

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra betonových a zděných konstrukcí



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Variantský návrh železobetonového vazníku

Variant design of reinforced concrete beam

KRISTÝNA PRŮŠOVÁ

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Iva Broukalová, Ph.D.

Praha 2022

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracovala samostatně, pouze za odborného vedením doc. Ing. Ivy Broukalové, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpala, jsou uvedeny v seznamu literatury.

V Praze dne

Kristýna Průšová

Poděkování

Chtěla bych poděkovat paní doc. Ing. Ivě Broukalové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, vstřícnost a trpělivost během zpracování mé bakalářské práce. V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině a přátelům za neutuchající podporu.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je navrhnutí a posouzení železobetonového vazníku v několika variantách a následné zhodnocení dopadů jednotlivých variant na životní prostředí.

Vazník byl navržen v rozdílných tvarových i materiálových variantách. V betonových konstrukcích byl sledován vliv rozdílného zastoupení slínku v cementu. V závěru jsou porovnány jednotlivé varianty z pohledu ovlivnění globálního oteplování.

Klíčová slova:

Železobeton, enviromentální vlivy, oxid uhličitý, cement

Abstract

Subject of this bachelor thesis is the design and assessment of a reinforced concrete beam in several variants and the subsequent evaluation of the impacts of individual variants to the environment.

The beam was designed in different shapes and material variants. The effect of different clinker proportions in cement was studied in concrete structures. In the end, the individual variants are compared from the point of view of their influence global warming.

Key words:

Reinforced concrete, environmental impacts, carbon dioxid cement

Obsah

1.	Životní prostředí a dopady na něj.....	8
1.2	Účinky CO ₂ na životní prostředí.....	8
1.3	Globální oteplování	8
1.4	Úbytek surovin.....	9
1.5	Tvorba fotooxidantů.....	9
1.6	Úbytek ozónu ve stratosféře	9
1.7	Eutrofizace	9
1.8	Acidifikace.....	10
1.9	Uhlíková stopa	10
1.10	Další dopady	11
1.11	Faktory pro hodnocení dopadů	11
1.11.1	Potenciál globálního oteplování (GWP).....	11
1.11.2	Potenciál tvorby přízemního ozonu.....	11
1.11.3	Potenciál porušení ozonové vrstvy (ODP)	11
1.11.4	Potenciál acidifikace prostředí (AP).....	12
1.11.5	Potenciál eutrofizace prostředí (EP).....	12
1.11.6	Potenciál porušení abiotické složky prostředí (ADP).....	12
2	Beton.....	13
2.1	Výroba betonu	13
2.2	Vliv cementu na pevnost betonu	13
2.3	Výroba cementu a produkce CO ₂	14
2.4	Současná výroba.....	16
2.5	Enviromentální výhody betonových konstrukcí.....	17
2.6	Ekologičtější varianty výroby cementu ze světa.....	18
2.6.1	Náhrada cementů jinými látkami.....	18
2.6.2	Prodloužení životnosti	18

2.7	Druhy cementu a jejich složení.....	19
2.7.1	Druhy cementů a CO ₂	22
3	Enviromentální prohlášení o výrobku a LCA.....	23
3.1	LCA	23
3.1.1	Cíle a rozsah	24
3.1.2	Inventarizační analýza.....	24
3.1.3	Posouzení dopadů.....	24
3.1.4	Interpretace výsledků	25
3.1.5	Životní cyklus produktu.....	25
3.2	EPD.....	27
3.2.1	Enviromentální prohlášení typu III.....	27
3.2.2	Pravidla produktové kategorie	27
3.2.3	Zisk EPD	27
3.2.4	Databáze EPD	27
4	Norma ČSN ISO 14064-3:2019.....	28
5	Varianty návrhu vazníku a zhodnocení z hlediska CO ₂	29
5.1	Obecný popis řešené úlohy:	29
5.2	Vstupní parametry návrhu	29
5.2.1	Okrajové podmínky výpočtu	29
5.2.2	Skladba střešní konstrukce:	29
5.2.3	Schéma konstrukce	30
5.3	Zatížení konstrukce.....	30
5.3.1	Stálé zatížení:	30
5.3.2	Proměnné zatížení:	31
5.3.3	Zatížení celkem:	32
5.4	Receptura betonu:.....	32
6	Železobetonový vazník varianta 1	33

6.1	Materiálové charakteristiky vazníku (1A – CEM I.).....	33
6.2	Návrh vazníku:	34
6.2.1	Vnitřní síly – MSÚ.....	34
6.2.2	Vnitřní síly – MSP	35
6.2.3	Předběžný návrh:	36
6.2.4	Přesný návrh vazníku:	37
6.2.5	Posouzení průřezu 1 (x=0 m)	39
6.2.6	Posouzení průřezu 2 (x=6 m)	43
6.3	Materiálové charakteristiky vazníku (1B – CEM II/B-Q)	48
6.4	Materiálové charakteristiky vazníku (1C – CEM III/B)	48
7	Železobetonový vazník varianta 2	49
7.1	Materiálové charakteristiky vazníku (2A – CEM I.).....	49
7.2	Materiálové charakteristiky vazníku (2B – CEM II/B-Q)	50
7.3	Materiálové charakteristiky vazníku (2C – CEM III/B)	50
7.4	Vnitřní síly – MSÚ	51
7.5	Vnitřní síly – MSP.....	52
8	Železobetonový vazník varianta 3	53
8.1	Materiálové charakteristiky vazníku (3A – CEM I.).....	53
8.2	Materiálové charakteristiky vazníku (3B – CEM II/B-Q)	53
8.3	Materiálové charakteristiky vazníku (3C – CEM III/B)	54
8.4	Vnitřní síly – MSÚ	55
8.5	Vnitřní síly – MSP.....	56
8.6	Označení prutů příhradové konstrukce.....	57
9	Analýza dopadů na ŽP pomocí LCA.....	58
9.1	Porovnání množství materiálu v jednotlivých variantách	63
9.2	Porovnání účinků ocele a betonu na globální oteplování.....	63
9.3	Celkové zhodnocení.....	68

10	Závěr	69
11	Seznam použité literatury.....	70
12	Seznam obrázků.....	73
13	Seznam tabulek.....	74
14	Seznam příloh	76

1. Životní prostředí a dopady na něj

Vzhledem ke stále rostoucí populaci na Zemi a růstu jejích potřeb je nezbytně nutné se o planetu starat a investici do ochrany ovzduší začlenit do každého technického pokroku. Každá hospodářská činnost produkuje nevyhnutelné množství odpadů, které obsahují látky pro přírodu nepřírozené a ta se s nimi neumí vypořádat. Je nutné tyto odpady zpracovávat a využívat znovu, aby se minimalizoval jejich negativní vliv na ekosystémy.

1.2 Účinky CO₂ na životní prostředí

Koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře stále roste, eliminace množství oxidu uhličitého je ekologické téma číslo jedna již několik let. Zvyšování koncentrace skleníkových plynů, mezi které patří i oxid uhličitý, dochází ke snižování radiační schopnosti zemského povrchu, obecně řečeno ke globálnímu oteplování.

Emise ve stavebnictví by měly do roku 2030 klesnout o 16 %, aby bylo možné dosáhnout klimatických cílů a udržet tak oteplování Země pod 2 °C.

1.3 Globální oteplování

Klima na Zemi je ovlivňováno množstvím tepelné energie pronikající do atmosféry. Dochází k jevu, který se označuje jako skleníkový efekt.

Skleníkový jev je přirozený, jde o zachycování energie skleníkovými plyny v atmosféře. Skleníkové plyny zapříčiňují zadržování stále většího množství energie v atmosféře a zvětšují tedy skleníkový efekt. Skleníkový jev je způsobem skleníkovými plyny, které absorbují sluneční záření a tím atmosféru ohřívají. Mezi tyto plyny řadíme oxid uhličitý, metan, oxid dusný, hexafluorid sírový a halogenové uhlovodíky (freony a halony). Bez skleníkového efektu by nebylo možné na Zemi žít, jelikož by průměrná teplota byla --- -18°C. [1]

Zesílení skleníkového efektu vede ke zvýšení množství zadržené energie v atmosféře, díky tomu dochází ke globálnímu oteplování a následným klimatickým změnám, které se projevují změnou počasí na globální či lokální úrovni. Na lokálních změnách klimatu se podílí lidská činnost související s hospodařením s vodou v krajině, s vegetací či terénními úpravami. Kvůli změně klimatu se předpokládá vyšší výskyt počtu přírodních katastrof, např.: výskyt hurikánů, zemětřeseních, bouří a tropických cyklonů. [1]

Z grafů zaznamenávajících množství vypouštěného CO₂ lze vyčíst, že globální oteplování je téměř přímo úměrné celkovému množství CO₂, které bylo vypuštěno do atmosféry. [2]

Některé důsledky klimatických změn mohou být i pozitivní, ale ze současných výzkumů vyplývají spíše negativní dopady. Jde především o změny spojené s hydrosférou, pedosférou a biosférou. Viditelné projevy jsou zvyšování hladin moří, posuny vegetačních pásem a ubývání srážek. Oteplování ovlivňuje i existenci lidstva např.:

podvýživa v rovníkových oblastech zapříčiněná neúrodou, snazší přenášení infekčních chorob.

1.4 Úbytek surovin

Vlivem produktové výroby dochází ke spotřebování jak neobnovitelných, tak obnovitelných surovin z přírodních zdrojů. Mezi přírodní zdroje řadíme nerosty, materiály a látky nacházející se v zemi, moři a atmosféře. Spotřebovávání neobnovitelných zdrojů je nevratné, což vede k poklesu dostupnosti dané suroviny, zvýšení její ceny a v horizontu času nutnosti najít náhradní suroviny, dále dochází k narušení či destrukci ekosystémů. Při nadměrném čerpání obnovitelných surovin dochází mimo výše uvedených i k vyhynutí biologických druhů v důsledku zničení jejich přirozeného prostředí. Dalšími dopady jsou negativní projevy spojené s těžbou surovin a jejich doprava. [3][4]

1.5 Tvorba fotooxidantů

Jedná se o toxické působení ozónu na živé organismy a narušení materiálů oxidačními reakcemi. Přízemní ozón vzniká chemickými reakcemi za přítomnosti slunečního záření, oxidů dusíku a těkavých látek, především v místech s intenzivní dopravou a v průmyslových aglomeracích. Koncentrace troposférického ozónu v důsledku lidské činnosti vzrostla na 100 %, k čemuž hlavně přispívá stále nekončící růst motorové dopravy. Mezi fotooxidanty patří také peroxyacetylnitrat PAN a peroxid vodíku. K tvorbě fotooxidantů významně přispívá reliéf terénu. V místech hůře provětrávaných dochází k větší koncentraci.

1.6 Úbytek ozónu ve stratosféře

Od 70. let 20. století je možné ve stratosféře pozorovat přítomnost freonů. V důsledku prudkého růstu jejich množství došlo ke snížení atmosférického ozónu, které není rovnoměrné. V této souvislosti lze hovořit o ozonové díře. Jedná se o popis ztenčené ozonové vrstvy. V současné době k ubývání ozónu nedochází. Navrácení do původního stavu bude trvat několik desítek let.

1.7 Eutrofizace

Dochází k obohacování vod, půd a moří o živiny, především o dusík a fosfor. Hlavním viditelným projevem je zarůstání hladin sladkovodních i mořských vod vodními rostlinami (např. sinice, řasy). Dochází k zabránění pronikání slunečních paprsků do nižších pater vodního sloupce, což negativně ovlivňuje fotosyntézu a růst rostlin u dna vod. Některé druhy sinic ohrožují i zdraví lidí. Další projevy jsou úbytek kyslíku ve vodách, změna druhového složení ekosystémů, zhoršená kvalita povrchových vod a zdrojů pitné vody.

Eutrofizaci lze rozdělit na přirozenou a antropogenní. Přirozená je nevratný proces, který s časem roste. Je způsobena uvolňováním dusíku, fosforu a silikátů z půdy, sedimentů a odumřelých organismů. Vede k zániku jezer zazemněním. Oproti tomu

antropogenní způsobuje produkce hlavně fekálních odpadů, dále také zemědělská výroba, průmyslové odpadní vody a používání polyfosforečnanů v čisticích prostředcích. Obecně řečeno antropogenní eutrofizace je způsobena činností člověka. K omezení eutrofizace přispívá snížení živin v odpadních vodách čištěním, změna složení pracích a čisticích prostředků, šetrnější přístup k zemědělství. [4]

1.8 Acidifikace

Dochází k okyselování půdního nebo vodního prostředí díky nárůstu koncentrace vodíkových kationtů, protonů H^+ . Hlavní příčinou je vypouštění kyselinotvorných látek do atmosféry, vody a půdy. Tyto látky se v případě vzdušných emisí dostávají suchou a vlhkou depozicí a srážkami do dalších složek prostředí.

Mezi látky podílející se na acidifikaci se řadí oxid siřičitý, oxidy dusíku, anorganické kyseliny, sirovodík, čpavek a amonné ionty.

Kyselinotvorné látky, které kondenzují z okyselených srážek na površích nebo se rozpouštějí ve vodě, mají negativní účinek na biologické tkáně rostlin, živočichů i bakterií a také rozrušují materiály.

Kyselými srážkami se rozumí, pokud srážky mají pH pod hodnotou 5,6. Některé přírodní procesy, mezi které lze řadit sopečné emise či biologický rozklad, snižují pH srážek, ale alkalický prach kyselou reakci zvyšuje.

Nejvíce se acidifikace projevuje v Evropě, v oblastech severní a jižní Ameriky a oblastech Asie a Afriky. Zasažené oblasti se vyznačují podložím tvořeným rulami a žulami. Oproti tomu oblasti s vápenci jsou schopny dlouho odolávat působení acidifikace.

V zasažených průmyslových oblastech mají srážky hodnotu pH 4 - 4,5, mimořádně hodnotu 3. Jako ukazatel acidifikace lze tedy používat kyselou reakci.

Pojmem kyselá jezera označujeme vody jejichž pH klesne k hodnotě 4,5. V této situaci dochází k uvolňování rozpustných kovů, např.: hliníku, kadmia, železa, manganu, rtuti. [4]

1.9 Uhlíková stopa

Jedná se o vyjádření celkového množství CO_2 a dalších skleníkových plynů od určitého produktu vyjádřených v kg CO_2 uvolněných do prostředí během celého životního cyklu produktu. „Od doby vypouštění CO_2 do ovzduší se průměrná teplota na Zemi zvýšila o $1,2\text{ }^\circ\text{C}$ “ (vztaženo k roku 2020). „Od začátku průmyslové revoluce lidstvo vypustilo 2300 Gt CO_2 , což vedlo k nárůstu koncentrací CO_2 z 280 ppm na 420 ppm a průměrnému oteplení o cca $1,2\text{ }^\circ\text{C}$ (i když třeba v ČR se průměrná teplota zvýšila o více než $2\text{ }^\circ\text{C}$, a na Špicberkách dokonce o více než $4\text{ }^\circ\text{C}$).“ [5]

Uhlíkovou stopu lze vyjádřit číselnými hodnotami rozčleněnými k jednotlivým etapám životního cyklu výrobku. Výsledky se také zaznamenávají do zprávy o uhlíkové stopě a vyjadřují se v hmotnosti oxidu uhličitého na funkční jednotku výrobku. [6]

1.10 Další dopady

Dopadů na životní prostředí je velké množství. Mezi další podstatné nepřímé dopady lze řadit: odlesňování, eroze půdy, záplavy, znečištění vod a půd.

1.11 Faktory pro hodnocení dopadů

Jedná se o měřítka, díky kterým lze sledovat emise jednotlivých prvků, které jsou rozhodující pro každý typ dopadu. Obecně je nazýváme indikátory. „Indikátor kategorie dopadu životního cyklu je kvantifikovatelná jednotka schopná vyjádřit změny v kategorii dopadu.“ [23] Indikátory dopadu se většinou zvolí typická látka, která je charakteristická pro daný dopad. Ostatní látky, které vstupují do dopadu, se vyjadřují pomocí ekvivalentu zvoleného indikátoru, tj. kolikrát více či méně se látka podílí na dopadu.

1.11.1 Potenciál globálního oteplování (GWP)

Potenciál je měřítkem vlivu emisí z lidské činnosti na radiační působení atmosféry. „Vyjadřuje schopnost skleníkového plynu zadržovat energii v atmosféře ve srovnání s referenční látkou – oxidem uhličitým.“ [4]

„Potenciál globálního oteplování je index založený na radiačních vlastnostech při měření radiačního působení pulzní emise jednotkové hmotnosti daného skleníkového plynu v současné atmosféře integrované ve zvoleném časovém horizontu ve vztahu k emisi CO₂.“ [6]

1.11.2 Potenciál tvorby přízemního ozonu

„Ekvivalentní emise C₂H₄ vyprodukované během celého životního cyklu daného výrobku nebo jeho části, způsobující tvorbu přízemního ozonu. Jednotkou jsou kilogramy etylenu ekvivalentní [kg C SO₂H SO₄, ekv.].“ [7]

1.11.3 Potenciál porušení ozonové vrstvy (ODP)

„Vyjadřuje účinnost látky rozkládat stratosférický ozon ve srovnání s referenční látkou R 11(R13), jež se někdy označuje R 11.“ [4]

„Je to veličina popisující míru schopnosti dané látky odbourávat ozon za stratosférických podmínek. Vyjadřuje se relativním způsobem, přičemž jako základ pro porovnání byl vzat freon CFC-11 (trichlorfluormethan), jehož hodnota ODP byla položena rovna jedné. Hodnoty ODP u ostatních freonů a halonů se pak vyjadřují jako násobky ODP freonu CFC-11.“ [8]

1.11.4 Potenciál acidifikace prostředí (AP)

„Svázané emise SO₂ udávající ekvivalentní emise vyprodukované během celého životního cyklu daného výrobku nebo jeho části, způsobující okyselování (acidifikaci) prostředí. Ekvivalentní znamená, že se nejedná pouze o emise SO₂, ale také o emise dalších plynů způsobujících okyselování prostředí, jejichž efekt je přepočítán na úroveň efektu SO₂. Udává se v gramech nebo v kilogramech SO₂ ekvivalentních - [kg SO₂, ekv.] nebo [g SO₂, ekv.].“ [7]

1.11.5 Potenciál eutrofizace prostředí (EP)

„Udává množství ekvivalentních atmosférických emisí x a emisí 4 z odpadních vod vyprodukované během celého životního cyklu daného výrobku nebo jeho části, způsobujících nepřirozené zvyšování obsahu živin ve vodách a půdách (eutrofizaci). Jednotky: [kg x,ekv.] nebo [kg 43-,ekv.].“ [7]

1.11.6 Potenciál porušení abiotické složky prostředí (ADP)

Jde o vyhodnocení problému stále klesajícího množství nerostných surovin. Většinou se jedná o model založený na celkovém světovém surovinovém bohatství v porovnání s jejich každoročním čerpání. [1]

2 Beton

Beton je v dnešní době jeden z nejpoužívanějších stavebních materiálů, hlavně díky jednoduchosti výroby, širokému uplatnění a poměrně malým nákladům. Hlavní složkou betonu je cement, který je nejvíce škodlivý pro klima. Především jeho výroba, při které vzniká velké množství CO₂. Přeprava cementu či hotového betonu na místo určení, zahrnuje další emise CO₂ vypouštěné do ovzduší. Oxid uhličitý má negativní vliv na ovzduší a přispívá ke klimatické změně především ke globálnímu oteplování.

Dále se na výrobu betonu ročně spotřebují 3 biliony litrů sladké vody, které začíná být v dnešní době také nedostatek

Předpokládá se, že i v budoucnu bude poptávka po betonu neustále růst vzhledem k neustálému růstu městské infrastruktury především v Indii a Africe. Již za posledních 50 let produkce betonu vzrostla 12krát. [9]

2.1 Výroba betonu

Beton je směs cementu, vody a kameniva, popřípadě doplňujících složek.

Kamenivo, zaujímá až 80 % objemu čerstvého betonu.

Cement, který po smíchání s vodou tuhne a tvrdne, je hlavní pojící složkou. Po zatvrdnutí zachovává svoji pevnost a stálost ve vodě.

Nedílnou složkou betonu je voda, která se dělí na záměsovou a ošetřovací.

Beton lze vyrábět v betonárnách. Jejich areály jsou uspořádány dle výrobního postupu. V rámci hospodárnosti se využívají k výrobě betonu i odpady při výrobě transport betonu (např. zbytky z čištění míchaček, autodomíchačů). Součástí betonárny je tedy recyklační zařízení, které zajistí použitelnost recyklovaných složek a začlení je zpět do výrobního procesu.

Beton, pokud se nevyrábí přímo na stavbě, je nutné dopravit na stavbu pomocí nákladních automobilů, autodomíchačů či vanových přepravníků (tzv. primární doprava). K sekundární dopravě, dopravě na staveništi, se řadí kolečka, japonky, motorové vozíky a multikáry. Motorizovaná doprava vzhledem ke spalovacímu motoru se také podílí na zvyšování emisí oxidu uhličitého v ovzduší. Při posuzování betonu a jeho vlivu na životní prostředí je důležité zohlednit i dopravu.[10]

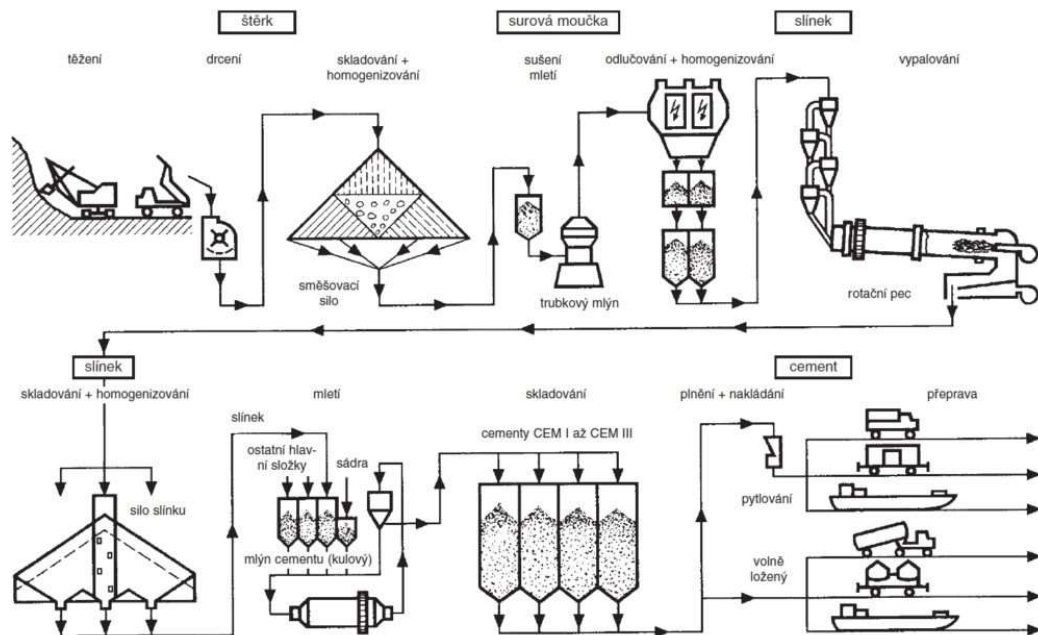
2.2 Vliv cementu na pevnost betonu

Obecně lze říci, že čím vyšší třída cementu je použita, tím má beton větší pevnost. Množství použitého cementu se pohybuje mezi 200–500 kg/m³ hotového betonu. Do konstrukčních betonů se nejčastěji používají portlandské cementy nebo cementy směsné. [10]

2.3 Výroba cementu a produkce CO₂

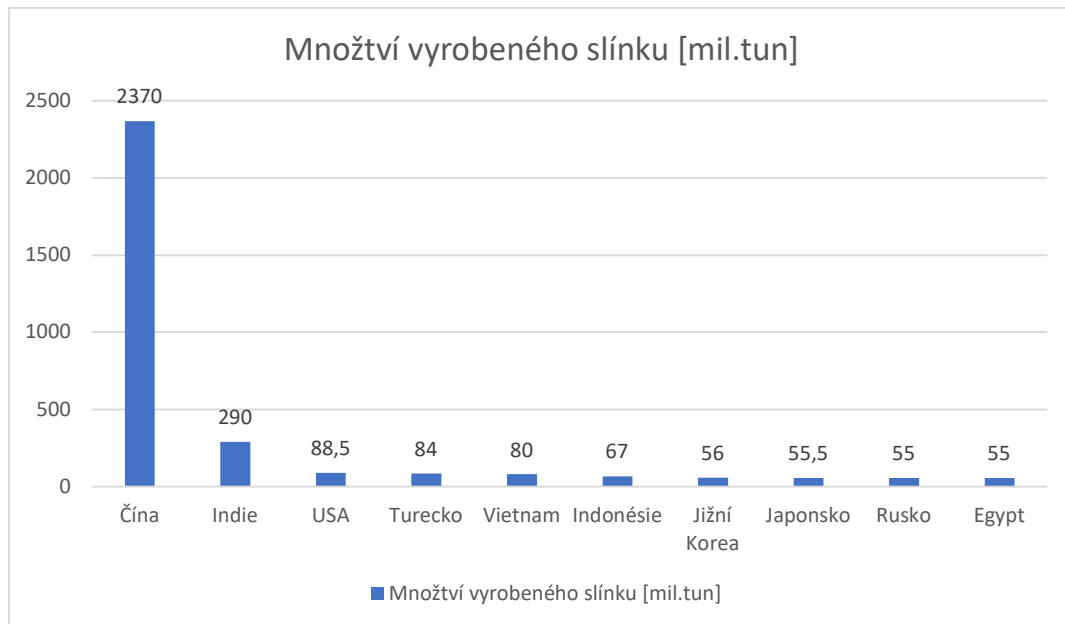
Technologie výroby cementu se téměř nezměnila od druhé poloviny 19. století. Vzhledem k čím dál větší poptávce a z toho plynoucí produkci roste negativní vliv na životní prostředí. Mezi neekologické faktory při výrobě se dají zahrnout velká spotřeba vody a energie. Při výrobě jedné tuny cementu se do ovzduší uvolní jedna tuna CO₂. Díky tomu je betonářskému průmyslu přisouzeno 7 % z celosvětové produkce CO₂. Nehledě na potřebu dále přepravit cement či hotový beton na místo určení, což zahrnuje další emise CO₂ vypouštěné do ovzduší.

Cement se vyrábí v cementárnách z přírodního vápence, vápenných slínů, hlinité břidlice nebo hlín. Suroviny se těží v lomech rypadly nebo pomocí odstřelů a dále se dopravují do drtírny. V drtičce jsou velké kameny postupně rozdrceny. Za pomoci dopravníků je směs přesunuta na skládku surovin. Zde je skladována v homogenizačním silu, které směs homogenizuje, aby obsahovala vhodný poměr čtyř hlavních oxidů. Výpal probíhá poté v rotační peci. Teplota v peci dosahuje 1 480 °C. Po výpalu dojde k prudkému zchlazení spečeniny, která má podobu šedých nestejných granulí. Vzniklý produkt se nazývá slínek. Skladuje se v silu. Poté se mele a drtí na jemný prášek. Během mletí se mohou přidávat další požadované látky v závislosti na druhu připravovaného cementu. Výsledný cement se skladuje v oddělených cementových silech podle struktury a třídy pevnosti. [10]



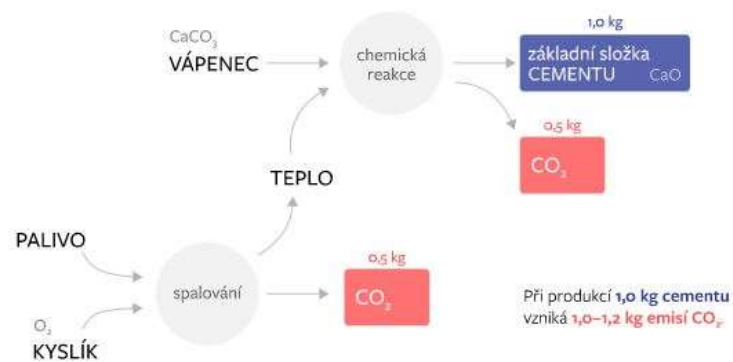
Obrázek 1 Schéma výroby cementu [4]

Největším producentem cementu je Čína jejíž výroba zahrnuje téměř 60 % světové produkce. Mezi další významné producenty betonu se řadí Indie, USA a Turecko.



Obrázek 2 Největší producenti cementu (rok 2018) [5]

Při výrobě cementu vzniká oxid uhličitý dvěma způsoby. Nejprve v chemické reakci a také při spalování uhlí či plynu. Při rozkladu vápence působením tepla vzniká přibližně polovina emisí CO_2 z výroby cementu. Zbylých 50 % vzniká v důsledku spalování uhlí nebo plynu při zahřívání a drcení, při kterých se spotřebuje velké množství energie. V rámci spalování je možné emise CO_2 snížit, například spalováním vodíku. Chemickou reakci není možné upravit, proto je snížení emisí při výrobě cementu obtížné. [6]



Obrázek 3 Schéma produkce CO_2 [11]

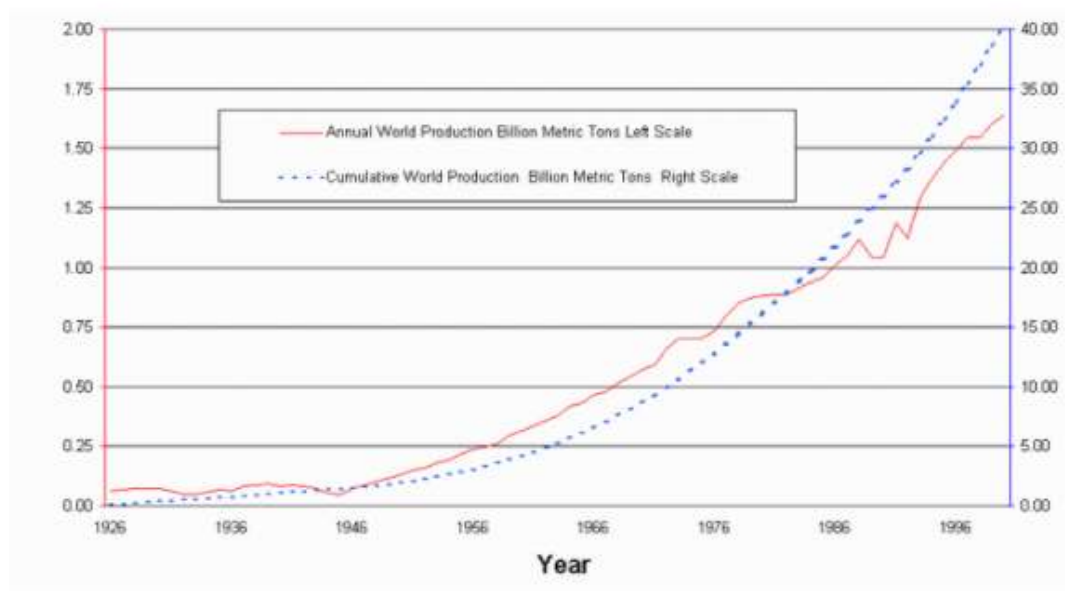
Při výrobě vznikají i jiné emise ovzduší, mezi ně řadíme emise SO_2 a organické látky. Emise SO_2 nepocházejí při výrobě cementu ze spalování spalin, ale z cementářské suroviny (např. obsahující pyrit). Rotační pec spolehlivě zachytí veškerý oxid siřičitý z paliva. Podíl organických emisí při výrobě je téměř nulový. Zdrojem je opět cementářská surovina obsahující organický uhlík. Emise CO_2 se dostávají do ovzduší v přízemní vrstvě z mobilních zdrojů a za nepříznivých povětrnostních podmínek se mohou podílet na fotochemické reakce, které vedou také ke vzniku přízemního ozónu. Ale vzhledem k faktu, že je CO_2 vypouštěno v průmyslu z vysokých komínů ovlivnění vzniku ozónu povětšinou nehrozí a CO_2 se v horizontu několika dní přemění na stabilní oxid uhličitý. [11]

2.4 Současná výroba

Je zřejmé, že největší negativní vliv na životní prostředí má na svědomí výroba slínku, který je ve většině druhů cementů masivně zastoupenou složkou, je třeba vyřešit problém s CO_2 spojený s výrobou právě slínku. Je nutné změnit tedy postup výroby nebo složení cementu.

Dnes už hojně používanou metodou, která vede ke snížení nepříznivých vlivů na životní prostředí, je zpracování odpadů v podobě alternativních paliv při výrobě, tzv. suchý výpal. Toto řešení, jež se začalo používat po druhé světové válce, významněji poté po roce 1990, má minimální efekt na snížení samotných emisí, občas díky většímu obsahu uhlíku v odpadech ještě negativnější vliv. Ale jde o efektivní zpracování odpadů, které by uplatnění našly jen velmi obtížně. Navíc dojde k nahrazení a uspořené klasických fosilních paliv. Je tedy sníženo čerpání neobnovitelných zdrojů. Další nedílnou výhodou je, že nespalitelné součásti odpadu mají podobné složení jako korekční přísady a lze je tedy k tomuto účelu využít.

Světová výroba cementu 1926 -2000



Obrázek 4 Graf růstu výroby cementu celosvětově [12]

Trend vývoje výroby betonu se v posledních letech ubírá také směrem k využívání vysokohodnotných betonů, které umožňují používat subtilnější průřezy. Díky tomu se na jejich výrobu spotřebuje menší množství primárních surovin, tj. kameniva, cementu a vody, a dojde ke snížení enviromentální zátěže i v důsledku menších nároků na dopravu. Hlavním rozdílem je tedy spotřeba menšího množství cementu, tedy snížení množství CO₂. [9]

Ve všech cementárnách probíhá měření emisní látek v souladu s platnou legislativou. Nejdůležitější látky se měří nepřetržitě, emise ostatních látek se měří jednou či dvakrát ročně.

2.5 Enviromentální výhody betonových konstrukcí

I přes všechny nedostatky a negativní dopady výroby cementu na životní prostředí lze beton částečně hodnotit jako environmentálně výhodný, a to z následujících důvodů:

- Využitím vysokopevnostních betonů lze udělat subtilní průřez, díky němu lze ušetřit 40-60 % množství betonu, také dojde ke snížení nákladů na dopravu a manipulaci.
- Dobré tepelně akumulační vlastnosti betonu přispívají k úsporám energie.
- V porovnání s tradičnějšími stavebními materiály vykazuje vhodné hodnoty vzduchové neprůzvučnosti.
- Lze využít průmyslový odpad k výrobě betonu.

- Jedná se o částečně recyklovatelný materiál, lze využít recyklovaný beton místo kameniva apod.
- Vzhledem k dlouhé životnosti a použitelnosti se jedná v dlouhodobém měřítku o méně energeticky i materiálově náročný materiál.
- Nevyžadují velké náklady na provoz, údržbu a demolici.
- Při kvalitním provedení není nutné ho povrchově upravovat, tzv. pohledový beton, snižuje náklady na další práce. [9]

2.6 Ekologičtější varianty výroby cementu ze světa

V současné době existuje již několik způsobů, jak dopady na životní prostředí z výroby cementu snížit. Jedním z přístupů je nahrazení části nebo celého slínku přírodními, recyklovanými nebo odpadními produkty z jiné výroby. Další možností je zvýšit životnost betonových konstrukcí. Stejně množství emisí odpovídá delšímu časovému horizontu a konstrukce jako celek je tedy méně environmentálně náročná.

2.6.1 Náhrada cementů jinými látkami

Jednou z variant je částečná náhrada cementu zeolity. Jedná se o přírodní suroviny, které obsahují živce, slídy a křemence. Reagují tedy s hydroxidem vápenatým, a proto jimi částečně lze nahradit cement, v práci [13] je vyčísleno jejich použití na 20 %. Velký vliv na možnost použití zeolitů má jejich struktura a mineralogické složení, především na obsahu amorfni fáze. Pevnost a odolnost proti korozi betonu s obsahem zeolitu je po 28 dnech nižší než u klasických betonů. [13][14]

Další možností, jak částečně nahradit cement je použití elektrárenského popílku, který vzniká jako druhotný produkt při spalování fosilních paliv tepelných elektrárnách. V současnosti se běžně používá jako příměs do betonu s obsahem běžně 20 % při zachování všech charakteristických vlastností betonu. Při použití superplastifikátorů lze použít až 60 % popílku. [13]

Mezi další odpadní materiály, které lze použít patří vysokopecní struska a křemičitý úlet. Dnes se jedná již o běžně používané principy nahrazování cementu. [15] K výrobě struskového cementu je zapotřebí o 90 % méně energie než k výrobě odpovídajícího množství portlandského cementu. Struskovým cementem lze nahradit až 80 % portlandského cementu; množství které lze nahradit ovlivňuje způsob použití betonu. [16][17]

2.6.2 Prodloužení životnosti

Jedním ze způsobů, jak prodloužit životnost betonových konstrukcí je vyplnění povrchových pórů, což vede ke snížení možnosti pronikání prvků, které mají na svědomí karbonataci betonu. V principu jde o kontrolovanou karbonataci v komoře. Tuto metodu je tedy možné aplikovat pouze na prefabrikované prvky. Pro aplikaci na stávající konstrukce se testuje speciální voda s nanobublinkami s obsahem oxidu a uhlíku. [12]

2.7 Druhy cementu a jejich složení

Cement dělíme podle ČSN EN 197–1 ED.2:

- CEM I Portlandský cement
- CEM II Portlandský cement směsný
 - s obsahem popílku 6-35 %
 - s obsahem vápence 6-20 %
 - s obsahem vápence, strusky a popílku 6-35 %
- CEM III Vysokopecní cement
 - obsah strusky 36–95 %
- CEM IV Pucolánový cement
- CEM V Směsný cement
 - s obsahem popílku 18–30 % a strusky 18-30%

Tab. 1 Cementy pro obecné použití [17]

Hlavní druhy	Označení 27 výrobků (druhy pro obecné použití)		Složení (poměry složek podle % hmotnosti ^a)										Doplňující složky		
			Hlavní složky												
			Slínek	Vysoko-pecní struska	Křemičitý úlet	Pucolány		Popílek		Kalcinovaná břidlice	Vápenec				
						přírodní	přírodní kalcinované	křemičitý	vápenatý		L	LL			
K	S	D ^b	P	Q	V	W	T	L	LL						
CEM I	Portlandský cement	CEM I	85-100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5	
CEM II	Portlandský struskový cement	CEM II/A-S	80-94	6-20	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5
	Portlandský cement s křemičitým úletem	CEM II/A-D	90-94	–	6-10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5
	Portlandský pucolánový cement	CEM II/A-P	80-94	–	–	6-20	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5
		CEM II/B-P	65-79	–	–	21-35	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	–	–	–	6-20	–	–	–	–	–	–	–	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	–	–	–	21-35	–	–	–	–	–	–	–	0-5
	Portlandský popílkový cement	CEM II/A-V	80-94	–	–	–	–	6-20	–	–	–	–	–	–	0-5
		CEM II/B-V	65-79	–	–	–	–	21-35	–	–	–	–	–	–	0-5
		CEM II/A-W	80-94	–	–	–	–	–	6-20	–	–	–	–	–	0-5
	Portlandský cement s kalcinovanou břidlicí	CEM II/B-W	65-79	–	–	–	–	–	21-35	–	–	–	–	–	0-5
		CEM II/A-T	80-94	–	–	–	–	–	–	6-20	–	–	–	–	0-5
	Portlandský cement s vápencem	CEM II/B-T	65-79	–	–	–	–	–	–	21-35	–	–	–	–	0-5
		CEM II/A-L	80-94	–	–	–	–	–	–	–	6-20	–	–	–	0-5
		CEM II/B-L	65-79	–	–	–	–	–	–	–	21-35	–	–	–	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	–	–	–	–	–	–	–	–	6-20	–	–	0-5
Portlandský směsný cement ^c	CEM II/B-LL	65-79	–	–	–	–	–	–	–	–	–	21-35	–	0-5	
	CEM II/A-M	80-88	←-----12-20----->										0-5		
	CEM II/B-M	65-79	←-----21-35----->										0-5		
CEM III	Vysokopecní cement	CEM III/A	35-64	36-65	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5
CEM IV	Pucolánový cement ^c	CEM IV/A	65-89	–	←-----11-35----->					–	–	–	0-5		
		CEM IV/B	45-64	–	←-----36-55----->					–	–	–	0-5		
CEM V	Směsný cement ^c	CEM V/A	40-64	18-30	–	←-----18-30----->		–	–	–	–	–	0-5		
		CEM V/B	20-38	31-49	–	←-----31-49----->		–	–	–	–	–	0-5		

^a Hodnoty v tabulce se vztahují k součtu hlavních a doplňujících složek.

^b Obsah křemičitého úletu je omezen do 10 %.

^c Hlavní složky v portlandských směsných cementech CEM II/A-M a CEM II/B-M, v pucolánových cementech CEM IV/A a CEM IV/B a ve směsných cementech CEM V/A a CEM V/B mimo slínku musí být deklarovány v označení cementu (viz příklad v kapitole 8).

Dále poté cementy dělíme podle pevnosti do pevnostních tříd: 32,5; 42,5; 52,5 MPa.

Tab. 2 Pevnostní třídy cementů [17]

Vlastnost		Mezní hodnoty jednotlivých výsledků								
		Pevnostní třída								
		32,5 L	32,5 N	32,5 R	42,5 L	42,5 N	42,5 R	52,5 L	52,5 N	52,5 R
Počáteční pevnost (MPa), dolní mezní hodnota	2 dny	–	–	8,0	–	8,0	18,0	8,0	18,0	28,0
	7 dnů	10,0	14,0	–	14,0	–	–	–	–	–
Normalizovaná pevnost (MPa), dolní mezní hodnota	28 dnů	30,0			40,0			50,0		
Počátek tuhnutí (minuta), dolní mezní hodnota		60			50			40		
Objemová stálost (rozepnutí, mm), horní mezní hodnota		10								
Obsah síranů (jako % SO ₃), horní mezní hodnota	CEM I CEM II ^a CEM IV CEM V	–	4,0	–	4,0	4,5	–	–	4,5	
	CEM I-SR 0 CEM I-SR 3 CEM I-SR 5 ^b CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR	–	3,5	–	3,5	4,0	–	–	4,0	
	CEM III/A CEM III/B	4,5								
	CEM III/C	5,0								
Obsah C ₃ A (%), horní mezní hodnota	CEM I-SR 0 CEM I-SR 3 CEM I-SR 5 CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR	1 4 6 10 10								
Obsah chloridů (%) ^c , horní mezní hodnota		0,10 ^d								
Puocolanita		–	musí vyhovět po 15 dnech	–	musí vyhovět po 15 dnech	–	–	–	musí vyhovět po 15 dnech	
Hydratační teplo (J/g), horní mezní hodnota	LH	300								

^a Cement druhu CEM II/B-T a CEM II/B-M s obsahem T > 20 % může pro všechny pevnostní třídy obsahovat až 5,0 % SO₃.

^b Pro určité aplikace mohou být cementy CEM I-SR 5 vyrobeny podle požadavku na snížený maximální obsah síranů (viz tabulka 5). V tomto případě je horní mezní hodnota 0,5 % nad deklarovanou hodnotou.

^c Cement druhu CEM III může obsahovat více než 0,10 % Cl, avšak v tom případě musí být maximální obsah Cl deklarován.

^d Má-li být cement použit pro předpínané konstrukce, může být vyráběn tak, aby splnil nižší hodnoty. V takovém případě musí být hodnota 0,10 % nahrazena touto nižší hodnotou, která musí být uvedena v průvodní dokumentaci.

2.7.1 Druhy cementů a CO₂

Vzhledem k faktu, že v každém druhu cementu je v jiném množství zastoupen slínek, který je nejvíce náročný na výrobu z pohledu produkce CO₂, tak každý druh cementu vyprodukuje rozdílné množství emisí. Shrnuje přehledně v tabulce č.3. [19]

Tab. 3 Druhy cementů a jejich emise CO₂ [19]

Druh cementu	Měrné emise $E_{CO_2, cem}$ [kg CO ₂ / kg]	Druh cementu	Měrné emise $E_{CO_2, cem}$ [kg CO ₂ / kg]
CEM I	0,880	CEM II/A-L	0,787
CEM II/A-S	0,787	CEM II/B-L	0,654
CEM II/B-S	0,654	CEM II/A-LL	0,787
CEM II/A-D	0,831	CEM II/B-LL	0,654
CEM II/A-P	0,787	CEM II/A-M	0,787
CEM II/B-P	0,654	CEM II/B-M	0,653
CEM II/A-Q	0,787	CEM III/A	0,459
CEM II/B-Q	0,654	CEM III/B	0,255
CEM II/A-V	0,785	CEM III/C	0,122
CEM II/B-V	0,650	CEM IV/A	0,697
CEM II/A-W	0,785	CEM IV/B	0,490
CEM II/B-W	0,650	CEM V/A	0,475
CEM II/A-T	0,787	CEM V/B	0,280
CEM II/B-T	0,654		

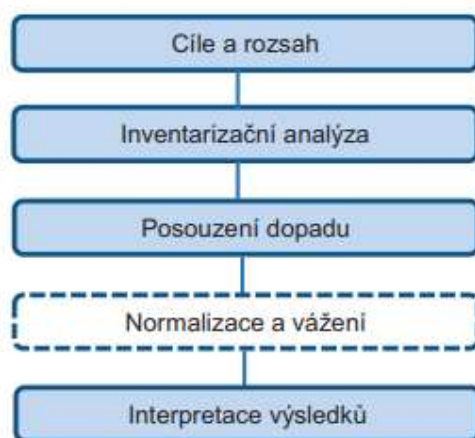
3 Enviromentální prohlášení o výrobku a LCA

3.1 LCA

Jedná se o metodu, která se zabývá posuzováním vlivu výrobku na životní prostředí během celého jeho životního cyklu, tj. od získávání surovin a výroby výchozího materiálu přes výrobu produktu, užívání produktu až po jeho odstranění, případnou recyklaci a opětovné využití. Produktem se rozumí jak výrobek samotný, tak celá část konstrukce či celá stavba. [4]

Je jedním z nástrojů celkového posouzení životního cyklu, který mimo LCA zahrnuje také: Posouzení nákladů na životní cyklus (Life Cycle Cost Analysis – LCC) a Sociální analýzu životního cyklu (LCS) v různých fázích života konstrukce. Udržitelnost konstrukcí se zabývá evropská norma CEN TC350 a normy ISO 14040 a 14044. „České normy specifikují rámec použití, zásady a základní požadavky pro tvorbu a podávání zpráv o hodnocení životního cyklu.“ Norma ISO 14040 zahrnuje i ekonomická kritéria.

Obecný postup hodnocení životního cyklu lze charakterizovat pěti hlavními kroky: definicí cíle a rozsahu hodnocení, analýzu stavu zásob, posouzení dopadů, normalizaci a vážení a interpretaci výsledků. Normalizace a vážení není dle normy zavazující.



Obrázek 5 Schéma postupu při posouzení vlivu životního cyklu na ŽP [3]

Hlavním cílem metody LCA je zhodnotit celkový environmetální dopad na životní prostředí za celý životní cyklus konstrukce. Díky analýze lze získat podrobné informace o výhodách a nevýhodách konstrukce a na základě těchto informací ji lze vylepšit. [4]

3.1.1 Cíle a rozsah

Je nutné zohlednit funkci daného výrobku a její měřitelnost. Jde především posuzování výrobku na funkční jednotku např. m² oproti posuzování na kus. Enviromentální dopady nelze posuzovat na jeden výrobek, ale k množství služby, kterou přinese.

Je také nutné stanovit hranice systému. Jde o oddělení podstatných a nepodstatných procesů pro danou studii s ohledem na zkoumané dopady. „Čím jsou hranice systému rozsáhlejší, tím je vypracování studie komplikovanější, náročnější na množství vstupních dat i na dobu zpracování“. Zmenšování hranic nesmí ohrozit kvalitu studie. Neméně důležité je stanovit i rozsah geografický (místní, regionální, státní, kontinentální či světový) nebo určit přesnou lokalitu.

Je třeba neopomenout, že i malé množství vysoce toxické látky může mít velký dopad na životní prostředí. [4]

3.1.2 Inventarizační analýza

„Analýza slouží ke zjištění a vyčíslení množství všech materiálových a energetických toků vstupujících a vystupujících do a z produktového systému“. Je nutné vytvořit modulů produktového systému je nutné sepsat zúčastněné procesy, výstupy a vstupy. Jednotlivé procesy se pospojují a vznikne schéma produktového systému.

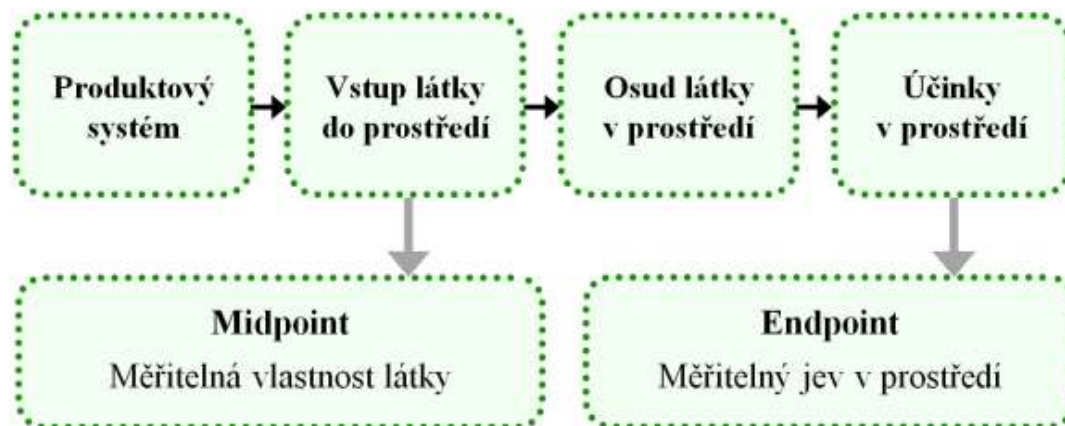
Některé produktové systémy mezi sebou sdílejí procesy, je tedy nutné provést alokaci. Alokaci se zjistí a určí, jak se daný typ procesu podílí na příslušném enviromentálním dopadu. Alokace se provádí na základě příslušného alokačního faktoru AF (např. hmotnosti).

Je nutné vypočítat ekovektor produktového systému. Veškeré vstupy a výstupy se přepočítají na jednotkové hodnoty výstupu hlavního produktového procesu. Hodnoty se zaznamenávají do inventarizačních tabulek. V inventarizačních tabulkách jsou vyčísleny všechny hodnoty jednotlivých emisních látek pro jednotlivé procesy. [4]

3.1.3 Posouzení dopadů

Dojde k převedení ekovektorů na hodnoty indikátorů kategorie dopadu. Jednotlivé produkty se porovnávají na základě celkového negativního dopadu na životní prostředí a en z pohledu množství vyprodukovaných toxických látek, a to z důvodu, že každý produkt produkuje jiné látky a v odlišném množství. Posouzení probíhá pomocí indikátoru kategorie dopadu, což je měřitelná veličina, pomocí které se sleduje schopnost toku způsobit nežádoucí dopady na životní prostředí. Indikátory se dělí na midpointové a endpointové. Midpointové modely neukazují reálné škody na prostředí, jsou založeny na přírodovědném základu, příkladem je globální oteplování. Endpointové modely popisují vztah mezi vstupním materiálem a konečným projevem poškození životního prostředí, které je pozorovatelné. Z pohledu veřejnosti se jedná o srozumitelné vyjádření dopadu. Nepřesnost těchto modelů je dána zjednodušením

komplexních jevů v prostředí. Endpointovým indikátorem může být zvýšená hladina oceánů, tání ledovců, zvýšený výskytu extrémních jevů. [4]



Obrázek 6 Schéma posouzení dopadů [20]

Obecně lze říci, že se jedná se o vyhodnocení významných dopadů na životní prostředí s ohledem na momentální stav zásob. Posouzení probíhá ve dvou fázích; první fáze je povinná, druhá volitelná. V první fázi se jedná o výběr environmentálních ukazatelů a jejich klasifikace, druhá fáze se zabývá normalizací prvků. Klasifikací se rozumí výběr dopadů významných pro studii a zařazení jednotlivých výsledků do kategorií dopadů. Dopady jsou v této fázi označovány jako potencionální. Jedná se o zdůraznění, že LCA je perspektivní metoda, která se zabývá možnými dopady. Mezi potencionální dopady se řadí potenciál globálního oteplování a jiné – viz. kapitola 1.10.

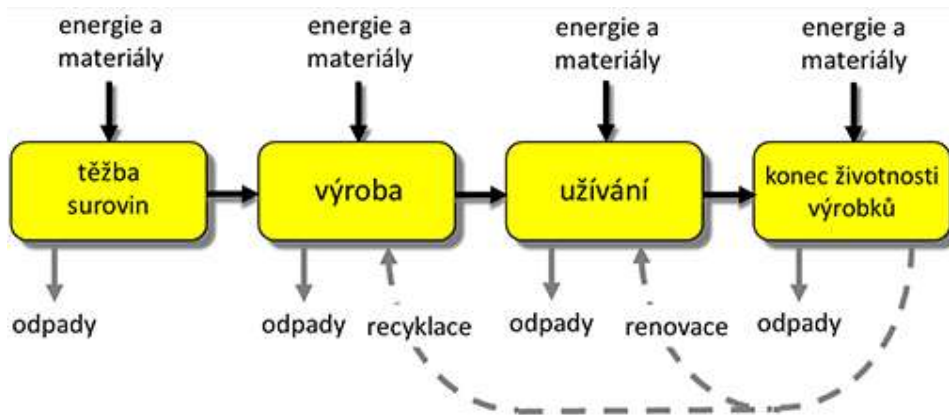
Kategorie dopadu lze rozdělit na surovinové a intervenční. Další dělení je podle geografického rozsahu účinků, a to na globální, regionální a lokální. [3][4]

3.1.4 Interpretace výsledků

Jde o přehledný zhodnocení všech dopadů na prostředí. Autor musí sesbíraná data správně analyzovat a připravit je na prezentaci. Výstup by měl být přehledný. Prezentace dat se musí řídit předepsanými zákonitostmi. Významná zjištění se zaznamenávají do tzv. strukturalizačních tabulek. Je nutné také zkontrolovat, zda v první fázi zpracované předpoklady a nejistá data, ovlivnili velmi nebo málo výsledky.

3.1.5 Životní cyklus produktu

Hodnocení začíná s výstavbou, již od získávání materiálů. V okamžiku, kdy stavba vstoupí do provozu hovoříme o provozní fázi. Konec životnosti nastane v okamžiku, kdy konstrukce již není plně funkční. Během životního cyklu je nutné dělat kontroly technického stavu konstrukce z důvodů přirozené degradace a provádět opravy. Všechny tyto zásahy do konstrukce je nutné zohlednit v analýze. Je nutné zahrnout také bezpečnost návrhu a počáteční cenu konstrukce.



Obrázek 7 Schéma životního cyklu produktu [21]

Do první fáze lze řadit těžbu surovin, obnovitelných i neobnovitelných, a získání energetických zdrojů z prostředí. Do této fáze je nutné zahrnout i dopravu surovin. Následuje výroba a zpracování, které se váže s využitím paliv. Do fáze výroby se zahrnuje i kompletace a balení výrobku a distribuce hotového výrobku. Třetí fází je užívání produktu spotřebitelem, do které je nutné zahrnout náklady na opravy a provoz, včetně energie dodávané. Poslední fází je odstranění produktu v momentě ukončení používání uživatelem či vyčerpáním schopnosti výrobku plnit svoji funkci. Během odstranění je možné část nebo celý produkt zrecyklovat a vrátit do výroby. Další možností využití je získání energie během odstraňování.

Během každé fáze je výrobek v odlišné interakci s životním prostředím, a tak představuje odlišná rizika a dopady. V rámci analýzy je nutné zohlednit všechny životní fáze výrobku a nezaměřovat se jen na nějaká.

Jednotlivé fáze se skládají z procesů a toků, procesy jsou popsány vstupy a výstupy; toky spojují jednotlivé procesy. Toky se dělí na hlavní a vedlejší. Vedlejší toky na vstupu jsou toky, které nejsou obsaženy ve finálním produktu, ale jsou nezbytné pro jeho výrobu (např. energie maziva, voda). Vedlejší tok na výstupu je obvykle odpadní materiál, který vznikl během daného procesu výroby (např. odpadní vody, materiály, nepovedené výrobky). Všechny vstupy (energie, materiály) musí být vyrobeny a výstupy následně odstraněny. Všechny tyto toky musí být zohledněny v rámci LCA.

3.2 EPD

Enviromentální prohlášení o produktu je založeno na metodě posouzení životního cyklu (Life Cycle Assessment – LCA). Slouží k veřejné prezentaci výsledků a závěrů studie LCA. Musí být sepsané v souladu s ČSN ISO 14025.

Hlavní cíle zavádění EPD jsou:

- Informace ohledně enviromentálních dopadů produktů s ohledem na celý životní cyklus
 - Možnost srovnávat jednotlivé produkty různých výrobců z pohledu enviromentálního vlivu
 - Motivace pro výrobce pro snižování dopadů jejich výrobků (konkurence – schopnost)
- [4]

3.2.1 Enviromentální prohlášení typu III.

Výrobci mohou své výrobky označovat jako typ III., čímž poukazují na fakt, že na tento produkt je zpracována studie životního cyklu s veřejně dostupným výsledky. Jedná se o několika stránkový dokument, který obsahuje vyčíslení enviromentálních aspektů a dopadů s ohledem na životní cyklus materiálu. Prohlášení může být vystaveno pouze na základě studie LCA. [4]

3.2.2 Pravidla produktové kategorie

Aby mohli být jednotlivé studie LCA použity pro získání EPD je nutné, aby postupovaly podle jednotného návodu, který nese označení PCR. Jedná se o návod pro vypracování studie LCA a EPD pro produkt. Pro sestavení studií pro stavební materiály slouží Norma ČSN EN 15804. [4]

3.2.3 Zisk EPD

Výrobce musí požádat o zpracování analýzy LCA a následné vypracování EPD. Pro zveřejnění výsledků je nutné zajistit kontrolu od třetí nezávislé strany. Zisk EPD je dobrý marketingový tah, který pomůže výrobek zviditelnit a zároveň zvýší jeho konkurence schopnost vzhledem ke snaze stavět ekologičtější. [4]

3.2.4 Databáze EPD

Databází na světě existuje již značné množství. Velkou nevýhodou je nemožnost jejich vzájemného srovnání, přestože byly všechny vypracovány ze studií LCA. LCA hodnocení jsou však založena na různých metodikách. Česká databáze Envimat, která je dostupná ve webové aplikaci, uvádí EPD stavebních výrobků. Na webových stránkách aplikace lze získat informace o hodnocení životního cyklu výrobku a enviromentální prohlášení. Aplikace se využívá pro optimalizaci stavebních konstrukcí a volbu vhodného stavebního materiálu. Všechny materiály se porovnávají na 1 m², díky čemuž je práce

s daty uživatelsky jednoduchá. Envimat využívají jak architekti a stavebníci, tak výrobci. [4] [7]

4 Norma ČSN ISO 14064-3:2019

ISO 14067 stanovuje zásady, požadavky a směrnice pro kvantifikaci uhlíkové stopy produktů. Cílem ISO 14067 je kvantifikovat emise skleníkových plynů související s etapami životního cyklu produktu, počínaje těžbou surovin, získáváním a rozšiřováním surovin přes výrobu, používání až po ukončení životnosti produktu. [6]

Pro posuzování dopadů skleníkových plynů, mezi které patří oxid uhličitý, je nutné mít k dispozici dostatečné množství ověřených dat z dobrého zdroje, pracovat přesně a pečlivě. Také je nutné si stanovit základní pojmy, zvolit období monitorování a vybrat parametry v závislosti, na kterých dojde k zhodnocení. Hodnoty emisí se získávají měřením nebo modelováním. Vývoj a princip modelů je nutné popsat a zdůvodnit volbu daného principu a parametrů.

Množství skleníkových plynů se převede na množství CO₂ pomocí vhodného potenciálu globálního oteplování. Z časového hlediska se GWP posuzuje na 100 let. [4]

5 Varianty návrhu vazníku a zhodnocení z hlediska CO₂

5.1 Obecný popis řešené úlohy:

Pro posouzení byla navržena železobetonová vazníková hala. Jedná se o jednostupňové zastřešení haly s rozponem 12 m. Hala je vysoká 10 m, dlouhá 30 m. Celkem byly řešeny tři tvarové varianty, každá byla navržena ze třech odlišných cementů ve stejné pevnostní třídě.

Varianty tvarové:

1. Plnostěnný železobetonový vazník
2. I železobetonový vazník
3. Příhradový železobetonový vazník

Varianty materiálové:

- A. CEM I
- B. CEM II/A
- C. CEM III/C

5.2 Vstupní parametry návrhu

5.2.1 Okrajové podmínky výpočtu

Vazník je modelován jako oboustranně vetknutý nosník. Vetknutí je zajištěno pomocí svarového spoje.

Vnitřní síly jsou počítány s redistribucí.

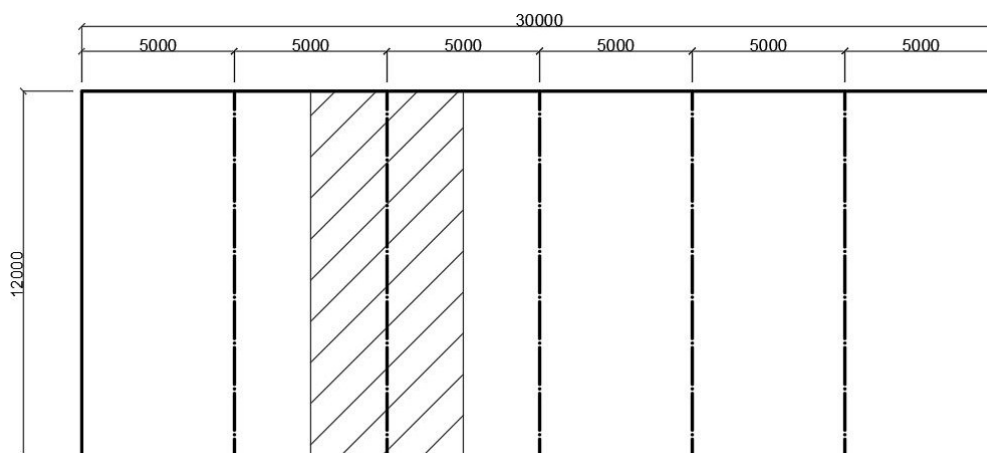
5.2.2 Skladba střešní konstrukce:

Jedná se o klasickou dvoustupňovou konstrukci.

Skladba:

- Střešní panel Kingspan, tl. 140 mm
- Vazník

5.2.3 Schéma konstrukce



Obrázek 8 Schéma konstrukce

5.3 Zatížení konstrukce

5.3.1 Stálé zatížení:

5.3.1.1 Vlastní tíha vazníku:

Vlastní tíha železobetonového vazníku je počítána automaticky pomocí programu SCIA21. Zde ve výpočtu není zohledněna.

5.3.1.2 Střešní konstrukce

Tab. 4 Zatížení střešní konstrukce

Materiál	Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg/m ²]	f_k [kN/m ²]	Součinitel γ_M [-]	f_d [kN/m ²]
Kingspan panel	140	-	0,13	1,35	0,18
CELKEM			0,13 kN/m²		0,18 kN/m²

5.3.2 Proměnné zatížení:

5.3.2.1 Užiténé zatížení

Typ střechy: Střecha nepřístupná s výjimkou běžné údržby a oprav

Tab. 5 Zatížení užiténé střecha

Materiál	q_k [kN/m ²]	Součinitel γ_M [-]	q_d [kN/m ²]
Střecha nepochozí	0,75 kN/m²	1,35	1,013 kN/m²

5.3.2.2 Zatížení sněhem

Jedná se o II. sněhovou oblast (Středočeský kraj) podle mapy Sněhových oblastí ČR.

Charakteristickou hodnotu zatížení sněhem pro trvalou a dočasnou kombinaci, výpočet dle ČSN EN 1991-1-3 [3].

Výpočet dle vzorce: $s = \mu_1 * c_e * c_t * S_k$

Tab. 6 Tvarové součinitele zatížení sněhem

Úhel sklonu střechy	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 (60 - \alpha) / 30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8\alpha / 30$	1,6	--

Tab. 7 Typy krajiny

Typ krajiny	c_e
otevřená	0,8
normální	1,0
chráněná	1,2

Tab. 8 Sněhové oblasti

Oblast	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
S_k [kNm ⁻²]	0,7	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	> 4,0

Typ střechy: sedlová

Sklon: 10°

Tvarový součinitel: $\mu_1 = 0,8$ (dle tabulky č.1)

Součinitel expozice: $c_e = 1$ (normální krajina – tab.č.2)

Součinitel teploty: $c_t = 1$ (nízká tepelná propustnost)

Charakteristická hodnota zatížení: $s_k = 1 \text{ kN/m}^2$ (II. sněhová oblast)

Výpočet: $s = 0,8 * 1 * 1 * 1$

$$s = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

5.3.2.3 Zatížení větrem:

Vzhledem k řešené problematice v práci není zatížení větrem na tuto stavbu rozhodující a je zanedbáno.

5.3.3 Zatížení celkem:

Tab. 9 Celkové zatížení

Zatížení	f_k [kN/m ²]	Součinitel γ_M [-]	f_d [kN/m ²]	ZS[m]	f_d [kN/m]
Skladba střechy	0,13	1,35	0,18	5,0	0,9
Užitné stálé	0,75	1,35	1,013	5,0	5,065
Celkem stálé	0,88	1,35	1,193	5,0	5,965
Užitné proměnné	0,8	1,5	1,2	5,0	6
CELKEM	1,68	-	2,393	-	11,965

5.4 Receptura betonu:

Receptura použitého betonu vychází z předpokladu klasického poměru jednotlivých základních složek:

Kamenivo 75 %

Cement 13,4 %

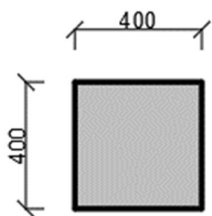
Voda 7,7%

Příměsi a přísady 3,9%

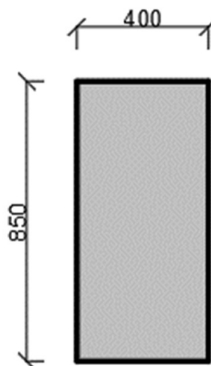
6 Železobetonový vazník varianta 1

V této variantě návrhu vazníku je posuzována varianta plnostěnného sedlového vazníku o proměnném průřezu po délce. Vazník je ve spádu 4°, který je vyhovující pro střešní panely Kingspan. Konstrukce je posouzena na mezní stav únosnosti a na mezní stav použitelnosti. Vazník je modelován, vyztužen a posouzen pomocí programu SCIA 21 a FIN EC.

Rozměry průřezu:



Obrázek 9 Průřez vazníku 1, $x=0$ m



Obrázek 10 Průřez vazníku 1, $x=6$ m

6.1 Materiálové charakteristiky vazníku (1A – CEM I.)

Beton s portlandským cementem	<i>C30/37 - XC 3 - Cl 0,2 - D_{max} 16 mm</i>
Charakteristická pevnost betonu v tlaku:	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Návrhová pevnost betonu v tlaku:	$f_{cd} = 20 \text{ MPa}$
Výztuž	
Ocel	<i>B500B</i>
Charakteristická mez kluzu výztuže:	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
Návrhová mez kluzu výztuže:	$f_{yd} = 500/1,15 = 435 \text{ MPa}$

6.2 Návrh vazníku:

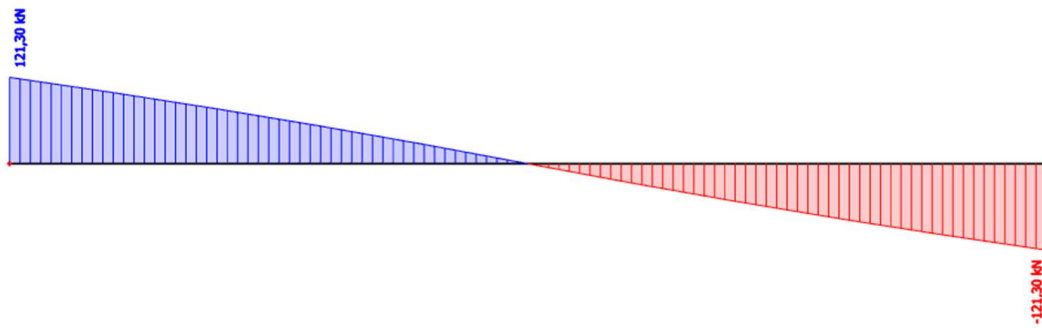
6.2.1 Vnitřní síly – MSÚ

Vypočtené vnitřní síly ze SCIA 21:

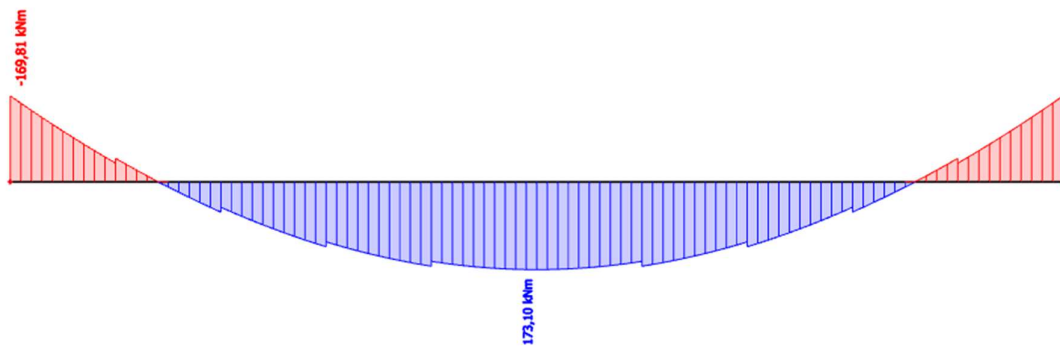
N_{Ed} [kN]



V_{Ed} [kN]



M_{Ed} [kNm]



Tab. 10 VN MSÚ – vazník 1

MSÚ	V poli	Nad podporou
Moment M_{Ed}	173,10 kNm	169,81 kNm
Posouvací síla V_{Ed}	0 kN	121,30 kN
Normálová síla N_{Ed}	212,03 kN	

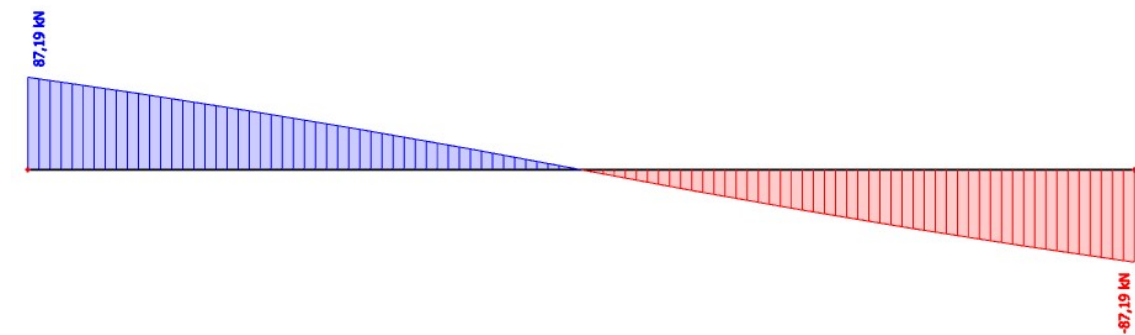
6.2.2 Vnitřní síly – MSP

Vypočtené vnitřní síly ze SCIA 21:

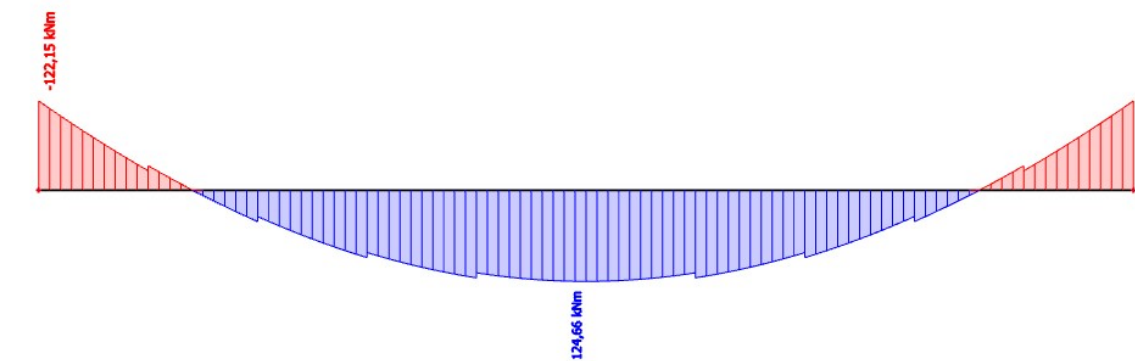
N_{Ed} [kN]



V_{Ed} [kN]



M_{Ed} [kNm]



Tab. 11 VN MSP – vazník 1

MSP	V poli	Nad podporou
Moment M_{Ed}	124,66 kNm	122,15 kNm
Posouvací síla V_{Ed}	0 kN	87,19 kN
Normálová síla N_{Ed}	152,62 kN	

6.2.3 Předběžný návrh:

$$h_p = \left(\frac{1}{12}\right) * L_p = \left(\frac{1}{12}\right) * 12000 = 1000 \text{ mm}$$

$$b_p = \left(\frac{3}{10} \div \frac{1}{2}\right) * h_p = \left(\frac{3}{10} \div \frac{1}{2}\right) * 1000 = 300 \div 500 \text{ mm}$$

Vzhledem nutnosti vytvoření spádu byl rozměr vazníku optimalizován na 400 x 400 mm na koncích a 400 x 850 mm ve vrcholu vazníku.

$$M_{ed} = 169,81 \text{ kNm}$$

Ověření poměrné tláčené oblasti a stupeň vyztužení ohybovou výztuží uprostřed rozpětí:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} > (\phi; c_{min,dur}; 10 \text{ mm})$$

$$c_{min} > (18; 15; 10 \text{ mm})$$

$$c_{min} = 18 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 18 + 10 = 28 \text{ mm}$$

$$d = h - \left(c_{nom} + \phi_{tř} + \frac{\phi}{2}\right) = 400 - \left(28 + 8 + \frac{18}{2}\right) = 355 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{m_{Ed}}{b * d^2 * f_{cd}} = \frac{169,81 * 10^6}{400 * 355^2 * 20} = 0,168 \rightarrow \xi = 0,231$$

$$A_{s,req} = \frac{0,8 * b * d * \xi * f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0,8 * 400 * 355 * 0,231 * 20}{435} = 1206,51 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_{s,req}}{b * d} = \frac{1206,51}{400 * 355} = 0,0085 \rightarrow 0,85 \%$$

$$\text{Posouzení: } \xi = 0,231 < \xi_{max} = 0,45 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\rho = 0,8 \leq 1 \% \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Ověření z hlediska smyku:

$$V_{Ed,max} = 0,6 * (g + q) * L_p = 0,6 * 86,965 * 12 = 626,15 \text{ kN}$$

$$\text{Odhad } z = 0,9 * d = 0,9 * 355 = 319,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 V_{Rd,max} &= 0,6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) * f_{cd} * b * z * \frac{\cot \theta}{1 + \cot \theta} \\
 &= 0,6 * \left(1 - \frac{30}{250}\right) * 20 * 400 * 316,8 * \frac{1,5}{1 + 1,5} = 802,897 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_{Rd,max} > V_{Ed,max} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.2.4 Přesný návrh vazníku:

Přesný návrh byl proveden na základě vnitřních sil v programu FIN EC – beton. Vnitřní síly byly vypočítány na základě vypočteného zatížení v programu SCIA 21. Program FIN EC posuzuje průřezy na konstrukční zásady a na MSÚ a MSP. Protokoly o výpočtech jsou v příloze na konci práci.

Následně bylo provedeno ruční posouzení vybraného průřezu na MSÚ a MSP pro ověření správného fungování programu.

6.2.4.1 Vstupy výpočtu

Beton C 30/37	Charakteristická pevnost betonu v tlaku $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
	Návrhová pevnost betonu v tlaku $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$
	Střední pevnost v tahu $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$
Ocel B500B	Charakteristická pevnost výztuže v tahu $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
	Návrhová pevnost výztuže v tahu $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$

Krytí: $c_{nom} = 28 \text{ mm}$

Rozměry průřezu: 400×400 až $400 \times 850 \text{ mm}$

Kamenivo: $d_g = 16 \text{ mm}$

Hlavní tahová výztuž: $\phi 18 \text{ mm}$

Třmínky: $\phi 8 \text{ mm}$

Modul pružnosti oceli: $E = 200\,000 \text{ MPa}$

6.2.4.2 Návrh výztuže, průřez $x = 0 \text{ m}$

$$d = h - \left(c_{nom} + \phi_{tř} + \frac{\phi}{2} \right) = 400 - \left(28 + 8 + \frac{18}{2} \right) = 355 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{m_{Ed}}{b * d^2 * f_{cd}} = \frac{169,81 * 10^6}{400 * 355^2 * 20} = 0,168 \rightarrow \xi = 0,231$$

$$A_{s,req} = \frac{0,8 * b * d * \xi * f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0,8 * 400 * 355 * 0,231 * 20}{435} = 1206,51 \text{ mm}^2$$

NÁVRH MINIMÁLNÍ VÝZTUŽE DO TAŽENÉ OBLASTI

$$5\phi 18 \rightarrow A_{s,prov} = 1\,272 \text{ mm}^2$$

6.2.4.3 Návrh výztuže, průřez $x = 6 \text{ m}$

$$d = h - \left(c_{nom} + \phi_{tř} + \frac{\phi}{2} \right) = 850 - \left(28 + 8 + \frac{14}{2} \right) = 807 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{m_{Ed}}{b * d^2 * f_{cd}} = \frac{173,10 * 10^6}{400 * 807^2 * 20} = 0,0332 \rightarrow \xi = 0,042$$

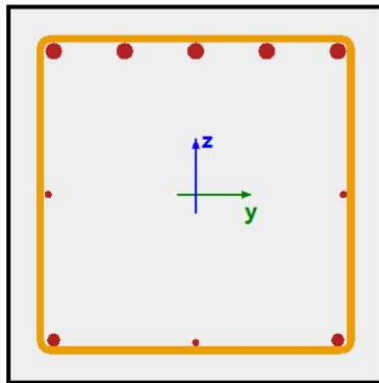
$$A_{s,req} = \frac{0,8 * b * d * \xi * f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0,8 * 400 * 807 * 0,042 * 20}{435} = 498,67 \text{ mm}^2$$

NÁVRH MINIMÁLNÍ VÝZTUŽE DO TAŽENÉ OBLASTI

$$4\phi 14 \rightarrow A_{s,prov} = 616 \text{ mm}^2$$

Navržená výztuž do tažené oblasti je minimální, předpokládám přenesení momentu také pomocí tlačené a konstrukční výztuže. Tuto domněnku jsem ověřila posouzením kritických průřezů ručně a následně v programu FIN beton. Výsledky výpočtu jsou shrnuty v tabulce č.12,13, protokol o výpočtu je v příloze.

6.2.5 Posouzení průřezu 1 (x=0 m)



$$5\phi 18 \text{ (1272 mm}^2\text{)} \quad A_{s1} = 1\,272 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 308 \text{ mm}^2$$

Rozměry průřezu: 400 x 400 mm

Výztuž $\phi 8$ je v průřezu z důvodů dodržení konstrukčních zásad, maximální vzdálenosti výztuže.

$$2\phi 8 \text{ (101 mm}^2\text{)}$$

$$2\phi 14 \text{ (308 mm}^2\text{)} \\ 1\phi 8 \text{ (50 mm}^2\text{)}$$

Obrázek 11 Průřez 1A - x=0 m

$$d = h - \left(c_{nom} + \phi_{tř} + \frac{\phi}{2} \right) = 400 - \left(28 + 8 + \frac{18}{2} \right) = 355 \text{ mm}$$

6.2.5.1 Posouzení konstrukční zásad:

$$s_{min} \geq (1,2 * \phi s_{max}; d_g + 5mm; 20mm)$$

$$\geq (1,2 * 18; 16 + 5; 20)$$

$$\geq (21,6; 21; 20)$$

$$s_{min} = 21,6 \text{ mm}$$

$$s_{max} \leq (2 * h; 300 \text{ mm})$$

$$\leq (2 * 400; 300 \text{ mm})$$

$$\leq (800; 300)$$

$$s_{max} = 300 \text{ mm}$$

$$s = \frac{h - 2 * c - 2 * \phi_{tř} - 2 * \frac{\phi}{2}}{2} = \frac{400 - 2 * 28 - 2 * 8 - 18}{2} = 155 \text{ mm}$$

Posouzení: $s_{max} \geq s \geq s_{min}$

$$300 \geq 155 \geq 21,6 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$A_{s,prov} = 1\,527 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{s,min} &= \max\left(0,26 * \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yk}}\right) * b * d; 0,0013 * b * d\right) \\ &= \max\left(0,26 * \left(\frac{2,9}{500}\right) * 400 * 355; 0,0013 * 400 * 355\right) \\ &= \max(214,13; 184,6) \end{aligned}$$

$$A_{s,min} = 214,13 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{s,max} &= 0,04 * A_c \\ &= 0,04 * 400^2 \end{aligned}$$

$$A_{s,max} = 6\,400 \text{ mm}^2$$

$$\text{Posouzení: } A_{s,max} \geq A_{s,prov} \geq A_{s,min}$$

$$\mathbf{6\,400 \geq 1\,527 \geq 214,13 \rightarrow \text{VYHOVUJE}}$$

6.2.5.2 Posouzení průvlaku (MSÚ):

$$d_1 = d_2 = 28 + \frac{18}{2} + 8 = 45 \text{ mm}$$

$$F_{s,1} = A_1 * f_{yd}$$

$$F_{s,2} = A_2 * \sigma_{s,2}$$

$$F_c = 0,8 * x * b * f_{cd}$$

$$\begin{aligned} \frac{x}{\varepsilon_c} &= \frac{x - 45}{\varepsilon_{s2}} \rightarrow \frac{x}{\varepsilon_c} = \frac{x - 45}{\frac{\sigma_2}{E}} \rightarrow \frac{x}{\varepsilon_c} = \frac{(x - 45) * E}{\sigma_2} \rightarrow \sigma_2 * x \\ &= E * x * \varepsilon_c - 45 * E * \varepsilon_c \rightarrow \sigma_2 = \frac{E * x * \varepsilon_c - 45 * E * \varepsilon_c}{x} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{s2} &= \frac{E * x * \varepsilon_c - 45 * E * \varepsilon_c}{x} \\ &= \frac{200\,000 * 0,0035 * x - 45 * 200\,000 * 0,0035}{x} \\ &= \frac{700 * x - 31\,500}{x} \end{aligned}$$

$$F_{s,1} = F_{s,2} + F_c$$

$$A_1 * f_{yd} = A_2 * \sigma_{s2} + 0,8 * x * b * f_{cd}$$

$$1272 * 435 = 308 * \sigma_{s2} + 0,8 * x * 400 * 20$$

$$553\,320 = 308 * \sigma_{s2} + 6\,400 * x$$

$$553\,320 = 308 * \frac{700 * x - 31\,500}{x} + 6\,400 * x$$

$$553\,320 * x = 215\,600 * x - 9\,702\,000 + 6\,400 * x^2$$

$$0 = 6\,400x^2 - 337\,720 * x - 9\,702\,000$$

$$x = 73,42 \text{ mm}$$

$$\sigma_{s2} = \frac{700 * x - 33\,600}{x} = \frac{700 * 73,42 - 33\,600}{73,42} = 242,36 \text{ MPa}$$

Vnitřní síly

$$F_{s,1} = A_{s,1} * f_{yd} = 1272 * 435 = 553,320 \text{ kN}$$

$$F_{s,2} = A_{s,2} * \sigma_{s,2} = 308 * 242,36 = 74,646 \text{ kN}$$

$$F_c = 0,8 * x * b * f_{cd} = 0,8 * 87,44 * 400 * 20 = 559,616 \text{ kN}$$

Únosnost průřezu:

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= F_c * \left(d - \frac{x}{2}\right) + F_{s,2} * (d - d_2) \\ &= 559,616 * 10^3 * \left(355 - \frac{73,42}{2}\right) + 74,646 * 10^3 \\ &\quad * (355 - 45) = 201,26 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Posouzení: $M_{Rd} \geq M_{Ed}$

$$180,18 > 169,81 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\text{Využití: } \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{169,81}{201,26} = 0,844 \rightarrow \mathbf{84,4\%}$$

Posouzení mezního stavu únosnosti

č.	Název	N_{Ed} [kN]	N_{Rd} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	Využití [%]	Posouzení
1	Zat. případ 1	-212,03	-3892,41	-169,81	-214,38	121,30	238,44	79,5	Vyhovuje

Mezní stav únosnosti VYHOVUJE - 79,5 %

Posouzení mezního stavu použitelnosti

Mezní stav omezení napětí

č.	Název	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	σ_c [MPa]	$\sigma_{s,max}$ [MPa]	$\sigma_{s,min}$ [MPa]	Využití [%]	Posouzení
1	Zat. případ 2	-152,62	-122,15	19,01	238,98	75,31	59,7	Vyhovuje
Limitní hodnoty $k_3 \times f_{yk}$					400,00			

Mezní stav použitelnosti VYHOVUJE - 59,7 %

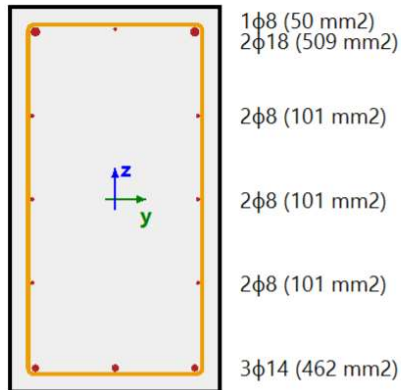
Obrázek 12 Posouzení v programu FIN beton, $x = 0$ m

Z obrázku č.12 lze vyčíst, že posouzení z programu je přesnější. Výsledné využití výztuže je menší než dle ručního výpočtu. Fin beton do výpočtu zahrnuje i konstrukční výztuž $\Phi 8$, která není v mém ručním výpočtu zahrnuta a dále i smykovou výztuž (třmínky). Lze tedy říci, že navrhovat výztuž pouze dle ručního postupu bez ověření ve výpočtovém programu by mohlo být neekonomické, výztuž by byla předimenzována. Posouzení vazníku v programu FIN-beton je v příloze

Tab. 12 Využití vyztužení průřezu Vazníku 1, $x = 0$ m

Způsob výpočtu	$A_{s,prov}$ [mm ²]	Využití MSÚ [%]
FIN beton	1 680,8	79,5
Ruční	1 580	84,4

6.2.6 Posouzení průřezu 2 (x=6 m)



$$A_{s2} = 509 \text{ mm}^2$$

$$A_{s1} = 462 \text{ mm}^2$$

Rozměry průřezu: 400 x 850 mm

Výztuž $\phi 8$ je v průřezu z důvodů dodržení konstrukčních zásad, maximální vzdálenosti výztuže.

Obrázek 13 Průřez 1a, x = 6 m

$$d = h - \left(c_{nom} + \phi_{tř} + \frac{\phi}{2} \right) = 850 - \left(28 + 8 + \frac{14}{2} \right) = 807 \text{ mm}$$

6.2.6.1 Posouzení konstrukční zásad:

$$\begin{aligned} s_{min} &\geq (1,2 * \phi_{s_{max}}; d_g + 5\text{mm}; 20\text{mm}) \\ &\geq (1,2 * 14; 16 + 5; 20) \\ &\geq (16,8; 21; 20) \end{aligned}$$

$$s_{min} = 21 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} s_{max} &\leq (2 * h; 300 \text{ mm}) \\ &\leq (2 * 850; 300 \text{ mm}) \\ &\leq (1700; 300) \end{aligned}$$

$$s_{max} = 300 \text{ mm}$$

$$s = \frac{h - 2 * c - 2 * \phi_{tř} - 2 * \frac{\phi}{2}}{4} = \frac{850 - 2 * 28 - 2 * 8 - 14}{4} = 191 \text{ mm}$$

Posouzení: $s_{max} \geq s \geq s_{min}$

$$300 \geq 191 \geq 21 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$A_{s,prov} = 462 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = \left(0,26 * \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) * b * d; 0,0013 * b * d \right)$$

$$= \left(0,26 * \left(\frac{2,9}{500} \right) * 400 * 807; 0,0013 * 400 * 807 \right)$$

$$= (486,78; 419,64)$$

$$A_{s,min} = 486,78 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 * A_c$$

$$= 0,04 * 400 * 850$$

$$A_{s,max} = 13\,600 \text{ mm}^2$$

$$\text{Posouzení: } A_{s,max} \geq A_{s,prov} \geq A_{s,min}$$

$$13\,600 \geq 462 \geq 486,78 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.2.6.2 Posouzení průvlaku (MSÚ):

$$d_1 = d_2 = 28 + \frac{14}{2} + 8 = 43 \text{ mm}$$

$$F_{s,1} = A_1 * f_{yd}$$

$$F_{s,2} = A_2 * \sigma_{s,2}$$

$$F_c = 0,8 * x * b * f_{cd}$$

$$\frac{x}{\varepsilon_c} = \frac{x - 43}{\varepsilon_{s2}} \rightarrow \frac{x}{\varepsilon_c} = \frac{x - 43}{\frac{\sigma_2}{E}} \rightarrow \frac{x}{\varepsilon_c} = \frac{(x - 43) * E}{\sigma_2} \rightarrow \sigma_2 * x$$

$$= E * x * \varepsilon_c - 43 * E * \varepsilon_c \rightarrow \sigma_2 = \frac{E * x * \varepsilon_c - 43 * E * \varepsilon_c}{x}$$

$$\sigma_{s2} = \frac{E * x * \varepsilon_c - 43 * E * \varepsilon_c}{x}$$

$$= \frac{200\,000 * 0,0035 * x - 43 * 200\,000 * 0,0035}{x}$$

$$= \frac{700 * x - 30\,100}{x}$$

$$F_{s,1} = F_{s,2} + F_c$$

$$A_1 * f_{yd} = A_2 * \sigma_{s2} + 0,8 * x * b * f_{cd}$$

$$462 * 435 = 509 * \sigma_{s2} + 0,8 * x * 400 * 20$$

$$200\,970 = 509 * \sigma_{s2} + 6\,400 * x$$

$$200\,970 = 509 * \frac{700 * x - 30\,100}{x} + 6\,400 * x$$

$$200\,970 * x = 356\,300 * x - 18\,902\,800 + 6\,400 * x^2$$

$$0 = 6\,400x^2 + 155\,330 * x - 18\,902\,800$$

$$x = 43,55 \text{ mm}$$

$$\sigma_{s2} = \frac{700 * x - 30\,100}{x} = \frac{700 * 43,55 - 30\,100}{43,55} = 8,84 \text{ MPa}$$

Vnitřní síly

$$F_{s,1} = A_{s,1} * f_{yd} = 462 * 435 = 200,970 \text{ kN}$$

$$F_{s,2} = A_{s,2} * \sigma_{s,2} = 509 * 8,84 = 4,499 \text{ kN}$$

$$F_c = 0,8 * x * b * f_{cd} = 0,8 * 47,88 * 400 * 20 = 306,432 \text{ kN}$$

Únosnost průřezu:

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= F_c * \left(d - \frac{x}{2}\right) + F_{s,2} * (d - d_2) \\ &= 306,432 * 10^3 * \left(807 - \frac{47,88}{2}\right) + 4,499 * 10^3 * (807 - 43) \\ &= 243,391 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Posouzení: $M_{Rd} \geq M_{Ed}$

$$243,39 > 173,10 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\text{Využití: } \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{173,10}{243,39} = 0,711 \rightarrow 71,1 \%$$

6.2.6.3 Posouzení průvlaku (MSP):

Ověření průřezu z hlediska průhybu:

$$\lambda = \frac{L}{d} \leq \lambda_d$$

$$\lambda_d = \kappa_{c1} * \kappa_{c2} * \kappa_{c3} * \lambda_{d,tab}$$

$$\kappa_{c1} = 1$$

$$\kappa_{c2} = \frac{7}{L} = \frac{7}{12} = 0,5833$$

$$\kappa_{c3} = \frac{500}{f_{yk}} * \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = \frac{500}{500} * \frac{616}{545,52} = 1,129$$

$$\rho = \frac{A_{s,prov}}{b * d} = \frac{616}{400 * 807} = 0,002 \rightarrow 0,2\%$$

$$\lambda_{d,tab} = 33$$

$$\lambda_d = 1 * 0,5833 * 1,254 * 33 = 24,14$$

$$\lambda = \frac{L}{d} = \frac{12000}{807} = 14,87$$

Posouzení:

$$\lambda \leq \lambda_d$$

$$14,87 < 24,14 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení zjednodušenou metodou má dostatečnou rezervu, není tedy nutné posuzovat podrobněji na MSP. Podrobnější posouzení bylo provedeno v programu FIN – beton (protokol o výpočtu v příloze).

Posouzení mezního stavu únosnosti

č.	Název	N_{Ed} [kN]	N_{Rd} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	Využití [%]	Posouzení
1	Zat. případ 1	-121,03	-7329,04	173,10	268,96	0,00	0,00	64,3	Vyhovuje

Mezní stav únosnosti VYHOVUJE - 64,3 %

Posouzení mezního stavu použitelnosti

Mezní stav omezení napětí

č.	Název	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	σ_c [MPa]	$\sigma_{s,max}$ [MPa]	$\sigma_{s,min}$ [MPa]	Využití [%]	Posouzení
1	Zat. případ 2	-152,62	124,66	2,91	10,83	16,21	2,7	Vyhovuje
Limitní hodnoty $k_3 \times f_{yk}$					400,00			

Mezní stav použitelnosti VYHOVUJE - 2,7 %

Celkové posouzení - Průřez VYHOVUJE

Využití: 64,3 %

Obrázek 14 Posouzení v programu FIN beton, $x = 6$ m

Obrázek č. 14 opět potvrdil, že posouzení ve výpočtovém programu je přesnější. Porovnání vypočítaných hodnot ručně a v softwaru je shrnuto v tabulce č.13.

Tab. 13 Využití vyztužení průřezu Vazníku 1, $x = 0$ m

Způsob výpočtu	$A_{s,prov}$ [mm ²]	Využití MSÚ [%]
FIN beton	1 426,3	64,3
Ruční	1 125	71,1

6.3 Materiálové charakteristiky vazníku (1B – CEM II/B-Q)

Beton

Beton s portlandským pucolánovým cementem $C30/37 - XC 3 - Cl 0,2 - D_{max}$
16 mm

Charakteristická pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Návrhová pevnost betonu v tlaku: $f_{cd} = 20 \text{ MPa}$

Výztuž

Ocel $B500B$

Charakteristická mez kluzu výztuže: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

Návrhová mez kluzu výztuže: $f_{yd} = 500/1,15 = 435 \text{ MPa}$

Množství výztuže stejné jako varianta 1A

6.4 Materiálové charakteristiky vazníku (1C – CEM III/B)

Beton

Beton s vysokopečním cementem $C30/37 - XC 3 - Cl 0,2 - D_{max} 16 \text{ mm}$

Charakteristická pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Návrhová pevnost betonu v tlaku: $f_{cd} = 20 \text{ MPa}$

Výztuž

Ocel $B500B$

Charakteristická mez kluzu výztuže: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

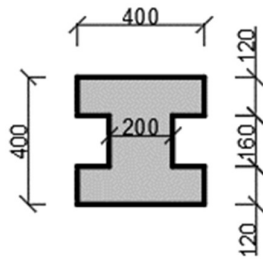
Návrhová mez kluzu výztuže: $f_{yd} = 500/1,15 = 435 \text{ MPa}$

Množství výztuže stejné jako varianta 1A

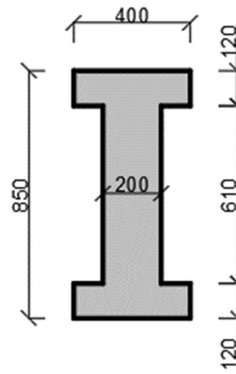
7 Železobetonový vazník varianta 2

V této variantě návrhu vazníku je posuzována varianta I sedlového vazníku o proměnném průřezu po délce. Vazník je ve spádu 4°, který je vyhovující pro střešní panely Kingspan. Konstrukce je posouzena na mezní stav únosnosti a na mezní stav použitelnosti. Vazník je modelován, vyztužen a posouzen pomocí programu SCIA 21. Vnitřní síly jsou počítány s redistribucí.

Rozměry průřezu:



Obrázek 15 Průřez vazníku 2, $x = 0$ m



Obrázek 16 Průřez vazníku 2, $x = 6$ m

7.1 Materiálové charakteristiky vazníku (2A – CEM I.)

Beton

Beton s portlandským cementem $C30/37 - XC 3 - Cl 0,2 - D_{max} 16 \text{ mm}$

Charakteristická pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Návrhová pevnost betonu v tlaku: $f_{cd} = 20 \text{ MPa}$

Výztuž

Ocel $B500B$

Charakteristická mez kluzu výztuže: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

Návrhová mez kluzu výztuže: $f_{yd} = 500/1,15 = 435 \text{ MPa}$

7.2 Materiálové charakteristiky vazníku (2B – CEM II/B-Q)

Beton

Beton s portlandským pucolánovým cementem $C30/37 - XC 3 - CI 0,2 - D_{max}$
16 mm

Charakteristická pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Návrhová pevnost betonu v tlaku: $f_{cd} = 20 \text{ MPa}$

Výztuž

Ocel $B500B$

Charakteristická mez kluzu výztuže: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

Návrhová mez kluzu výztuže: $f_{yd} = 500/1,15 = 435 \text{ MPa}$

Množství výztuže stejné jako varianta 2A

7.3 Materiálové charakteristiky vazníku (2C – CEM III/B)

Beton

Beton s vysokopečním cementem $C30/37 - XC 3 - CI 0,2 - D_{max} 16 \text{ mm}$

Charakteristická pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Návrhová pevnost betonu v tlaku: $f_{cd} = 20 \text{ MPa}$

Výztuž

Ocel $B500B$

Charakteristická mez kluzu výztuže: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

Návrhová mez kluzu výztuže: $f_{yd} = 500/1,15 = 435 \text{ MPa}$

Množství výztuže stejné jako varianta 2A

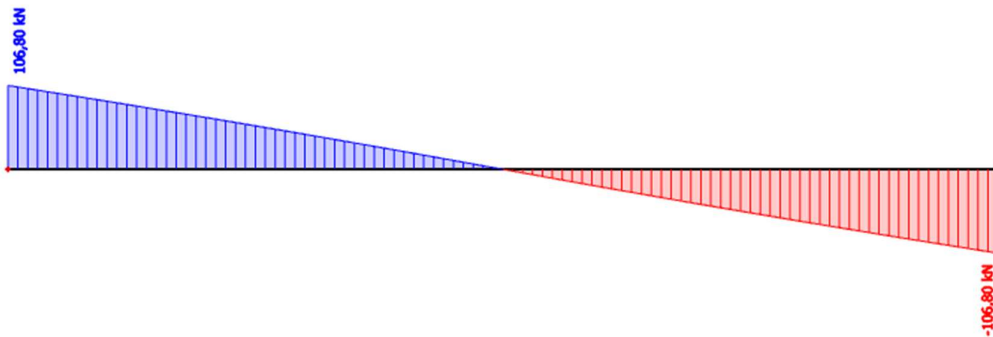
7.4 Vnitřní síly – MSÚ

Vypočtené vnitřní síly ze SCIA 21:

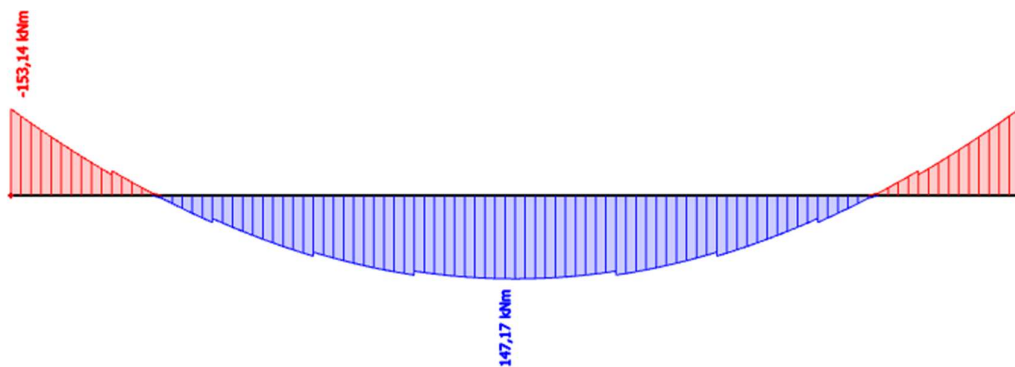
N_{Ed} [kN]



V_{Ed} [kN]



M_{Ed} [kNm]



Tab. 14 VN MSÚ – vazník 2

MSÚ	V poli	Nad podporou
Moment M_{Ed}	147,17 kNm	153,14 kNm
Posouvací síla V_{Ed}	0 kN	106,80 kN
Normálová síla N_{Ed}	152,68 kN	

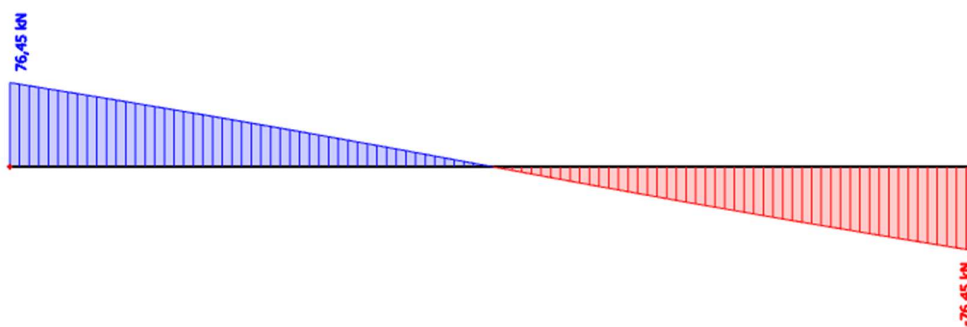
7.5 Vnitřní síly – MSP

Vypočtené vnitřní síly ze SCIA 21:

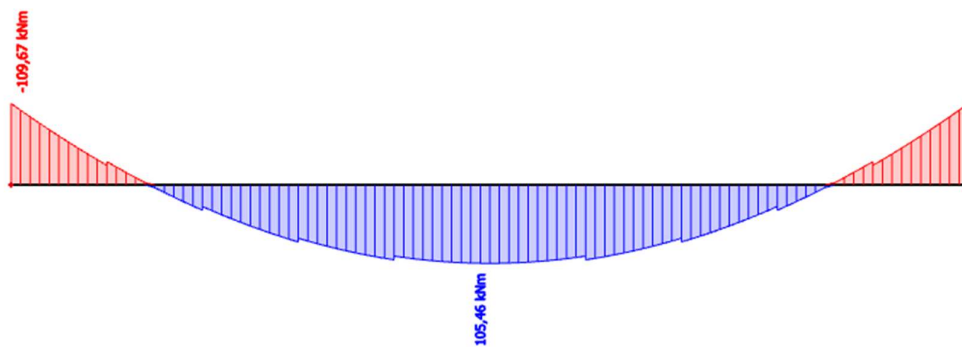
N_{Ed} [kN]



V_{Ed} [kN]



M_{Ed} [kNm]



Tab. 15 VN MSP – vazník 2

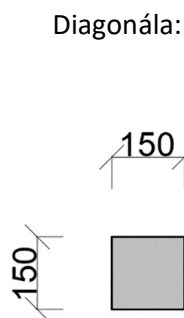
MSP	V poli	Nad podporou
Moment M_{Ed}	105,46 kNm	109,67 kNm
Posouvací síla V_{Ed}	0 kN	76,45 kN
Normálová síla N_{Ed}	109,38 kN	

Posouzení prvků na MSÚ a MSP a konstrukčních zásad proběhlo v programu FIN EC na základě vnitřních sil ze SCIA. Protokol o výpočtu se nachází v příloze č.1.

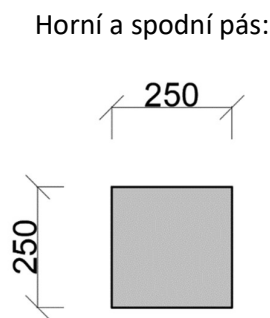
8 Železobetonový vazník varianta 3

V této variantě návrhu vazníku je posuzována varianta příhradového sedlového vazníku. Vazník je ve spádu 4°, který je vyhovující pro střešní panely Kingspan. Konstrukce je posouzena na mezní stav únosnosti a na mezní stav použitelnosti. Vazník je modelován, vyztužen a posouzen pomocí programu SCIA 21. Vnitřní síly jsou počítány s redistribucí.

Rozměry průřezu:



Obrázek 18 Průřez vazníku 3, $x = 0$ m



Obrázek 17 Průřez vazníku 3, $x = 6$ m

8.1 Materiálové charakteristiky vazníku (3A – CEM I.)

Beton

Beton s portlandským cementem $C30/37 - XC 3 - CI 0,2 - D_{max} 16$ mm

Charakteristická pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} = 30$ MPa

Návrhová pevnost betonu v tlaku: $f_{cd} = 20$ MPa

Výztuž

Ocel $B500B$

Charakteristická mez kluzu výztuže: $f_{yk} = 500$ MPa

Návrhová mez kluzu výztuže: $f_{yd} = 500/1,15 = 435$ MPa

8.2 Materiálové charakteristiky vazníku (3B – CEM II/B-Q)

Beton

Beton s portlandským pucolánovým cementem
16 mm *C30/37 - XC 3 - Cl 0,2 - D_{max}*

Charakteristická pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Návrhová pevnost betonu v tlaku: $f_{cd} = 20 \text{ MPa}$

Výztuž

Ocel *B500B*

Charakteristická mez kluzu výztuže: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

Návrhová mez kluzu výztuže: $f_{yd} = 500/1,15 = 435 \text{ MPa}$

Množství výztuže stejné jako varianta 3A

8.3 Materiálové charakteristiky vazníku (3C – CEM III/B)

Beton

Beton s vysokopecním cementem *C30/37 - XC 3 - Cl 0,2 - D_{max} 16 mm*

Charakteristická pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Návrhová pevnost betonu v tlaku: $f_{cd} = 20 \text{ MPa}$

Výztuž

Ocel *B500B*

Charakteristická mez kluzu výztuže: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

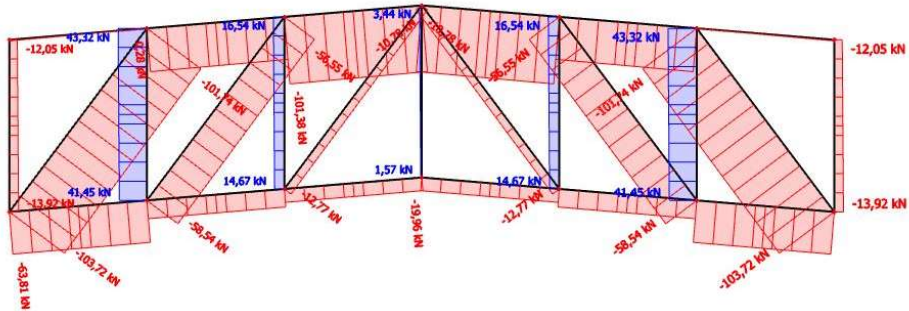
Návrhová mez kluzu výztuže: $f_{yd} = 500/1,15 = 435 \text{ MPa}$

Množství výztuže stejné jako varianta 3A

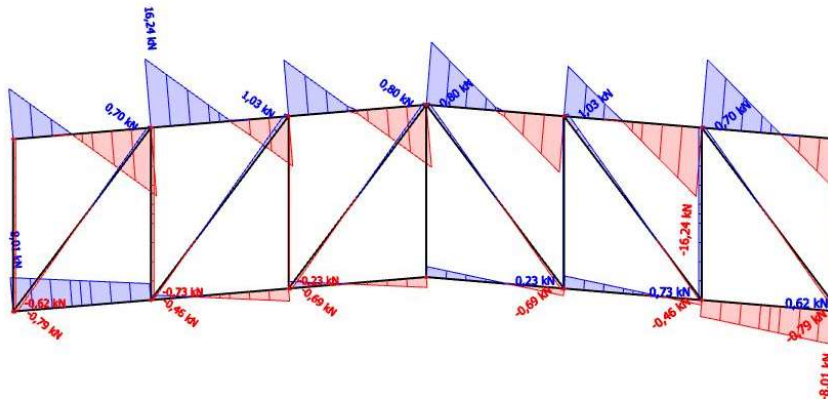
8.4 Vnitřní síly – MSÚ

Vypočtené vnitřní síly ze SCIA 21:

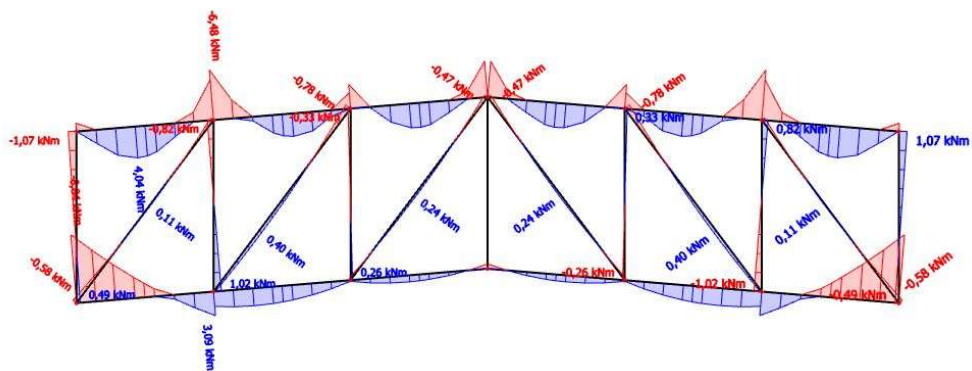
N [kN]



V_z [kN]



M_y [kNm]

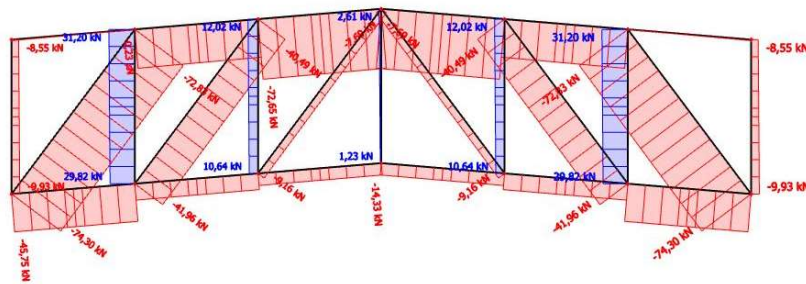


Tab. 16 VN MSÚ – vazník 3

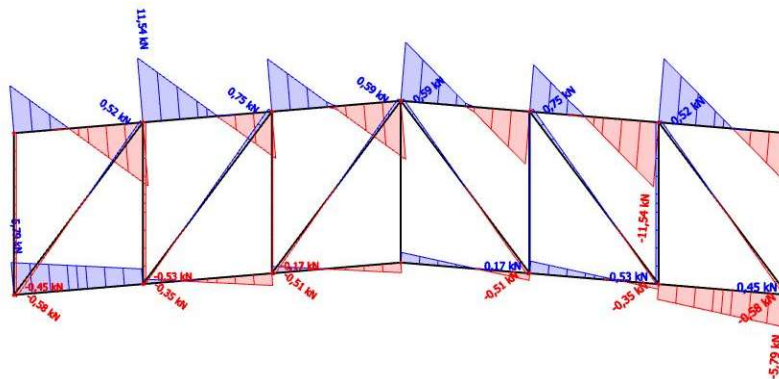
MSÚ	-	+
Moment M_y	8,84 kNm	4,04 kNm
Posouvací síla V_{Ed}	16,24 kN	
Normálová síla N	103,72 kN	43,32 kN

8.5 Vnitřní síly – MSP

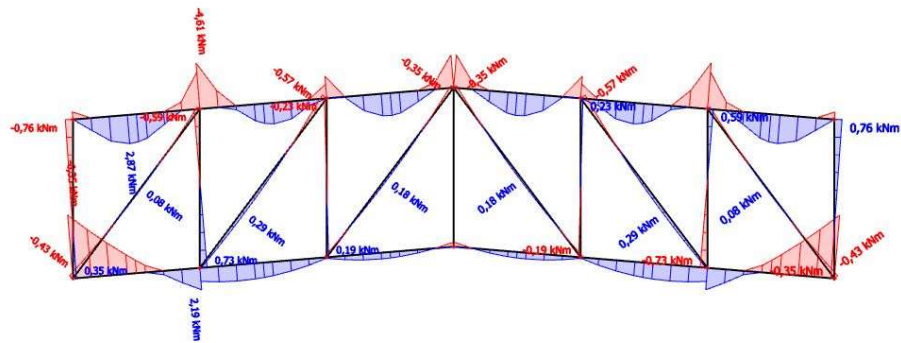
N [kN]



V_z [kN]



M_y [kNm]

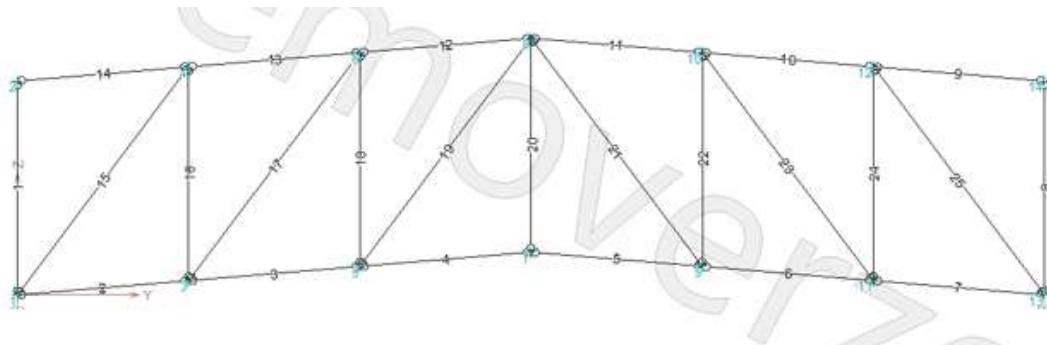


Tab. 17 VN MSP – vazník 3

MSP	-	+
Moment M_y	6,35 kNm	2,87 kNm
Posouvací síla V_{Ed}	11,54 kN	
Normálová síla N	74,30 kN	31,20 kN

Posouzení prvků na MSÚ a MSP a konstrukčních zásad proběhlo v programu FIN EC na základě vnitřních sil ze SCIA. Protokol o výpočtu se nachází v příloze č.2.

8.6 Označení prutů příhradové konstrukce



9 Analýza dopadů na ŽP pomocí LCA

Pro zhodnocení enviromentálních vlivů jednotlivých vazníků byl vybrán potenciál globálního oteplování jako indikátor. Enviromentální dopady z těžby, zpracování a dopravy surovin a materiálů nejsou v posouzení zohledněny. Jelikož se předpokládá, že všechny materiály použité do betonů v jednotlivých variantách byly získány, dopraveny a zpracovávány na stejných místech a stejnými procesy.

Pro analýzu dopadů na životní prostředí byly posuzovány tyto vybrané dopady v tab. 17:

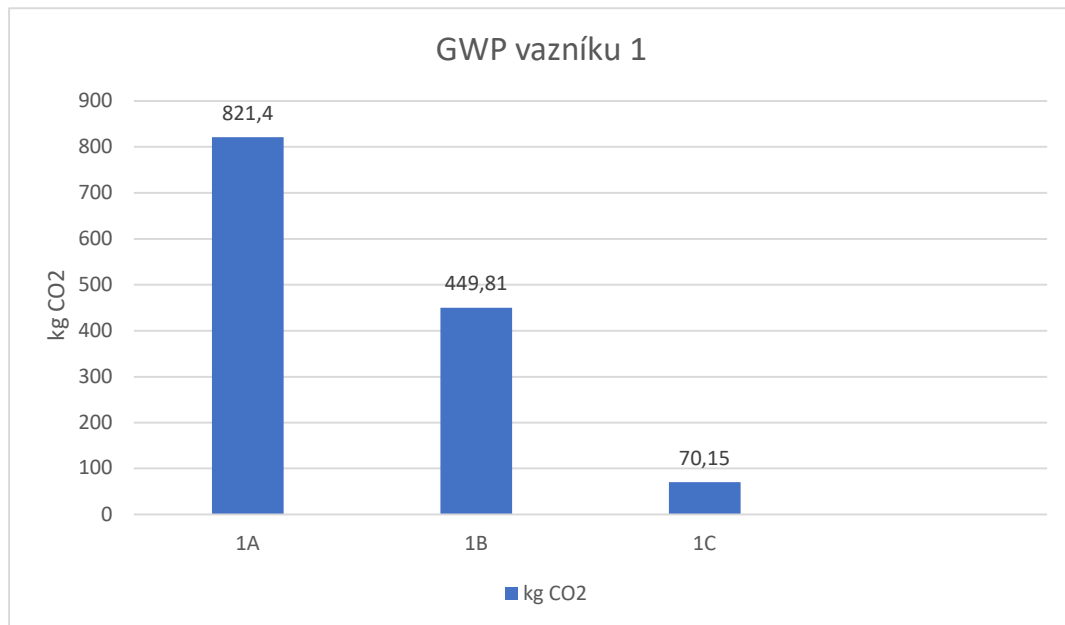
Tab. 18 Indikátory dopadů ŽP

Indikátor	Zkratka	Jednotka	Časové období
Potenciál globálního oteplování	GWP	Kg CO ₂	50 let

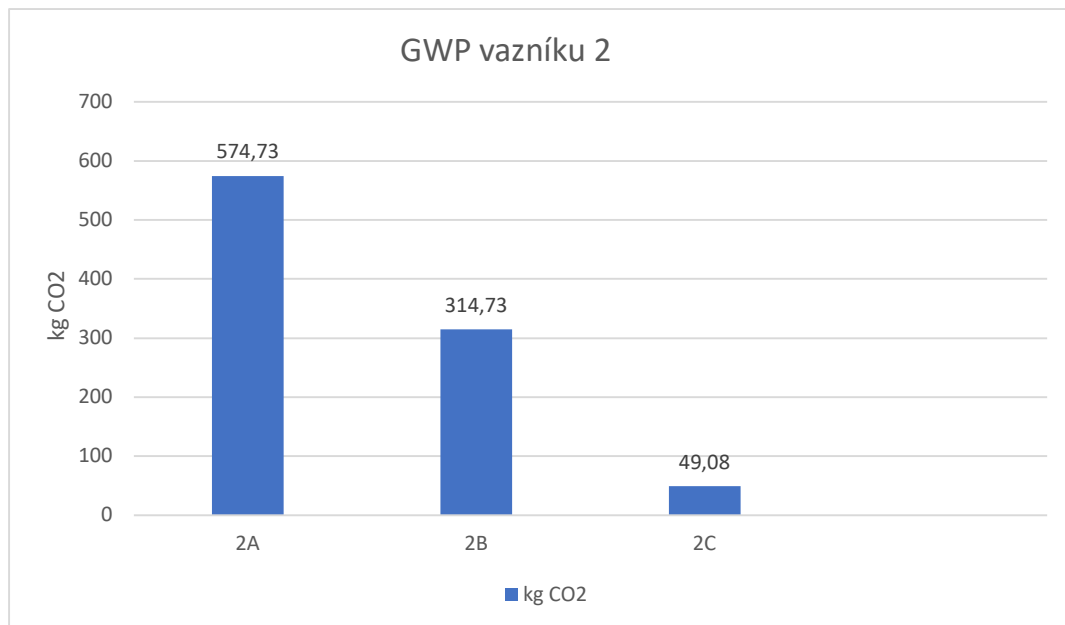
Tab. 19 Dopad použitého betonu na životní prostředí:

Typ vazníku	Typ cementu	Množství betonu [kg]	Množství cementu [kg]	Množství portlandského slínku		Měrné emise E _{CO₂,cem} [kg CO ₂ /kg]	GWP [kg CO ₂]
				[%] hmotnosti cem]	[kg]		
1A	CEM I	7332,38	982,54	95	933,41	0,880	821,40
1B	CEM II/B-Q			70	687,78	0,654	449,81
1C	CEM III/B			28	275,11	0,255	70,15
2A	CEM I	5130,45	687,48	95	653,11	0,880	574,73
2B	CEM II/B-Q			70	481,24	0,654	314,73
2C	CEM III/B			28	192,49	0,255	49,08
3A	CEM I	6613,33	886,18	95	841,87	0,880	740,84
3B	CEM II/B-Q			70	620,33	0,654	405,69
3C	CEM III/B			28	248,13	0,255	63,27

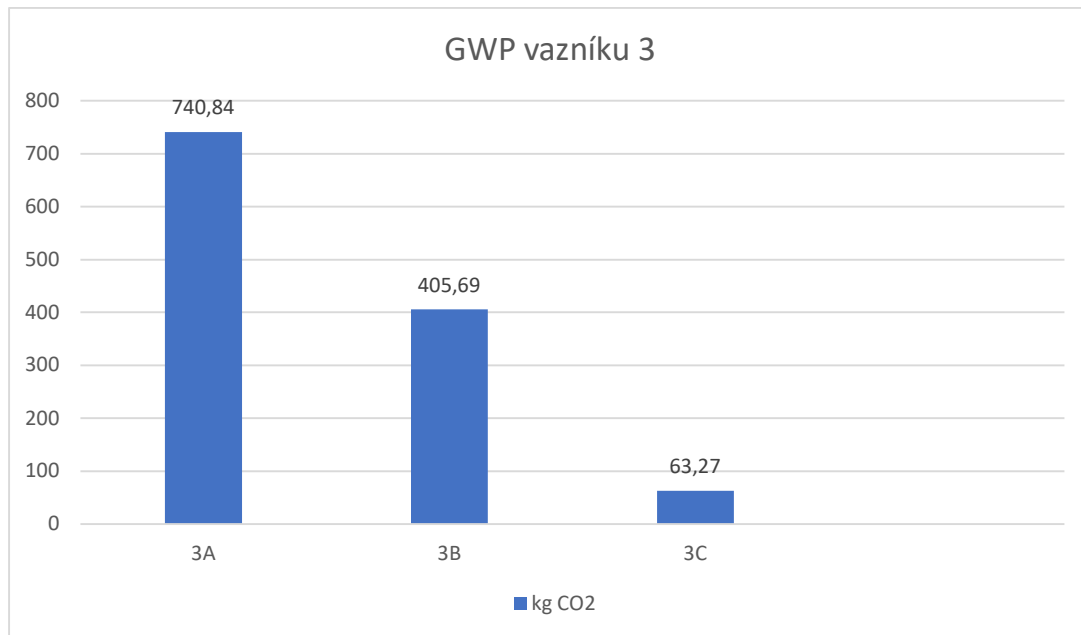
Množství materiálu bylo zjištěno v programu SCIA 21 pomocí výkazu materiálu. Výpočet předpokládá objemovou hmotnost betonu 2 500 kg/m³ a oceli 7 850 kg/m³.



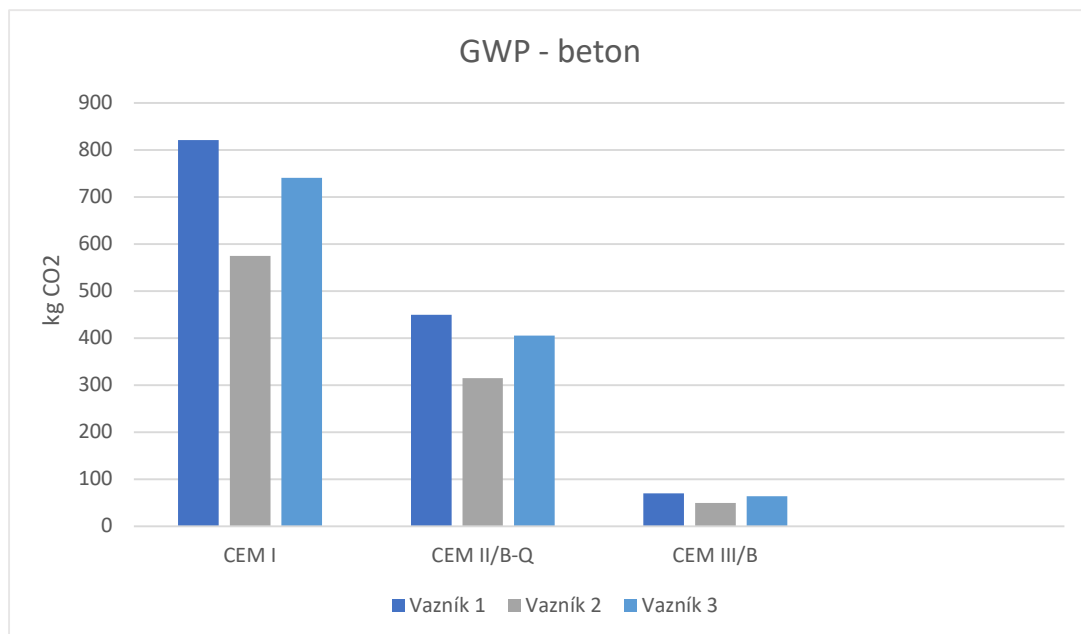
Obrázek 19 Graf potenciálu globálního oteplování vazníku 2 pro různé typy cementu



Obrázek 20 Graf potenciálu globálního oteplování vazníku 1 pro různé typy cementů



Obrázek 21 Potenciál globálního oteplování vazníku 3 pro různé typy cementu



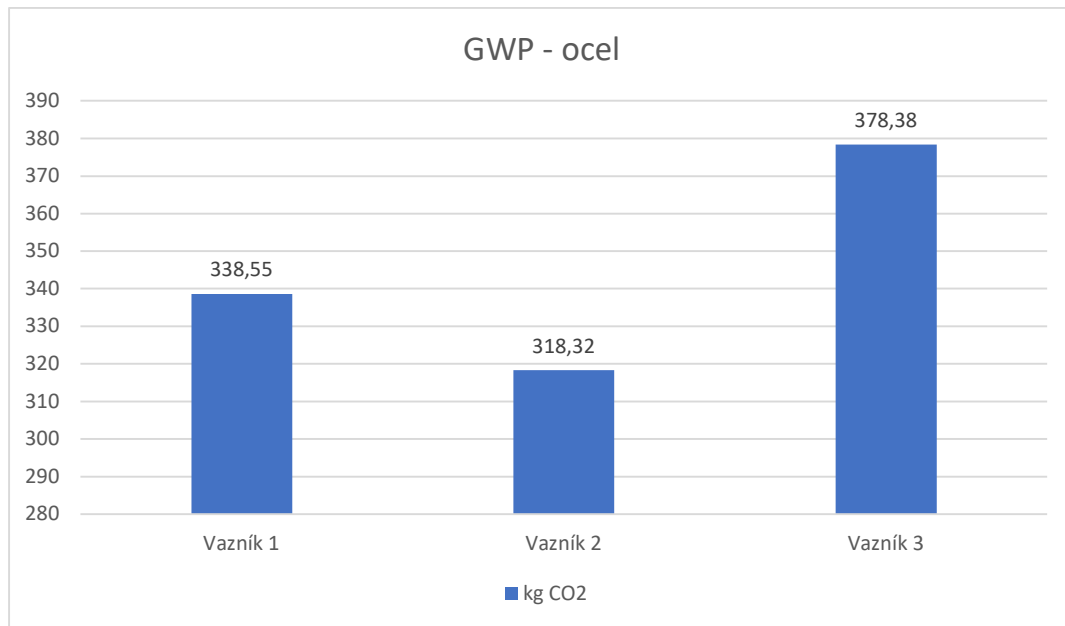
Obrázek 22 Graf potenciálu globálního oteplování z pohledu oceli a betonu

Vzhledem k faktu, že všechny varianty složení betonu bez rozdílu druhu cementu, dosáhnou stejné pevnostní třídy, navrhuji do všech materiálových variant stejné množství a uspořádání výztuže. Jednotlivé vazníky dosáhnou předepsané pevnosti po 28 dnech, lišit se budou pouze v rychlosti nárůstu pevnosti.

Na životní prostředí, především na potenciál globálního oteplování, má vliv také použitá ocel v železobetonu. Je známo, že na každou tunu oceli připadá produkce 1,5 – 3 tuny fosilního uhlíku. Většina emisí spadá na zdroje energie pro ocelárny. Dalšími nepřímými emisemi je doprava a náklady na obalové materiály. Všichni světoví producenti oceli již od roku 2004 sbírají data o produkci oceli a odpovídajícím množství oxidu uhličitého. Dle dat produkce oceli z roku 2020 připadá na tunu lité oceli 1,98 tun CO₂. Uhlíková stopa oceli je tedy 1,482 kg CO₂ ekv./kg, dle ecoinvent. [7] [21]

Tab. 20 Dopad použití výztuže na životní prostředí

Typ vazníku	Ocel	Množství oceli [kg]	Měrné emise E _{CO₂,steal} [kg CO ₂ /kg]	GWP [kg CO ₂]
1A	B500B	228,44	1,482	338,55
1B	B500B			
1C	B500B			
2A	B500B	214,79	1,482	318,32
2B	B500B			
2C	B500B			
3A	B500B	255,32	1,482	378,38
3B	B500B			
3C	B500B			

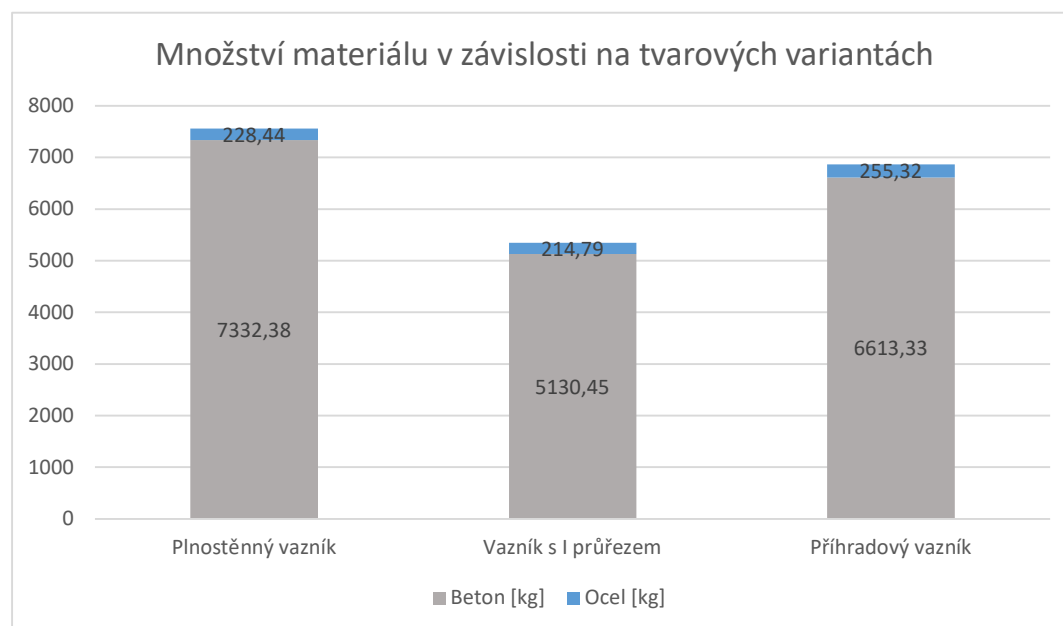


Obrázek 23 Graf zhodnocení potenciálu globálního oteplování výztuže

9.1 Porovnání množství materiálu v jednotlivých variantách

Tab. 21 Množství materiálu v jednotlivých variantách

Tvar	Množství betonu [kg]	Množství oceli [kg]
Plnostěnný vazník	7 332,38	228,44
Vazník s I průřezem	5 130,45	214,79
Příhradový vazník	6 613,33	255,32



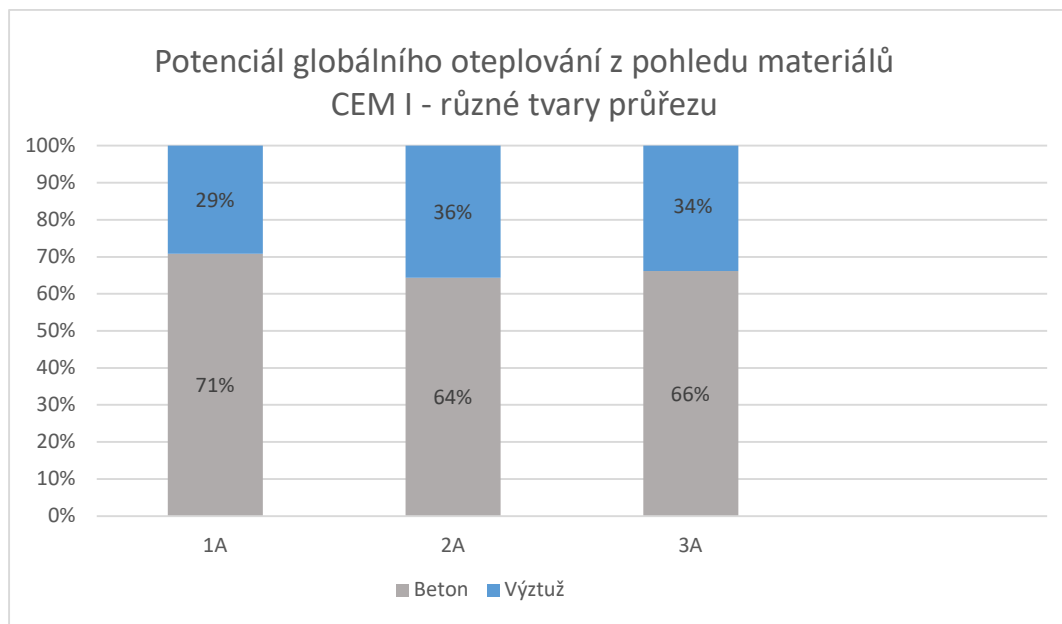
Obrázek 24 Graf porovnání zastoupení materiálu ve variantách vazníku

Z grafu lze vyčíst, že tvar průřezu vazníku má jen nepatrný vliv na množství cementu. Jednotlivé varianty se liší v řádu procent.

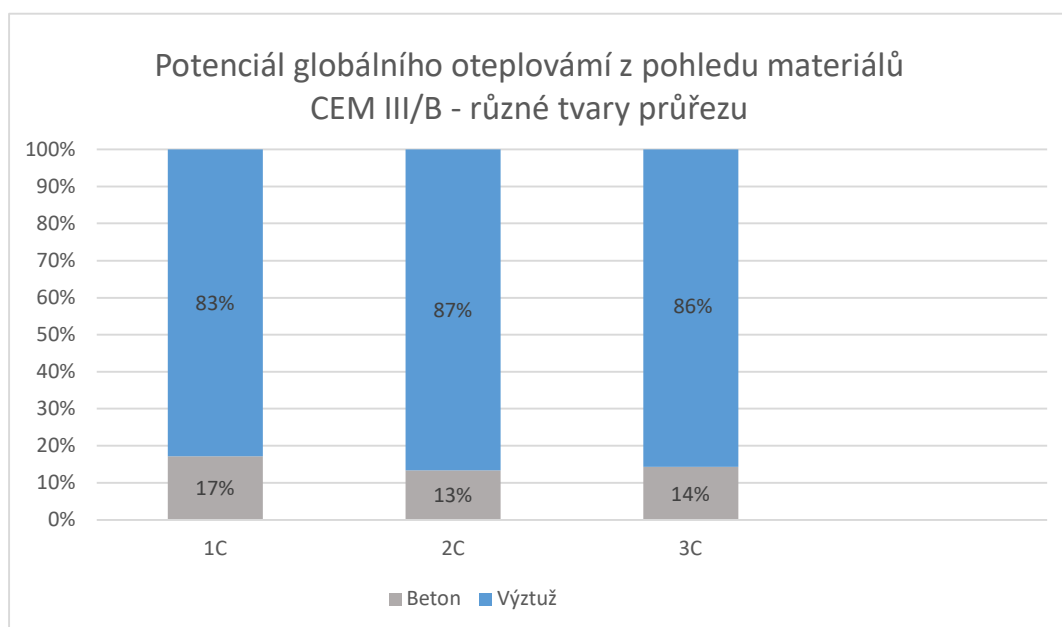
Tvar průřezu a geometrie vazníku má ale zásadní vliv na objem použitého betonu. Vzhledem k faktu, že zásadnější vliv na potenciál globálního oteplování má v železobetonové konstrukci beton, je tvarové řešení důležitým parametrem. Lze říci, že čím efektivnější průřez vazník má, tím menší dopad na životní prostředí. Ovšem důležitou složkou celkového posudku je použitý cement neboli množství slínku v cementu.

9.2 Porovnání účinků ocele a betonu na globální oteplování

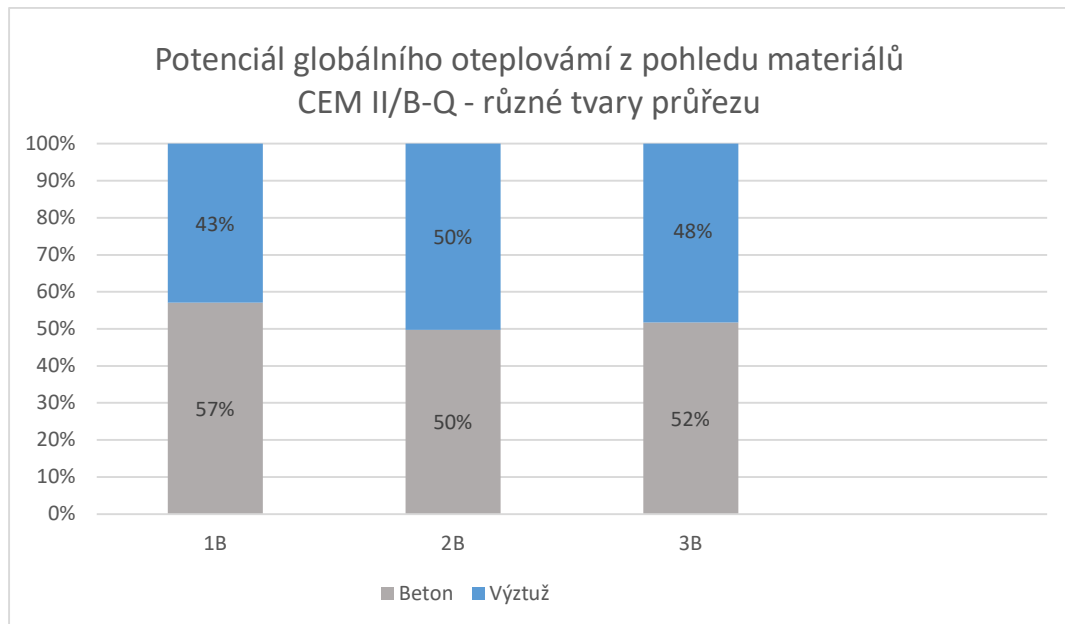
V každém z následujících grafů je znázorněno procentuální zastoupení sledovaných materiálů na globálním oteplování. V každém z nich jsou vedle sebe porovnány průřezy o stejném materiálovém složení ale s odlišným tvarem průřezu.



Obrázek 25 Graf porovnání procentuálního zastoupení vlivu jednotlivých materiálů na globální oteplování – CEM I



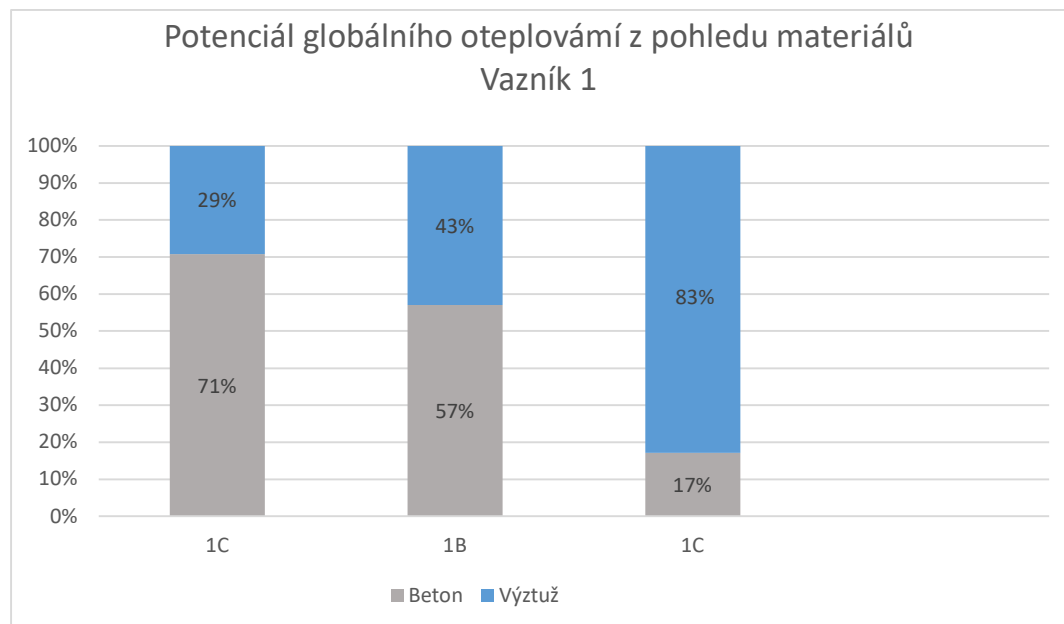
Obrázek 26 Graf porovnání procentuálního zastoupení vlivu jednotlivých materiálů na globální oteplování – CEM II/B-Q



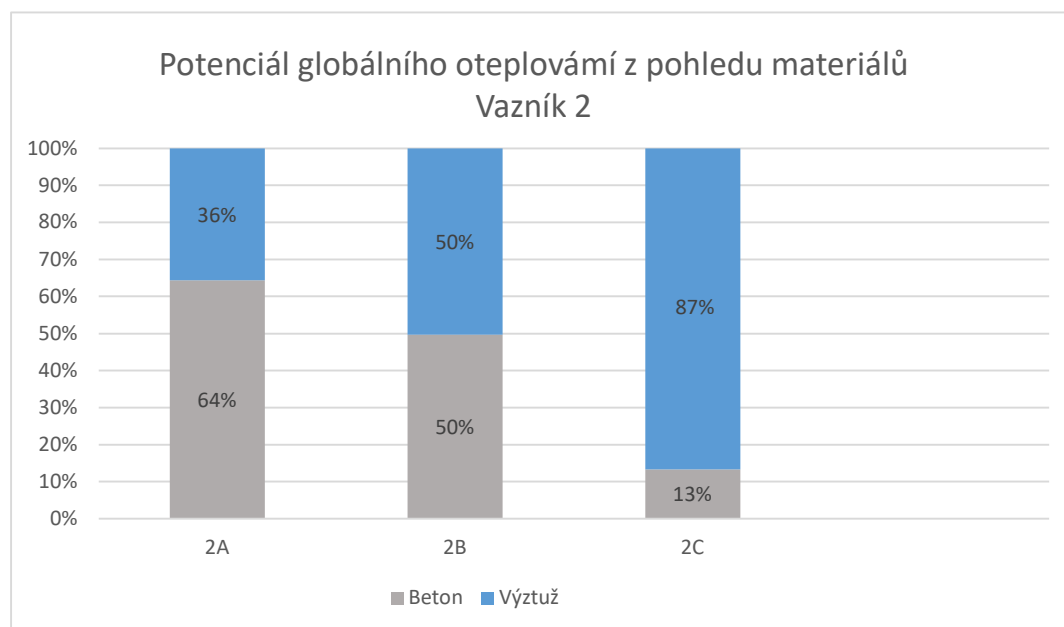
Obrázek 27 Graf porovnání procentuálního zastoupení vlivu jednotlivých materiálů na globální oteplování – CEM III/B

Z grafů je patrné, že čím více je v použitém cementu zastoupen portlandský slínek, tím větší vliv na celkový potenciál globálního oteplování železobetonové konstrukce má beton v porovnání s výztuží. Z toho vyplývá, že při použití nižší třídy cementu dominuje v negativním vlivu na životní prostředí použitá výztuž (ocel).

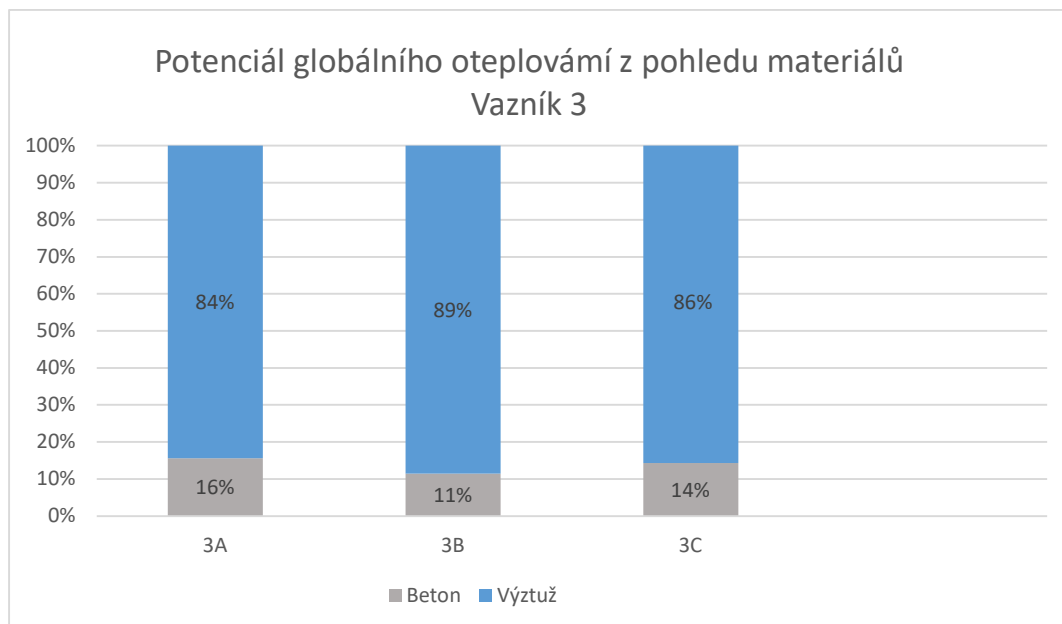
Na následujících grafech jsou srovnány stejné geometrické varianty s odlišným materiálovým složením.



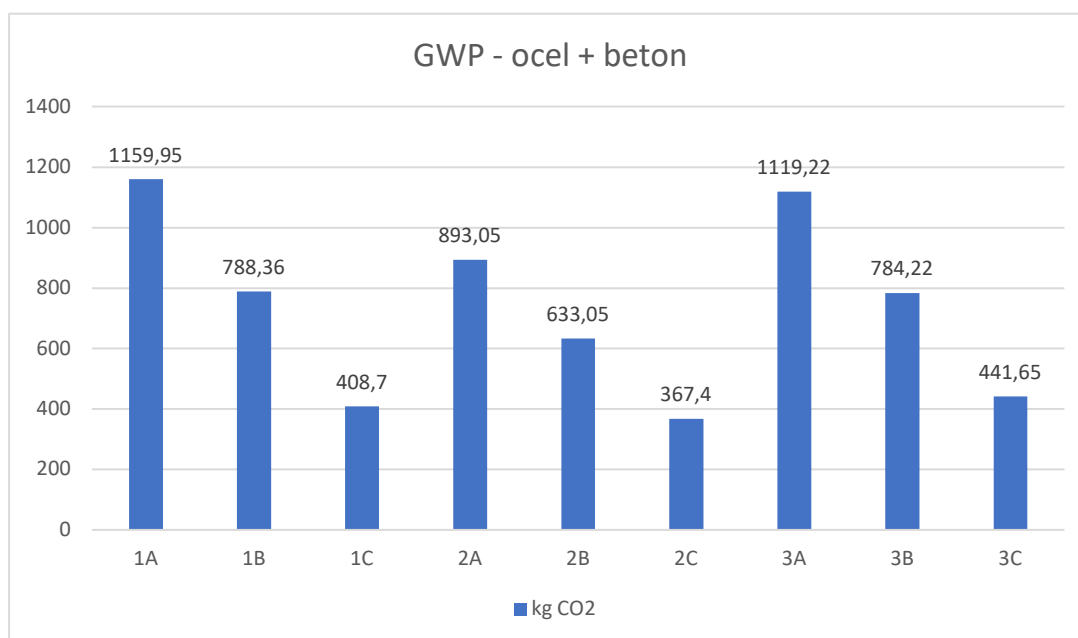
Obrázek 28 Graf porovnání procentuálního zastoupení vlivu jednotlivých materiálů na globální oteplování vazníku 1 i vazníku 1



Obrázek 29 Graf porovnání procentuálního zastoupení vlivu jednotlivých materiálů na globální oteplování vazníku 2



Obrázek 30 Graf porovnání procentuálního zastoupení vlivu jednotlivých materiálů na globální oteplování vazníku



Obrázek 31 Graf celkového zhodnocení potenciálu globálního oteplování

9.3 Celkové zhodnocení

Z grafu je patrné, že z pohledu potenciálu globálního oteplování, je nejvýhodnější varianta 2C. Jde tedy o vazník průřezu I z CEM III/B vyztužený B500B. V tomto cementu je 20–34 % slínku. Vazník má nevýhodu pomalého nárůstu pevnosti a z toho plynoucích vyšších nákladů na bednění a ošetřování betonu. Tvar průřezu I není vhodný provádět přímo na stavbě (insitu) kvůli náročnosti bednění. Takovéto průřezy jsou vhodné spíše pro prefabrikované konstrukce.

Je zřejmé, že vysokopecní cement, který má nejmenší procentuální zastoupení portlandského slínku, má nejmenší negativní dopad na globální oteplování při sledované emisí oxidu uhličitého. Použitím tohoto cementu dojde ke zpomalení nárůstu pevnosti betonu.

Z pohledu geometrie bez ohledu na druh cementu je nejvýhodnější varianta 2 (I profil průřezu). Úsporou materiálu dojde k poklesu množství slínků, kterým se sníží množství emisí oxidu uhličitého.

10 Závěr

V úvodu této práce je shrnuta problematika negativních vlivů na životní prostředí a jednotlivé vlivy, které je třeba sledovat. Především potenciál globálního oteplování a s tím související emise oxidu uhličitého. Oxid uhličitý je součástí výrobního procesu cementářského slínku, jehož výrobní proces byl popsán v následující části. Vyzdvihnuty byly možnosti alternativních materiálů, kterými lze slínek z větší části nahradit. V závěru teoretické části je popsána metoda posuzování životního cyklu stavebních materiálů (LCA) a enviromentální prohlášení o produktu (EPD).

V rámci konstrukční části byl proveden variantní návrh železobetonového vazníku jednodílné haly, která byla zastřešena střešními panely Kingspan. Vazník byl navržen ze třech odlišných průřezů a ze třech různých cementů. U všech byl spád zajištěn sedlovým tvarem. Každý z cementů obsahuje jiné množství slínku, který má zásadní vliv na množství oxidu uhličitého spojeného s betonovou konstrukcí. První vazník byl plnostěnný, druhý průřezu I a u třetího se jednalo o příhradovou konstrukci. K navržení a posouzení jednotlivých železobetonových vazníků byl použit program SCIA 21. Posudky byly provedeny pro MSÚ a MSP. Následně bylo zjištěno množství betonu a ocele v jednotlivých variantách s přepočtem na emise oxidu uhličitého. Všechny získané hodnoty byly vyčísleny v přehledných tabulkách a zaneseny do grafů.

Je patrné, že průřez vazníku má vliv i na množství oceli, která také ovlivňuje celkové množství emisí z konstrukce. Vyšetření nejlepší varianty vzešlo tedy z porovnání jednotlivých variant po sečtení emisí z obou materiálů. Nejlépe vyšla tedy varianta vazníku I průřezu z oceli B500B a cementu CEM III/B.

Mezi další aspekty, které by šlo započítat do celkového množství emisí, by mohlo patřit získávání a doprava jednotlivých surovin, náklady na skladování, obalové materiály a mnoho dalších aspektů vstupujících do výrobního procesu.

Je zřejmé, že problematika klimatických změn a její možné řešení se silně dotýká stavebního průmyslu, který se snaží na vážný problém současnosti reagovat.

11 Seznam použité literatury

- [1] ČERVINKA, Pavel. *Ekologie a životní prostředí: učebnice pro střední odborné školy a učiliště*. 3., aktualizované vydání. Praha: Nakladatelství České geografické společnosti, 2020. ISBN 978-80-87476-05-5.
- [2] *The proportionality of global warming to cumulative carbon emissions*. Dostupné z: doi:10.1038/nature08047
- [3] JEHLIČKA, Pavel RYJÁČEK a František WALD. *Posouzení životního cyklu ocelobetonových mostů I*. Praha: ČVUT, 2018. ISBN 978-80-01-06437-5.
- [4] KOČÍ, Vladimír. *LCA a EPD stavebních výrobků: posuzování životního cyklu a environmentální prohlášení o produktu jako cesta k udržitelnému stavebnictví*. Praha: Česká rada pro šetrné budovy, 2012. ISBN 978-80-260-3504-6.
- [5] *Závislost oteplení na budoucích emisích CO₂* [online]. [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/souvislost-emise-otepleni#kter%C3%A9-souvislosti-je-d%C5%AFle%C5%BEit%C3%A9-zm%C3%ADni>
- [6] ČSN EN ISO 14064-3:Skleníkové plyny - Část 3: Specifikace s návodem na ověřování a validaci prohlášení o skleníkových plynech. 2019.
- [7] *Envimat: stavební výrobky a životní prostředí* [online]. [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/metodika/pojmy/>
- [8] *Ozónová vrstva a skleníkový efekt* [online]. In: . s. 29 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: http://artemis.osu.cz/Student/OVSE_tex.pdf
- [9] Význam betonu a betonových konstrukcí z hlediska kritérií udržitelné výstavby. *Casopisstavebnictvi.cz* [online]. [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-vyznam-betonu-a-betonovych-konstrukci-zhlediska-kriterii-udrzitelne-vystavby.html>
- [10] KŘÍŽOVÁ, Katarína. *Betonové konstrukce I pro SPŠ a SOU stavební*. Praha: Sobotáles, 2010. ISBN 978-80-86817-39-2.
- [11] PŘIBYLA, Ondráš. Jakou roli hrají emise CO₂ z výroby cementu v klimatické změně?, *Fakta o klimatu* [online]. 2021 [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/emise-vyroba-cementu>
- [12] KIM, Jihoon, Ryoma KITAGAKI a Heesup CHOI. *Pore Filling Effect of Forced Carbonation Reactions Using Carbon Dioxide Nanobubbles*. 12. Dostupné z: doi:10,3390/ma13194343

- [13] *Vliv částečné náhrady cementu zeolitem v provzdušněných betonech* [online]. [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/12551-vliv-castecne-nahrady-cementu-zeolitem-v-provzdusnenych-betonech>
- [14] ROVNANÍKOVÁ, Pavla, Martin SEDLMAJER a Martin VYŠVAŘIL. *JEMNOZRNNÉ BETONY S ČÁSTEČNOU NÁHRADOU CEMENTU PŘÍRODNÍM ZEOLITEM*. Brno, 2014. Prezentace na seminář. VUT fakulta stavební.
- [15] BERNDT, M.L. Influence of concrete mix design on CO2 emissions for large wind turbine foundations. *Renewable Energy* [online]. 2015, **83**, 608-614 [cit. 2022-03-19]. ISSN 09601481. Dostupné z: doi:10.1016/j.renene.2015.05.002
- [16] R.PRUSINSKI, Jan, Medgar L.MARCEAU a Martha G. VANGEEM. *LIFE CYCLE INVENTORY OF SLAG CEMENT CONCRETE* [online]. [cit. 2022-03-19]. Dostupné z: <https://www.slagcement.org/portals/11/Files/PDF/Sus-Life-Cycle-Inventory-of-Slag-Cement%20Concrete.pdf>
- [17] KUČERA, Jakub. *BETONY S VYSOKÝM OBSAHEM ELEKTRÁRENSKÝCH POPÍLKŮ*. Praha, 2013. Bakalářská práce. VUT fakulta stavební.
- [18] ČSN EN 197-1 ED.2 (722101) *Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití*. 2012.
- [19] HORÁKOVÁ, Anna. *Optimalizace betonových konstrukcí z hlediska environmentálních vlivů a trvanlivosti*. Praha, 2022. Disertační práce. ČVUT fakulta stavební.
- [20] ŠŤASTNÁ, Liliana. *Ekologické hledisko návrhu optimální sítě nakládání s odpady*. Brno. Bakalářská práce. VUT fakulta strojní.
- [21] *Atelier DEK* [online]. [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://atelier-dek.cz/lca-anal%C3%BDza-%C5%BEivotn%C3%ADho-cyklu-epd-environment%C3%A1ln%C3%AD-prohl%C3%A1en%C3%AD-o-produktu-646>
- [22] *Worldsteel* [online]. [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: <https://worldsteel.org/steel-by-topic/sustainability/sustainability-indicators/>
- [23] The Environmental Impacts of Concrete. *Greenspec* [online]. [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://www.greenspec.co.uk/building-design/environmental-impacts-of-concrete/>

- [24] SINGH, N.B., Mukesh KUMAR a Sarita RAI. Geopolymer cement and concrete: Properties. *Materials Today: Proceedings*. 2020, 29, 743-748. ISSN 22147853. Dostupné z: doi:10.1016/j.matpr.2020.04.513
- [25] KOČÍ, Vladimír. *Hodnocení enviromentálních dopadů technologií: Posuzování životního cyklu - LCA*. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. Studijní text. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.
- [26] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: *Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*.
- [27] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*.
- [28] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem*.
- [29] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*.
- [30] ČSN EN 1990 ed. 2 Eurokód: *Zásady navrhování konstrukcí*.

12 Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma výroby cementu [4]	14
Obrázek 2 Největší producenti cementu (rok 2018) [5].....	15
Obrázek 3 Schéma produkce CO ₂ [11].....	15
Obrázek 4 Graf růstu výroby cementu celosvětově [12].....	17
Obrázek 5 Schéma postupu při posouzení vlivu životního cyklu na ŽP [3]	23
Obrázek 6 Schéma posouzení dopadů [20]	25
Obrázek 7 Schéma životního cyklu produktu [21].....	26
Obrázek 8 Schéma konstrukce	30
Obrázek 9 Průřez vazníku 1, x=0 m.....	33
Obrázek 10 Průřez vazníku 1, x=6 m.....	33
Obrázek 11 Průřez 1A - x=0 m	39
Obrázek 12 Posouzení v programu FIN beton, x = 0 m	42
Obrázek 13 Průřez 1a, x = 6 m	43
Obrázek 14 Posouzení v programu FIN beton, x = 6 m	47
Obrázek 15 Průřez vazníku 2, x = 0 m.....	49
Obrázek 16 Průřez vazníku 2, x = 6 m.....	49
Obrázek 17 Průřez vazníku 3, x = 6 m.....	53
Obrázek 18 Průřez vazníku 3, x = 0 m.....	53
Obrázek 19 Graf potenciálu globálního oteplování vazníku 2.....	59
Obrázek 20 Graf potenciálu globálního oteplování vazníku 1.....	59
Obrázek 21 Potenciál globálního oteplování vazníku 3.....	60
Obrázek 22 Graf potenciálu globálního oteplování z pohledu oceli a betonu .	60
Obrázek 23 Graf zhodnocení potenciálu globálního oteplování výztuže	62
Obrázek 24 Graf porovnání zastoupení materiálu ve variantách vazníku	63
Obrázek 25 Graf porovnání procentuálního zastoupení vlivu jednotlivých materiálů na globální oteplování – CEM I.....	64

Obrázek 26 Graf porovnání procentuálního zastoupení vlivu jednotlivých materiálů na globální oteplování – CEM II/B-Q.....	64
Obrázek 27 Graf porovnání procentuálního zastoupení vlivu jednotlivých materiálů na globální oteplování – CEM III/B.....	65
Obrázek 28 Graf porovnání procentuálního zastoupení vlivu jednotlivých materiálů na globální oteplování vazníku 1.....	66
Obrázek 29 Graf porovnání procentuálního zastoupení vlivu jednotlivých materiálů na globální oteplování vazníku 2.....	66
Obrázek 30 Graf porovnání procentuálního zastoupení vlivu jednotlivých materiálů na globální oteplování vazníku.....	67
Obrázek 31 Graf celkového zhodnocení potenciálu globálního oteplování	67

13 Seznam tabulek

Tab. 1 Cementy pro obecné použití [17]	20
Tab. 2 Pevnostní třídy cementů [17]	21
Tab. 3 Druhy cementů a jejich emise CO2 [19]	22
Tab. 4 Zatížení střešní konstrukce	30
Tab. 5 Zatížení užité střešní konstrukce	31
Tab. 6 Tvarové součinitele zatížení sněhem	31
Tab. 7 Typy krajiny	31
Tab. 8 Sněhové oblasti.....	31
Tab. 9 Celkové zatížení.....	32
Tab. 10 VN MSÚ – vazník 1	34
Tab. 11 VN MSP – vazník 1.....	35
Tab. 12 Využití vyztužení průřezu Vazníku 1, x = 0 m.....	42
Tab. 13 Využití vyztužení průřezu Vazníku 1, x = 0 m.....	47
Tab. 14 VN MSÚ – vazník 2	51
Tab. 15 VN MSP – vazník 2.....	52
Tab. 16 VN MSÚ – vazník 3	56
Tab. 17 VN MSP – vazník 3.....	57

Tab. 18 Indikátory dopadů ŽP	58
Tab. 19 Dopad použitého betonu na životní prostředí:	58
Tab. 20 Dopad použití výztuže na životní prostředí	61
Tab. 21 Množství materiálu v jednotlivých variantách.....	63

14 Seznam příloh

Příloha 1 Posouzení vazníku 1,2

Příloha 2 Posouzení vazníku 3