

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra betonových a zděných konstrukcí



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Drátkobetonová podlaha ve skladovací hale

Steel fibre reinforced concrete floor in the storage hall

Jan Čejchan

2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Čejchan** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **501880**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra betonových a zděných konstrukcí**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Specializace: **Pozemní stavby**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Drátkobetonová podlaha ve skladovací hale

Název bakalářské práce anglicky:

Steel fibre reinforced concrete floor in the storage hall

Pokyny pro vypracování:

- 1) Odborná studie na téma drátkobeton: složení, vlastnosti, výhody – nevýhody, specifika technologie.
- 2) Odborná studie o průmyslových podlahách: požadavky, technologické varianty, namáhání, poruchy a jejich příčiny, návrh a analýza.
- 3) Pro podlahu výrobní/skladovací haly navrhnete drátkobetonovou podlahu.

Seznam doporučené literatury:

- Mario Collepardi: Moderní beton; kapitola 20 Beton vyztužený vlákny
- přednáška Co je to vláknobeton
https://www.betonuniversity.cz/uploads/sources/prezentace/181ae4d8f1146d600cdb9fcf262c8d3d55ecef28_uploaded_16-bu2010-co-je-vlaknobeton-jan-vodicka.pp
- TP FC 1-1 Technické podmínky 1: Vláknobeton – Část 1 Zkoušení vláknobetonu Vyhodnocení destruktivních zkoušek a stanovení charakteristického pracovního diagramu vláknobetonu pro navrhování vláknobetonových konstrukcí.
- R.Hela, P.Klablena, J.Krátký, J.Procházka, P.Štěpánek, J.Vácha: Betonové průmyslové podlahy
- Jan Loško, Lukáš Vráblík, Jaromír Jaroš: Nová metoda návrhu průmyslových podlah z vláknobetonu
https://people.fsv.cvut.cz/~vrabluk/Pomucky/Fibredeck_clanek.pdf
- https://people.fsv.cvut.cz/~vrabluk/Pomucky/Fibredeck_poster.jpg
- <https://www.betontks.cz/archiv/>
- atd.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Iva Broukalová, Ph.D. katedra betonových a zděných konstrukcí FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **23.02.2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20.05.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

doc. Ing. Iva Broukalová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Lukáš Vráblík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod odborným vedením doc. Ing. Ivy Broukalové, Ph.D. a veškeré použité zdroje informací jsou uvedeny v seznamu literatury v závěru této práce.

Jan Čejchan

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval všem, kteří mi poskytli podporu a inspiraci během mé bakalářské práce.

Nejprve bych rád vyjádřil svůj vděk mé vedoucí bakalářské práce, doc. Ing. Ivě Broukalové Ph.D. za její cenné rady, odborné vedení a trpělivost během celého procesu tvorby této práce.

Děkuji také své rodině a blízkým za jejich neustálou podporu, povzbuzení a pochopení v průběhu mého studia.

Nakonec děkuji svým přátelům a kolegům za jejich povzbudivá slova, pomocné ruce a podnětné diskuse, které mi pomohly rozvinout své myšlenky a překonat překážky.

Tato práce by nebyla možná bez vaší podpory a přínosu. Velmi si toho vážím.

ABSTRAKT

Drátkobetonové podlahy představují výhodné řešení podlah z hlediska technických vlastností a ekonomické efektivity. Tato bakalářská práce se zaměřuje na návrh drátkobetonové podlahy ve skladovací hale. V úvodní části je popsán drátkobeton, jeho vlastnosti, výhody, nevýhody a typická použití. Dále práce přibližuje specifika průmyslových podlah včetně jejich technologických variant, obecných požadavků a typů zatížení. Následuje popis provádění průmyslových podlah, zahrnující jednotlivé vrstvy průmyslových podlah, uložení a ošetření. V části věnované návrhu průmyslových podlah je popsán postup návrhu, možnosti analýz pro hodnocení chování konstrukcí a jednotlivé modely podloží. Konečná fáze zahrnuje modelování a posouzení navržené podlahy pomocí softwaru SCIA Engineer z hlediska mezních stavů únosnosti a použitelnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Drátkobeton, betonové průmyslové podlahy, analýza, modely podloží, návrh

ABSTRACT

Steel-fiber-reinforced concrete floors represent a beneficial flooring solution in terms of technical properties and economic efficiency. This bachelor's thesis focuses on the design of a steel-fiber-reinforced concrete floor in a storage hall. The introductory section describes steel-fiber-reinforced concrete, its properties, advantages, disadvantages, and typical uses. The thesis then details the specifics of industrial floors, including their technological variants, general requirements, and types of loads. This is followed by a description of the construction of industrial floors, encompassing the individual layers, placement, and treatment of the concrete. The section on the design of industrial floors outlines the design process, possible analyses for assessing structural behavior, and various subsoil models. The final phase involves modeling and evaluating the designed floor using SCIA Engineer software in terms of ultimate and serviceability limit states.

KEY WORDS

Steel-fiber-reinforced concrete, concrete industrial floors, analysis, subsoil models, design

Obsah

1.	Drátkobeton	7
1.1.	Složení	8
1.2.	Vlastnosti	10
1.3.	Výhody a nevýhody	13
2.	Betonové průmyslové podlahy	14
2.1.	Technologické varianty betonových podlah	14
2.1.1.	Prosté betonové podlahy	15
2.1.2.	Slabě vyztužené železobetonové podlahy.....	15
2.1.3.	Železobetonové podlahy	16
2.1.4.	Betonové podlahy s vlákny.....	16
2.1.5.	Předpjaté podlahy	16
2.2.	Obecné požadavky	17
2.3.	Zatížení průmyslových podlah.....	18
2.3.1.	Vlastní tíha a ostatní stálá zatížení.....	18
2.3.2.	Užitná zatížení skladovacích a provozních ploch.....	18
2.3.3.	Zatížení od vysokozdvíhacích vozíků	19
2.3.4.	Teplotní zatížení.....	20
2.3.5.	Zatížení od smršťování betonu, dotvarování betonu	21
2.4.	Poruchy průmyslových podlah	21
3.	Provádění betonových průmyslových podlah.....	22
3.1.	Vrstvy betonových podlah	22
3.2.	Uložení betonu.....	23
3.3.	Ošetření podlah	24
3.4.	Spáry v betonových podlahách.....	24
4.	Navrhování a analýza.....	26
4.1.	Analýza	26

4.2.	Navrhování.....	27
4.2.1.	Modely podloží	27
4.2.2.	Vnitřní síly podlahové desky	29
4.2.2.1.	Analytické vztahy pro určení vnitřních sil.....	29
4.2.2.2.	Výpočetní programy	30
5.	Drátkobetonová podlaha v průmyslové budově	31
5.1.	Materiálové charakteristiky	31
5.2.	Návrh optimálního množství vláken a posouzení na kombinaci momentu a normálové síly.....	33
5.3.	Posouzení smykové únosnosti	34
5.4.	Šířka trhlin	35
5.5.	Posouzení omezení napětí.....	35
5.6.	Nesilová zatížení.....	37
5.6.1.	Napětí od změny teploty	37
5.6.2.	Smršťování.....	37
5.6.3.	Opatření vůči nesilovým účinkům	40
	Závěr	41
	Seznam literatury	42
	Seznam příloh	46

1. Drátkobeton

Beton je jedním z nejvíce používaných stavebních materiálů na světě. Nicméně od počátku 19. století je známo, že má malou tahovou pevnost. Kombinace malé tahové pevnosti s křehkým chováním způsobuje náhlé tahové selhání bez varování. To je zřejmě nežádoucí vlastnost pro jakýkoli stavební materiál. Proto potřebuje beton nějakou formu tahové armatury, aby kompenzoval své křehké chování a zlepšil svou tahovou pevnost a schopnost deformace pro použití ve stavebních aplikacích. [2][6]

Historicky byla ocel používána jako materiál pro tahovou armaturu betonu. Na rozdíl od tradičních vyztužovacích tyčí, které jsou speciálně navrženy a umístěny v tahové zóně betonového prvku, jsou vlákna drátkobetonu tenká, krátká a distribuovaná náhodně po celém prvku. Samotný drátkobeton, známý také jako SFRC z anglického steel fibre reinforce concrete, představuje kompozitní materiál. Jedná se o jeden z druhů vláknobetonů s rozptýlenou kovovou výztuží, tedy drátky. Ocelové drátky lze definovat jako krátké, nespojitě kusy oceli s poměrem délky k průměru v rozmezí 20 až 100, které mají několik různých průřezů a jsou dostatečně malé, aby se snadno a náhodně rozptýlily v čerstvé betonové směsi pomocí běžných míchacích postupů. [6][12]



Obrázek 1 Drátkobeton

Vlastnosti drátkobetonu vynikají v oblasti tahové pevnosti a odolnosti proti vzniku a šíření smršťovacích trhlin. V posledních letech stoupá jeho popularita a objevují se nové použití drátkobetonu v konstrukcích, ve kterých je možné částečně nebo zcela nahradit tradiční prutovou výztuž ocelovými drátky, které jsou rovnoměrně rozptýleny v betonu,

což vede ke snížení nákladů na práci, čas a finančních prostředků. Použití drátkobetonu se rozšiřuje nejen pro průmyslové podlahy a základové desky, ale také pro ostění tunelů, tenkostěnné konstrukce a vodohospodářské stavby. Drátkobeton se také používá k vytváření základů strojů a jiných prvků vystavených dynamickým zatížením. [1][3][10]

1.1. Složení

Jednotlivé složky jsou stejné, jako je tomu v případě obyčejného betonu. Směs je „pouze“ obohacena o složku vláken, tedy v našem případě drátků. [11]

Tyto dráty by měly být dostatečně dlouhé, aby procházely celým prostorem mezi sousedními zrny hrubé frakce kameniva a ideálně zasahovaly až za tato zrna, aby se mohly opřít o jejich strukturu. Délka drátů je tedy závislá na velikosti a množství použité hrubé frakce kameniva. [3][12]

Cementové matrice jsou křehké materiály s nízkou tahovou pevností. Přidání drátků rovnoměrně rozptýlených v těchto maticích významně zlepšuje jejich odolnost proti vzniku a rozvoji trhlin. Nicméně, začlenění drátků do prostého betonu narušuje zrnitou kostru a rychle způsobuje problémy s mícháním v důsledku ztráty zpracovatelnosti směsi, což se projevuje obtížným litím betonu na místě stavby. [4][5]

Náhodná orientace a přítomnost ocelových vláken po celé hmotě betonu je hlavním přispěvatelem k posílení pevnosti, kterou beton projevuje ve svém ztvrdlém stavu. Když jsou krátká ocelová vlákna vmíchaná do betonu, obsadí mezigranulární prostory existující kolem hrubého kameniva společně s hydratovanou cementovou pastou. Drátky obklopují většinu hrubého kameniva přítomného ve směsi a jejich rozložení v matici malty je obvykle pozorováno jako náhodné. [4][7]

Důležitou vlastností drátů je také jejich ohybová tuhost, která musí být dostatečně velká, aby drátky zachovaly svůj původní tvar během míchání, ukládání a hutnění směsi. [10]



Obrázek 2 Drátkobeton znázorňující typické náhodné rozložení ocelových vláken v betonové směsi

Minimální hmotnostní koncentrace vláken v jednom kubickém metru drátkobetonu by mělo být v rozmezí od 20 do 50 kg.m⁻³ v závislosti na konkrétním typu drátkobetonu. Tato rozptýlená vlákna zajišťují, že ani po vzniku trhliny v kritickém průřezu nedojde k náhlému selhání, protože tahové napětí je přeneseno právě rozptýlenou výztuží. [10][12]

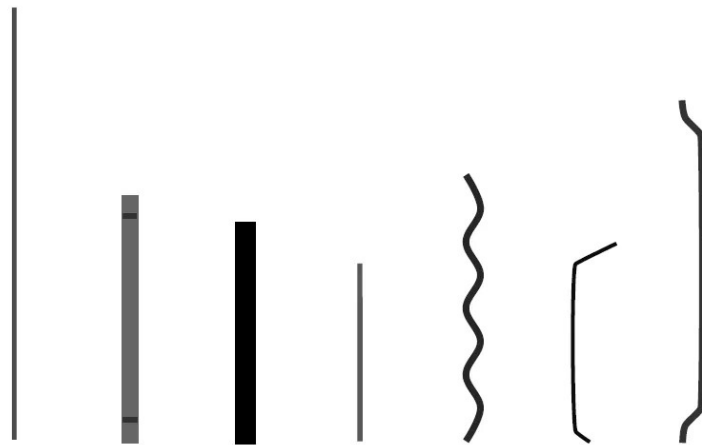
S rostoucím množstvím vláken v betonové směsi se její zpracovatelnost výrazně snižuje, což vede k tomu, že při určité koncentraci vláken již směs nelze adekvátně zhutnit. Proto je vhodné do drátkobetonu přidávat plastifikátory nebo ztekucovače, které zlepšují zpracovatelnost směsi a umožňují zvýšení maximální koncentrace vláken. [8]

Pro výrobu vláken se nejčastěji používá ocel (surová, pocínovaná nebo pozinkovaná), stejně jako slitiny niklu a hliníku. Pro speciální vlákna se pak využívají materiály jako platina, wolfram, molybden nebo beryllium.

Ocelové drátky se dělí dle použitého základního materiálu pro jejich výrobu do skupin:

- Skupina I – za studena tažený drátek,
- Skupina II – drátky stříhané z plechu,
- Skupina III – drátky oddělované z taveniny,
- Skupina IV – drátky protahované z drátu taženého za studena,
- Skupina V – drátky frézované z ocelových bloků. [10]

Kamenivo použité pro výrobu drátkobetonu by mělo splňovat stejná kritéria jako kamenivo pro běžné stavební betony, včetně požadavků na jeho kvalitu. Při návrhu směsi drátkobetonu platí obdobná pravidla jako pro běžné betony, s výjimkou vodního součinitele, který je klíčovým faktorem. Ideální poměr vodního součinitele je mezi 0,4 a 0,5, což zajišťuje, že se vlákna během výroby, přepravy a zpracování směsi nebudou oddělovat nebo shlukovat. Výsledný beton s nižším vodním poměrem je kompaktnější, s menším množstvím mikropórů a trhlin, což znesnadňuje pronikání agresivních látek z okolního prostředí. [2][6][12]



Obrázek 3 Ocelové drátky

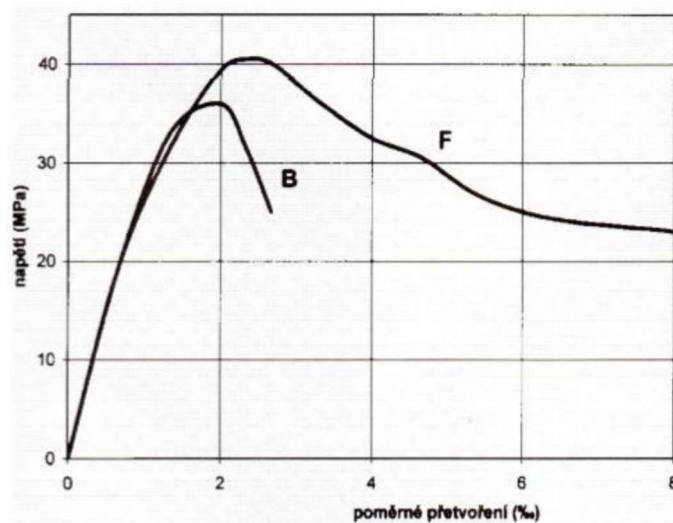
1.2. Vlastnosti

Jednou z klíčových proměnných ovlivňujících chování drátkobetonů je objemový podíl drátků. S rostoucím obsahem drátků je pravděpodobnější, že se drátky protínají s trhlinami, což zajišťuje schopnost matrice přemostit trhliny a zlepšit chování kompozitu po vzniku trhliny. Vysoký obsah vláken může zlepšit chování v tahu tak, že maximální tahové napětí betonu je vyšší než napětí při vzniku první trhliny. S rostoucím obsahem drátků také mírně stoupá modul pružnosti, toto zlepšení především plyne z vyššího modulu pružnosti ocelových vláken. Nicméně, drátkobeton obvykle mají nižší modul pružnosti než běžný beton bez vláken. To je proto, že drátkobeton vyžaduje menší množství hrubého kameniva než běžný beton. Samozřejmě jsou zde i některé nevýhody zvyšování obsahu vláken, je třeba stanovit limity na maximální objemový podíl vláken kvůli problémům se zpracovatelností. Zvýšení obsahu vláken zhorší zpracovatelnost, protože vlákna snižují objem cementové pasty, která má obalit hrubé kamenivo a vlákna a zajistit volný pohyb drátkobetonové směsi. Výsledkem je, že výroba drátkobetonu

s vysokým obsahem vláken často vyžaduje speciální metody míchání a ukládání. Ačkoliv maximální obsah vláken pro dostatečnou zpracovatelnost závisí na mnoha proměnných, včetně podmínek ukládání, množství výztuže, složení směsi betonu a vlastností drátků, doporučuje se pro standardní drátkobetonu maximální objemový podíl vláken 2,0 %. [2]

Poměr délky drátku k průměru drátku (štíhlostní poměr), má významný vliv na účinnost vyztužení vlákny. Při stejném objemovém podílu drátků vyšší štíhlostní poměr povede k větší ploše povrchu drátků, což zaručí spolupůsobení mezi vlákny a maticí, to má za následek tvrdší matici a zlepšené chování kompozitu. Čili drátky s vyšším štíhlostním poměrem (stejný průměr, ale různá délka) vytvoří drátkobeton s vyšší pevností a s významně vyšší odolností. [1][8][12]

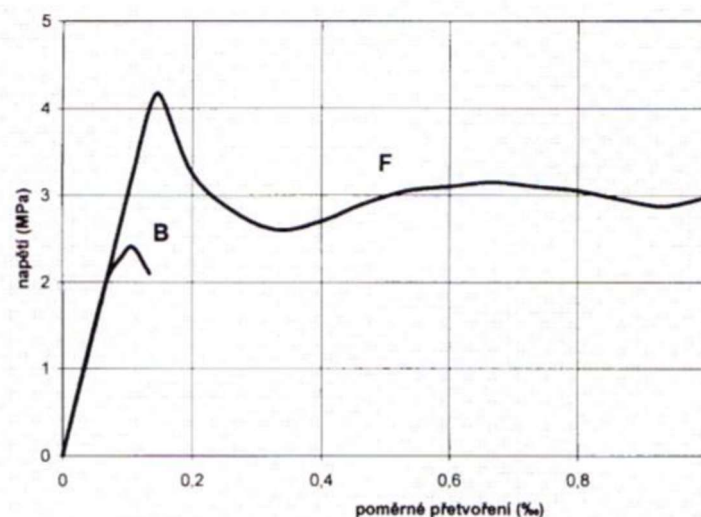
Drátky mají také vliv na tlakovou pevnost. Začlenění ocelových vláken do betonu zvyšuje při zachování hutné směsi hodnotu tlakové pevnosti. Toto zvýšení se pohybuje od marginálních po významné zvýšení tlakové pevnosti. U drátkobetonu se výrazně projevuje jeho velká schopnost plastického přetvoření po dosažení maximálního napětí (pevnosti v tlaku). Po dosažení maximálního napětí dochází k jeho poklesu a při snížení na cca 50 % maximální hodnoty se napětí dále nemění a větev pracovního diagramu drátkobetonu má vodorovný směr. Tato vlastnost drátkobetonu, zpomalující proces jeho porušování, je způsobena aktivací drátků po vzniku trhlin v betonu a podstatně se liší od charakteristického tlakového porušení prostého betonu. Vliv ocelových vláken na tlakovou pevnost drátkobetonu závisí na betonové směsi, druhu a množství ocelových vláken a výrobním procesu. [10][12]



Obrázek 4 Pracovní diagram drátkobetonu (F) a prostého betonu (B) v tlaku

Další vliv mají drátky na zvýšení houževnatosti betonu a jeho schopnosti odolávat tahovému napětí. Oproti prostému betonu, který má tendenci porušení křehkým lomem při náhlém zatížení, drátkobeton vykazuje větší odolnost vůči trhlinám. To je důsledek aktivace drátků v místě vznikajících mikrotrhlin, které brání jejich prodlužování a rozevírání. Tento mechanismus umožňuje oddálit vznik makrotrhlin a vyžaduje vyšší energii pro destrukci materiálu, což přispívá k jeho dlouhodobé stabilitě a životnosti. [11]

Dalším důležitým faktorem je vliv drátků na tahové vlastnosti betonu. V porovnání s běžným betonem je drátkobeton schopen dosahovat vyšších tahových pevností a houževnatostí. To lze pozorovat na pracovním diagramu v tahu, kde je patrné zvýšení pevnosti a odolnosti drátkobetonu i po vzniku viditelných trhlin. Drátky tak umožňují přenášet i reziduální tahová napětí, což je výhodné zejména v situacích, kdy jsou konstrukce vystaveny dynamickým zatížením, jako jsou rázy a vibrace. [9]



Obrázek 5 Pracovní diagram drátkobetonu (F) a prostého betonu (B) v tahu

Díky těmto vlastnostem je drátkobeton vysoce odolný vůči rázům a vibracím, a proto se často využívá v namáhaných konstrukcích, jako jsou piloty, podlahy hal a další nosné konstrukce. Jeho schopnost přenášet tahová napětí a oddalovat vznik trhlin přispívá k dlouhodobé stabilitě a spolehlivosti staveb, které jsou vystaveny různým druhům zatížení. [2][12]

1.3. Výhody a nevýhody

Výhody a nevýhody drátkobetonu jsem se pokusil shrnout v následující kapitole.

Výhody:

- Vytváření pružnějšího betonu s menším počtem trhlin,
- Snížení vlivu smršťování a vzniku trhlin,
- Vysoká tahová pevnost,
- Vyšší tlaková pevnost,
- Vyšší ekonomická efektivita ve srovnání s tradičním vyztužením betonářskou výztuží a nižší snížením množství spotřeby oceli,
- Zkrácení plánovaného času díky rychlé instalaci,
- Snížení propustnosti betonu, což zajišťuje ochranu betonu před negativními účinky vlhkosti,
- Vysoká odolnost.

Nevýhody:

- Nutnost zajištění rovnoměrného rozptýlení drátků,
- Při agresivních podmínkách prostředí může docházet ke korozi povrchu, což ovlivňuje vzhled povrchu,
- Návrh drátkobetonové směsi je složitější ve srovnání s normálním betonem,
- Zhoršení zpracovatelnosti. [2][8][10][11][12]

2. Betonové průmyslové podlahy

Pod pojmem podlahy v průmyslových objektech (průmyslové podlahy) rozumíme podlahové systémy v továrních halách, skladech a jiných nebytových objektech většinou o velkých plochách.

Betonové podlahy v průmyslových budovách jsou velmi důležitou součástí jejich konstrukce a také představují významné náklady při stavbě těchto budov. Jedná se o zcela zvláštní druh betonové konstrukce, které se nacházejí na podkladu, a kromě statického namáhání jsou zatěžovány i dynamickým namáháním různými manipulačními prostředky. [13]

Projekt průmyslové podlahy musí vycházet z podepření podlah na netuhém podloží a zatížení. Podle těchto parametrů se určují dimenze a vyztužení podlahy. Dalším ze základních faktorů ovlivňující správnou funkci podlah je jejich dělení dilatačními nebo smršťovacími spárami. Dilatační spáry nosné konstrukce je třeba respektovat i v konstrukci podlahy včetně způsobu jejich řešení v podlaze. Jejich chybný návrh nebo provedení může znehodnotit i jinak kvalitně provedené dílo. [14]

Detailně musí být řešeny všechny prostupy podlahou (potrubí, technologická zařízení, pilíře, sloupy atd.) tak, aby nemohlo docházet k poruchám jak prostupujících technologických zařízení, tak podlahy. [14]

Podlahové konstrukce průmyslových objektů budované přímo na terénu mají výhodu v tom, že celou konstrukci podlahy lze zhotovit jako první stavební úsek a vrchní stavbu vybudovat z již zpevněné, rovné a únosné podlahy s tím, že po ukončení hlavních stavebních prací se pak uskuteční konečné povrchové úpravy. [25]

2.1. Technologické varianty betonových podlah

Nejběžněji používaným typem konstrukce podlah pro středně a těžce zatížené průmyslové závody jsou těžké plovoucí betonové podlahy. Tento typ může být dále rozlišen:

2.1.1. Prosté betonové podlahy

Podle současných norem není doporučeno používat prostý beton pro provádění konstrukcí, které jsou namáhány tahem. Průmyslové podlahy náleží mezi tyto typy konstrukcí. Vzhledem k existenci velkého množství dokončených podlah z prostého betonu nemůžeme tuto skupinu ignorovat. Technologické požadavky na jednoduchou betonovou podlahu uloženou přímo na podloží jsou: minimální tloušťka betonové vrstvy 150 mm a minimální třída pevnosti betonu C12/15. Beton s vysokou třídou pevnosti je charakterizován vysokým smrštěním. Opatření pro betonové podlahy s velkou tloušťkou je realizace betonem nižší třídy pevnosti. Vznik trhlin smrštěváním lze omezit smršťovacími spárami. Ty jsou obvykle navrženy ve dvoudimenzionální mřížce ve tvaru obdélníku. Vzdálenost mezi smršťovacími spárami by neměla překračovat 6 m. V případě, že dilatační části mají nepravidelný tvar, je nutné navrhnout a vyztužit kritické body – kritické body jsou zejména rohy a zúžení. Nevýhody jednoduchých betonových průmyslových podlah jsou především nekontrolovatelné náhodné trhliny a údržba velkého množství smršťovacích spár. Vzniklé trhliny vyžadují drahé a složité zacelování. Výhodou tohoto typu podlahy je nízká cena. Jsou vhodné k použití v situacích, kde není nutné zajistit přenos vertikálních zatížení. [13][14]

2.1.2. Slabě vyztužené železobetonové podlahy

Železobetonové slabě vyztužené podlahy jsou vyztuženy jednou vrstvou svařované sítě. Svařované sítě jsou umístěny přibližně 50 mm nad dolním okrajem desky (nebo až do středu podlahy). Rozsah plochy vyztužení se pohybuje od 50 do 140 mm²/m. Slabě vyztužené železobetonové desky se používají pro velké celky – desky o ploše 2000 až 7500 m². Návrh tohoto typu podlahy je podobný jako u prostých betonových podlah. Stejný postup se uplatňuje při uspořádání a vzdálenosti smršťovacích spár. Slabá vyztužení pomáhá zvýšit vzdálenost spár o 20-25 %. Avšak malé množství vyztužení nebrání vzniku smršťovacích trhlin. Slabě vyztužené železobetonové podlahy jsou používány jako jednoduché betonové podlahy. [13][16]

2.1.3. Železobetonové podlahy

Při návrhu železobetonových podlah je předpokládán vznik trhlin. Šířka trhlin je omezena vyztužením, které je uloženo ve dvou vrstvách ve formě vázané výztuže nebo svařované sítě. Správné umístění vyztužení v desce je důležité pro nosnost železobetonové podlahy. Minimální třída pevnosti betonu pro tento typ podlahy je C16/20. Pro vyztužení se doporučuje žebírková výztuž nebo vyztužení KARI sítí. Pokud je vyztužení navrženo, aby snižovalo smršťování (a následně i trhliny), a nikoli pro odolnost proti vertikálním zatížením, lze jej umístit do jedné vrstvy kolem střední výšky desky nebo až 50 mm pod povrchem desky. Toto vyztužení musí přenášet tahové síly z interakce mezi betonovou deskou a podložím. Extrémně namáhané podlahy jsou vyztuženy při obou površích. Výhody vyztužených betonových desek podlah jsou: vysoká nosnost, malý počet spár a následně nízké dlouhodobé náklady na údržbu. Hlavní nevýhody: pracná realizace, vyšší náklady a přítomnost neestetických trhlin. [20]

2.1.4. Betonové podlahy s vlákny

Ke zlepšení vlastností prostých betonových podlah se do betonu přidávají rozptýlená vlákna. Jako rozptýlená výztuž se pro podlahy nejčastěji používají ocelová vlákna – drátky. Vlákna jsou náhodně rozptýlena v betonu ve všech směrech a musí být rovnoměrně rozložena v celém objemu. Rozptýlená vlákna zvyšují houževnatost a odolnost vůči nárazu a únavovým zatížením, zlepšují odolnost vůči tepelnému šoku a zvyšují odolnost povrchu proti otěru. Drátkobeton částečně zlepšují tahovou i tlakovou pevnost po vzniku trhlin. [13]

2.1.5. Předpjaté podlahy

Předpjaté betonové průmyslové podlahy představují další inovativní a efektivní variantu pro konstrukci průmyslových podlah, zejména pro střední až těžké zatížení. Tahové namáhání od působících sil je vyrovnáno vnesením tlakové síly prostřednictvím předpínací výztuže. Mezi výhody této technologie patří značné omezení dilatačních spár a menší výskyt trhlin. To znamená, že podlahy je třeba méně často opravovat, což šetří

cenu materiálů a pracovní náklady. Další úspory spočívají v podstatně menším množství výztuže potřebné k dosažení srovnatelné tahové pevnosti. Technika předpjatého betonu eliminuje potřebu velkého množství výztuže a místo toho využívá relativně malé množství oceli. Někdy není potřeba tolik betonu, protože celková pevnost je tak vysoká, že větší tloušťka již není nutná. [28]

Nevýhody předpjatých betonových podlah zahrnují náročnost samotné technologie, která vyžaduje specializovanou firmu a vysokou technologickou kázeň při jejím provádění. Je také nezbytné zajistit účinnou ochranu výztuže před korozi, což přispívá k dlouhodobé spolehlivosti konstrukce. [28]

2.2. Obecné požadavky

U průmyslových objektů se setkáváme s konstrukcí podlahy uložené přímo na přirozené, urovnané a zhutněné zemní pláni, případně na urovnaném a zhutněném násypu nebo na alternativách obou. Jedná se tedy o určitou tuhou konstrukci uloženou na polopružném podkladu, který tvoří podložní zemina schopná pružných vratných i nevratných deformací, tedy určitého možného dotvarování.

Základní obecné požadavky na funkci průmyslové podlahy jsou (kromě požadované únosnosti):

- izolace proti difuzi zemní vlhkosti,
- vodotěsná izolace proti spodní vodě,
- tepelná izolace,
- izolace proti prostupu radonu,
- izolace proti prostupu zvuku,
- izolace proti přenosu vibrací,
- nízká tepelná vodivost konstrukčních vrstev,
- maximální rovnost povrchu,
- protismykový povrch,
- bezprašnost,
- stálobarevnost,

- odolnost proti nárazům,
- odolnost proti ropným látkám,
- odolnost proti kyselinám,
- odolnost proti mrazu a tání v případě otevřených prostorů,
- rovinnost. [16][20]

2.3. Zatížení průmyslových podlah

V poslední době stále vzrůstají požadavky na průmyslové podlahy z hlediska zatížení. Ve větší míře se používají těžší vysokozdvizné vozíky při současném přísnějším požadavku na rovinnost podlahy. Toto však vede k vyšším nákladům na ceny podlah.

Obvyklá zatížení průmyslových podlah lze rozdělovat podle doby trvání:

- stálá – například vlastní tíha, zatížení trvale umístěných zařízení apod.
- proměnná – například dopravním a manipulačním zařízením apod.

2.3.1. Vlastní tíha a ostatní stálá zatížení

Kromě vlastní tíhy desky může být podlaha zatížena tíhou stálých zařízení (stroje, výrobní linky apod.). Do stálého zatížení se zahrnují např. i zatížení stojkami regálů pro dlouhodobé skladování.

2.3.2. Užité zatížení skladovacích a provozních ploch

Plochy pro skladování a průmyslovou činnost jsou podle ČSN EN 1991-1-1 rozděleny do dvou kategorií:

Kategorie	Použití	Popis	q_k [kNm ⁻²]	Q_k [kN]
E	Plochy pro skladování a průmysl	E1: Plochy, kde může dojít k hromadění zboží, včetně přístupových ploch	7.5	7.0
		E2: Průmyslová činnost	indiv.	indiv.

Obrázek 6 Kategorie pro skladovací a průmyslové účely

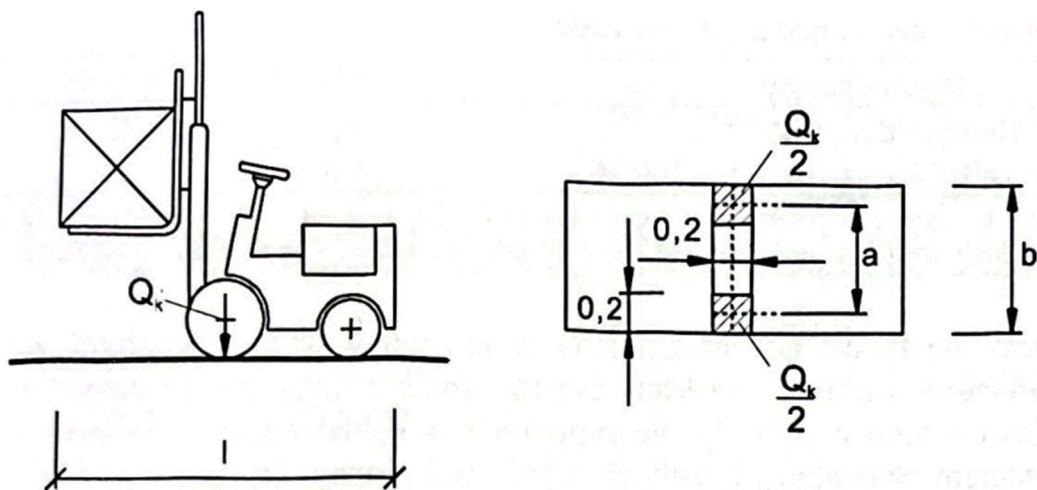
Charakteristické hodnoty svislých zatížení pro skladovací prostory závisí na způsobu skladování. Jeho velikost lze tedy stanovit na základě objemových tíh a horních návrhových hodnot výšek skladovaných materiálů. Při skladování v paletách záleží na rozměrech, tíze palety a počtu skladovaných palet nad sebou. Palety mohou být umístěny přímo na podlaze, nebo v regálech. V případě regálů je nutno uvažovat zatížení osamělými břemeny od stojek regálů.

2.3.3. Zatížení od vysokozdvížných vozíků

Vysokozdvížné vozíky jsou podle EN 1991-1-1 klasifikovány do 6 tříd podle pohotovostní tíhy, rozměrů a nosnosti ve zdvihu.

Třída vysokozdvížného vozíku	Pohotovostní tíha [kN]	Nosnost ve zdvihu [kN]	Šířka nápravy a [m]	Celková šířka b [m]	Celková délka l [m]
FL 1	21	10	0,85	1,00	2,60
FL 2	31	15	0,95	1,10	3,00
FL 3	44	25	1,00	1,20	3,30
FL 4	60	40	1,20	1,40	4,00
FL 5	90	60	1,50	1,90	4,60
FL 6	110	80	1,80	2,30	5,10

Obrázek 7 Rozměry vysokozdvížných vozíků podle tříd



Obrázek 8 Rozměry vysokozdvihných vozíků

Svislá statická síla na nápravu vysokozdvihného vozíku:

Třída vysokozdvihného vozíku	Zatížení na nápravu Q_k [kN]
FL 1	26
FL 2	40
FL 3	63
FL 4	90
FL 5	140
FL 6	170

Obrázek 9 Zatížení na nápravu u vysokozdvihných vozíků

2.3.4. Teplotní zatížení

Průběh teplot po průřezu prvku způsobuje jeho přetvoření. Pokud se přetvoření omezí, vzniknou v prvku napětí. Tato napětí se musí uvažovat jak pro trvalé, tak i dočasné návrhové situace. Konstrukci je třeba navrhnout tak, aby bylo zajištěno, že přetvoření účinkem teploty nezpůsobí nadměrné namáhání konstrukce, tj. nesmí být překročeny mezní stavy konstrukce. V zásadě buď lze provést dilatační spáry, nebo účinky teploty zahrnout do návrhu. [25]

2.3.5. Zatížení od smršťování betonu, dotvarování betonu

Pokud je smršťování bráněno, vznikají v prvku napětí. U podlahových desek brání volnému smršťování podkladní vrstva, na které je deska uložena. V důsledku toho vznikají v podlahové desce horizontální napětí.

Velikost poměrného přetvoření vyvozeného smršťováním betonu lze nalézt v mnoha publikacích, doporučeních a normách. Podle EN 1992: Navrhování betonových konstrukcí, celková hodnota poměrného smršťování se skládá ze dvou částí – poměrného smršťování vysycháním a poměrného autogenního smršťování.

Z hlediska přímých i nepřímých účinků zatížení je třeba uvažovat vliv dotvarování betonu. Vliv dotvarování betonu je nutné uvažovat zejména u dlouhodobě působících zatížení. Dotvarování betonu závisí na okolní vlhkosti, na rozměrech prvku a na složení betonu. Na dotvarování má též vliv zralost betonu v době začátku působení zatížení a závisí na době trvání a velikosti zatížení. [26]

2.4. Poruchy průmyslových podlah

Poruchy a vady průmyslových podlah, se kterými je možné se setkat, lze rozdělit podle jejich původce v rámci stavební činnosti na:

- vady v zadání investorem,
- vady projektového řešení,
- vady způsobené zhotovitelem,
- vady užívání,
- vady způsobené stářím.

Poslední skupinou poruch tvoří začátek dožívání podlahy z hlediska věku, které ve svém závěru ukončí provozní způsobilost podlahy jako celku.

Aby bylo možné uvedeným vadám předcházet, případně stanovit nezbytná opatření pro jejich preventivní či následné odstranění, musí být s určitou odbornou erudicí určena v první řadě příčina, resp. souhrn příčin, které jsou nebo byly zdrojem poruch. [17]

3. Provádění betonových průmyslových podlah

3.1. Vrstvy betonových podlah

Při realizaci průmyslových betonových podlah nesmíme zapomínat, že podlahové konstrukce se skládají ze tří vrstev: podkladní, nosné a nášlapné. Všem vrstvám je třeba věnovat stejnou pozornost. Pokud je provedení podloží nevhodné, je prakticky nemožné zhotovit desku, která splňuje předepsané statické požadavky. Pokud je povrchová úprava nedostatečná, dojde ke snížení kvalitativních nebo estetických vlastností podlahy. [13]

V některých případech je také možné přidat separační vrstvu. Separací vrstva nebo kluzná spára zajišťuje minimalizaci vzniku trhlin a zlepšení celkového výkonu podlahy. Tato vrstva se obvykle aplikuje na podkladní vrstvu nebo přímo na zeminu. Hlavními důvody pro použití separační vrstvy jsou kompenzace pohybů betonové podlahy způsobených teplotními změnami, smršťováním a zatížením, prevence přenosu napětí z podkladu na povrchovou vrstvu a ochrana před pronikáním vlhkosti, což může vést k poškození povrchu nebo vzniku plísní. Použití separační vrstvy také přispívá ke zlepšení dlouhodobé životnosti betonové podlahy tím, že minimalizuje riziko vzniku trhlin a dalších vad spojených s pohyby a deformacemi. [26]

Podkladní vrstvu obvykle tvoří zhutněný štěrkopískový podsyp nebo podkladní beton. Stupeň zhutnění podkladní vrstvy betonové desky je charakterizován součinitelem přetvoření zeminy, který se určuje pomocí statických zatěžovacích zkoušek. [20]

Tloušťka nosné vrstvy se obvykle pohybuje v rozmezí 100 až 300 mm a závisí na způsobu a velikosti zatížení a na kvalitě podkladní vrstvy. Jako výztuž lze použít svařovanou síť nebo rozptýlenou výztuž ve formě ocelových vláken. Hlavní výhody použití ocelových vláken spočívají v tom, že zlepšují vlastnosti betonu v celém jeho objemu, eliminují potřebu pracné instalace jako u konvenční výztuže a při provádění drátkobetonu není nutná kontrola uložení sítě, aby bylo zachováno požadované krytí výztuže. Ocelová rozptýlená výztuž se přidává do směsi buď nasypáním daného množství drátků do autodomíchávačů na stavbě nebo přímým dávkováním v betonárně. Tím je

zajištěno, že vlákna jsou během přepravy na stavbu plně promíchána se směsí. Minimální množství použitých ocelových vláken je 20 kg/m^3 betonu. Maximální přidané množství je omezeno zpracovatelností betonové směsi a ekonomickými hledisky a obvykle nepřesahuje 30 kg/m^3 ocelových vláken v betonové směsi. Návrh podlah s použitím ocelových vláken v betonu obvykle provádí zhotovitel podlahy ve spolupráci s výrobcem vláken. [14][20]

3.2. Uložení betonu

Před zahájením betonáže je třeba provést přípravné práce. Zejména místa styku podlahy se stávající konstrukcí by měla být pokryta pružným materiálem o tloušťce 5 mm, aby bylo zajištěno pružné oddělení od ostatních prvků stavby. [20][21]

Existují dva základní způsoby pokládky betonu v průmyslových budovách a na volných plochách. Metoda dlouhých pasů spočívá v rozdělení objektu na pásy odpovídající délce vibrační lišty a ploše objektu. Ukládání betonu se obvykle provádí metodou střídavých pasů, kdy se délka pasů určuje podle denní produkce zhotovitele a obvykle nepřesahuje 1000 m^2 za prodlouženou pracovní směnu.

Při ukládání betonu je třeba počítat s možností zpracování povrchové úpravy. Beton se ukládá do bednění, jehož okraje se před pokládkou vyrovnají na požadovanou úroveň. Tradiční dřevěné bednění nahrazuje bednění kovové nebo plastové. Speciální plastové profily, které se často používají, se připevňují k betonovým čepům a bednění slouží jako vodící prvek pro vibrační tyče a dilatační spáry.

Modernější metoda, průběžná betonáž, nepoužívá bednění a provádí se na celé ploše podlahy v jednom nepřetržitém pracovním cyklu. Vyrovnání, hutnění betonu a nanášení sypkého materiálu se provádí strojově. Vyrovnání povrchu se provádí laserem s denní produkcí až 3000 m^2 . [20]

Kvalita betonové podlahy vyžaduje nepřetržitou práci. Aby nedocházelo k pracovním spárám, je nezbytný nepřetržitý přísun betonové směsi. Proto je důležité vybrat si dodavatele betonové směsi, který je schopen průběžně dodávat beton ve správné kvalitě i požadovaném množství. [25]

3.3. Ošetření podlah

Betonové podlahy vyžadují stejnou péči jako ostatní betonové konstrukce, ale vzhledem k jejich malé tloušťce je třeba jim věnovat zvláštní pozornost. Hlavním požadavkem je zabránit rychlému a nerovnoměrnému vysychání podlahy, které může vést ke vzniku smršťovacích trhlin. Podlahu je třeba chránit před slunečním zářením a redukovat působení větru a průvanu. Aby se zabránilo pronikání vody do podkladu, pokládá se beton na fólii a fólie se pokládá na podklad, aby se zajistilo alespoň částečné odvodnění. Lepší variantou je použití zpevňujícího postříku. [20]

Tento postřík lze na malých plochách provádět nátěrem válečkem, ale pro větší plochy je vhodnější použít postřík. Důležité je dodržet optimální dávkování 0,1 - 0,15 l/m², protože větší vrstva postříku může způsobit odlupování a poškození povrchu podlahy. Pokud má být beton umístěn venku, musí být betonová deska chráněna před deštěm, sněhem a mrazem. Při ukládání betonu ve venkovních prostorách je však třeba brát v úvahu povětrnostní podmínky a to, zda přesné dodržování harmonogramu vyváží potenciální obtížné a nákladné opravy. [16][20]

Průmyslové podlahářské práce se obvykle neprovádějí až na konci stavby a není možné se vyhnout provozu na podlaze spojenému s jinými pracemi v budově. Chůze po podlaze bývá možná od druhého dne, ale provoz na podlaze by měl být maximálně omezen po dobu nejméně sedmi dnů. Na podlaze by se měla nosit čistá obuv, aby nedošlo k poškození ochranného nátěru, aby beton vyžrál rovnoměrně po celé ploše podlahy. Zvláště citlivé jsou okraje profilovaných spár. Pokud jsou v hale uloženy další stavební materiály, doporučuje se aplikovat ochrannou fólii na celou plochu konstrukce, aby se zabránilo nerovnoměrnému vyžrání povrchu podlahy při aplikaci částečné ochranné fólie. [21][25]

3.4. Spáry v betonových podlahách

Navrhování spár betonových podlah je důležitou součástí konstrukčního návrhu podlah. Jejich návrh by měl zohledňovat požadavky na zatížení, rozměry a velikost povrchu, změny průřezu a proces betonáže. Spáry lze rozdělit do následujících kategorií:

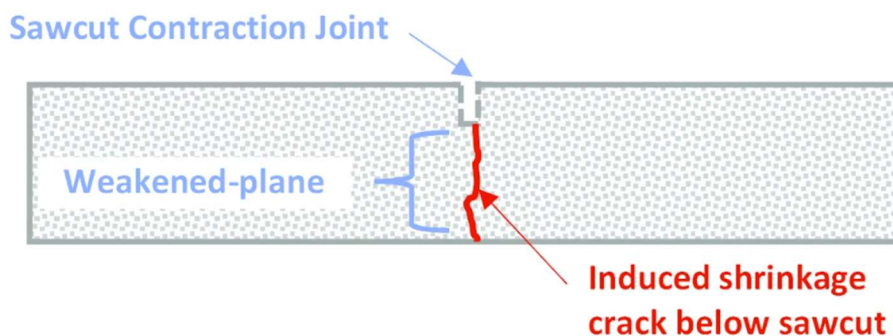
- dilatační spáry,

- pracovní spáry,
- smršťovací spáry.

Dilatační spáry se nacházejí v místech dilatačních spár objektu. Jsou provedeny přes celou tloušťku desky, veškerá výztuž je přerušena a spára je vyplněna pružným materiálem. Ideální je použití speciálních dilatačních profilů, které zároveň plní funkci ztraceného bednění. [17][20]

Pracovní spáry oddělují místa, kde je přerušena betonáž. Pokud se použijí plastové profily, postupuje se s nimi stejně jako s dilatačními spárami. U jiných způsobů bednění lze spáry vyřešit před dalším betonováním, například vložením lepenky nebo dobetonávkou a následným proříznutím. [17][20]

Smršťovací spáry se v podlahové desce provádějí proto, aby se zabránilo vzniku smršťovacích trhlin v důsledku procesu hydratace betonové konstrukce. Obvykle se provádí do 48 hodin po dokončení podlahy. Smršťovací trhliny v betonových podlahách vznikají, když oslabené místo praská svisle směrem dolů od řezu. Šířka řezu je obvykle 4 mm a minimální hloubka 30 mm. Maximální hloubka řezu je až polovina tloušťky podlahy. Tyto spáry se obvykle nevyplňují a vyplňují se až během provozu na budově. Pokud se vyplňují, vyplňují se se značným časovým zpožděním po dokončení a dostatečném vytvrzení celé podlahy. Do spodní vrstvy se umístí vložka z pružného materiálu a horní vrstva se vyplní trvale pružným tmelem. Standardní rastr pro smršťovací spáry je 6 x 6 metrů s preferencí čtvercového tvaru polí. Obdélníkové pole by mělo mít maximální poměr stran 2:1. Při navrhování smršťovacích spár je důležité zajistit návaznost na ostatní stavební konstrukce. Řezy by měly být provedeny v místech sloupů, změn průřezu desek nebo (pokud to není vhodné) změn podkladu pod podlahovou deskou. Důležitý je také řez kolem sloupů a jiných konstrukcí, které zasahují do podlahy.



Obrázek 10 Schéma proříznutí, které indukuje trhlinu pod řezem

4. Navrhování a analýza

4.1. Analýza

Lineární a nelineární konstrukční analýza jsou dvě metody hodnocení chování konstrukcí při různých typech zatížení a okrajových podmínkách. Liší se v tom, jak zohledňují změny v materiálových vlastnostech, geometrii a rovnováhu konstrukce při jejím deformování. Umění rozlišit a zvolit tu vhodnou je zásadní pro návrh a posouzení konstrukce z hlediska bezpečnosti, funkce a účinnosti. [18]

Lineární analýza vychází z předpokladu, že konstrukce se chová lineárně, což znamená, že její reakce je úměrná zatížení, její materiálové vlastnosti jsou konstantní a její geometrie a rovnováha se nemění významně. Lineární analýza je jednodušší a rychlejší než nelineární analýza a může být použita pro mnoho běžných konstrukčních problémů, jako je pružný ohyb, vzpěr a kmitání. Nicméně lineární analýza nedokáže zachytit účinky velkých deformací, plasticity, trhlin nebo jiných nelineárních jevů, které se mohou vyskytnout v složitějších nebo extrémních situacích.

Nelineární analýza vychází z předpokladu, že konstrukce se chová nelineárně, což znamená, že její reakce není úměrná zatížení, její materiálové vlastnosti se mění s úrovní napětí nebo deformace, a její geometrie a rovnováha se mění s deformací. Nelineární analýza je přesnější a realističtější než lineární analýza, ale také vyžaduje více výpočetních prostředků a odborných znalostí. Může být použita pro konstrukční problémy, které zahrnují velké deformace, plasticitu, trhliny nebo jiné nelineární jevy, které mohou ovlivnit stabilitu, pevnost nebo funkčnost konstrukce.

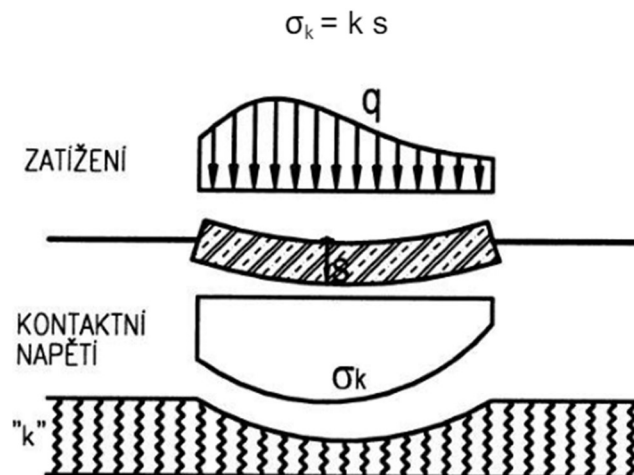
Nelineární analýzu lze rozdělit do dvou typů nelinearity: materiálová nebo geometrická. Materiálová nelinearita se týká změny vztahu napětí-deformace materiálu v důsledku plastického chování, porušení nebo jiných faktorů. Geometrická nelinearita se týká změny tvaru a tuhosti konstrukce v důsledku velkých posunutí, rotací nebo deformací. [18][19]

4.2. Navrhování

4.2.1. Modely podloží

Definice základových poměrů je vedle návrhu a správného dimenzování stejně důležitou součástí návrhu betonové podlahy. Konstrukce je v přímém kontaktu se zemínou, a proto je jí ovlivňována. Volba modelu a vazeb je spjata se způsobem výpočtu a množstvím získaných výsledků a určují požadovanou podobnost se skutečnou konstrukcí. Z historického pohledu je možné sledovat vývoj od jednodušších metod, kdy byly výpočty možné především díky omezeným znalostem chování podloží a možnostem dostupných výpočetních technik. S rozvojem obou oborů bylo možné vytvářet složitější a realističtější modely. [25]

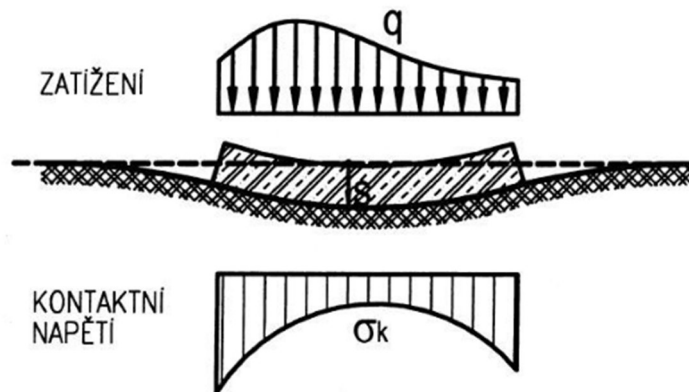
Za nejzákladnější model se považuje pružný neboli Winklerův model. Idealizovaný model podloží vychází z toho, že sedání zemního prostředí v kterémkoliv bodu na jeho povrchu je přímo úměrné působícímu napětí v tomto bodě a je nezávislé na působícím napětí v jiných částech. [22]



Obrázek 11 Model pružného podkladu

Kde k je modul reakce podkladu, nazývaný někdy také součinitel ložnosti nebo Winklerův součinitel stlačitelnosti podkladu. Modul reakce podkladu je možno získat vyhodnocením zatěžovacích zkoušek podloží. Přitom je třeba dbát na to, že se nejedná pro dané podloží a dané působící zatížení o konstantu, ale o funkci, která je závislá na tvaru a velikosti zatěžovací plochy, na velikosti působícího zatížení a na skladbě a přetvárných vlastnostech podloží. [22]

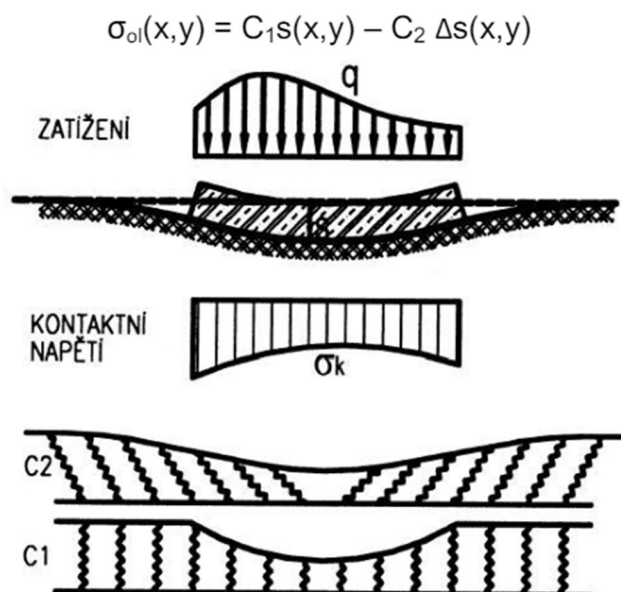
Další možný model podloží je model pružného poloprostoru, kde podloží je již uvažováno jako spojité, homogenní a pružné těleso. Tento model lze také použít k určení deformace v nezátížené oblasti. Výpočty za předpokladu tuhé desky však na rozdíl od skutečnosti povedou k nerealistickým napěťovým špičkám na okrajích. Ve skutečnosti jsou však tato napětí přerozdělena plastickou deformací, takže napětí ve středu se pro udržení rovnováhy zvyšují. [23][25]



Obrázek 11 Model pružného poloprostoru

Dále Pasternakův model podloží, který odstraňuje nevýhody, které byly uvedeny u modelů pružného pokladu a pružného poloprostoru.

V. Kolář a I. Němec zobecnili Pasternakův model podloží a odvodili základní vztahy modelu podloží pro jeho automatizaci pomocí metody konečných prvků, které vychází z principu virtuálních prací, a vytvořili tzv. víceparametrický model podloží.[22]



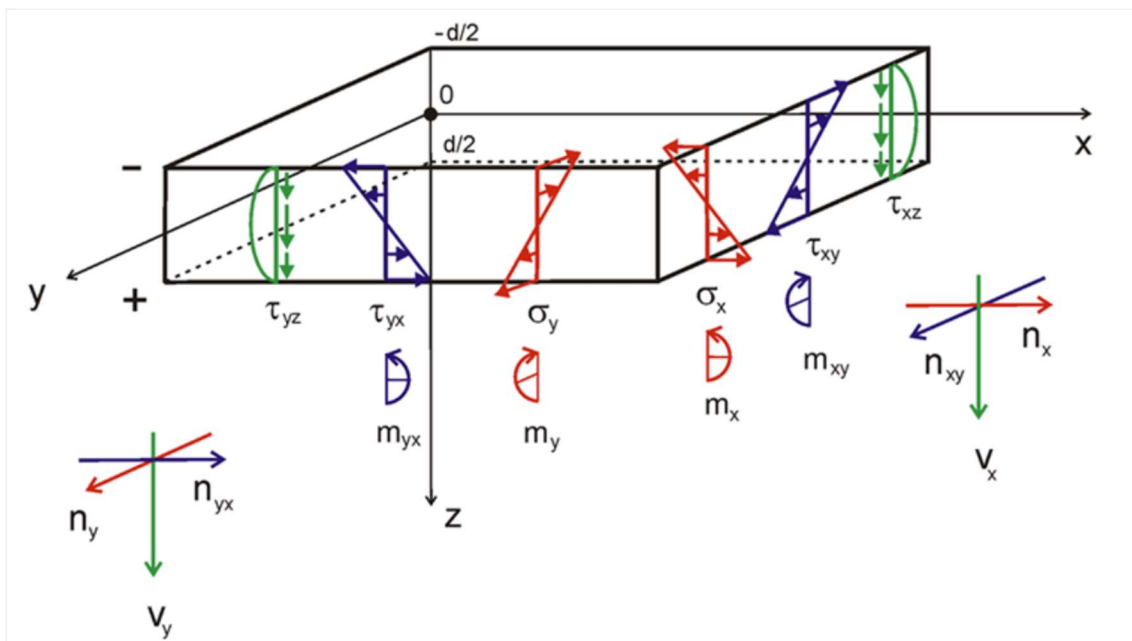
Obrázek 12 Víceparametrický model

4.2.2. Vnitřní síly podlahové desky

Vnitřní síly lze definovat jako síly působící uvnitř materiálu konstrukce. Tyto síly pomáhají udržovat rovnováhu a určují reakci konstrukce při působení vnějších zatížení.

V rámci reakce konstrukce mohou působit různé typy vnitřních sil:

- Tahové a tlakové síly
- Smykové síly
- Ohybové momenty



Obrázek 13 Vnitřní síly a napětí na ploše

Stanovení vnitřních sil, přetvoření a napjatosti podlahové desky je nelineární časově závislou úlohou, u které vlastnosti desky ovlivňují chování podloží a vlastnosti podloží ovlivňují chování desky. [25]

4.2.2.1. Analytické vztahy pro určení vnitřních sil

Bylo zjištěno, že jedním z rozhodujících zatížení je osamělé břemeno, které bývá většinou umístěno do charakteristických poloh: břemeno uprostřed desky, břemeno uprostřed hrany desky, břemeno v rohu desky. Tyto vztahy byly popsány pro různé modely podloží a výsledkem je souhrnný popis možných variant řešení: Westergaard (homogenní pružná

deska, Winklerovo podloží), Gorbunov-Posadov (homogenní pružná deska na pružném poloprostoru) a Meyerhof (teorie lomových čar s modelem pružného podkladu). [25]

	Westergaard [28], [29]	Ivanov [31], Gorbunov-Posadov [32]	Meyerhof [33]
Uprostřed desky	$M = P(0,0562 + 0,211 \log \frac{\sqrt[4]{N/k}}{a_r})$	$M = P(0,0578 + 0,214 \log \frac{0,55h\sqrt{E/E_0}}{a_r})$	$M = P \frac{1}{6 \left[1 + \frac{2a_r}{L} \right]}$
Uprostřed hrany desky	$M = P(0,0411 + 0,382 \log \frac{\sqrt[4]{N/k}}{a_r})$	$M = P(0,0352 + 0,382 \log \frac{0,60h\sqrt{E/E_0}}{a_r})$	$M = P \frac{1}{2 \left[1 + \frac{4a_r}{L} \right]}$
V rohu desky	$M = 0,5P \left[1 - \left(1,41 \frac{a_r}{\sqrt[4]{N/k}} \right)^{0,6} \right]$	neuvedeno	$M = P \frac{2}{7 \left[1 + \frac{3a_r}{L} \right]}$

Obrázek 14 Hodnoty ohybových momentů v desce pod osamělým břemenem v různé poloze podle různých autorů

V současné době se nejvíce používá přístup založený na teorii lomových čar. Tento přístup předpokládá, že postupné zatěžování způsobuje vznik trhliny na spodní hraně desky, která se mění na jakýsi plastický kloub. To způsobí, že se kladný moment přerozdělí na záporný ohybový moment a dojde ke kolapsu desky. Mechanismus lomu je jiný však ve středu desky, v okrajích či rozích. [24]

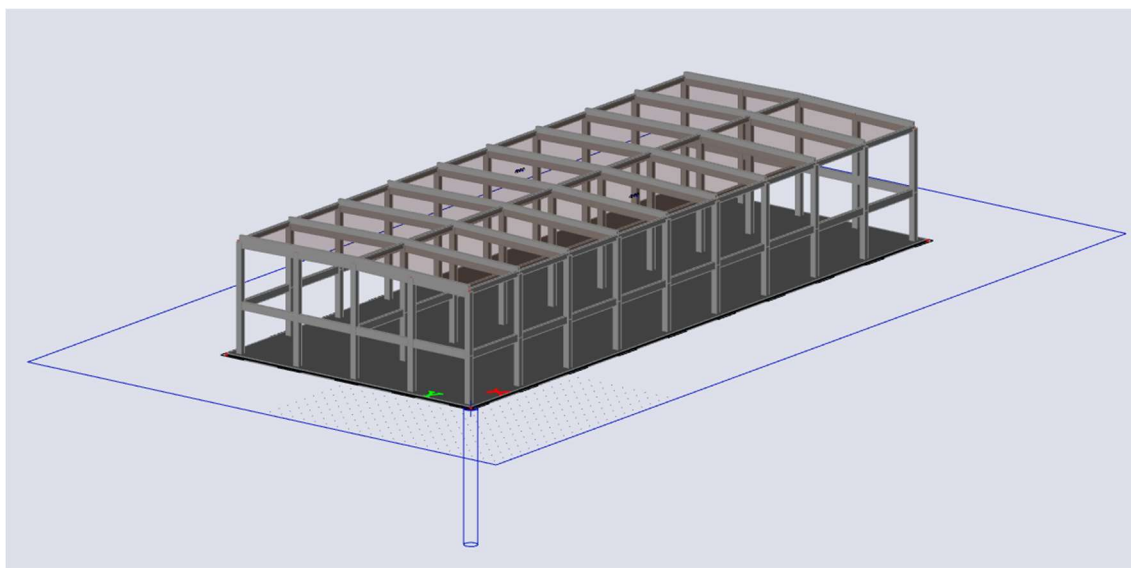
4.2.2.2. Výpočetní programy

Počítačové programy jsou většinou založeny na metodě konečných prvků (MKP). Pro konstrukční analýzu desek je použita Mindlinova ortotropní teorie desek. Základová půda je předpokládána jako izotropní, homogenní a pružný poloprostor. Chování pružného poloprostoru je vypočítáno rozdělením povrchu na obdélníkové oblasti. Tyto oblasti jsou reprezentovány tuhostními maticemi a jsou sestaveny do obdélníkových konečných prvků desky. [24]

5. Drátkobetonová podlaha v průmyslové budově

V následující části této bakalářské práce jsem vytvořil 3D model drátkobetonové podlahy v programu SCIA Engineer a provedl jeho následné posouzení. Tato drátkobetonová podlaha je součástí skladovací haly, jejíž horní stavbu jsem již analyzoval v rámci projektu předmětu 133P02C. Konstrukce skladovací haly je prefabrikovaný železobetonový skelet se sloupovým systémem, kde jednotlivé sloupy jsou uloženy do kalichů a zajištěny pilotami.

Drátkobetonová podlaha je v tomto kontextu primárně namáhána užitným zatížením. V rámci posouzení jsem využil program SCIA Engineer k analýze podlahy z hlediska mezních stavů únosnosti a použitelnosti.



Obrázek 15 Pohled na 3D model

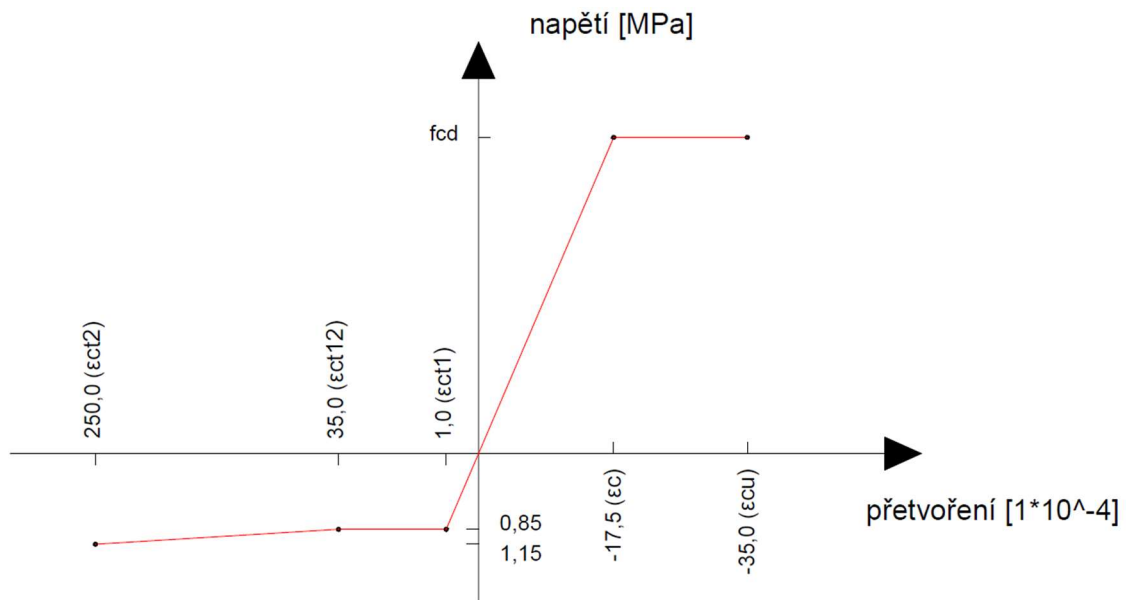
5.1. Materiálové charakteristiky

Pro materiál podlahy jsem využil již předdefinovaný beton C30/37–30 kg/m³–5D65/60BG. Toto označení obsahuje specifikace týkající se složení a vlastností vláknobetonu. Zde je detailní výklad jednotlivých parametrů:

- 30 kg/m³: Značí dávkování vláken, tedy množství vláken na metr krychlový betonu.

- 5D: Typy vláken s dvojitým háčkem, která mají vyšší únosnost a používají se pro konstrukční desky bez betonářské výztuže.
- 65/60: Značí štíhlostní poměr vláken a délku vláken v milimetrech.
- BG: Označuje výrobní parametry vláken.

Pracovní diagram betonu v programu SCIA Engineer vychází ze středních hodnot reziduálních tahových pevností, které jsou získány prostřednictvím rozsáhlého počtu provedených testů. Tato pevnost je odvozena z experimentálních dat, která poskytují informace o chování betonu vyztuženého vlákny po překročení mezí pevnosti. Výpočet pracovního diagramu je samozřejmě závislý na konkrétním typu a množství použitých vláken v betonové směsi.



Obrázek 16 Pracovní diagram drátkobetonu

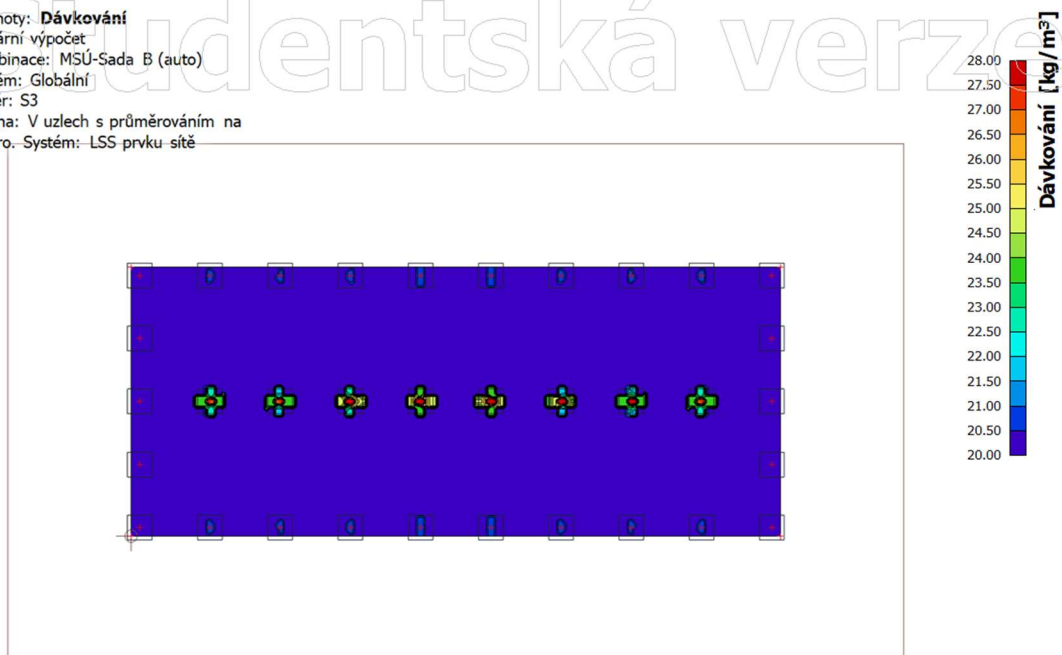
Na pracovním diagramu drátkobetonu je pozorovatelná výrazná odlišnost ve srovnání s pracovním diagramem klasického železobetonu. Tato odlišnost je především způsobena přítomností vláken v betonové směsi, která poskytují specifickou tahovou větev materiálu. Díky tomu vlákna v drátkobetonu zlepšují schopnost betonu odolávat tahovým silám a zabraňují vzniku trhlin až do určitého bodu překročení mezí pevnosti. [27]

5.2. Návrh optimálního množství vláken a posouzení na kombinaci momentu a normálové síly

Optimální množství vláken je stanoveno pomocí interaktivního výpočtu nosnosti průřezu v mezním stavu únosnosti, který je zatížen ohybovým momentem a normálové síly. Tato metoda hledá nejlepší množství vláken v každém článku konstrukce tak, aby byla dosažena rovnováha na průřezu a aby byl prvek co nejvíce využit. Díky použití ocelových vláken lze také zohlednit právě tahovou větev pracovního diagramu drátkobetonu, což je klíčová výhoda. Díky této výhodě se může zohlednit právě to, že drátkobeton působí jak v tlaku, tak v tahu. [27]

1. 2D návrh dávkování pro vláknobeton; Dosage

Hodnoty: **Dávkování**
 Lineární výpočet
 Kombinace: MSU-Sada B (auto)
 Extrém: Globální
 Výběr: S3
 Poloha: V uzlech s průměrováním na makro-
 System: LSS prvku sítě



Obrázek 17 Výsledky návrhu dávkování v programu SCIA ENGINEER

Jméno	Sít'	Pozice [m]	Stav Směr (povrch) Výzt. [mm ² /m]	h [mm]	m_{Ed} [kNm/m] n_{Ed} [kN/m]	m_{Rd} [kNm/m] n_{Rd} [kN/m]	Typ vlákna Dávkování [kg/m ³]
S3	Prvek: 1157 Uzel: 9532	22,687 10,039 0,000	MSU-Sada B (auto)/1 2(-) 0/0	250	25,73 29,59	25,76 29,61	5D65/60BG 28,00

Obrázek 18 Výsledková tabulka návrhu dávkování v programu SCIA ENGINEER

Z analýzy výsledků pro návrh dávkování drátkobetonu vyplývá, že většina plochy konstrukce vykazuje dostatečnou únosnost při použití dávkování vláken ve výši 20 kg/m³. Tato hodnota odpovídá požadavkům na mezní stavy únosnosti pro většinu částí konstrukce. Avšak pro střední část u sloupů, kde je očekáváno vyšší zatížení nebo zvýšené riziko vzniku trhlin, je doporučeno zvýšit dávkování vláken na 28 kg/m³. Tento krok má za cíl posílit únosnost a zlepšit stabilitu této konkrétní části konstrukce. S ohledem na tuto analýzu je patrné, že naše původní doporučení dávkování vláken ve výši 30 kg/m³ je stále relevantní a efektivní pro zajištění požadované pevnosti a bezpečnosti konstrukce.

5.3. Posouzení smykové únosnosti

Smyková pevnost betonu je jeho schopnost odolávat silám, které způsobují posunutí vnitřní struktury materiálu. Pokud je síla větší než smyková pevnost betonu, dojde k oddělení vrstev a posunu materiálu. V případě drátkobetonu je celková schopnost odolávat smykovému napětí určována jako suma obvyklé únosnosti ve smyku a dodatečnému smykovému napětí ocelových vláken. Vláknina pomáhají přenášet smykové namáhání, což způsobuje zvýšení smykové únosnosti. [27]

2. 2D posudek smyku vláknobetonu; $v^{Rd,ct}$

Hodnoty: $v_{k,ct}$
 Lineární výpočet
 Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)
 Extrém: Globální
 Výběr: S3
 Poloha: V uzlech s průměrováním na makro. Systém: LSS prvku síť



Obrázek 19 Výsledky posudku na smyk v programu SCIA ENGINEER (celková smyková únosnost)

Jméno	Síť	Pozice [m]	Stav Výzt. [mm ² /m]	h [mm]	Typ vlákná Dávkování [kg/m ²]	m_{Ed} [kNm/m] n_{Ed} [kN/m]	V_{Ed} [kN/m]	$V_{Rd,c}$ [kN/m] $V_{Rd,cf}$ [kN/m]	$V_{Rd,c}$ [kN/m] $V_{Rd,max}$ [kN/m]	UC [-] Posudek
S3	Prvek: 511 Uzel: 10235	41,010 10,826 0,000	MSÚ-Sada B (auto)/1 0/0	250	5D65/60BG 30,00	15,58 88,22	13,99	111,73 130,34	156,42 1329,49	0,09 OK
S3	Prvek: 6972 Uzel: 6455	41,010 6,316 0,000	MSÚ-Sada B (auto)/2 0/0	250	5D65/60BG 30,00	-0,28 0,00	0,29	124,96 130,34	174,95 1329,49	0,00 OK

Obrázek 20 Výsledková tabulka posudku na smyk v programu SCIA ENGINEER

Z analýzy tabulky plyne, že daná drátkobetonová podlaha dosahuje potřebné smykové únosnosti a nejsou zjištěny žádné problémy týkající se smykového namáhání.

5.4. Šířka trhlin

Použití ocelových vláken bez tradiční výztuže v konstrukcích má výhody a může být dokonce bezpečnější než tradičnější přístupy. Použití SFRC může také představovat řadu výzev, včetně možnosti nerovnoměrného rozptýlení vláken po celé struktuře, což může vést k místům s nižším obsahem vláken a nedostatečné kontroly orientace vláken, která nejsou vždy orientována ve směru tahového napětí. Přidání ocelových vláken do betonové matrice zvyšuje reziduální tahovou pevnost po vzniku trhlin, což zvyšuje duktilitu průřezu.

V našem případě, kdy máme drátkobeton bez tradiční výztuže, je použit zjednodušený přístup pro výpočet šířky trhlin, kdy šířka trhlin se spočítá pouze pře-násobením tahového přetvoření betonu konstantní délkou 140 mm.

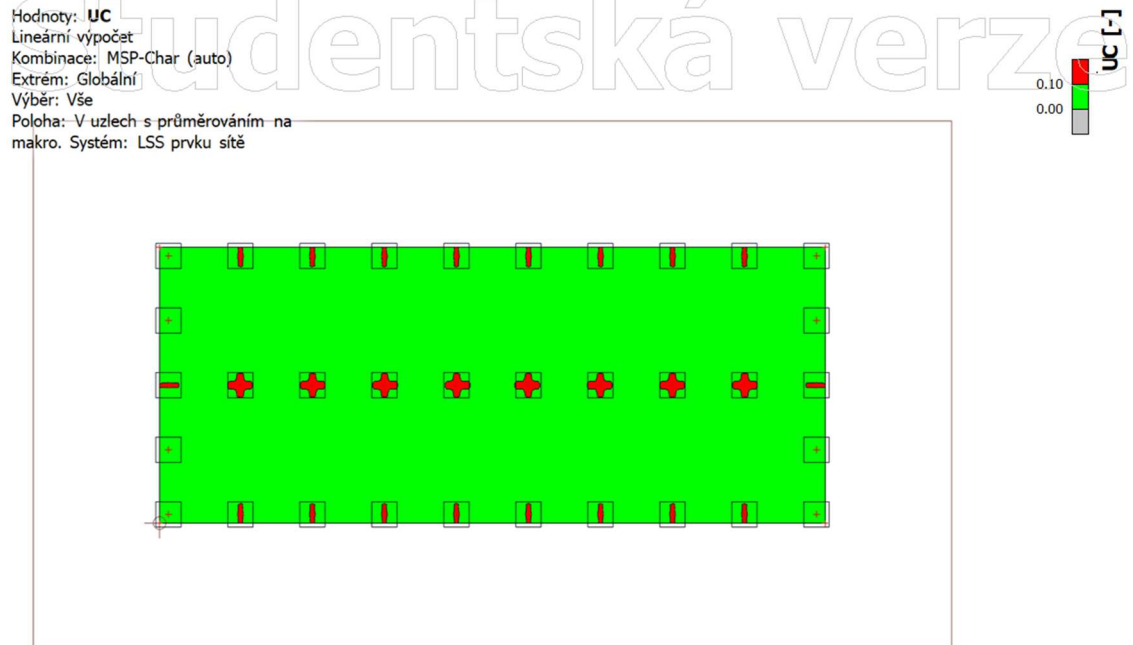
Ve všech posuzovaných bodech, kde byla hodnota šířky trhliny pře-násobena hodnotou 140 mm, nedochází k překročení limitní hodnoty 0,3 mm. Tudíž posouzení je v souladu s požadavky. [27]

5.5. Posouzení omezení napětí

Kontrola omezení napětí je založena na výpočtu napětí v konkrétním prvku ve směru hlavních vnitřních sil a porovnání s omezujícími hodnotami v souladu s požadavky normy. Na základě vnitřních sil, průřezu betonu a výztuže definovaných uživatelem

dokáže program SCIA Engineer vypočítat rovinu rovnováhy a najít skutečné hodnoty napětí v každém prvku. Napětí jsou vypočítána na stejných vnitřních silách, které jsou použity pro výpočet šířky trhlin. [27]

3. 2D omezení napětí pro vláknobeton; UC



Obrázek 21 Výsledky posudku omezení napětí v programu SCIA ENGINEER

Jméno	Síť	Pozice [m]	Stav Dir.(surf.) Výzt. [mm ² /m]	h [mm]	Typ vláknů Dávkování [kg/m ³]	m_{char} [kNm/m]	m_{ap} [kNm/m]	$\sigma_{c, char}$ [MPa]	$\sigma_{c, char, lim}$ [MPa]	UC [-]	CH/V/P
						n_{char} [kN/m]	n_{ap} [kN/m]	$\sigma_{c, ap}$ [MPa]	$\sigma_{c, ap, lim}$ [MPa]	Posudek	
								$\sigma_{s, char}$ [MPa]	$\sigma_{s, char, lim}$ [MPa]		
S3	Prvek: 1158 Uzel: 34	22,800 10,200 0,000	MSP-Char (auto)/1 2(+) 0/0	250	SD65/60BG 30,00	21,89 0,00	18,46 0,00	-2,1 -2,1 0,0	-18,0 -13,5 0,0	0,16 OK, ale	N8/F1

Obrázek 22 Výsledková tabulka posudku omezení napětí v programu SCIA ENGINEER

Z výsledků je patrné, že jednotlivé prvky splňují požadavky omezení napětí. Tento výsledek platí jak pro tlaková napětí v betonu, tak pro tahová napětí ve výztuži. U tahového napětí ve výztuži pro drátkobeton ještě dochází k redukcí pomocí redukčního faktoru, který zohledňuje vliv vláken. Díky tomu je skutečné napětí nižší než nominální hodnota.

5.6. Nesilová zatížení

5.6.1. Napětí od změny teploty

Nejprve si zvolme změnu teploty (ΔT), která je relevantní pro naši situaci. Teplota ve skladovací hale může mít různý rozsah a v některých případech může docházet k významnějším změnám teploty v průběhu dne nebo ročního období.

Uvažme například rozumnou změnu teploty, jako je rozdíl mezi teplotou během chladné noci a teplotou během teplejšího dne. Pro ilustraci můžeme zvolit změnu teploty $\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (tj. rozdíl $20 \text{ }^\circ\text{C}$ mezi nejchladnější a nejteplejší částí dne).

Nyní můžeme použít vzorec pro výpočet napětí způsobeného změnou teploty:

$$\sigma = \alpha * E * \Delta T$$

kde:

- $\alpha = 0,00001 \text{ m/mK}$ je koeficient teplotní roztažnosti,
- $E = 32\,800 \text{ MPa}$ je modul pružnosti drátkobetonu,
- $\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ je změna teploty.

Dosažením těchto hodnot do vzorce dostaneme:

$$\sigma = 0,00001 * 32800 * 20 = 6,56 \text{ MPa}$$

Napětí způsobené změnou teploty je tedy $6,56 \text{ MPa}$ a překračuje tahovou pevnost drátkobetonu, které je $2,9 \text{ MPa}$. Toto představuje potenciální riziko pro integritu drátkobetonové podlahy ve skladovací hale.

5.6.2. Smršťování

Smršťování betonu je jev, kdy dochází ke zmenšení objemu betonu v důsledku ztráty vody a následného zpevnění. Tento proces je důležitý při návrhu betonových konstrukcí, protože může vést k vnitřním napětím a deformacím, které ovlivňují stabilitu a trvanlivost stavby. Existují dva hlavní druhy smrštění betonu:

- smršťování vysycháním,
- autogenní smršťování.

Smršťování vysycháním se vyskytuje u čerstvého betonu, kdy ještě není zcela zpevněný. Tento druh smršťování je způsoben ztrátou vody z povrchu betonu, která je rychle vysušována vlivem větru, slunce nebo vysokých teplot.

Autogenní smršťování se vyskytuje po zpevnění betonu a je způsobeno samovolnou ztrátou vlhkosti v důsledku hydratace cementu.

Celkové poměrné přetvoření od smršťování (ε_{cs}) je pak tedy poměrné přetvoření od smršťování vysycháním (ε_{cd}) a poměrné přetvoření od autogenního smršťování (ε_{ca}): [29]

Vývoj poměrného smršťování vysycháním v čase se vypočítá jako:

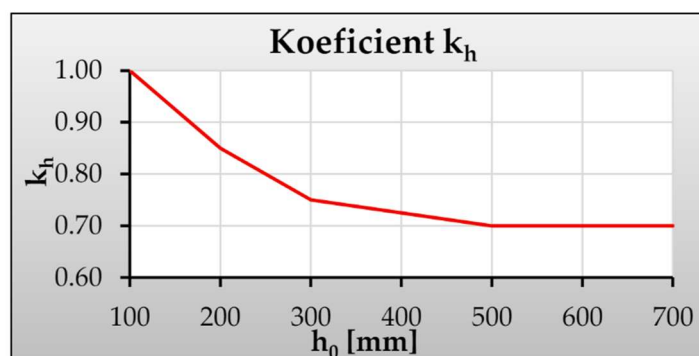
$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) * k_h * \varepsilon_{cd,0}$$

kde:

- $\beta_{ds} = 0,976$ je součinitel časového průběhu smršťování,

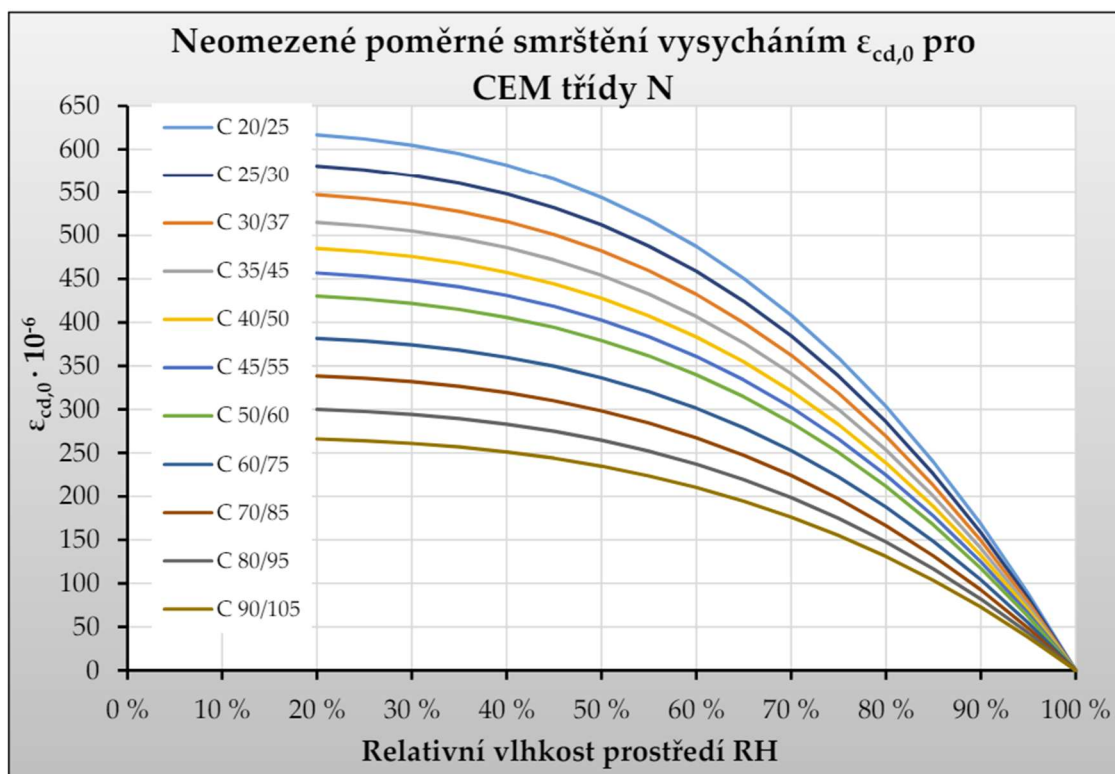
$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 * \sqrt{h_o^3}} = \frac{(18250 - 2)}{(18250 - 2) + 0,04 * \sqrt{500^3}} = 0,976$$

- $t = 18250$ je stáří betonu v uvažovaném okamžiku, ve dnech,
- $t_s = 2$ je stáří betonu (dní) při začátku smršťování vysycháním,
- $h_o = 500 \text{ mm}$ je náhradní tloušťka,
- $k_h = 0,7$ je součinitel závisící na náhradní tloušťce h_o podle Obrázku 23,



Obrázek 23 Závislost součinitele k_h na náhradní tloušťce h_o

- $\varepsilon_{cd,0} = 475 * 10^{-6}$ je konečná hodnota poměrného smršťování vysycháním podle Obrázku 24 pro relativní vlhkost prostředí 50 %.



Obrázek 24 Nomogram pro konečné hodnoty poměrného smršťování od vysychání

Dosažením těchto hodnot do vzorce dostaneme:

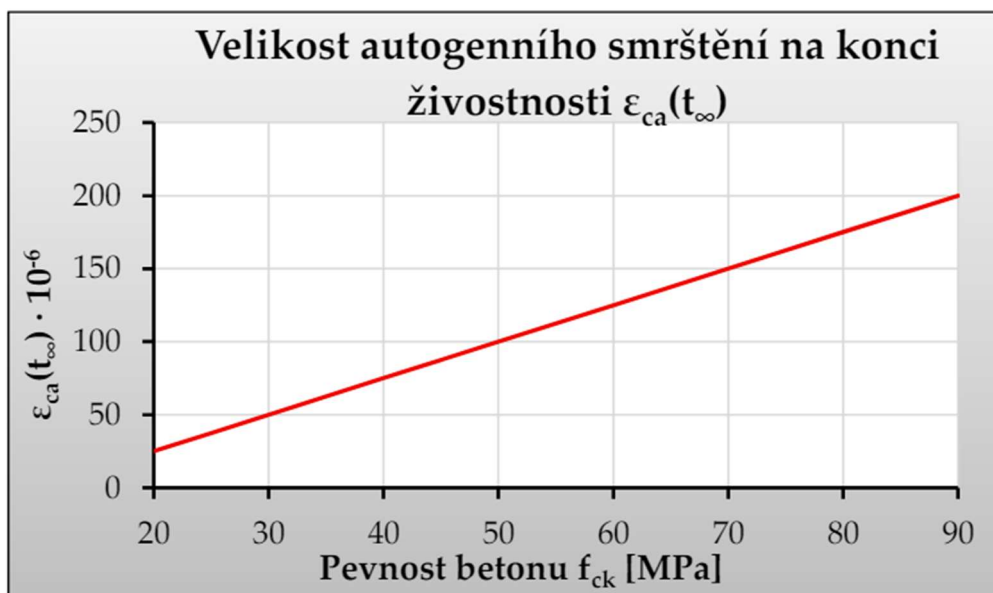
$$\varepsilon_{cd}(t) = 0,976 * 0,7 * 475 * 10^{-6} = 3,25 * 10^{-4}$$

Poměrné autogenní smršťování se vypočítá jako:

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{ds}(t) * \varepsilon_{ca}(\infty)$$

kde:

- $\beta_{as} = 1$ je součinitel časového průběhu smršťování,
- $\varepsilon_{ca}(t_{\infty}) = 50 * 10^{-6}$ je konečná hodnota autogenního smršťování podle obrázku 25.



Obrázek 25 Nomogram pro konečné hodnoty poměrného autogenního smrštění

Dosažením těchto hodnot do vzorce dostaneme:

$$\varepsilon_{ca}(t) = 1 * 50 * 10^{-6} = 5 * 10^{-5}$$

Celkové poměrné přetvoření od smrštění pak tedy je:

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{ca} + \varepsilon_{cd} = 5 * 10^{-5} + 3,25 * 10^{-4} = 3,75 * 10^{-4}$$

Napětí způsobené změnou od smrštění je tedy 12,3 MPa a překračuje tahovou pevnost drátkobetonu, které je 2,9 MPa. Toto může vést ke vzniku trhlin a strukturálních problémů.

5.6.3. Opatření vůči nesilovým účinkům

Ochrana podlahy vůči nesilovým účinkům je důležitá pro zajištění dlouhodobé trvanlivosti a funkčnosti podlahových konstrukcí. Nesilové účinky zahrnují různé faktory, které mohou poškodit podlahu nebo ovlivnit její vzhled a výkon.

Tato ochrana závisí na správném ošetřování betonu a provádění dilatačních a smršťovacích spár. Postup pro správné ošetřování betonu a provedení těchto spár byl podrobně popsán v předchozích kapitolách.

Závěr

V závěru této bakalářské práce lze konstatovat, že navrhovaná drátkobetonová podlaha pro skladovací halu představuje technicky proveditelné a ekonomicky výhodné řešení. Provedená analýza a modelování pomocí softwaru SCIA Engineer ukázala, že navržená podlaha splňuje požadavky na mezní stavy únosnosti a použitelnosti.

Studie technologických variant, obecných požadavků a typů zatížení průmyslových podlah poskytla důležité poznatky pro proces návrhu. Detailní popis konstrukce a provádění průmyslových podlah včetně jednotlivých vrstev, uložení a ošetření betonu je klíčový pro správné provedení stavby.

Vzhledem k dynamické povaze průmyslových prostředí je důležité při návrhu podlahy zohlednit možné analýzy a modely podloží pro správné posouzení chování konstrukce v průběhu provozu.

Celkově lze konstatovat, že téma drátkobetonových průmyslových podlah je aktuální a má významný potenciál pro praktické využití v průmyslových objektech. Tato práce přináší ucelený pohled na proces návrhu a posouzení těchto podlah a může sloužit jako inspirace pro další studium či aplikaci v praxi.

Seznam literatury

- [1] NGUYEN, Van Chanh. *Steel fiber reinforce concrete* [online]. 2015, 1-9 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://www.refwin.com/Final_ed/UploadFile/2011820153554520.pdf
- [2] ZHENG, Yuanxun, Xiaoman LV, Shawei HU, Jingbo ZHUO, Cong WAN a Jiagi LIU. Mechanical properties and durability of steel fiber reinforced concrete: A review. *ScienceDirect* [online]. 2024, 1-25 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710223022052>
- [3] SAJDLOVÁ, Tereza. *Drátkobeton – Určování parametrů materiálových modelů z výsledků experimentů* [online]. České vysoké učení technické v Praze, 2011 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://mech.fsv.cvut.cz/wiki/images/c/ce/Bazant_2011_sajdlova.pdf
- [4] WEI LUO, Jun. *Behaviour and Analysis of Steel Fibre-Reinforced Concrete under Reversed Cyclic Loading* [online]. University of Toronto, 2014 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: [http://vectoranalysisgroup.com/theses/Luo-MASc\(2014\).pdf](http://vectoranalysisgroup.com/theses/Luo-MASc(2014).pdf)
- [5] OIKONOMOU-MPEGETIS, Sotiros. *BEHAVIOUR AND DESIGN OF STEEL FIBRE REINFORCED CONCRETE SLABS* [online]. Imperial College London, 2013 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/76989723.pdf>
- [6] BEHBAHANI, Hamid a Behzad NEMATOLLAHI. Steel Fiber Reinforced Concrete: A Review. *ICSECM* [online]. 2011 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/266174465_Steel_Fiber_Reinforced_Concrete_A_Review
- [7] BAZGIR, Ahmad. *The Behaviour of Steel Fibre Reinforced Concrete Material and its Effect on Impact Resistance of Slabs* [online]. City University London, 2016 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/42630797.pdf>
- [8] SINGH, Harvinder. *Steel Fiber Reinforced Concrete: Behavior, Modelling and Design* [online]. 2017. Singapore: Springer Singapore, 2017 [cit. 2024-05-15]. Springer Transactions in Civil and Environmental Engineering. ISBN 978-981-10-2507-5.

- [9] POSPÍŠIL, Michal. *VLIV PEVNOSTI DRÁTKU NA PRACOVNÍ DIAGRAM DRÁTKOBETONU* [online]. České vysoké učení technické v Praze, 2017 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/69364>
- [10] DEJDAROVÁ, Natálie. *Koroze drátkobetonu* [online]. České vysoké učení technické v Praze, 2019 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/83935>
- [11] SCHUTOVÁ, Veronika. *DRÁTKOBETON JAKO BALISTICKÁ OCHRANA* [online]. České vysoké učení technické v Praze, 2022 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/99621>
- [12] KRÁTKÝ, Jiří, Jan VODIČKA a Karel TRTÍK. *Drátkobetonové konstrukce: úvodní část a příklady použití : směrnice pro navrhování, provádění, kontrolu výroby a zkoušení drátkobetonových konstrukcí*. Praha: Informační centrum České komory autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, 1999. Betonové stavitelství. ISBN 80-863-6400-3.
- [13] MYNARČÍK, Petr. Technology and Trends of Concrete Industrial Floors. *ScienceDirect* [online]. 2013 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813015269>
- [14] MEDELIENE, Violeta a Vigantas Antanas ŽIOGAS. Making solutions for choosing industrial concrete floors and expedience of reliability evaluation. *ResearchGate* [online]. 2010 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/229045672_Making_solutions_for_choosing_industrial_concrete_floors_and_expedience_of_reliability_evaluation
- [16] HEDEBRATT, Jerry. *Industrial Fibre Concrete Floors* [online]. School of Architecture and the Built Environment, 2012 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/24627bd2-41a5-474b-b4c2-868aeb36afb3/FinalReport/SBUF%2012566%20Slutredovisning%20Dr-avh%20Industrial%20Fibre%20Concrete%20Floors.pdf>
- [17] PENČÍK, Jan, Miloš LAVICKÝ a Pavel SCHMID. PORUCHY PRŮMYSLOVÝCH PODLAH. *Soudní inženýrství* [online]. 2006 [cit. 2024-05-15].
- [18] VRABLÍK, Lukáš, Jan LOŠKO, Vladimír KŘÍSTEK a Jaromír JAROŠ. *MODERNÍ METODA NÁVRHU PRŮMYSLOVÝCH PODLAH Z DRÁTKOBETONU* [online]. 2010

[cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.ebeton.cz/clanky/2010-2-90-moderni-metoda-navrhu-prumyslovych-podlah-z-dratkobetonu/>

[19] TOMAN, Kryštof. *NUMERICAL SIMULATION OF SLAB STRIP MADE OF STEEL FIBRE REINFORCED CONCRETE* [online]. Prague [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://concrete.fsv.cvut.cz/phdworkshop/proceedings/2022/pdf/Toman_Krystof.pdf. Article. Czech Technical University in Prague.

[20] PŘIBYL, Jan. *PROVÁDĚNÍ PRŮMYSLOVÝCH BETONOVÝCH PODLAH VČETNĚ POVRCHOVÝCH ÚPRAV* [online]. 2004 [cit. 2024-05-15].

[21] BASHAM, Kim. *Rules for Designing Contraction Joints* [online]. [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://www.forconstructionpros.com/concrete/article/20999043/kb-engineering-llc-rules-for-designing-contraction-joints>

[22] KLODNER, Jan. *Projekt nosné železobetonové konstrukce* [online]. Brno, 2012 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/ipswcq/>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.

[23] LEBEDA, Martin. *Numerická studie interakce základových konstrukcí s podloží*. [online]. 2019 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/84187/F1-BP-2019-Lebeda-Martin-text.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>

[24] BULUT, Rifat a Robert L. LYTTON. *Slab-on-Ground – A Finite Element Method Analysis* [online]. 2022 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/366356777_Slab-on-Ground_-_A_Finite_Element_Method_Analysis_Slab-on-Ground_-_A_Finite_Element_Method_Analysis

[25] SVOBODA, Pavel a Josef DOLEŽAL. *Průmyslové podlahy a podlahy v objektech pozemních staveb*. Bratislava: Jaga, 2007. ISBN 978-80-8076-054-0.

[26] HELA, Rudolf. *Betonové průmyslové podlahy*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) a Českou betonářskou společnost (ČBS) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2006. Betonové stavitelství. ISBN 80-867-6973-9.

- [27] DLOUHÝ, Lukáš a Steven POUILION. Implementace návrhových norem pro vláknobeton vyztužený ocelovými drátky do výpočetního softwaru. *Časopis beton* [online]. 2020 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://www.ebeton.cz/clanky/2020_2_8_implementace-navrhovych-norem-pro-vlaknobeton-vyztuzeny-ocelovymi-dratky-do-vypocetniho-systemu/
- [28] COLLEPARDI, Mario. *Moderní beton*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2009. Betonové stavitelství. ISBN 978-80-87093-75-7.
- [29] *STANOVENÍ POMĚRNÉHO PŘETVOŘENÍ OD SMRŠŤOVÁNÍ* [online]. [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/BZK/zvolanek.1/vyuka_bzk/BL05_Smrstovani.pdf

Seznam příloh

- Výstup z programu SCIA Engineer