

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta aplikovaných věd



DIPLOMOVÁ PRÁCE:

**Řešení vegetačních střech na nových a stávajících
objektech**

Studijní program:

Akademický rok:

Zpracovatel:

Kontakt:

Vedoucí práce:

Stavební inženýrství

2020/2021

Bc. Vlastimil Pavlečka

vpavlecka@gmail.com

Ing. Luděk Vejvara Ph.D.

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Vlastimil PAVLEČKA**
Osobní číslo: **A19N0060P**
Studijní program: **N3607 Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Stavitelství**
Téma práce: **Řešení vegetačních střech na nových a stávajících objektech**
Zadávající katedra: **Katedra mechaniky**

Zásady pro vypracování

1. Shromáždění údajů o řešení současných vegetačních střech.
2. Poznatky a postupy k použití na stavbách.
3. Ukázka řešení konstrukce vegetační střechy u konkrétního objektu.
4. Důsledky řešení vegetační střechy u pozemního objektu.

Rozsah diplomové práce: **min. 80 stran**
Rozsah grafických prací: **práce skládající se z výkresů a textových částí**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

1. Dostupná dokumentace.
2. Podklady výrobců stavebních materiálů.
3. Platné normy – pro statiku: eurokódy EC 1 až EC 8 a ČSN EN 206.
4. Platné normy – pro stavební fyziku: ČSN 730540.
5. Platné normy – pro střechy: ČSN 731901 včetně novelizací.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Luděk Vejvara, Ph.D.**
Katedra mechaniky

Datum zadání diplomové práce: **1. července 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **6. ledna 2021**



Radová

Doc. Dr. Ing. Vlasta Radová
děkanka

Jan Vimmr

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

V Plzni dne 1. července 2020

Čestné prohlášení:

Prohlašuji já Bc. Vlastimil Pavlečka s čestným srdcem, že jsem tuto svou diplomovou práci vypracoval samostatně pod odborným dohledem a s odbornými konzultacemi pana Ing. Luďka Vejvary Ph.D., který byl mým vedoucím diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

Vlastimil Pavlečka

Poděkování:

V první řadě bych chtěl především poděkovat panu Ing. Luďku Vejvarovi za vedení při vypracovávání mé diplomové práce, za odborné konzultace, námitky a připomínky. Dále bych mu chtěl poděkovat za umožnění získávání praktických zkušeností během mého studia na vysoké škole a za všechny informace, které se mi snažil během studia předat.

Další poděkování bych chtěl věnovat mým učitelům Ing. Michalu Novákovi a Ing. Janu Kubátovi Ph.D. za předané zkušenosti, které mi pomohli, jak během studia, tak k vypracování této diplomové práce.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat Bc. Marii Kupkové za všechny její neotřelé a praktické poznámky, které mi předávala během celého zpracování této práce.

Na závěr patří velké dík mé rodině, bez které by tato práce nemohla nikdy vzniknout. Děkuji jim za svůj život, za umožnění studia na vysoké škole, za jejich trpělivost, rady a samozřejmě za jejich psychickou i finanční pomoc po celé délce mého studia.

Anotace:

Téma mé diplomové práce se zabývá vegetačními střechami na nových a stávajících objektech. Nejprve jsem vysvětlil základní pojem, význam a důležitost vegetačních střech. Zabýval jsem se jejich hlavními vlastnostmi, přednostmi a důvody proč je jejich výstavba a použití ve stavitelství v budoucnu důležité. Popsal jsem jednotlivé vrstvy střechy a uvedl podstatné materiály, které se v dnešní době nejčastěji používají při výstavbě zelených střech.

V druhé části se zabývám vegetačními střechami na dvou různých objektech z konstrukčního hlediska, využívání a použitého užitého zatížení. První objekt je novostavba, která se bude nacházet v Praze v Perucké ulici a druhý objekt je stávající, který se nachází v Krejčíkově ulici v Plzni. Oba objekty jsou posuzovány hlavně z hlediska statického, protože to je hlavní a obvyklý problém při budování objektů se zelenými střechami.

Klíčová slova:

Vegetační střecha, zelená střecha, vegetace, substrát, zatížení, střešní konstrukce

Annotation:

The topic of my diploma thesis focuses on vegetative roofs of new and existing buildings. In first step, I explained the basic concept, importance and significance of vegetation roofs. I I focused on their main features, advantages and reasons why it is important to use them in construction for the future. I described the individual layers of vegetation roofs and listed the main materials that are most often used in the construction of green roofs today.

In the second part I deal with the solution of vegetation roofs on two different buildings in terms of statics, use and imposed load. The first is a new building, which is planned in Prague in Perucká Street and the second is an existing building, which is located in Krejčíkova Street in Pilsen. Both buildings are assessed especially in terms of statics, because it is the main and usual problem for the designing and implementation of green roofs.

Key words:

Vegetation roof, green roof, vegetation, substrate, load, roof structure

Obsah:

Seznam obrázků	11
Seznam tabulek	15
Seznam grafů.....	16
Úvod.....	17
1. Vegetační střechy	18
1.1. Význam ozeleněné střechy.....	18
2. Základní rozdělení vegetačních střech	19
2.1. Rozdělení podle sklonu	19
2.2. Rozdělení střešních plášťů podle základního konstrukčního řešení	19
2.3. Rozdělení podle tloušťky substrátu a zeleně.....	20
3. Historie a vývoj vegetačních střech	22
4. Zhodnocení výhod a nevýhod vegetačních střech.....	25
4.1. Výhody vegetačních střech	25
4.2. Nevýhody vegetačních střech	28
5. Vlastnosti vegetačních střech	29
5.1. Tepelně-izolační vlastnosti a regulace teploty	29
5.2. Akustické vlastnosti	31
5.3. Požární odolnost.....	32
5.4. Retenční vlastnosti vegetačních střech.....	32
5.5. Architektonické, estetické a ekologické účinky.....	36
6. Popis jednotlivých vrstev vegetační střechy	37
6.1. Vegetační souvrství.....	37
6.1.1. Vlastní střešní zeleň – vegetace	37
6.1.2. Substrát.....	38
6.1.3. Hydro-akumulační vrstva	40
6.1.4. Filtrační vrstva.....	41
6.1.5. Drenážní vrstva.....	42
6.2. Střešní plášť	44
6.2.1. Ochranná fólie proti prorůstání kořínků	44
6.2.2. Hydroizolace.....	44
6.2.3. Tepelná izolace	47

6.2.4. Spádová vrstva.....	50
6.2.5. Pojistná hydroizolační vrstva (parotěsná vrstva).....	50
6.2.6. Nosná konstrukce	51
6.3. Další přídatné vrstvy	51
6.3.1. Dilatační vrstva.....	51
6.3.2. Separální vrstva.....	52
7. Řešení konstrukce vegetační střechy u konkrétních objektů	52
7.1. Řešení objektu v Perucké ulici.....	52
7.1.1. Základní popis řešeného objektu	52
7.1.2. Střešní konstrukce S01 – varianta A.....	54
7.1.2.1. Popis střešní konstrukce.....	54
7.1.2.2. Grafické schéma skladby	54
7.1.2.3. Výpis materiálů a jejich tloušťek použitých ve skladbě.....	55
7.1.2.4. Určení vlastní tíhy konstrukce (stálé zatížení).....	55
7.1.2.5. Určení proměnných zatížení	56
7.1.2.6. Výpočet vnitřních účinků skladby S01 - varianta A.....	59
7.1.3. Střešní konstrukce S01 – varianta B.....	62
7.1.3.1. Popis střešní konstrukce.....	62
7.1.3.2. Grafické schéma skladby	62
7.1.3.3. Výpis materiálů a jejich tloušťek použitých ve skladbě.....	63
7.1.3.4. Určení vlastní tíhy konstrukce (stálé zatížení).....	63
7.1.3.5. Určení proměnných zatížení	64
7.1.3.6. Výpočet vnitřních účinků skladby S01 – varianta B	64
7.1.4. Celkové závěrečné posouzení S01	67
7.1.5. Podstata řešení vegetační konstrukce S02	68
7.1.5.1. Popis střešní konstrukce S02	68
7.1.5.2. Grafické schéma skladby	68
7.1.5.3. Výpis materiálů a jejich tloušťek použitých ve skladbě.....	69
7.1.5.4. Určení vlastní tíhy konstrukce (stálé zatížení).....	69
7.1.5.5. Určení proměnných zatížení	70
7.1.5.6. Výpočet varianty S02a.....	72
7.1.5.7. Výpočet varianty S02b.....	76

7.1.5.8.	Výpočet vnitřních účinků S02c.....	79
7.1.5.9.	Výpočet vnitřních účinků S02d	82
7.1.6.	Celkové závěrečné posouzení S02	85
8.	Řešení objektu v Krejčíkově ulici	86
8.1.	Popis technického stavu objektu	86
8.2.	Statické posouzení zatížení střechy firmou DEKPROJEKT s.r.o.	87
8.2.1.	Popis původní skladby	87
8.2.2.	Popis navrhovaných skladeb	88
8.2.3.	Závěr statického posouzení firmou DEKPROJEKT s.r.o.	90
8.3.	Vlastní zhodnocení statického posouzení	90
8.4.	Vlastní statické posouzení.....	91
8.4.1.	A – skladba střechy dle projektu	91
8.4.1.1.	Statický výpočet varianty A.....	91
8.4.1.2.	Závěr statického výpočtu varianty A	96
8.4.2.	B – skladba střechy dle provedených sond a měření.....	96
8.4.2.1.	Statický výpočet varianty B	97
8.4.2.2.	Závěr statického výpočtu varianty B	101
8.4.3.	C – kritická skladba střechy dle firmy DEKPROJEKT s.r.o.....	101
8.4.3.1.	Statický výpočet varianty C1	102
8.4.3.2.	Závěr statického výpočtu varianty C1	106
8.4.3.3.	Varianta C2 pro kategorii užitého zatížení C1.....	107
8.4.3.4.	Varianta C3 pro kategorii užitého zatížení C3.....	108
8.5.	Celkový závěr a řešení vegetační střechy v Krejčíkově ulici	109
8.6.	Provedená fotodokumentace stavby.....	110
8.6.1.	Fotodokumentace – původní stav	110
8.6.2.	Fotodokumentace – položení hydroizolace	113
8.6.3.	Fotodokumentace – poškození konstrukce.....	114
8.6.4.	Fotodokumentace – zjišťování technického stavu panelů	115
8.6.5.	Fotodokumentace – nový stav	117
9.	Závěrečné shrnutí diplomové práce	119
10.	Seznam citovaných zdrojů	120
11.	Seznam použitých zdrojů	123

Seznam obrázků:

Obr. 1: Ukázka logiky návrhu zelených střech ve městech [23].....	18
Obr. 2: Ukázka extenzivní vegetační střechy [1]	20
Obr. 3: Ukázka polointenzivní vegetační střechy [1].....	21
Obr. 4: Ukázka intenzivní vegetační střechy [1].....	21
Obr. 5: Visuté zahrady Semiramidiny [2]	22
Obr. 6: Ukázka původní Augustovy hrobky v Římě [4].....	23
Obr. 7: Ukázka domu tzv. “Sod house“ [5].....	23
Obr. 8: Letecký pohled na zámek Konopiště [6]	24
Obr. 9: Ústředí nové budovy ČSOB v Radlicích [7].....	25
Obr. 10: Správné provedení střešní vpusti vegetační střechy [24].....	34
Obr. 11: ŠPATNĚ provedená střešní vpust' ve vegetační střeše [23]	35
Obr. 12: Schéma pro zpětné využívání dešťové vody [20].....	35
Obr. 13: Vizualizace budoucí rekonstrukce tramvajové vozovny na Slovanech v Plzni [14].....	36
Obr. 14: Ukázka různých druhů vegetace [23]	38
Obr. 15: Ukázka různých druhů substrátů [23].....	40
Obr. 16: Hydrofilní desky z minerální vlny [1]	41
Obr. 17: Drenážní (nopová fólie s hydroakumulační funkcí) a filtrační vrstva [1]	43
Obr. 18: Ochranná fólie proti prorůstání kořínků [23].....	44
Obr. 19: Hydroizolační asfaltové pásy [18]	46
Obr. 20: Hydroizolační fólie [19].....	46
Obr. 21: Extrudovaný polystyren [20]	48
Obr. 22: Pěnové sklo [21]	50
Obr. 23: Půdorys střešní konstrukce objektu v Perucké ulici s označením skladby	53
Obr. 24: Schéma půdorysu řešeného objektu v Perucké ulici s označením skladby	53
Obr. 25: Skladba původního návrhu střešní konstrukce S01 – varianta A	54
Obr. 26: Mapa sněhových oblastí [20]	56
Obr. 27: Výpočet zatížení sněhem pro konstrukci S01	57
Obr. 28: Vstupní hodnoty pro výpočet větrem – S01	57
Obr. 29: Vítr zdola (sání)	58
Obr. 30: Vítr zdola (tlak a sání).....	58

Obr. 31: Vítr zprava (sání)	58
Obr. 32: Vítr zprava (tlak a sání).....	58
Obr. 33: Vítr obálka (sání)	58
Obr. 34: Vítr obálka (tlak).....	58
Obr. 35: Schéma pro výpočet vnitřních účinků S01	59
Obr. 36: ZS 1 – vlastní tíha střešní skladby - varianta A	59
Obr. 37: ZS 2 – zatížení od působícího sněhu S01	59
Obr. 38: ZS 3 - užité zatížení kategorie H dle normy ČSN EN 1991-1-1, pro 1. a 2. pole, S01.....	59
Obr. 39: ZS 4 - užité zatížení kategorie H dle normy ČSN EN 1991-1-1, pro 1. pole, S01	60
Obr. 40: ZS 4 - užité zatížení kategorie H – 2. pole, S01	60
Obr. 41: Deformace S01 – varianta A.....	61
Obr. 42: Reakce S01 – varianta A.....	61
Obr. 43: Posouvající síly S01 – varianta A	61
Obr. 44: Ohybové momenty S01, obálka zatěžovacích stavů - varianta A.....	61
Obr. 45: Návrh nové nepochozí vegetační střechy S01 – varianta B.....	62
Obr. 46: ZS 1 – vlastní tíha střešní skladby - varianta B	64
Obr. 47: ZS 2 – zatížení od působícího sněhu S01	65
Obr. 48: ZS 3 - užité zatížení kategorie H dle normy ČSN EN 1991-1-1, pro 1. a 2. pole, S01.....	65
Obr. 49: ZS 4 - užité zatížení kategorie H dle normy ČSN EN 1991-1-1, pro 1. pole, S01	65
Obr. 50: ZS 4 - užité zatížení kategorie H – 2. pole, S01	65
Obr. 51: Deformace S01 – varianta B	66
Obr. 52: Reakce S01 – varianta B	66
Obr. 53: Posouvající síly S01 – varianta B	66
Obr. 54: Ohybové momenty S01, obálka zatěžovacích stavů - varianta B.....	66
Obr. 55: Návrh skladby terasové konstrukce S02	68
Obr. 56: Schéma pro výpočet vnitřních účinků S02	71
Obr. 57: ZS1-Vlastní tíha návrhu skladby S02a bez vegetačního souvrství.....	72
Obr. 58: ZS2 – zatížení od působícího sněhu.....	72

Obr. 59: ZS3 - užité zatížení kategorie H dle národní přílohy NA ČSN EN 1991-1-1	73
Obr. 60: Deformace návrhu S02a.....	73
Obr. 61: Reakce návrhu S02a.....	73
Obr. 62: Posouvající síly návrhu S02a	74
Obr. 63: Ohybové momenty návrhu S02a.....	74
Obr. 64: ZS1 – Vlastní tíha návrhu vegetační střechy S02b	76
Obr. 65: ZS2 – zatížení od působícího sněhu.....	76
Obr. 66: ZS3 – užité zatížení kategorie A dle národní přílohy NA ČSN EN 1991-1-1....	76
Obr. 67: Deformace návrhu S02b	77
Obr. 68: Reakce návrhu S02b	77
Obr. 69: Posouvající síly návrhu S02b.....	77
Obr. 70: Ohybové momenty návrhu S02b	77
Obr. 71: ZS1 – Vlastní tíha návrhu vegetační střechy S02c	79
Obr. 72: ZS2 – zatížení od působícího sněhu.....	79
Obr. 73: ZS3 – užité zatížení kategorie C1 dle národní přílohy NA ČSN EN 1991-1-1 ..	79
Obr. 74: Deformace návrhu S02c.....	80
Obr. 75: Reakce návrhu S02c.....	80
Obr. 76: Posouvající síly S02c	80
Obr. 77: Ohybové momenty S02c.....	80
Obr. 78: ZS1 – Vlastní tíha návrhu vegetační střechy S02d	82
Obr. 79: ZS2 – zatížení od působícího sněhu.....	82
Obr. 80: ZS3 – užité zatížení kategorie C3 dle národní přílohy NA ČSN EN 1991-1-1 ..	82
Obr. 81: Deformace S02d.....	83
Obr. 82: Reakce návrhu S02d	83
Obr. 83: Posouvající síly S02d.....	83
Obr. 84: Ohybové momenty S02d.....	83
Obr. 85: Pohled na stavbu v Krejčíkově ulici – fotografie [28].....	87
Obr. 86: Zjišťování výztuže v soustavě PS61 v Krejčíkově ulici – fotografie [28].....	91
Obr. 87: Provádění sond skutečného stavu – fotografie [28].....	111
Obr. 88: Detail prováděné sondy – fotografie [28]	111
Obr. 89: Zjišťování vrstvy násypu, 260 mm – fotografie [28].....	112
Obr. 90: Odstranění původní skladby – fotografie [28].....	112

Obr. 91: Rekonstrukce střešní konstrukce – fotografie [28]	113
Obr. 92: Odstraňování původní skladby – fotografie [28]	113
Obr. 93: Položení hydroizolační vrstvy – fotografie 1 [28]	114
Obr. 94: Položení hydroizolační vrstvy – fotografie 2 [28]	114
Obr. 95: : Detail položení hydroizolační vrstvy – fotografie [28]	114
Obr. 96: Vznik trhlin na stropních panelech - fotografie [28]	115
Obr. 97: Použití metody sádrových terčů – fotografie [28]	115
Obr. 98: Rohové poškození konstrukce – fotografie [28]	115
Obr. 99: Zjišťování výztuže – fotografie [28]	116
Obr. 100: Zjištění profilu výztuže, profil 10 – fotografie [28]	116
Obr. 101: Zjišťování krycí vrstvy, 20 mm – fotografie [28]	117
Obr. 102: Nový stav vegetační střechy – fotografie [28]	118
Obr. 103: Nový stav vegetační střechy – fotografie 2 [28]	118

Seznam tabulek:

Tab. 1: Životní náklady na cyklus a životnosti různých typů střech [9]	27
Tab. 2: Přehled nejvyšších přípustných hodnot zvuku [13]	31
Tab. 3: Parametry sypané substrátové směsi pro extenzivní a intenzivní střechy [17].....	39
Tab. 4 Požadované tloušťky substrátu podle druhu použité vegetace [15].....	40
Tab. 5: Závislost tloušťky filtrační vrstvy na mocnosti substrátu [15]	42
Tab. 6: Mocnost drenáže dle typu ozelenění a mocnosti substrátu [15]	43
Tab. 7: Původní skladba střešní konstrukce S01 – varianta A	55
Tab. 8: Vlastní tíha původní konstrukce S01 – Varianta A	55
Tab. 9: Užité zatížení pro střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav [25]	58
Tab. 10: Přehled použitých kombinací zatížení konstrukce S01 – varianta A.....	60
Tab. 11: Nová vegetační skladba střešní konstrukce S01 – varianta B.....	63
Tab. 12: Vlastní tíha nové střešní konstrukce S01 – varianta B	63
Tab. 13: Střešní konstrukce teras S02	69
Tab. 14: Vlastní tíha střešní konstrukce S02	69
Tab. 15: Užité zatížení stropních konstrukcí, balkonů a schodišť pozemních staveb	71
Tab. 16: Redukovaná skladba S02 bez vegetačního souvrství.....	72
Tab. 17: Přehled použitých kombinací zatížení konstrukce S02a.....	73
Tab. 18: Přehled použitých kombinací zatížení konstrukce S02b	76
Tab. 19: Přehled použitých kombinací zatížení konstrukce S02c.....	79
Tab. 20: Přehled použitých kombinací zatížení konstrukce S02d	82
Tab. 21: Přehled závěrečného posouzení všech variant skladby S02	85
Tab. 22: Skladba střechy dle původního projektu [26]	87
Tab. 23: Navržená skladba střechy pochozí dlažby [26]	88
Tab. 24: Navržená skladba střechy pochozí dlažby u strojoven [26].....	88
Tab. 25: Navržená skladba střechy pochozí vegetace [26]	89
Tab. 26: Navržená skladba střechy pro požární oddělení objektů [26].....	89
Tab. 27: Tabulka vypočtených rezerv v zatížení [26].....	89
Tab. 28: Vlastní hmotnost skladby dle projektu	91
Tab. 29: Vlastní hmotnost skladby dle provedených sond a měření na stavbě.....	96
Tab. 30: Vlastní hmotnost skladby dle realizační firmy	101
Tab. 31: Výsledky řešení vegetační střechy v Krejčíkově ulici v Plzni	109

Seznam grafů:

Graf 1: Průběhy teplot na rozdílných površích plochých střech [11]	30
Graf 2: Průběh teploty u vegetační a nezatravněné střechy za horkého letního dne (hloubka sub. 100 mm) [11]	30
Graf 3: Průběh teploty u vegetační a sěrkové střechy za zimního dne (hloubka sub. 50mm)[11]	30
Graf 4: Množství srážek a odtoku vody ze zelené střechy po 18. hodinovém vytrvalém dešti [11]	33

Úvod:

Téma vegetačních neboli zelených střech se mi zalíbil hned z několika důvodů. Ale hlavní důvod je to ten, že toto téma se v dnešní době stává čím dál aktuálnější a probíranější jak v odborné veřejnosti, tak mezi lidmi bez stavitelského zaměření. Zároveň si myslím, že pro zkvalitnění jak lidského života, tak naší planety obecně jsou vegetační střechy směr, kterým by se mělo zdravé a kvalitní stavitelství ubírat už v několika následujících letech.

V první části diplomové práce jsem se zabýval teoretickým rozebráním vegetačních střech. Uvedl jsem jejich význam a základní rozdělení hned z několika důležitých hledisek. Dále jsem uvedl jejich historii a postupný vývoj, jakým se vegetační střechy ubíraly, a zároveň jsem poukázal na některé důležité stavby, které se vyskytují u nás nebo v zahraničí. Dalším důležitým bodem bylo zhodnocení výhod a nevýhod, které nám vegetační střecha přinese, protože na začátku projektu je velmi důležité vědět co od takové konstrukce očekávat nebo na co si dát pozor a naopak jaké výhody s konstrukcí vegetačních střech získáme. Poté jsem vypsal a postupně rozebral jednotlivé důležité vlastnosti vegetačních střech a na závěr první části jsem postupně popsal jednotlivé vrstvy, které se ve skladbě vegetační střechy mohou objevit.

V druhé části diplomové práce jsem se zaměřil na dva vybrané objekty, v Perucké ulici v Praze a v Krejčíkově ulici v Plzni. U prvního objektu jsem posuzoval celkem dvě skladby S01 a S02. U první skladby došlo k vzájemnému porovnání vnitřních sil pro plochou a extenzivní vegetační střechu. Zároveň byly uvedeny důvody, proč by se místo plochých střech s kačírky měly spíše navrhovat vegetační střechy. U druhé skladby došlo k jejímu posouzení z hlediska využívání. Cílem posouzení druhé skladby bylo prokázat důležitost správného použití užitého zatížení. Druhý objekt byl uveden jako důvod předešlého posuzování a jako příklad z praxe, kde se jednalo o problém návrhu vegetační střechy na stávající objekt právě z hlediska jejího využití.

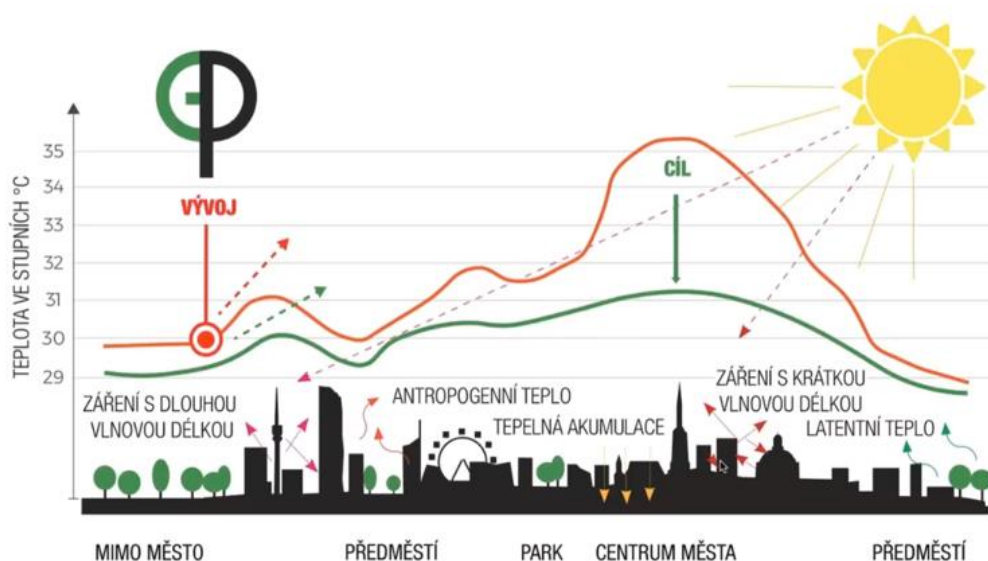
1. Vegetační střechy:

Vegetační, neboli též častěji používané zelená střecha, je označení pro střechu, která je zčásti nebo zcela pokrytá vegetací. Podloží je obvykle tvořeno ze substrátu nebo vhodné vybranou propustnou zeminou, která se obvykle vybere podle druhu pěstovaných rostlin.

Celkové souvrství střechy obsahuje samozřejmě i další technické a funkční vrstvy či instalace pro zajištění správného celkového fungování střešní konstrukce. Dalšími nedílnými součástmi jsou právě např. akumulční a retenční rohože, tepelně izolační desky, separační fólie, kořenovzdorné bariéry, mechanické, filtrační či jiné textilie a samozřejmě vrstva nosné konstrukce celého systému.

1.1. Význam vegetační střechy:

Význam a důvod proč se čím dál častěji objevuje flóra na střešních konstrukcích, je prostý. Člověk svojí stavební činností vytváří větší a rozsáhlejší stavby, které zabírají neustále větší plochu a zastavuje se tak půda s přirozenou vegetací. Příkladem takových staveb jsou rozsáhlé průmyslové budovy a haly, větší množství i rozsah silničních i jiných komunikací, rozšiřování bytové zástavby apod. Zelené střechy jsou poměrně šikovným a významným nahrazením této plochy. Nahrazení rostlin není důležité jen z hlediska vytváření kyslíku, který je nutný pro život lidí, ale též z hlediska zadržování vlhkosti ve městech, snižování tepelných městských ostrovů, zlepšování životního prostředí ale také z důvodu zlepšení psychiky a zdraví lidí.



Obr. 1: Ukázka logiky návrhu zelených střech ve městech

2. Základní rozdělení vegetačních střech:

2.1. Rozdělení podle sklonu:

Jedná se o nejzákladnější rozdělení pro vegetační střechy. Střechy se tímto rozdělením dělí na 3 základní skupiny. Jsou to střechy ploché, šikmé a strmé.

Plochá střecha:	střecha se sklonem vnějšího povrchu $\alpha \leq 5^\circ$
Šikmá střecha:	střecha se sklonem vnějšího povrchu $5^\circ < \alpha \leq 45^\circ$
Strmá střecha:	střecha se sklonem vnějšího povrchu $45^\circ < \alpha \leq 90^\circ$

Šikmé střechy můžeme dále ještě rozdělit do dvou skupin, rozdělených dle sklonu střechy a to na střechy bez zábran proti sesuvu substrátu, které se nemusí dělat, pokud má střešní rovina sklon od 5° do 15° a na střechy se zábranami proti sesuvu substrátu, které mají sklon od 15° do 45° .

2.2. Rozdělení střešních pláštů podle základního konstrukčního řešení:

- **Jednoplášťová střecha:**

Střešní konstrukce, která odděluje vnitřní prostředí od vnějšího prostředím jedním střešním pláštěm. Jedná se o nejjednodušší a základní provedení vegetačních střech. U nás nejvíce užívaná konstrukce.

- **Jednoplášťová střecha odvětrávaná:**

Střešní konstrukce, která odděluje vnitřní prostředí od vnějšího jedním střešním pláštěm. Ovšem na rozdíl od prvního druhu má tento druh střechy systém větracích kanálků, které umožňují provětrávání střechy. V praxi se tento styl střechy téměř nepoužívá, protože toto řešení je velmi problematické a v podstatě nefunguje.

- **Dvoupplášťová střecha:**

Střešní konstrukce, která odděluje vnitřní prostředí od vnějšího dvěma střešními plášti. Pro tyto pláště se v praxi používá označení horní a spodní plášť či vnější a vnitřní plášť. Mezi těmito plášti je vzduchová mezera. Mezera může být vytvořena jako průlezná, neprůlezná či

průchozí a v některých případech může sloužit jako půda. Pokud dojde k vložení pojistné hydroizolace do dvouplášťové střechy, vznikne střecha tříplášťová[10].

- **Více-plášťová střecha:**

Střešní konstrukce je tvořena několika střešními pláštěmi. Jednotlivé pláště jsou od sebe odděleny vzduchovými vrstvami. Obvykle se volí blíže určující označení této střechy jako je například střecha tříplášťová apod.

2.3. Rozdělení podle tloušťky substrátu a zeleně:

- **Extenzivní střechy:**

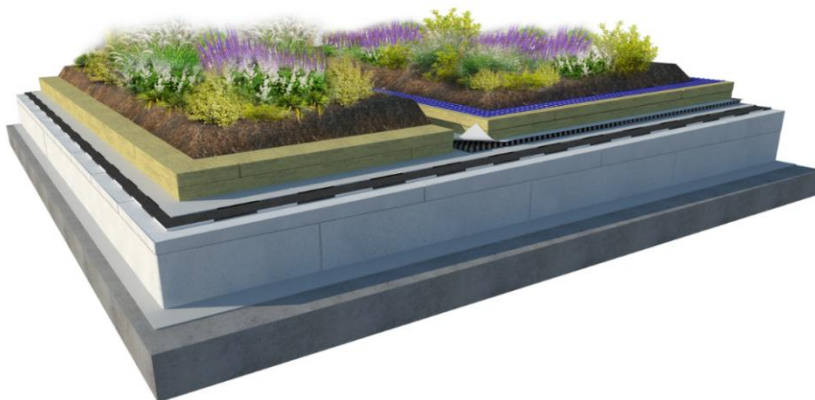
Při výběru extenzivní střechy je obvykle mocnost vegetačního souvrství mezi 30-150mm. Zde se používá vegetace, která je s maximální mírou samoregulace a regenerace bez zásahu člověka, proto jsou zde minimální požadavky na péči a zálivku. Obvykle se jedná o nízkou vegetaci, jakou jsou např. mechy, rozchodníky, suchomilné trávy či byliny, které zvládnou i extrémnější podmínky jako je delší doba sucha nebo naopak přemokření substrátu. Plošná hmotnost při nasyceném stavu substrátu se pohybuje mezi $60-170\text{kg}/\text{m}^2$. Tyto druhy střech můžeme využít jako pohledové nepochozí střechy, případně je využít u rekonstrukcí, kde je kladen požadavek na vegetační střechu, ale není možné počítat s velkou únosností stávajících konstrukcí. Lze je tedy aplikovat na střechy ploché i šikmé ovšem s minimálním 2% sklonem aby nedocházelo k lokálnímu hromadění vody v určitých místech.



Obr. 2: Ukázka extenzivní vegetační střechy

- **Polointenzivní střechy:**

Polointenzivní střechy mají mocnosti vegetačního souvrství mezi 150-300mm. Zde už je kladen důraz na vyšší péči o rostliny, proto je nutná záливka i v suchých obdobích. Je důležité přizpůsobit výběr rostlin podmínkám okolního prostředí. Jedná se o střechy již s obvykle vyšší vegetací. Proto se používají nejčastěji rozchodníky, trávy či byliny, některé odolné trvalky nebo nižší druhy dřevin a keřů. Plošná hmotnost polointenzivní vegetační střechy v nasyceném stavu se pohybuje mezi $120-350\text{kg}/\text{m}^2$. Využití nalézají tyto střechy obvykle na plochých střechách např. menších garáží, rodinných domů, novostaveb bytových domů či hotelů.



Obr. 3: Ukázka polointenzivní vegetační střechy

- **Intenzivní střechy:**

Zde se mocnost vegetačního souvrství pohybuje nad 300mm a nároky na péči jsou přibližně stejné jako u okrasných zahrad. Proto je zde nutné počítat s vlastním zavlažovacím systémem. U těchto střech se obvykle již vychází z koncepce dle architektonického návrhu. K nalezení je zde vegetace jako trávnik, trvalky, keře ale i stromy a užitkové rostliny. Plošná hmotnost v nasyceném stavu se přibližně pohybuje na hodnotách minimálně $350\text{kg}/\text{m}^2$. Proto se tyto střechy využívají převážně na plochých pochozích střechách s dostatečně únosnou střešní konstrukcí.

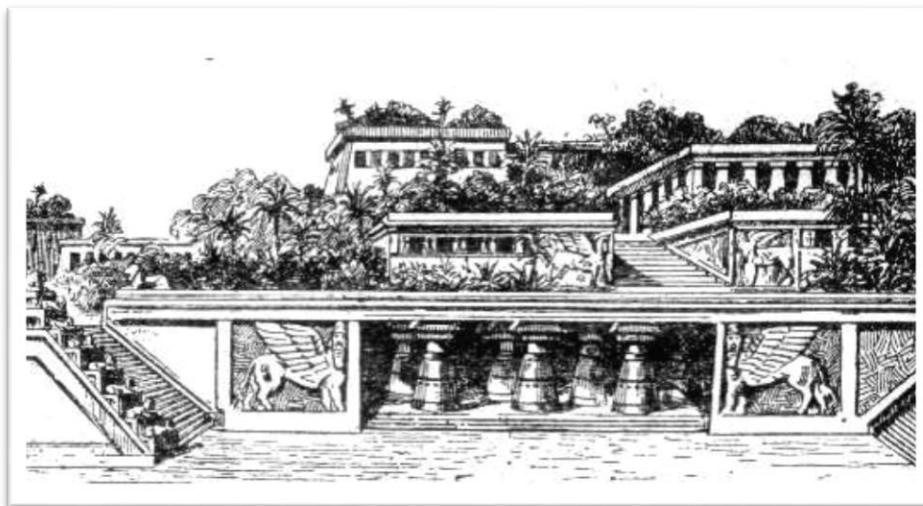


Obr. 4: Ukázka intenzivní vegetační střechy

Je důležité zmínit, že podle toho pro jakou střechu se investor rozhodne, velmi ovlivní veškeré další konstrukce, které jsou se stavbou úzce spojeny, ať už se jedná o nosnou desku, stěnové konstrukce či základy apod. Proto je velmi důležité udělat správný výběr a návrh střešního pláště už v projektové přípravě.

3. Historie a vývoj vegetačních střech:

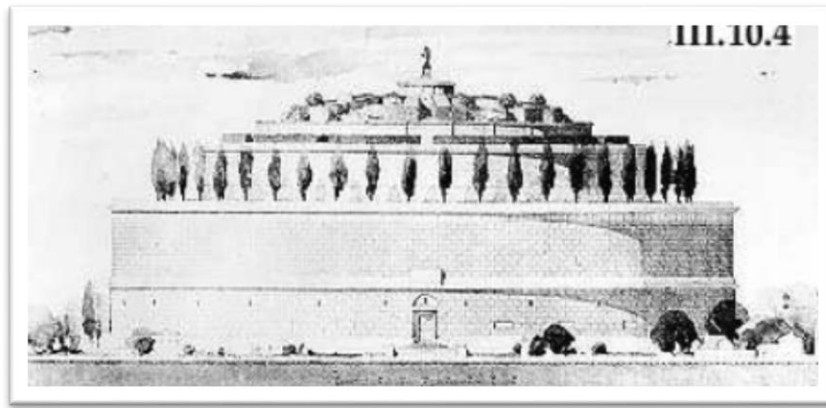
Samotná historie vegetačních střech sahá tisíce let do minulosti. Za první příklad zakrývající lidské budovy flórou můžeme považovat závěsné zahrady v Babylonu (obrázek 4), neboli Visuté zahrady Semiramidiny, které jsou považovány za jeden ze sedmi divů světa. Avšak tyto zahrady nechal vystavět král Nabuchodonozor II. (také Nebukadnecar nebo Nebukadresar) pro svoji manželku Ametis, která údajně milovala zelená skalní úpatí a květiny ze své domoviny. Zahrady byly vystavěny kolem roku 500 př. n. l. v místě dnešního Iráku. Vegetace byla pěstována nad kamennými sloupy a střechami. Jako vodotěsné vrstvy bylo využito hutněného rákosu a dehtu. Údajně měly tyto zahrady čtvercový tvar a spočívaly na kvádrech postavených na sebe jako kostky. Nejvýše položena plošina měla stupňovité terasy, na kterých byla položena spirálovitá čerpadla, jejichž úkolem bylo čerpat vodu z Eufratu.



Obr. 5: Visuté zahrady Semiramidiny

Jako další bod, v historickém vývoji vegetačních střech, je důležité zmínit vývoj ve starověkém Římě, kde se vegetační střecha (neboli tehdy též zahrada) stala součástí bohatší vrstvy obyvatelstva. Téměř každý zámožný občan se snažil vytvořit na svém patricijském domě

zelenou střechu, protože to naznačovalo vyšší postavení, bohatství a vliv. Jednalo se o poměrně nákladnou konstrukci, a proto se do dnes zachovalo jen málo takových staveb. Jednou z nich je kruhová hrobka císaře Augusta. Tato stavba měla taktéž terasu osázenou zelení.



Obr. 6: Ukázka původní Augustovy hrobky v Římě

První konstrukční řešení provizorních domů s vegetační střechou pochází z oblasti Great Plains z Kanady a Spojených států, kde se zelené střechy používaly díky dobré izolaci. Jedním z příkladů takových domů je tzv. dům “Sod house“. Tento dům by se dal považovat jako alternativa ke srubu. Nejčastěji se používaly tam, kde byl nedostatek klasického materiálu, jako je dřevo nebo kámen, případně pokud osadníci neměli dostatek financí. Drny, které se používaly na stavbu ze zakořeněné prérijní trávy, byly zdarma a jejich struktura umožňovala takový dům postavit. Ve své vlastní verzi se tento dům objevil též v severní oblasti Evropy na území Skandinávie, kde byl vegetační pás tvořen z rašelinových koberců.



Obr. 7: Ukázka domu tzv. “Sod house“

Posléze se zelené střechy dostávají i do České republiky, i když v historickém měřítku o mnoho let později, přibližně 13. století našeho letopočtu. Mezi první ukázky vegetace na střešní konstrukci je zámek Konopiště či například zámecká konírna v Lipníku nad Bečvou. První ze zmiňovaných byl vystaven pražským Biskupem Tobiášem v roce 1294 našeho letopočtu. Později se zasloužil o přestavbu, díky které vznikla dnešní podoba zámku. V přestavbě byla zrealizována také terasa, která byla později upravena na vegetační střechu. Tato terasa musela být několikrát opravovaná z důvodu pronikání vody střešní konstrukcí tvořenou klenbami.



Obr. 8: Letecký pohled na zámek Konopiště

Od roku 1867 dochází k poměrně velkému zjednodušení a bezpečnějšímu řešení vegetačních střech. Je to samozřejmě z důvodu vynálezu železobetonu, díky kterému dochází k většímu nárůstu výstavby staveb s touto střešní konstrukcí. Spojení železobetonu a skladby zelených střech je výborný směr z hlediska skvělé únosnosti železobetonu a poměrně velké tíhy, která představovala až do této doby problém pro mnoho stavebních materiálů a konstrukcí. Mezi moderní stavby se zelenou střechou v České republice patří zajisté budova ČSOB v Radlicích, Centrum nový Smíchov či terasy hotelu Prah.



Obr. 9: Ústředí nové budovy ČSOB v Radlicích

4. Zhodnocení výhod a nevýhod vegetačních střech:

Před rozhodnutím výstavby objektu, který bude mít střešní konstrukci osázenou flórou, je důležité zhodnotit si výhody a nevýhody takového rozhodnutí. Tyto jednotlivé body pomohou určit, kdy je vhodné si vegetační střechu pořídit a kdy naopak je moudřejší zvolit jinou konstrukci střešní krytiny.

4.1. Výhody vegetačních střech:

- **Zdravé životní prostředí:**

Nespornou výhodou zelených střech je samozřejmě umožnění procesu nové fotosyntézy vhodné pro život. Vegetace obecně má velký vliv na životní prostředí. Rostliny zadržují oxid uhličitý a produkují kyslík, čímž dochází ke zkvalitňování ovzduší v jejich okolí. Absorbují škodliviny ze vzduchu, filtrují částice prachu a zabraňují jeho víření.

Ve své podstatě každá nová výstavba zabírá určitou část vegetace, tudíž jsou zabírány plochy, které nám slouží pro vytváření kyslíku nutného pro život. Ve velkých městech, či pouze jen ve větších bytových zástavbách dochází k jevu tzv. městského tepelného ostrova, což je jev, kde část města (nebo celé město) vykazuje znatelně vyšší teploty než v jeho okolí[8]. Důvodem je překrytí původní plochy komunikacemi, budovami apod. tvořené z materiálů jako je beton či asfalt. Tyto materiály nemají schopnost přijmout sluneční záření a přeměnit je na jinou než tepelnou energii, proto dochází k nežádoucímu zvyšování teploty v centrech velkých měst.

Mezi další výhody pokrytí střechy flórou je, že dokáže zabránit poměrně velkému kolísání vlhkosti vzduchu ve městech a zároveň tuto vlhkost ve městech udržet. Zelené střechy všechny zmíněné problémy dokáží alespoň z části řešit. Nahrazují poměrně velké části zabraných přírodních území a mají prokazatelně lepší vliv na psychiku a zdraví člověka.

- **Ekonomické benefity:**

Do výhod z hlediska ekonomického je určitě podstatné zařadit její schopnost dobré tepelné a zvukové izolace, čímž snižují spotřebu energie na vytápění a použití klimatizace. Zároveň, jak už bylo napsáno, dobře zadržují vodu, proto se díky tomu omezí množství dešťové vody, které odtéká do kanalizace a tím pádem se poměrně dobře ušetří na ceně stočného v porovnání se střechou povlakovou, kde v podstatě téměř veškerá voda, která dopadne na její povrch, odeče do kanalizace.

V tomto bodě je důležité také zmínit, že počáteční investice jsou sice vyšší, ovšem pokud se jedná o celkovou životnost střešní konstrukce, je potvrzeno, že vegetační střecha dosahuje několika násobné vyšší životnosti než častěji používané asfaltové či šterkové střešní krytiny. Další výhodou je i náročnost na potřebu oprav či renovace konstrukce, protože hrubá životnost střech asfaltových, plechových či jiných se pohybuje v rozmezí 10-25 let. Po takové době je zapotřebí střešní krytinu vyměnit či alespoň opravit. Ovšem při správném odborném provedení zelené střechy, se jedná o střechu s téměř neomezenou životností. V takovém případě se musí počítat i s poplatkem na recyklaci použitého materiálu, který je ve vegetační střeše bez PVC prvků nulový. (Tento fakt dokládá i tabulka 1) [9].

Typ střechy	Konstrukční náklady	Opravy (interval v letech)	Renovace po letech (průměrná) RC	Cena renovace během života	Renovace/Likvidace a recyklace odpadu, náklady, RECY	součet
Asfaltová střecha	40	Cca každých 15 let	Po 15 letech	6x40=240	20RC, 20 RECY	320
Štěrková střecha	50	Cca každých 15 let	Po 15-20 letech	Cca 200	25 RC, 25 RECY	295
Rozsáhlá zelená střecha bez výrobků PVC	90	-	Pouze dočasné příležitostné konstrukční práce	40	40 RC, 0 RECY	170
Rozsáhlá zelená střecha s výrobky PVC	85	-	Pouze dočasné příležitostné konstrukční práce	40	40 RC, 20 RECY	185
Intenzivní zelená střecha bez výrobků PVC	380	-	Pouze dočasné příležitostné konstrukční práce	Nakonec maximálně až 380 (stejně náklady jako budova během celé životnosti)	100 RC 0 RECY	860
Intenzivní zelená střecha s výrobky PVC	340	-	Pouze dočasné příležitostné konstrukční práce	340	100 RC, 40 RECY	820

Tab. 1: Životní náklady na cyklus a životnosti různých typů střech

Poznámka:

Data jsou založena na odhadovaném dosahu 90 let životnosti, jednotlivé položky jsou oceněny v dolarech

- **Sociální přínos:**

Nepopiratelnou výhodou zelených střech je jejich schopnost vytváření velmi dobrého estetického a architektonického dojmu, čímž si u lidí získává vyšší popularitu v sociálním mínění. Díky tomu se stává stále oblíbenější i mezi běžnými uživateli. Zelená střecha už tedy nesymbolizuje pouze honosné veřejné stavby a zakázky ale stává se doplňkem i menších staveb jako jsou rodinné či bytové domy, garáže, chalupy apod. Vegetační střecha může sloužit hned k několika účelům, například jako louka, střešní zahrada ale dokonce i jako místo rekreace a odpočinku. Tento stav se podepisuje na fyzickém i mentálním zdraví člověka. Lidé žijící v užším kontaktu s přírodou trpí méně depresemi či lépe odolávají stresovému vypětí

způsobeného například v práci. Každý jedinec má kladný vztah s přírodou a zelené střechy umožňují bližší souznění člověka s přírodou.

- **Zvyšování biodiverzity ve městech:**

Jedním z velmi často opomíjených a přesto poměrně důležitých bodů je právě zvyšování biodiverzity ve městech tedy udržování biologické rozmanitosti na všech úrovních. Vegetační střechy poskytují nové životní prostory pro různé druhy zvířat, ať už se jedná o členovce, ptáky, hmyz či jiné drobné živočichy. Jsou zdrojem potravy pro hmyzožravé a semenožravé druhy ptáků a mohou být důležitými zastávkami pro migrující ptáky k poskytování hnízdních prostorů.

4.2. Nevýhody vegetačních střech:

- **Hmotnost zelené střechy:**

Konstrukce vegetačních střech je poměrně náročná na provedení a to hlavně z důvodu velkého počtu hledisek, které musíme při návrhu zohlednit. Jedním z hlavních a často probíraných důvodů je například statika objektů. Jak už bylo řečeno, vegetační střecha pojme díky svému substrátu poměrně velké množství vody, čímž se ovšem velmi mění její objemová hmotnost v suchém, mokřem nebo polosuchém stavu. Musíme tedy k návrhu přistupovat s poměrně velkou rezervou z hlediska únosnosti.

Dále musíme rozlišovat jednotlivé objekty a to hlavně zda se jedná o novostavbu či se snažíme střešní konstrukci umístit na již stávající objekt. V tomto ohledu hraje velkou roli také to, o jaký objekt se jedná. V praxi se lze setkat s nápadem umístění zelené střechy na stávající objekt panelového domu. V takovém případě je důležité si dát pozor o jaký systém a rok panelového domu se jedná, protože velká část panelových domů je již na hranici své únosnosti a další přitížení panelů může vést k značnému množství stavebních problémů.

V případě malé únosnosti stávajících konstrukcí musí dojít k jejich zesílení, což má za následek rozhození dispozice a zmenšení obytných ploch v objektu.

K poškození konstrukce může dojít i v případech kdy provádíme rekonstrukci stávajícího střešního pláště, který z konstrukce odstraníme, čímž dojde k odlehčení například stávajících střešních panelů a následně panely opětovně zatížíme novou střešní konstrukcí. V takovém případě může dojít k vzájemnému pohybu panelů, zvětšení průhybu a popraskání stropu v posledním podlaží.

- **Náročnější konstrukce na provedení:**

Pozor si musíme dát také na správné provedení a uložení poměrně velkého počtu potřebných vrstev zvláště u intenzivních střech. Špatně provedené detaily hydroizolace mohou vést k značným stavebním problémům. Při špatném uložení hydroizolační vrstvy (špatné překrytí spojů, nešetrné zacházení s materiálem, neopatrné provedení stavební firmou a další) může docházet k zatékání vody do spodních vrstev skladby. To může vést k degradaci tepelné izolace, korozi ocelových prvků, lokálnímu hromadění vody, vzniku plísní a hub či pronikání vody do spodních podlaží a mnoho dalšího.

- **Nutnost menší či větší údržby:**

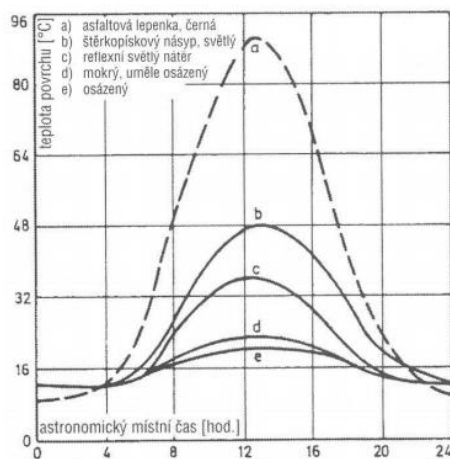
Každá zelená střecha, ať už se jedná o extenzivní, polointenzivní či intenzivní střechu, potřebuje po kratší či delší době jistou míru údržby. Kontrolu potřebuje vegetace, hlavně z hlediska odstranění nechtěné náletové vegetace, na kterou nemusí být střešní skladba navržena, čímž může dojít k poškození spodních vrstev vlivem prorůstání kořenů. V této údržbě ale nejde jen o kontrolu vegetace ale také má více či méně technický charakter. Je zapotřebí kontrolovat hlavně zanesení střešních vpustí a správného odtoku vody, kontrola tloušťky substrátu v jednotlivých místech (aby nedocházelo k odhalení hydroizolace a její následné poruše či lokálního hromadění substrátu), zkontrolování oblastí komínu, výlezu, atiky apod. V této části je důležité také zmínit, že je potřeba vhodně volit druhy použitých chemických prostředků na ošetřování rostlin z důvodu chemické reakce se stavebními materiály.

5. Vlastnosti vegetačních střech:

5.1. Tepelně-izolační vlastnosti a regulace teploty:

Střešní konstrukce může značně přispět k vyšší tepelné stabilitě v objektu a to hlavně díky svým tepelně akumulacím parametrům. K tomu napomáhají hlavně hmotné vrstvy střešní konstrukce. Čím jsou tyto vrstvy hmotnější, tím lépe střešní konstrukce napomáhá ke zpomalování změn vnitřní teploty. Což má za následek, že v zimním období dochází k pomalejšímu prochladnutí objektu v období, kdy se v něm netopí a v létě dochází ke zpomalení ohřátí budovy vlivem slunečních paprsků. Právě z těchto důvodů mají vegetační střechy velmi dobré tepelně izolační vlastnosti, ke kterým napomáhá i vrstva substrátu obsažená ve střešní skladbě.

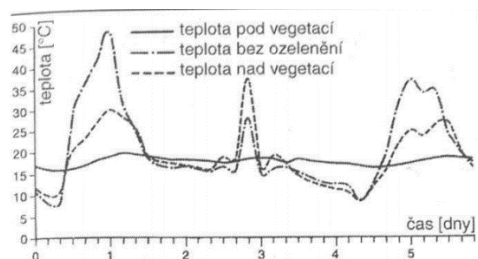
Střešní konstrukce musejí odolat vysokým teplotním rozdílům v průběhu celého roku. Pro asfaltové pásy se rozdíl teplot může pohybovat až v hodnotách 100°C. Například v zimě se teploty mohou pohybovat okolo -20°C a v létě dosahují hodnot na střešě až +80°C. V případě vegetačních střeš (pokud se jedná o extenzivní zeleň) se dokáže tento teplotní rozdíl rapidně snížit (viz graf 1).



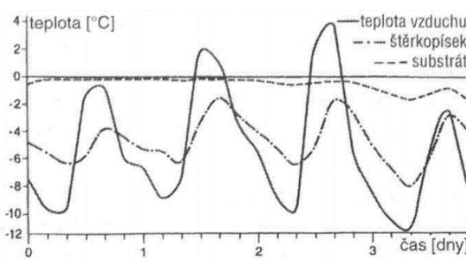
Graf 1: Průběhy teplot na rozdílných površích plochých střeš

- **Regulace teploty:**

Regulace je zapříčiněna vypařováním vody, fotosyntézou a schopností rostliny odnímat teplo ze svého okolí. Tomuto efektu se říká ochlazovací efekt a je nejvýraznější v průběhu letních dnů, kdy dokáže spotřebovat až 90% dopadající sluneční energie. Rostliny dokáží díky vypařování a kondenzaci vody omezovat kolísání teplot při střídání dne a noci. Tento jev je ještě posílen velkou schopností vody obsažené v substrátu akumulovat teplo. Zatímco v létě rostliny teplo spotřebovávají, čímž dochází k ochlazení okolí, v zimě naopak teplo vyrábějí. [12]



Graf 2: Průběh teploty u vegetační a nezatravněné střešy za horkého letního dne (hloubka sub. 100 mm)



Graf 3: Průběh teploty u vegetační a stěrkové střešy za zimního dne (hloubka sub. 50 mm)

5.2. Akustické vlastnosti:

Akustické požadavky, poměry a vlastnosti jak ve venkovních i vnitřních prostorách jsou stanoveny nařízením vlády č. 502/2000 Sb. O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, které platí od 1. 1. 2001. Pokud se pod střešní konstrukcí nachází prostor chráněný, musí být index zvukové neprůzvučnosti $R_w \geq 52$ dB, pokud je střešní plášť veřejně pochozí podle normy ČSN 73 0532.

Pokud se jedná o střechu provozní, musí mít i dostatečnou kročejovou neprůzvučnost. Norma ČSN 73 0532 také stanovuje index kročejového hluku, který musí být $L_{nw} \geq 53$ dB

Střešní konstrukce obecně musí zajistit dostatečnou zvukovou neprůzvučnost mezi vnitřním a vnějším prostředím. Ochrana proti hluku může být brána, jako ochrana vnitřního prostoru před hlukem přicházejícího zvenčí ale stejně tak může střešní konstrukce zajišťovat ochranu vnějšího prostředí před vnitřním. Dostatečné akustické vlastnosti střech se obvykle zajišťují několika způsoby. Prvním z nich je vhodný výběr a množství akustické izolace, která se vloží do skladby konstrukce. Druhý způsob je tvořený dostatečnou plošnou hmotností konstrukce. V případě, je-li vyžadována velká akustická neprůzvučnost, se může jednat i kombinaci dvou předchozích způsobů

Vegetační střechy mají zpravidla velkou objemovou hmotnost konstrukce, díky čemuž mají dobré akustické vlastnosti. Z tohoto důvodu je důležité množství substrátu použitého v konstrukci. Tloušťka substrátu 120 mm dokáže snížit prostup hluku až o 40 dB a při použití tloušťky substrátu 200 mm je to až o 46 dB. Ke zlepšení akustických požadavků přispívá také samotná vegetace na střeše. Rostliny redukují zvuk absorpcí (přeměna zvukové energie na pohybovou či tepelnou), reflexí (odrazem) a deflexí (rozptylem). Díky těmto jevům dokáží rostliny snížit hladinu pouličního hluku o 2-3 dB. [11]

Druh prostředí nebo zdroje	Základní hladina [dB]	Hodnocená veličina L_{Aeq}	Rozsah korekcí	Důvod, příčina korekcí
Pracovní prostředí	85	Za 8 hodin	0 až -45	Druh práce nebo činnosti
Zvuk z dopravy uvnitř obytných a občanských staveb	40	Za celou denní resp. Noční dobu	-15 až +20	Způsob využití místnosti a denní doba
Zvuk ze zdrojů uvnitř obytných a občanských staveb	40		-15 až +20	Způsob využití místnosti a denní doba
Zvuk z dopravy ve venkovním chráněném prostoru	50	Za celou denní resp. Noční dobu	-10 až +20	Způsob využití území a denní doba
Zvuk stacionárních zdrojů ve venkovním chráněném prostoru	50	Za 8 nejhluchnějších 8 hodin ve dne resp. Nejhluchnější hodinu v noci	-10 až +20	Způsob využití území a denní doba
Zvuk leteckého provozu ve venkovním prostoru	65	Za celou denní resp. Noční dobu	-10 až +5	Způsob využití území a denní doba

Tab. 2: Přehled nejvyšších přípustných hodnot zvuku

5.3. Požární odolnost:

- **Intenzivní zelené střechy:**

Intenzivní zelené střechy jsou hodnoceny jako tvrdé střechy a nevyžadují žádná speciální protipožární opatření.

- **Extenzivní zelené střechy:**

Při dodržení několika podmínek se extenzivní zelené střechy dají rovněž hodnotit jako dostatečně odolné proti přenosu ohně vzduchem a sálavému teplu.

Podmínky:

- Vrstva substrátu je min. ≥ 30 mm
- Obsah organické složky v substrátu je $\leq 40-90$ g/l
- Vegetace je nízká a málo náchylná k hoření
- U prostupů, světlíků, střešních oken, atik, vyčnívajících konstrukcí apod. je vytvořen šterkový pás minimální šířky 500 mm

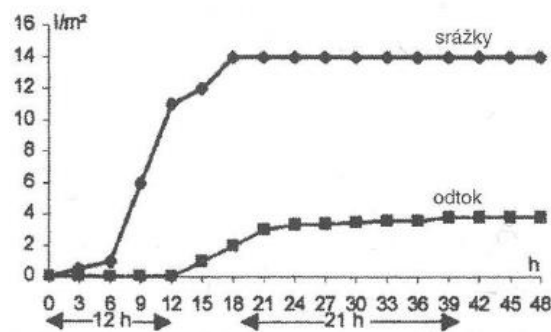
5.4. Retenční vlastnosti vegetačních střech:

Tímto pojmem rozumíme schopnost vegetačních střech vsakovat, zadržovat a nejlépe i využívat dešťovou vodu. V posledních letech se urbanisté i vodohospodáři stále více zabývají otázkou správného a ekonomického hospodaření s dešťovou vodou. Důsledné využívání hlavní přednosti zelených střech je dnes v praxi spíše výjimkou

Jednotlivé vrstvy vegetační střechy zadržují a vsakují vodu, více či méně, dle použitého materiálu, tloušťky a skladby až do úplného nasycení. Přitom je důležité věnovat pozornost vegetačnímu souvrství jako celku a nesoustředit se pouze na jednotlivé segmenty. Již během deště a okamžitě po něm dochází k vypařování vody a jejímu vracení se zpět do ovzduší, ovšem k samotnému odtoku vody ze střechy dochází teprve až po nasycení celého vegetačního souvrství (zejména substrátu) dešťovou vodou. Tento fakt dokládá i následující graf (graf č. 4), který vychází z německé studie od Tania Katzschner na univerzitě v Kasselu. Studie zjistila, že zelená střecha s tloušťkou substrátu 140 mm dokázala zadržet odtok vody až o 12 hodin po 18 hodinovém vytrvalém dešti. Konec odtoku nastal dokonce až 21 hodin poté co přestalo pršet. [11] Tento fakt je ještě zesíleno, pokud se jedná o intenzivní skladbu, kde se vyskytuje vrstva

akumulační, která představuje další využitelný prostor pro zachycování vody. Obecně je možné konstatovat toto:

- Schopnost vegetačních střech zadržovat vodu je v různých obdobích různá ale nejvyšší je v letních měsících
- Zelené střechy dokáží zadržet v průměru 42 – 85% vody z celkového množství dešťové vody za rok
- Schopnost zadržovat vodu je vyšší u menšího sklonu střechy, vyšší tloušťky substrátu a závisí na použité skladbě



Graf 4: Množství srážek a odtoku vody ze zelené střechy po 18. hodinovém vytrvalém dešti

Určení množství dešťové vody:

$$Q = r \cdot A \cdot C$$

Q – odtok dešťových vod [$l \cdot s^{-1}$]

r – intenzita deště [$l/(s \cdot m^2)$]

$r = 0,03$; normová hodnota, může vycházet podle různých oblastí z měření ČHMÚ

C – siučinitel odtoku [–]

$C = 0,5$ (pro vegetační střechy s propustnou horní vrstvou s tloušťkou ≥ 100 mm)

$C = 1,0$ (pro ostatní typy střech)

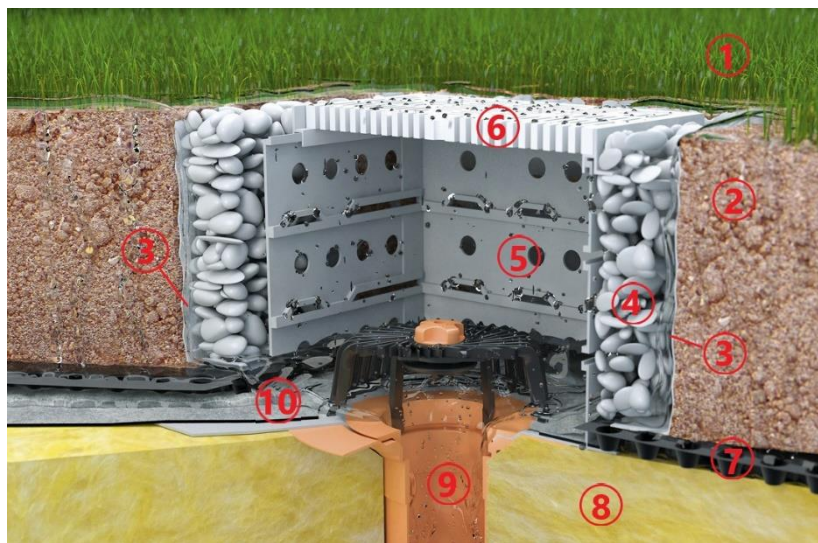
A – účinná plocha střechy [m^2]

Musí platit:

$$Q < Q_{vpust}$$

Q_{vpust} – množství vody, které dokáží vpustě odvést ze střechy

Ke správnému odtoku dešťové vody z vegetační střechy je zapotřebí navrhnout dostatečné množství střešních vpustí. Zároveň není dobré, navrhovat pro jeden objekt pouze jednu střešní vpust', z důvodu možnosti ucpání vpusti nečistotami ze střechy (listí, štěrk, hlína apod.) a to i za předpokladu, že při výpočtu vyjde hodnota odtoku dešťové vody $Q < Q_{vpust}$ při použití jedné vpusti. Z těchto důvodů se u vegetačních střech okolo vpustí, navrhuje ochranné kryty a drenáže, které zabraňují ucpávání střešních vtoků viz. obrázek 10. Drenáž okolo vpusti slouží k zachytávání části vyplavovaného substrátu a je obvykle provedena z vymývaného kameniva. Na obrázku 11 je vidět exemplární případ špatného řešení střešní vpusti!



Obr. 10: Správné provedení střešní vpusti vegetační střechy

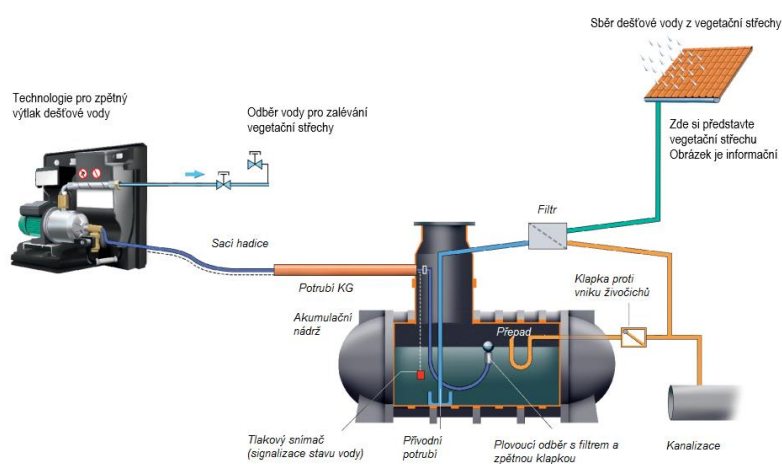
- 1 – Vegetace na střešní konstrukci
- 2 – Substrát vegetační střechy
- 3 – Filtrační vrstva
- 4 – Drenáž z vymývaného říčního kameniva
- 5 – Ochranné zakrytí střešní vpusti k zabránění ucpávání
- 6 – Pochozí ochranný kryt (vyjímatelný pro přístup a revizi vpusti)
- 7 – Akumulační vrstva – řešena nopovou fólií
- 8 – Tepelná izolace
- 9 – Odtok střešní vpusti
- 10 – Hydroizolační vrstva



Obr. 11: ŠPATNĚ provedená střešní vpust' ve vegetační střeše

Při návrhu nových moderních (veřejných) budov by mělo docházet k lepšímu pracování s dešťovou vodou, tzn. dešťová voda by neměla být odváděna přímo do kanalizace či jímky (v zemi), nýbrž by měla být odváděna do nádrže, která se umístí do speciální místnosti pod střešní konstrukcí. Zde by byla voda skladována pro delší období sucha a následně používána pro opětovné zalévání vegetace. V takovém případě je velmi důležité dát si pozor na několik problémů k řešení:

- Skladování vody v jedné nádrži vytváří velké zatížení na nosnou konstrukci, je tedy zapotřebí v tomto místě zesílit únosnost nosné konstrukce
- Zabraný prostor pro nádrž je ekonomicky neefektivní pro investora tzn. (investor nezíská peníze z prodeje užitné/obytné plochy)
- Je zapotřebí instalovat technologii přečerpávání dešťové vody k opětovnému zalévání
- Dešťová voda musí být správně a důkladně přefiltrována, aby nedocházelo k ucpávání potrubí



Obr. 12: Schéma pro zpětné využívání dešťové vody

Poznámka: Jedná se pouze o schematický ilustrační obrázek, jehož význam lze transponovat na využití ve vegetační střeše

5.5. Architektonické, estetické a ekologické účinky:

Pokud dojde k porovnání zelené střechy se štěrkopískovým či asfaltovým povrchem, dojde pravděpodobně většina lidí k závěru, že střecha hustě porostlá trávou, zeleným kobercem či jinými bylinami a křovinami dosahuje daleko vyšších estetických parametrů. Ovšem zelená střecha má nejen estetický vliv na člověka ale zároveň podvědomě dobře působí svou přírodní krásou i na jeho psychiku. Je prokázáno, že pohledy do zeleně a do přírody mají antidepresivní účinky a působí více uklidňujícím dojmem.

A i proto se stále více architektů přiklání k možnosti použití vegetační střechy pro své projekty. Důkazem toho je i v současnosti začátek rekonstrukce a modernizace vozovny na Slovanech v Plzni. Projekt je stále ve fázi přípravy ale už teď se lze podívat na připravovanou vizualizaci projektu, viz obr. 13.



Obr. 13: Vizualizace budoucí rekonstrukce tramvajové vozovny na Slovanech v Plzni

Hlavním cílem výstavby střech osazených flórou je zlepšení podmínek pro žití ve městech. Vegetační střechy mají znatelný ekologický vliv na své okolí. Zlepšují vzduch ve městech, snižují množství tepelných ostrovů, snižují náklady na chlazení budov, zmenšuje prašnost a mnoho dalšího. Zeleň jako taková dokáže tyto jevy redukovat a proto je snaha vrátit vegetaci do měst i tímto způsobem.

6. Popis jednotlivých vrstev vegetační střechy:

6.1. Vegetační souvrství:

6.1.1. Vlastní střešní zeleň – vegetace:

Pro osazování zeleně na střechy je třeba řešit celý systém komplexně. Rostliny jsou ovlivněny celou řadou faktorů, které mohou mít vliv na jejich vývin, množství, uchycení apod.

Pro správný výběr rostlin je důležité znát:

- tloušťku a konzistenci substrátu
- akumulární schopnost
- umístění střechy ke světovým stranám
- okolní zastínění
- působení klimatických jevů – sníh, vítr, teplota
- způsob zavlažování
- sklon střechy
- využití střechy

Spektrum použitých rostlin pro výsadbu ve své podstatě v dnešní době není nijak omezeno ale je zapotřebí se držet určitých standardů. Za nevhodné rostliny lze považovat stromy či keře s kulovitou formou kořenů, který může sahat do velkých hloubek a tím poškozovat spodní vrstvy konstrukce. Je také nezbytné omezit rostliny z hlediska výšky, proto je nevhodné osazovat stromy s výškou nad 10m.

Na střeše jsou zejména v letních měsících několika násobně horší podmínky než na rostlém terénu, proto se doporučuje osazovat rostliny odolnější suchu, vysoké teplotě, přímému slunci ale i mrazu, nárazovým dešťům a měly by být stabilnější ve větru. Ozelenění střech lze provést několika způsoby:

- **Osivem:**

Jedná se o nejméně finančně náročný způsob ozelenění střechy. Jeho hlavní nevýhodou je pomalé ozelenění, střecha zůstává několik týdnů až měsíců bez vegetace. To způsobí vystavení substrátu všem klimatickým účinkům a může tak dojít k jeho seschnutí, vyplavení, zaplevelení apod.

- **Výhonky:**

Další způsobem umístění vegetace na střechu jsou výhonky, kdy se části rostlin (tedy výhonky nebo řízky) umístí do substrátu za účelem zakořenění. Pro tento způsob je vhodné použít rostliny, které snadněji zakoření jako např. různé druhy sukulentů a rozchodníků. Vhodná doba výsadby je duben až květen nebo naopak září až říjen. Není doporučeno osazovat rostliny v letních měsících z důvodu nutnosti udržování vlhkého substrátu. Na 1 m² plochy je ideální sadit cca 40 výhonků.

- **Vegetačními rohožemi, koberci, deskami:**

U tohoto způsobu ozelenění jde o již předem připravené vegetační koberce, kde se předpěstovávají převážně porosty mechů, travin, bylin či sukulentů a ty následně poskládají na střešní plochu. Protože jde o již prorostlý systém kořenů, zabraňují koberce či desky sesuvu substrátu. Proto je vhodné používat tento systém na ploché i šikmé střechy.

- **Výsadbou:**

Výsadba je nejběžnější způsob ozelenění. Její hlavní výhoda spočívá v cílenosti vysazení, tudíž přesným určením, kam jednotlivá rostlina půjde. Zároveň má široký sortiment v porovnání s osivem či řízkou. Pro výsadbu jsou doporučeny převážně tuzemské rostliny, které jsou již aklimatizovány na naše přírodní podmínky.



Obr. 14: Ukázka různých druhů vegetace

6.1.2. Substrát:

Hlavním úkolem substrátu je nahrazení vegetaci přirozený půdní fond. Poskytuje rostlinám prostor pro růst kořenů a živiny pro správný vývin. Kořeny rostlinu nejen stabilizují, ale dodávají rostlinám též vzduch a vodu.

Substrát musí být dostatečně nasákavý ale i propustný, vzdušný a dlouhodobě stabilní. Objem vzduchu v substrátu by ani za nepříznivých podmínek neměl klesnout pod 10% z důvodu vyššího rizika zanášení filtrů. Ze stejného důvodu není vhodná ornice ani klasická zemina. Pro správný výběr substrátu je důležité správně určit několik vlastností, mezi které patří:

- Chemické vlastnosti (obsah solí, škodlivin)
- Fyzikální vlastnosti
- Fyzikálně-chemické vlastnosti
- Biologické vlastnosti (obsah semen, živých organismů)

Parametr	Jednotka	Střešní substrát – typ/skladba zelené střechy			
		Extenzivní		Intenzivní - vícevrstvá	
		Jednovrstvý	Vícevrstvý	Univerzální	Speciální
Objemová hmotnost v suchém stavu	$g \cdot l^{-1}$	400 – 800	400 – 1250	400 – 1050	1050 – 1450
Objemová hmotnost v nasyceném stavu	$g \cdot l^{-1}$	600 – 1300	750 – 1650	850 – 1550	1200 – 1900
Maximální vodní kapacita	% obj.	20 – 40	30 – 65	45 – 65	35 – 50
Obsah vzduch při MVK	% obj.	> 15	> 8	> 8	> 3
Propustnost	$mm \cdot min^{-1}$	50 – 120	6 – 70	5 – 30	2 – 20
Podíl částic $d < 0,063$ mm	% hm.	< 6	< 15	< 20	< 30
Spalitelné (organické) látky	% hm.	< 6	< 8	< 13	
Hodnota pH_{H_2O} (pH_{CaCl_2})	-	6,5 - 9,0 (6,0 – 8,5)		6,5 - 9,0 (6,0 – 8,5)	
Elektrická vodivost (EC)	$mS \cdot cm^{-1}$	$\leq 0,65$		$\leq 0,65$	$\leq 0,5$
Obsah N	$mg \cdot l^{-1}$	≤ 100	≤ 150	≤ 150	
Obsah P	$mg \cdot l^{-1}$	≤ 30	≤ 35	≤ 50	
Obsah K	$mg \cdot l^{-1}$	≤ 300	≤ 450	≤ 450	
Obsah Mg	$gm \cdot l^{-1}$	≤ 200	≤ 200	≤ 200	
Obsah semen plevelů	$počet \cdot l^{-1}$	≤ 1		≤ 1	

Tab. 3: Parametry sypané substrátové směsi pro extenzivní a intenzivní střechy

Substrát může obsahovat různé druhy kůry, písek, rašelinu, škváru rybníční bahno aj.. Zároveň by však měl být sterilní, což znamená, že by neměl obsahovat semena plevelů. Pro jeho vylehčení se nejčastěji používá keramzit, perlit a jiné druhy příměsí. Optimální půdy pro substrát jsou půdy hlinité. Substrát by se měl volit tak, aby nedocházelo k hromadění vody, ale zároveň by neměl být příliš propustný. Z těchto důvodů jsou méně vhodné substráty převážně z písku nebo jílu. U písčitých zemin dochází k rychlému odtoku vody, odplavování živin a rychlému vyschnutí. Jílovité zeminy jsou naopak málo propustné, snadno se přemokří a obsahují velké množství rašeliny, která ale neobsahuje téměř žádné živiny. [23]



Obr. 15: Ukázka různých druhů substrátů

Tloušťku substrátu volíme podle použité vegetace. Je dobré zmínit, že dodávat rostlinám příliš velkou tloušťku substrátu, abychom jim dle mylné představy dodaly optimální podmínky, není vždy vhodné. Je tedy nevhodné například používat velké tloušťky s osázením sukulentů. Větší mocnost substrátu dodává vyšší šanci na uchycení náletových parazitních rostlin. Přesným opakem je použití příliš slabé vrstvy, kde dochází k přesychání. Ideální tloušťky pro různé typy rostlin představuje tabulka 4.

Druh použité vegetace:	Potřebná tloušťka substrátu [mm]
Rozchodníky a netřesky	30-80
Suchomilné traviny	50-180
Suchomilné trvalky	70-180
Byliny	120-350
Traviny a byliny	140-180
Traviny a vyšší trvalky	150-200
Trávník, keře do 1m výšky a zakrslé dřeviny	200-450
Keře 1-3 m vysoké	300-600
Vysoké keře a stromy 3-10 m vysoké	≥ 600
Vysoké stromy	≥ 1000

Tab. 4 Požadované tloušťky substrátu podle druhu použité vegetace

6.1.3. Hydro-akumulační vrstva:

Někdy se jí také říká “vododržná“ nebo “vodostavná“ vrstva. Touto vrstvou je myšlena pouze vrstva s akumulací, nikoliv nopová fólie, která má i drenážní schopnost. Slouží pro zadržování vody, která je potřeba pro správný růst rostlin. Hlavní využití této vrstvy je u šikmých střech, kde voda rychleji odtéká ze střechy, použití u plochých střech je na zvážení

projektanta podle mocnosti substrátu. Další možností je využít zvýšeného střešního vtoku, kdy je voda zadržována až po výšku hrany střešního vtoku. Toto řešení lze ale použít pouze pro střechy se sklonem přibližně 2°, protože při vyšším sklonu by mohlo docházet k lokálnímu hromadění vody. V místě odtoků je zapotřebí použít větší množství drenáže z důvodu zabránění ucpávání vpustí.

- **Materiály:**

- Hydrofilní profilované desky z nasákavých plastů

Využívá k akumulaci vody jak samotnou nasákavost materiálu, tak profilaci desek.

- Role z minerální vlny:

Mají větší nasákavost než profilované desky. Používají se při malých tloušťkách substrátu nebo při použití větších sklonů střechy nebo na plochých střechách za použití většího množství drenáže. Jejich výhodou je v rychlosti pokládky.



Obr. 16: Hydrofilní desky z minerální vlny

- Rašelina
- Nehydrofobizovaná křemičitá vata

6.1.4. Filtrační vrstva:

Hlavní účel této vrstvy spočívá v zamezení zanášení drenáže drobnými vyplavenými částicemi ze substrátu. Použité materiály musejí být trvalé, tzn., nesmějí podléhat biologickému rozkladu. V této vrstvě je také kladen důraz na to, aby neomezovala kořeny v růstu, musí tedy umožnit prorůstání kořenů, tak aby se dostali k vodě. Tloušťka vrstvy závisí na zatížení a sklonu, kterému bude vrstva vystavena. Čím větší zatížení (sklon), tím větší

tloušťka filtrační vrstvy. Zároveň musíme brát v potaz i hrubozrnnost drenáže, kde platí, že čím hrubší drenáž tím musí být vrstva pevnější a stabilnější.

Tloušťka substrátu [mm]	Hmotnost filtrační vrstvy [g/m^2]
≤ 250	100 - 200
300	200
500	300

Tab. 5: Závislost tloušťky filtrační vrstvy na mocnosti substrátu

Položení filtrační vrstvy by mělo být ve všech stycích se substrátem ale i v místě styku s jinými materiály jako například šterkového lože. Použité textilie by měli být položeny s dostatečným přesahem minimálně 100 mm (v některých případech i vyšší – 150 mm). Mohou být také připevněny přilepením k nopovým fóliím, díky čemuž se zabrání jejich vzájemnému posuvu.

V některých případech, se může jako filtrační vrstva místo textilie použít kamenivo. V takovém případě se jedná o kamenivo s menší frakcí než je frakce drenáže a obvykle se kamenivo ukládá od největší hrubosti až po jemné části aby se zabránilo zanesení drobnými částmi. Takové řešení je ovšem náročnější a tíhu konstrukce a v praxi se příliš nepoužívá. Mezi nejpoužívanější materiály patří: geotextilie, tkané a netkané textilie, rohože z minerální plsti apod.

6.1.5. Drenážní vrstva:

Tato vrstva je kladena za účelem rychlejšího odtoku vody ze skladby střešní konstrukce. Díky ní se zabrání přemokření substrátu. Při návrhu drenáže je důležité zohlednit hlavně sklon střechy. Při plochých střechách do sklonu střechy 5° se drenáž navrhuje vždy, při větším sklonu už drenáž nutná není. Vhodným nasákavým materiálem pro drenáž je drcený keramzit, který má absorpci cca 10-25 objemových procent. Při použití sypkého materiálu se navrhuje tloušťka dle použité skladby střechy, pro extenzivní vegetaci je to 30-50 mm, pro intenzivní skladby je ideální tloušťka mezi 50 – 100 mm, někdy i více.

Drenážní vrstvu je možné navrhnou tak, aby v ní byla možnost zadržovat vodu ale pouze do 1/4 (maximálně 2/3) výšky a za předpokladu, že se voda nebude dotýkat filtrační vrstvy.

Používání kameniva jako drenážní vrstvu ve střeše není příliš vhodné, protože kamenivo nemá schopnost trvaleji udržet vodu ve střeše pro pozdější využití. Velmi častým použitím jsou nopové (nebo obecněji profilované) fólie, které jsou vyrobeny z PE či PVC plastů. Jejich využití

je dvojího druhu dle směru pokládání tzv. nopů. Pokud jsou nopy kladeny směrem dolů, získává skladba jak drenážní tak akumulční funkci (voda zůstává částečně zachycena v nopech). V takovém případě jsme u plochých střech schopni zachytit cca 5-10 l/m². Pokud pokládáme nopy směrem nahoru, tak ztrácíme možnost hydroakumulční funkce a nopová fólie vodu pouze odvede vodu ze skladby. Tloušťka nopových fólií je cca 0,6 – 1 mm a tloušťka nopy je obvykle 1-6 mm.



Obr. 17: Drenážní (nopová fólie s hydroakumulční funkcí) a filtrační vrstva

Drenáž se pokládá v celé ploše střechy, tzn. i pod chodníky a vozovky a v návaznosti na životní prostředí by se měly upřednostnit spíše přírodní materiály před plastovými. Mezi hlavní materiály drenáže patří expandovaná keramická kameniva, desky nebo rohože, tvarované plastové PE desky – nopové fólie apod.

Druh vegetace	Mocnost substrátu [mm]	Mocnost drenáže [mm]
Sukulenty	30-60	30-50
Trávník a trvalky	60-150	50-100
Trávník a nízké keře	150-200	100
Keře a nízké stromy	250-450	100-250
Stromy	450-1000	150-250

Tab. 6: Mocnost drenáže dle typu ozelenění a mocnosti substrátu

6.2. Střešní plášť:

6.2.1. Ochranná fólie proti prorůstání kořínků:

Mezi nejdůležitější vrstvy střešního souvrství patří samozřejmě hydroizolace a proto je zapotřebí tuto vrstvu dobře chránit. K tomu slouží ochranné vrstvy hydroizolace. Tato vrstva může být vytvořena dvěma způsoby. Buď je ochrana tvořena jednou funkční vrstvou, nebo se může jednat o několik vrstev, které jsou kladeny na sebe a každá z nich tvoří odlišnou funkci (prorůstání kořínků, mechanické poškození, akumulace). Kořeny rostlin mohou být velmi agresivní a jejich činností by mohlo dojít k poškození hydroizolace. Ochrannou folii můžeme například použít v rekonstrukci v případech, kdy původní hydroizolace není proti prorůstání kořínků odolná. Jako ochranné fólie se používají fólie z měkčeného PVC nebo nopové fólie z HDPE. Tyto pásy by se měly vzájemně přesahovat alespoň 250 mm a zároveň by měly být slepeny speciální hmotou. Při použití tohoto typu řešení je však vhodné probrat jeho řešení s výrobcem.



Obr. 18: Ochranná fólie proti prorůstání kořínků

6.2.2. Hydroizolace:

Hydroizolační vrstva musí zajistit, aby se voda nedostala do chráněných prostor a do konstrukce. U vegetačních střešů je zároveň důležité, aby byla chráněna či sama byla odolná proti prorůstání kořínků v celé své délce i mimo ozeleněnou plochu. Je důležité pokládat a pracovat s hydroizolací velmi důkladně a pečlivě, protože při případné netěsnosti je velmi

obtížné lokalizovat poruchu konstrukce. V takovém případě se obvykle musí odstranit celé množství substrátu a vegetace, čímž se stává sanace nákladnější na finance.

Pro bezpečný odtok vody po povrchu hydroizolace je vhodné volit sklon střešního souvrství min. 2-5%. Výrazně se nedoporučuje nulový sklon, protože z důvodu technických nepřesností by se v konečném důsledku mohlo jednat i o protisklon, což by mohlo zapříčinit lokální hromadění vody. Je důležité, aby hydroizolační vrstva kompaktně plynule navazovala na prostupující střešní konstrukce, a zároveň se musí minimálně 150 mm vytahovat nad úroveň vegetačního souvrství. Okolo prostupujících konstrukcí je vhodné navrhovat šterkové pásy či pásy dlažby apod.

Jedinou správnou cestou pro dokonalé fungování hydroizolace je provést spoje hydroizolace bezchybně. V případě, že se příčné a podélné spoje udělají nedokonale, může se do nich dostávat kapilární voda nebo se do mezer mezi pásy dostanou špičky kořenů, které způsobí vytvoření netěsností, odchlípnutí a následného zatékání vody do spodních vrstev konstrukce, což může znamenat fatální následky a naprosté nefungování celé konstrukce. Z těchto důvodů se do asfaltových pásů začaly vkládat měděné vložky. Při návrhu asfaltových pásů, je vhodné najít výrobek s atestem, který dokazuje dlouhodobou odolnost proti prorůstání kořenů. Těmito atesty se zabývá například německá firma FLL.

- **Snášlivost materiálů:**

U hydroizolace si také musíme dávat pozor na vzájemnou snášlivost s jinými materiály, které jsou použity ve skladbě. Nemůže dojít například k vzájemnému použití měkčeného PVC a pěnového polystyrenu, protože zapříčiní migraci změkčovadla. Také všechny hydroizolace negativně působí s látky, které obsahují dehet nebo olej. Doporučuje se takovým vzájemným kombinacím v konstrukci vyhýbat. V případě, že se tomu nejde vyhnout je zapotřebí použít separační vrstvu oddělující jednotlivé materiály a pečlivě dohlédnout na to aby tyto se dva materiály nedostaly do kontaktu. [15]

- **Materiálové dělení hydroizolací:**

- hydroizolační pásy

- asfaltové pásy

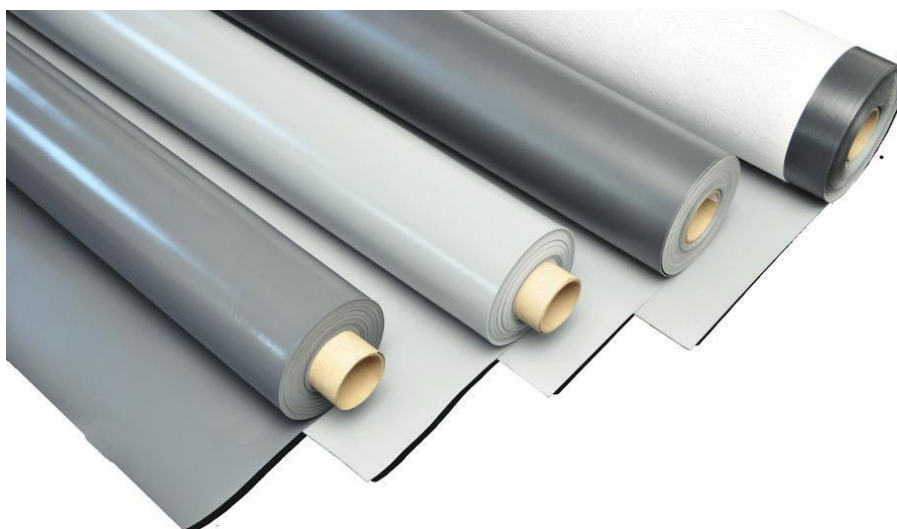


Obr. 19: Hydroizolační asfaltové pásy

- oxidované

- modifikované (SBS, APP)

- hydroizolační fólie



Obr. 20: Hydroizolační fólie

- termoplastické elastomery

- termoplastické fólie

- elastomerní fólie

- termoplastické fólie s nízkým obsahem asfaltů

6.2.3. Tepelná izolace:

Úkolem tepelné izolace je zabránit prostupu tepla konstrukcí tzn. unikání tepla jak z interiéru budovy tak vnikání tepla do interiéru budovy. Správný návrh tepelné izolace musí zohlednit hned několik důležitých hledisek, mezi které patří tepelně technické, mechanické a požárně technické hledisko.

Tloušťka tepelné izolace se určí dle tepelně technického výpočtu. Návrh vychází především z požadavku na hodnotu součinitele prostupu tepla U [W/m^2K]

Tepelná izolace může mít různé umístění, obvykle se umísťuje pod hlavní hydroizolační vrstvu, což je skladba střechy s klasickým pořadím vrstev nebo se umístí nad hydroizolační vrstvu, což je skladba s obráceným pořadím vrstev. Je nutné upozornit, že pro obrácené pořadí vrstev se používá nenasákavé tepelné izolace, jakou je v dnešní době hlavně extrudovaný polystyren.

Pro správný návrh tepelné izolace je důležité eliminovat množství tepelných mostů na minimum. Zároveň je dobré dodržet obecně platné podmínky:

- Omezení nebo úplné zamezení kondenzace vodní páry ve střešní skladbě
- Zajištění hydroizolační spolehlivosti krytiny
- Navazování tepelné izolace střechy na izolaci navazujících konstrukcí a omezení vzniku spár mezi deskami

O vhodné tepelné izolaci nejčastěji rozhodují hlavně vlastnosti jako součinitel tepelné vodivosti, objemová hmotnost, faktor difúzního odporu, nasákavost, pevnost v tlaku, tvarová a objemová stálost, hořlavost a v neposlední řadě i cena.

Tepelná izolace musí být připevněna podkladu. K tomu se používá hlavně technologie lepení (za studena nebo na teplem aktivované THERM pruhy či do horkého asfaltu), mechanické kotvení či kombinace obojího.

- **Základní rozdělení materiálů tepelných izolací:**

Pěnový polystyren (EPS):

Je jedním z nejpoužívanějších materiálů pro tepelně izolační výrobky v současné době. Používají se především dva druhy polystyrenů (EPS a XPS). V obecné veřejnosti dochází velmi často k záměně těchto dvou materiálů. Základní rozdíl mezi těmito dvěma materiály je v tom,

že EPS má kuličkovou strukturu oproti XPS, který má homogenní strukturu pěnové hmoty a obvykle bývá barevně odlišen.

EPS se vyrábí vypěňováním granulátu, ze kterého se vytvoří bloky a ty se následně rozřežou do finální podoby desek. V případě, že se EPS navrhuje do vegetačních střech, je důležité dát si pozor na jeho pevnost v tlaku. Pro zelené střechy navrhujeme minimálně EPS 150 S stabil z důvodu jeho větší pevnosti v tlaku (číslo značí hodnotu napětí v tlaku při 10% stlačení). Zároveň je vhodné navrhovat rozměrově stálý polystyren.

Extrudovaný polystyren (XPS):

Jeho výroba je v základní surovině stejná jako u EPS, ovšem výsledný materiál má velmi odlišnou strukturu s uzavřenými buňkami, což mu zajišťuje minimální nasákavost. Jeho další přednosti je vyšší odolnost v tlaku a lepší tepelně izolační schopnost ovšem za cenu vyšších pořizovacích nákladů.

Jeho využití je hlavně u konstrukcí, které přicházejí do styku s vyšší vlhkostí například u styku se zemí a obrácených (neboli inverzních) střech. Často bývá barevně odlišen od EPS z důvodu, že dochází k záměně EPS a XPS v laické veřejnosti.

Přípevnování k podkladu je u inverzních střech obvykle zapříčiněné přitěžováním zeminy. V tomto ohledu je třeba dát si pozor u extenzivních střech na dostatečnou tíhu zeminy obzvláště na okrajích střechy, kde je obvykle vyšší sání větru.



Obr. 21: Extrudovaný polystyren

Minerální vlna:

Vedle klasického pěnového polystyrenu se jedná o jeden z nejpoužívanějších materiálů pro tepelnou izolaci vegetačních střech.

Pro svoji nízkou hodnotu difúzního odporu je důležité, aby skladba střešní konstrukce při použití tepelné izolace z minerální vlny obsahovala parotěsnou zábranu. Je také důležité vědět, že maximální přípustné zatížení v tlaku (plošné nikoliv bodové), je u většiny tepelných izolací z minerální vlny 400 kPa (= 400 kg/m²). Z tohoto důvodu se tato izolace používá pouze pro extenzivní vegetační střechy. Vzhledem k tomu, že u těchto desek nedochází k žádným objemovým změnám během celého roku, mohou se pokládat pouze v jedné vrstvě, avšak v praxi se i přesto doporučuje použití dvou vrstev s překrytím spár.

Nejčastější technologii provádění hydroizolace na minerální vlnu je použití fólií, které se pokládají volně a přikotví se do podkladu skrze minerální vlnu i parotěsnou zábranu za použití přichycovacích prostředků opatřených přítlačnými podložkami.

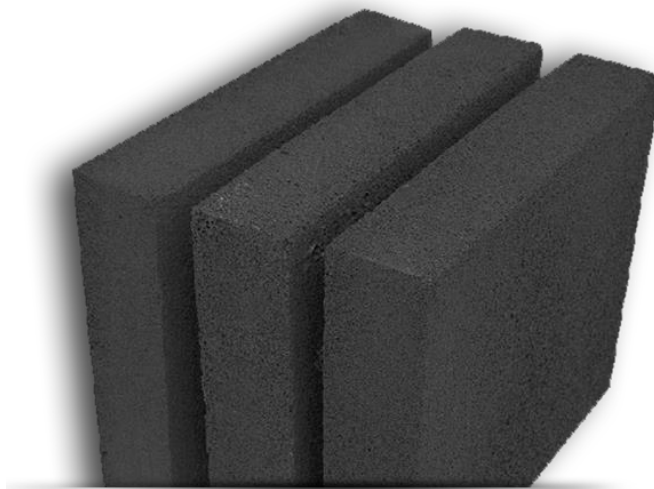
V případě použití asfaltových pásů jako hydroizolační vrstvy lze využít pouze tyto možnosti:

- Volná pokládka asfaltových pásů s mechanickým kotvením
- Natavení asfaltového pásu na nenakaširovaný povrch desek spolu s mechanickým kotvením
- Natavení asfaltových pásů na povrch desek nakaširovaný asfaltem
- Natavení asfaltového pásu na povrch desek nakaširovaným asfaltovým pásem
- Speciální technologie pokládky

Pěnové sklo:

Tento materiál patří k nejspolehlivějším izolačním materiálům. Splňuje jak funkci tepelně izolační tak funkci parozábrany. Zároveň je tento materiál velmi dobrý i z hlediska tlaku, kdy dosahuje nejlepších hodnot.

Pokládání pěnového skla se provádí celoplošně do horkého asfaltu, následně se provede zátěr horkým asfaltem a nataví se asfaltové pásy, tím se vytvoří kompaktní a velmi účinná střešní skladba, což se projevuje i na ceně pěnového skla. Pěnové sklo je nejdražší materiál z výše uvedených. Jeho cena je několika-násobně vyšší než cena XPS. U nás proto navrhuje spíše výjimečně, obvykle do značně zatížených střešních plášťů.



Obr. 22: Pěnové sklo

6.2.4. Spádová vrstva:

Tato vrstva zajišťuje požadovaný sklon pro odtok dešťové vody ze střechy. Obvykle je tvořena dvěma způsoby. První způsob je vytvoření spádu pomocí silikátové vrstvy (např. betonové mazaniny). V takovém případě je její umístění obvykle na nosné vrstvě konstrukce a je vhodnější použít lehčích materiálů jako je například lehčený beton. Druhý způsob je častější. V něm se spádová vrstva tvoří ve vrstvě tepelné izolace za pomoci spádových klínů. Tento způsob je velmi efektivní hlavně z hlediska váhy, kdy nedochází k dalšímu přitěžování vegetační skladby a zároveň i rychlosti a jednoduchosti provedení (bez technologických přestávek). Menší nevýhodou je vyšší finanční náročnost. Občasným řešením spádu může být vytvoření sklonu už v samotné nosné konstrukci. Toto řešení musí vyhovovat už samotné dispoziční uspořádání pod střešní konstrukcí a vyžaduje statický návrh.

6.2.5. Pojistná hydroizolační vrstva (parotěsná vrstva):

Hlavním principem této vrstvy je zamezení pronikání vodní páry do střešní konstrukce. Pohyb vodní páry je zapříčiněn dvěma způsoby. Buď se vodní pára přemísťuje tzv. prouděním vlhkosti což je pohyb vodní páry pomocí proudění vzduchu, nebo difúzí. Difúze je způsobena rozdílnými tlaky ve vnějším a vnitřním prostředí. Pokud je tlak v interiéru objektu vyšší (než v exteriéru) dochází k přechodu vodní páry směrem ven. Tato pára by se ve skladbě bez parozábrany mohla dostat až do míst tepelné izolace, kde by mohlo dojít k její kondenzaci.

Takto vzniklé množství vody by mohlo celou konstrukci ohrozit z hlediska její funkce. Kondenzace vody je častým důvodem ke vzniku plísní, hub, koroze či zamezení správného fungování tepelné izolace.

Umístění parozábrany je obvykle co nejbližší k interiéru. Obvyklé místo je hned pod tepelnou izolací. I z tohoto důvodu musí být tato vrstva z hlediska těsnosti prováděna pečlivě s překrytím všech spár či možných prostupů.

Při vhodném návrhu může mít parozábrana i funkci pojistné hydroizolace. Mezi hlavní materiály parozábrany bývají používány asfaltové pásy, různé druhy fólií či někdy pěnové sklo.

6.2.6. Nosná konstrukce:

V podstatě se jedná o nejdůležitější vrstvu konstrukce, protože bez správně navržené nosné konstrukce může dojít ke kolapsu celého objektu. Její důležitost je u vegetačních střešů ještě navýšena z důvodu velké objemové tíhy, kterou obvykle vykazují skladby vegetačních střešů. Jedná se o vrstvu přenášející všechny druhy zatížení působící na vegetační střešy. Mezi zatížení, která se mohou na střeše objevit, určitě patří vlastní tíha nosné konstrukce, hmotnost celé skladby vegetační střešy, zatížení od klimatických účinků, užitná zatížení apod.

Pokud se jedná o zelenou střeš s extenzivní zelení, dá se za vhodné považovat v podstatě jakýkoliv typ nosné konstrukce. Avšak i v tomto případě je nutné provést statický návrh. Pokud se jedná o střeš s intenzivní zelení, můžeme použít pouze železobetonové nosné konstrukce. Volba správného materiálu mimo jiné ovšem závisí i na konstrukčních možnostech, technologii či funkci daného objektu.

6.3. Další přídavné vrstvy:

6.3.1. Dilatační vrstva:

Využívá se ve chvíli, kdy je zapotřebí zajistit vzájemné nezávislé pohyby některých vrstev v konstrukci. V takovém případě se mezi tyto vrstvy vkládá dilatační vrstva. Tyto pohyby mohou být vyvolané různými způsoby například teplotou, zatížením či vlhkostí. Pokud se tato vrstva vynechá v konstrukci, kde k těmto pohybům dojde, může to mít za následek vznik trhlin. Díky těmto trhlinám může dojít ke vniku vody do míst střešní konstrukce kam je snaha vodě zabránit přístup. Vhodným návrhem se dá spojit dilatační a separační vrstva v jednu vrstvu.

Pro dilatační vrstvu se převážně používají tyto materiály:

- Asfaltové pásy
- Textilie (nenasákavé, nehmijící)
- Plastové fólie

6.3.2. Separační vrstva:

Jediným úkolem této vrstvy je oddělení vrstev střešní skladby z široké škály důvodů. Nejčastější důvody jsou mechanického, chemického, technického či jiného charakteru. Jako materiály se využívá textilií, plastových fólií apod.

7. Řešení konstrukce vegetační střechy u konkrétních objektů:

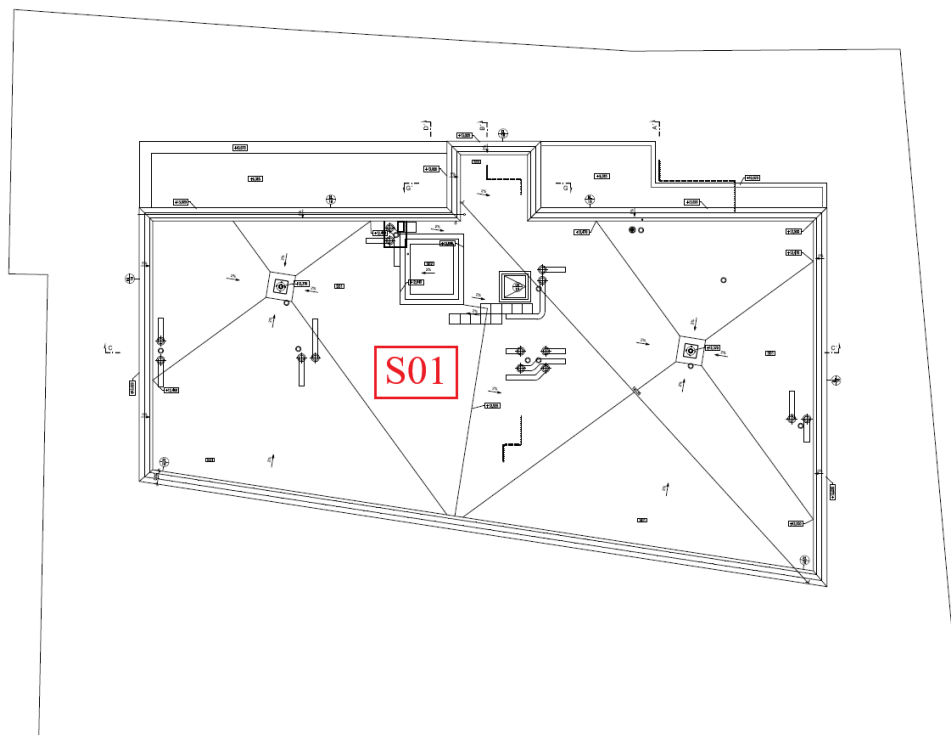
7.1.Řešení objektu v Perucké ulici:

7.1.1. Základní popis řešeného objektu:

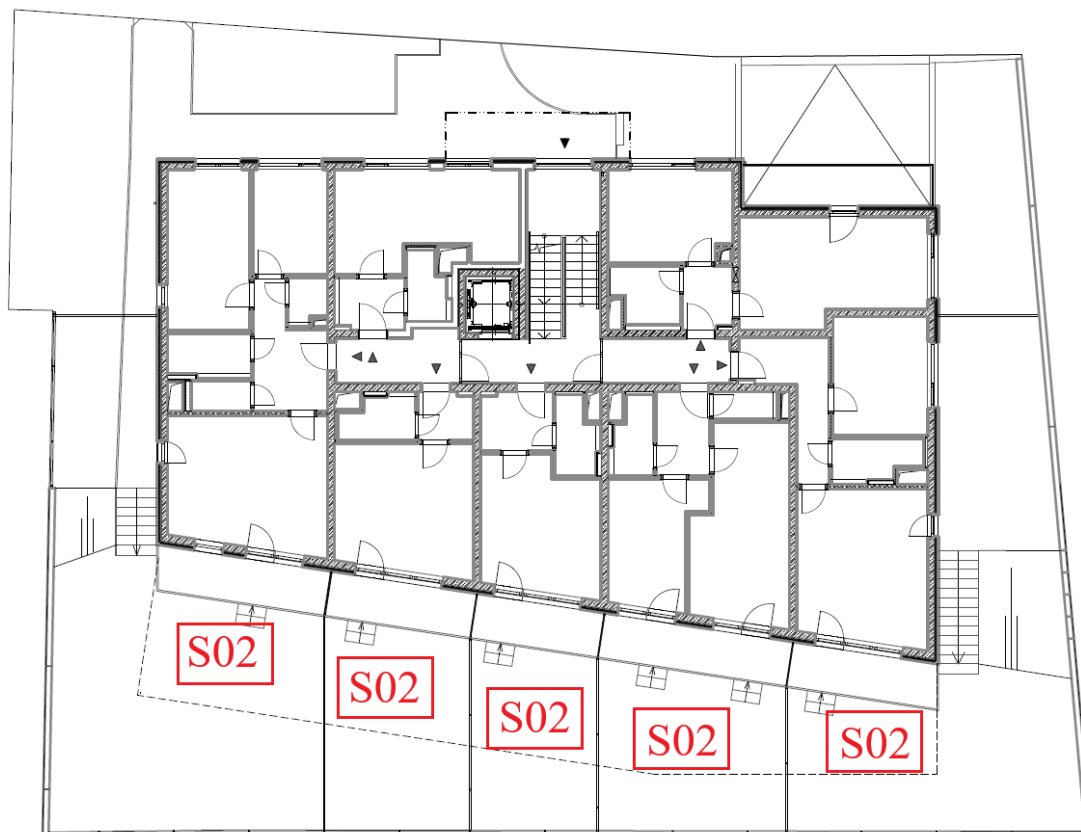
Řešený objekt se nachází v ulici Perucká, Praha 2 – Vinohrady a bude sloužit jako bytový dům. Jedná se o celkem pěti podlažní objekt, z nichž jedno podzemní podlaží slouží jako garáž pro celkem 12 osobních automobilů a 3 motorky a čtyři nadzemní podlaží slouží jako bytové jednotky. Byty jsou koncipovány jako 1+kk, 2+kk a 3+kk. Celkem se v objektu nachází 23 bytů a 4 ateliéry (bytové jednotky). V přízemí objektu je situován hlavní vstup do objektu, který je výškově osazen mezi 1. podzemní podlaží a 1. nadzemní podlaží. Celá stavba je navržena v bezbariérovém řešení.

Nadzemní část je řešena jako troj-trakt. V 1. nadzemním podlaží se nachází byty s předzahrádkami a ateliéry. V 2. a 3. nadzemním podlaží jsou dispozičně situovány pouze byty s balkony a ateliéry. Ve 4. nadzemním podlaží se nachází byty s balkony a byty s terasami.

Součástí bytového komplexu je objekt SO.02 (objekt SO.01 je bytový dům), který je koncipován převážně jako sklep se skleními kójemi. V otevřené části objektu budou umístěny nádoby na odpad přístupné z chodníku.



Obr. 20: Půdorys střešní konstrukce objektu v Perucké ulici s označením skladby



Obr. 24: Schéma půdorysu řešeného objektu v Perucké ulici s označením skladby

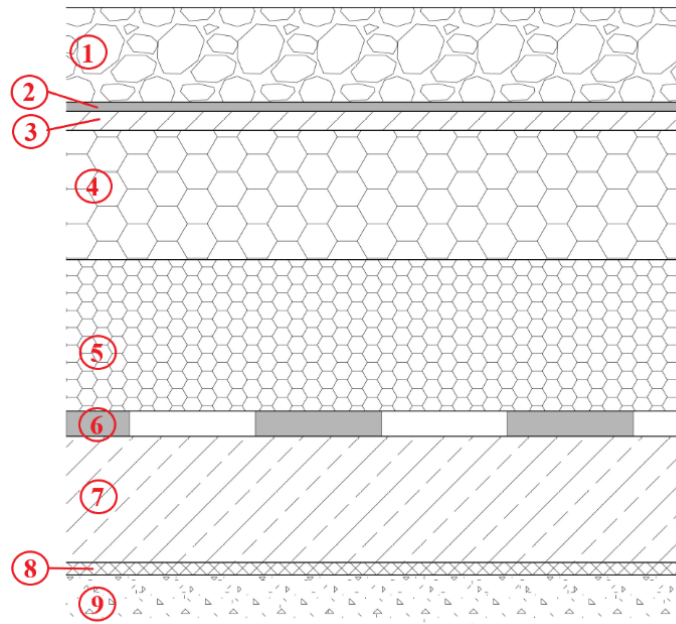
7.1.2. Střešní konstrukce S01 – varianta A

→ Návrh střešní konstrukce s kačírkiem

7.1.2.1. Popis střešní konstrukce:

Jedná se o hlavní střešní konstrukci objektu. V současnosti je střešní konstrukce navrhovaná jako plochá střecha s vrchní vrstvou tvořenou kačírkiem. Sklon střechy je převážně ve 2 % spádu se směrem ke střešním vpustím, které odvádějí dešťovou vodu z konstrukce. Atika je svažovaná v 5 % sklonu směrem do jádra objektu. Nad střešní rovinu vystupuje hned několik vzduchotechnických jednotek, výtahová šachta a průlez na střechu. Střecha je navržena jako nepochozí, přístup je zajištěn pouze formou výlezu na opravy a údržbu střechy. Plocha této střechy je cca 334 m².

7.1.2.2. Grafické schéma skladby:



Obr. 25: Skladba původního návrhu střešní konstrukce S01 – varianta A

7.1.2.3. Výpis materiálů a jejich tloušťek použitých ve skladbě:

S01 – střešní konstrukce objektu			
Ozn.	Vrstva:	Materiál:	Tloušťka [mm]:
1	Ochrana proti UV záření	Vymývaný kačírek	80
2	Hydroizolační vrstva	mPVC fólie s polyesterovou vložkou	1,5
3	Separáčn1 vrstva	Geotextilie FILTEK 300	3
4	Tepelná izolace – překryt1 spár	EPS 200	205
5	Tepelná izolace – spádové klíny	EPS Grey 100	60-240
6	Parotěsná zábrana	Glastek 40 special mineral	4
7	Nosná konstrukce	Železobetonová deska, beton C30/37	200
8	Vnitřn1 omítka – podklad	OM 209 *	2
9	Vnitřn1 omítka – pohledová vrstva	JM 303 **	8
CELKEM			713,5

Tab. 7: Původn1 skladba střešn1 konstrukce S01 – varianta A

Poznámka:

* Jedná se o podkladn1 spojovací můstek pro vyrovnání nasákavosti podkladu u vápenopískových cihel apod. zvyšuje přidržnost následných vrstev, výrobce KM BETA

** Jednovrstvá omítka, vápenocementová, pro všechny typy zdiva ve vnějšn1m i vnitřn1m prostředí, výrobce KM BETA

7.1.2.4. Určení vlastn1 tíhy konstrukce (stálé zatížení):

S01 – střešní konstrukce objektu					
Ozn.	Vrstva:	Materiál:	ρ [kN/m ³]	Tloušťka [m]	g_k [kN/m ²]
1	Ochrana proti UV záření	Vymývaný kačírek	15	0,080	1,200
2	Hydroizolační vrstva	mPVC fólie s polyesterovou vložkou	-	0,0015	0,020
3	Separáčn1 vrstva	Geotextilie FILTEK 300	-	0,003	0,003
4	Tepelná izolace – překryt1 spár	EPS 200	0,32	0,205	0,066
5	Tepelná izolace – spádové klíny	EPS Grey 100	0,2	0,240	0,048
6	Parotěsná zábrana	Glastek 40 special mineral	-	0,004	0,050
7	Nosná konstrukce	Železobetonová deska, beton C30/37	25	0,200	5,000
8	Vnitřn1 omítka – podklad	OM 209	-	0,002	0,030
9	Vnitřn1 omítka – pohledová vrstva	JM 303	-	0,008	0,170
CELKEM					6,59

Tab. 8: Vlastn1 tíha původn1 konstrukce S01 – Varianta A

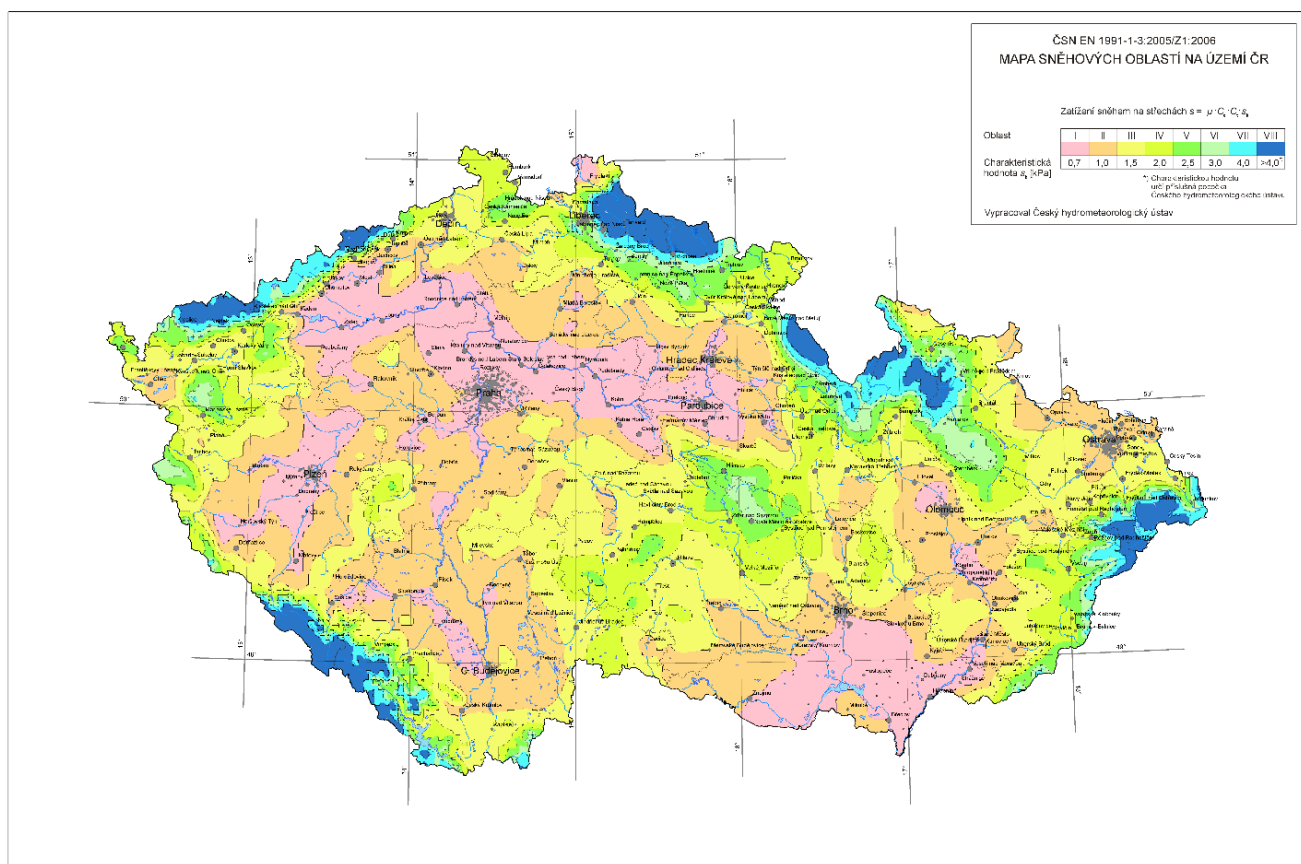
Pozn.: Zatížení pro zatěžovací modely je přepočteno na zatěžovací šířku desky 1m pro všechny konstrukce S01 a S02.

7.1.2.5. Určení proměnných zatížení:

- **Zatížení sněhem:**

→ výpočet zatížení sněhem byl proveden pomocí SW FIN EC 2021 – zatížení

→ objekt se nachází v Praze, která spadá do I. kategorie sněhové oblasti



Obr. 26: Mapa sněhových oblastí

PROTOKOL ZATÍŽENÍ: ZATÍŽENÍ SNĚHEM

Zatížení podle ČSN EN 1991-1-3

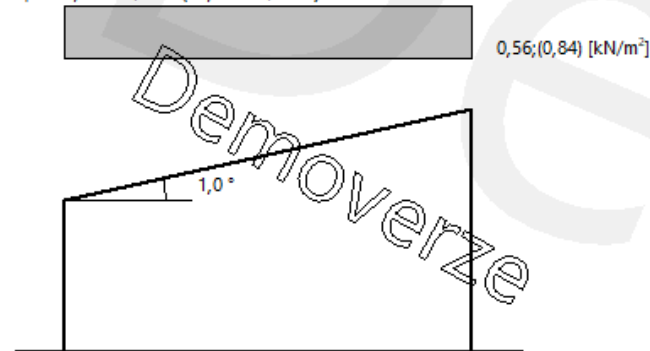
Sněhová oblast:	I
Charakteristická hodnota zatížení s_k	= 0,70 kN/m ²
Typ krajiny:	normální
Součinitel expozice	$C_e = 1,00$
Tepelný součinitel	$C_t = 1,00$
Součinitel zatížení	$\gamma_f = 1,50$

Tvar zastřešení: pultová střecha

Sklon střechy	$\alpha = 1,0^\circ$
Tvarový součinitel	$\mu_1 = 0,80$

Charakteristická hodnota zatížení (v závorce návrhová hodnota)

$$s_1 = 0,56 \text{ kN/m}^2 \text{ (} 0,84 \text{ kN/m}^2 \text{)}$$



Obr. 27: Výpočet zatížení sněhem pro konstrukci S01

- **Zatížení větrem:**

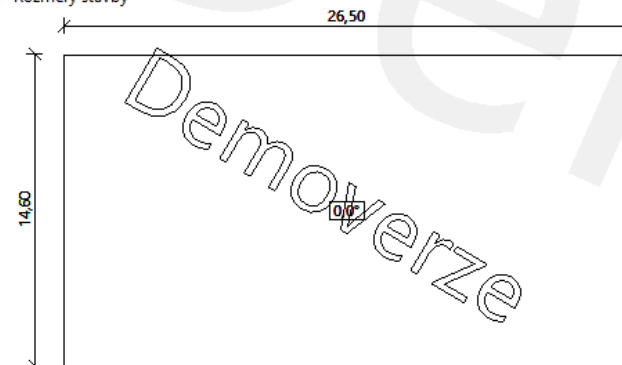
PROTOKOL ZATÍŽENÍ: ZATÍŽENÍ VĚTREM S01

Zatížení podle ČSN EN 1991-1-4

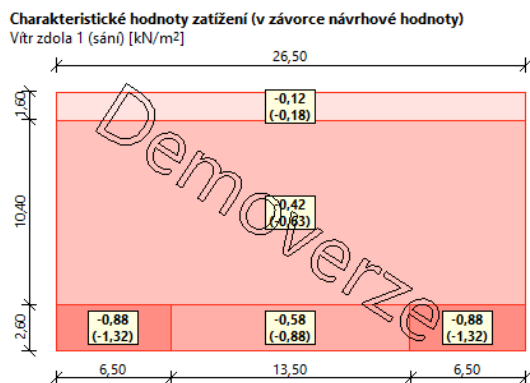
Větrná oblast:	I
Rychlost větru	$v_{b,0} = 22,50 \text{ m/s}$
Kategorie terénu:	III
Referenční výška budovy	$z_e = 13,00 \text{ m}$
Součinitel směru větru	$c_{dir} = 1,00$
Součinitel ročního období	$c_{season} = 1,00$
Měrná hmotnost vzduchu	$\rho = 1,250 \text{ kg/m}^3$
Součinitel orografie	$c_o = 1,00$
Maximální dynamický tlak	$q_p = 0,60 \text{ kN/m}^2$
Součinitel zatížení	$\gamma_f = 1,50$
Plocha pro stanovení c_{pe}	$A = 10,00 \text{ m}^2$

Střecha

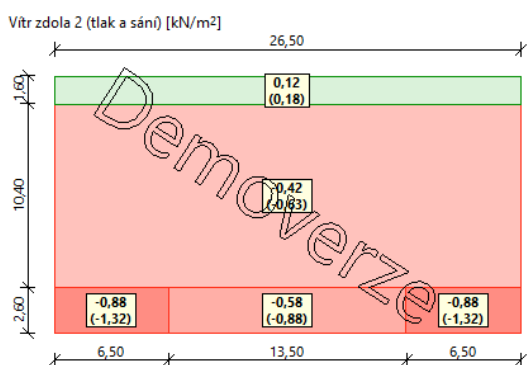
Rozměry stavby



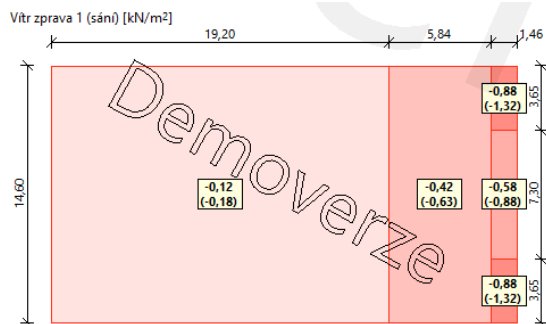
Obr. 28: Vstupní hodnoty pro výpočet větrem – S01



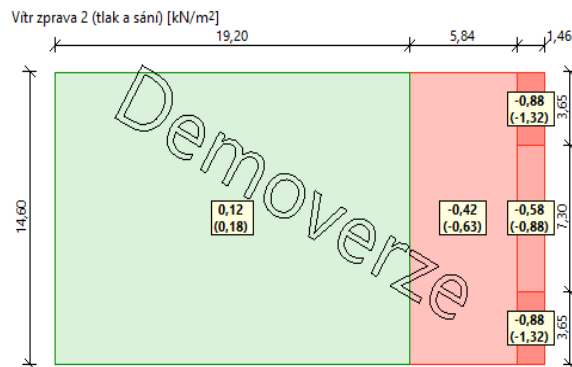
Obr. 29: Vitr zdola (sání)



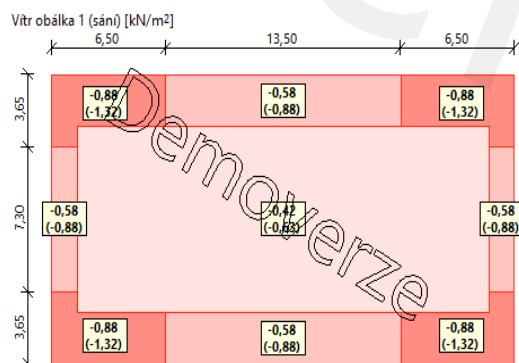
Obr. 30: Vitr zdola (tlak a sání)



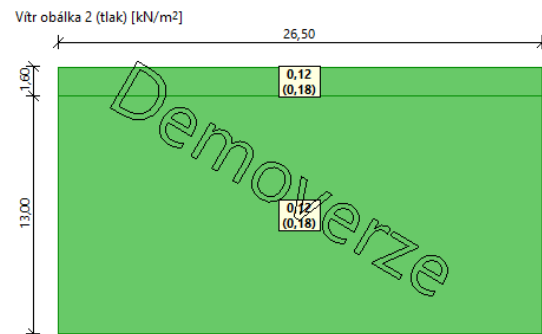
Obr. 31: Vitr zprava (sání)



Obr. 32: Vitr zprava (tlak a sání)



Obr. 33: Vitr obálka (sání)



Obr. 34: Vitr obálka (tlak)

→ z důvodu sání větru, které napomáhá ke zlepšování výsledků výpočtu, se toto zatížení při výpočtu zanedbává – držíme se na straně bezpečné

- **Zatížení užité:**

→ užité zatížení je stanoveno dle normy ČSN EN 1991-1-1, NA 2.9 - článek 6.3.4.2.

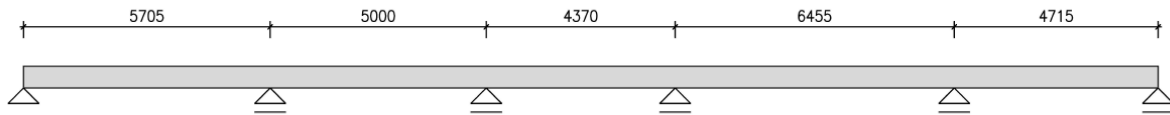
Střecha:	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Kategorie H	0,75	1,0

Tab. 9: Užité zatížení pro střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav

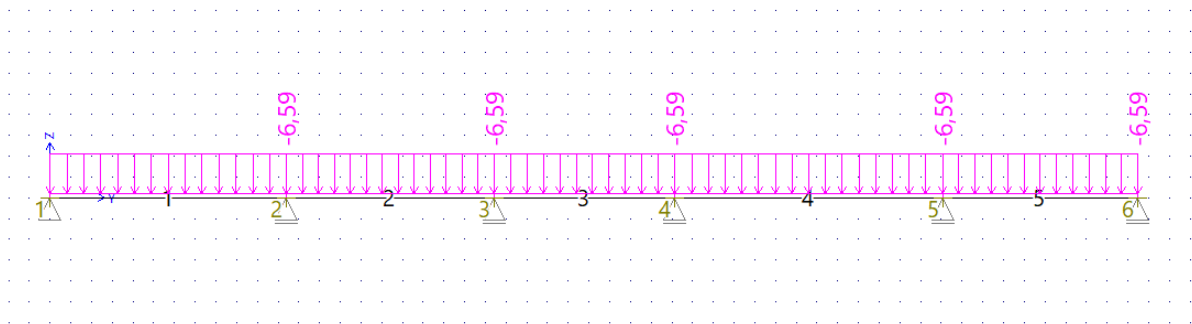
7.1.2.6. Výpočet vnitřních účinků skladby S01 - varianta A

→ výpočet byl proveden pomocí softwaru FIN EC 2021

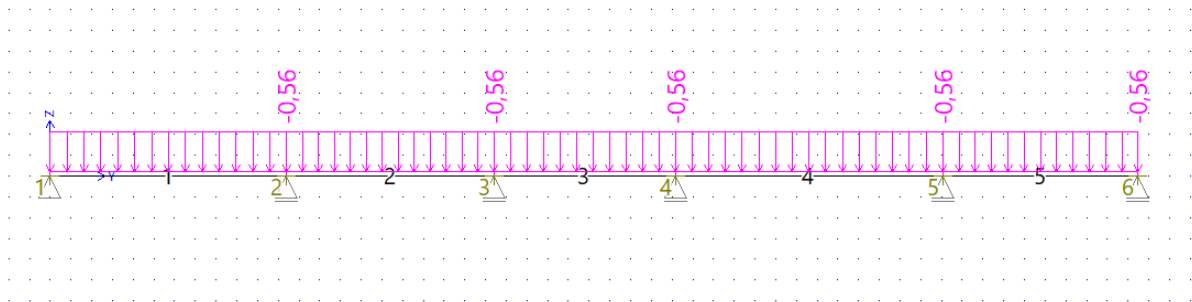
- Schéma zatěžovacího modelu pro výpočet:



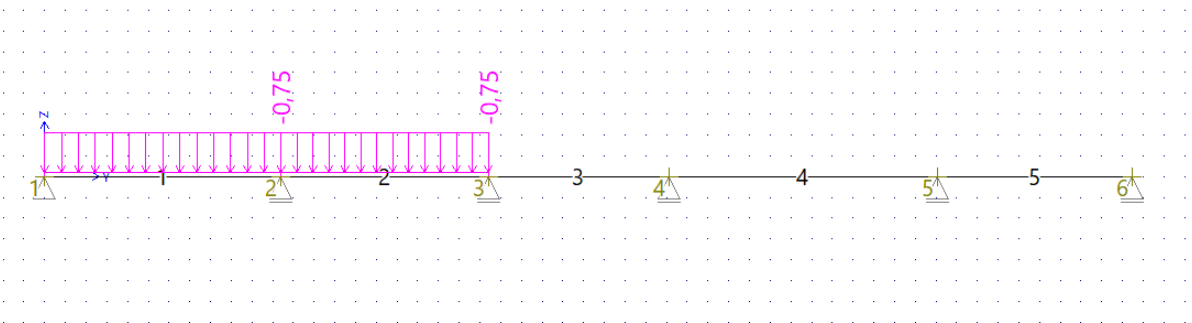
Obr. 35: Schéma pro výpočet vnitřních účinků S01:



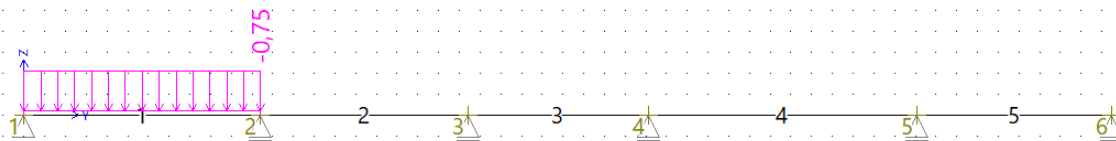
Obr. 36: ZS 1 – vlastní tíha střešní skladby - varianta A



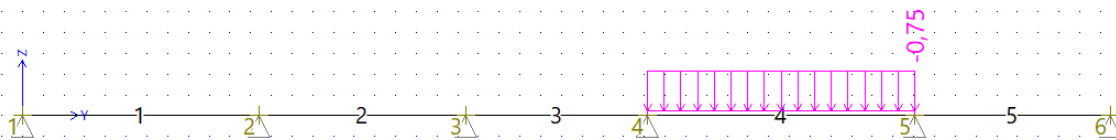
Obr. 37: ZS 2 – zatížení od působícího sněhu S01



Obr. 38: ZS 3 - užitné zatížení kategorie H dle normy ČSN EN 1991-1-1, pro 1. a 2. pole, S01



Obr. 39: ZS 4 - užité zátížení kategorie H dle normy ČSN EN 1991-1-1, pro 1. pole, S01



Obr. 40: ZS 4 - užité zátížení kategorie H – 2. pole, S01

- **Kombinace zatížení:**

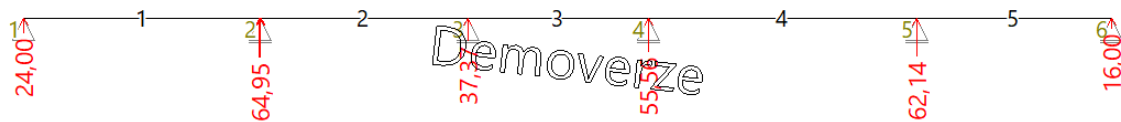
Číslo	Název a druh kombinace
	Složení
1	G1; základní kombinace
	$\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1$
2	Q5:G1; základní kombinace
	$\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,5}(1,50)*Q5$
3	Q4:G1; základní kombinace
	$\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,4}(1,50)*Q4$
4	Q3:G1; základní kombinace
	$\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,3}(1,50)*Q3$
5	S2:G1; základní kombinace
	$\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,2}(1,50)*S2$
6	S2:G1+Q5; základní kombinace
	$\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,2}(1,50)*S2 + \gamma_{f,sup,5}(1,50)*\psi_{0,5}(0,70)*Q5$
7	Q5:G1+S2; základní kombinace
	$\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,5}(1,50)*Q5 + \gamma_{f,sup,2}(1,50)*\psi_{0,2}(0,50)*S2$
8	S2:G1+Q4; základní kombinace
	$\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,2}(1,50)*S2 + \gamma_{f,sup,4}(1,50)*\psi_{0,4}(0,70)*Q4$
9	Q4:G1+S2; základní kombinace
	$\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,4}(1,50)*Q4 + \gamma_{f,sup,2}(1,50)*\psi_{0,2}(0,50)*S2$
10	S2:G1+Q3; základní kombinace
	$\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,2}(1,50)*S2 + \gamma_{f,sup,3}(1,50)*\psi_{0,3}(0,70)*Q3$
11	Q3:G1+S2; základní kombinace
	$\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,3}(1,50)*Q3 + \gamma_{f,sup,2}(1,50)*\psi_{0,2}(0,50)*S2$

Tab. 10: Přehled použitých kombinací zatížení konstrukce S01 – varianta A

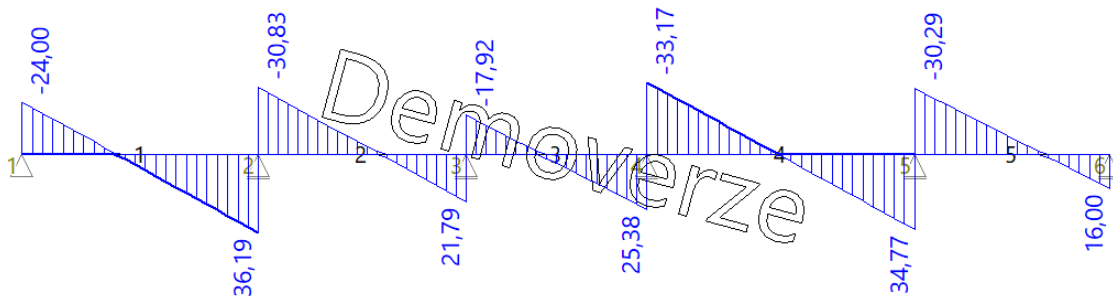
• Výsledky vnitřních účinků:



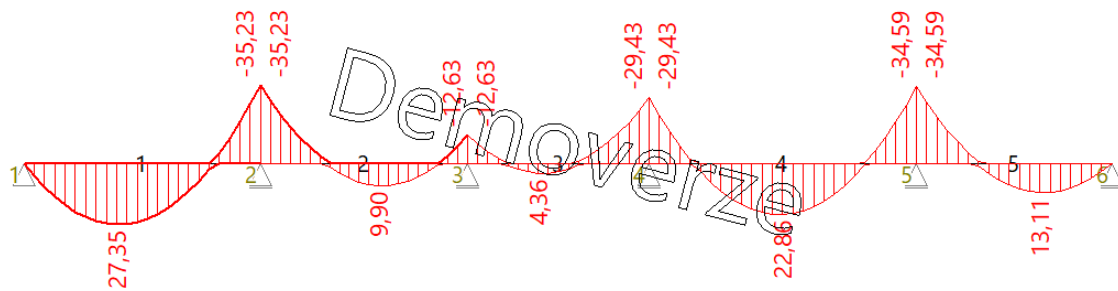
Obr. 41: Deformace S01 – varianta A



Obr. 42: Reakce S01 – varianta A



Obr. 43: Posouvající síly S01 – varianta A



Obr. 44: Ohybové momenty S01, obálka zatěžovacích stavů - varianta A

- **Závěrečné zhodnocení:**

Byla posouzena původní varianta střechy, která je navržena na objektu v Perucké ulici. Tato varianta je označena jako varianta A. Z výše uvedených výsledků je patrné, že největšího momentu je dosaženo v 1. poli spojitého nosníku. Jeho hodnota je 27,35 kNm. Je důležité si také všimnout hodnoty ohybového momentu u čtvrtého pole, kde hodnota ohybového momentu dosahuje 22,86 kNm.

Následně bude provedeno posouzení návrhu extenzivní vegetační skladby střechy a vzájemně porovnáme jejich vnitřních síly.

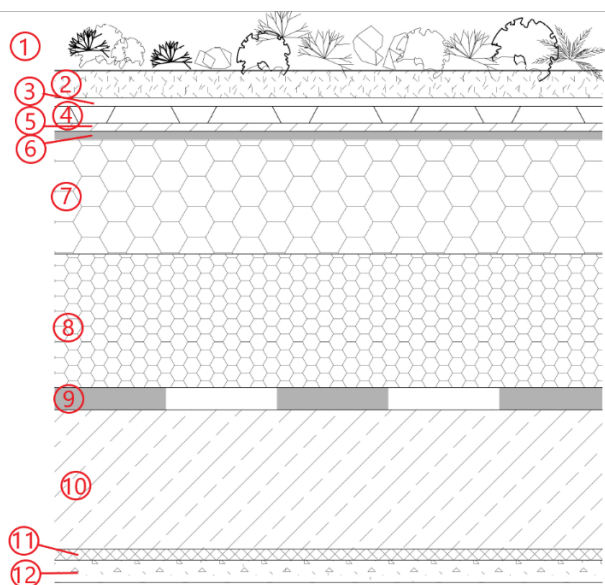
7.1.3. Střešní konstrukce S01 – varianta B

→ Nová navrhovaná vegetační extenzivní skladba S01 - nepochozí

7.1.3.1. Popis střešní konstrukce:

Jedná se o nově navrženou skladbu střešního objektu v Perucké ulici. Tato střecha je navržena jako skladba s extenzivním vegetačním souvrstvím. Vrchní vrstva bude obsahovat extenzivní zeleň, tzn. převážně mechy, rozchodníky a suchomilné trávy. Konstrukce bude navržena jako nepochozí, bude zde uvažováno pouze s občasnou nutností údržby. Sklon střechy i atiky zůstává stejný jako u původního návrhu, stejná je i plocha a přístup na střechu.

7.1.3.2. Grafické schéma skladby:



Obr. 45: Návrh nové nepochozí vegetační střechy S01 – varianta B

7.1.3.3. Výpis materiálů a jejich tloušťek použitých ve skladbě:

S01 – střešní konstrukce objektu			
Ozn.	Vrstva:	Materiál:	Tloušťka [mm]:
1	Vegetace	Extenzivní zeleň – mechy, rozchodníky apod.	-
2	Substrát:	Extenzivní substrát optigrün, typ M	60
3	Filtrační vrstva:	Filtrační textilie optigrün 105	1,5
4	Akumulační vrstva:	Nopová fólie optigrün FKD 10	10
5	Ochranná a separační vrstva:	Ochranná textilie optigrün RMS 500	3
6	Hydroizolační vrstva:	Hydroizolační fólie PVC-P, dekplan 77	1,5
7	Tepelná izolace:	EPS 200	205
8	Tepelná izolace - spádové klíny:	EPS Grey 100	240
9	Parotěsná zábrana:	Glastek 40 special mineral	4
10	Nosná konstrukce:	Železobetonová deska, beton C30/37	200
11	Vnitřní omítka – podklad:	OM 209*	2
12	Vnitřní omítka – pohledová vrstva:	JM 303**	8
CELKEM			725,0

Tab. 11: Nová vegetační skladba střešní konstrukce S01 – varianta B

7.1.3.4. Určení vlastní tíhy konstrukce (stálé zatížení):

S01 – střešní konstrukce objektu					
Ozn.	Vrstva:	Materiál:	ρ [kN/m ³]	Tloušťka [m]	g_k [kN/m ²]
	Akumulovaná voda:	Povrch. voda při přivalovém dešti	1	0,020	0,200
1	Vegetace:	Extenzivní zeleň – mechy, rozchodníky apod.	-	-	-
2	Substrát:	Extenzivní substrát optigrün, typ M	15	0,060	0,900
3	Filtrační vrstva:	Filtrační textilie optigrün 105	-	0,0015	0,001
	Akumulovaná voda:		10	0,010	0,100
4	Akumulační vrstva:	Nopová fólie optigrün FKD 10	-	0,010	0,035
5	Ochranná a separační vrstva:	Ochranná textilie optigrün RMS 500	-	0,003	0,040
6	Hydroizolační vrstva:	Hydroizolační fólie PVC-P, dekplan 77	-	0,0015	0,020
7	Tepelná izolace:	EPS 200	0,32	0,205	0,066
8	Tepelná izolace – spádové klíny:	EPS Grey 100	0,2	0,240	0,048
9	Parotěsná zábrana:	Glastek 40 special mineral	-	0,004	0,050
10	Nosná konstrukce:	Železobetonová deska, beton C30/37	25	0,200	5,000
11	Vnitřní omítka – podklad:	OM 209	-	0,002	0,030
12	Vnitřní omítka – pohledová vrstva:	JM 303	-	0,008	0,170
CELKEM					6,66

Tab. 12: Vlastní tíha nové střešní konstrukce S01 – varianta B

7.1.3.5. Určení proměnných zatížení:

- **Zatížení sněhem:**

→ Jedná se o stejný objekt, se stejnými podmínkami i stejným umístěním z těchto důvodů lze považovat výpočet zatížení od sněhu stejný jako u varianty A

→ Výpočet zatížení sněhem, viz bod 7.2.1.5.

- **Zatížení větrem:**

→ Z důvodu sání větru, které napomáhá ke zlepšení výsledků výpočtu, se toto zatížení při výpočtu zanedbává – držíme se na straně bezpečné

→ Výpočet zatížení větrem, viz bod 7.2.1.5.

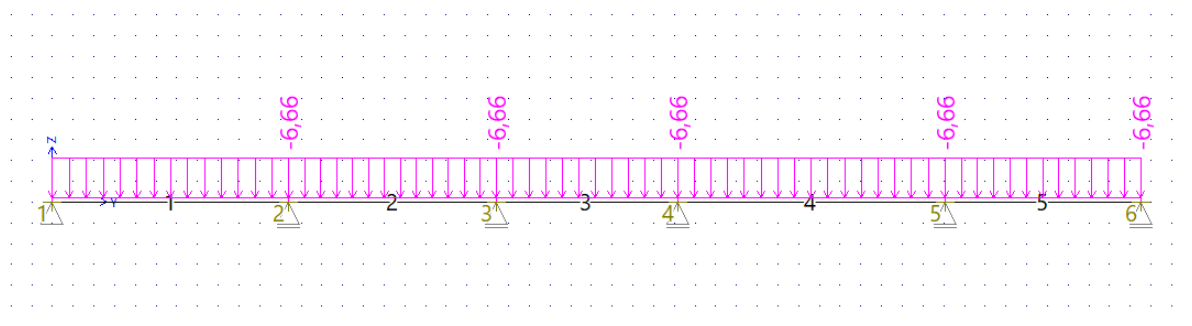
- **Zatížení užité:**

→ užité zatížení je stanoveno dle normy ČSN EN 1991-1-1, NA 2.9 - článek 6.3.4.2.

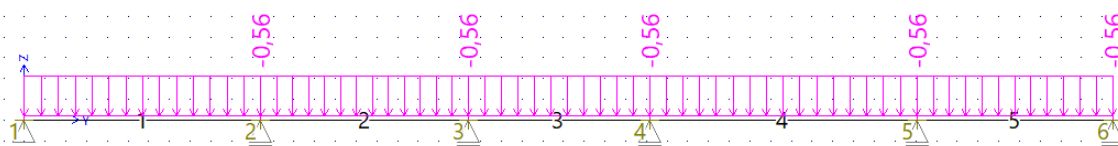
→ Varianta B je navrhována jako nepochozí vegetační střecha s výjimkou běžné údržby a občasných oprav, z těchto důvodů je zatížení stanoveno stejně jako u předchozí varianty A viz bod 7.2.1.5.

7.1.3.6. Výpočet vnitřních účinků skladby S01 – varianta B:

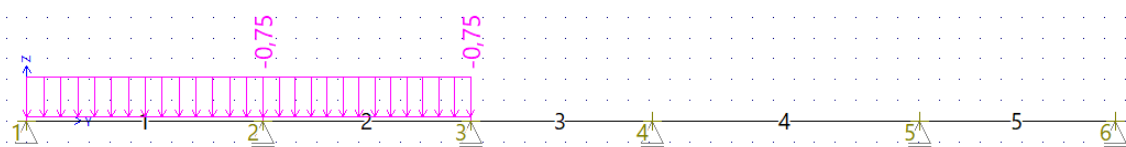
→ výpočet byl proveden pomocí softwaru FIN EC 2021.



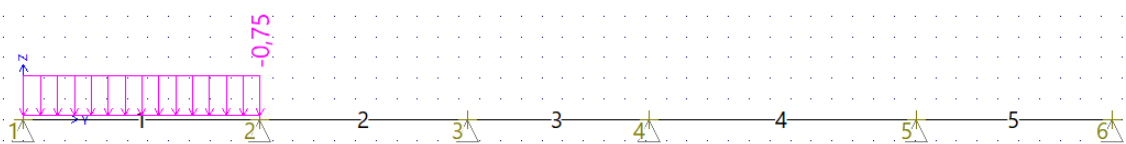
Obr. 46: ZS 1 – vlastní tíha střešní skladby - varianta B



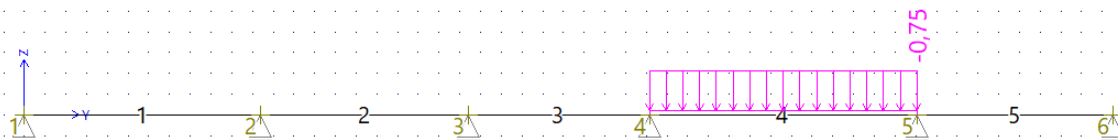
Obr. 47: ZS 2 – zatížení od působícího sněhu S01



Obr. 48: ZS 3 - užité zátížení kategorie H dle normy ČSN EN 1991-1-1, pro 1. a 2. pole, S01



Obr. 49: ZS 4 - užité zátížení kategorie H dle normy ČSN EN 1991-1-1, pro 1. pole, S01

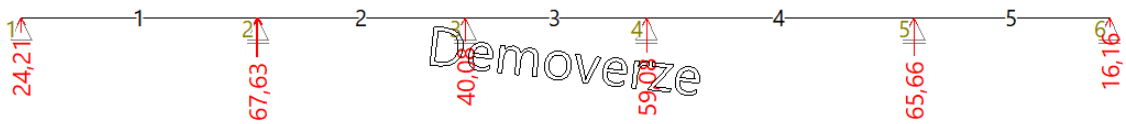


Obr. 50: ZS 4 - užité zátížení kategorie H – 2. pole, S01

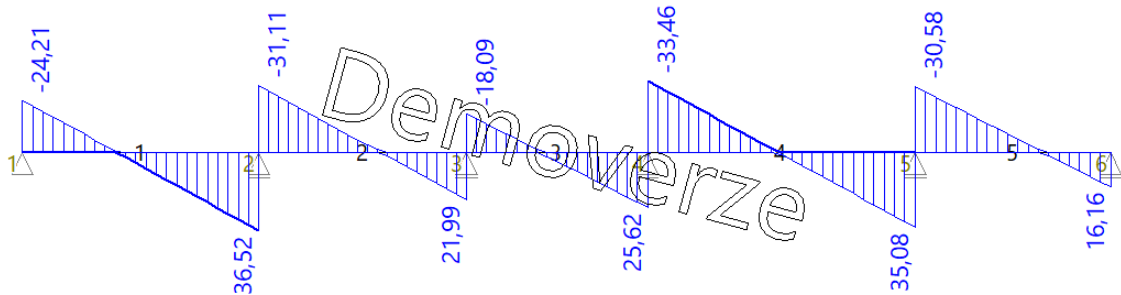
• Výsledky vnitřních účinků:



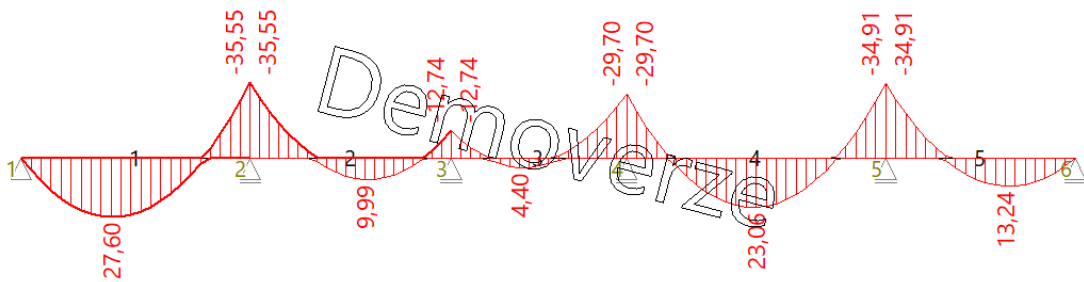
Obr. 51: Deformace S01 – varianta B



Obr. 52: Reakce S01 – varianta B



Obr. 53: Posouvající síly S01 – varianta B



Obr. 54: Ohybové momenty S01, obálka zatěžovacích stavů - varianta B

7.1.4. Celkové závěrečné posouzení S01:

V práci byly posouzeny střešní skladby plochých a vegetačních střeš, které se v dnešní době poměrně často vyskytují na stavbách. První původní střešní krytina byla uvedena jako jednoplášťová plochá střecha s ochrannou vrstvou proti UV záření tvořenou z vymývaného kačírku (varianta A). Druhá navržená střešní skladba byla navržena jako jednoplášťová vegetační střecha s extenzivní zelení (varianta B). Obě střechy jsou navrženy na stejnou budovu, se stejnými podmínkami a obě střešní varianty jsou uvedeny jako nepochozí, užité zatížení je bráno pouze pro pravidelnou údržbu a občasnou potřebu oprav.

Cílem práce bylo poukázat na fakt, že pokud se vegetační střecha navrhne správně a vyladí se podmínky pro užívání střešní krytiny, můžeme na střeše dosáhnout přibližně stejných vnitřních účinků jako na plochých střeších, kde se jako povrchová střešní krytina využívá vrstva kačírku. Výše uvedené platí pouze v případě, že obě střechy jsou navrženy jako nepochozí - s užitným zatížením kategorie H, které je definováno pouze pro údržbu a opravy. Toto dokládají výsledky výše uvedených výpočtů, kde u varianty A (střecha s kačírkem) ohybový moment dosahuje maximální hodnoty **27,35kNm**. U varianty B dosahuje ohybový moment maximální hodnoty **27,60kNm**. Rozdíl mezi těmito hodnotami je tedy přesně **0,25kNm**. Tato hodnota je v celkové konstrukci stavby v podstatě zanedbatelná, je třeba si však uvědomit, že se jedná o extenzivní skladbu vegetační střechy a střecha je navržena jako nepochozí! Poměrně velkou roli v zatížení vegetačních střeš hraje právě i její využívání. Je snaha vegetační střechy častěji navrhovat jako střechy pochozí a v té chvíli do ní vkládáme další zatížení o různých hodnotách podle její využitelnosti a přístupnosti lidí viz výpočty níže. Je zapotřebí si uvědomovat rozdíl, kdy navrhujeme skladbu na novostavbu a kdy na stávající objekt a podle toho volit její využitelnost.

Na rozdíl od ploché střechy s kačírkem však získáme s vegetační střechou mnoho výhod, které nám zajišťují lepší prostředí pro život. Díky vegetačním střešám vrátíme přírodě část zabrané vegetace, snížíme vznik tepelných ostrovů ve městech, udržíme ve městech větší vlhkost, čímž se zlepší zdraví lidí, snížíme množství rozvířeného prachu, protože rostliny přirozeně zachytávají velké množství prachových částic a mnoho dalších výhod.

Správně navržená vegetační střecha (se správným záměrem využívání) je směr, kterým by se kvalitní a zdravé stavitelství mělo v budoucnosti rozhodně ubírat.

7.1.5. Podstata řešení vegetační konstrukce S02:

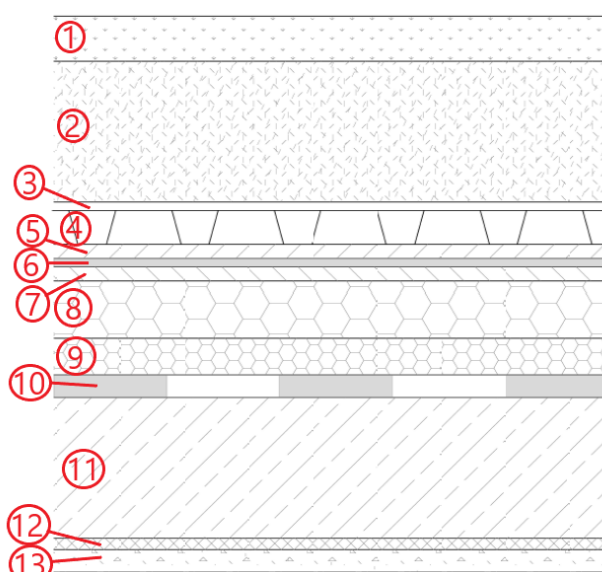
Novým trendem v návrhu vegetačních střech je vytvářet pochozí vegetační střechy za účelem relaxace a odreagování. Z tohoto důvodu lidé vyhledávají taková místa k odpočinku, posezení, popovídání si apod. a proto dochází k různému druhu shromažďování lidí na vegetačních střechách. I proto se architekti a projektanti snaží vytvářet příjemné, přírodní a veřejné prostory v místech těchto střech. Ovšem je velmi důležité si uvědomit, co takové shromažďování lidí znamená pro konstrukci, návrh a zatížení vegetační střechy.

Cílem dalšího posouzení je uvědomit si, jak je důležité správně navrhnout hodnoty užitečného zatížení dle využití vegetační střechy, protože je rozdíl, pokud navrhujeme střechu jako zatravněnou terasu pro pár lidí v bytové jednotce, nebo pokud navrhujeme v podstatě veřejně přístupnou střešní konstrukci pro celý bytový objekt.

7.1.5.1. Popis střešní konstrukce S02:

Střecha se nachází v úrovni prvního podlaží nad suterénem objektu. Je přístupná z jednotlivých bytů případně může být veřejně přístupná brankou oddělující veřejný chodník a terasu. Sklon střechy je proveden pomocí spádových klínů tepelné izolace ve 2% spádu směrem od objektu. Odvodnění střechy je provedeno po hydroizolační vrstvě a následně dochází k zasakováním do zeminy.

7.1.5.2. Grafické schéma skladby:



Obr. 55: Návrh skladby terasové konstrukce S02

7.1.5.3. Výpis materiálů a jejich tloušťek použitých ve skladbě:

S02 – střešní konstrukce objektu			
Ozn.	Vrstva:	Materiál:	Tloušťka [mm]:
1	Vegetace	Polointenzivní zeleň – trávnik, nízké keře	-
2	Substrát:	Extenzivní substrát optigrün, typ i	250
3	Filtrační vrstva:	Filtrační textilie optigrün 105	1,5
4	Akumulační vrstva:	Nopová fólie optigrün FKD 60 UK-BO	60
5	Ochranná a separační vrstva:	Ochranná textilie optigrün RMS 500	3
6	Hydroizolační vrstva:	PVC-P fólie, dekplan 77	1,5
7	Separační vrstva:	Geotextilie filtek 300	3
8	Tepelná izolace:	EPS 200	10
9	Tepelná izolace - spádové klíny:	EPS 200	65
10	Parotěsná zábrana:	Glastek 40 special mineral	4
11	Nosná konstrukce střechy:	Železobetonová deska, beton C30/37	250
12	Vnitřní omítka – podklad:	OM 209*	2
13	Vnitřní omítka – pohledová vrstva:	JM 303**	8
CELKEM			748,0

Tab. 13: Střešní konstrukce teras S02

7.1.5.4. Určení vlastní tíhy konstrukce (stálé zatížení):

S02 – střešní konstrukce objektu					
Ozn.	Vrstva:	Materiál:	ρ [kN/m ³]	Tloušťka [m]	g_k [kN/m ²]
1	Vegetace:	Polointenzivní zeleň – trávnik, nízké keře apod.	-	-	-
2	Substrát:	Substrát optigrün i	18	0,250	4,500
3	Filtrační vrstva:	Filtrační textilie optigrün 105	-	0,0015	0,001
	Akumulovaná voda:	Voda	10	0,060	0,600
4	Akumulační vrstva:	Nopová fólie optigrün FKD 60 UK-BO	-	0,060	0,035
5	Ochranná vrstva:	Ochranná textilie optigrün RMS 500	-	0,003	0,040
6	Hydroizolační vrstva:	PVC-P fólie dekplan 77	-	0,0015	0,020
7	Separační vrstva:	Geotextilie filtek 300	-	0,003	0,003
8	Tepelná izolace – překrytí spár	EPS 200	0,32	0,100	0,032
9	Tepelná izolace – spádové klíny:	EPS 200	0,32	0,065	0,021
10	Parotěsná zábrana:	Glastek 40 special mineral	-	0,004	0,050
11	Nosná konstrukce:	Železobetonová deska, beton C30/37	25	0,250	6,250
12	Vnitřní omítka – podklad:	OM 209	-	0,002	0,030
13	Vnitřní omítka – pohledová vrstva:	JM 303	-	0,008	0,170
CELKEM:					11,75

Tab. 14: Vlastní tíha střešní konstrukce S02

7.1.5.5. Určení proměnných zatížení:

- **Zatížení sněhem:**

→ Jedná se o stejný objekt, se stejnými podmínky i stejným umístěním z těchto důvodů lze považovat výpočet zatížení od sněhu stejný jako skladby S01 - varianty A

→ Výpočet zatížení sněhem, viz bod 7.2.1.5.

- **Zatížení větrem:**

→ Z důvodu sání větru, které pomáhá ke zlepšení výsledků výpočtu, se toto zatížení při výpočtu zanedbává – držíme se na straně bezpečné

→ Výpočet zatížení větrem, viz bod 7.2.1.5.

- **Užitné zatížení:**

→ užitné zatížení je stanoveno dle normy ČSN EN 1991-1-1, národní příloha NA - tabulky 6.2

Podle užitného zatížení je návrh rozdělen do čtyř variant. První varianta posuzuje střešní konstrukci bez vegetačního souvrství jako konstrukci nepochozí střechy. Druhá varianta posuzuje konstrukci pro kategorii A (obytné plochy a plochy pro domácí činnost) s užitným zatížením $q_k=1,5$ kN/m, pochozí. Tato varianta je zde zařazena z důvodu častého navázání střešní terasy na obytné místnosti. Třetí kategorie je pro kategorie užitného zatížení C1 a čtvrtá varianta je pro užitné zatížení kategorie C3, obě jsou pochozí.

1. Návrh S02a – Kategorie H, varianta bez vegetačního souvrství, nepochozí
2. Návrh S02b – Kategorie A, užitné zatížení $q_k=1,5$ kN/m.
3. Návrh S02c – kategorie C1: plochy se stoly atd. např. plochy ve školách, kavárnách, restauracích, jídelnách, čítárnách, recepcích apod. [25]
→ tato kategorie byla vybraná, protože se častěji objevují návrhy vegetačních střech jako místa kaváren, místa pro posezení apod.

4. Návrh S02d - kategorie C3: plochy bez překážek pro pohyb osob např. plochy v muzeích, ve výstavních sálech a přístupové plochy ve veřejných administrativních budovách, hotelích, nemocnicích, železničních nádražních halách apod. [25]

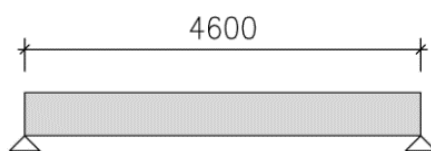
→ tato kategorie byla vybrána z důvodu návrhu vegetační střechy sloužící jako terasa pro celý bytový komplex, při takovém využití střechy by v krajním případě mohlo dojít k výskytu většímu počtu osob na vegetační střeše.

Kategorie zatěžovaných ploch	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
kategorie A		
– stropní konstrukce	1,5	2,0
– schodiště	3,0	2,0
– balkóny	3,0	2,0
kategorie B	2,5	4,0
kategorie C		
– C1	3,0	3,0
– C2	4,0	4,0
– C3	5,0	4,0
– C4	5,0	7,0
– C5	5,0	4,5
kategorie D		
– D1	5,0	5,0
– D2	5,0	7,0

Tab. 15: Užité zatížení stropních konstrukcí, balkonů a schodišť pozemních staveb

- **Schéma zatěžovacího modelu pro výpočet:**

→ výpočet byl proveden pomocí softwaru FIN EC 2021



Obr. 56: Schéma pro výpočet vnitřních účinků S02

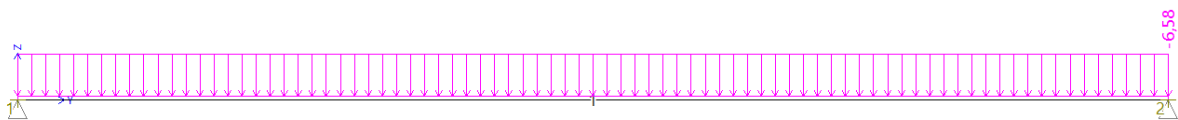
7.1.5.6. Výpočet varianty S02a:

- Výpočet vlastní tíhy:

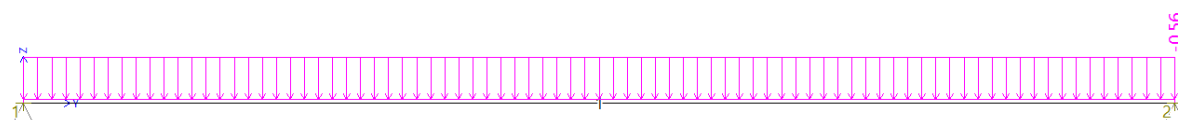
S02 – střešní konstrukce objektu					
Ozn.	Vrstva:	Materiál:	ρ [kN/m ³]	Tloušťka [m]	g_k [kN/m ²]
6	Hydroizolační vrstva:	PVC-P fólie dekplan 77	-	0,0015	0,020
7	Separáčn1 vrstva:	Geotextilie filtek 300	-	0,003	0,003
8	Tepelná izolace – překryt1 spár	EPS 200	0,32	0,100	0,032
9	Tepelná izolace – spádov1 klíny:	EPS 200	0,32	0,065	0,021
10	Parot1sná z1brana:	Glastek 40 special mineral	-	0,004	0,050
11	Nosn1 konstrukce:	Železobetonov1 deska, beton C30/37	25	0,250	6,250
12	Vnitřn1 om1tka – podklad:	OM 209	-	0,002	0,030
13	Vnitřn1 om1tka – pohledov1 vrstva:	JM 303	-	0,008	0,170
CELKEM:					6,58

Tab. 16: Redukovan1 skladba S02 bez vegetačn1ho souvrstv1

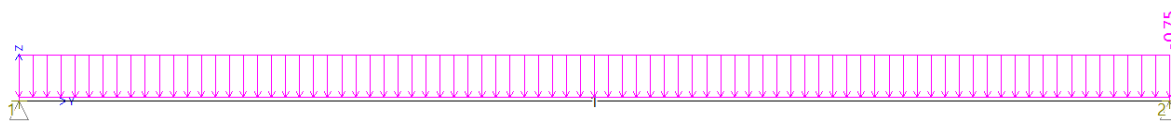
- Zad1n1:



Obr. 57: ZS1-Vlastn1 t1ha n1vrhu skladby S02a bez vegetačn1ho souvrstv1



Obr. 58: ZS2 – zat1žení od p1sob1c1ho sn1hu



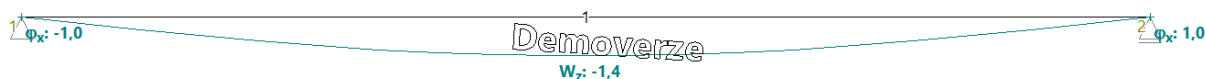
Obr. 59: ZS3 - užité zátížení kategorie H dle národní přílohy NA ČSN EN 1991-1-1

- **Kombinace zatížení S02a:**

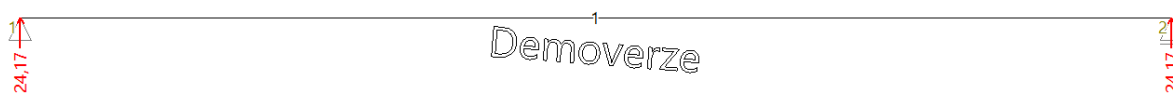
Číslo	Název a druh kombinace Složení
1	G1; základní kombinace $\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1$
2	Q3.G1; základní kombinace $\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,3}(1,50)*Q3$
3	S2.G1; základní kombinace $\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,2}(1,50)*S2$
4	S2.G1+Q3; základní kombinace $\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,2}(1,50)*S2 + \gamma_{f,sup,3}(1,50)*\psi_{0,3}(0,70)*Q3$
5	Q3.G1+S2; základní kombinace $\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,3}(1,50)*Q3 + \gamma_{f,sup,2}(1,50)*\psi_{0,2}(0,50)*S2$

Tab. 17: Přehled použitých kombinací zatížení konstrukce S02a

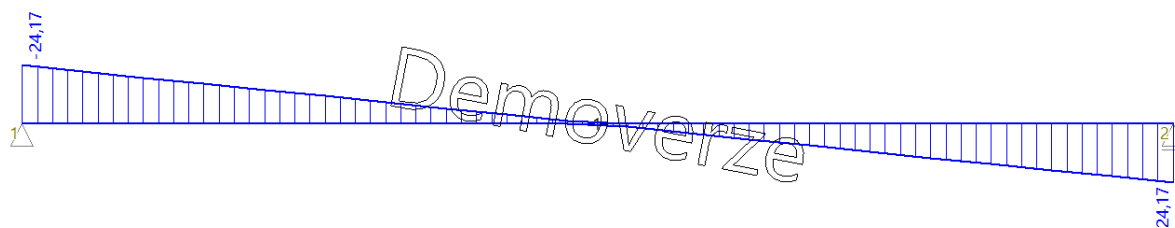
- **Výsledky výpočtu:**



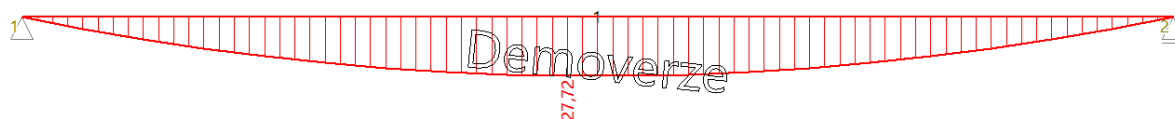
Obr. 60: Deformace návrhu S02a



Obr. 61: Reakce návrhu S02a



Obr. 62: Posouvající síly návrhu S02a



Obr. 63: Ohybové momenty návrhu S02a

- Posouzení průřezu S02a:

1.1 Vstupní data

Typ prvku: deska
 Prostedí: XC1
 Délka dílce: 4,60m

Průřez



Materiály

Beton: C 30/37

$f_{ck} = 30,0 \text{ MPa}$; $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$; $E_{cm} = 33000 \text{ MPa}$

Ocel podélná: B500B

$f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$; $E_s = 200000 \text{ MPa}$

Ocel příčná: B500

$f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$; $E_s = 200000 \text{ MPa}$

Podélná výztuž

Úsek č.: 1, (0,00m - 4,60m)

Počet	Profil [mm]	Krytí [mm]	Umístění
6	8	20,0	horní výztuž
6	10	20,0	dolní výztuž



S tlačnou výztuží je počítáno.

1.2 Výsledky

Kritický řez v bodě $x = 2,179\text{m}$ - Kombinace č.4 - S2:G1+Q3

Posouzení min. a max. stupně vyztužení

Deska (tažená výztuž - minimum, celková výztuž - maximum):

$$\rho_{s,t} = 0,00304 \geq \rho_{s,\min} = 0,00151$$

$$\rho_{s,t,CSN} = 0,00262 \geq \rho_{s,\min,CSN} = 0,0018 \quad = \text{Vyhovuje}$$

$$\rho_s = 0,00429 \leq \rho_{s,\max} = 0,04 \quad = \text{Vyhovuje}$$

Posouzení mezního stavu únosnosti

Kombinace č.4 - S2:G1+Q3

$$M_{Edy} = 27,72 \leq M_{Rdy} = 32,73 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na ohyb Vyhovuje

Využití: 84,7 %

$$V_{Ed} = 1,272 \text{ kN} \leq V_{Rdc} = 84,04 \text{ kN} = \text{Pouze konstrukční smyková výztuž.}$$

Únosnost průřezu ve smyku Vyhovuje

Využití: 1,5 %

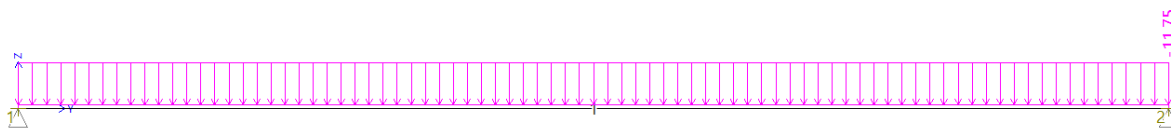
Mezní stav únosnosti VYHOVUJE - 84,7 %

Celkové posouzení - Průřez VYHOVUJE

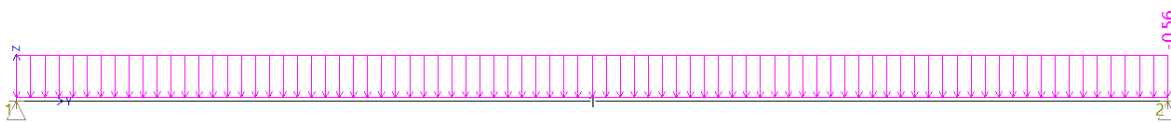
Využití: 84,7 %

7.1.5.7. Výpočet varianty S02b:

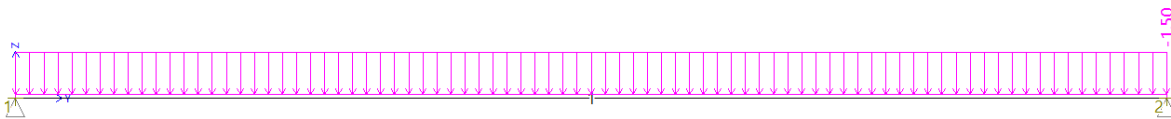
- **Zadání:**



Obr. 64: ZS1 – Vlastní tíha návrhu vegetační střechy S02b



Obr. 65: ZS2 – zatížení od působícího sněhu



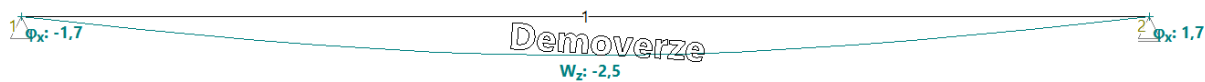
Obr. 66: ZS3 – užité zatížení kategorie A dle národní přílohy NA ČSN EN 1991-1-1

- **Kombinace zatížení S02b:**

Číslo	Název a druh kombinace Složení
1	G1; základní kombinace $\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1$
2	Q3;G1; základní kombinace $\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,3}(1,50)*Q3$
3	S2;G1; základní kombinace $\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,2}(1,50)*S2$
4	S2;G1+Q3; základní kombinace $\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,2}(1,50)*S2 + \gamma_{f,sup,3}(1,50)*\psi_{0,3}(0,70)*Q3$
5	Q3;G1+S2; základní kombinace $\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,3}(1,50)*Q3 + \gamma_{f,sup,2}(1,50)*\psi_{0,2}(0,50)*S2$

Tab. 18: Přehled použitých kombinací zatížení konstrukce S02b

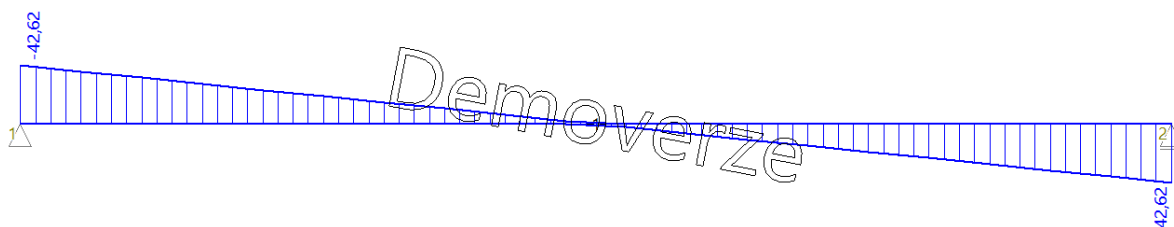
- Výsledky výpočtu:



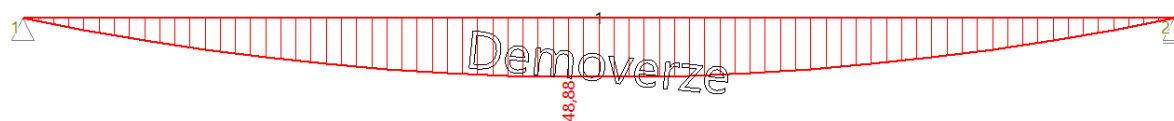
Obr. 67: Deformace návrhu S02b



Obr. 68: Reakce návrhu S02b



Obr. 69: Posouvající síly návrhu S02b



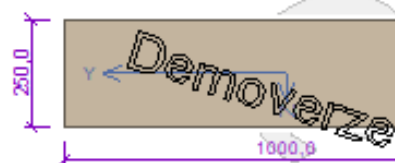
Obr. 70: Ohybové momenty návrhu S02b

- Posouzení průřezu S02b:

1.1 Vstupní data

Typ prvku: deska
Prostředí: XC1
Délka dílce: 4,60m

Průřez



Materiály

Beton: C 30/37

$f_{ck} = 30,0 \text{ MPa}$; $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$; $E_{cm} = 33000 \text{ MPa}$

Ocel podélná: B500B

$f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$; $E_s = 200000 \text{ MPa}$

Ocel příčná: B500

$f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$; $E_s = 200000 \text{ MPa}$

Podélná výztuž

Úsek č.: 1, (0,00m - 4,60m)

Počet	Profil [mm]	Krytí [mm]	Umístění
6	8	20,0	horní výztuž
7	10	20,0	dolní výztuž



S tlačnou výztuží je počítáno.

1.2 Výsledky

Kritický řez v bodě $x = 2,179\text{m}$ - Kombinace č.5 - Q3:G1+S2

Posouzení min. a max. stupně vyztužení

Deska (tažená výztuž - minimum, celková výztuž - maximum):

$$\rho_{s,t} = 0,00244 \geq \rho_{s,\min} = 0,00151$$

$$\rho_{s,t,CSN} = 0,0022 \geq \rho_{s,\min,CSN} = 0,0018 = \text{Vyhovuje}$$

$$\rho_s = 0,00341 \leq \rho_{s,\max} = 0,04 = \text{Vyhovuje}$$

Posouzení mezního stavu únosnosti

Kombinace č.5 - Q3:G1+S2

$$M_{Edy} = 48,88 \leq M_{Rdy} = 55,87 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na ohyb Vyhovuje

Využití: 87,5 %

$$V_{Ed} = 2,243 \text{ kN} \leq V_{Rdc} = 116,8 \text{ kN} = \text{Pouze konstrukční smyková výztuž.}$$

Únosnost průřezu ve smyku Vyhovuje

Využití: 1,9 %

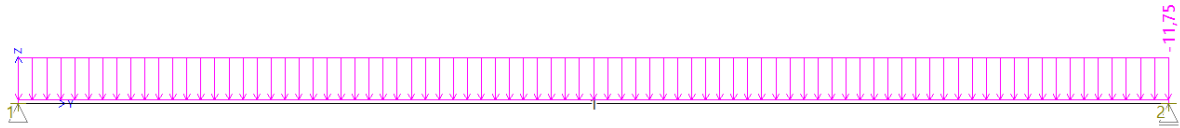
Mezní stav únosnosti VYHOVUJE - 87,5 %

Celkové posouzení - Průřez VYHOVUJE

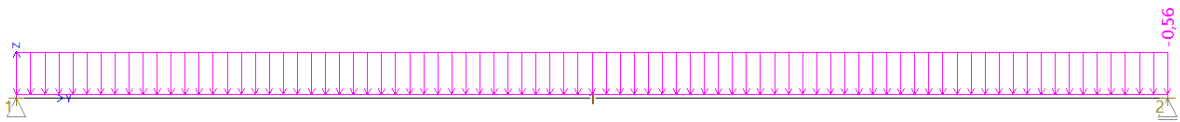
Využití: 87,5 %

7.1.5.8. Výpočet vnitřních účinků S02c:

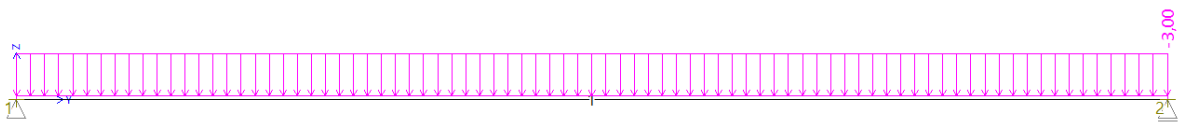
- **Zadání:**



Obr. 71: ZS1 – Vlastní tíha návrhu vegetační střechy S02c



Obr. 72: ZS2 – zatížení od působícího sněhu



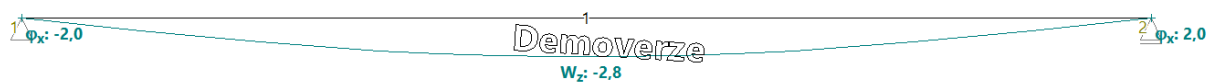
Obr. 73: ZS3 – užité zatížení kategorie C1 dle národní přílohy NA ČSN EN 1991-1-1

- **Kombinace zatížení S02c:**

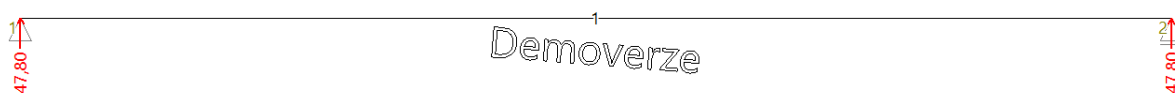
Číslo	Název a druh kombinace Složení
1	G1; základní kombinace $\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1$
2	Q3:G1; základní kombinace $\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,3}(1,50)*Q3$
3	S2:G1; základní kombinace $\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,2}(1,50)*S2$
4	S2:G1+Q3; základní kombinace $\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,2}(1,50)*S2 + \gamma_{f,sup,3}(1,50)*\psi_{0,3}(0,70)*Q3$
5	Q3:G1+S2; základní kombinace $\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,3}(1,50)*Q3 + \gamma_{f,sup,2}(1,50)*\psi_{0,2}(0,50)*S2$

Tab. 19: Přehled použitých kombinací zatížení konstrukce S02c

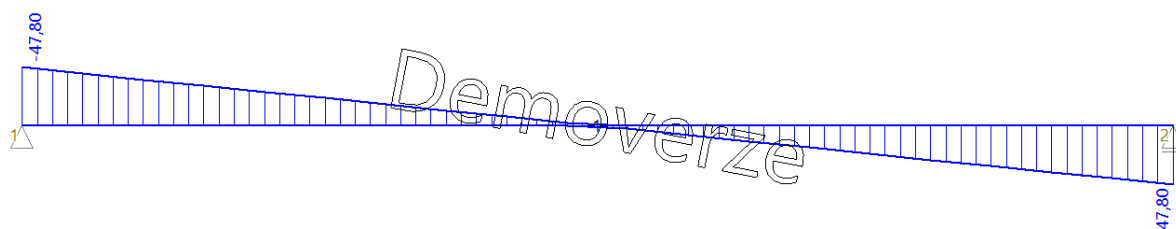
- Výsledky výpočtu:



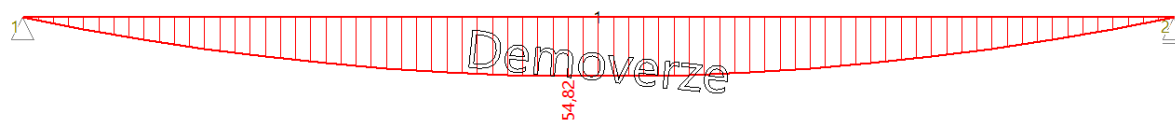
Obr. 74: Deformace návrhu S02c



Obr. 75: Reakce návrhu S02c



Obr. 76: Posouvající síly S02c



Obr. 77: Ohybové momenty S02c

- Posouzení průřezu S02c:

1.1 Vstupní data

Typ prvku: deska
Prostředí: XC1
Délka dílce: 4,60m

Průřez



Materiály

Beton: C 30/37
 $f_{ck} = 30,0 \text{ MPa}$; $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$; $E_{cm} = 33000 \text{ MPa}$

Ocel podélná: B500B
 $f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$; $E_s = 200000 \text{ MPa}$

Ocel příčná: B500
 $f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$; $E_s = 200000 \text{ MPa}$

Podélná výztuž

Úsek č.: 1, (0,00m - 4,60m)

Počet	Profil [mm]	Krytí [mm]	Umístění
6	8	20,0	horní výztuž
7	10	20,0	dolní výztuž



S tlačnou výztuží je počítáno.

1.2 Výsledky

Kritický řez v bodě $x = 2,179\text{m}$ - Kombinace č.5 - Q3:G1+S2

Posouzení min. a max. stupně výztužení

Deska (tažená výztuž - minimum, celková výztuž - maximum):

$$\rho_{s,t} = 0,00244 \geq \rho_{s,\min} = 0,00151$$

$$\rho_{s,t,CSN} = 0,0022 \geq \rho_{s,\min,CSN} = 0,0018 = \text{Vyhovuje}$$

$$\rho_s = 0,00341 \leq \rho_{s,\max} = 0,04 = \text{Vyhovuje}$$

Posouzení mezního stavu únosnosti

Kombinace č.5 - Q3:G1+S2

$$M_{Edy} = 48,88 \leq M_{Rdy} = 55,87 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na ohyb Vyhovuje

Využití: 87,5 %

$$V_{Ed} = 2,243 \text{ kN} \leq V_{Rdc} = 116,8 \text{ kN} = \text{Pouze konstrukční smyková výztuž.}$$

Únosnost průřezu ve smyku Vyhovuje

Využití: 1,9 %

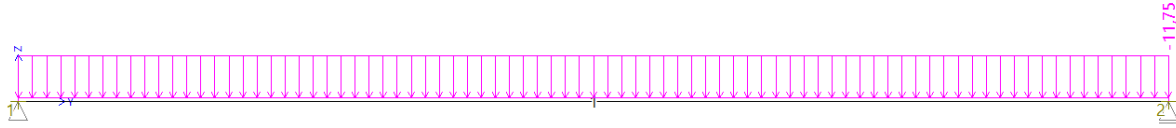
Mezní stav únosnosti VYHOVUJE - 87,5 %

Celkové posouzení - Průřez VYHOVUJE

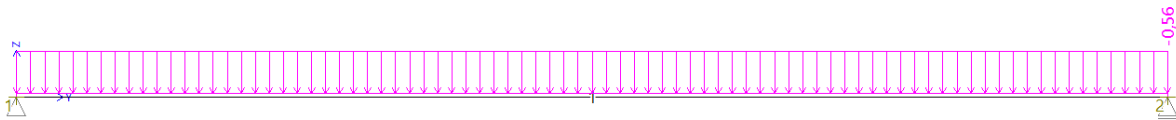
Využití: 87,5 %

7.1.5.9. Výpočet vnitřních účinků S02d:

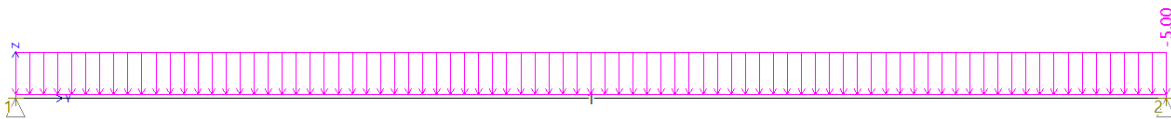
- **Zadání:**



Obr. 78: ZS1 – Vlastní tíha návrhu vegetační střechy S02d



Obr. 79: ZS2 – zatížení od působícího sněhu



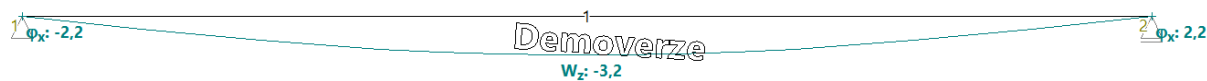
Obr. 80: ZS3 – užité zatížení kategorie C3 dle národní přílohy NA ČSN EN 1991-1-1

- **Kombinace zatížení S02d:**

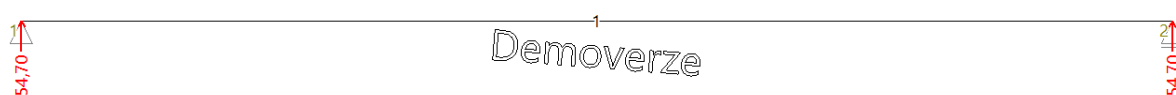
Číslo	Název a druh kombinace Složení
1	G1; základní kombinace $\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1$
2	Q3.G1; základní kombinace $\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,3}(1,50)*Q3$
3	S2.G1; základní kombinace $\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,2}(1,50)*S2$
4	S2.G1+Q3; základní kombinace $\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,2}(1,50)*S2 + \gamma_{f,sup,3}(1,50)*\psi_{0,3}(0,70)*Q3$
5	Q3.G1+S2; základní kombinace $\gamma_{f,sup,1}(1,35)*G1 + \gamma_{f,sup,3}(1,50)*Q3 + \gamma_{f,sup,2}(1,50)*\psi_{0,2}(0,50)*S2$

Tab. 20: Přehled použitých kombinací zatížení konstrukce S02d

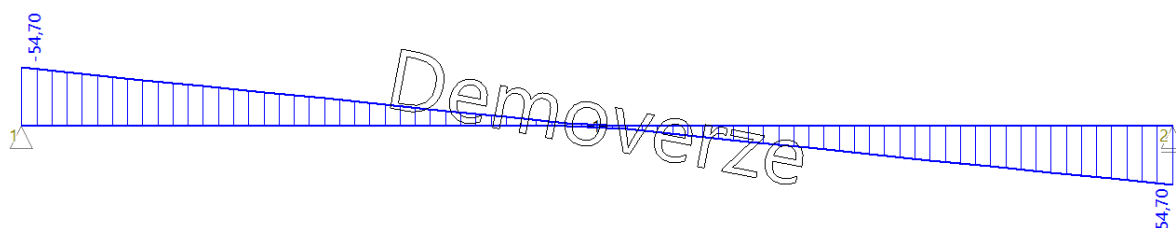
- **Výsledky výpočtu:**



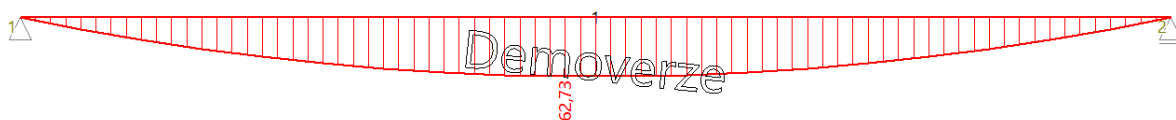
Obr. 81: Deformace S02d



Obr. 82: Reakce návrhu S02d



Obr. 83: Posouvající síly S02d



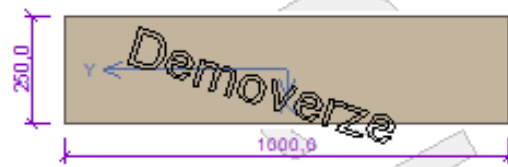
Obr. 84: Ohybové momenty S02d

- Posouzení průřezu S02d:

1.1 Vstupní data

Typ prvku: deska
Prostředí: XC1
Délka dílce: 4,60m

Průřez



Materiály

Beton: C 30/37
 $f_{ck} = 30,0 \text{ MPa}$; $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$; $E_{cm} = 33000 \text{ MPa}$

Ocel podélná: B500B
 $f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$; $E_s = 200000 \text{ MPa}$

Ocel příčná: B500
 $f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$; $E_s = 200000 \text{ MPa}$

Podélná výztuž

Úsek č.: 1, (0,00m - 4,60m)

Počet	Profil [mm]	Krytí [mm]	Umístění
6	8	20,0	horní výztuž
10	10	20,0	dolní výztuž



S tlačnou výztuží je počítáno.

1.2 Výsledky

Kritický řez v bodě $x = 2,179\text{m}$ - Kombinace č.5 - Q3:G1+S2

Posouzení min. a max. stupně vyztužení

Deska (tažená výztuž - minimum, celková výztuž - maximum):

$$\rho_{s,t} = 0,00349 \geq \rho_{s,\min} = 0,00151$$

$$\rho_{s,t,CSN} = 0,00314 \geq \rho_{s,\min,CSN} = 0,0018 \quad \text{= Vyhovuje}$$

$$\rho_s = 0,00435 \leq \rho_{s,\max} = 0,04 \quad \text{= Vyhovuje}$$

Posouzení mezního stavu únosnosti

Kombinace č.5 - Q3:G1+S2

$$M_{Edy} = 62,73 \leq M_{Rdy} = 77,30 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na ohyb Vyhovuje

Využití: 81,1 %

$$V_{Ed} = 2,879 \text{ kN} \leq V_{Rdc} = 116,8 \text{ kN} \quad \text{= Pouze konstrukční smyková výztuž.}$$

Únosnost průřezu ve smyku Vyhovuje

Využití: 2,5 %

Mezní stav únosnosti VYHOVUJE - 81,1 %

Celkové posouzení - Průřez VYHOVUJE

Využití: 81,1 %

7.1.6. Celkové závěrečné posouzení S02:

Cílem posouzení skladby S02 bylo prokázat problém s nastavením podmínek pro využívání vegetační střechy z hlediska statického.

Výpočty jednotlivých skladeb ukazují rozdíl vnitřních účinků (od jednotlivých variant) a potřeb vyztužení nosné konstrukce dle různého využívání a přístupu lidí na střešní konstrukci. Z tohoto důvodu je proto velmi důležité stanovit, pro jaký účel a využití bude vegetační střecha navržena. Existuje mnoho variant skladeb vegetačních a plochých střech. Posouzení skladby S02 vychází z nejčastějších základních návrhů ploché (vegetační) střechy a zatíženích na ně působících.

S02a – základní plochá střecha s hydroizolační fólií - nepochozí, užitné zatížení kategorie H

S02b – vegetační střecha pochozí, zatížení uvažováno pro domácí plochy, kategorie A

S02c – vegetační střecha pochozí, zatížení uvažováno pro menší shlukování lidí, kategorie C1

S02d – vegetační střecha pochozí, zatížení uvažováno pro shromažďování lidí z celého bytového komplexu, kategorie C3

Tabulka č. 17, která vychází z předchozích výpočtů, udává názorný přehled všech čtyř variant. Zároveň je z ní patrné, že nemůže dojít ke změně využití a přístupu lidí na střechu (bez úpravy nosné konstrukce), protože nárůst momentů by v krajních případech mohl být až o **126%**. Na takovou změnu vnitřních účinků není většina stávajících bytových objektů (i konstrukcí obecně) navržena.

Ozn.	Tloušťka [mm]	Výztuž v poli		Přístup lidí / využívání	Ohybový moment	Využití průřezu	Deformace [mm]
		Horní	Spodní				
S02a	180	6Ø8	6Ø10	Nepochozí (údržba ; opravy)	100%	84,7%	1,4
S02b	250	6Ø8	7Ø10	Pochozí (domácí plochy)	176% (nárůst 76%)	87,5%	2,5
S02c	250	6Ø8	8Ø10	Pochozí (menší shlukování lidí)	197% (nárůst 97%)	86,9%	2,8
S02d	250	6Ø8	10Ø10	Pochozí (pro bytový komplex)	226% (nárůst 126%)	81,1%	3,2

Tab. 21: Přehled závěrečného posouzení všech variant skladby S02

→ z tabulky je patrné, jak se mění (zvyšuje) tloušťka desky pro varianty pochozí a nepochozí střechy

→ z tabulky je patrné změna (navýšení) spodní výztuže pro různé varianty dle přístupu lidí a využívání vegetační střechy

→ v tabulce je vidět změna (nárůst) ohybového momentu a deformací v případě změny využití vegetační střechy

Poznámka:

S narůstajícím zatížením se zvyšuje potřeba zesílit železobetonovou nosnou konstrukci z důvodu zvyšování smykového namáhání.

8. Řešení objektu v Krejčíkově ulici:

Nebezpečí zvyšování zatížení u stávajících panelových objektů, neboť tyto objekty byly původně navrženy pouze pro bytové účely a jejich střechy navrženy pouze na zatížení od větru a sněhu. Panely byly dimenzovány pouze na bytové zatížení nebo navíc pro osazení příček a jader s vyšším zatížením. Střechy byly realizovány jako dvouplášťové, na kterých bylo uvažováno výše uvedené zatížení. Určitou výjimku zaznamenávají jednoplášťové střechy s násypem z lehčeného materiálu typu škváry. Příkladem řešení je uváděný příklad bytového domu v Krejčíkově ulici č. p. 1,3,5,7 v Plzni v sídlišti na Slovanech. Střecha je realizována na panelové soustavě PS61.

8.1. Popis technického stavu objektu:

Řešený objekt je postaven z panelové soustavy PS61, která se u nás začala realizovat v roce 1961 a to hlavně v Jihočeském a Západočeském kraji. Výstavba tohoto projektu probíhala přibližně v letech 1963-1967. Tento bytový dům je typickým představitelem tohoto systému. Konstruktivní systém těchto panelových domů je příčný stěnový s panelovými stropy. Modul konstrukčního systému je 3,85m s konstrukční výškou 2,75m. Jedná se o celkem osmi podlažní bytový dům (7x nadzemní podlaží + 1x přízemí). Stropní konstrukce jsou tvořené dutinovými panely tloušťky 140 mm. Tloušťka příčných nosných stěn je 250mm. Systém je charakteristický předstoupenými pilastry příčných stěn.

Původní záměr střechy u tohoto objektu měl být proveden jako střecha pobytová s nízkým zatížením pro věšení prádla (toto zatížení bylo uvažováno 0,75, max. 1,5 kN/m^2) a proto se na ní dá také dostat přímo ze schodiště. Ovšem k tomuto záměru střecha nikdy nesloužila. V roce 1999 došlo ke stavebním úpravám střechy a kvůli špatně použité měkké tepelné izolaci na ni byl přístup omezen.



Obr. 85: Pohled na stavbu v Krejčíkově ulici - fotografie

8.2. Statické posouzení zatížení střechy firmou DEKPROJEKT s.r.o.

8.2.1. Popis původní skladby:

SKLADBA - ST1					
Ozn.	Vrstva	Materiál	ρ [kN/m ³]	Tloušťka [m]	gk [kN/m ²]
Stálé					
1	Hydroizolační vrstva	Asfaltové pásy	7	0,012	0,08
2	Tepelná izolace	EPS	0,35	0,100	0,04
3	Pojistná hydroizolace	Asfaltové pásy	7	0,008	0,06
4	Roznášecí vrstva	Betonová mazanina	23	0,100	2,30
5	Spádová vrstva	Škvárový násyp	9	0,300	2,70
6	Parotěsná vrstva	Asfaltové pásy	7	0,004	0,02
7	Nosná konstrukce	Nosná železobetonová konstrukce	-	-	-
CELKEM:					5,20
Proměnné			-	-	0,75
CELKEM:					0,664
					5,95

Tab. 22: Skladba střechy dle původního projektu

Pozn.: Zatížení pro zatěžovací modely je přepočteno na zatěžovací šířku desky 1m pro všechny konstrukce.

8.2.2. Popis navrhovaných skladeb:

SKLADBA STŘECHY S1 – POCHOZÍ DLAŽBA					
Ozn.	Vrstva	Materiál	ρ [kN/m ³]	Tloušťka [m]	gk [kN/m ²]
1	Pochozí vrstva:	Terasová dlažba	24	0,060	1,44
2	Hydroizolační vrstva:	Asfaltové pásy Glastek	0,0462	0,004	0,05
3	Hydroizolační vrstva:	Asfaltové pásy Glastek	0,0472	0,004	0,05
4	Tepelná izolace:	EPS	0,28	0,120	0,03
5	Tepelná izolace:	EPS	0,28	0,240	0,07
6	Tepelná izolace – kročejová:	Rigifloor	0,135	0,030	0,001
7	Parotěsná vrstva – nová:	Asfaltové pásy Glastek	0,0472	0,004	0,05
8	Parotěsná vrstva – původní:	Asfaltové pásy – původní	7	0,004	0,02
9	Nosná konstrukce:	Nosná železobetonová konstrukce	-	-	-
CELKEM:				0,606	1,71

Tab. 23: Navržená skladba střechy pochozí dlažby

SKLADBA STŘECHY S1A – POCHOZÍ DLAŽBA U STROJOVEN					
Ozn.	Vrstva	Materiál	ρ [kN/m ³]	Tloušťka [m]	gk [kN/m ²]
1	Pochozí vrstva:	Terasová dlažba	24	0,060	1,44
2	Drenážní vrstva:	Prané říční kamenivo nasycené	20	0,050	1,00
3	Separáční vrstva:	Geotextílie Filtek 500	0,005	0,002	0,01
4	Hydroizolační vrstva:	Asfaltové pásy Glastek	0,0462	0,004	0,05
5	Hydroizolační vrstva:	Asfaltové pásy Glastek	0,0472	0,004	0,05
6	Tepelná izolace:	EPS	0,28	0,120	0,03
7	Tepelná izolace:	EPS	0,28	0,240	0,07
8	Tepelná izolace - kročejová:	Rigifloor	0,135	0,030	0,001
9	Parotěsná vrstva - nová:	Asfaltové pásy Glastek	0,0472	0,004	0,05
10	Parotěsná vrstva - původní:	Asfaltové pásy - původní	7	0,004	0,02
11	Nosná konstrukce:	Nosná železobetonová konstrukce	-	-	-
CELKEM:				0,658	2,72

Tab. 24: Navržená skladba střechy pochozí dlažby u strojoven

SKLADBA STŘECHY S2 – VEGETACE					
Ozn.	Vrstva	Materiál	ρ [kN/m ³]	Tloušťka [m]	gk [kN/m ²]
1	Substrát:	Extenzivní substrát nasycený	9,5	0,250	2,38
2	Filtrační vrstva:	Geotextilie filtek 200	0,002	0,002	0,001
3	Akumulační vrstva:	Nopová fólie pro zelené střechy	10	0,020	0,20
4	Separáčn	Geotextilie filtek 300	0,003	0,002	0,001
5	Ochranná vrstva:	Elastek 50 Garden	0,0628	0,005	0,06
6	Hydroizolační vrstva:	Elastek 40 special mineral	0,0462	0,004	0,05
7	Hydroizolační vrstva:	Glastek	0,0472	0,004	0,05
8	Tepelná izolace:	EPS	0,28	0,080	0,02
9	Tepelná izolace:	EPS	0,28	0,310	0,09
10	Parotěsná zábrana - nová:	Asfaltové pásy Glastek	0,0472	0,004	0,05
11	Parotěsná zábrana - původní:	Asfaltový pás - původní	7	0,004	0,02
12	Nosná konstrukce:	Nosná železobetonová konstrukce	-	-	-
CELKEM:				0,575	2,92

Tab. 25: Navržená skladba střechy pochozí vegetace

SKLADBA STŘECHY S3 – POŽÁRNÍ ODDĚLENÍ OBJEKTŮ					
Ozn.	Vrstva	Materiál	ρ [kN/m ³]	Tloušťka [m]	gk [kN/m ²]
1	Pochozí vrstva:	Prané říční kamenivo	20	0,05	1,00
2	Separáčn	Geotextilie filtek 500	0,005	0,002	0,01
3	Hydroizolační vrstva:	Elastek 40 special mineral	0,0462	0,004	0,05
4	Hydroizolační vrstva:	Glastek	0,0472	0,004	0,05
5	Tepelná izolace:	EPS	0,28	0,24	0,07
6	Parotěsná vrstva - nová:	Asfaltové pásy Glastek	0,0472	0,004	0,05
7	Parotěsná vrstva - původní:	Asfaltový pás - původní	7	0,004	0,02
8	Nosná konstrukce:	Nosná železobetonová konstrukce	-	-	-
CELKEM:				0,448	1,24

Tab. 26: Navržená skladba střechy pro požární oddělení objektů

Skladby	Zatížení			
	Charakter. fk kN/m	Návrhové fd kN/m	Návrhové qd, rezerva kN/m	Charakter. qk, rezerva kN/m
ST1 – skladba střechy – původní	5,95	8,15	-	-
S1 – skladba střechy – pochozí dlažba	1,71	2,31	5,84	3,89
S1A – skladba střechy – pochozí dlažba u strojovny	2,72	3,67	4,48	2,99
S2 – skladba střechy – vegetace	2,92	3,94	4,21	2,80
S3 – skladba střechy – požární oddělení objektů	1,24	1,68	6,47	4,32

Tab. 27: Tabulka vypočtených rezerv v zatížení

8.2.3. Závěr statického posouzení firmou DEKPROJEKT s.r.o.:

Statickým výpočtem projektanta bylo zjištěno, že nové skladby jsou lehčí než stávající. Střechu lze zatížit užitným zatížením $2,8 \text{ kN/m}^2$, což je 93% plnohodnotného zatížení pro terasu. (zatížení pro balkony podle národní přílohy normy je $3,0 \text{ kN/m}^2$, samotná norma ČSN EN 1991-1-1 udává rozmezí $2,5 - 4,0 \text{ kN/m}^2$ jehož spodní hranici střecha splňuje)

Celková plocha střechy je 560 m^2 , kritická skladba (S2) se nachází na 28% plochy (konkrétně na 158 m^2), zbylé části střechy lze zatížit užitným zatížením $3,0 \text{ kN/m}^2$. [25]

Poznámka:

** Veškeré uvedené informace a výpočty v bodu 8.2 jsou převzaty ze statického posouzení a návrhu prováděcí firmy Dekprojekt s.r.o.*

8.3. Vlastní zhodnocení statického posouzení:

Výše uvedený statický posudek je posouzení, které v praxi provedla realizační firma. Takto provedený statický posudek je nedostačující pro provedení stavby. Toto posouzení je zde uvedeno jako důvod řešení bodu 7.1.5., který se zabývá určením správného užitného zatížení dle využití vegetační střešní konstrukce. Statický posudek uvádí, že bude střešní konstrukce využívána jako forma terasy, proto je v závěru uvedeno, že rezerva na užitné zatížení je $2,8 \text{ kN/m}^2$ (což je 93% z hodnoty užitného zatížení kategorie C1). Je však zapotřebí si uvědomit, že střešní konstrukce je projektována jako veřejně přístupná pro celý bytový komplex. V takovém případě se nejedná pouze o terasu ale spíše o veřejně přístupnou plochu (veřejně přístupnou vegetační střechu). Hodnota užitného zatížení by měla být spíše brána jako kategorie C3 dle národní přílohy normy ČSN EN 1991-1-1. Tato kategorie odpovídá hodnotě užitného zatížení 5 kN/m^2 (při užití této hodnoty se držíme na straně bezpečné a je v ní počítáno i s různým vybavením pro pobyt na střešní konstrukci).

Zároveň je důležité upozornit, že výše provedené statické posouzení se nezabývá technických stavem budovy, nepopisuje, že se jedná o rekonstrukci stavebního objektu z panelové soustavy PS61, neřeší vodorovnou nosnou konstrukci nad posledním podlažím, nezabývá se deformacemi ani únosností konstrukce. Po provedení stavebního průzkumu statickou kanceláří VEJVARA PROJEKT s.r.o. navíc byli zjištěny odlišnosti projektu od skutečného provedení stavby.

Dále jsou řešeny tři varianty skladeb konstrukcí. Varianta A řeší skladbu střechy dle původního projektu. Varianta B řeší skladbu střechy dle provedených sond a měření přímo na stavbě. Varianta C posuzuje skladbu, kterou navrhla realizační firma s různými variacemi.

8.4. Vlastní statické posouzení:

8.4.1. A – skladba střechy dle projektu:

A – Skladba střechy dle projektu					
Ozn.	Vrstva	Materiál	ρ [kN/m ³]	Tloušťka [m]	gk [kN/m ²]
1	Pochozí vrstva:	4x nátěr asfaltový - pomocný	12	0,004	0,048
2	Pojistná vrstva:	6x nátěr asfaltový filerový	12	0,006	0,072
3	Hydroizolační vrstva:	2x lepenka A500 + verisol	6,6	0,004	0,026
4		1x nátěr penetrační	-	-	-
5	Roznášecí vrstva:	Cementový potěr	21	0,025	0,525
6	Podkladní vrstva:	Pěnobetonové desky	6	0,08	0,48
7	Vrstva násypu:	Spádový škvárobeton 60-240 mm	13	0,240	3,12
8		2x nátěr asfaltový	12	0,002	0,024
9	Pojistná hydroizolace:	Lepenka E500	5	0,002	0,01
10		1x nátěr penetrační	-	-	-
11	Nosná konstrukce:	Železobetonové dutin. panely T16	16	0,140	2,24
CELKEM:				0,503	6,55

Tab. 28: Vlastní hmotnost skladby dle projektu

8.4.1.1. Statický výpočet varianty A:

→ výpočet byl proveden v programu Microsoft Excel 2016

- **Popis konstrukce:**

V konstrukci byla zjištěna výztuž s charakteristickým žebrováním, které odpovídá výztuži s označením třídy oceli 10 400 s charakteristickou pevností v tahu 400 MPa. Tato výztuž byla zjištěna přímo na stavbě při provedení stavebního průzkumu, který byl proveden statickou a projekční kanceláří VEJVARA PROJEKT s.r.o.



Obr. 86: Zjišťování výztuže v soustavě PS61 v Krejčíkově ulici – fotografie

- Výpočet stálého zatížení střešní konstrukce bez nosné konstrukce:

Stálé zatížení										
mimo vlastní hmotnost nosné konstrukce										
vycházíme z tloušťky vrstev /h/ a objemové hmotnosti materiálů /g/ podle ČSN EN 1991-1-1 a pův. ČSN 730035										
popis	1 ano 0 ne	tloušťka h mm	tloušťka h m	objemová hmotnost g kN/m ³	char. hodnota gk kN/m ²	souč. zatížení γf EN 1991	návrh. hodnota gd kN/m	výpočt. hodnota gr kN/m ²		
a krytina nebo nášlapná vrstva										
- Asfaltové nátěry	1	12	0,01	12	0,144	1,350		0,1944		
- 2xlepenka A500 + verisol	1	4	0,00	6,6	0,026	1,350		0,0356		
b roznášecí vrstva										
- (cem.potěr 2,5 cm) - potěr	1	25	0,025	21	0,525	1,350		0,7088		
c izolace										
- Pěnobetonové desky	1	80	0,08	6	0,480	1,350		0,648		
- Spádový škvárobeton	1	240	0,24	13	3,120	1,350		4,212		
- Lepenka E500	1	2	0,00	5	0,010	1,350		0,0135		
d nosná deska/ trám - viz další výpočet										
e podhled										
- omítka	0	10	0,01	18	0,000	1,350		0		
- sdek	0	15	0,02	12	0,000	1,350		0		
součet na 1m² - charakteristické hodnoty					4,305					
při zatěžovací šířce	1,00				4,305					
při vlivu spojitosti konstrukce	1,00				4,305					
návrhové hodnoty podle EC										
dle rovnice 6.10.					4,305	1,35	5,81			
dle rovnice 6.10a					4,305	1,05	4,52			
dle rovnice 6.10b	(1,35 * 0,85 = 1,15)				4,305	1,15	4,95			
výpočtové hodnoty dle původní ČSN 73035									5,81	
při zatěžovací šířce	1,00									5,81

- Výpočet zatížení od samotné nosné konstrukce:

Nosná konstrukce											
- Žb. deska	s dutinami	1	140	0,14	16	2,240	1,350		3,02		
dutinny započteny v obj. váze			0	0	0	0					
při zatěžovací šířce		1,00				2,240					
při vlivu spojitosti konstrukce		1,00				2,240					
průvlak		0,00	0,000				0,000				
celkem						2,240					
návrhové hodnoty podle EC											
dle rovnice 6.10.					2,240	1,35	3,02				
dle rovnice 6.10a					2,240	1,05	2,35				
dle rovnice 6.10b	(1,35 * 0,85 = 1,15)				2,240	1,15	2,58				
výpočtové hodnoty dle původní ČSN 73035 k porovnání									8,84		
při zatěžovací šířce		1,00									8,84

- Výpočet proměnného zatížení:

Proměnné zatížení – hlavní		kombin.	souč.y ₀			
rovnoměrné užité dle EC1 na 1 m ²						
charakteristická hodnota zatížení					0,75	
při zatěžovací šířce	1,00				0,75	
při vlivu spojitosti	1,00				0,75	
návrhová hodnota zatížení						
dle rovnice 6.10.		1		0,75	1,5	1,125
dle rovnice 6.10a		0,7		0,75	1,5	0,788
dle rovnice 6.10b		1		0,75	1,5	1,125
porovnání podle ČSN 730035	1,00			0,75	1,5	1,125
Proměnné zatížení – další:		rovnoměrné	red.psi			
při zatěžovací šířce	1,00		0,5		0,28	1,5
						0,42

- Výpočet ohybového momentu M_{Ed} od zatížení:

4. Účinky zatížení - 1. MSÚ

1. mezní stav - ohyb		souč.y ₀					
Momenty v polovině rozpětí							
od stálého zatížení - vlastní váhy konstrukce							
$M_0 = 0,125 \cdot q \cdot l^2 =$		0,125	3,02	3,70	3,70	=	5,17 kNm
od stálého zatížení							
$M_1 = 0,125 \cdot q \cdot l^2 =$		0,125	5,81	3,70	3,70	=	9,95 kNm
od užitého hlavního zatížení							
$M_2 = 0,125 \cdot q \cdot l^2 =$	1	0,125	1,13	3,70	3,70	=	1,93
od užitého dalšího zatížení							
$M_3 = 0,125 \cdot q \cdot l^2 =$		0,125	0,42	3,70	3,70	=	0,72
od břemene - stálé							
$M_4 = P \cdot 0,25 \cdot l =$		0,250	0,00	1	3,70	=	0,00
od břemene - užité							
$M_5 = 0,25 \cdot P \cdot l =$		0,250	0,00	1,00	3,70	=	0,00
od pásového zatížení – např. příčky							
$M_p = 0,125 \cdot q \cdot l^2 =$		0,125	0,00	3,70	3,70	=	0,00
Celkem moment							
$M_c = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_p =$						=	17,76 kNm
podle rovnice 6.10b							
stálé zatížení $M_{1.1} = 0,125 \cdot q \cdot l^2 =$		0,125	4,95	3,70	3,70	=	8,47
vlastní konstrukce $M_{0.1} = 0,125 \cdot q \cdot l^2 =$		0,125	2,58	3,70	3,70	=	4,41
pásové zatížení $M_{p.1} = 0,125 \cdot g \cdot l^2 =$		0,125	0,00	3,70	3,70	=	0,00
$M_{cb} = M_{0.1} + M_{1.1} + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_{p.1} =$						=	15,52 kNm

- Výpočet únosnosti konstrukce M_{Rd} :

5. Výpočty - beton / Calculations of concrete

beton	f_{ck}	=	16,00	Mpa					
	γ_c	=	1,50		α_{cc}	=	1,00		
	f_{cd}	=	$\alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c$	=	1,00 * 16,00 / 1,50	=	10,667	Mpa	
	f_{ctm}	=	$0,30 * f_{ck}^{2/3}$	=	0,30 * 6,35	=	1,905	Mpa	
	f_{ctd}	=	$1,3 * f_{ctm} / \gamma_c$	=	1,30 * 1,90 / 1,50	=	0,867	Mpa	
výztuž - ocel	f_{yk}	=	400,00	Mpa					
	γ_s	=	1,21						
	f_{yd}	=	f_{yk} / γ_s	=	400,00 / 1,21	=	330,58	Mpa	
	d	=	115,00	mm					= 0,115 m
	profil	=	10,00	mm	=	0,010 / 2,00	=	0,005	m
		=	0,00		=	0,0000 / 2,00	=	0,0000	m
	R	=		plocha	=	0,00	=	0,0000	m
Ohyb / Bend									
area of steel	Asl1	=	3,1400 * 0,0050	=	0,0050 * 8,00	=	0,00063	m2	
	Asl2	=	3,1400 * 0,0000	=	0,0000 * 0,00	=	0,00000	m2	
	Asl	=	Asl1 + Asl2	=	0,0006 + 0,0000	=	0,00063	m2	
N.As - N.O.	x	=	Asl * Fsd / 0,80	=	b * fyd				
		=	0,0006 * 330,58 / 0,80	=	1,00 * 10,67	=	0,024	m	
	ξ	=	x / d	=	0,02 / 0,12	=	0,212	m	
	ξ	=	limitní	=		=	0,617		
	z	=	d * (0,80 * x * 0,50)	=		=			
		=	0,12 * (0,80 * 0,02 * 0,50)	=		=	0,105		
capacity moment	M	=	Asl * f * z * s	=		=			
		=	0,00063 * 330,58 * 0,11 * 1000	=		=	21,854	kNm	

• Celkové statické zhodnocení skladby střechy - A dle projektu:

Statický výpočet - železobeton / static calculation - reinforced concrete
 Mezní stavy únosnosti a použitelnosti podle normy - Limit states according to standards ČSN EN 1992-1-1

Nosník / deska - Beam / slab prvek panel pod střechu 1,5+1 kN/m²
 akce PS81 Krejčíkova

1. Zadání veličin / Input

Stupeň prostředí XC-karb. XD-CI XA-chem XF-mráz Návrhová životnost _____ let
 Třída konstrukce _____

Beton / concrete C 16 / 20 =B250 char. pevnost v tlak f_{ck} = 16,00 MPa
 součinitel materiálu γ_c = 1,50

Výztuž / reinforcement 10400 podle ČSN ISO 13822 char. pevnost v tahu f_{yk} = 400,00 MPa
 součinitel materiálu γ_s = 1,21 upr.

Krytí vložek / covering
 základní krytí c_{min} = 20,00 mm původní krytí celkem minimální c = 20,00 mm
 tolerance Δc_{dsw} = 0,00 mm krytí k nosné výztuži c' = 20,00 mm
 korekce o profil sítěřmínku 0,00 mm účinná výška d = 115 mm

Schéma nosníku a výztuže / schemes

Řez / Cut Rozměry
 b1 b1 b1 = 0,0 mm
 hd hd = 0,0 mm
 h h = 140 mm
 bw bw (b) = 1000 mm

Pohled při zápor. momentu
 0,00 ϕ 0,00 0,00 ϕ 0,00
 horní nosná výztuž
 konstrukční výztuž
 spodní nosná výztuž
 světlá Ls 3800 mm

Smyková výztuž / shear reinf.
 sklon diagonály cotg θ = 1,75 Třmínek ϕ 0,00 ohyby ne počet ks 8,00 ϕ 10 mm
 min.0,75d 88,25 mm střížnost n 2,00 0,00 ϕ 0,00 vzdálenost s 1000,0 m m sklon α 45,00
 Tahová výztuž / tensil reinf.
 0,00 ϕ 0 mm
 a125 mm

2. Výsledky / Resultates

MSÚ - mezní stav únosnosti
 Ohyb od jednotlivých zatížení
 Moment = 1,93 užitné hlavní (kNm)
 0,72 sniž, další užitné
 0,00 příčky, pásové
 9,95 stálé
 5,17 vlastní hmotnost
 0,00 břemeno v L/2

Celkem Momenty / Moments
 Med = 17,76 kNm
 15,52 dle rov.8.10b EN1990
 MRd = 21,85 kNm pro T průřez
 rezerva 6,33 kNm ku 8.10b
 Med / Mrd 0,81 < 1,00 **vyhovuje**

Smyk / Shear
 Ved = 13,61 kN
 13,93 dle rov.8.10b EN1990
 VRd = 35,72 kN
 jen beton = 35,72 kN s betonem 71,44
 jen ohyby = s ohyby
 Ved / VRd 0,38 < 1,00 **vyhovuje**

Vyztužení ρ min = 0,012 % Asl / Astmin = 4,59 > 1,00 **vyhovuje**
 ρ = 0,449 % x = 0,024 m
 ξ = 0,212 ξ lim : 0,617 ξ / ξ lim = 0,34 < 1,00 **vyhovuje**

rozpětí L = 3700 mm
 statické schéma prostý nosník
 hodnoty charakteristických a návrhových zatížení (kN/m)

0,75	1,13
0,28	0,42
0,00	0,00
4,31	5,81
2,24	3,02
0,00	0,00

8.4.1.2. Závěr statického výpočtu varianty A:

Po provedení statického výpočtu bylo zjištěno, že stávající nosná konstrukce dosahuje únosnosti v ohybu 21,85 kNm. To platí pro nový stav konstrukce při posouzení podle dnes platných norem. V dané hodnotě není vyjádřen vliv stáří. Výsledku přispělo i nalezení pevnější výztuže – 10 400 v panelech (než je tomu běžné u panelové soustavy PS61). Zatížení od skladby střešní konstrukce, které působí na nosnou konstrukci, vykazuje ohybový moment 17,76 kNm. Z výpočtu je patrné, že konstrukce na navržené zatížení vyhovuje. Rezerva ohybového momentu je 4,09 kNm. Je důležité podotknout, že střecha je navržena jako nepochozí na užité zatížení pouze pro opravy a údržbu, což odpovídá kategorii H o hodnotě $0,75 \text{ kN/m}^2$. Realizační firma chtěla navrhnout střešní konstrukci jako pochozí (varianta C2 a C3).

8.4.2. B – skladba střechy dle provedených sond a měření:

B – Skladba střechy dle sond					
Ozn.	Vrstva	Materiál	ρ [kN/m ³]	Tloušťka [m]	gk [kN/m ²]
1	Hydroizolační vrstva	Asfaltové pásy	7	0,08	0,056
5	Roznášecí vrstva:	Cementový potěr	21	0,025	0,525
6	Podkladní vrstva:	Beton + izolace	19	0,130	2,47
7	Vrstva násypu:	Lupek	10,8	0,260	2,808
11	Nosná konstrukce:	Železobetonové dutin. panely T16	16	0,140	2,24
CELKEM:				0,635	8,10

Tab. 29: Vlastní hmotnost skladby dle provedených sond a měření na stavbě

8.4.2.1. Statický výpočet varianty B:

- Výpočet stálého zatížení střešní konstrukce bez nosné konstrukce:

Stálé zatížení										
mimo vlastní hmotnost nosné konstrukce										
vycházíme z tloušťky vrstev /h/ a objemové hmotnosti materiálů /g/ podle ČSN EN 1991-1-1 a pův. ČSN 730035										
popis			tloušťka	tloušťka	objemová	char.	souč.	návrh.	výpočt.	
		1 ano	h	h	g	gk	γf	gd	gr	
		0 ne	mm	m	kN/m3	kN/m2	EN 1991	kN/m	kN/m2	
a krytina nebo nášlapná vrstva										
- Asfaltové pásy		1	8	0,01	7	0,056	1,350		0,0756	
b roznášecí vrstva										
(cem.potěr 2,5 cm) - potěr		1	25	0,025	21	0,525	1,350		0,7088	
c izolace										
Beton + izolace	z měření	1	130	0,13	19	2,470	1,350		3,3345	
Spádový škvárbeton	z měření	1	260	0,26	10,8	2,808	1,350		3,7908	
d nosná deska/ trám - viz další výpočet										
e podhled										
omítka		0	10	0,01	18	0,000	1,350		0	
sdk		0	15	0,02	12	0,000	1,350		0	
součet na 1m2 - charakteristické hodnoty						5,859				
při zatěžovací šířce		1,00				5,859				
při vlivu spojitosti konstrukce		1,00				5,859				
návrhové hodnoty podle EC										
dle rovnice 6.10.						5,859	1,35		7,91	
dle rovnice 6.10a						5,859	1,05		6,15	
dle rovnice 6.10b	(1,35 * 0,85 = 1,15)					5,859	1,15		6,74	
výpočtové hodnoty dle původní ČSN 73035										7,91
při zatěžovací šířce		1,00								7,91

- Výpočet zatížení od samotné nosné konstrukce:

Nosná konstrukce									
- žb. deska	s dutinami	1	140	0,14	16	2,240	1,350		3,02
dutiny započteny v obj. váze			0	0	0	0			
při zatěžovací šířce		1,00				2,240			
při vlivu spojitosti konstrukce		1,00				2,240			
průvlak		0,00	0,000			0,000			
celkem						2,240			
návrhové hodnoty podle EC									
dle rovnice 6.10.						2,240	1,35		3,02
dle rovnice 6.10a						2,240	1,05		2,35
dle rovnice 6.10b (1,35 * 0,85 = 1,15)						2,240	1,15		2,58
výpočtové hodnoty dle původní ČSN 73035 k porovnání									10,93
při zatěžovací šířce		1,00							10,93

- Výpočet proměnného zatížení:

Proměnné zatížení – hlavní		kombin. souč.y _o					
rovnoměrné užité dle EC1 na 1 m ²							
charakteristická hodnota zatížení						0,75	
při zatěžovací šířce		1,00				0,75	
při vlivu spojitosti		1,00				0,75	
návrhová hodnota zatížení							
dle rovnice 6.10.				1	0,75	1,5	1,125
dle rovnice 6.10a				0,7	0,75	1,5	0,788
dle rovnice 6.10b				1	0,75	1,5	1,125
porovnání podle ČSN 730035		1,00			0,75	1,5	1,125
Proměnné zatížení – další:		rovnoměrné		red.psi			
při zatěžovací šířce		1,00		0,5	0,28	1,5	0,42

- Výpočet ohybového momentu M_{Ed} od zatížení:

4. Účinky zatížení - 1. MSÚ

1. mezní stav - ohyb		souč.y _o						
Momenty v polovině rozpětí								
od stálého zatížení - vlastní váhy konstrukce								
$M0 = 0,125 \cdot q \cdot l =$		0,125	3,02	3,70	3,70	=	5,17	kNm
od stálého zatížení								
$M1 = 0,125 \cdot q \cdot l =$		0,125	7,91	3,70	3,70	=	13,54	kNm
od užitého hlavního zatížení								
$M2 = 0,125 \cdot q \cdot l =$	1	0,125	1,13	3,70	3,70	=	1,93	
od užitého dalšího zatížení								
$M3 = 0,125 \cdot q \cdot l =$		0,125	0,42	3,70	3,70	=	0,72	
od břemene - stálé								
$M4 = P \cdot 0,25 \cdot l =$		0,250	0,00	1	3,70	=	0,00	
od břemene - užité								
$M5 = 0,25 \cdot P \cdot l =$		0,250	0,00	1,00	3,70	=	0,00	
od pásového zatížení – např. příčky								
$Mp = 0,125 \cdot q \cdot l =$		0,125	0,00	3,70	3,70	=	0,00	
Celkem moment								
$M_c = M1 + M2 + M3 + M4 + M5 + M_p$						=	21,35	kNm
podle rovnice 6.10b								
stálé zatížení $M1.1 = 0,125 \cdot q \cdot l =$		0,125	6,74	3,70	3,70	=	11,53	
vlastní konstrukce $M0.1 = 0,125 \cdot q \cdot l =$		0,125	2,58	3,70	3,70	=	4,41	
pásové zatížení $Mp.1 = 0,125 \cdot g \cdot l =$		0,125	0,00	3,70	3,70	=	0,00	
$M_{cb} = M0.1 + M1.1 + M2 + M3 + M4 + M5 + M_{p.1}$						=	18,58	kNm

- Výpočet únosnosti konstrukce M_{Rd} :

5. Výpočty - beton / Calculations of concrete

beton	$f_{ck} =$	16,00	Mpa				
	$\gamma_c =$	1,50		$\alpha_{cc} =$	1,00		
	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$	1,00 * 16,00 / 1,50		=	10,667	Mpa	
	$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} =$	0,30 * 6,35		=	1,905	Mpa	
	$f_{ctd} = 1,3 \cdot f_{ctm} / \gamma_c =$	1,30 * 1,90 / 1,50		=	0,867	Mpa	
výztuž - ocel	$f_{yk} =$	400,00	Mpa				
	$\gamma_s =$	1,21					
	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	400,00 / 1,21		=	330,58	Mpa	
	$d =$	115,00	mm	=	0,115	m	
	profil	10,00	mm	=	0,010	m	
		0,00		=	0,0000	m	
	R		plocha	=	0,00	m	
Ohyb / Bend							
area of steel	$Asl1 = 3,1400 \cdot 0,0050 \cdot 8,00 =$	0,00063	m ²				
	$Asl2 = 3,1400 \cdot 0,0000 \cdot 0,00 =$	0,00000	m ²				
	$Asl = Asl1 + Asl2 =$	0,00063 + 0,00000	m ²				
N.As - N.O.	$x = Asl \cdot F_{sd} / (0,80 \cdot b \cdot f_{yd}) =$	0,00063 * 330,58 / (0,80 * 1,00 * 10,67)	m				
	$\xi = x / d =$	0,02 / 0,12	m				
	ξ	limitní					
	$z = d \cdot (1 - 0,80 \cdot \xi) =$	0,12 \cdot (1 - 0,80 \cdot 0,02)		=	0,105		
capacity moment	$M = Asl \cdot f_{yd} \cdot z =$	0,00063 * 330,58 * 0,11	kNm				
				=	21,854	kNm	

- Celkové statické zhodnocení skladby střechy – B dle sond a měření na stavbě:

Statický výpočet - železobeton / static calculation - reinforced concrete
 Mezní stavy únosnosti a použitelnosti podle normy - Limit states according to standards ČSN EN 1992-1-1

Nosník / deska - Beam / slab prvek: panel pod střechu 1,5+1 kN/m²
 akce: PS81 Krejčí kova

1. Zadání veličin / Input
 Stupeň prostředí: XC-karb. XC1, XD-Cl, XA-chem, XF-mráz, Návrhová životnost: [] let
 Třída konstrukce: []

Beton / concrete C 16 / 20 =B250 char. pevnost v tlak f_{ck} = 16,00 MPa
 součinitel materiálu γ_c = 1,50

Výztuž / reinforcement 10400 podle ČSN ISO 13822 char. pevnost v tahu f_{yk} = 400,00 MPa
 součinitel materiálu γ_s = 1,21 upr.

Krytí vložek / covering
 základní krytí c_{min} = 20,00 mm původní krytí celkem minimální c = 20,00 mm
 tolerance δc_{dew} = 0,00 mm krytí k nosné výztuži c' = 20,00 mm
 korekce o profil sítěřmínku 0,00 mm účinná výška d = 115 mm

Schéma nosníku a výztuže / schemes
Řez / Cut Rozměry: b_1 = 0,0 mm, hd = 0,0 mm, h = 140 mm, bw (b) = 1000 mm
Pohled při zápor. momentu: horní nosná výztuž, konstrukční výztuž, spodní nosná výztuž, tlminky, světláost L_s = 3600 mm

Smyková výztuž / shear reinf. sklon diagonály $\cotg \theta$ = 1,75 min. 0,75d 88,25 mm
 Třmínek ϕ = 0,00, střížnost n = 2,00, vzdálenost s = 1000,0 mm
 ohyby: ne, počet ks: 8,00 ϕ 10 mm, 0,00 ϕ 0 mm, a 125 mm

2. Výsledky / Resultates
 MSÚ - mezní stav únosnosti
Ohyb od jednotlivých zatížení: Moment = 1,93 (užité hlavní), 0,72 (sněž, další užité), 0,00 (příčky, pásové), 13,54 (stálé), 5,17 (vlastní hmotnost), 0,00 (třemena v L/2)
Celkem Momenty / Moments: Med = 21,35 kNm, 18,58 (dle rov. 8.10b EN1990), MRd = 21,85 kNm, MRd = 0,00 pro T průřez, rezerva 3,27 kNm ku 6.10b, Med / Mrd = 0,98 < 1,00 **vyhovuje**

Smyk / Shear: Ved = 17,49 kN, 17,23 (dle rov. 8.10b EN1990), VRd = 35,72 kN, jen beton = 35,72 kN s betonem 71,44, jen ohyby = s ohyby, Ved / VRd = 0,49 < 1,00 **vyhovuje**

Vyztužení ρ min = 0,012 %, ρ = 0,449 %, ξ = 0,212, ξ lim = 0,617
 Asl / Astmin = 4,59 > 1,00 **vyhovuje**, x = 0,024 m, ξ / ξ lim = 0,34 < 1,00 **vyhovuje**

rozpětí L = 3700 mm
 statické schéma: prostý nosník
 hodnoty charakteristických a návrhových zatížení (kN/m):
 0,75, 1,13, 0,28, 0,42, 0,00, 0,00, 5,88, 7,91, 2,24, 3,02, 0,00, 0,00

8.4.2.2. Závěr statického výpočtu varianty B:

Nosná konstrukce je stejná jako ve variantě A, tudíž dosahuje stejné hodnoty únosnosti ohybového momentu $M_{Rd} = 21,85$ kNm. Provedené sondy a měření přímo na stavbě prokázaly jinou skladbu střechy, než se předpokládalo dle původního projektu. Nově objevená skladba má vyšší zatížení, což se také projevilo na ohybovém momentu $M_{Ed}=21,35$ kNm. Původně plánovaná rezerva 4,8 kNm se zmenšila pouze na 0,5 kNm. Užité zatížení je opět navrženo pouze pro opravy a údržbu (kategorie H – $0,75$ kN/m²).

Dále bude posouzena skladba, která byla navržena realizační firmou (tabulka 25). Nově budovaná vegetační střešní konstrukce má mít charakter pochozí střechy, sloužící pro celý bytový objekt. Varianta C bude rozdělena do celkem tří skupin jako varianty C1, C2 a C3. Každá varianta bude posouzena s jinou hodnotou užitého zatížení podle národní přílohy normy ČSN EN 1991-1-1 (C1 – kategorie H, C2 – kategorie C1, C3 – kategorie C3), aby mohlo dojít k jejímu vzájemnému porovnání.

8.4.3. C – kritická skladba střechy dle firmy DEKPROJEKT s.r.o:

C – Navržená skladba dle realizační firmy					
Ozn.	Vrstva	Materiál	ρ [kN/m ³]	Tloušťka [m]	gk [kN/m ²]
1	Substrát:	Extenzivní substrát nasycený	9,5	0,250	2,380
2	Filtrační vrstva:	Geotextilie filtek 200	2	0,002	0,004
	Akumulovaná voda	Akumulovaná voda	10	0,020	0,200
3	Akumulační vrstva:	Nopová fólie pro zelené střechy	-	0,020	0,035
4	Separáčnická vrstva:	Geotextilie filtek 300	3	0,002	0,006
5	Ochranná vrstva:	Elastek 50 Garden	12	0,005	0,06
6	Hydroizolační vrstva:	Elastek 40 special mineral	12	0,004	0,048
7	Hydroizolační vrstva:	Glastek	12	0,004	0,048
8	Tepelná izolace:	EPS	0,28	0,080	0,022
9	Tepelná izolace:	EPS	0,28	0,310	0,087
10	Parotěsná zábrana - nová:	Asfaltové pásy Glastek	12	0,004	0,048
11	Parotěsná zábrana - původní:	Asfaltový pás - původní	7	0,004	0,028
12	Nosná konstrukce:	Nosná železobetonová konstrukce	16	0,140	2,24
CELKEM:				0,973	5,21

Tab. 30: Vlastní hmotnost skladby dle realizační firmy

8.4.3.1. Statický výpočet varianty C1:

- Výpočet stálého zatížení střešní konstrukce bez nosné konstrukce:

Stálé zatížení										
mimo vlastní hmotnost nosné konstrukce										
vycházíme z tloušťky vrstev /h/ a objemové hmotnosti materiálů /g/ podle ČSN EN 1991-1-1 a pův. ČSN 730035										
popis	1 ano	tloušťka	tloušťka	objemová hmotnost	char. hodnota	souč. zatížení	navrh. hodnota	výpočt. hodnota		
	0 ne	h	h	g	gk	γf	gd	gr		
		mm	m	kN/m3	kN/m2	EN 1991	kN/m	kN/m2		
a krytina nebo nášlapná vrstva										
- Extenzivní substrát	1	250	0,25	9,5	2,375	1,350		3,2063		
b Akumulační vrstva										
Akumulovaná voda	1	20	0,020	10	0,200	1,350		0,27		
Nopová fólie	1	20	0,020	-	0,035	1,350		0,0473		
c Hydroizolace a ochranná vrstva										
Elastek 50 Garden	1	5	0,01	12	0,060	1,350		0,081		
Elastek 40 special mineral	1	4	0,00	12	0,048	1,350		0,0648		
Glastek 40 special mineral	1	4	0,00	12	0,048	1,350		0,0648		
d Tepelná izolace										
EPS	1	390	0,39	0,28	0,109	1,350		0,1474		
e Pojistná hydroizolace										
Asfaltové pásy glastek	1	4	0,00	12	0,048	1,350		0,0648		
Asfaltový pás - původní	1	4	0,00	7	0,028	1,350		0,0378		
f Geotextilie										
Geotextilie filtek 200/300	1	4	0,00		0,010	1,350		0,0135		
g nosná deska/ trám - viz další výpočet										
h podhled										
omítka	0	10	0,01	18	0,000	1,350		0		
sdk	0	15	0,02	12	0,000	1,350		0		
součet na 1m2 - charakteristické hodnoty					2,961					
při zatěžovací šířce	1,00				2,961					
při vlivu spojitosti konstrukce	1,00				2,961					
návrhové hodnoty podle EC										
dle rovnice 6.10.					2,961		1,35	4,00		
dle rovnice 6.10a					2,961		1,05	3,11		
dle rovnice 6.10b	(1,35 * 0,85 = 1,15)				2,961		1,15	3,41		
výpočtové hodnoty dle původní ČSN 73035									4,00	
při zatěžovací šířce	1,00				4,00					

- Výpočet zatížení od samotné nosné konstrukce:

Nosná konstrukce											
- Žb. deska	s dutinami	1	140	0,14	16	2,240	1,350	3,02			
dutiny započteny v obj. váze			0	0	0	0					
při zatěžovací šířce		1,00				2,240					
při vlivu spojitosti konstrukce		1,00				2,240					
průvlak			0,00	0,000	0,000						
celkem						2,240					
návrhové hodnoty podle EC											
dle rovnice 6.10.					2,240		1,35	3,02			
dle rovnice 6.10a					2,240		1,05	2,35			
dle rovnice 6.10b		(1,35 * 0,85 = 1,15)				2,240		1,15	2,58		
výpočtové hodnoty dle původní ČSN 73035 k porovnání									7,02		
při zatěžovací šířce		1,00				7,02					

- Výpočet proměnného zatížení:

Proměnné zatížení – hlavní		kombin.	souč.y ₀			
rovnoměrné užité dle EC1 na 1 m ²						
charakteristická hodnota zatížení						0,75
při zatěžovací šířce	1,00					0,75
při vlivu spojitosti	1,00					0,75
návrhová hodnota zatížení						
dle rovnice 6.10.			1	0,75	1,5	1,125
dle rovnice 6.10a			0,7	0,75	1,5	0,788
dle rovnice 6.10b			1	0,75	1,5	1,125
porovnání podle ČSN 730035	1,00			0,75	1,5	1,125
Proměnné zatížení – další:						
rovnoměrné		red.psi				0,56
při zatěžovací šířce	1,00	0,5		0,28	1,5	0,42

- Výpočet ohybového momentu M_{Ed} od zatížení:

4. Účinky zatížení - 1. MSÚ

1. mezní stav - ohyb		souč.y ₀					
Momenty v polovině rozpětí							
od stálého zatížení - vlastní váhy konstrukce							
$M_0 = 0,125 \cdot q \cdot l =$		0,125	3,02	3,70	3,70	=	5,17 kNm
od stálého zatížení							
$M_1 = 0,125 \cdot q \cdot l =$		0,125	4,00	3,70	3,70	=	6,84 kNm
od užitého hlavního zatížení							
$M_2 = 0,125 \cdot q \cdot l =$	1	0,125	1,13	3,70	3,70	=	1,93
od užitého dalšího zatížení							
$M_3 = 0,125 \cdot q \cdot l =$		0,125	0,42	3,70	3,70	=	0,72
od břemene - stálé							
$M_4 = P \cdot 0,25 \cdot l =$		0,250	0,00	1	3,70	=	0,00
od břemene - užité							
$M_5 = 0,25 \cdot P \cdot l =$		0,250	0,00	1,00	3,70	=	0,00
od pásového zatížení – např. příčky							
$M_p = 0,125 \cdot q \cdot l =$		0,125	0,00	3,70	3,70	=	0,00
Celkem moment							
$M_c = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_p =$						=	14,66 kNm
podle rovnice 6.10b							
stálé zatížení $M_{1.1} = 0,125 \cdot q \cdot l =$		0,125	3,41	3,70	3,70	=	5,83
vlastní konstrukce $M_{0.1} = 0,125 \cdot q \cdot l =$		0,125	2,58	3,70	3,70	=	4,41
pásové zatížení $M_{p.1} = 0,125 \cdot g \cdot l =$		0,125	0,00	3,70	3,70	=	0,00
$M_{cb} = M_{01} + M_{1.1} + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_{p.1} =$						=	12,88 kNm

- Výpočet únosnosti konstrukce M_{Rd} :

5. Výpočty - beton / Calculations of concrete

beton	f_{ck}	=	16,00	Mpa					
	γ_c	=	1,50		α_{cc}	=	1,00		
	f_{cd}	=	$\alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c$	=	1,00 * 16,00 / 1,50	=	10,667	Mpa	
	f_{ctm}	=	$0,30 * f_{ck}^{2/3}$	=	0,30 * 6,35	=	1,905	Mpa	
	f_{ctd}	=	$1,3 * f_{ctm} / \gamma_c$	=	1,30 * 1,90 / 1,50	=	0,867	Mpa	
výztuž - ocel	f_{yk}	=	400,00	Mpa					
	γ_s	=	1,21						
	f_{yd}	=	f_{yk} / γ_s	=	400,00 / 1,21	=	330,58	Mpa	
	d	=	115,00	mm					= 0,115 m
	profil	=	10,00	mm	=	0,010 / 2,00	=	0,005	m
		=	0,00		=	0,0000 / 2,00	=	0,0000	m
	R	=		plocha	=	0,00	=	0,0000	m
Ohyb / Bend									
area of steel	Asl1	=	3,1400 * 0,0050 * 0,0050	* 8,00	=	0,00063	m2		
	Asl2	=	3,1400 * 0,0000 * 0,0000	* 0,00	=	0,00000	m2		
	Asl	=	Asl1 + Asl2	=	0,0006 + 0,0000	=	0,00063	m2	
N.As - N.O.	x	=	Asl * Fsd / 0,80 * b * fyd						
		=	0,0006 * 330,58 / 0,80 * 1,00 * 10,67	=	0,024	m			
	ξ	=	x / d	=	0,02 / 0,12	=	0,212	m	
	ξ	=	limitní			=	0,617		
	z	=	d * (0,80 * x * 0,50)			=			
		=	0,12 * (0,80 * 0,02 * 0,50)	=	0,105				
capacity moment	M	=	Asl * f * z * s	=					
		=	0,00063 * 330,58 * 0,11 * 1000	=	21,854	kNm			

- Celkové statické zhodnocení skladby střechy – C1 dle realizační kanceláře:

Statický výpočet - železobeton / static calculation - reinforced concrete

Mezní stavy únosnosti a použitelnosti podle normy - Limit states according to standards ČSN EN 1992-1-1

Nosník / deska - Beam / slab prvek **panel pod střechu 1,5+1** kN/m²
akce **PS81 Krejčíkova**

1. Zadání veličin / Input

Stupeň prostředí **XC-karb.** **XC1** **XC1** **XD-CI** **XA-chem** **XF-mráz** Návrhová životnost let
Třída konstrukce

Beton / concrete **C** **16 / 20** =B250 char. pevnost v tlak f_{ck} = **16,00** MPa
součinitel materiálu γ_c = **1,50**

Výztuž / reinforcement **10400** char. pevnost v tahu f_{yk} = **400,00** MPa
podle ČSN ISO 13822 součinitel materiálu γ_s = **1,21** upr.

Krytí vložek / covering
základní krytí c_{min} = **20,00** mm původní krytí celkem minimální **c** = **20,00** mm
tolerance $\Delta c_{dáv}$ = **0,00** mm krytí k nosné výztuži **c'** = **20,00** mm
korekce o profil sítěřmínku **0,00** mm účinná výška **d** = **115** mm

Schéma nosníku a výztuže / schemes

Řez / Cut **Rozměry**
b1 = **0,0** mm
hd = **0,0** mm
h = **140** mm
bw = **1000** mm

Pohled při zápor. momentu
horní nosná výztuž: 0,00 ϕ 0,00
spodní nosná výztuž: 0,00 ϕ 0,00
světlost L_s = **3600** mm

Smyková výztuž / shear reinf.
sklon diagonály $\cotg \theta$ = **1,75** min. 0,75d = 86,25 mm
Třmínek ϕ **0,00** ohyby **ne** počet ks **8,00** ϕ **10** mm
střížnost n **2,00** **0,00** ϕ **0,00** **0,00** ϕ **0** mm
vzdálenost s **1000,0** mm sklon = **45,00** **a125 mm**

2. Výsledky / Resultates

MSÚ - mezní stav únosnosti $L = 3700$ mm
statické schéma **prstý nosník**
hodnoty charakteristických a návrhových zatížení (kN/m)

0,75	1,13
0,28	0,42
0,00	0,00
2,96	4,00
2,24	3,02
0,00	0,00

Ohyb / Moment od jednotlivých zatížení
Moment = **1,93** kNm užité hlavní
0,72 kNm sněž. další užité
0,00 kNm příčky, pásové
6,84 kNm stálé
5,17 kNm vlastní hmotnost
0,00 kNm břemena v L/2

Celkem / Moments
Med = **14,66** kNm
12,88 kNm dle rov. 6.10b EN1990
MRd = **21,85** kNm
MRd = **0,00** pro T průřez
rezerva **8,97** kNm ku 6.10b
Med / Mrd **0,87** < **1,00** **vyhovuje**

Smyk / Shear
Ved = **10,25** kN
11,07 kN dle rov. 6.10b EN1990
VRd = **35,72** kN
jen beton = **35,72** kN s betonem **71,44**
jen ohyby = s ohyby
Ved / VRd **0,29** < **1,00** **vyhovuje**

Vyztužení ρ_{min} = **0,012** %
 ρ = **0,449** %
 ξ = **0,212** ξ_{lim} : 0,617 ξ / ξ_{lim} = **0,34** < **1,00** **vyhovuje**
Asl / Astmin = **4,59** > **1,00** **vyhovuje**
x = **0,024** m
 ξ / ξ_{lim} = **0,34** < **1,00** **vyhovuje**

8.4.3.2. Závěr statického výpočtu varianty C1:

Nosná konstrukce je stejná jako ve variantě A i B, tudíž dosahuje stejné hodnoty únosnosti v ohybu $M_{Rd} = 21,85$ kNm. Realizační firma provedla na stavbě skladbu vegetační střešní konstrukce, jejíž vnitřní účinek ohybového momentu dosáhl hodnoty $M_{Ed}=14,66$ kNm. Rezerva ohybového momentu se oproti původním návrhům zvýšila na hodnotu 7,19 kNm. Tato hodnota vypadá pro celkovou konstrukci vegetační střechy příznivě. Důležité je ale uvědomit si, že i v tomto případě uvažujeme střešní konstrukci jako nepochozí s užitným zatížením pro kategorii H ($0,75$ kN/m² – údržba a opravy). Záměrem střešní konstrukce je ovšem vytvořit pochozí střešní konstrukci, proto jsou dále uvedeny výsledky pro užitné zatížení kategorie C1 a kategorie C3.

8.4.3.3. Varianta C2 pro kategorii užitého zatížení C1:

Statický výpočet - železobeton / static calculation - reinforced concrete
 Mezní stavy únosnosti a použitelnosti podle normy - Limit states according to standards ČSN EN 1992-1-1

Nosník / deska - Beam / slab prvek panel pod střechem 1,5+1 kN/m²
 akce PS81 Krejčíkova

1. Zadání veličin / Input
 Stupeň prostředí XC-karb. XD-Cl XA-chem XF-mráz Návrhová životnost 0,00 let
 Třída konstrukce

Beton / concrete C 16 / 20 =B250 char. pevnost v tlak f_{ck} = 16,00 MPa
 součinitel materiálu γ_c = 1,50
 Výztuž / reinforcement 10400 podle ČSN ISO 13822 char. pevnost v tahu f_{yk} = 400,00 MPa
 součinitel materiálu γ_s = 1,21 upr.

Krytí vložek / covering
 základní krytí c_{min} = 20,00 mm původní krytí celkem minimální c = 20,00 mm
 tolerance Δc_{dov} = 0,00 mm krytí k nosné výztuži c' = 20,00 mm
 korekce o profil síťříminku 0,00 mm účinná výška d = 115 mm

Schéma nosníku a výztuže / schemes
 Řez / Cut Rozměry
 b1 = 0,0 mm
 hd = 0,0 mm
 h = 140 mm
 bw = 1000 mm

Pohled 0,00 0,00 při zápor. momentu
 horní nosná výztuž
 konstrukční výztuž
 spodní nosná výztuž
 světlá Ls 3800 mm

Smyková výztuž / shear reinf. sklon diagonály 0,00 ohyby ne
 cotg θ = 1,75 síťříminka n 2,00 vzdálenost s 1000,0 m m sklon α 45,00
 min. 0,75d 86,25 mm

Tahová výztuž / tensile reinf. počet ks 8,00 10
 0,00 0 mm
 at 125 mm

2. Výsledky / Resultates
 MSÚ - mezní stav únosnosti
 Ohyb od jednotlivých zatížení
 Moment = 7,70 kNm užitné hlavní
 0,72 kNm sníh, další užitné
 0,00 kNm příčky, pásové
 6,84 kNm stálé
 5,17 kNm vlastní hmotnost
 0,00 kNm břemeno v L/2

Celkem Momenty / Moments
 Med = 20,44 kNm dle rov. 6.10b EN1990
 MRd = 18,85 kNm
 MRd = 0,00 kNm pro T průřez
 rezerva 3,20 kNm ku 6.10b
 Med / MRd 0,94 < 1,00 vyhovuje

Smyk / Shear
 Ved = 16,50 kN dle rov. 6.10b EN1990
 = 11,07 kN
 VRd = 35,72 kN
 jen beton = 35,72 kN s betonem 71,44
 jen ohyby = s ohyby
 Ved / VRd 0,46 < 1,00 vyhovuje

Vyztužení ρ min = 0,012 % Asl / Astmin = 4,59 > 1,00 vyhovuje
 ρ = 0,449 % x = 0,024 m
 ξ = 0,212 ξ lim = 0,617 ξ / ξ lim = 0,34 < 1,00 vyhovuje

rozpětí L = 3700 mm
 statické schéma prostý nosník
 hodnoty charakteristických a návrhových zatížení (kN/m)

	3	4,50
3,00	4,50	
0,28	0,42	
0,00	0,00	
2,96	4,00	
2,24	3,02	
0,00	0,00	

Z těchto výsledků je patrné, že pokud zatížíme nosnou konstrukci nad posledním podlažím v Krejčíkově ulici vegetační střechou s užitečným zatížením 3 kN/m^2 dostáváme s k hodnotám ohybového momentu $M_{Ed} = 20,44 \text{ kNm}$. V takovém případě konstrukce vyhovuje s rezervou 1,41 kNm. Za minimální hodnotu užitého zatížení ploch pochozích střech mimo byty je možno považovat hodnotu 3 kN/m^2 . Tato hodnota bude také nejnižší při spojení

střechy nebo terasy s balkonem, kde právě 3 kN/m^2 jsou nižší předepsanou normovou hodnotou pro balkony.[27]

Protože v tomto případě jde o veřejně přístupnou střešní konstrukci, bylo by vhodnější uvažovat užité zatížení jako kategorii C3.

8.4.3.4. Varianta C3 pro kategorii užitého zatížení C3:

Statický výpočet - železobeton / static calculation - reinforced concrete

Mezní stavy únosnosti a použitelnosti podle normy - Limit states according to standards ČSN EN 1992-1-1

Nosník / deska - Beam / slab prvek panel pod střechu 1,5+1 kN/m²
akce PS81 Krejčíkova

1. Zadání veličin / Input

Stupeň prostředí XC-karb. XD-Cl XA-chem XF-mráz Návrhová životnost let
XC1 Třída konstrukce

Beton / concrete C 16 / 20 =B250 char. pevnost v tlak f_{ck} = 16,00 MPa
součinitel materiálu γ_c = 1,50

Výztuž / reinforcement 10400 podle ČSN ISO 13822 char. pevnost v tahu f_{yk} = 400,00 MPa
součinitel materiálu γ_s = 1,21 upr.

Krytí vložek / covering
základní krytí c_{min} = 20,00 mm původní krytí celkem minimální c = 20,00 mm
tolerance δ_{cov} = 0,00 mm krytí k nosné výztuži c' = 20,00 mm
korekce o profil sítě/vřínku 0,00 mm účinná výška d = 115 mm

Schéma nosníku a výztuže / schemes

Řez / Cut Rozměry
b1 = 0,0 mm
hd = 0,0 mm
h = 140 mm
bw = 1000 mm

Pohled při zápor. momentu
konstrukční výztuž
spodní nosná výztuž
světlost L_s 3800 mm

Smyková výztuž / shear reinf.
sklon diagonály $\tan \theta$ = 1,75
cotg θ = 1,75
min. 0,75d 86,25 mm

Tahová výztuž / tensile reinf.
Třmínek ϕ 0,00
síťžnost n 2,00
vzdálenost s 1000,0 mm
ohyby ne
počet ks 8,00 ϕ 10 mm
0,00 ϕ 0 mm
a125 mm

2. Výsledky / Resultates

MSÚ - mezní stav únosnosti
Ohyb od jednotlivých zatížení
Moment = 12,83 užité hlavní
0,72 sněž, další užité
0,00 příčky, pásové
6,84 stálé
5,17 vlastní hmotnost
0,00 břemeno v L/2

Celkem **Moments / Moments**
Med = 25,57 kNm
23,79 dle rov. 8.10b EN1990
MRd = 21,85 kNm
MRd = 0,00 pro T průřez
rezerva -1,93 kNm ku 6.10b
Med / Mrd 1,17 < 1,00 **nevyhoví**

Smyk / Shear
Ved = 22,05 kN
11,07 dle rov. 8.10b EN1990
VRd = 35,72 kN
jen beton = 35,72 kN s betonem 71,44
jen ohyby =
Ved / VRd 0,62 < 1,00 **vyhovuje**

Vyztužení ρ_{min} = 0,012 %
 ρ = 0,449 %
 ξ = 0,212 ξ_{lim} = 0,617 ξ / ξ_{lim} = 0,34 < 1,00 **vyhovuje**
Asl / Astmin = 4,59 > 1,00 **vyhovuje**
x = 0,024 m

rozpětí $L = 3700$ mm
střední schéma prostý nosník
hodnoty charakteristických a návrhových zatížení (kN/m)

5,00	7,50
0,28	0,42
0,00	0,00
2,96	4,00
2,24	3,02
0,00	0,00

Z těchto výsledků je vidět, že při použití užitého zatížení kategorie C3, nám ohybový moment únosnosti nosné konstrukce nevyhoví. Ohybový moment od zatížení dosahuje hodnoty $M_{Ed}=25,57\text{kNm}$. Oproti tomu hodnota únosnosti nosné konstrukce je $M_{Rd}=21,85\text{kNm}$. Rezerva únosnosti ohybového momentu byla zcela vyčerpána a došlo k jejímu přetížení o $3,72\text{kNm}$. V takovém případě dochází k porušení konstrukce.

8.5. Celkový závěr a řešení vegetační střechy v Krejčíkově ulici:

Ozn.	Popis návrhu střešní konstrukce	Užitné zatížení [kN/m^2]	Pochozí / Nepochozí	Moment únosnosti nosné konstrukce [kNm]	Ohybový moment od zatížení [kNm]	Rezerva ohybového momentu [kNm]	Vyhovuje / Nevyhovuje
A	Podle původního návrhu projektu	0,75	Nepochozí	21,85	17,76	4,09	Vyhovuje
B	Skutečný stav zjištěný ze sond a měření	0,75	Nepochozí	21,85	21,35	0,5	Vyhovuje
C1	Návrh realizační firmy	0,75	Nepochozí	21,85	14,66	7,19	Vyhovuje
C2	Návrh realizační firmy	3	Pochozí	21,85	20,44	1,41	Vyhovuje
C3	Návrh realizační firmy	5	Pochozí	21,85	25,57	-3,72	Nevyhovuje

Tab. 31: Výsledky řešení vegetační střechy v Krejčíkově ulici v Plzni

Z výše uvedené tabulky je patrné, jak vychází jednotlivé návrhy variant. Nejlépe vychází návrh vegetační střešní konstrukce (varianta C1), která je provedena jako nepochozí. V případě návrhu pochozí vegetační střechy vychází i varianta C2, je ovšem zapotřebí si uvědomit, že se jedná o veřejně přístupnou střešní konstrukci a tak by mělo být spíše uvažováno s hodnotou užitého zatížení 5 kN/m^2 (varianta C3). Tato varianta ovšem ze statického hlediska nevyhovuje. Posouzení jsou zpracována pouze na mezní stav únosnosti.

Při porovnání obou posudků zjistíme, že střešní konstrukci můžeme zatížit užitným zatížením až 3 kN/m^2 (dostáváme se však na hranici bezpečnosti). Toto lze ovšem pouze díky zjištěné třídě výztuže 10 400, která byla v panelech objevena (u jiných typů těchto panelů je obvykle výztuž s nižšími hodnotami). Lepší výztuž zde byla pravděpodobně z důvodu původní myšlenky udělat střechu jako pobytovou (věšení prádla apod.). U bytových objektů stejného typu (PS61) nedoporučuji navrhovat vegetační střechu jako pochozí.

Řešení problému:

- Z hlediska statiky je možné danou střechu provést jako vegetační střechu nepochozí se zatížením pouze pro možnou údržbu a opravy.
- V případě vytvoření vegetační střešní konstrukce pochozí je nutné zajistit, aby byl omezen přístup lidí na střešní konstrukci. Zároveň by nemělo docházet k lokálnímu shlukování lidí v jenom místě střešní konstrukce, protože by mohlo dojít k přetížení konstrukce. Jednou možností je omezení vyššího užitečného zatížení provozními předpisy, tabulkou s nosností.
- Další důležitým faktorem pro zvážení vytvoření pochozí vegetační střechy je její stáří. Bytový dům byl postaven po roce 1961, takže jedná o šedesátiletou stavební konstrukci a v takovém případě je důležité přistupovat k objektu se zvýšenou statickou rezervou.
- Je podstatné zmínit, že v tomto objektu panelové soustavy PS61 bylo použito panelů s vyšší únosností než je u podobných objektů obvyklé. V případě jiných objektů (podobného typu) by nosná konstrukce nemusela přenést zatížení od podobné skladby pochozí vegetační střechy.
- Vrstvy nové skladby mimo substrát, jsou díky lehké tepelné izolaci a absenci jiných vrstev s velmi malým zatížením, což přispívá k vyššímu užitečnému zatížení.
- Není možné vyloučit zatížení od sněhu a v případě konstrukcí a vybavení nad střešní rovinou je nutné uvažovat i možnost tvoření sněhových návějí.

Při navrhování vegetačních střech je důležité si v první řadě uvědomit rozdíl při návrhu vegetační střechy na stávající objekt a při návrhu vegetační střechy na novostavbu.

U stávajícího objektu musíme brát v potaz jeho stáří, únosnost nosné konstrukce pod úrovní střešní skladby a technický stav celého objektu. Z těchto důvodů je klíčové počítat s vyšší statickou rezervou.

U konceptu nového objektu je možné si nosnou konstrukci pod úrovní střechy vytvořit s požadovanou únosností (únosnější materiály, vyšší třídy betonu, úprava profilů výztuže apod.), díky tomu je projektant schopný navrhovat konstrukci s vyšším procentuálním využitím a menší statickou rezervou než u stávajícího objektu.

Dalšími faktory mimo statiku je protipožární a bezpečnostní opatření na střeše, možnosti úniku osob, řešení odvodnění a zavodnění rostlin a zejména pravidelná údržba porostu a prvků střechy.

8.6. Provedená fotodokumentace stavby:

8.6.1. Fotodokumentace - původní stav:



Obr. 87: Provádění sond skutečného stavu - fotografie



Obr. 88: Detail prováděné sondy - fotografie



Obr. 89: Zjišťování vrstvy násypu, 260 mm - fotografie



Obr. 90: Odstranění původní skladby - fotografie



Obr. 91: Rekonstrukce střešní konstrukce - fotografie



Obr. 92: Odstraňování původní skladby - fotografie

8.6.2. Fotodokumentace – položení hydroizolace:



Obr. 93: Položení hydroizolační vrstvy – fotografie 1



Obr. 94: Položení hydroizolační vrstvy – fotografie 2



Obr. 95: Detail položení hydroizolační vrstvy - fotografie

8.6.3. Fotodokumentace – poškození konstrukce:



Obr. 96: Vznik trhlin na stropních panelech - fotografie



Obr. 97: Použití metody sádrových terčů - fotografie



Obr. 98: Rohové poškození konstrukce - fotografie

8.6.4. Fotodokumentace – zjišťování technického stavu panelů:



Obr. 99: Zjišťování výztuže - fotografie



Obr. 100: Zjištění profilu výztuže, profil 10 - fotografie



Obr. 101: Zjišťování krycí vrstvy, 20 mm – fotografie

8.6.5. Fotodokumentace – nový stav:



Obr. 102: Nový stav vegetační střechy – fotografie 1



Obr. 103: Nový stav vegetační střechy – fotografie 2

9. Závěrečné shrnutí diplomové práce:

Cílem mé diplomové práce bylo řešení vegetačních střech na stávajících a nových objektech.

V první části jsem se zabýval komplexním řešením vegetačních střech. Snažil jsem se popsat jejich hlavní význam a důvody, kvůli kterým jsou vegetační střechy často preferovaným řešením dnešní výstavby. Zároveň jsem uvedl jejich základní rozdělení z několika různých hledisek. Dále jsem se zabýval jejich historií a postupným vývojem. Významným bodem bylo zhodnocení výhod a nevýhod, které vegetační střechy přinášejí. Následně jsem popsal klíčové vlastnosti vegetačních střech, protože je důležité před začátkem projektu vědět, co tyto konstrukce obnášejí a co od nich lze očekávat. Na závěr první části jsem se zabýval jednotlivými vrstvami vegetační střešní skladby, které by se mohly v konstrukci objevit. V tomto bodě jsem se také částečně zabýval hlavními používanými materiály.

V druhé části diplomové práce jsem rozebral dva objekty z konstrukčního hlediska, které bývá častým problémem vegetačních střech. První objekt je novostavba monolitického bytového domu v Perucké ulici v Praze. Druhým objektem je stávající stavba panelového bytového domu v Krejčíkově ulici v Plzni.

U prvního objektu jsem posoudil dvě skladby S01 a S02. Provedl jsem jejich analýzu zahrnující různé způsoby využití střechy a variantní skladby střešního souvrství. V analýze první skladby bylo mým cílem dokázat, že při správně navržené extenzivní vegetační skladbě střechy jsou vnitřní účinky na nosnou konstrukci obdobné (či téměř stejné) jako u skladby ploché střechy s ochrannou vrstvou z vymývaného kačírku. Výše uvedené platí pouze v případě, že obě střechy jsou navrženy jako nepochozí - s užitným zatížením kategorie H, které je definováno pouze pro údržbu a opravy. Nakonec jsem uvedl důvody, proč je lepší využívat spíše zelené střechy. U skladby S02 jsem prokázal vliv rozdílných způsobů užívání zelené střechy na změnu vnitřních účinků nosné konstrukce. Návrh jsem rozdělil do čtyř různých variant podle velikosti užitného zatížení a způsobu užívání.

Druhým objektem je stávající panelový objekt v Plzni. S využitím analýzy z předchozího modelového příkladu jsem provedl rozbor statického posudku. V tomto případě se jednalo o problém návrhu vegetační střechy na stávající objekt právě z hlediska jejího využití. Zde jsem posoudil celkem 5 variant (A, B, C1, C2, C3), ze kterých bylo prokázáno, že provádění pochozích vegetačních střech na obdobném panelovém systému (PS61), nemusí být vždy vyhovující. K tomuto závěru přispělo zjištění, že byly použity únosnější panely, které nejsou u

tohoto systému obvyklé. Zároveň zde bylo prokázáno, že je zcela nezbytné ověření skutečného stavu a únosnosti původní stavební konstrukce u stávajících objektů.

Kromě statického řešení je třeba při návrhu a provozu střechy řešit i další faktory. Jedná se o protipožární a bezpečnostní opatření na střeše, možnosti úniku osob, řešení odvodnění a zavodnění rostlin a zejména pravidelná údržba porostu a prvků střechy.

10. Seznam citovaných zdrojů:

- [1] ISOVER.CZ. *isover.cz* [online]. [cit. 3.11.2020]. Dostupný na WWW: <https://www.isover.cz/ke-stazeni/prospekt-vegetacni-strechy>
- [2] POKORNÁ, Yvonne. *Visuté zahrady babylónské. Badatelka vypátrala tajemnou lokaci jednoho ze sedmi divů světa* [online]. [cit. 31.10.2020]. Dostupný na WWW: <https://www.extrastory.cz/visute-zahrady-nebyly-babylonske-badatelka-vypatrala-tajemnou-lokaci-jednoho-ze-sedmi-divu-sveta>
- [3] CHALOUPKA, Karel; SVOBODA, Zbyněk. *Ploché střechy*. Praha 7: Grada Publishing a.s., 2009, ISBN 978-80-247-2916
- [4] BELOHRUBÁ, Petra. *Augustovo mauzoleum a fórum: hrobka římských císařů* [online]. [cit. 1.11.2020]. Dostupný na WWW: <https://www.radynacestu.cz/magazin/augustovo-mauzoleum-a-forum/>
- [5] DICK, Everett. *Sod House* [online]. [cit. 31.10.2020]. Dostupný na WWW: <https://www.hisour.com/sod-house-29722/>
- [6] SEDLÁČKOVÁ, Jana. *JIŽNÍ TERASA ZÁMKU KONOPIŠTĚ* [online]. [cit. 1.11.2020]. Dostupný na WWW: <https://www.novinky.cz/domaci/clanek/podivejte-se-na-zamek-konopiste-tak-trochu-jinak-322912>
- [7] VINŠOVÁ, Hana. *Nová budova ČSOB v Radlicích* [online]. [cit. 1.11.2020]. Dostupný na WWW: https://www.imaterialy.cz/rubriky/zajimava-stavba/nova-budova-csob-v-radlicich_47741.html

- [8] DOHNAL, Radomír. *Městské tepelné ostrovy? Globální problém s lokálním řešením* [online]. [cit. 2.11.2020]. Dostupný na WWW: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/mestske-tepelne-ostrovy-globalni-problem-s-lokalnim-resenim>
- [9] KÖHLER, Manfred. *Náklady životního cyklu zelených střech: Srovnání Německa, USA a Brazílie* [online]. [cit. 2.11.2020]. Dostupný na WWW: https://www.researchgate.net/publication/246686427_Life_Cycle_Costs_of_Green_Roofs_A_Comparison_of_Germany_USA_and_Brazil
- [10] NOVOTNÝ, Marek; MISAR, Ivan. *Ploché střechy*. Praha - Holešovice: Grada Publishing a.s., 2003, ISBN 80-7169-530-0.
- [11] MINKE, Gernot. *ZELENÉ STŘECHY Plánování, realizace, příklady*. Ostrava-Plesná: HEL, 2008, ISBN 80-86167-17-8.
- [12] MINKE, Gernot. *Zelené střechy - ekologické a ekonomické výhody, pasivní vytápění a chladičí efekt* [online]. [cit. 10.11.2020]. Dostupný na WWW: <https://stavba.tzb-info.cz/strechy/4874>
- [13] HANZALOVÁ, Lenka; ŠILAROVÁ, Šárka a kol. *Ploché střechy*. Praha: Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 2005, ISBN 80-86769-71-2.
- [14] VAVRO, René. *Rekonstrukce tramvajové vozovny* [online]. [cit. 16.11.2020]. Dostupný na WWW: https://www.pmdp.cz/pro-media/tiskove-zpravy/doc/rekonstrukce-tramvajove-vozovny-odstartovala-3033/newsitem.htm?fbclid=IwAR0a3g6hmG-N_E1rMCEYB0K86L15ToKEycAU-MGuNyrLXNx7q2NIBxE8fE
- [15] ČERMÁKOVÁ, Barbora; MUŽÍKOVÁ, Radka. *Ozeleněné střechy*. Praha 7: Grada Publishing a.s., 2009, ISBN 978-80-247-1802-6.
- [16] SKŘIVAN, David. *Zelené střechy a zahrady* [online]. [cit. 17.11.2020]. Dostupný na WWW: <https://www.strechy-skrivan.cz/zelene-strechy.html>
- [17] SZUS. *Skladba vegetačního souvrství* [online]. [cit. 17.11.2020]. Dostupný na WWW: <http://www.szuz.cz/cs/>
- [18] COLEMANSI. *Asfaltové pásy* [online]. [cit. 3.12.2020]. Dostupný na WWW: <http://www.coleman.cz/pascal/>

- [19] PRO DOMA. *Perfektní hydroizolační fólie pro ploché střechy* [online]. [cit. 3.12.2020]. Dostupný na WWW: <https://www.pro-doma.cz/poradna/perfektni-hydroizolacni-folie-pro-ploche-strechy-30/>
- [20] TZB-INFO. *TZB-INFO* [online]. [cit. 3.12.2020]. Dostupný na WWW: <https://stavba.tzb-info.cz>
- [21] A-GLASS. *A_GLAS - Pěnové sklo* [online]. [cit. 3.12.2020]. Dostupný na WWW: <http://www.a-glass.cz/desky-z-penoveho-skla/>
- [22] SCHILHART, Eduard. *Navrhování odvodnění plochých střech 1 – Gravitační systémy* [online]. [cit. 21.12.2020]. Dostupný na WWW: https://www.imaterialy.cz/rubriky/technologie/navrhovani-odvodneni-plochych-strech-1-gravitacni-systemy_45154.html
- [23] SELNÍK, Petr; BEČKOVSKÝ, David. *Webinář: Navrhování zelených střech 5.11.2020* [online]. [cit. 21.12.2020]. Dostupný na WWW: https://www.youtube.com/watch?v=ZuZqgSje0u0&ab_channel=Radaprozelen%C3%A9st%C5%99echy%2Cz.s
- [24] ACO, Aco. *Odvodnění střech, balkonů a teras* [online]. [cit. 21.12.2020]. Dostupný na WWW: <https://www.aco.cz/produkty/odvodneni-strech-balkonu-a-teras/aco-spin-stresni-gravitacni-vpusti>
- [25] HOLICKÝ, Milan; MARKOVÁ, Jana. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Kloknerův ústav, ČVUT, 2004, ICS 91.010.30.
- [26] JANISCH, Filip; BUŘIČ, Pavel. *Příloha 1 - Statické posouzení ploch střechy*. Česká Třebová: Atelier Dek, 2019, STUPEŇ: POSUDEK
- [27] VEJVARA, Luděk; HONZÍK, Václav. *Vegetační neboli zelené střechy a jejich stavebně statické řešení* [online]. [cit. 5.1.2021]. Materiál k jednání Aktivitu Statika, diagnostika a zkoušení staveb, mosty a inženýrské konstrukce
- [28] VEJVARA, Luděk; PETRÁŠ, Václav; PAVLEČKA, Vlastimil a kol. *Archiv fotografií autora a firmy VEJVARA PROJEKT s.r.o.* [cit. 5.1.2021]

11. Seznam použitých zdrojů:

- **Použitá literatura:**

- Gernot Minke – Zelené střechy
- Barbora Čermáková, Radka Mužíková – Ozeleněné střechy
- Luděk Vejvara, Václav Honzík – Vegetační neboli zelené střechy a jejich stavebně statické řešení
- Marek Novotný, Ivan Misar – Ploché střechy
- Karel Chaloupka, Zbyněk Svoboda – Ploché střechy
- Lenka Hanzalová, Šárka Šilarová a kolektiv – Ploché střechy

- **Použité normy:**

- ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991 Zatížení konstrukcí
- ČSN EN 1992 Betonové konstrukce
- ČSN 73 0600 Hydroizolace staveb – základní ustanovení
- ČSN 73 0606 Hydroizolace staveb – povlaková hydroizolace – základní ustanovení
- ČSN 73 1901 Navrhování střech – základní ustanovení
- ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov
- ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty
- ČSN 74 3305 Ochranná zábradlí
- ČSN ISO 13822 – Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí

- **Použité programy a softwary:**

- Microsoft Word 2016
- Microsoft Excel 2016
- AutoCAD 2018
- FIN EC 2021 Demoverze
- Cadkon+ 2021

- **Použité webové stránky:**

www.zelenestrechy.cz

www.tzb-info.cz

www.isover.cz

www.dek.cz

www.dumy.cz

- **Použité webináře:**

- Webinář: Navrhování zelených střech konaný 5. 11. 2020, Ing. Petr Selník, Ing. David Bečkovský Ph.D.