{y,RD}} + \frac{|M_{z,ED}|}{M_{z,RD}} \leq 1,0 \quad (22)$$

N_{RD} ; $M_{y,RD}$; $M_{z,RD}$ návrhové hodnoty únosnosti v závislosti na třídě průřezu a jejich redukce v důsledku účinku smykové síly

Vztah (22) platí pro třídy průřezu 1,2,3.

Výpočet únosnosti průřezu dle vztahu (22) je pro konstrukce posuzované ve 3D. Ohybový moment působí v jedné rovině, vztah (22) bude zjednodušen do následující podoby viz rovnice (23). S tímto zjednodušením výpočtu únosnosti průřezu se v následujícím posuzování počítá. Posudek ve 2D.

$$\pm \frac{N_{ED}}{N_{RD}} + \frac{|M_{ED}|}{M_{RD}} \leq 1,0 \quad (23)$$

Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu γ_M :

$\gamma_{M0} = 1,00$ únosnost průřezu ktérokoliv třídy průřezu; dle EC 3

$\gamma_{M1} = 1,00$ únosnost průřezu při posuzování stability prutů; dle EC 3

Tlak:

$$\frac{N_{ED}}{N_{c,RD}} \leq 1,0 \quad (24)$$

$$N_{c,RD} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (25)$$

N_{ED} návrhová hodnota tlakové síly
 $N_{c,RD}$ únosnost průřezu v prostém tlaku
 A plocha průřezu

Současně je nutno ověřit i vzpěrnou únosnost prutu.

Vzpěrná únosnost:

$$\frac{N_{ED}}{N_{b,RD}} \leq 1,0 \quad (26)$$

$$N_{b,RD} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}; \text{ pro průřezy třídy 1,2 a 3} \quad (27)$$

N_{ED} návrhová hodnota tlakové síly
 $N_{b,RD}$ únosnost průřezu ve vzpěrném tlaku
 χ součinitel vzpěrnosti pro příslušný způsob vybočení
 A plocha průřezu

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}; \text{ ale } \chi \leq 1,0 \quad (28)$$

$$\Phi = 0,5[1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \quad (29)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}; \text{ pro průřezy třídy 1,2 a 3} \quad (30)$$

$\bar{\lambda}$ poměrná štíhlost
 α součinitel imperfekce (pro daný případ duté průřezy a ocel S235 je $\alpha = 0,21$)
 N_{cr} pružná kritická síla

$$N_{cr} = n^2 * \pi^2 * \frac{E \cdot I}{L_{cr}^2} \quad (31)$$

n počet ztužujících prvků, proti vybočení prutu
 E modul pružnosti ocel $E = 210\,000$ MPa
 I kvadratický moment sertvačnosti
 L_{cr} kritická délka dílce

Konstrukce se řeší podle teorie II. řádu v případě platnosti vztahu (32). V případě platnosti vztahu (33) se konstrukce řeší podle teorie I. řádu

$$\alpha_{cr} = \frac{N_{cr}}{N_{ED}} < 10; \quad \text{teorie II. řádu} \quad (32)$$

$$\alpha_{cr} = \frac{N_{cr}}{N_{ED}} \geq 10; \quad \text{pro pružnostní analýzu, teorie I. řádu} \quad (33)$$

$$\alpha_{cr} = \frac{N_{cr}}{N_{ED}} \geq 15; \quad \text{pro plasticitní analýzu, teorie I. řádu} \quad (34)$$

Prvky pro něž platí:

$$\frac{N_{cr}}{\gamma_M \cdot N_{ED}} \geq 25; \text{ lze posoudit na prostý tlak} \quad (35)$$

Konstrukce řešené podle teorie 2 řádu:

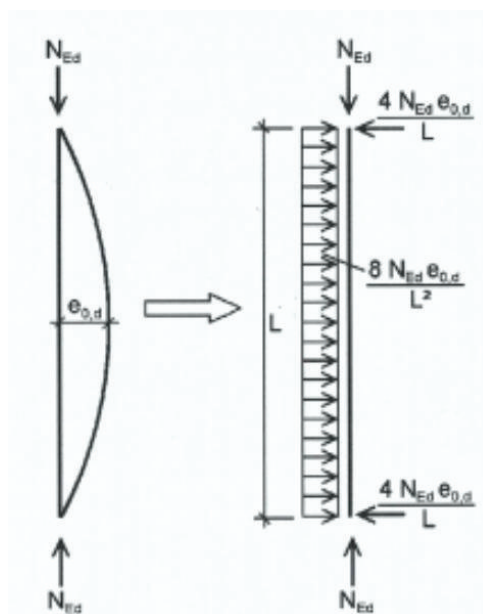
Tab. č. 12 Návrhové hodnoty imperfekcí ve tvaru počátečního prohnutí e_0/L

[(Tab. 5.1 ČSN EN 1993-1)]

Křivka vzpěrné pevnosti	Pružnostní analýza	Plasticitní analýza
	e_0/L	
a ₀	1/350	1/300
a	1/300	1/250
b	1/250	1/200
c	1/200	1/150
d	1/150	1/100

Poznámka k Tab. č. 12:

Křivka vzpěrné pevnosti pro kruhové duté profily jsou dle ČSN EN 1993-1-1 zatříděny do křivky vzpěrné pevnosti **a**.



Obr. č. 28 Nahrazení lokálních imperfekcí náhradním zatížením

[Obr. 5.4 v ČSN EN 1993-1-1]

Moment od vzniklých imperfekcí:

$$M_{EDi}(L/2) = \frac{1}{8} * q * L^2 = \frac{1}{8} * \frac{8 * N_{ED} * e_0}{L^2} * L^2 = N_{ED} * e_0 \quad (36)$$

Poznámka k (35):

Rovnoměrné zatížení q a jeho vyjádření dle Obr. č. 32.

$$\frac{e_0}{L} = \frac{1}{250} \rightarrow e_0 = \frac{L}{250} \quad (37)$$

Poznámka k (36):

Posuzované kruhové duté profily jsou dle ČSN EN 1993-1-1 zaříděny do křivky vzpěrné pevnosti a a je počítáno s plasticitní analýzou. Rovnice (36) vychází z Tab. č. 12.

Tah:

$$\frac{N_{ED}}{N_{pl,RD}} \leq 1,0 \quad (38)$$

$$N_{pl,RD} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} \quad (39)$$

N_{ED} návrhová hodnota tahové síly

$N_{pl,RD}$ návrhová plastická únosnost neoslabeného průřezu

A plocha průřezu

Smyk:

$$\frac{V_{ED}}{V_{pl,RD}} \leq 1,0 \quad (40)$$

$$V_{pl,RD} = \frac{A_v * (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad (41)$$

V_{ED} návrhová hodnota posouvající síly

$N_{pl,RD}$ návrhová plastická smyková únosnost bez kroucení

A_v plocha stěny ve smyku

$$V_{ED} \leq 0,5 * V_{pl,RD} \quad (42)$$

V případě, že je splněn vztah (39) je možné zanedbat účinek smykové síly na ohybový moment. Zanedbat nelze pouze v případech, kdy smykové boulení snižuje únosnost průřezu.

Ohybový moment:

$$\frac{M_{ED}}{M_{pl,RD}} \leq 1,0 \quad (43)$$

$$M_{pl,RD} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} \quad (44)$$

M_{ED} návrhová hodnota ohybového momentu

$N_{pl,RD}$ návrhová hodnota plastického ohybového momentu

W_{pl} plastický průřezový modul

Posouzení prvků příhradového vazníku MSÚ:

Horní a dolní pásnice: TR 152x12,5 mm S235

Diagonály a svislice: TR 89x10 mm S235

Základní charakteristiky pro konstrukční ocel válcovanou za tepla třídy S235:

$f_y = 235 \text{ MPa}$; charakteristická hodnota meze kluzu

$f_u = 360 \text{ MPa}$; charakteristická hodnota meze pevnosti v tahu

Velikosti meze kluzu a meze pevnosti Dle ČSN EN 10027 a jmenovité tloušťky prvku menší než 40 mm.

Posouzení – horní pásnice:

TR 152x12,5 mm S235

$$A = 5\,478 \text{ mm}^2$$

$$W_{pl} = 243,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A_v = 3\,488 \text{ mm}^2$$

$$I = 13,43 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Třída průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{d}{t} \leq 50 \cdot \varepsilon^2; \frac{159}{12,5} < 50 \cdot 1,0; 12,72 < 50 \rightarrow \text{třída průřezu 1, plasticita}$$

Tlak:

$$N_{c,RD} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5\,478 \cdot 235}{1,0} = 1\,287\,330,0 \text{ N} = 1\,287,33 \text{ kN}$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{cr} = n^2 \cdot \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I}{L_{cr}^2} = 11^2 \cdot \pi^2 \cdot \frac{210 \cdot 10^3 \cdot 13,43 \cdot 10^6}{18\,000^2} = 10\,395\,261,36 \text{ N} = 10\,395,26 \text{ kN}$$

$$\alpha_{cr} = \frac{N_{cr}}{N_{ED}} \geq 10; \frac{10\,395,26}{727,14} > 10; 14,30 > 10 \rightarrow$$

teorie 1. řádu, pružnostní analýza, vlastní tvar α_{cr} je menší jak 15

$$\frac{N_{cr}}{\gamma_M \cdot N_{ED}} \geq 25; \frac{10\,395,26}{1,0 \cdot 727,14} > 25; 14,30 < 25 \rightarrow \text{prvek je nutné posoudit na vzpěr}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{5\,478 \cdot 235}{10\,395\,261}} = 0,352$$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,352 - 0,2) + 0,352^2] = 0,58$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,58 + \sqrt{0,58^2 - 0,352^2}} = 0,96; \text{ ale } \chi \leq 1,0 \rightarrow \chi = 0,96$$

$$N_{b,RD} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,96 \cdot 5\,478 \cdot 235}{1,0} = 1\,235\,836,80 = 1\,235,84 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ED1}}{N_{b,RD}} \leq 1,0; \frac{727,14}{1\,235,84} < 1; 0,59 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Smyk:

$$V_{pl,RD} = \frac{A_v * (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{3488 * (235 / \sqrt{3})}{1,0} = 473\,242,47 \text{ N} = 473,24 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ED1}}{V_{pl,RD}} \leq 1,0; \frac{20,70}{473,24} < 1,0; 0,04 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$V_{ED1} \leq 0,5 * V_{pl,RD}; 20,70 < 0,5 * 473,24; 20,70 < 236,62 \rightarrow$$

Vliv smykové síly v ohybu zanedbán

Ohybový moment:

$$M_{pl,RD} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{243,9 * 10^3 * 235}{1,0} = 57\,316\,500,0 \text{ N} * \text{m} = 57,32 \text{ kN} * \text{m}$$

$$\frac{M_{ED1}}{M_{pl,RD}} \leq 1,0; \frac{12,12}{57,32} < 1,0; 0,21 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Únosnost průřezu horní pásnice:

$$\frac{N_{ED1}}{N_{RD}} + \frac{M_{ED1}}{M_{RD}} \leq 1,0; 0,59 + 0,21 < 1,0; 0,80 < 1,0 \rightarrow \text{TR 152x12,5 mm S235 vyhovuje}$$

→ Posuzovaná horní pásnice TR 152x12,5 mm S235 vyhovuje

Posouzení – dolní pásnice:

TR 152x12,5 mm S235

$$A = 5\,478 \text{ mm}^2$$

$$W_{pl} = 243,9 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A_v = 3\,488 \text{ mm}^2$$

$$I = 13,43 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Třída průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{d}{t} \leq 50 * \varepsilon^2; \frac{159}{12,5} < 50 * 1,0; 12,72 < 50 \rightarrow \text{třída průřezu 1, plasticita}$$

Tah:

$$N_{pl,RD} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5\,478 * 235}{1,0} = 1\,287\,330,0 \text{ N} = 1\,287,33 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ED2}}{N_{pl,RD}} \leq 1,0; \frac{727,14}{1\,287,33} < 1; 0,56 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Smyk:

$$V_{pl,RD} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{3488 \cdot (235 / \sqrt{3})}{1,0} = 473\,242,47 \text{ N} = 473,24 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ED1}}{V_{pl,RD}} \leq 1,0; \frac{19,71}{473,24} < 1,0; 0,04 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$V_{ED1} \leq 0,5 \cdot V_{pl,RD}; 19,71 < 0,5 \cdot 473,24; 19,71 < 236,62 \rightarrow$$

Vliv smykové síly v ohybu zanedbán

Ohybový moment:

$$M_{pl,RD} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{243,9 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} = 57\,316\,500,0 \text{ N} \cdot \text{m} = 57,32 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{ED2}}{M_{pl,RD}} \leq 1,0; \frac{11,60}{57,32} < 1,0; 0,20 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Únosnost průřezu dolní pásnice:

$$\frac{N_{ED2}}{N_{RD}} + \frac{M_{ED2}}{M_{RD}} \leq 1,0; 0,56 + 0,20 < 1,0; 0,76 < 1,0 \rightarrow \text{TR 152x12,5 mm S235 vyhovuje}$$

→ Posuzovaná dolní pásnice TR 152x12,5 mm S235 JR vyhovuje

Posouzení – diagonála:

TR 89x10 mm S235

$$A = 2\,482 \text{ mm}^2$$

$$W_{el} = 44,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I = 1,97 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Třída průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{d}{t} \leq 50 \cdot \varepsilon^2; \frac{89}{10} < 50 \cdot 1,0; 8,9 < 50 \rightarrow \text{třída průřezu 1, plasticita}$$

Tlak:

$$N_{c,RD} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2\,482 \cdot 235}{1,0} = 583\,270,0 \text{ N} = 583,27 \text{ kN}$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{cr} = n^2 \cdot \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I}{L_{cr}^2} = 1^2 \cdot \pi^2 \cdot \frac{210 \cdot 10^3 \cdot 1,97 \cdot 10^6}{2\,120^2} = 908\,476,18 \text{ N} = 908,48 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2482 \cdot 235}{908\,476}} = 0,80$$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,80 - 0,2) + 0,80^2] = 0,883$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,883 + \sqrt{0,883^2 - 0,80^2}} = 0,796; \text{ ale } \chi \leq 1,0 \rightarrow \chi = 0,796$$

$$N_{b,RD} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,796 \cdot 2\,482 \cdot 235}{1,0} = 464\,282,92 \text{ N} = 464,28 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ED3}}{N_{b,RD}} \leq 1,0; \frac{313,67}{464,28} < 1; 0,68 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\alpha_{cr} = \frac{N_{cr}}{N_{ED3}} \geq 10; \frac{908,48}{313,67} > 10; 2,90 < 10 \rightarrow$$

teorie 2. řádu, pružnostní výpočet (elasticita)

Moment od imperfekcí:

$$e_0 = \frac{L}{250} = \frac{2150}{250} = 8,6 \text{ mm}$$

$$M_{EDi}(L/2) = N_{ED} \cdot e_0 = 313\,670,0 \cdot 8,6 = 2\,697\,562 \text{ N} \cdot \text{m} = 2,70 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{el,RD} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{44,2 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} = 10\,387\,000 \text{ N} \cdot \text{m} = 10,39 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{EDi}(L/2)}{M_{el,RD}} \leq 1,0; \frac{2,70}{10,39} < 1,0; 0,26 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Únosnost průřezu diagonála:

$$\frac{N_{ED3}}{N_{b,RD}} + \frac{M_{EDi}}{M_{pl,RD}} \leq 1,0; 0,68 + 0,26 < 1,0; 0,94 < 1,0 \rightarrow \text{TR } 89 \times 10 \text{ mm S235 vyhovuje}$$

→ Posuzovaná diagonála TR 89x10 mm S235 vyhovuje

Posouzení – svislice:

TR 89x10 mm S235

$$A = 2\,482 \text{ mm}^2$$

Třída průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{d}{t} \leq 50 \cdot \varepsilon^2; \frac{102}{10} < 50 \cdot 1,0; 10,2 < 50 \rightarrow \text{třída průřezu 1, plasticita}$$

Tah:

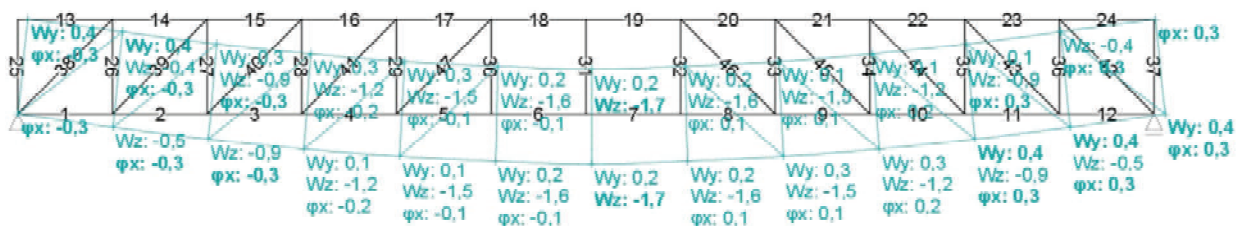
$$N_{pl,RD} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2\,482 \cdot 235}{1,0} = 583\,270,0 \text{ N} = 583,27 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ED4}}{N_{pl,RD}} \leq 1,0; \frac{179,85}{583,27} < 1; 0,31 < 1 \rightarrow \text{TR } 89 \times 10 \text{ mm S235 vyhovuje}$$

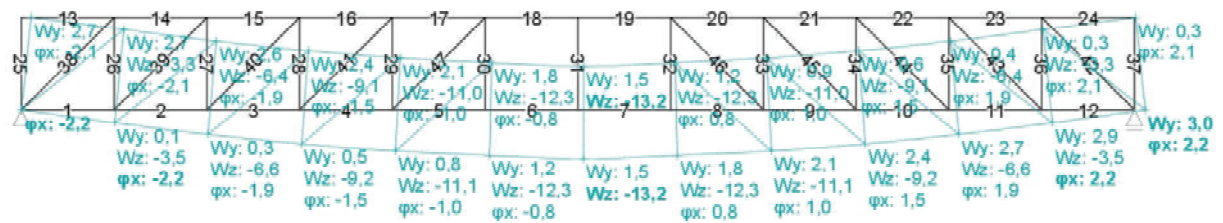
→ Posuzovaná svislice TR 89x10 mm S235 vyhovuje

Posouzení příhradového střešního vazníku dle MSP:

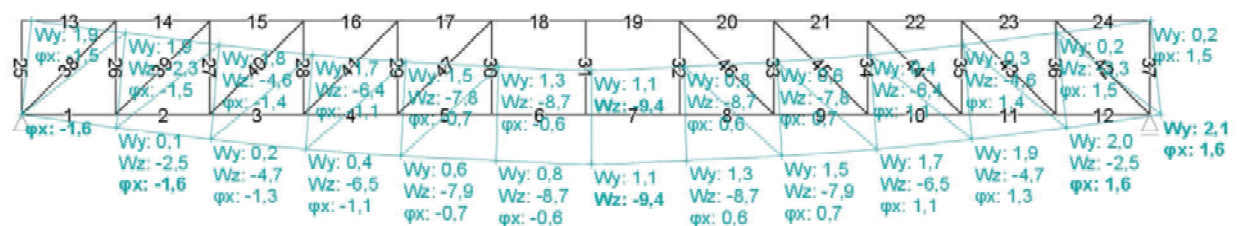
Příhradový střešní vazník je posouzen na mezní stav použitelnosti dle ČSN EN 1990, příloha A1.4 a dle NA.1 v ČSN EN 1993-1. Na obrázcích č. 29 až 32 jsou znázorněny a vyčísleny průhyby v konkrétních zatěžovacích stavech. Pro celkový průhyb jsou uvažovány zatěžovací stavy od stálého zatížení, od užitého zatížení a od zatížení větrem. Užité zatížení a zatížení větrem bylo vybráno vždy takové, které je z hlediska průhybu nejkritičtější (zatěžovací stav Q3, Q9) viz rovnice (44). Střešní příhradový vazník v nezatíženém stavu nemá žádné nadvýšení.



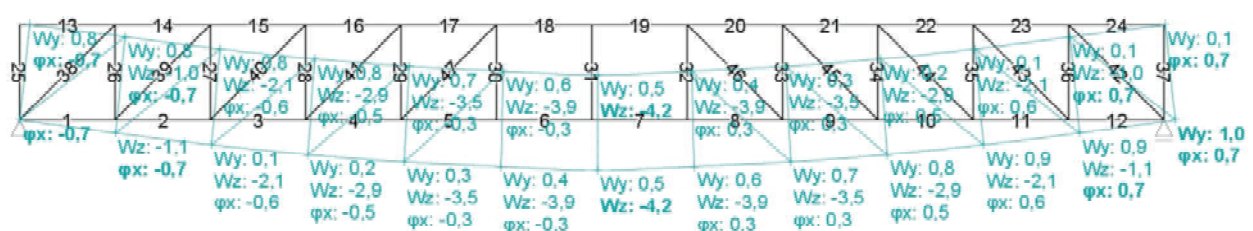
Obr. č. 29 Vlastní tíha G1 - průhyb



Obr. č. 30 Stálé zatížení G2 - průhyb



Obr. č. 31 Užité zatížení Q3 - průhyb



Obr. č. 32 Vitr Q9 - průhyb

$$w_{max} = w_{G1} + w_{G2} + w_{Q3} + w_{Q9} - w_0 \quad (45)$$

w_{max}	maximální průhyb
w_{G1}	průhyb ve styčnicku č. 8 dle Obr. č. 22 a Obr. č. 31 – vlastní tíha
w_{G2}	průhyb ve styčnicku č. 8 dle Obr. č. 22 a Obr. č. 32 – stálé zatížení
w_{Q3}	průhyb ve styčnicku č. 8 dle Obr. č. 22 a Obr. č. 33 – užité zatížení
w_{Q9}	průhyb ve styčnicku č. 8 dle Obr. č. 22 a Obr. č. 35 – vítr
w_0	nadvýšení vazníku v nezátíženém stavu

$$w_{max} = 1,70 + 12,30 + 9,40 + 4,20 - 0,00 = 27,60 \text{ mm}$$

$$L = 18\,000 \text{ mm}$$

Posouzení:

$$w_{max} < \frac{L}{250}; \text{ pro střešní konstrukce, vazníky dle ČSN EN 1993-1}$$

$$27,60 < \frac{18\,000}{250}; 27,60 < 72 \text{ (mm)} \rightarrow \text{Příhradový střešní vazník vyhovuje}$$

→ Posuzovaný střešní příhradový vazník vyhovuje

Navržené a posouzené prvky příhradového střešního vazníku:

Horní a dolní pásnice: **TR 152x12,5 mm S235**, horní pásnice v kritickém místě dle MSÚ návrh na 80 % využití únosnosti a dolní pásnice v kritickém místě dle MSÚ návrh na 76 % využití únosnosti.

Diagonála a svislice: **TR 89x10 mm S235**, nejvíce namáhaná diagonála dle MSÚ návrh na 94 % využití únosnosti, nejvíce namáhaná svislice dle MSÚ návrh na 31 % využití únosnosti.

Posouzení příhradového vazníku dle MSP je provedena na průhyb horní a dolní pásnice. Největší možný průhyb, který může vzniknout je 27,60 mm. Povolný průhyb dle norem je 72 mm. Z tohoto pohledu je využití příhradového vazníku na 38 %.

2.2 Statický návrh a posouzení stropní konstrukce

Návrh a posouzení nosného sekundárního systému stropní konstrukce je provedeno z IPE vazniček dle EC na MSÚ a MSP ve 2D. Návrh a posouzení trapézového plechu je provedeno dle technického listu výrobce. Únosnosti navrženého trapézového plechu jsou převzaty z technického listu viz kapitola 1.4.

Návrh a posouzení příhradového ocelového vazníku je provedeno dle EC. Geometrie příhradové konstrukce stropního vazníku je zobrazena na Obr. č. 4 v kapitole 2. Osová vzdálenost vazníků je 3 m a osová vzdálenost vazniček je 1,5m.

Návrh a posouzení stropní vazníkové konstrukce je proveden v programu FIN 3D.

2.2.1 Návrh a posouzení trapézový plechu

typ T80/280 tl. plechu 1,25 mm

Únosnost/odolnost konstrukce:

$R_{tlak,k} = 30,51 \text{ kN/m}^2$ (návrhová hodnota)

Mezní stav únosnosti – trvalá a dočasná situace:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_G * G_{kj} + \gamma_P * P_k + \gamma_{Q1} * Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} * \Psi_{0i} * Q_{ki} \quad (45)$$

$$E_{tlak,d} = \gamma_G * (g_{k3} + g_{k6} + g_{k7} + g_{k10} + g_{k11}) * b + \gamma_Q * q_k * b \quad (46)$$

γ_G dílčí součinitel stálého zatížení, nepříznivý účinek na konstrukci ($\gamma_G = 1,35$)

γ_Q dílčí součinitel proměnného zatížení, nepříznivý účinek na konstrukci ($\gamma_Q = 1,5$)

b zatěžovací šířka ($b = 1,50 \text{ m}$)

Ψ_{0i} kombinační součinitel

$$\begin{aligned} E_{tlak,d} &= 1,35 * (1,80 + 3,20 + 0,13 + 0,08 + 1,00) * 1,50 + 1,5 * 6,20 * 1,50 \\ &= 26,52 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Posouzení:

$$R_{tlak,d} > E_{tlak,d}; 30,51 > 26,52 \text{ [kN/m]} \rightarrow$$

Trapézový plech typ T80/280 tl. plechu 1,25 mm vyhovuje

→ Posuzovaný trapézový plech typ T80/280 tl. plechu 1,25 mm vyhovuje

2.2.2 Návrh a posouzení IPE vazničky

Zatížení působící na vazničku:

Tab. č. 13 Zatížení působící na vazničku

Zatížení	Zatěžovací šířka (m)	Zatížení vazničky (kN/m)	Zatížení vazničky – sloučení (kN/m) Znaménková konvence dle FIN 2D	Zatěžovací stavy IPE vazničky
$q_k = 6,20 \text{ kN/m}^2$	1,50	9,30	-9,30	Q3-Q5
$g_{k3} = 1,80 \text{ kN/m}^2$		2,70	-9,27	G2
$g_{k6} = 3,20 \text{ kN/m}^2$		4,80		
$g_{k7} = 0,10 \text{ kN/m}^2$		0,15		
$g_{k10} = 0,08 \text{ kN/m}^2$		0,12		
$g_{k11} = 1,00 \text{ kN/m}^2$		1,50		

Poznámka k Tab. č. 13:

Veškeré zatížení uvedené v tabulce bylo násobeno zatěžovací šířkou 1,50 m - osová vzdálenost vazniček. Zatížení s označením g_{k3} , g_{k6} , g_{k7} , g_{k10} , g_{k11} jsou sloučeny (sečteny). Jedná se o stálé zatížení působící prostřednictvím trapézového plechu na vazničku.

Vlastní tíha IPE vazničky započtena v programu FIN 2D jako vlastní tíha zadávaného prutu. Veškeré hodnoty zatížení jsou uváděny v charakteristických hodnotách.

Je provedena změna znamének u zatížení vazničky. Znaménková konvence dle statického softwaru FIN 2D. Tlak se znaménkem -.

Zatěžovací stavy:

Pro návrh a posouzení IPE vazničky jsou provedeny zatěžovací stavy:

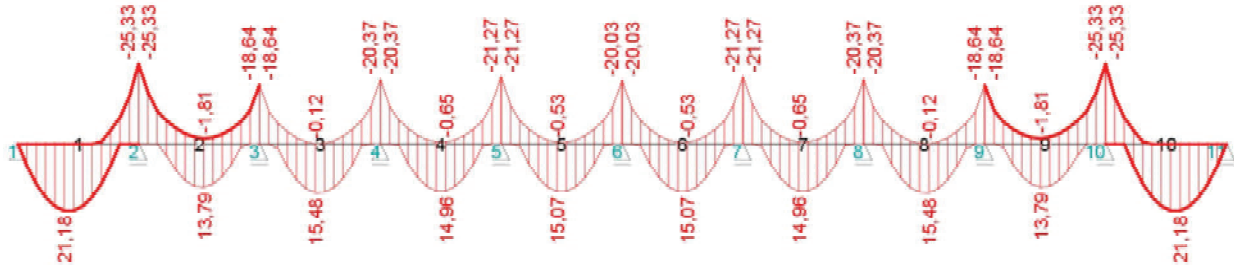
- G1 stálé zatížení, vlastní tíha vazničky
- G2 stálé zatížení – vlastní tíha podlahového souvrství, kazetového podhledu a zavěšených instalací
- Q3-Q5 užitné zatížení

Tab. č. 14 Kombinační součinitele dle druhu zatížení

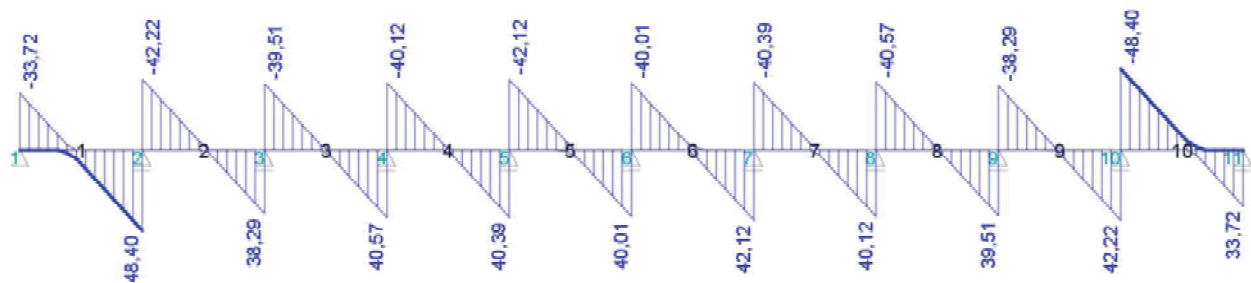
Zatěžovací stav			Dílčí součinitel γ	Součinitel Ψ		
				Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
G1	vlastní tíha	nepříznivý účinek	1,35	-	-	-
		příznivý účinek	1,00			
G2	stálé zatížení	nepříznivý účinek	1,35	-	-	-
		příznivý účinek	1,00			
Q3-Q5	užitné zatížení	nepříznivý účinek (kategorie C)	1,50	0,70	0,70	0,60

Hodnoty uvedené v Tab. č. 14 jsou v souladu dle EN 1990.

Vnitřní účinky obálka kombinací 1. řádu, v kombinačním vzorci byly vyloučeny užité zatížení. Z užitého zatížení Q3-Q5 vždy v kombinaci působí jeden zatěžovací stav plus vlastní tíha G1 a stálé zatížení G2.



Obr. č. 33 Ohybové momenty – vaznička IPE



Obr. č. 34 Posouvající síly – vaznička IPE

Vnitřní účinky dle Obr. č. 33 a Obr. č. 34:

$$M_{ED} = 25,33 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{ED} = 48,40 \text{ kN}$$

Návrh:

$$W_{pl} = \frac{\gamma_{M0} \cdot M_{ED}}{f_y} \quad (47)$$

$$W_{pl} = \frac{\gamma_{M0} \cdot M_{ED}}{f_y} = \frac{1,0 \cdot 25,33 \cdot 10^6}{235} = 107\,787,23 \text{ mm}^3 \rightarrow \text{IPE 160 S235 JR}$$

Třída průřezu:

IPE 160 S235 JR – třída průřezu 1, dle tabulek Ocelové konstrukce 1

Posouzení vazničky IPE 160 S235 JR je prováděno dle plasticitního vypočtu.

Posouzení IPE vazničky dle MSÚ:

IPE 160 S 235

Základní charakteristiky pro konstrukční ocel válcovanou za tepla třídy S235:

 $f_y = 235 \text{ MPa}$; charakteristická hodnota meze kluzu $f_u = 360 \text{ MPa}$; charakteristická hodnota meze pevnosti v tahu

Velikosti meze kluzu a meze pevnosti Dle ČSN EN 10027 a jmenovité tloušťky prvku

Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu γ_M : $\gamma_{M0} = 1,00$ únosnost průřezu ktérokoliv třídy průřezu; dle EC 3 $\gamma_{M1} = 1,00$ únosnost průřezu při posuzování stability prutů; dle EC 3 $A = 2,009 * 10^3 \text{ mm}^2$ $W_{pl,y} = 123,9 * 10^3 \text{ mm}^3$ $A_{vz} = 0,966 * 10^3 \text{ mm}^2$ **Smyk:**

$$\frac{V_{ED}}{V_{pl,RD}} \leq 1,0 \quad (48)$$

$$V_{pl,RD} = \frac{A_{vz} * (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad (49)$$

 V_{ED} návrhová hodnota posouvající síly $N_{pl,RD}$ návrhová plastická smyková únosnost bez kroucení A_{vz} plocha stěny ve smyku ve směru osy z

$$V_{ED} \leq 0,5 * V_{pl,RD} \quad (50)$$

V případě, že je splněn vztah (50) je možné zanedbat účinek smykové síly na ohybový moment. Zanedbat nelze pouze v případech, kdy smykové boulení snižuje únosnost průřezu.

Ohybový moment:

$$\frac{M_{ED}}{M_{pl,RD}} \leq 1,0 \quad (51)$$

$$M_{pl,RD} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} \quad (52)$$

 M_{ED} návrhová hodnota ohybového momentu $N_{pl,RD}$ návrhová hodnota plastického ohybového momentu $W_{pl,y}$ plastický průřezový modul k ose y

Smyk:

$$V_{pl,RD} = \frac{A_{v,z} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{966 \cdot (235 / \sqrt{3})}{1,0} = 131\,064,0 \text{ N} = 131,06 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ED}}{V_{pl,RD}} \leq 1,0; \frac{48,40}{131,06} < 1,0; 0,37 < 1,0 \rightarrow \text{IPE 160 S235 JR vyhovuje}$$

$V_{ED} \leq 0,5 * V_{pl,RD}; 48,40 < 0,5 * 131,06; 48,40 < 65,53 \rightarrow$
Vliv smykové síly v ohybu zanedbán

Ohybový moment:

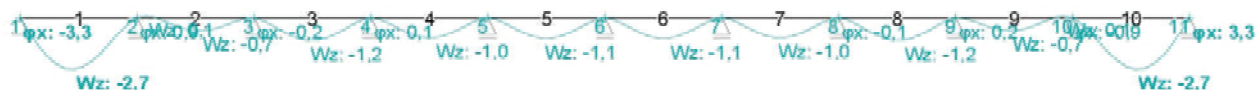
$$M_{pl,RD} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{123,9 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} = 29\,116\,500,0 \text{ N} \cdot \text{m} = 29,12 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{ED}}{M_{pl,RD}} \leq 1,0; \frac{25,33}{29,12} < 1,0; 0,87 < 1,0 \rightarrow \text{IPE 160 S235 JR vyhovuje}$$

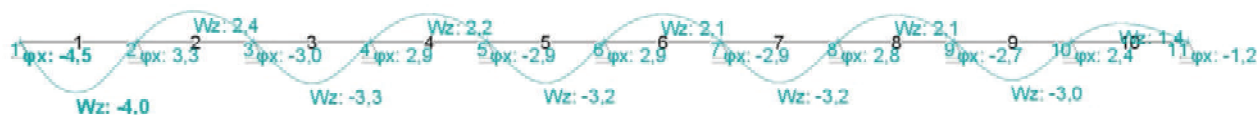
→ Posuzovaná IPE 160 S 235 JR vaznička vyhovuje dle MSÚ

Posouzení IPE vazničky dle MSP:

Příhradový střešní vazník je posouzen na mezní stav použitelnosti dle ČSN EN 1990, příloha A1.4 a dle NA.1 v ČSN EN 1993-1. Na obrázcích č. 35 a 36 jsou znázorněny a vyčísleny průhyby v konkrétních zatěžovacích stavech. Pro celkový průhyb jsou uvažovány zatěžovací stavy od stálého zatížení, od užitečného zatížení. IPE vaznička v nezatíženém stavu nemá žádné nadvýšení.



Obr. č. 35 Průhyb – zatěžovací stav G2, stálé zatížení



Obr. č. 36 Průhyb – zatěžovací stav Q4, užité zatížení

$$W_{max} = W_{G2} + W_{Q4} - w_0 \quad (53)$$

W_{max}	maximální průhyb
W_{G2}	průhyb v prutu č. 1 dle Obr. č. 39 – stálé zatížení
W_{Q4}	průhyb v prutu č. 1 dle Obr. č. 40 – užité zatížení
w_0	nadvýšení vazníku v nezatíženém stavu

$$w_{max} = 4,00 + 2,70 - 0,00 = 6,70 \text{ mm}$$

$$L = 3\,000 \text{ mm}$$

Posouzení:

$$w_{max} < \frac{L}{250}; \text{ pro střešní konstrukce, vazničky dle ČSN EN 1993-1}$$

$$6,70 < \frac{3\,000}{250}; 6,70 < 12 \text{ (mm)} \rightarrow \text{IPE vaznička vyhovuje}$$

→ Posuzovaná IPE 160 S 235 JR vaznička vyhovuje dle MSP

Navržená a posouzená IPE vaznička:

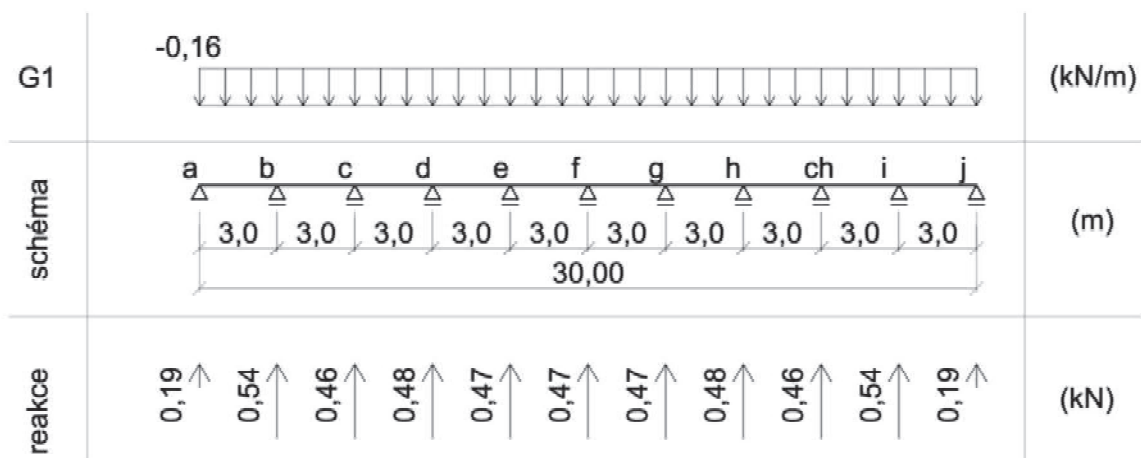
Vaznička **IPE 160 S 235** v kritickém místě dle MSÚ vyhovuje. Návrh je proveden na 87 % využití únosnosti dle MSÚ.

Posouzení **IPE 160 S 235** vazničky dle MSP je provedena na průhyb. Největší možný průhyb, který může vzniknout je 6,70 mm. Povoleno průhyb dle norem je 12 mm. Z tohoto pohledu je využití IPE vazničky na 56 %.

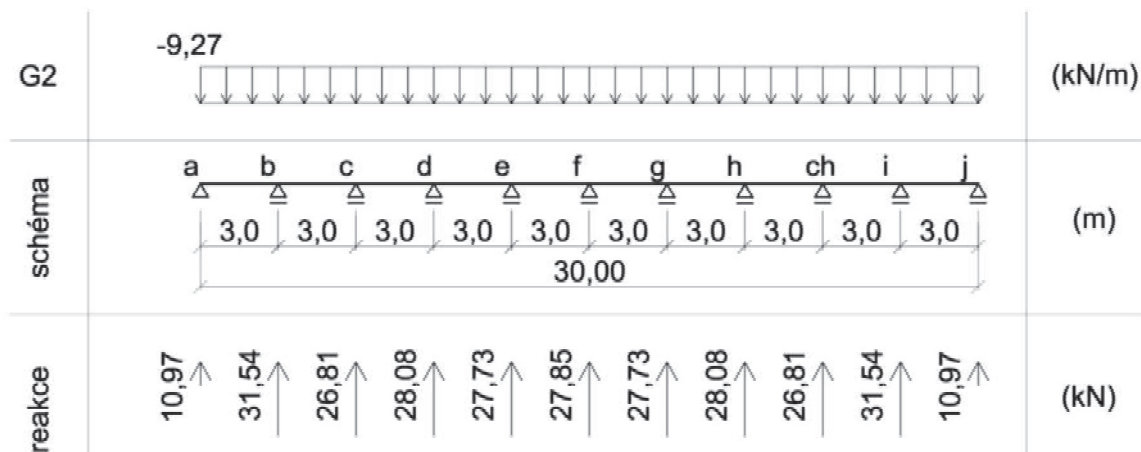
Zatěžovací stavy na vazničku – reakční účinky

- G1 stálé zatížení, vlastní tíha vazničky
 G2 stálé zatížení – vlastní tíha podlahového souvrství, kazetového podhledu a zavěšených instalací
 Q3-Q5 užitné zatížení

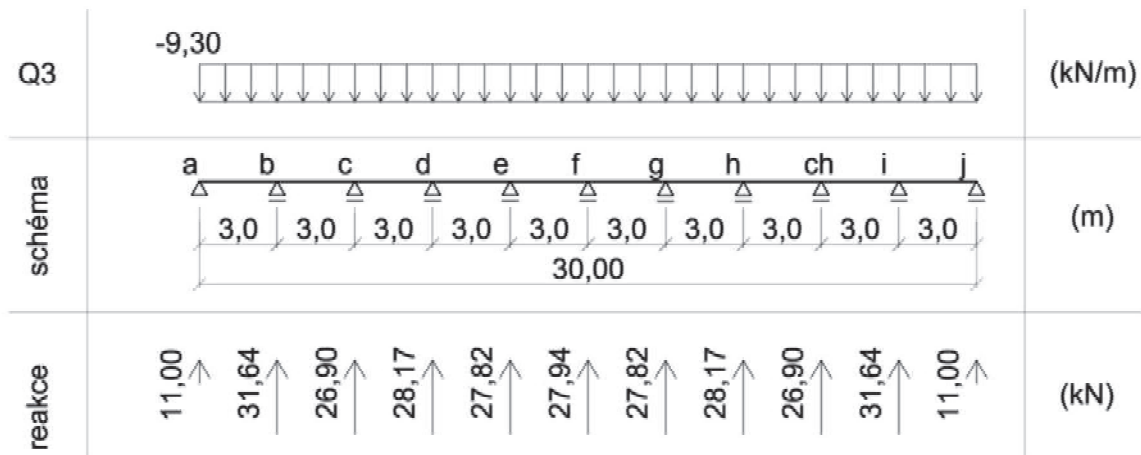
Na obrázcích č. 37 až 41 jsou znázorněny zatěžovací stavy s příslušným zatížením uvedeném v Tab. č. 13, schéma vazničky a reakční účinky ve styčných příhradových ocelového vazníku. Výpočet reakčních účinků v zatěžovacích stavech je proveden ve statickém softwaru FIN 2D. Veškeré zatížení v zatěžovacích stavech je uvedeno v charakteristických hodnotách, tedy i reakční účinky jsou v charakteristických hodnotách.



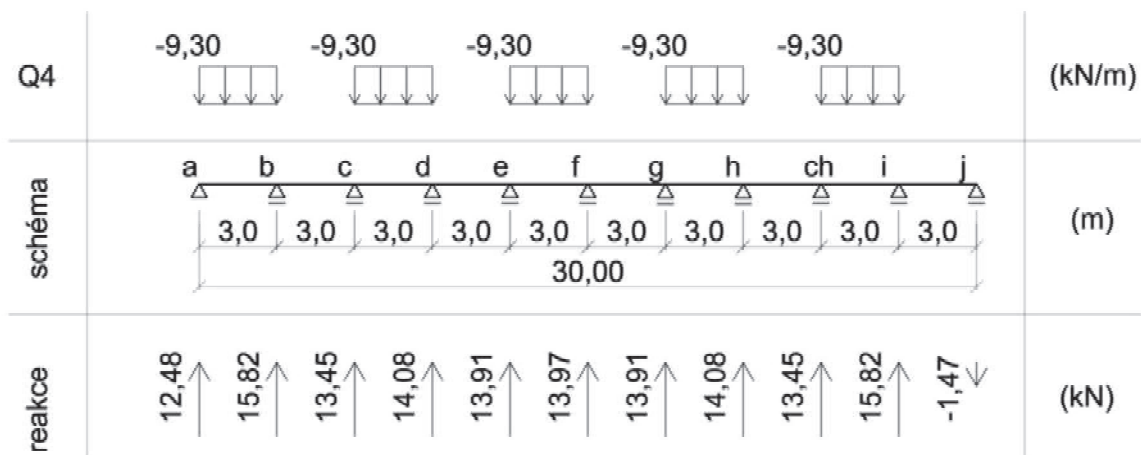
Obr. č. 37 Zatěžovací stav G1 – vlastní tíha IPE 160



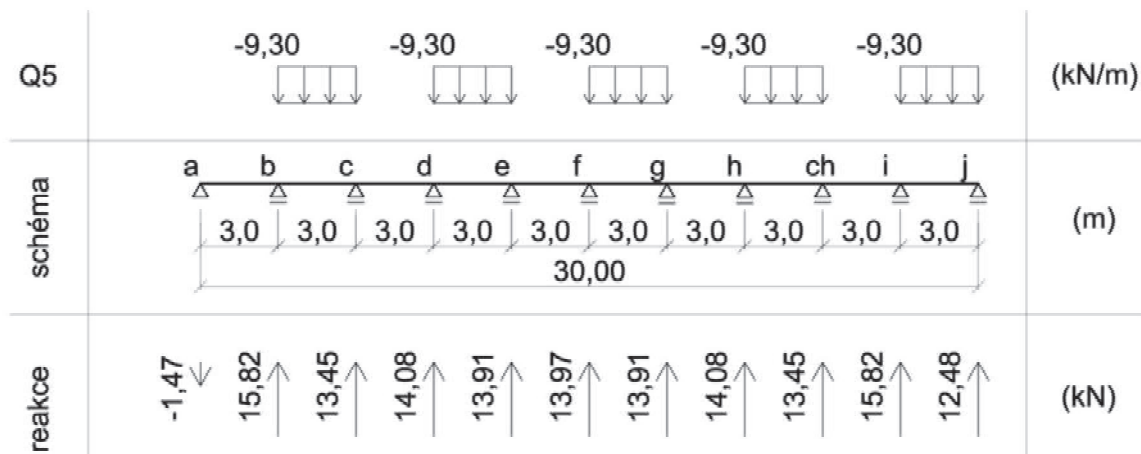
Obr. č. 38 Zatěžovací stav G2 – stálé zatížení



Obr. č. 39 Zatěžovací stav Q3 – užitné zatížení



Obr. č. 40 Zatěžovací stav Q4 – užitné zatížení šachovnice



Obr. č. 41 Zatěžovací stav Q5 – užitné zatížení šachovnice

Tab. č. 15 Styčnickové zatížení na stropní příhradový ocelový vazník

styčnick		Zatěžovací stav				
		G1	G2	Q3	Q4	Q5
Reakce/Styčnickové zatížení (kN)	a	0,19	10,97	11,00	12,48	-1,47
	b	0,54	31,54	31,64	15,82	15,82
	c	0,46	26,81	26,90	13,45	13,45
	d	0,48	28,08	28,17	14,08	14,08
	e	0,47	27,73	27,82	13,91	13,91
	f	0,47	27,85	27,94	13,97	13,97
	g	0,47	27,73	27,82	13,91	13,91
	h	0,48	28,08	28,17	14,08	14,08
	ch	0,46	26,81	26,90	13,45	13,45
	i	0,54	31,54	31,64	15,82	15,82
	j	0,19	10,97	11,00	-1,47	12,48

Poznámka k Tab. č. 15:

Každý styčnick a-j vazničky představuje podporu v podobě vazníku. Prostřednictvím reakčních účinků je provedeno zatížení na příhradový ocelový vazník v následující kapitole.

2.2.3 Návrh a posouzení stropního příhradového vazníku

Návrh a posouzení stropního příhradového vazníku je prováděno ve 3D. Každý vazník je zatížen jinou velikostí reakčního účinku přenášeného z vazničky viz Tab. č. 16.

Zatěžovací stavy – příhradový ocelový vazník:

- G1 stálé zatížení, vlastní tíha příhradového vazníku (bez znázornění na obrázku)
- G2 stálé zatížení – vlastní tíha pláště, kazetového podhledu, vazničky IPE 160 s podlahovým souvrstvím
- Q3 – Q7 užité zatížení

Tab. č. 16 Zatížení působící na stropní příhradový vazník

	Reakční účinky vazničky v kN			Zatěžovací stavy příhrad. vazníku v kN		
	G1	G2	Q3	G1	G2	Q3 – Q7
a	0,19	10,97	11,00	FIN 3D	11,16	11,00
b	0,54	31,54	31,64	FIN 3D	32,08	31,64
c	0,46	26,81	26,90	FIN 3D	27,27	26,90
d	0,48	28,08	28,17	FIN 3D	28,56	28,17
e	0,47	27,73	27,82	FIN 3D	28,20	27,82
f	0,47	27,85	27,94	FIN 3D	28,32	27,94
g	0,47	27,73	27,82	FIN 3D	28,20	27,82
h	0,48	28,08	28,17	FIN 3D	28,56	28,17
ch	0,46	26,81	26,90	FIN 3D	27,27	26,90
i	0,54	31,54	31,64	FIN 3D	32,08	31,64
j	0,19	10,97	11,00	FIN 3D	11,16	11,00

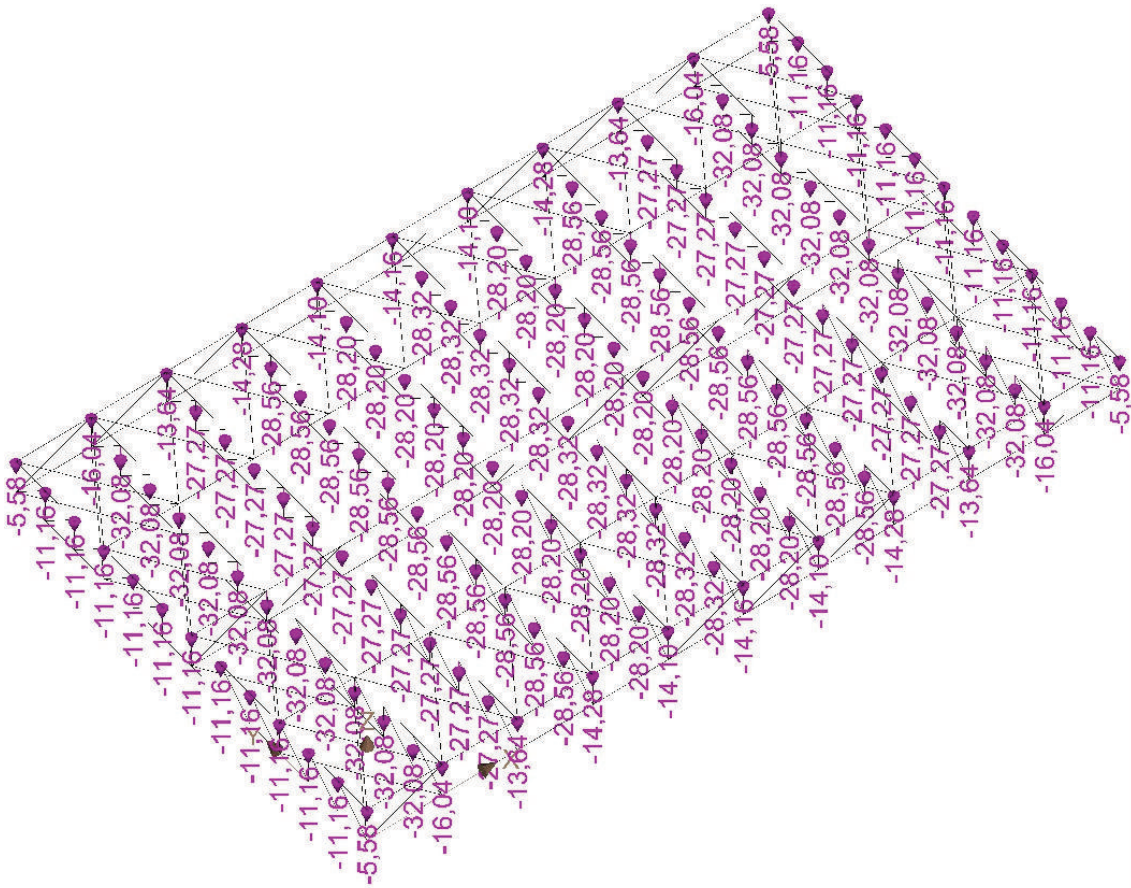
Poznámka k Tab. č. 16:

Zatížení v zatěžovacím stavu G1 – vlastní tíha prvků příhradového vazníku je zadáno ve statickém softwaru FIN 3D.

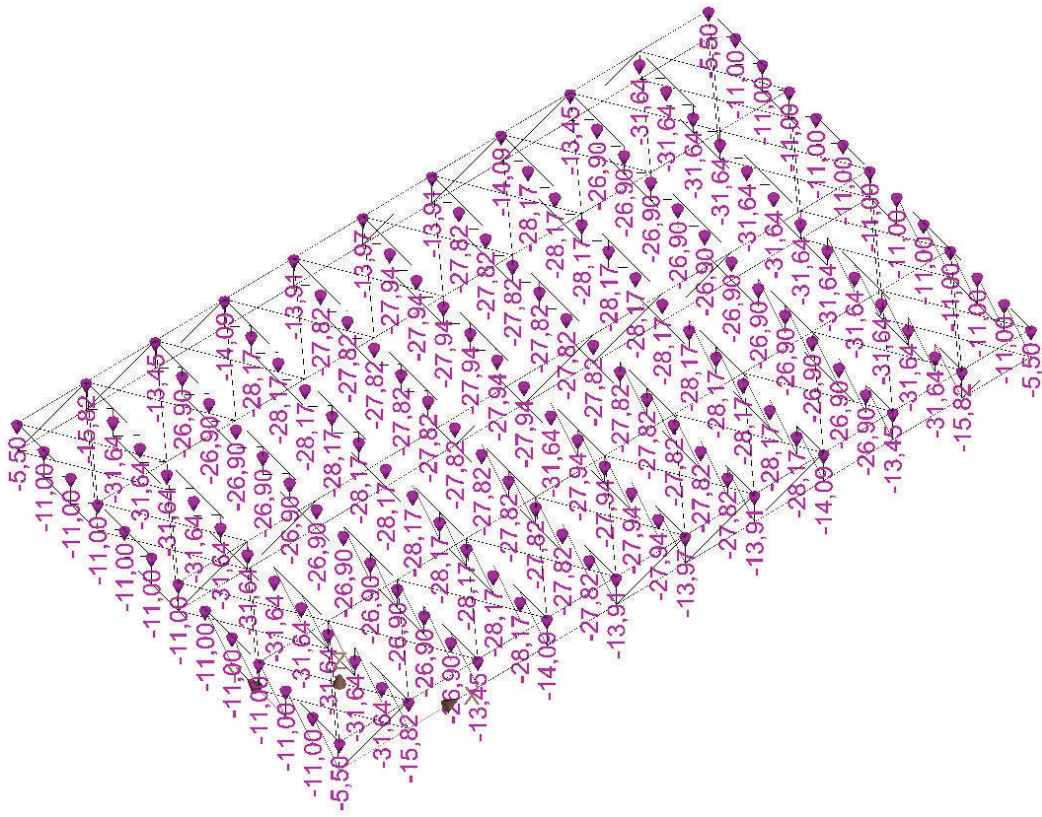
Zatížení v zatěžovacím stavu G2 příhradového vazníku bylo získáno sečtením hodnot reakčních účinků vazničky G1 a G2.

Pro návrh a posouzení je uvažováno s reakčními účinky vazničky ze zatěžovacího stavu Q3 – nejnepříznivější zatížení pro příhradový vazník.

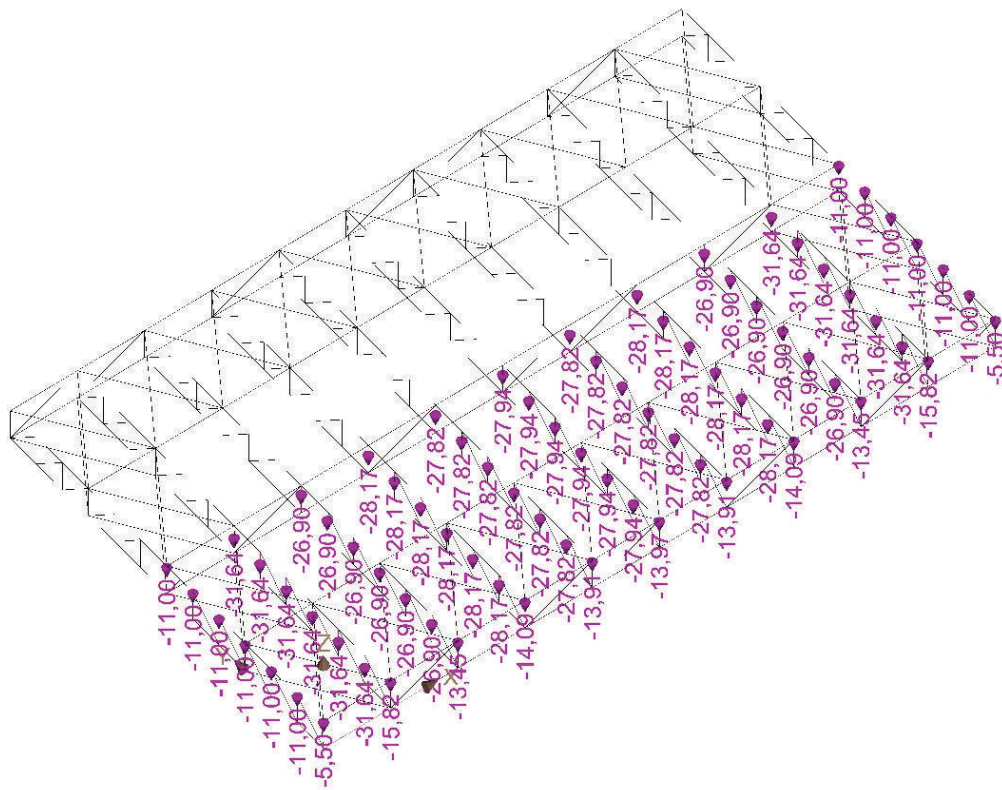
Zatěžovací stavy G2, Q3 – Q7 příhradového vazníku uvedené v tabulce jsou vykresleny na obrázcích číslo 42 až 47.



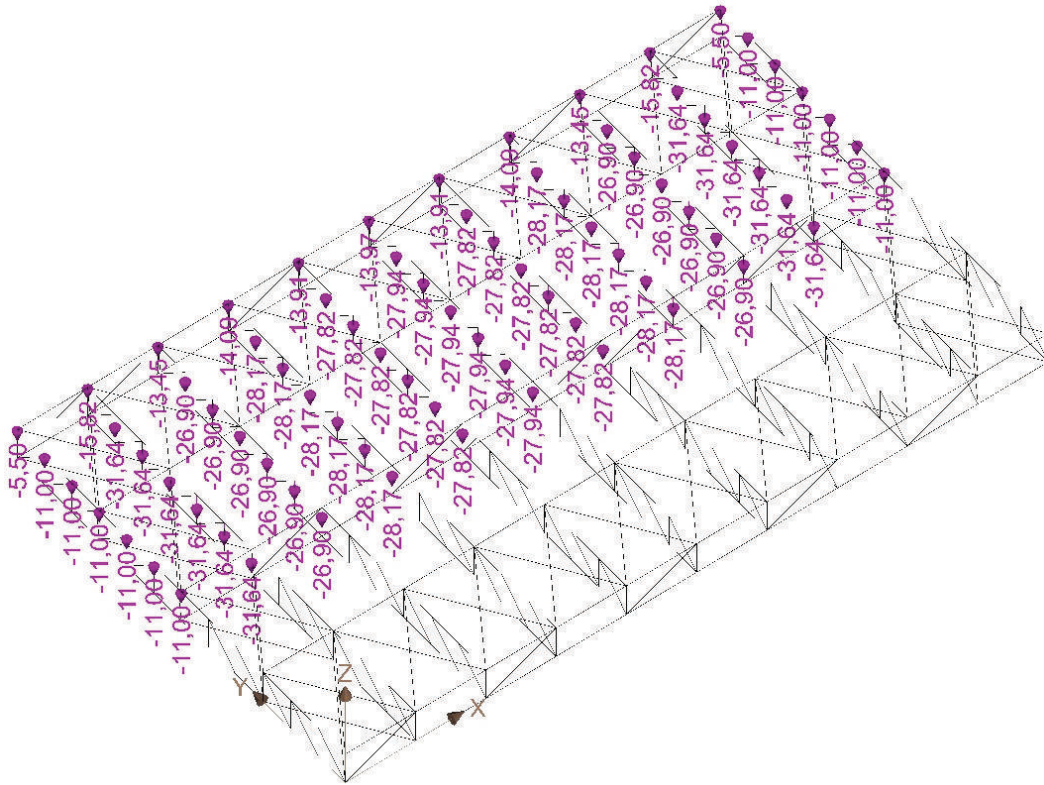
Obr. č. 42 Zatěžovací stav G2 – stálé zatížení



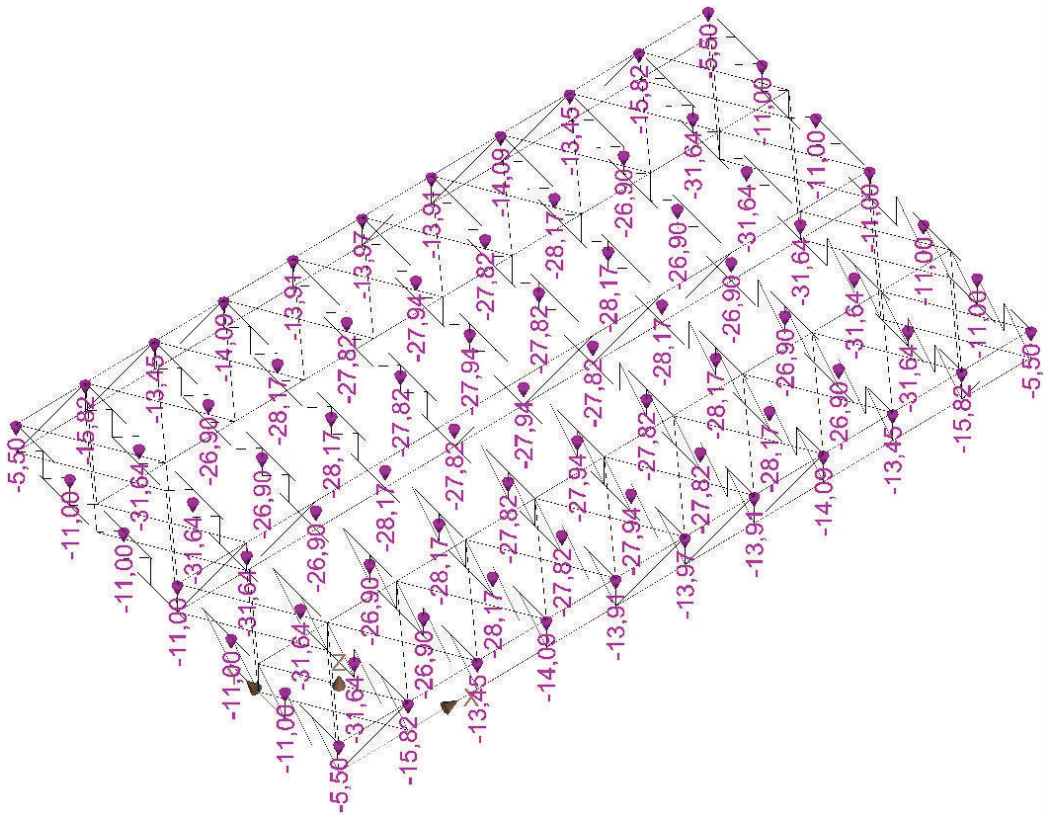
Obr. č. 43 Zatěžovací stav Q3 – užité zatížení



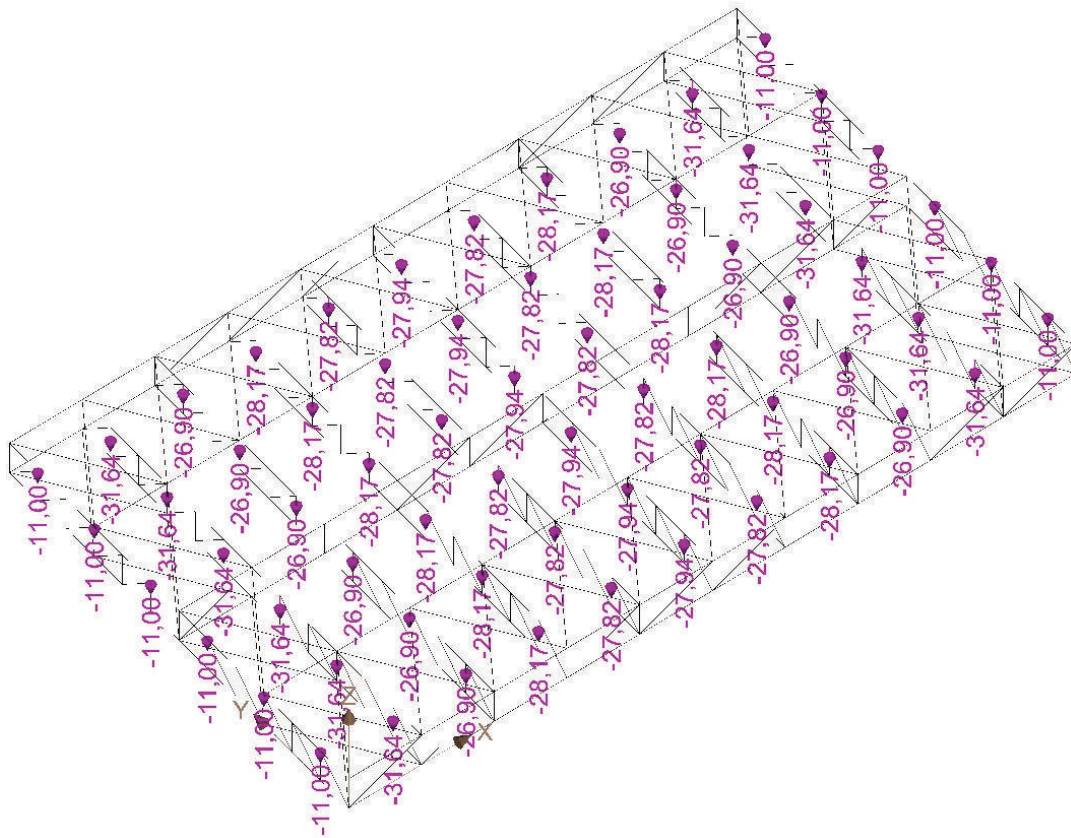
Obr. č. 44 Zatěžovací stav Q4 – užité zatížení



Obr. č. 45 Zatěžovací stav Q5 – užité zatížení



Obr. č. 46 Zatěžovací stav Q6 – užité zatížení



Obr. č. 47 Zatěžovací stav Q7 – užitné zatížení

Tab. č. 17 Kombinační součinitele dle druhu zatížení

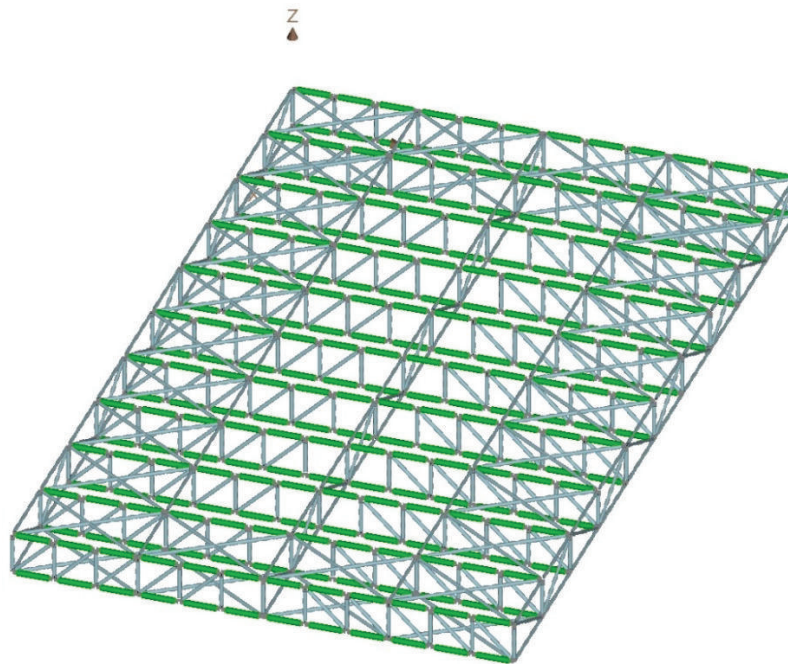
Zatěžovací stav			Dílčí součinitel γ	Součinitel Ψ		
				Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
G1	vlastní tíha	nepříznivý účinek	1,35	-	-	-
		příznivý účinek	1,00	-	-	-
G2	stálé zatížení	nepříznivý účinek	1,35	-	-	-
		příznivý účinek	1,00	-	-	-
Q3-Q7	užitné zatížení	nepříznivý účinek (kategorie C)	1,50	0,70	0,70	0,60

Hodnoty uvedené v Tab. č. 17 jsou v souladu dle EN 1990.

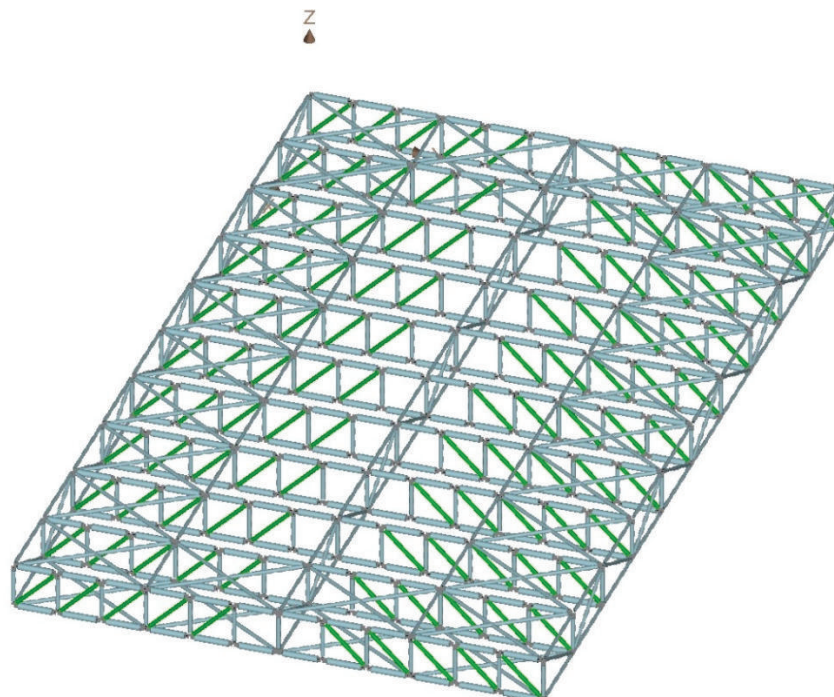
Vnitřní účinky obálka kombinací 1. řádu, v kombinačním vzorci byly vyloučeny užitné zatížení. Z užitého zatížení Q3-Q7 vždy v kombinaci působí jeden zatěžovací stav plus vlastní tíha G1 a stálé zatížení G2.

Návrh prvků příhradového vazníku:

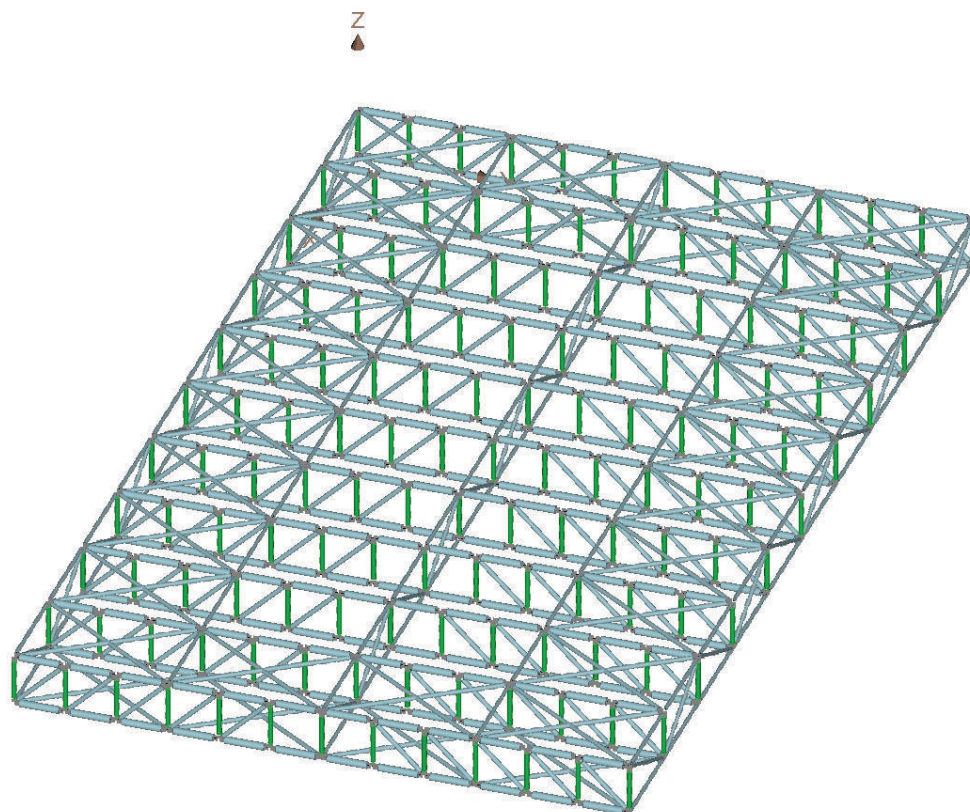
Na obrázcích č. 48 až 55 jsou zobrazeny stropní příhradové vazníky s prostorovým ztužením. V každém obrázku jsou zvýrazněny popisované profily zelenou barvou. Vazníčky v modelu nejsou zahrnuty. Vazníčky do výpočtů vstupují pouze jako zatížení v zatěžovacích stavech.



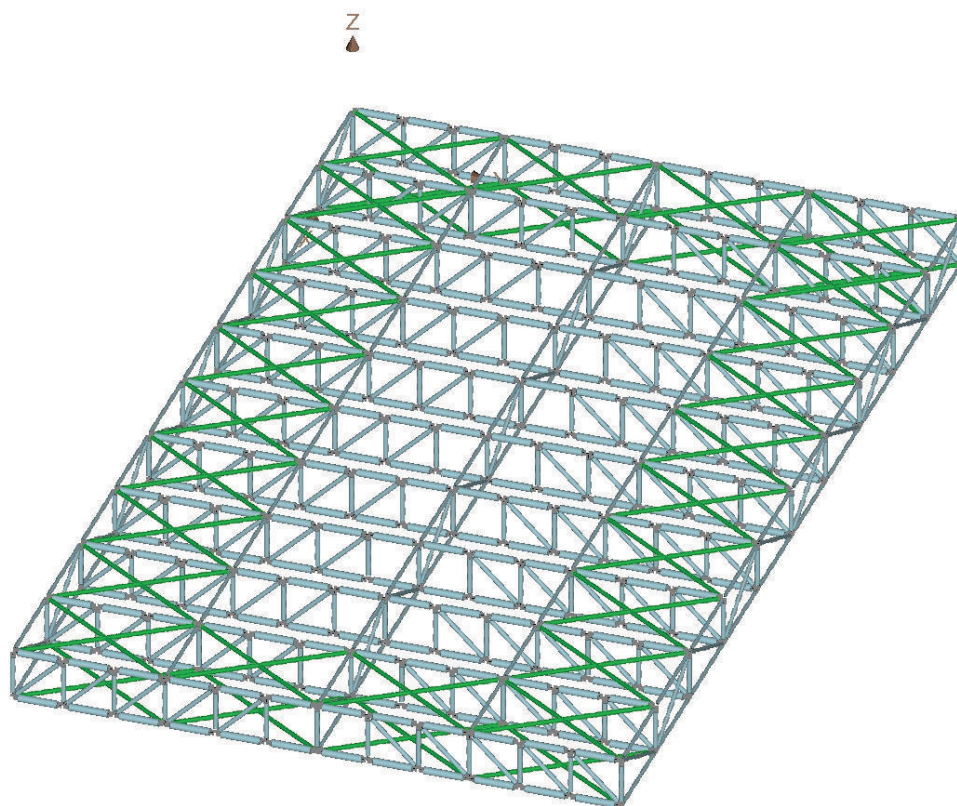
Obr. č. 48 Horní a dolní pásnice příhradového vazníku – TR 219x16 mm S235



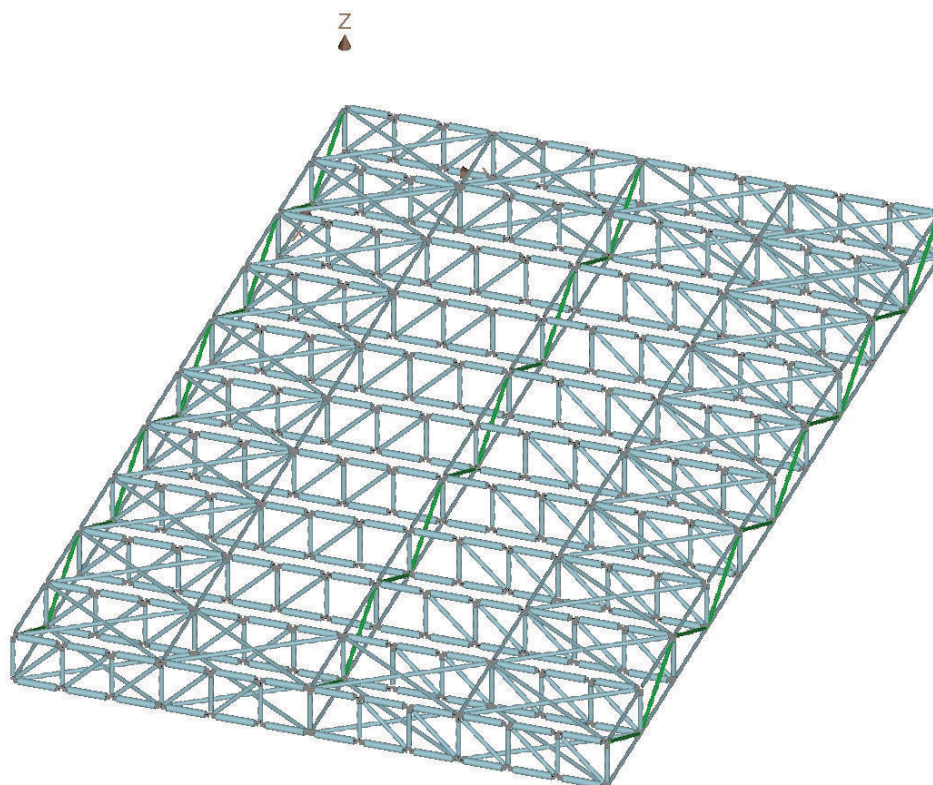
Obr. č. 49 Diagonála příhradového vazníku – TR 140x12,5 mm S 235



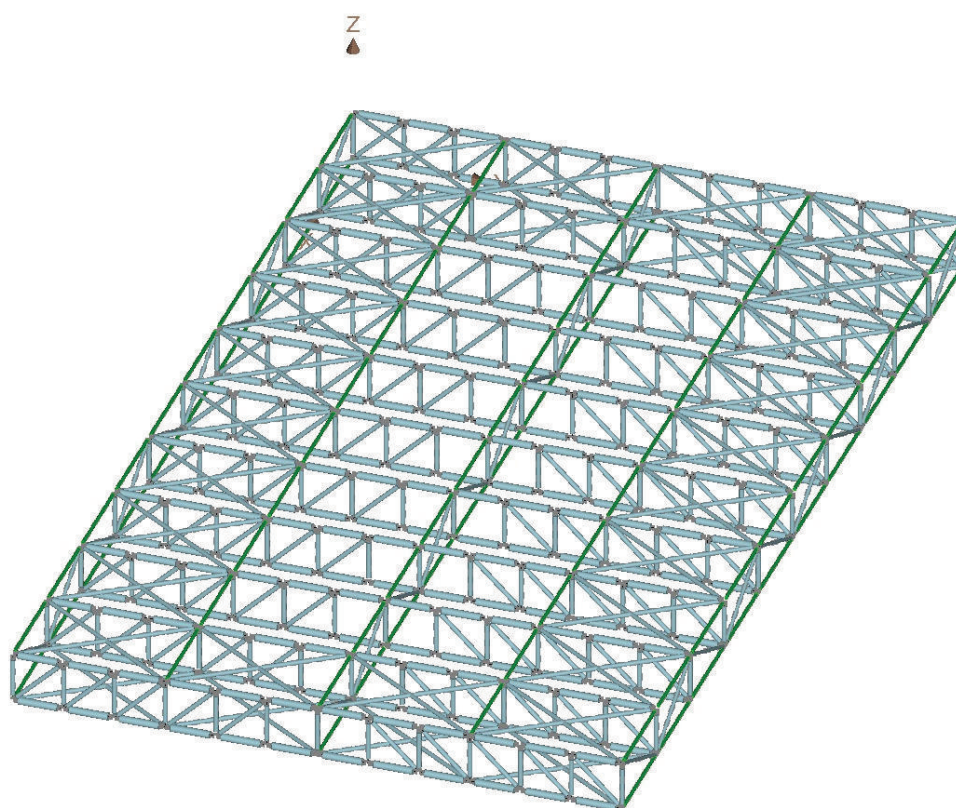
Obr. č. 50 Svislice příhradového vazníku – TR 140x12,5 mm S 235



Obr. č. 51 Křížové ztužení – TR 127x10 mm S 235



Obr. č. 52 Diagonální ztužení – TR 102x10 mm S 235

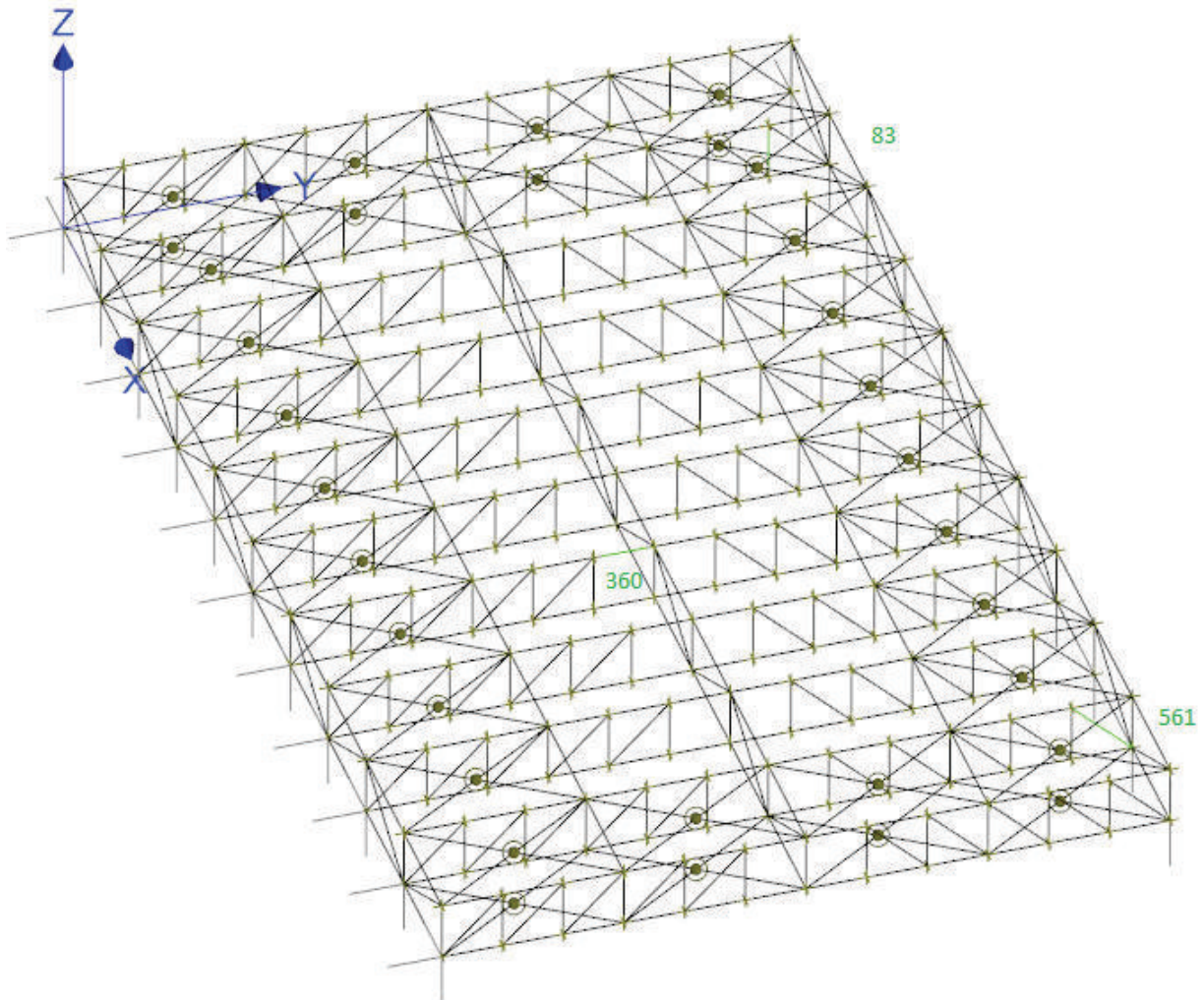


Obr. č. 53 Podélné ztužení – TR 102x10 mm S 235

Vnitřní účinky – příhradový ocelový stropní vazník:

Na obrázku č. 54 je zobrazeno statické schéma a současně jsou na obrázku označeny prvky, které jsou nejvíce namáhány. Tyto prvky jsou posouzeny dle EC. Označení prvků je převzato z programu FIN 3D. Nejvíce namáhaná svislice je označena číslem 83, nejvíce namáhaná diagonála je označena číslem 561 a nejvíce namáhaná pásnice je označena číslem 360 (pruty vykresleny zelenou barvou). Kriticky namáhané prvky jsou převzaty z obálky kombinace pro MSÚ I. řád – kombinace č. 6: Q3; G1+G2.

Jedná se o prutovou příhradovou konstrukci s tuhými svařovanými spoji, která je uložena na tuhé železobetonové stěně.



Obr. č. 54 Statické schéma – stropní příhradový vazník s vyznačenými nejvíce namáhanými prvky

Tab. č. 18 Vnitřní účinky– stropní příhradový vazník

Prvek	Označení a velikost
Horní pásnice (označení č. 360)	Posouvající síla: $V_z = 24,20 \text{ kN}$ Posouvající síla: $V_y = 0,438 \text{ kN}$ (zanedbáno) Normálová síla: $N = -1\,514,27 \text{ kN}$ Ohyb: $M_y = 34,98 \text{ kN} \cdot \text{m}$ Ohyb: $M_z = 0,624 \text{ kN} \cdot \text{m}$
Diagonála (označení č. 561)	Posouvající síla: $V_z = 3,028 \text{ kN}$ Posouvající síla: $V_y = 0,543 \text{ kN}$ (zanedbáno) Normálová síla: $N = -645,23 \text{ kN}$ Ohyb: $M_y = 3,71 \text{ kN} \cdot \text{m}$ Ohyb: $M_z = 0,008 \text{ kN} \cdot \text{m}$ (zanedbáno)
Svislice (označení č. 83)	Posouvající síla: $V_z = 14,09 \text{ kN}$ Posouvající síla: $V_y = 0,195 \text{ kN}$ (zanedbáno) Normálová síla: $N = 353,73 \text{ kN}$ Ohyb: $M_y = 12,02 \text{ kN} \cdot \text{m}$ Ohyb: $M_z = -0,499 \text{ kN} \cdot \text{m}$ (zanedbáno)

Vnitřní účinky z kombinace č. 6: Q3; G1+G2 jsou zapsány v Tab. č. 18. Kombinace pro MSÚ provedena dle ČSN rovnice 6.10 (kombinační součinitelé použity dle Tab. č 17).

Poznámka:

Posouzení prvků ztužení příhradových vazníků je proveden pouze v programu FIN 3D. Křížové ztužení TR 127x10 mm S 235 má využitelnost dle MSÚ 1. řádu 93,2 %. Diagonální ztužení TR 102x10 mm S 235 má využitelnost dle MSÚ 1. řádu 39,6 %. Podélné ztužení TR 102x10 mm S 235 má využitelnost dle MSÚ 1. řádu 45,1 %. Jedná se vždy o prvek v té dané skupině nejvíce namáhaný.

Postup výpočtu a vlastní posouzení prvků: horní a dolní pásnice, diagonála a svislice je prováděno dle vztahů uvedených již v kapitole 2.1.3 v části Posouzení prvků příhradového vazníku MSÚ, obecně.

Posouzení prvků příhradového vazníku MSÚ:

Horní a dolní pásnice: TR 219x16 mm S235

Diagonály a svislice: TR 140x12,5 mm S235

Základní charakteristiky pro konstrukční ocel válcovanou za tepla třídy S235:

$f_y = 235 \text{ MPa}$; charakteristická hodnota meze kluzu

$f_u = 360 \text{ MPa}$; charakteristická hodnota meze pevnosti v tahu

Velikosti meze kluzu a meze pevnosti Dle ČSN EN 10027 a jmenovité tloušťky prvků menší než 40 mm.

Posouzení – horní pásnice:

TR 219x16 mm S235

$$A = 10\,204 \text{ mm}^2$$

$$W_{pl} = 660,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A_v = 6\,496 \text{ mm}^2$$

$$I = 52,89 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Třída průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{d}{t} \leq 50 \cdot \varepsilon^2; \frac{219}{20} < 50 \cdot 1,0; 10,95 < 50 \rightarrow \text{třída průřezu 1, plasticita}$$

Tlak:

$$N_{c,RD} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{10\,204 \cdot 235}{1,0} = 2\,397\,940,0 \text{ N} = 2\,397,94 \text{ kN}$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{cr} = n^2 \cdot \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I}{L_{cr}^2} = 11^2 \cdot \pi^2 \cdot \frac{210 \cdot 10^3 \cdot 52,89 \cdot 10^6}{18\,000^2} = 40\,938\,598,16 \text{ N} = 40\,938,60 \text{ kN}$$

$$\alpha_{cr} = \frac{N_{cr}}{N_{ED}} \geq 10; \frac{40\,938,60}{1\,514,27} > 10; 27,04 > 10 \rightarrow$$

teorie 1. řádu, plasticitní analýza, vlastní tvar α_{cr} je větší jak 15

$$\frac{N_{cr}}{\gamma_M \cdot N_{ED}} \geq 25; \frac{40\,938,60}{1,0 \cdot 1\,514,27} > 25; 27,04 < 25 \rightarrow \text{prvek není nutné posoudit na vzpěr}$$

$$\frac{N_{ED1}}{N_{c,RD}} \leq 1,0; \frac{1\,514,27}{2\,397,94} < 1; 0,63 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Smyk:

$$V_{pl,RD} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{6\,496 \cdot (235 / \sqrt{3})}{1,0} = 881\,359,83 \text{ N} = 881,36 \text{ kN}$$

$$\frac{V_z}{V_{pl,RD}} \leq 1,0; \frac{24,20}{881,36} < 1,0; 0,03 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$V_z \leq 0,5 * V_{pl,RD}; 24,20 < 0,5 * 881,36 \rightarrow \text{Vliv smykové síly v ohybu zanedbán}$$

Ohybový moment:

$$M_{pl,RD} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{660,7 * 10^3 * 235}{1,0} = 155\,264\,500,0 \text{ N} * \text{m} = 155,26 \text{ kN} * \text{m}$$

$$\frac{M_y}{M_{pl,RD}} \leq 1,0; \frac{34,98}{155,26} < 1,0; 0,23 < 1,00 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{M_z}{M_{pl,RD}} \leq 1,0; \frac{0,624}{155,26} < 1,0; 0,004 < 1,00 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Únosnost průřezu horní pásnice:

$$\frac{N_{ED1}}{N_{RD}} + \frac{M_y}{M_{RD}} + \frac{M_z}{M_{RD}} \leq 1,0; 0,63 + 0,23 + 0,004 < 1,0; 0,86 < 1,0 \rightarrow \text{TR 219x16 mm S235}$$

vyhovuje

→ Posuzovaná horní pásnice TR 219x16 mm S235 vyhovuje

Posouzení – diagonála:

TR 140x12,5 mm S235

$$A = 5\,007 \text{ mm}^2$$

$$W_{el} = 146,7 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A_v = 3\,188 \text{ mm}^2$$

$$I = 10,27 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Třída průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{d}{t} \leq 50 * \varepsilon^2; \frac{140}{12,5} < 50 * 1,0; 11,20 < 50 \rightarrow \text{třída průřezu 1, plasticita}$$

Tlak:

$$N_{c,RD} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5\,007 * 235}{1,0} = 1\,176\,645,0 \text{ N} = 1\,176,65 \text{ kN}$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{cr} = n^2 * \pi^2 * \frac{E * I}{L_{cr}^2} = 1^2 * \pi^2 * \frac{210 * 10^3 * 10,27 * 10^6}{2\,120^2} = 4\,798\,863,83 \text{ N} = 4\,798,87 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{5\,007 * 235}{4\,798\,863,83}} = 0,495$$

$$\Phi = 0,5 * [1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 * [1 + 0,21 * (0,495 - 0,2) + 0,495^2] = 0,653$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,653 + \sqrt{0,653^2 - 0,495^2}} = 0,93; \text{ ale } \chi \leq 1,0 \rightarrow \chi = 0,93$$

$$N_{b,RD} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,93 * 5\,007 * 235}{1,0} = 1\,094\,279,85 \text{ N} = 1\,094,28 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{b,RD}} \leq 1,0; \frac{645,23}{1\,094,28} < 1; 0,59 < 1 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\alpha_{cr} = \frac{N_{cr}}{N_{ED}} \geq 10; \frac{4\,798,87}{645,23} > 10; 7,44 < 10 \rightarrow$$

teorie 2. řádu, pružnostní výpočet (elasticita)

Moment od imperfekcí:

$$e_0 = \frac{L}{250} = \frac{2150}{250} = 8,6 \text{ mm}$$

$$M_{EDi}(L/2) = N_{ED} * e_0 = 645\,230 * 8,6 = 5\,548\,978 \text{ N} * \text{m} = 5,55 \text{ kN} * \text{m}$$

$$M_{el,RD} = \frac{W_{el} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{146,7 * 10^3 * 235}{1,0} = 34\,474\,500,0 \text{ N} * \text{m} = 34,47 \text{ kN} * \text{m}$$

$$\frac{M_{EDi}(L/2)}{M_{el,RD}} \leq 1,0; \frac{5,55}{34,47} < 1,0; 0,16 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Smyk:

$$V_{pL,RD} = \frac{A_v * (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{3\,188 * (235 / \sqrt{3})}{1,0} = 432\,539,27 \text{ N} = 432,54 \text{ kN}$$

$$\frac{V_z}{V_{pL,RD}} \leq 1,0; \frac{3,028}{432,54} < 1,0; 0,007 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$V_z \leq 0,5 * V_{pL,RD}; 0,007 < 0,5 * 432,54 \rightarrow \text{Vliv smykové síly v ohybu zanedbán}$$

Ohybový moment:

$$M_{el,RD} = \frac{W_{el} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{146,7 * 10^3 * 235}{1,0} = 34\,474\,500,0 \text{ N} * \text{m} = 34,47 \text{ kN} * \text{m}$$

$$\frac{M_y}{M_{el,RD}} \leq 1,0; \frac{3,71}{34,47} < 1,0; 0,11 < 1,00 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Únosnost průřezu diagonála:

$$\frac{N_{ED}}{N_{b,RD}} + \frac{M_y}{M_{el,RD}} + \frac{M_{EDi}(L/2)}{M_{el,RD}} \leq 1,0; 0,59 + 0,11 + 0,16 < 1,0; 0,86 < 1,0 \rightarrow \text{TR } 140 \times 12,5 \text{ mm}$$

S235 JR vyhovuje

→ Posuzovaná diagonála TR 140x12,5 mm S235 vyhovuje

Posouzení – svislice:

TR 140x12,5 mm S235

$$A = 5\,007 \text{ mm}^2$$

$$W_{pl} = 203,9 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A_v = 3\,188 \text{ mm}^2$$

$$I = 10,27 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Třída průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{d}{t} \leq 50 * \varepsilon^2; \frac{140}{12,5} < 50 * 1,0; 11,20 < 50 \rightarrow \text{třída průřezu 1, plasticita}$$

Tah:

$$N_{pl, RD} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5007 * 235}{1,0} = 1\,176\,645,0 \text{ N} = 1\,176,65 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ED}}{N_{pl, RD}} \leq 1,0; \frac{353,73}{1\,176,65} < 1; 0,30 < 1 \rightarrow TR\ 140 \times 12,5 \text{ mm S235 vyhovuje}$$

Smyk:

$$V_{pl, RD} = \frac{A_v * (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{3\,188 * (235 / \sqrt{3})}{1,0} = 432\,539,27 \text{ N} = 432,54 \text{ kN}$$

$$\frac{V_z}{V_{pl, RD}} \leq 1,0; \frac{14,09}{432,54} < 1,0; 0,03 < 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$V_z \leq 0,5 * V_{pl, RD}; 0,03 < 0,5 * 432,54 \rightarrow \text{Vliv smykové síly v ohybu zanedbán}$$

Ohybový moment:

$$M_{pl, RD} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{203,9 * 10^3 * 235}{1,0} = 47\,916\,500 \text{ N} * \text{m} = 47,92 \text{ kN} * \text{m}$$

$$\frac{M_y}{M_{pl, RD}} \leq 1,0; \frac{12,02}{47,92} < 1,0; 0,25 < 1,00 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Únosnost průřezu diagonála:

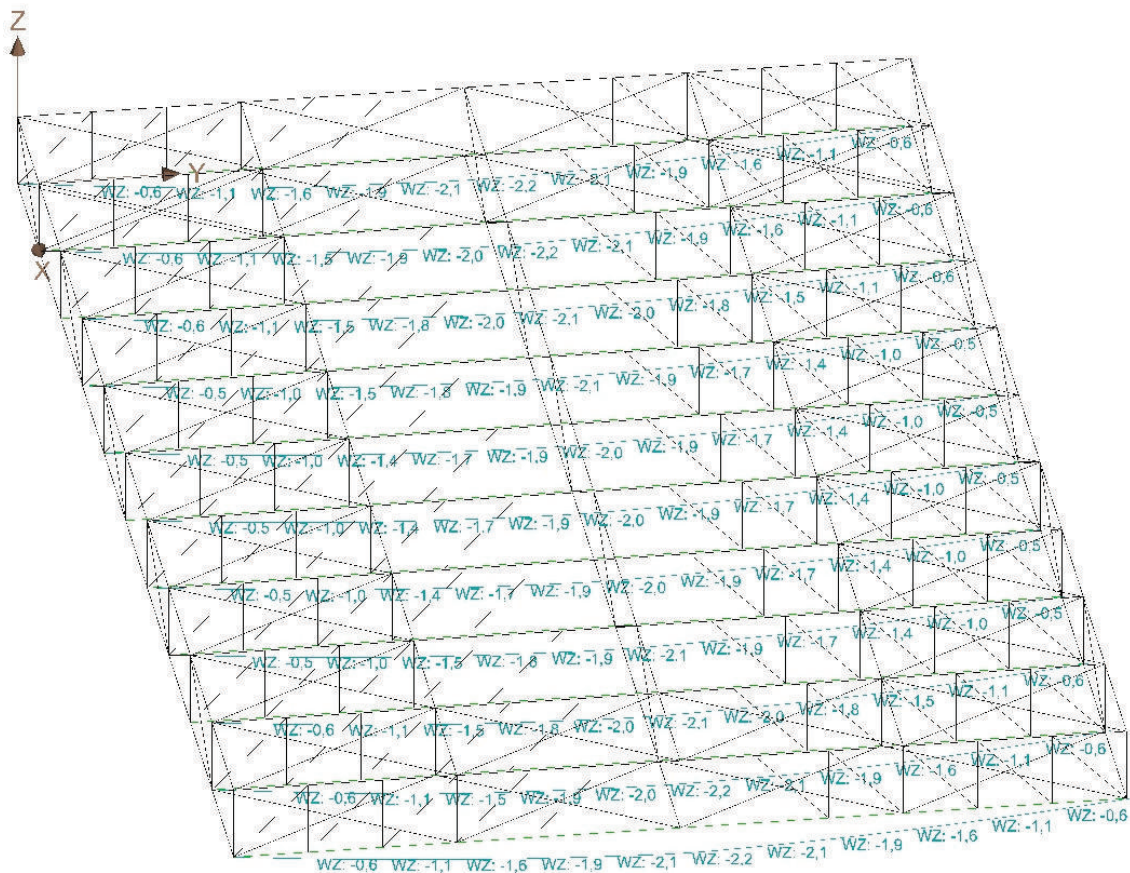
$$\frac{N_{ED}}{N_{pl, RD}} + \frac{M_y}{M_{pl, RD}} \leq 1,0; 0,30 + 0,25 < 1,0; 0,55 < 1,0 \rightarrow TR\ 140 \times 12,5 \text{ mm S235 vyhovuje}$$

→ Posuzovaná diagonála TR 140x12,5 mm S235 vyhovuje

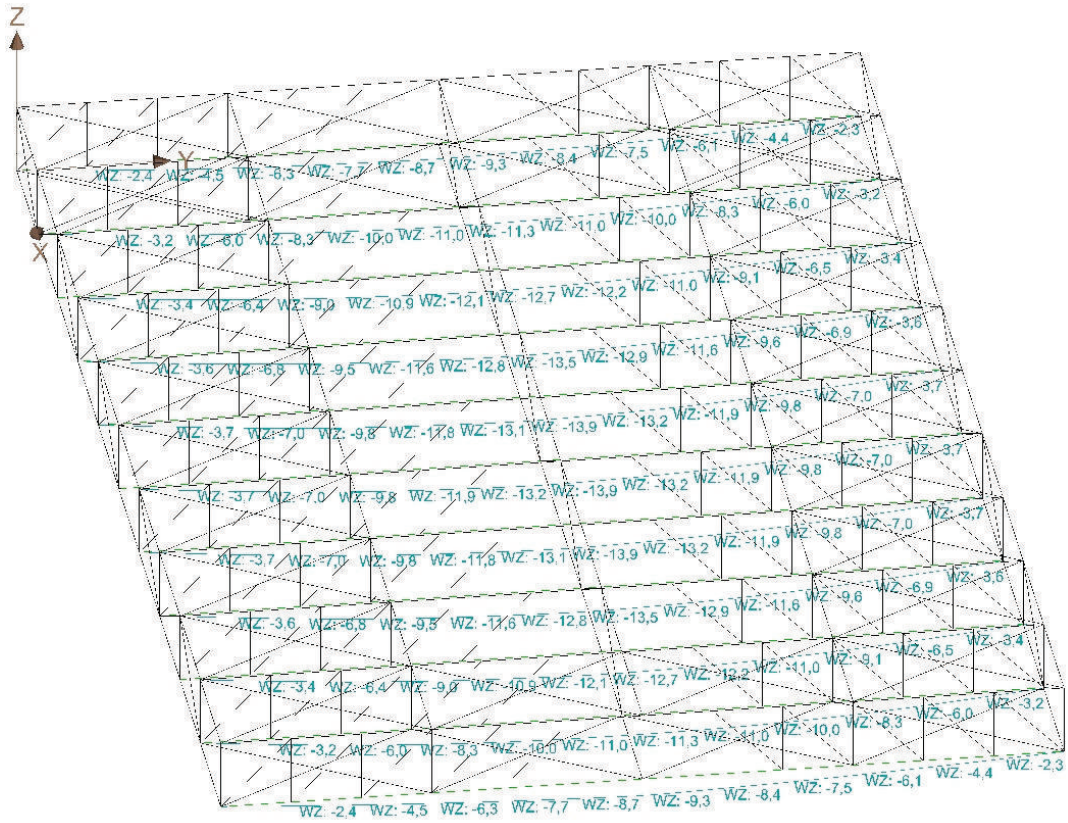
Posouzení příhradového stropního vazníku dle MSP:

1) Průhyb

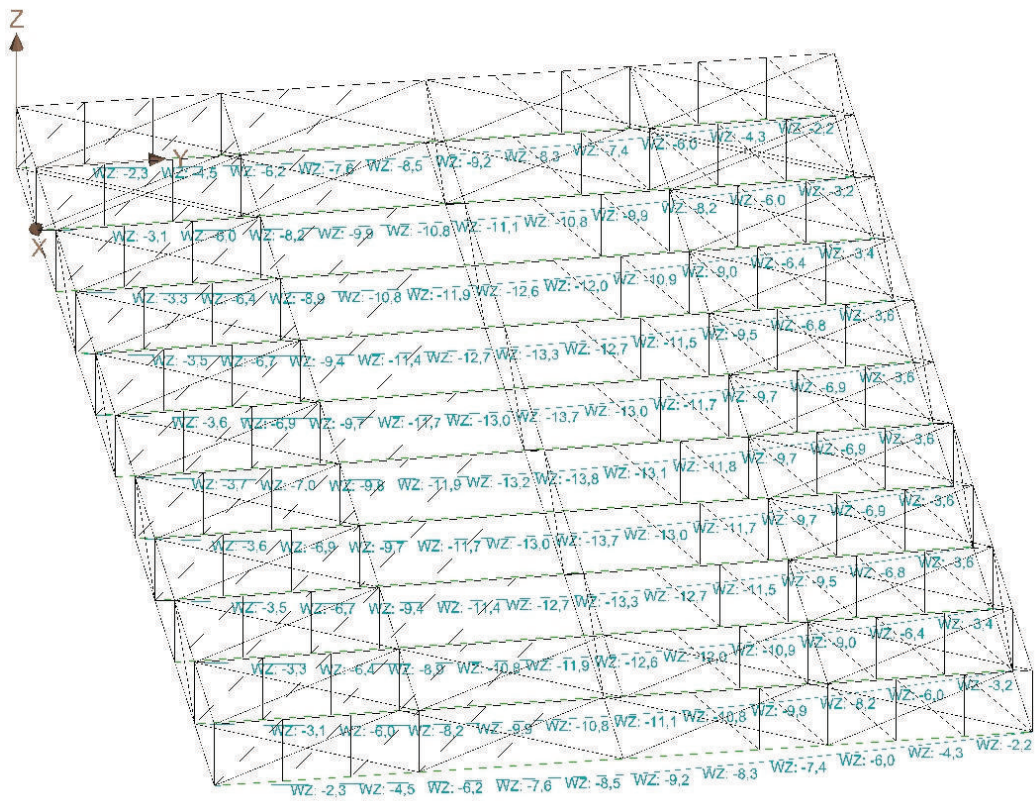
Příhradový stropní vazník je posouzen na mezní stav použitelnosti dle ČSN EN 1990, příloha A1.4 a dle NA.1 v ČSN EN 1993-1. Na obrázcích č. 55 až 57 jsou znázorněny a vyčísleny průhyby v konkrétních zatěžovacích stavech. Pro celkový průhyb jsou uvažovány zatěžovací stavy od stálého zatížení a od užitého zatížení. Užité zatížení bylo vybráno takové, které je z hlediska průhybu nejkritičtější (zatěžovací stav Q3). Stropní příhradový vazník v nezatíženém stavu nemá žádné nadvýšení.



Obr. č. 55 Vlastní tíha G1 - průhyb dolní pásnice



Obr. č. 56 Stálé zatížení G_2 - průhyb dolní pásnice



Obr. č. 57 Užité zátížení Q_3 - průhyb dolní pásnice

$$w_{max} = w_{G1} + w_{G2} + w_{Q3} - w_0 \quad (55)$$

w_{max}	maximální průhyb
w_{G1}	průhyb ve styčnicku č. 8 dle Obr. č. 50 a Obr. č. 58 – vlastní tíha
w_{G2}	průhyb ve styčnicku č. 8 dle Obr. č. 50 a Obr. č. 59 – stálé zatížení
w_{Q3}	průhyb ve styčnicku č. 8 dle Obr. č. 50 a Obr. č. 60 – užité zatížení
w_0	nadvýšení vazníku v nezátíženém stavu

$$w_{max} = 2,10 + 13,90 + 13,80 - 0,00 = 29,80 \text{ mm}$$

$$L = 18\,000 \text{ mm}$$

Posouzení:

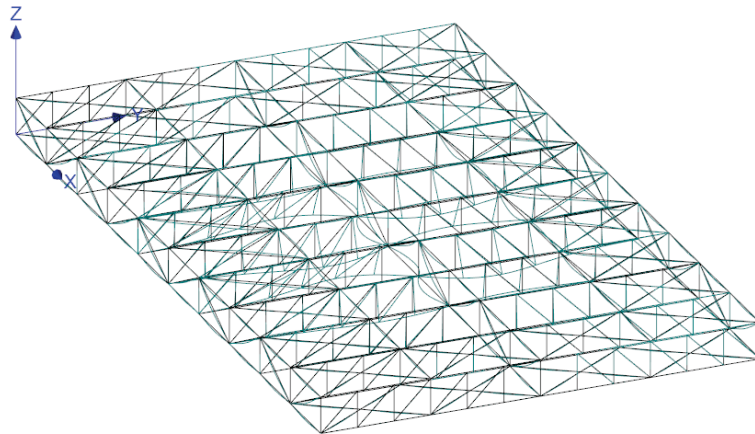
$w_{max} < \frac{L}{250}$; pro stropní a střešní konstrukce nesoucí dlažby, omítky nebo jiné křehké obklady a nepoddajné příčky dle ČSN EN 1993-1

$$27,50 < \frac{18\,000}{250}; 29,80 < 72 \text{ (mm)} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

→**Posuzovaný střešní příhradový vazník vyhovuje z hledisku MSP**

2) Lineární stabilita:

Nejméně příznivý stav je v kombinaci zatížení Q3; G1+G2. Tedy stav kdy je stropní konstrukce zatížena užitným zatížením v celé podlahové ploše a stálým zatížením. Lineární stabilita pro tento případ kombinace je znázorněn na obrázku č. 58.



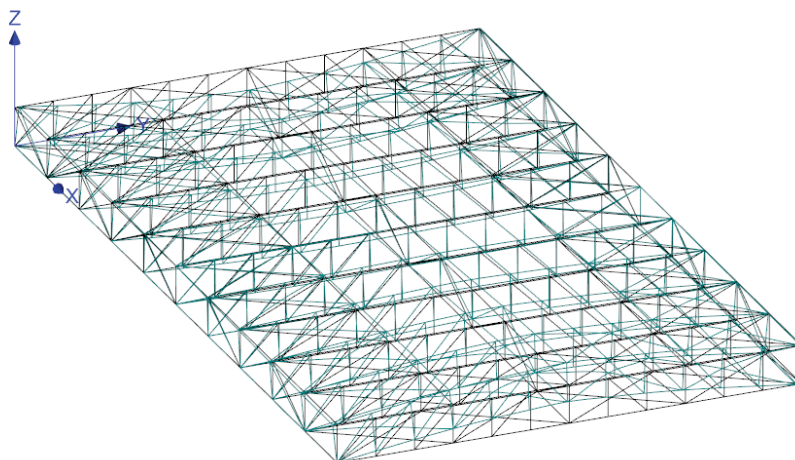
Obr. č. 58 Lineární stabilita Q3; G1+G2

Pro obrázek č. 58 platí:

$k = -9,40$; $|k| > 4 \rightarrow$ konstrukce je stabilní (stabilita vyhovuje)

3) Vlastní tvary:

Nejméně příznivý vlastní tvar je č. 1 s frekvencí o velikosti -11,848 Hz znázornění na obrázku č. 59. Pro stropní konstrukce užívané pro tělovýchovu a sport je minimální hodnota dle norem stanovena na 6 Hz v absolutní hodnotě. Příhradová stropní konstrukce s navrženým ztužením vyhovuje.



Obr. č. 59 Vlastní tvar č. 1

Navržené a posouzené prvky příhradového stropního vazníku:

Horní a dolní pásnice: **TR 219x16 mm S235** v kritickém místě dle MSÚ návrh na 86 % využití únosnosti.

Diagonála a svislice: **TR 140x12,5 mm S235**, nejvíce namáhaná diagonála dle MSÚ návrh na 86 % využití únosnosti, nejvíce namáhaná svislice dle MSÚ návrh na 55 % využití únosnosti.

Posouzení příhradového vazníku dle MSP je provedena na průhyb horní a dolní pásnice dále na frekvenci vlastních tvarů – kmitání konstrukce a lineární stabilitu. Stropní konstrukce je z pohledu mezního stavu použitelnosti vyhovující. Využitelnost stropního příhradového vazníku na průhyb je na 41 %. Návrh posouzení daných profilů dle MSÚ je vyhovující.

3 Posouzení vazníků metodou SBRA

V této kapitole je provedeno posouzení již navržených prvků příhradových vazníků metodou SBRA. Střešní a stropní vazník je navržen a posouzen dle EC v kapitolách 2.1.3 a 2.2.3.

3.1 Výpočet pravděpodobnosti poruchy – teoretická část

Spolehlivost a bezpečnost konstrukcí je jedním z rozhodujících faktorů při jejich navrhování. Určováním pravděpodobnosti, s jakou budou požadované vlastnosti stavebních objektů zachovány se zabývá vědní obor teorie spolehlivosti konstrukcí (pravděpodobnost a matematická statistika). [11]

Platné normy jsou založeny na poznatcích z teorie spolehlivosti stavebních konstrukcí v podobě součinitelů. Součinitel stálého zatížení, součinitel užitého zatížení a kombinační součinitel. Tyto součinitelé jsou v normách vyjádřeny konstantou. [11]

Veličiny vstupující do výpočtů se mnohdy vážou na řadu nahodilostí a nejistot, jako zdroje nahodilosti lze považovat vlastnosti konstrukce, zatížení a jiné nejistoty. Nejistoty v podobě vlastností konstrukce jsou především v kvalitě použitého materiálu a geometrická nepřesnost – výrobní či montážní. Mezi další nejistoty se může zařadit použitý výpočetní model, statistické zpracování vstupních veličin a lidský faktor – návrh, realizace a užívání objektu. [11]

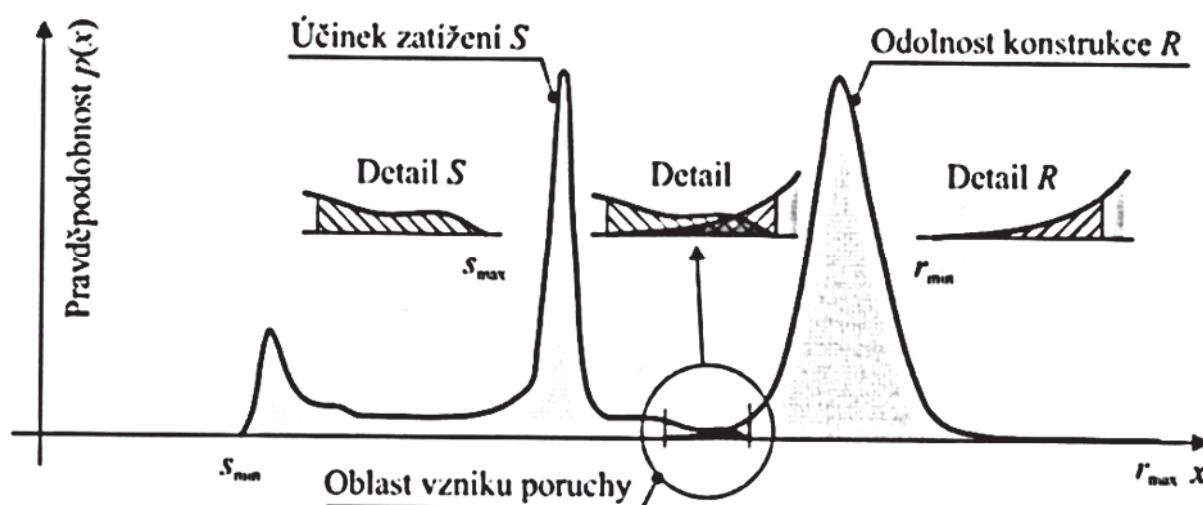
Účinek zatížení a jeho definice: Zdroj zatížení, způsob působení na konstrukci, intenzita, směr, doba trvání, ale i vliv prostředí (změna teploty, či vlhkosti). Účinek zatížení je náhodná veličina - náhodná proměnlivost zatížení v čase a prostoru. Náhodné veličiny spojené se zatížením se nejčastěji vyjadřují pomocí histogramů. [11]

Odolnost konstrukce je závislá na výpočetním modelu, materiálových vlastnostech konstrukce (pevnost, tuhost) a geometrii (tvar, rozměr, průřezové charakteristiky). Dále je odolnost konstrukce závislá na výrobní a montážní nepřesnosti. [11]

Konstrukce musí být navržena tak, aby odolnost konstrukce byla větší než je účinek zatížení. Na obrázku č. 60 jsou znázorněny histogramy pro účinek zatížení S a odolnost konstrukce R s možnou oblastí vzniku poruchy. Tj. oblast kdy histogram odolnosti konstrukce překrývá histogram účinku zatížení. Pravděpodobnostní posudek spolehlivosti je založen na podmínce spolehlivosti: [11]

$$RF = R - S \geq 0 \quad (56)$$

R odolnost konstrukce
 S účinek zatížení
 RF funkce spolehlivosti



Obr. č. 60 Křivky hustoty pravděpodobnosti účinku zatížení a odolnosti konstrukce s vyznačenou oblastí možného vzniku poruchy [11]

Podmínku spolehlivosti je dále možné vyjádřit vztahy:

$$\frac{R}{S} \geq 1,0; \frac{R}{S} - 1 \geq 0; \ln(R) - \ln(S) \geq 0; \ln\left(\frac{R}{S}\right) \geq 1,0 \quad (57)$$

Nesplněním kterékoliv podmínky spolehlivosti uvedené v (57) představuje z hlediska spolehlivosti nepříznivý, tzn. poruchový stav. [11]

V oblasti překrývajících se histogramů odolnosti konstrukce R a účinku zatížení S je pak možno stanovit pravděpodobnost poruchy p_f . Pravděpodobnost bezporuchového stavu je pak rovna $1-p_f$. [11]

Pravděpodobnost poruchy a její variace:

$$R > S_{max} \rightarrow \text{pravděpodobnost poruchy } p_f = 0 \quad (58)$$

$$R_{min} \leq S \leq S_{max} \rightarrow \text{pravděpodobnost poruchy nabývá velikostí } 0 \leq p_f \leq 1 \quad (59)$$

$$R_{max} < S_{min} \rightarrow \text{pravděpodobnost poruchy } p_f = 1 \quad (60)$$

Konstrukce je spolehlivá je-li splněna podmínka spolehlivosti:

$$p_f < p_d \quad (61)$$

p_f pravděpodobnost poruchy

p_d návrhová pravděpodobnost poruchy – přípustná míra pravděpodobnosti poruchy

Návrhová hodnota pravděpodobnosti poruchy p_d se určuje na základě požadované úrovně spolehlivosti, druhu mezního stavu a předpokládané doby životnosti konstrukce. Úroveň spolehlivosti příslušné konstrukce je ovlivněna možnou příčinou, nebo způsobu dosažení mezního stavu, rizika ztrát na životech a náklady a postupy nutné ke snížení rizika poruchy. [11]

Směrné hodnoty návrhových pravděpodobností p_d podle platných evropských normových dokumentů jsou uvedeny v tabulkách č. 19 a 20. [11]

Tab. č. 19 Návrhová pravděpodobnost poruchy p_d pro mezní stav únosnosti [11]

Třída (úroveň) spolehlivosti	$p_d (-)$
RC3 (velké důsledky)	$8,4 \cdot 10^{-6}$
RC2 (střední důsledky)	$7,2 \cdot 10^{-6}$
RC1 (malé důsledky)	$4,8 \cdot 10^{-6}$

Tab. č. 20 Návrhová pravděpodobnost poruchy p_d pro mezní stav použitelnosti [11]

Třída (úroveň) spolehlivosti	$p_d (-)$
RC2 (střední důsledky)	$6,7 \cdot 10^{-6}$

Pro účely diferenciací spolehlivosti byly zavedeny třídy následků CC1, CC2 a CC3, které zohledňují následku poruchy. V závislosti na těchto třídách byly nadefinovány i třídy spolehlivosti RC1, RC2 a RC3. Třídy následků uvedeny v tabulce č. 21. [11]

Tab. č. 21 Definice tříd následků [11]

Třída následků	Popis	Příklady pozemních nebo inženýrských staveb
CC3	Velké následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo velmi významné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí	Stadióny, budovy určené pro veřejnost, kde jsou následky poruchy vysoké (např. koncertní sály)
CC2	Střední následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo značné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí	Obytné a administrativní budovy určené pro veřejnost, kde jsou následky poruchy středně závažné (např. kancelářské budovy)
CC1	Malé následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo malé/zanedbatelné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí	Zemědělské budovy, kam lidé běžně nevstupují (např. budovy pro skladovací účely, skleníky)

V diplomové práci je použitý program Anthill, který pracuje s klasickou simulací Monte Carlo – metoda SBRA (Simulation Based Reliability Assesment). Jedná se o simulační metodu, která je založena na numerické integraci Monte Carlo, tedy na opakovaných vyčíslených realizacích, simulacích funkce spolehlivosti. [11]

Klasickou metodou Monte Carlo je nazývána skupina algoritmů, které ve stochastických metodách provádějí simulaci náhodných jevů generováním pseudonáhodných čísel, vyjadřujících chování náhodné veličiny. Jejich rozvoj je spojen zejména s výpočtem vícerozměrných integrálů hustot pravděpodobností spojitých náhodných veličin, kde běžné numerické metody nejsou příliš efektivní. [11]

Metoda Monte Carlo má široké využití od simulací experimentů až po řešení diferenciálních rovnic. Její podstata je blízká inženýrskému myšlení, neboť umožňuje numericky simulovat rozptyl parametrů charakterizujících skutečné chování konstrukce. [11]

Pokud se metoda Monte Carlo používá pro určení pravděpodobností zkoumaných náhodných jevů, vychází se přitom z elementární definice pravděpodobnosti: [11]

$$P = \frac{N_p}{N} \quad (62)$$

N celkový počet simulací

N_p počet příznivých případů, tj. kdy nastal vyšetřovaný náhodný jev

V případě posudku spolehlivosti je pak výsledná pravděpodobnost poruchy p_f získaná vztahem:

$$p_f = \frac{N_f}{N} \quad (63)$$

N_f počet případů, kdy nastává porucha

N počet simulací

Pravděpodobnostní metoda SBRA (Simulation Based Reliability Assessment) obdobně jako současné normy, vychází z postupů založených na „filosofii“ mezních stavů konstrukce. Neřeší se spolehlivost konstrukce jako celku, ale vyhodnotí se relevantní mezní stavy a ty se posoudí. Dalšími prvky metody SBRA je aplikace tzv. křivek trvání zatížení a simulace Monte Carlo. [11]

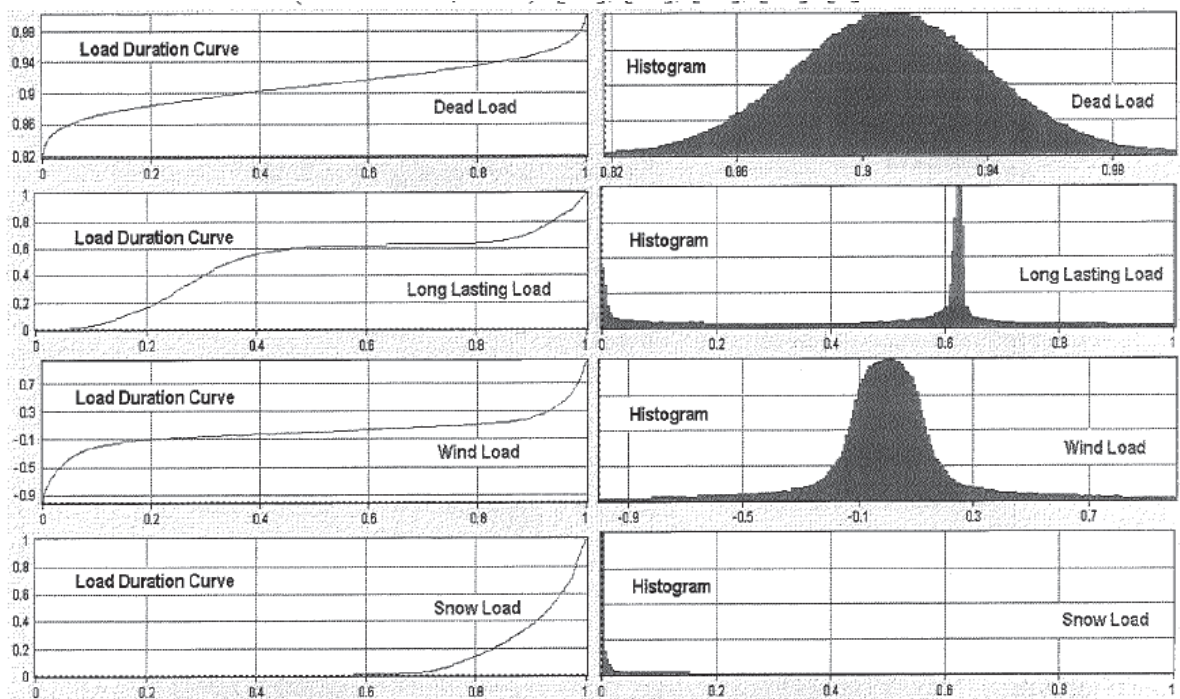
Posudek spolehlivosti metodou SBRA spočívá v porovnání vypočtené pravděpodobnosti poruchy p_f s návrhovou pravděpodobností p_d . Úroveň spolehlivosti je rozlišena na základě příslušné návrhové pravděpodobnosti. Návrhová pravděpodobnost p_d pak odpovídá posuzovanému meznímu stavu viz tabulky č. 19 a 20. [11]

Pro splnění kritéria spolehlivosti musí platit podmínka $p_f < p_d$ viz rovnice (61). K určení pravděpodobnosti poruchy p_f je nutné provést analýzu funkce spolehlivosti RF viz rovnice (56) a (57). [11]

Popis vstupních náhodných veličin je v metodě SBRA založen na aplikaci empirických rozdělení pravděpodobnosti v neparametrické formě. Pravděpodobnostní rozdělení náhodných vstupních parametrů jsou popsána omezenými histogramy. [11]

Přínosem metody SBRA je zejména popis proměnlivosti zatížení v čase formou křivek trvání zatížení. Proměnná zatížení, vstupující do pravděpodobnostního výpočtu jsou vyjádřena extrémní hodnotou a odpovídající křivkou trvání zatížení pro všechny mezní stavy. [11]

Křivky trvání zatížení a odpovídající histogramy jsou znázorněny na Obr. č. 61. Křivky trvání zatížení mohou být odvozeny na základě měření historie příslušného zatížení nebo také inženýrským odhadem. [15]



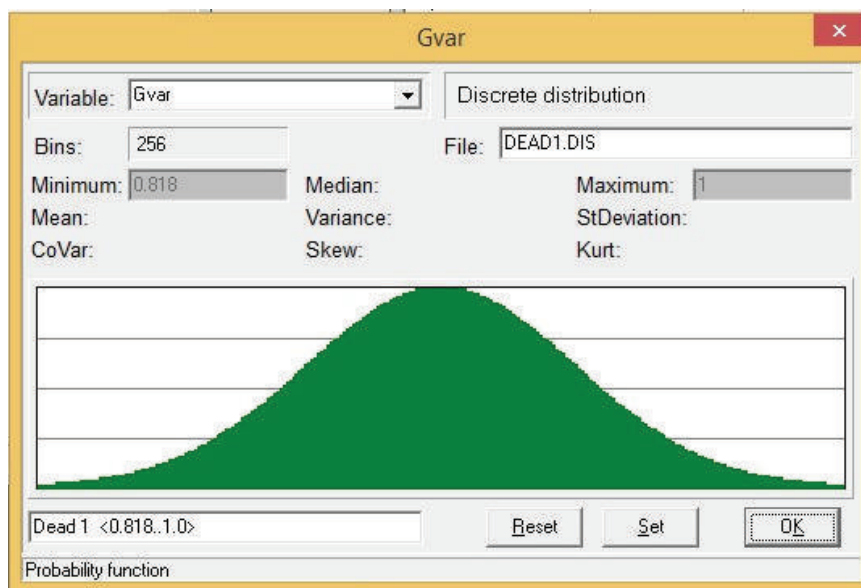
Obr. č. 61 Křivka trvání zatížení a odpovídající histogramy (zatížení stálé, zatížení nahodilé dlouhodobé, zatížení větrem, zatížení sněhem) [15]

3.2 Program Anthill – pracovní část, obecně

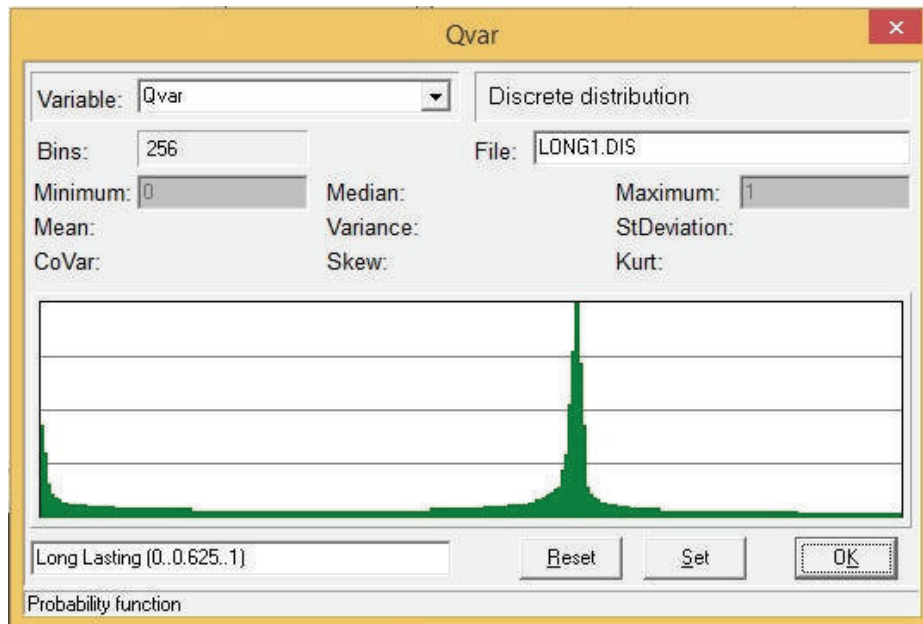
V simulačním programu Anthill je počítáno s kritickou kombinací zatěžovacích stavů. Z programu FIN získáme vnitřní účinky, normálové síly a ohybové momenty v charakteristických hodnotách v konkrétních zatěžovacích stavech. V programu Anthill se provede kombinace zatěžovacích stavů dle rovnice (64). Rovnice (64) je v podstatě rovnice 6.10 z EC, která je doplněná o histogramy křivek trvání. [15]

$$X_{ED} = \gamma_G * (\sum_i G_{ki}) * G_{var} + \gamma_Q * Q_k * Q_{var} + \sum_{i>1} \gamma_{Qi} * \Psi_{0i} * Q_{ki} * Q_{var} \quad (64)$$

- γ_G Dílčí součinitel stálého zatížení, nepříznivý účinek na konstrukci ($\gamma_G = 1,35$)
- γ_Q Dílčí součinitel proměnného zatížení, nepříznivý účinek na konstrukci ($\gamma_Q = 1,5$)
- Ψ_{0i} Kombinační součinitel
- G_{ki} Charakteristické stálé zatížení, pro $i = 1,2,3\dots$
- Q_k Hlavní užité zatížení
- Q_{ki} Vedlejší proměnná zatížení
- G_{var} Histogram pro křivku trvání pro stálé zatížení viz Obr. č. 62
- Q_{var} Histogram pro křivku trvání pro užité zatížení viz Obr. č. 63

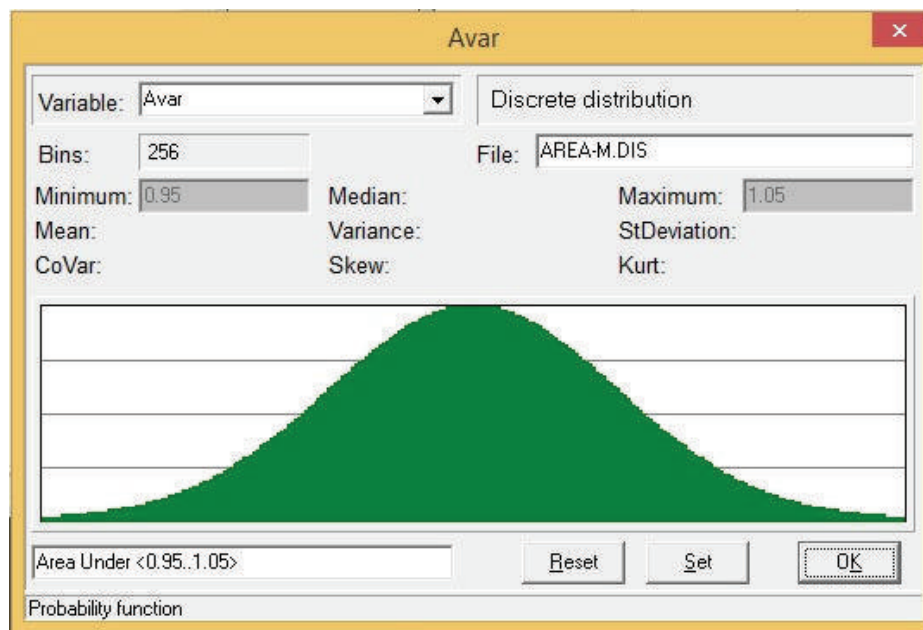


Obr. č. 62 Histogram křivky trvání pro stálé zatížení

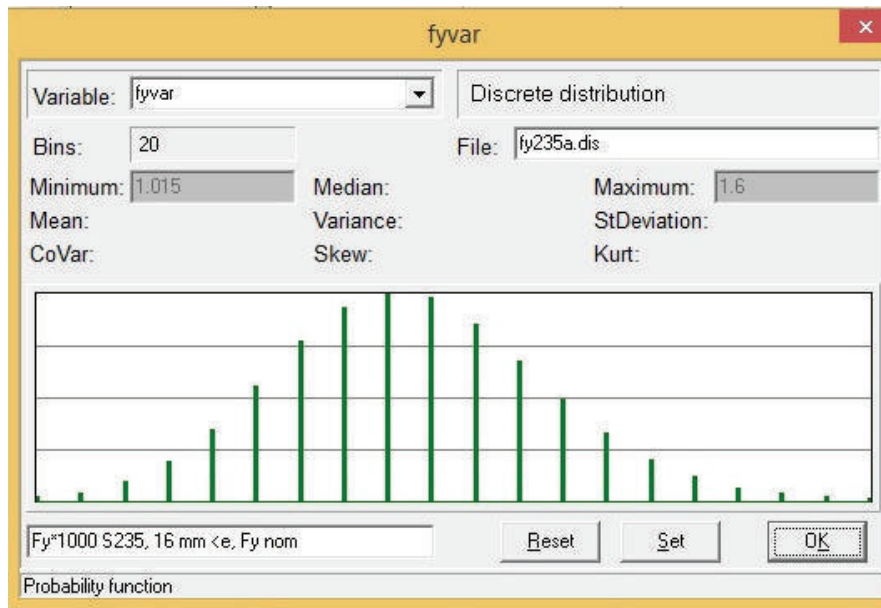


Obr. č. 63 Histogram křivky trvání pro užité zatížení

Dalšími veličinami, kterými se vstupuje do výpočtu jsou průřezové charakteristiky (geometrická nepřesnost) a materiál. Trubky jsou navrženy z oceli S 235. Geometrická nepřesnost, konkrétně plocha je ve výpočtech zohledněná histogramem A_{var} viz Obr. č. 64. Kvalita materiálu, konkrétně velikost meze kluzu je zohledněná histogramem f_{yvar} viz Obr. č. 65.



Obr. č. 64 Histogram geometrické nepřesnosti



Obr. č. 65 Histogram meze kluzu S 235

Histogramy z obr. č. 64 a 65 jsou použity ve výpočtech v programu Anthill ve vztazích (65); (66); (67); (68).

Prostý tlak:

$$N_{c,RD} = \frac{A \cdot A_{var} \cdot f_y \cdot f_{yvar}}{\gamma_{M0}} \quad (65)$$

N_{ED} návrhová hodnota tlakové síly

$N_{c,RD}$ únosnost průřezu v prostém tlaku

A plocha průřezu

A_{var} histogram geometrické nepřesnosti

f_{yvar} histograma meze kluzu S235

$\gamma_{M0} = 1,00$ únosnost průřezu kterékoliv třídy průřezu; dle EC 3

Vzpěrná tlak:

$$N_{b,RD} = \frac{\chi \cdot A \cdot A_{var} \cdot f_y \cdot f_{yvar}}{\gamma_{M1}} \quad (66)$$

$N_{b,RD}$ únosnost průřezu ve vzpěrném tlaku

χ součinitel vzpěrnosti pro příslušný způsob vybočení

A plocha průřezu

A_{var} histogram geometrické nepřesnosti

f_{yvar} histograma meze kluzu S235

$\gamma_{M1} = 1,00$ únosnost průřezu při posuzování stability prutů; dle EC 3

Tah:

$$N_{pl,RD} = \frac{A \cdot A_{var} \cdot f_y \cdot f_{yvar}}{\gamma_{M0}} \quad (67)$$

N_{ED} návrhová hodnota tahové síly

$N_{pl,RD}$ návrhová plastická únosnost neoslabeného průřezu

A plocha průřezu

A_{var} histogram geometrické nepřesnosti

f_{yvar} histograma meze kluzu S235

$\gamma_{M0} = 1,00$ únosnost průřezu kterékoliv třídy průřezu; dle EC 3

Ohybový moment:

$$M_{pl,RD} = \frac{W_{pl} \cdot f_y \cdot f_{yvar}}{\gamma_{M0}} \quad (68)$$

M_{ED} návrhová hodnota ohybového momentu

$N_{pl,RD}$ návrhová hodnota plastického ohybového momentu

W_{pl} plastický průřezový modul

f_{yvar} histograma meze kluzu S235

$\gamma_{M0} = 1,00$ únosnost průřezu kterékoliv třídy průřezu; dle EC 3

Únosnost průřezu:

$$\pm \frac{N_{ED}}{N_{RD}} + \frac{|M_{y,ED}|}{M_{y,RD}} + \frac{|M_{z,ED}|}{M_{z,RD}} \leq 1,0 \quad (69)$$

N_{RD} ; $M_{y,RD}$; $M_{z,RD}$ návrhové hodnoty únosnosti v závislosti na třídě průřezu a jejich redukce v důsledku účinku smykové síly

3.3 Posouzení prvků střešního příhradového vazníku metodou SBRA

Navržené a posouzené prvky příhradového střešního vazníku viz kapitola 2.1.3 jsou posouzeny v této kapitole v programu Anthill simulační metodou SBRA.

Je počítáno s kritickou kombinací vnitřních účinků ze zatěžovacích stavů: Q3; G1+G2+Q9. Jedná se o kombinaci zatěžovacích stavů užitečného zatížení jako hlavního proměnného zatížení, dále stálého zatížení a zatížení větrem jako vedlejšího proměnného zatížení, které je násobeno kombinačním součinitelem ψ_1 . Kombinace vnitřních účinků je provedena dle vztahu (64) uvedeného v kapitole 3.2. Výpočty jednotlivých únosností průřezu jsou provedeny dle vztahů uvedených v kapitole 3.2. V tabulkách č. 22 a 23 jsou uvedeny vnitřní účinky z příslušných zatěžovacích stavů v charakteristických hodnotách pro diagonálu a horní pásnici. Velikost vnitřních účinků normálových sil a ohybových momentů v charakteristických hodnotách je odečteno ze softwaru FIN 2D. Model příhradového, střešního vazníku viz kapitola 2.1.3.

Tab. č. 22 Zatěžovací stavy a jejich vnitřní účinky – horní pásnice, střešní příhradový vazník

	G1	G2	Q3	Q9
N (kN)	-33,12	-252,53	-179,28	-80,66
M (kN*m)	0,41	4,28	3,04	1,37

Tab. č. 23 Zatěžovací stavy a jejich vnitřní účinky – diagonála, střešní příhradový vazník

	G1	G2	Q3	Q9
N (kN)	-14,88	-108,64	-77,12	-34,70

- G1 stálé zatížení, vlastní tíha příhradového vazníku – vnitřní účinek
- G2 stálé zatížení – vlastní tíha pláště, kazetového podhledu, tenkostěnného profilu a zavěšených instalací – vnitřní účinek
- Q3 užitečné zatížení – vnitřní účinek
- Q9 klimatické zatížení – tlak větru – vnitřní účinek

Horní pásnice:

TR 152x12,5 mm S235

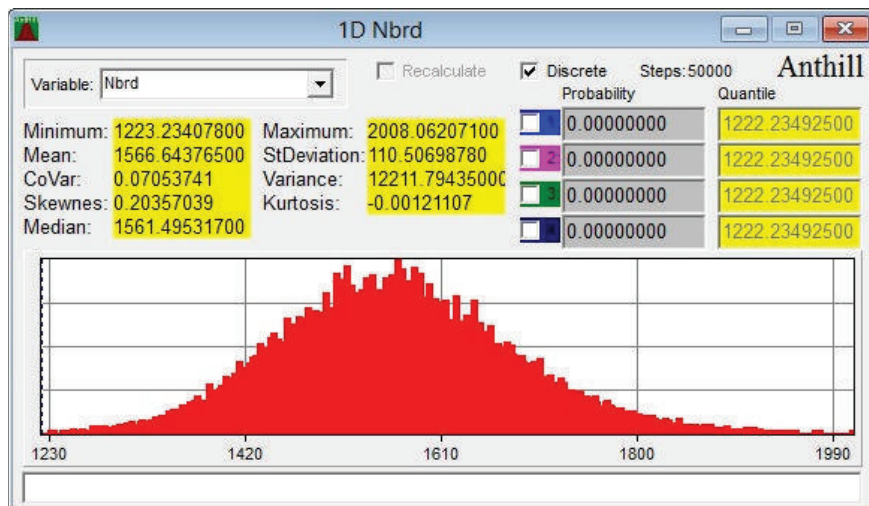
Na obrázku č. 66 je zobrazen histogram pro únosnost průřezu ve vzpěrném tlaku a na obrázku č. 67 je zobrazen histogram pro vnitřní účinek – normálová síla. Tedy na obrázku číslo 66 je vypočtena metodou SBRA odolnost konstrukce R a na obrázku č. 67 je vypočten účinek zatížení S.

Pravděpodobnostní posudek spolehlivosti viz obr. 67 a 68:

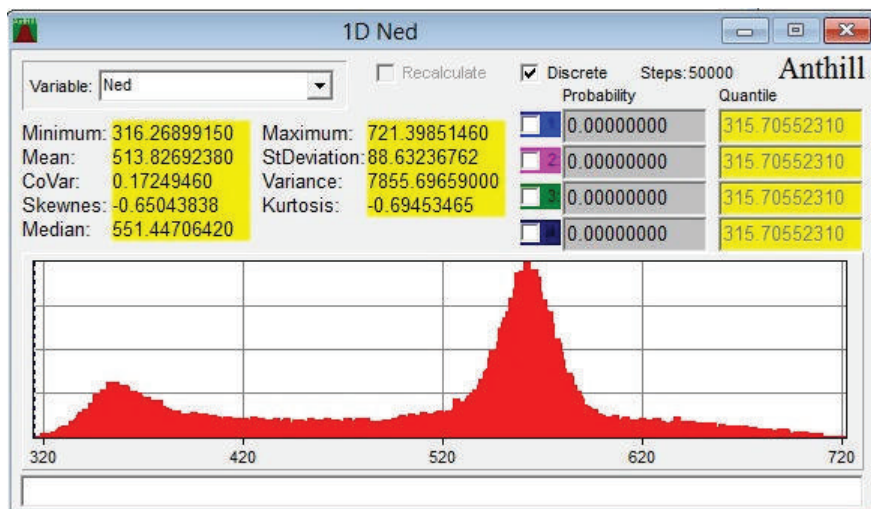
$$RF = R - S \geq 0; N_{brd} - N_{ed} > 0 \rightarrow \text{splněno}$$

Pravděpodobnost poruchy viz obr. 67 a 68:

$$R > S_{max}; N_{brd,min} > N_{ed,max} \rightarrow \text{porucha nenastala, omezeno počtem simulací}$$



Obr. č. 66 Histogram únosnosti ve vzpěrném tlaku – horní pásnice, střešní příhradový vazník



Obr. č. 67 Histogram vnitřního účinku, normálová síla – horní pásnice, střešní příhradový vazník

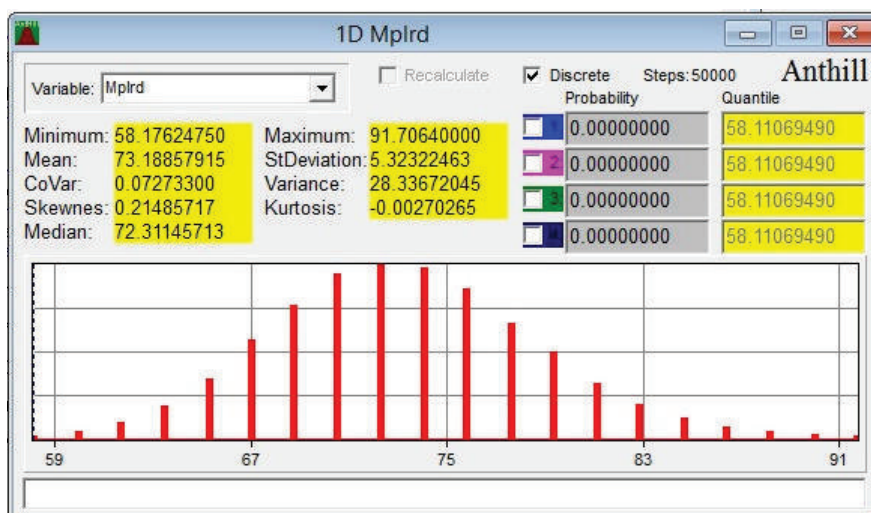
Na obrázku č. 68 je zobrazen histogram pro únosnost průřezu v ohybu a na obrázku č. 69 je zobrazen histogram pro vnitřní účinek – ohybový moment. Tedy na obrázku číslo 68 je vypočtena metodou SBRA odolnost konstrukce R a na obrázku č. 69 je vypočten účinek zatížení S.

Pravděpodobnostní posudek spolehlivosti viz obr. 68 a 69:

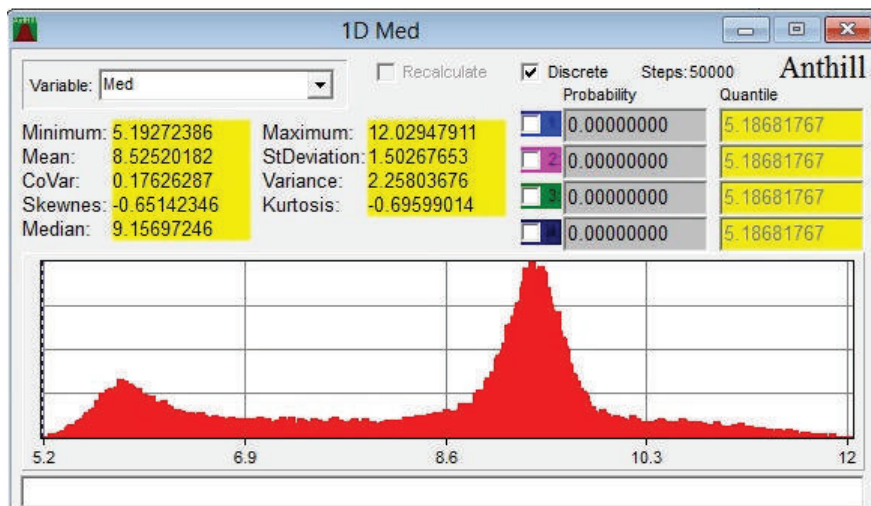
$$RF = R - S \geq 0; M_{plrd} - M_{ed} > 0 \rightarrow \text{splněno}$$

Pravděpodobnost poruchy viz obr. 68 a 69:

$$R > S_{max}; M_{plrd,min} > M_{ed,max} \rightarrow \text{porucha nenastala, omezeno počtem simulací}$$



Obr. č. 68 Histogram únosnosti v ohybu (plasticita) – horní pásnice, střešní příhradový vazník

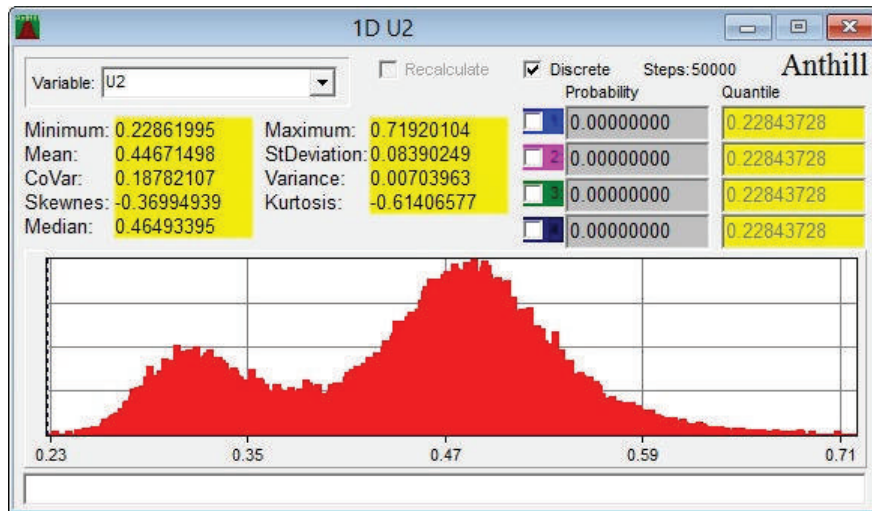


Obr. č. 69 Histogram vnitřního účinku, ohybový moment – horní pásnice, střešní příhradový vazník

Na obrázku č. 70 je zobrazen histogram s využitelností průřezu v ohybu a vzpěrném tlaku. Střední hodnota využitelnosti průřezu je cca 0,45 (využitelnost profilu 45 %). Využitelnost spočtená metodou SBRA.

Posudek spolehlivosti dle Obr. č 70:

$$\pm \frac{N_{ED}}{N_{RD}} + \frac{|M_{y,ED}|}{M_{y,RD}} + \frac{|M_{z,ED}|}{M_{z,RD}} \leq 1,0; 0,45 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obr. č. 70 Histogram využitelnosti průřezu, ohyb a vzpěrný tlak – horní pásnice, střešní příhradový vazník

Diagonála:

TR 89x10 mm S 235

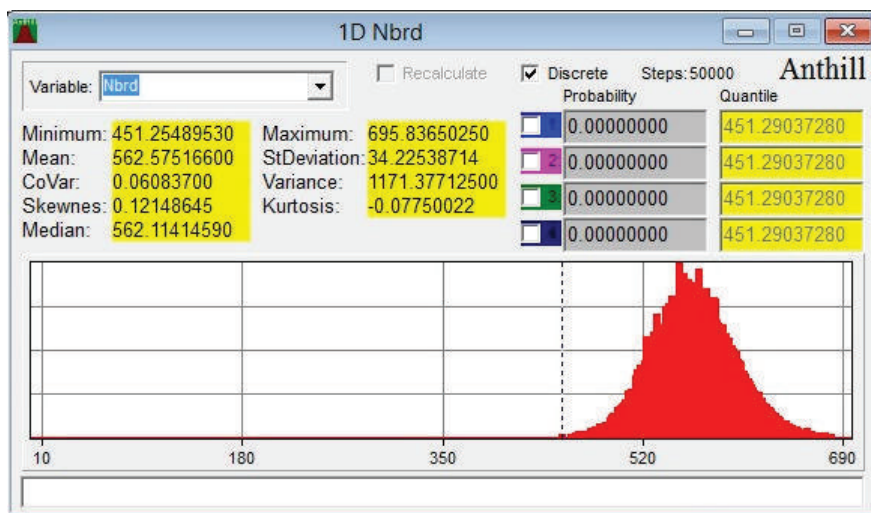
Na obrázku č. 71 je zobrazen histogram pro únosnost průřezu ve vzpěrném tlaku a na obrázku č. 72 je zobrazen histogram pro vnitřní účinek – normálová síla. Tedy na obrázku číslo 71 je vypočtena metodou SBRA odolnost konstrukce R a na obrázku č. 72 je vypočten účinek zatížení S.

Pravděpodobnostní posudek spolehlivosti viz obr. 71 a 72:

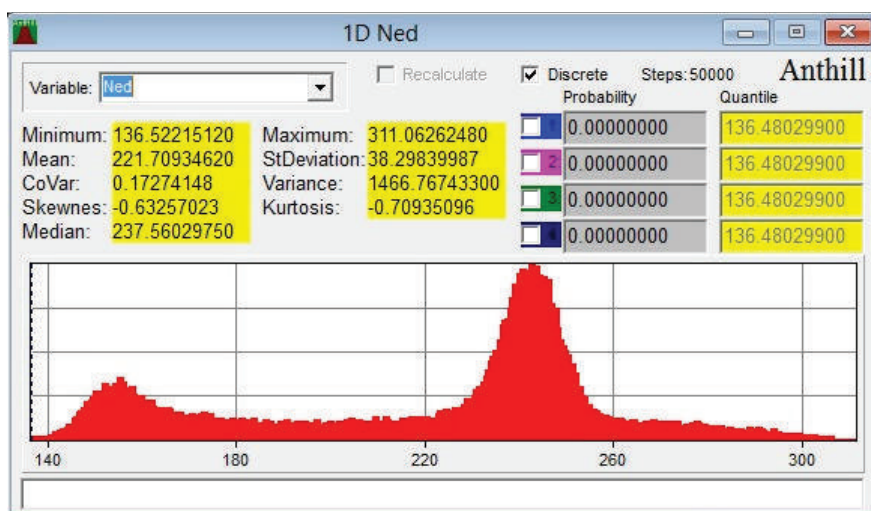
$$RF = R - S \geq 0; N_{brd} - N_{ed} > 0 \rightarrow \text{splněno}$$

Pravděpodobnost poruchy viz obr. 71 a 72:

$$R > S_{max}; N_{brd,min} > N_{ed,max} \rightarrow \text{porucha nenastala, omezeno počtem simulací}$$



Obr. č. 71 Histogram únosnosti ve vzpěrném tlaku – diagonála, střešní příhradový vazník



Obr. č. 72 Histogram vnitřního účinku, normálová síla – diagonála, střešní příhradový vazník

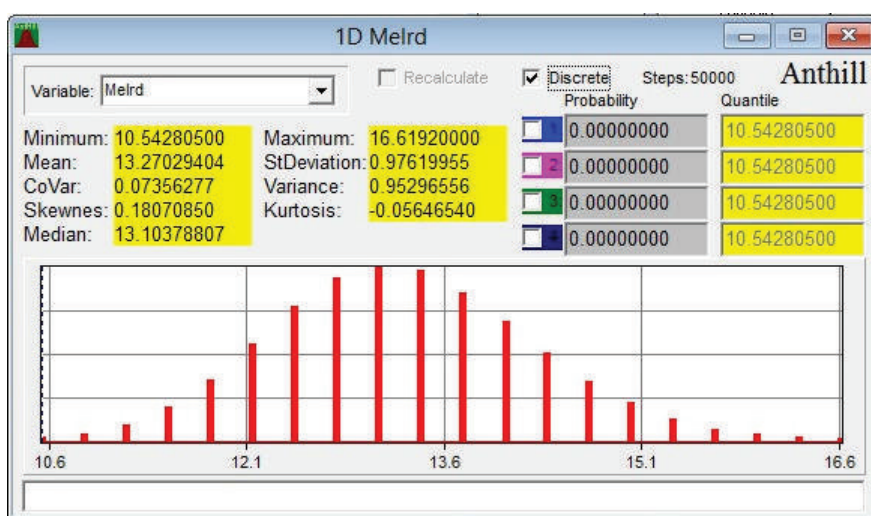
Na obrázku č. 73 je zobrazen histogram pro únosnost průřezu v ohybu a na obrázku č. 74 je zobrazen histogram pro vnitřní účinek – ohybový moment (moment od vzniklých imperfekcí, teorie 2. řádu). Tedy na obrázku číslo 73 je vypočtena metodou SBRA odolnost konstrukce R a na obrázku č. 74 je vypočten účinek zatížení S.

Pravděpodobnostní posudek spolehlivosti viz obr. 73 a 74:

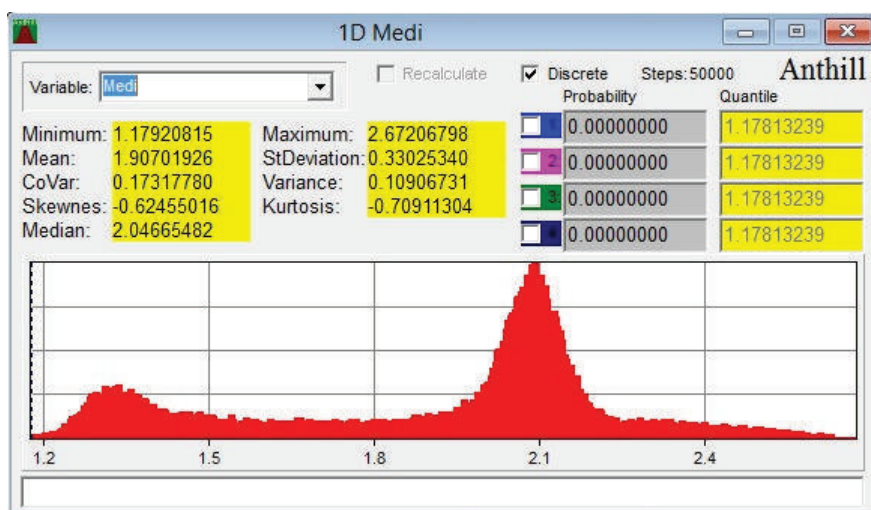
$$RF = R - S \geq 0; M_{elrd} - M_{edi} > 0 \rightarrow \text{splněno}$$

Pravděpodobnost poruchy viz obr. 73 a 74:

$$R > S_{max}; M_{elrd,min} > M_{ed,max} \rightarrow \text{porucha nenastala, omezeno počtem simulací}$$



Obr. č. 73 Histogram únosnost v ohybu (elasticita) – diagonála, střešní příhradový vazník

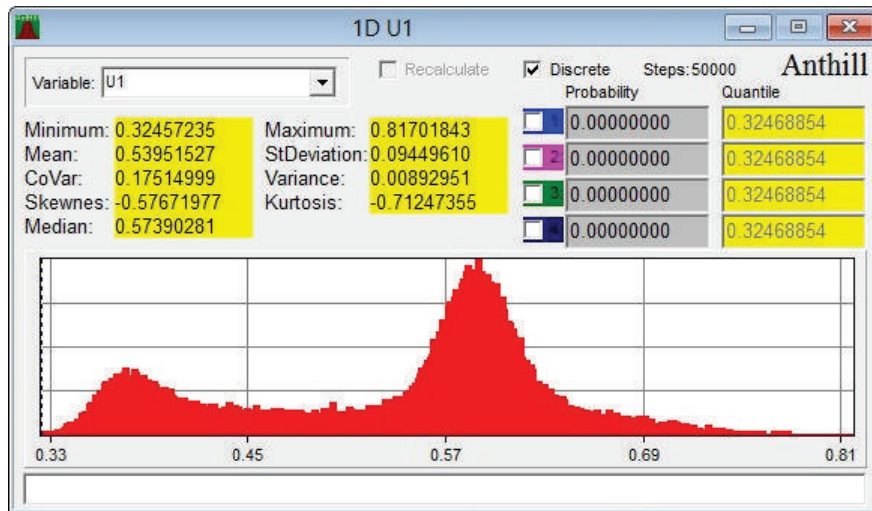


Obr. č. 74 Histogram vnitřního účinku, ohybový moment od vzniklých imperfekcí – diagonála, střešní příhradový vazník

Na obrázku č. 75 je zobrazen histogram s využitelností průřezu v ohybu od vzniklých imperfekcí a vzpěrném tlaku. Střední hodnota využitelnosti průřezu je cca 0,54 (využitelnost profilu 54 %). Využitelnost spočtená metodou SBRA.

Posudek spolehlivosti dle Obr. č 75:

$$\pm \frac{N_{ED}}{N_{RD}} + \frac{|M_{y,ED}|}{M_{y,RD}} + \frac{|M_{z,ED}|}{M_{z,RD}} \leq 1,0; 0,54 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obr. č. 75 Histogram využitelnosti průřezu, ohyb od vzniklých imperfekcí a vzpěrný tlak – diagonála, střešní příhradový vazník

3.3 Posouzení prvků stropního příhradového vazníku metodou SBRA

Navržené a posouzené prvky příhradového stropního vazníku viz kapitola 2.2.3 jsou posouzeny v této kapitole v programu Anthill metodou SBRA.

Je počítáno s kritickou kombinací zatěžovacích stavů: Q3; G1+G2. Jedná se o kombinaci zatěžovacích stavů užitého zatížení jako hlavního proměnného zatížení a stálého zatížení. Kombinace zatěžovacích stavů je provedena dle vztahu (64) uvedeného v kapitole 3.2. Výpočty jednotlivých únosností průřezu jsou provedeny dle vztahů uvedených v kapitole 3.2. V tabulkách č. 24 a 25 jsou uvedeny zatěžovací stavy pro diagonálu a horní pásnici. Zatěžovací stavy a jejich směr působení dle kapitoly 2.2.3.

Tab. č. 24 Zatěžovací stavy a jejich vnitřní účinky – horní pásnice, stropní příhradový vazník

	G1	G2	Q3
N (kN)	-71,93	-499,90	-494,87
M _y (kN*m)	1,67	11,51	11,46
M _z (kN*m)	0,02	-0,22	-0,24

Tab. č. 25 Zatěžovací stavy a jejich vnitřní účinky – diagonála, stropní příhradový vazník

	G1	G2	Q3
N (kN)	-34,58	-211,34	-208,81
M (kN*m)	-0,26	1,23	1,20

- G1 stálé zatížení, vlastní tíha příhradového vazníku
- G2 stálé zatížení – vlastní tíha těžké plovoucí podlahy, kazetového podhledu, tenkostěnného profilu a zavěšených instalací
- Q3 užité zatížení

Horní pásnice:

TR 219x16 mm S235

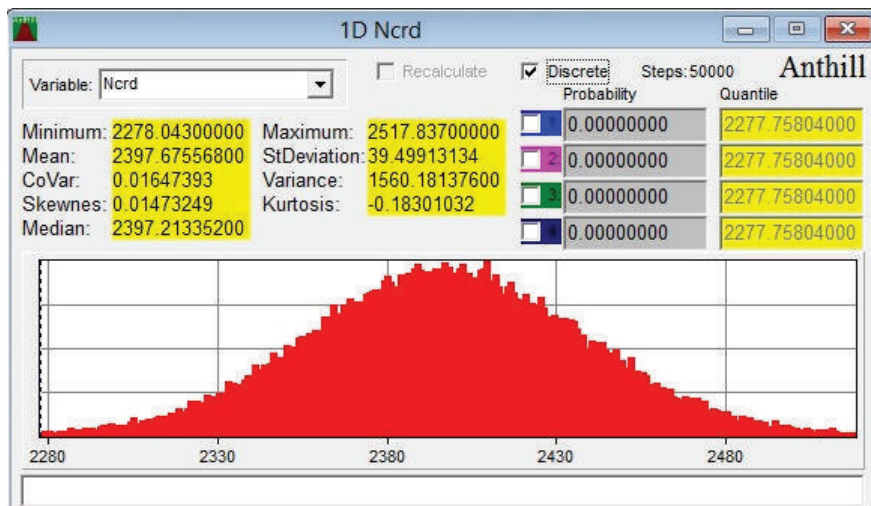
Na obrázku č. 76 je zobrazen histogram pro únosnost průřezu v prostém tlaku a na obrázku č. 77 je zobrazen histogram pro vnitřní účinek – normálová síla. Tedy na obrázku číslo 76 je vypočtena metodou SBRA odolnost konstrukce R a na obrázku č. 77 je vypočten účinek zatížení S .

Pravděpodobnostní posudek spolehlivosti viz obr. 76 a 77:

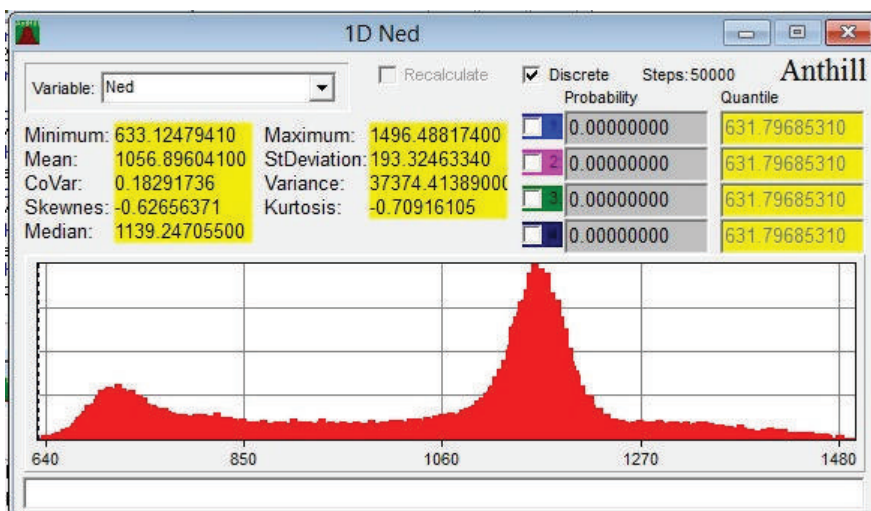
$$RF = R - S \geq 0; N_{brd} - N_{ed} > 0 \rightarrow \text{splněno}$$

Pravděpodobnost poruchy viz obr. 76 a 77:

$$R > S_{max}; N_{brd,min} > N_{ed,max} \rightarrow \text{porucha nenastala, omezeno počtem simulací}$$



Obr. č. 76 Histogram únosnosti v prostém tlaku – horní pásnice, stropní příhradový vazník



Obr. č. 77 Histogram vnitřního účinku, normálová síla – horní pásnice, stropní příhradový vazník

Na obrázku č. 78 je zobrazen histogram pro únosnost průřezu v ohybu, na obrázku č. 79 je zobrazen histogram pro vnitřní účinek v ose y – ohybový moment a na obrázku č. 79 je zobrazen histogram pro vnitřní účinek v ose z – ohybový moment. Tedy na obrázku číslo 78 je vypočtena metodou SBRA odolnost konstrukce R a na obrázcích č. 79 a 80 je vypočten účinek zatížení S.

Pravděpodobnostní posudek spolehlivosti viz obr. 78 a 79:

$$RF = R - S \geq 0; M_{plrd} - M_{edy} > 0 \rightarrow \text{splněno}$$

Pravděpodobnost poruchy viz obr. 78 a 79:

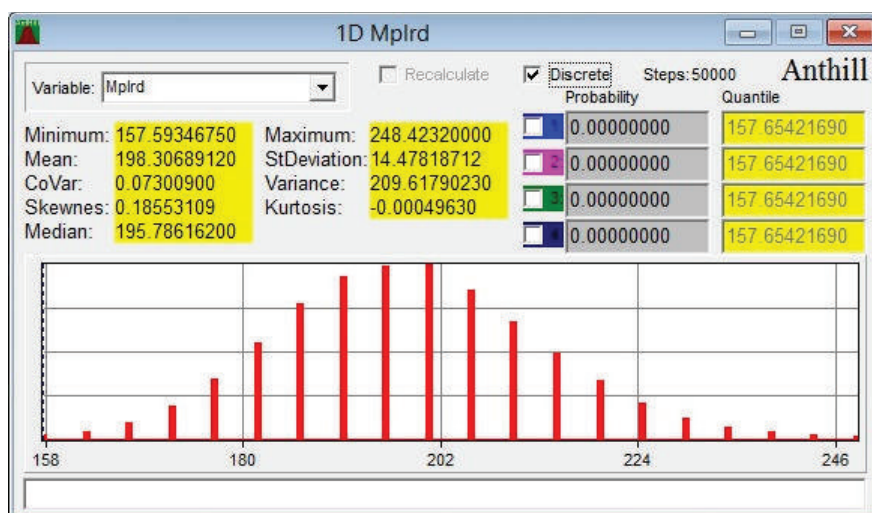
$$R > S_{max}; M_{plrd,min} > M_{edy,max} \rightarrow \text{porucha nenastala, omezeno počtem simulací}$$

Pravděpodobnostní posudek spolehlivosti viz obr. 78 a 80:

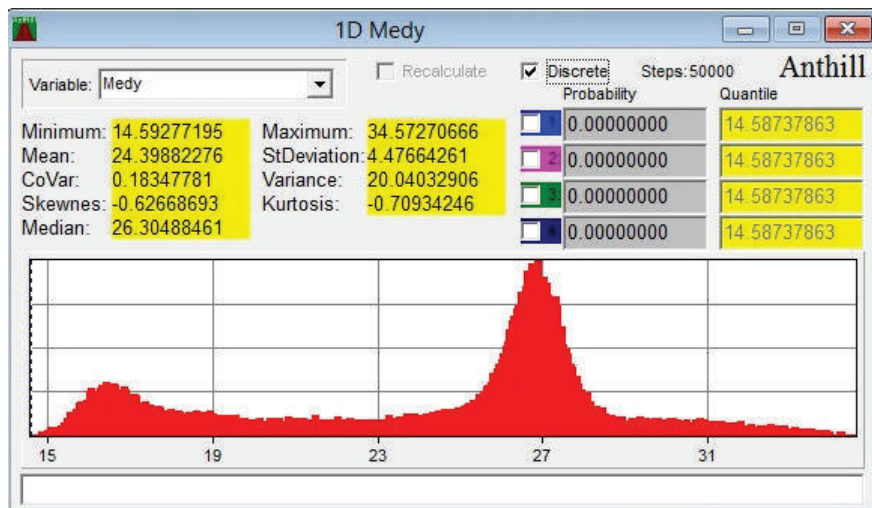
$$RF = R - S \geq 0; M_{plrd} - M_{edz} > 0 \rightarrow \text{splněno}$$

Pravděpodobnost poruchy viz obr. 78 a 80:

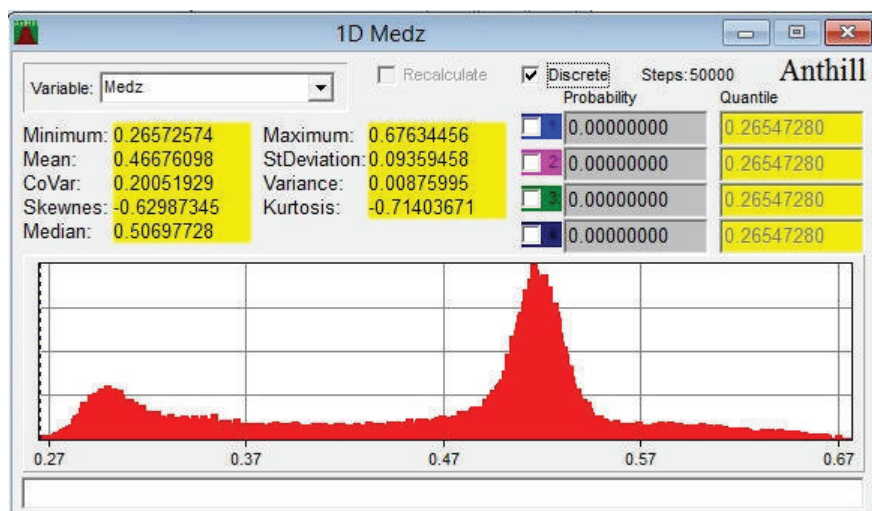
$$R > S_{max}; M_{plrd,min} > M_{edy,max} \rightarrow \text{porucha nenastala, omezeno počtem simulací}$$



Obr. č. 78 Histogram únosnosti v ohybu (plasticita) – horní pásnice, stropní příhradový vazník



Obr. č. 79 Histogram vnitřního účinku, ohybový moment v ose y – horní pásnice, stropní příhradový vazník

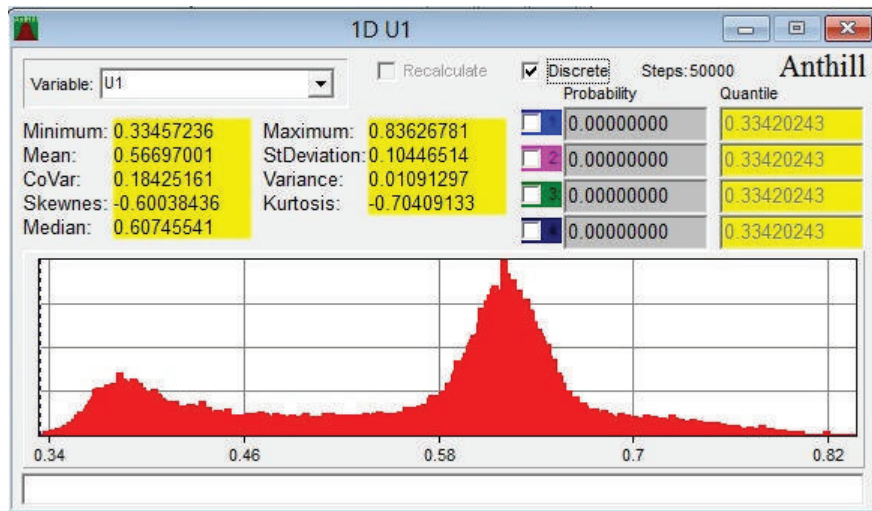


Obr. č. 80 Histogram vnitřního účinku, ohybový moment v ose z – horní pásnice, stropní příhradový vazník

Na obrázku č. 81 je zobrazen histogram s využitelností průřezu v ohybu v ose y a v ose z a prostém tlaku. Střední hodnota využitelnosti průřezu je cca 0,57 (využitelnost profilu 57 %). Využitelnost spočtená metodou SBRA.

Posudek spolehlivosti dle Obr. č 81:

$$\pm \frac{N_{ED}}{N_{RD}} + \frac{|M_{y,ED}|}{M_{y,RD}} + \frac{|M_{z,ED}|}{M_{z,RD}} \leq 1,0; 0,57 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obr. č. 81 Histogram využitelnosti průřezu, ohyb v ose z, v ose y a prostý tlak – horní pásnice, stropní příhradový vazník

Diagonála:

TR 140x12,5 mm S 235

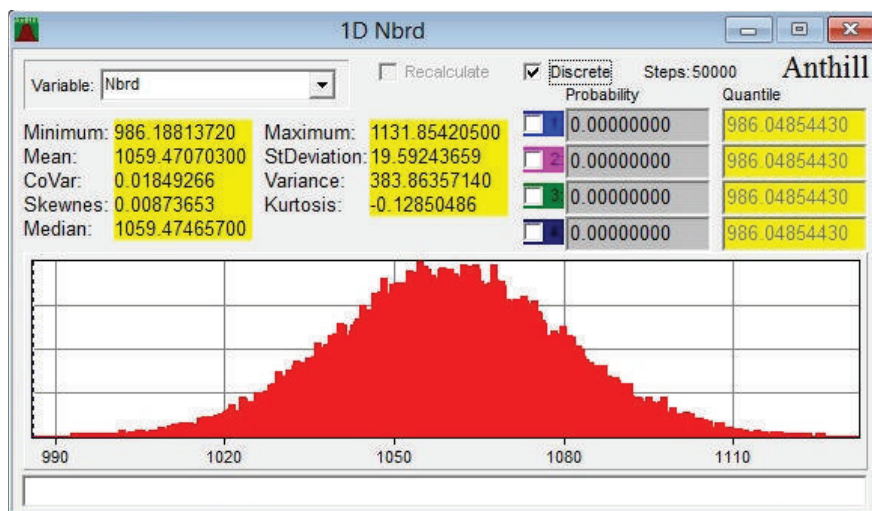
Na obrázku č. 82 je zobrazen histogram pro únosnost průřezu ve vzpěrném tlaku a na obrázku č. 83 je zobrazen histogram pro vnitřní účinek – normálová síla. Tedy na obrázku číslo 82 je vypočtena metodou SBRA odolnost konstrukce R a na obrázku č. 83 je vypočten účinek zatížení S.

Pravděpodobnostní posudek spolehlivosti viz obr. 82 a 83:

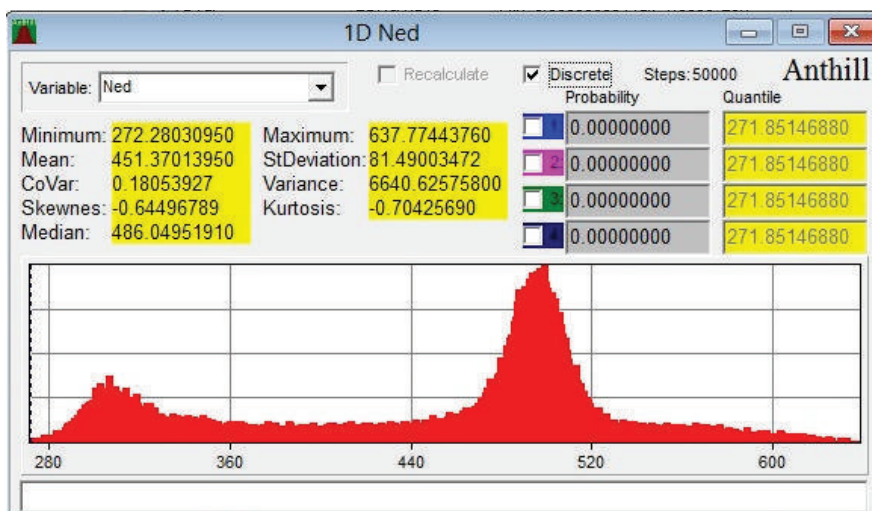
$$RF = R - S \geq 0; N_{brd} - N_{ed} > 0 \rightarrow \text{splněno}$$

Pravděpodobnost poruchy viz obr. 82 a 83:

$$R > S_{max}; N_{brd,min} > N_{ed,max} \rightarrow \text{porucha nenastala, omezeno počtem simulací}$$



Obr. č. 82 Histogram únosnosti ve vzpěrném tlaku – diagonála, stropní příhradový vazník



Obr. č. 83 Histogram vnitřního účinku, normálová síla – diagonála, stropní příhradový vazník

Na obrázku č. 84 je zobrazen histogram pro únosnost průřezu v ohybu, na obrázku č. 85 je zobrazen histogram pro vnitřní účinek – ohybový moment od vzniklých imperfekcí (teorie 2. řádu) a na obrázku č. 86 je zobrazen histogram pro vnitřní účinek – ohybový moment. Tedy na obrázku číslo 84 je vypočtena metodou SBRA odolnost konstrukce R a na obrázcích č. 85 a 86 je vypočten účinek zatížení S.

Pravděpodobnostní posudek spolehlivosti viz obr. 84 a 85:

$$RF = R - S \geq 0; M_{elrd} - M_{edi} > 0 \rightarrow \text{splněno}$$

Pravděpodobnost poruchy viz obr. 84 a 85:

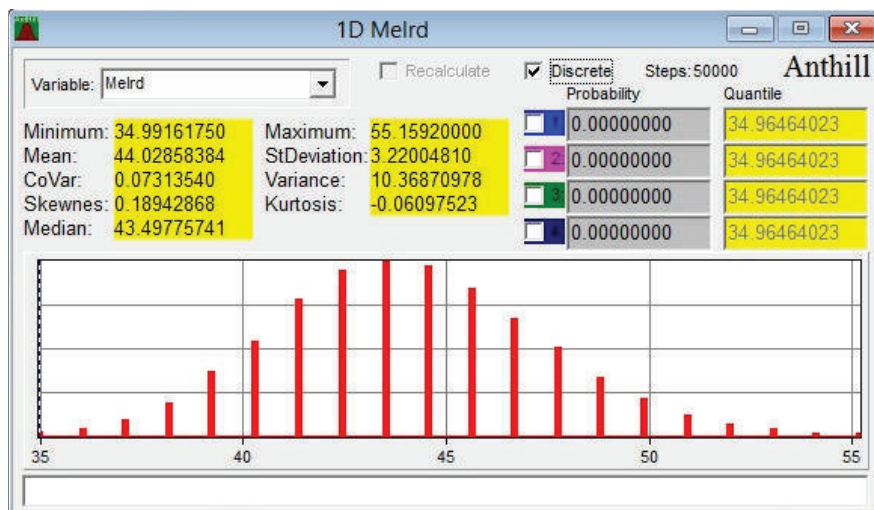
$$R > S_{max}; M_{elrd,min} > M_{edi,max} \rightarrow \text{porucha nenastala, omezeno počtem simulací}$$

Pravděpodobnostní posudek spolehlivosti viz obr. 84 a 86:

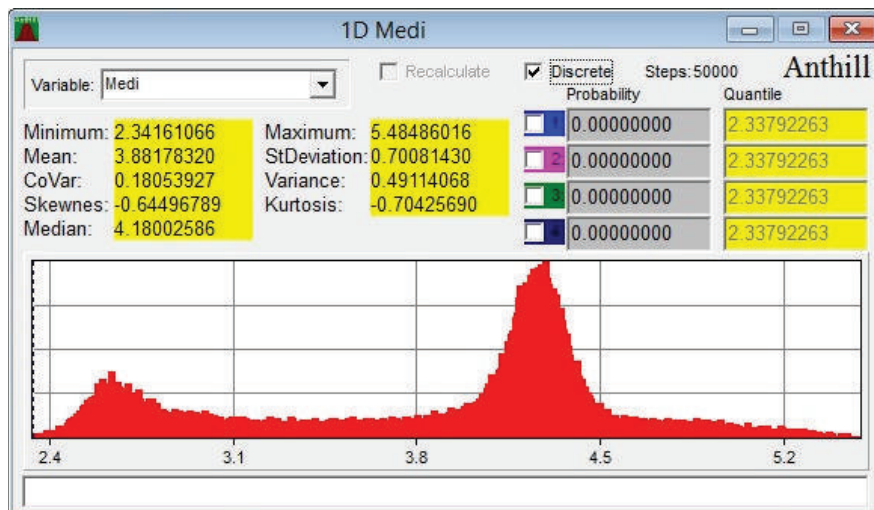
$$RF = R - S \geq 0; M_{elrd} - M_{edy} > 0 \rightarrow \text{splněno}$$

Pravděpodobnost poruchy viz obr. 84 a 86:

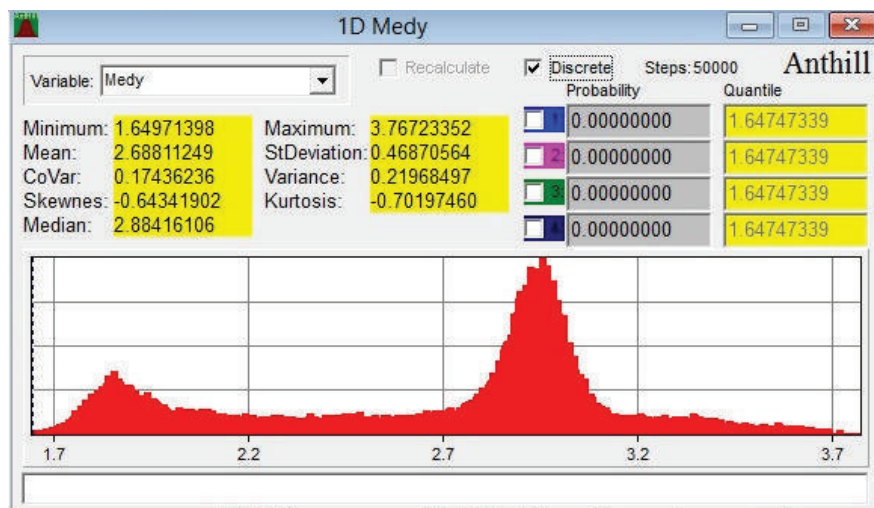
$$R > S_{max}; M_{elrd,min} > M_{edy,max} \rightarrow \text{porucha nenastala, omezeno počtem simulací}$$



Obr. č. 84 Histogram únosnost v ohybu (elasticita) – diagonála, stropní příhradový vazník



Obr. č. 85 Histogram vnitřního účinku, ohybový moment od vzniklých imperfekcí – diagonála, stropní příhradový vazník

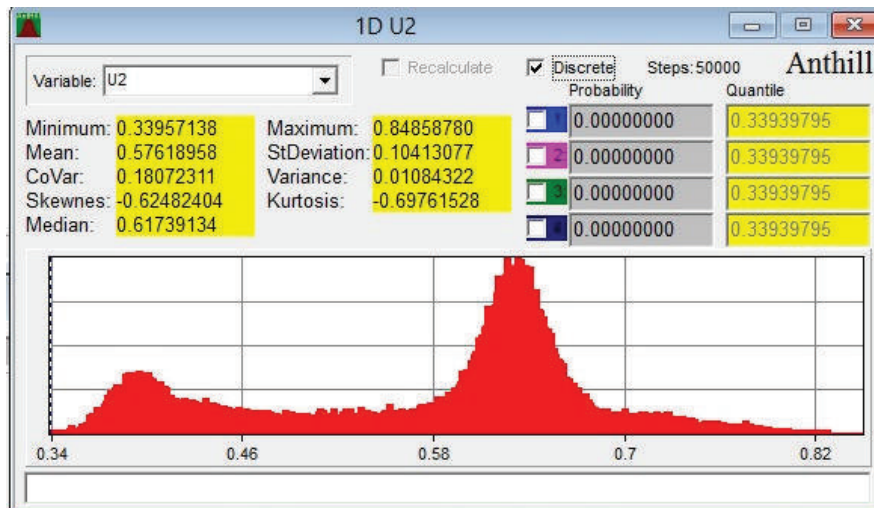


Obr. č. 86 Histogram vnitřního účinku, ohybový moment - diagonála, stropní příhradový vazník

Na obrázku č. 87 je zobrazen histogram s využitelností průřezu v ohybu od vzniklých imperfekcí, dále v ohybu od zatížení a vzpěrném tlaku. Střední hodnota využitelnosti průřezu je cca 0,58 (využitelnost profilu 58 %). Využitelnost spočtená metodou SBRA.

Posudek spolehlivosti dle Obr. č 87:

$$\pm \frac{N_{ED}}{N_{RD}} + \frac{|M_{y,ED}|}{M_{el,RD}} + \frac{|M_{EDi}|}{M_{el,RD}} \leq 1,0; 0,58 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obr. č. 87 Histogram využitelnosti průřezu, ohyb od vzniklých imperfekcí, ohyb a vzpěrný tlak – diagonála, stropní příhradový vazník

4 Porovnání výsledků dle EC a metody SBRA

Výsledky jsou porovnávány z hlediska jejich využitelnosti dle MSÚ. Pro příhradovou konstrukci se jedná o nejméně příznivý návrhový stav. Při pohledu na MSP konstrukce má značné rezervy viz kapitoly 2.1.3 a 2.2.3.

V tabulkách č. 26, 28 jsou uvedeny využitelnosti prvků dle EC a simulační metody SBRA. V závislosti na velikosti využití daných profilů příhradových vazníků (střešní příhradový vazník a stropní příhradový vazník) dle EC a metody SBRA je porovnávána ekonomika návrhu a environmentální dopady. Mezi environmentální dopady patří potenciál globálního oteplování. Evropské Unie se snaží snižovat vypouštěné odpady do ovzduší především oxidu uhličitého stále většími regulacemi a tvrdšími podmínkami v průmyslu na produkci odpadů vznikající při výrobě. Zde se nalézá další možnost jak snížit emise a to jest provedení efektivnějšího návrhu s menší spotřebou materiálu.

Výraz globální oteplování, resp. globální změna klimatu, je v současnosti používán pro poslední oteplování planety Země, které započalo na začátku 20. století a projevuje se jednoznačným a pokračujícím růstem průměrné teploty klimatického systému Země a které je, dle názoru naprosté většiny vědců z oboru klimatologie, způsobeno především aktivitami člověka. [10]

Termín „globální oteplování“ je především používán pro zvyšování průměrné teploty vzduchu a povrchových vod. V letech 1910–2010 došlo k nárůstu teploty vzduchu a povrchových vod o 1,0 °C, z toho asi dvě třetiny nárůstu nastaly od roku 1980. Každé z posledních tří desetiletí bylo postupně na povrchu Země teplejší, než jakékoli z předcházející desetiletí od roku 1850. [10]

Do roku 2100 by měla povrchová teplota na Zemi stoupnout o 0,3 až 1,7 °C pro scénáře s výrazným snižováním produkce CO₂, resp. o 2,6 až 4,8 °C pro scénář s dnešním tempem produkce CO₂. Očekávané budoucí oteplování a související změny však nejsou rovnoměrné a budou se lišit region od regionu, variabilita klimatu se ale bude globálně snižovat. [10]

Očekává se pokračující tání ledovců, což bude doprovázet zvýšení srážek, zvyšování hladiny oceánů, změny v množství a formě srážek, rozšiřování subtropických pouští. Mezi další očekávané jevy patří častější extrémní projevy počasí, jako jsou období veder, suchá období, lesní požáry, přívalové deště se záplavami, intenzivní sněhové srážky, okyselování oceánů či masivní vymírání druhů. Z následků významných pro člověka se uvádí především ztráta

potravinové bezpečnosti kvůli klesajícímu výnosu zemědělských plodin a ztráta přirozeného prostředí zaplavením pobřežních oblastí. Vzhledem k tomu, že klimatický systém má velkou setrvačnost a skleníkové plyny zůstávají v atmosféře po dlouhou dobu, mnohé z těchto účinků přetrvávají nejen desetiletí nebo staletí, ale i desítky tisíc let. [10]

4.1 Střešní konstrukce dle EC a metody SBRA, ekonomická stránka

V tab. č. 26 jsou zapsány výsledky vypočtené dle EC a dle metody SBRA. Jedná se cca o 30 % rozdíl ve využitelnosti profilů.

Tab. č. 26 Využitelnost profilů příhradového, střešního vazníku dle EC a SBRA

Prvek	Profil	MSÚ - EC	MSÚ - SBRA
Horní a dolní pásnice	TR 152x12,5	80 %	45 %
Diagonála a svislice	TR 89x10	94 %	54 %

V tab. č. 27 je vypočtena hmotnost jednoho střešního příhradového vazníku. Střešní konstrukce se skládá z 6 příhradových vazníků o stejných profilech. Na střešní konstrukci na výrobu příhradových vazníků je tedy zapotřebí **14 045,04 kg** oceli. Jedná se pouze o hmotnost oceli příhradových vazníků. Do hmotnosti není započteno ztužení střešní konstrukce.

Tab. č. 27 Hmotnost navrženého, příhradového, střešního vazníku

Prvek	Profil	Hmotnost (kg/m)	Délka (m)	Počet prvků (ks)	Celkem hmotnost
Horní a dolní pásnice	TR 152x12,5	43,00	18,00	2	1548,00 kg
Diagonála	TR 89x10	19,48	2,12	10	412,98 kg
Svislice	TR 89x10	19,48	1,50	13	379,86 kg
Hmotnost 1 vazníku					2340,84 kg

Metodou SBRA by se dal návrh střešní konstrukce optimalizovat s cca 30 % úsporou materiálu. Na střešní konstrukci na výrobu příhradových vazníků by bylo zapotřebí cca **9 831,53 kg** oceli.

V současné době se výroba a montáž ocelových konstrukcí pohybuje v cenové sazbě 145 Kč/kg. Výroba a montáž nosné střešní konstrukce dle EC stojí cca 2 036 530 Kč. Výroba a montáž nosné střešní konstrukce dle metody SBRA stojí cca 1 425 572 Kč. Rozdíl v ceně je cca 610 958 Kč.

4.2 Stropní konstrukce dle EC a metody SBRA, ekonomická stránka

V tab. č. 28 jsou zapsány výsledky vypočtené dle EC a dle metody SBRA. Jedná se cca o 30 % rozdíl ve využitelnosti profilů.

Tab. č. 28 Využitelnost profilů příhradového, stropního vazníku dle EC a SBRA

Prvek	Profil	MSÚ - EC	MSÚ - SBRA
Horní a dolní pásnice	TR 219x16	86 %	57 %
Diagonála a svislice	TR 140x12,5	86 %	58 %

V tab. č. 29 je vypočtena hmotnost jednoho stropního, příhradového vazníku. Stropní konstrukce se skládá z 11 příhradových vazníků o stejných profilech. Na stropní konstrukci na výrobu příhradových vazníků je tedy zapotřebí **49 314,21 kg** oceli. Jedná se pouze o hmotnost oceli příhradových vazníků. Do hmotnosti není započteno ztužení střešní konstrukce.

Tab. č. 29 Hmotnost navrženého, příhradového, stropního vazníku

Prvek	Profil	Hmotnost (kg/m)	Délka (m)	Počet prvků (ks)	Celkem hmotnost
Horní a dolní pásnice	TR 219x16	80,10	18,00	2	2883,60 kg
Diagonála	TR 140x12,5	39,30	2,12	10	833,16 kg
Svislice	TR 140x12,5	39,30	1,50	13	766,35 kg
Hmotnost 1 vazníku					4483,11 kg

Metodou SBRA by se dal návrh stropní konstrukce optimalizovat s cca 30 % úsporou materiálu. Na stropní konstrukci na výrobu příhradových vazníků by bylo zapotřebí cca **34 519,95 kg** oceli.

V současné době se výroba a montáž ocelových konstrukcí pohybuje v cenové sazbě 145 Kč/kg. Výroba a montáž nosné střešní konstrukce dle EC stojí cca 7 150 560 Kč. Výroba a montáž nosné střešní konstrukce dle metody SBRA stojí cca 5 005 392 Kč. Rozdíl v ceně je cca 2 145 168 Kč.

4.3 Enviromentální dopady stropní a střešní vazník dle EC a metody SBRA

V tab. č. 30 jsou uvedeny enviromentální dopady na životní prostředí při výrobě a následné montáži ocelových, nízce legovaných konstrukcí. Zdrojem dat uvedených v tab. č. 30 je databáze Ecoinvent pod kódem položky ECO-146, vytvořená dne 2011-11-04. Údaje převzaty z českého portálu Envimat. Ecoinvent – databáze s konzistentním, transparentním a aktualizovaným souborem dat životních cyklů. [14]

Environmentální parametry použité v tabulce č. 30:

PEI	Spotřeba primární energie (MJ/kg)
GWP	Potenciál globálního oteplování (kgCO ₂ ekv./kg)
AP	Potenciál okyselování prostředí (gSO ₂ ekv./kg)
EP	Potenciál eutrofizace prostředí (gPO ₄ ³⁻ ekv./kg)
ODP	Potenciál ničení ozonové vrstvy (gCFC ₂ ekv./kg)
POCP	Potenciál tvorby přízemního ozónu (gC ₂ H ₄ ekv./kg)

Tab. č. 30 Enviromentální dopady při výrobě a montáži 1 kg oceli (2)

Enviromentální parametr	Množství	Jednotky
PEI	29,0668	MJ/kg
GWP	2,0924	kgCO ₂ ekv./kg
AP	8,2738	gSO ₂ ekv./kg
EP	4,772	gPO ₄ ³⁻ ekv./kg
ODP	0,000057766	gCFC ₂ ekv./kg
POCP	1,1843	gC ₂ H ₄ ekv./kg

V tab. č. 31 a 32 je provedeno porovnání enviromentálních dopadů při návrhu střešní a stropní příhradové ocelové konstrukce dle EC a dle metody SBRA.

Tab. č. 31 Enviromentální dopady EC a SBRA, střešní příhradová vazníková konstrukce

Technický/ Enviromentální parametr	EC	SBRA	Jednotky
Hmotnost konstrukce	14 045,04	9 831,53	kg
PEI	408 244,37	285 771,12	MJ
GWP	29 387,84	20 571,49	kgCO ₂
AP	116 205,85	81 344,11	gSO ₂
EP	67 022,93	46 916,06	gPO ₄ ³⁻
ODP	0,811326	0,567928	gCFC ₂
POCP	16 633,54	11 643,48	gC ₂ H ₄

Tab. č. 32 Enviromentální dopady EC a SBRA, stropní příhradová vazníková konstrukce

Technický/ Enviromentální parametr	EC	SBRA	Jednotky
Hmotnost konstrukce	49 314,21	34 519,95	kg
PEI	1 433 406,28	1 003 384,48	MJ
GWP	103 185,05	72 229,54	kgCO ₂
AP	408 015,91	285 611,16	gSO ₂
EP	235 327,41	164 729,20	gPO ₄ ³⁻
ODP	2,848685	1,994079	gCFC ₂
POCP	58 402,82	40 881,98	gC ₂ H ₄

V tabulkách č. 31 a 32 je znázorněn možný rozdíl v potenciálu globálního oteplování GWP. Návrh příhradové konstrukce dle metody SBRA má menší dopady na globální oteplování, tedy je v souladu s dnešním trendem snahy o snižování dopadů na životní prostředí vlivem lidské činnosti.

5 Závěr

V diplomové práci je zpracován návrh a posouzení prvků střešního a stropního příhradového vazníku podle platných norem ČSN EN. Dále je provedeno posouzení navržených prvků příhradových vazníků prostřednictvím simulační metody SBRA. Následně je provedeno porovnání výsledků využitelnosti, ekonomické stránky a enviromentálních dopadů prvků příhradových vazníků dle ČSN EN a dle simulační metody SBRA.

Navržené a posouzené prvky příhradového střešního vazníku jsou z trubek těchto profilů: horní a dolní pásnice z TR 152x12,5 mm S 235 a diagonála, svislice jsou z TR 89 x 10 mm S235. Využitelnost horní a dolní pásnice podle MSÚ je 80 %. Využitelnost diagonály a svislice podle MSÚ je 94 %. Posouzení podle MSP – průhyb: z pohledu využitelnosti má příhradový vazník značné rezervy. Statický model střešního příhradového vazníku a následné výpočty vnitřních účinků proveden ve statickém softwaru FIN 2D.

Navržené a posouzené prvky příhradového stropního vazníku jsou z trubek těchto profilů: horní a dolní pásnice z TR 219x16 mm S 235 a diagonála, svislice jsou z TR 140x12,5 mm S235. Využitelnost horní a dolní pásnice podle MSÚ je 86 %. Využitelnost diagonály a svislice podle MSÚ je 86 %. Posouzení podle MSP: z pohledu využitelnosti má příhradový vazník značné rezervy. Statický model stropního příhradového vazníku a následné výpočty vnitřních účinků proveden ve statickém softwaru FIN 3D.

Výpočet dle simulační metody SBRA v programu Anthill je proveden pouze s 50 000 četností z důvodu nedostatečné verze programu. Pravděpodobnost poruchy s touto četností není nalazena. Četnost je nedostatečná, ale přesto výsledky dosažené tímto výpočtem vedou k zamyšlení nad navrhováním nosných konstrukcí podle EC.

Posouzení provedené metodou SBRA má oproti EC značné rezervy. Rozdíl ve využitelnosti profilu dle MSÚ je cca 30 %. Navržení metodou SBRA je možné provést o 30 % levněji. Rozdíl v ceně na stropní a střesní nosné konstrukci činí cca 2 755 000 Kč.

Z pohledu enviromentálního se jedná o snížení potřebné hmotnosti oceli a tudíž snížení emisí vyprodukovaných při výrobě oceli. Evropská Unie se snaží dosahovat stále nižší produkce CO₂. Díky návrhu dle metody SBRA by došlo ke snížení potenciál globálního oteplování GWP tedy o cca 40 000 kgCO₂.

6 Seznam bibliografických údajů

- [1] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. místo neznámé : Český normalizační institut, 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užité zatížení pozemních staveb. místo neznámé : Český normalizační institut, 2003.
- [3] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem. místo neznámé : Český normalizační institut, 2003.
- [4] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem. místo neznámé : Český normalizační institut, 2007.
- [5] ČSN EN 1993-1-1. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. místo neznámé : Český normalizační institut, 2006.
- [6] domafit.cz. [Online] Damtec Estra, 2018. <https://www.domafit.cz/damtec-estra--t>.
- [7] <https://www.kingspan.com/cz/cs-cz.kingspan>. [Online] Kingspan a.s.
- [8] Kovprof.cz. [Online] Kovové profily s.r.o. <http://kovprof.cz/>.
- [9] satjam.cz. [Online] SATJAM s.r.o. <https://www.satjam.cz/>.
- [10] *wikipedia*. [Online] [Citace: 20.. 12. 2018.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Globální_oteplování#cite_note-2.
- [11] Doc. Ing. Petr Brož, DrSc. Přednášky LS 2018 (02) až (09). Spolehlivost. Plzeň, 2018.
- [12] doc. Ing. Tomáš Vraný, CSc., prof. Ing. František Wald, CSc. Ocelové konstrukce, Tabulky. místo neznámé : ČVUT PRAHA, STAVEBNÍ FAKULTA, 2005.
- [13] Ing. arch. Vladislav Dlesek, DrSc. a kolektiv autorů. *Praktická příručka. Stavebně konstrukční detaily v obraze*. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2005.
- [14] Ing. Julie Hodková PhD., Ing. Antonín Lupíšek PhD., Ing. arch. Štěpán Mančík, Ing. Marie Vaculíková, Ing. Luděk Vochoc, Ing. Tomáš Žďára. envimat. [Online] [Citace: 18.. 12. 2018.] <http://www.envimat.cz/>.
- [15] Ing. Petr Kesl. Posouzení spolehlivostí konstrukcí simulační technikou, Teze dizertační práce. Plzeň : autor neznámý, 2016.
- [16] Prof. Ing. Jiří Studnička, DrSc., Prof. Ing. Milan Holický, DrSc. *Ocelové konstrukce 20. Zatížení staveb podle Eurokódu*. Praha : ČVUT, 2003.
- [17] prof. Ing. Josef Macháček, DrSc., Ing. Zdeněk Sokol, Ph.D., doc. Ing. Tomáš Vraný, CSc., prof. Ing. František Wald, CSc. *Navrhování ocelových konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1993-1-1 a ČSN en 1993-1-8. Navrhování hliníkových konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1999-1*. Praha : Informační centrum ČKAIT, s.r.o., Sokolská 15, Praha 2, 2009.

7 Použité softwary

1. AutoCAD 2017
2. FIN EC 2018 (FIN 2D, FIN 3D)
3. Anthill
4. Microsoft Office