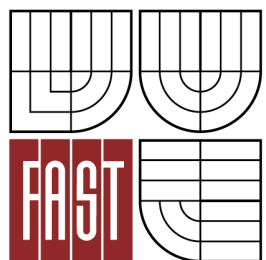




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV GEOTECHNIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF GEOTECHNICS

## EKODUKT NA DÁLNICI D1

ECODUCT ON MOTORWAY D1

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

BC. PETR MATOUŠ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. VĚRA GLISNÍKOVÁ, CSc.

BRNO 2014



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav geotechniky

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	Bc. Petr Matouš
<b>Název</b>	Ekodukt na dálnici D1
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	Ing. Věra Glisníková, CSc.
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	31. 3. 2013
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	17. 1. 2014

V Brně dne 31. 3. 2013

.....  
doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.

Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

Budou předány vedoucí diplomové práce zvlášť.

## **Zásady pro vypracování**

Úkolem diplomové práce je navrhnout nosnou konstrukci a založení ekoduktu na dálnici D1 u Jihlavy. Jedná se o přesypávanou mostní konstrukci z dřevěných lepených vazníků. Konstrukční systém je tvořen obloukovými nosníky, které jsou postupně zasypávány zeminou.

## **Předepsané přílohy**

.....

Ing. Věra Glisníková, CSc.

Vedoucí diplomové práce

**Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá vhodným návrhem ekoduktu na dálnici D1 u Jihlavy. Její součástí je statický výpočet konstrukce včetně posudků jak železobetonových základových pasů, tak dřevěných nosníků ve všech fázích výstavby. Materiálem hlavního nosného systému je lepené lamelové dřevo GL24h. Důležitou součástí dřevěného ekoduktu z trojkloubových obloukových nosníků je vhodně zvolená izolace.

**Klíčová slova**

Ekodukt, lepené lamelové dřevo, trojkloubový obloukový nosník, izolace, základový pas

**Abstract**

The master's thesis focuses on suitable design of an ecoduct on the highway D1 near Jihlava. It includes a structural analysis of reinforced concrete strip footings and wooden beams in all phases of construction. The material of the main bearing system is glued laminated timber GL24h. An important part of three-jointed ecoduct wooden arched beams is well-chosen isolation.

**Keywords**

Ecoduct, glued laminated timber, three-jointed arched beam, isolation, strip footing

**Bibliografická citace VŠKP**

MATOUŠ, Petr. *Ekodukt na dálnici D1*. Brno, 2013. 84 s., 116 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky. Vedoucí práce Ing. Věra Glisníková, CSc..

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 17.1.2014

.....

podpis autora  
Bc. Petr Matouš

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval všem, kteří mi pomáhali s přípravou práce nebo mě jakkoliv podporovali během jejího vytváření. Zejména vedoucí své diplomové práce Ing. Věře Glisníkové, CSc. za podnětné rady a čas strávený konzultacemi.

**OBSAH**

1. ÚVOD.....	7
2. POPIS ŘEŠENÉ STAVBY.....	8
2.1 KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ STAVBY.....	9
3. INŽENÝRSKO-GEOLOGICKÝ PRŮZKUM.....	11
3.1 GEOLOGICKÁ STAVBA ŠIRŠÍHO OKOLÍ.....	11
3.2 GEOMORFOLOGICKÉ POMĚRY ÚZEMÍ.....	12
3.3 DOSAVADNÍ PRŮZKUM ÚZEMÍ.....	12
4. PROBLEMATIKA EKODUKTŮ.....	14
4.1 DOPAD VÝSTAVBY LINIOVÝCH DOPRAVNÍCH STAVEB NA MOŽNOST MIGRACE ZVÍŘAT... 14	
4.2 VÝSTAVBA EKODUKTŮ.....	15
4.3 ZPŮSOB PŘECHODU ZVÍŘAT.....	17
4.4 UMÍSTĚNÍ EKODUKTŮ A JEJICH ŠÍŘKOVÉ USPOŘÁDÁNÍ.....	18
4.5 ÚPRAVA OKOLÍ EKODUKTU.....	19
4.6 DŮVODY PRO VÝSTAVBU EKODUKTŮ.....	20
4.7 SOUČASNÁ SITUACE.....	21
5. METODY VÝSTAVBY PŘESYPANÝCH OBJEKTŮ NA KOMUNIKACÍCH.....	22
5.1 OBECNÉ USPOŘÁDÁNÍ.....	22
5.2 STAVEBNÍ PROCES METODY CUT-AND-COVER.....	23
5.3 STAVEBNÍ PROCES METODY COVER-AND-CUT.....	23
6. TEORETICKÉ POZNATKY K MODELOVÁNÍ A VÝPOČTU.....	26
6.1 STATICKÉ PŮSOBENÍ.....	26
7. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	28
8. STATICKÝ VÝPOČET.....	30
8.1 VYTVOŘENÍ MODELU V PROGRAMU SCIA ENGINEER 2013.....	32
8.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY.....	33
8.3 ZATÍŽENÍ.....	34
8.3.1 Zatížení sněhem.....	35
8.3.2 Zatížení hutněním.....	36
8.3.3 Zatížení zeminou.....	37



8.3.4 Výpis zatížení.....	39
8.4 FÁZE VÝSTAVBY .....	40
8.5 IZOLACE .....	44
8.5.1 Skladba hydroizolačního souvrství: .....	45
8.6 POSOUZENÍ MEZNÍCH STAVŮ ZÁKLADOVÉ PŮDY V PROGRAMU GEO5 .....	46
8.7 POSOUZENÍ MEZNÍCH STAVŮ ZÁKLADOVÉ PŮDY DLE EC-7 BEZ PODPORY PROGRAMU GEO5 .....	47
8.7.1 Mezní stav porušení .....	47
8.7.2 Mezní stav použitelnosti.....	55
8.8 POSOUZENÍ DŘEVĚNÉHO NOSNÍKU.....	59
8.8.1 Materiálové charakteristiky .....	59
8.8.2 Geometrie .....	60
8.8.3 Průřezové charakteristiky nosníku .....	60
8.8.4 Mezní stav únosnosti .....	61
8.8.5 Mezní stav použitelnosti, posouzení mezního průhybu .....	68
8.9 POSOUZENÍ ČEPOVÉHO ULOŽENÍ NOSNÍKU NA ZÁKLADOVÝ PAS.....	69
8.9.1 Únosnost čepu ve stříhu .....	71
8.9.2 Únosnost čepu v otláčení.....	71
8.9.3 Únosnost čepu v ohybu .....	71
8.9.4 Kombinace stříhu a ohybu.....	72
9. ZÁVĚR .....	73
POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE.....	74
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	74
SEZNAM ODKAZŮ NA ELEKTRONICKÉ STUDIJNÍ ZDROJE .....	75
SEZNAM POUŽITÝCH NOREM .....	76
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	77
SEZNAM TABULEK .....	79
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ.....	80
SEZNAM PŘÍLOH.....	84

## 1. ÚVOD

Tématem diplomové práce je návrh ekoduktu přes dálnici D1 na 110. km ve směru na Brno, 8 km severně od města Jihlavy. Jedná se o celkový projekt nosné konstrukce a vhodného založení přechodu pro zvěř, který je realizován jako přesypaná mostní konstrukce.

První kapitola diplomové práce pojednává o geologických a geomorfologických poměrech zájmového území.

V další kapitole je řešena problematika přechodů pro zvěř z jiného než stavebního hlediska. Přibližuje účel navrhování těchto staveb a jejich využití.

V následující kapitole jsou popsány nejčastěji využívané stavební metody pro zbudování přesypaných staveb a tunelů na dálničních komunikacích. Je zde rozvedeno jak stavební řešení jednotlivých metod, tak i zvolení vhodného návrhu pro řešené území.

Dále se práce zabývá ekonomickým zhodnocením daného návrhu a porovnává jej s podobnými stavbami vybudovanými na našem území.

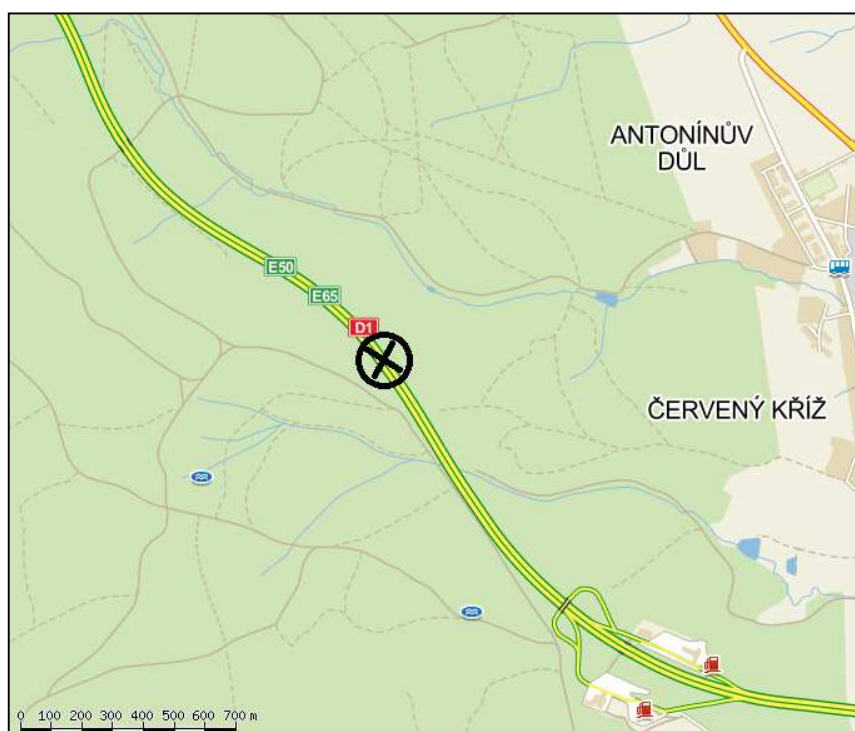
Poslední částí diplomové práce je samotný statický výpočet provedený s pomocí programu SCIA Engineer 2013. Valná část výpočtů je však provedena bez využití těchto specializovaných softwarů pouze s použitím tabulkového editoru MS Excel. Pro kontrolu a ověření správnosti výpočtu je stejný model základu posouzen v programu Geo5.

V rámci rozšíření dálnice D1, které probíhá v letech 2013 – 2015, bylo navrženo několik nových mostních objektů po celé délce plánovaného úseku. Mezi těmito objekty jsou i samotné ekodukty. Díky migračním studiím provedených v minulých letech lze velmi přesně zjistit regionální a nadregionální trasy biokoridorů a tím správně navrhnout umístění přechodů pro zvěř.

Tento mostní objekt je navržen na místě, kudy vedou mezinárodní migrační trasy velkých savců jako např: losů, daňků či jelenů. Průchodnost dálnice D1 je pro zvěř právě v těchto místech velmi špatná a zvířata musí využívat buď přímý přechod přes komunikaci, které často končí nešťastně, nebo musí putovat k jiným mostním objektům, které ovšem pro přechod zvěře navrženy nejsou.

## 2. POPIS ŘEŠENÉ STAVBY

Úsek komunikace, na které je objekt navržen, se nachází v mírném klesání ve směru z Prahy do Brna v přímém úseku bez jakýchkoliv oblouků. Počátek ekoduktu je stanoven dle migrační studie pro zkapacitnění dálnice D1 v úseku Mirošovice-Kývalka na staničení 110,000 ve směru na Brno. Daný úsek je umístěn 8 kilometrů severně od Jihlavy.



Obr. 2-1 Konkrétní umístění stavby

Stavba se nachází na dálnici D1. Návrh je proveden na již rozšířenou komunikaci, která je širší oproti standardnímu profilu stávající dálnice na každé straně jízdního pásu o dva metry vozovky. Přemostění je tedy dlouhé 42 metrů. Jelikož se jedná o přechod pro velké savce, je nutné zachovat stanovenou minimální šířku 40 metrů.



Obr. 2-2 Umístění stavby s ohledem na širší okolí

## 2.1 Konstrukční uspořádání stavby

Ekodukty se nejčastěji navrhují jako přesypávané konstrukce. Inspirací při návrhu diplomové práce byl podobný projekt realizovaný před 5 lety na území Slovenska. Ve svém projektu jsem zvolil stejný postup výstavby. Vhodným a esteticky nejzajímavějším tvarem pro přesypání je oblouk, který bývá použit ve většině případů staveb tohoto typu. Jako vhodný a esteticky nejzajímavější tvar pro přesypání je oblouk, který je také ve většině případů pro tento typ staveb použit.

Ekodukt je ze statického hlediska navržen jako trojkloubový oblouk, který je staticky určitý a dovoluje naprojektovat štihlejší profily. Ve srovnání s ostatními statickými systémy není náchylný k vysokým napětím ve vrcholu.

Jako materiál nosné konstrukce je vybráno dřevo. Vzhledem ke zvolenému statickému systému je nutné do vrcholu nosníku vložit kloub. U konstrukcí z betonu stejného typu je provedení velmi drahé a jako ocelové konstrukce se ekodukty nenavrhují.

Jedná se o homogenní lepené lamelové dřevo, které vykazuje velmi dobré materiálové charakteristiky vzhledem ke spotřebovanému objemu na stavbu a ceně

materiálu a zkompletování. Oproti betonovým konstrukcím, které v tomto případě převládají, se jedná o netuhý materiál, který je velmi pružný a musí se dobře zabezpečit proti velkým průhybům od zatížení (jak přesypáním, tak provozem). Nevýhodou dřeva je jeho nízká odolnost vůči klimatickým jevům. Proto je nutné jej dobře zabezpečit vhodnou povrchovou úpravou a izolací.

Ekodukt jako celek vzhledem ke své velikosti nenarušuje ráz krajiny a použitým materiálem bez problému zapadá do zalesněné krajiny. Hlavní výhodou je, jak jsem již naznačil, jeho nízká cena, která se pohybuje až okolo poloviny ceny stejné stavby z betonu. Další výhodou je možnost zkonstruovat celý systém prakticky za provozu na komunikaci. Možnost zachování provozu je velmi žádoucí, protože se jedná o výstavbu na již zbudované dálnici. Jedinou nevýhodou je technologie celého procesu výstavby, kterou zvládne jen několik firem na území České republiky.

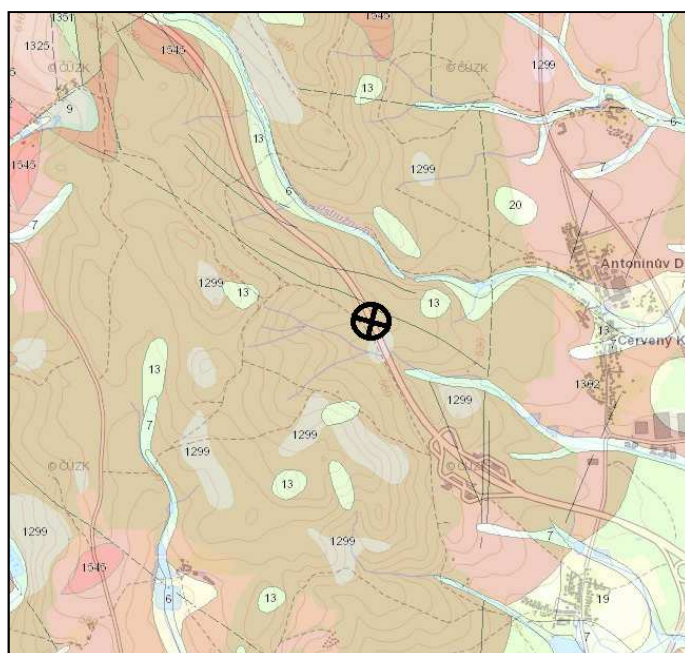
### 3. INŽENÝRSKO-GEOLOGICKÝ PRŮZKUM

#### 3.1 Geologická stavba širšího okolí

Zájmové území spadá do nejstarší jednotky Českého masivu – moldanubika. Moldanubická oblast je budována různými horninovými soubory převážně metamorfitů. Součástí moldanubické oblasti jsou i rozsáhlé masivy granitoidních plutonických hornin. Velmi charakteristické pro moldanubikum je téměř chybějící platformní pokryv. [3]

Formální vymezení moldanubika představuje středočeský hlubinný zlom, český křemenný val, tachovský zlom na západě a muskovitová izograda na severu. Jižní hranice moldanubika leží mimo území ČR a je zakryta sedimenty alpské neogenní předhlubně. Moldanubikum je tvořeno vesměs silně metamorfovanými krystalinickými komplexy, proniknutými granitoidními plutony hercynského stáří. [4]

Studovaná oblast je tvořena metamorfovanými horninami jednotvárné (ostrogonské) skupiny. Z hlediska petrologie obsahuje především biotitové a silimanit-biotitové metamorfity. [4]



Obr. 3-1 Geologická mapa území 1:50 000 ([www.geology.cz](http://www.geology.cz))

Tab. 1-1 Geologický profil daného území

1302	
Typ horniny	Metamorfit
Hornina	Migmatit
Mineralogické složení	Cordierit biotit, sillimanit, granát, muskovit
Eratém	Paleozoikum až proterozoikum
Soustava	Český masiv – krystalinikum a prevariské paleozoikum
Oblast	Moldanubická oblast (moldanubikum)
Region	Metamorfní jednotky v moldanubiku

### 3.2 Geomorfologické poměry území

Zájmové území se nachází v provincii Česká Vysočina, v části Českomoravská subprovincie. Ta zde zasahuje svou oblastí Českomoravská vrchovina celkem Hornosázavská pahorkatina. Část dálnice, na které bude přechod pro zvěř realizován, se nachází v 7 m hlubokém zářezu. Celá komunikace prochází hustým lesním porostem a je situována v pozvolném svahu vrchoviny. Jihozápadně od dálnice D1 ve směru na Prahu leží vrchol Vysoký Kámen. Průměrná nadmořská výška území je 550 m n. m. Nejblíže je umístěna obec Antonínův Důl (směrem na severovýchod), 8 kilometrů jižně se nachází město Jihlava.

### 3.3 Dosavadní průzkum území

V blízkosti daného území jsou k dispozici dva archivní vrty provedené v roce 1974 Stavební geologií, n. p. Praha. Jedná se o dvě kopané sondy K731 (hloubka 5 m) a K750 (hloubka 3,6 m).

Dále byl proveden firmou GeoTec-GS průzkum přímo pro navrhovaný ekodukt v rozsahu: 2 dynamické penetrační zkoušky po obou stranách komunikace, 10 m hluboký jádrový vrt a 2 kopané rýhy po obou stranách komunikace. (Viz příloha č. 1: IG průzkum)

Na základě informací z podkladů tohoto průzkumu a pomocí tabulek uvedených v literatuře, jsou určeny charakteristické hodnoty vlastností základové půdy, uvedené ve statickém výpočtu.



## 4. PROBLEMATIKA EKODUKTŮ

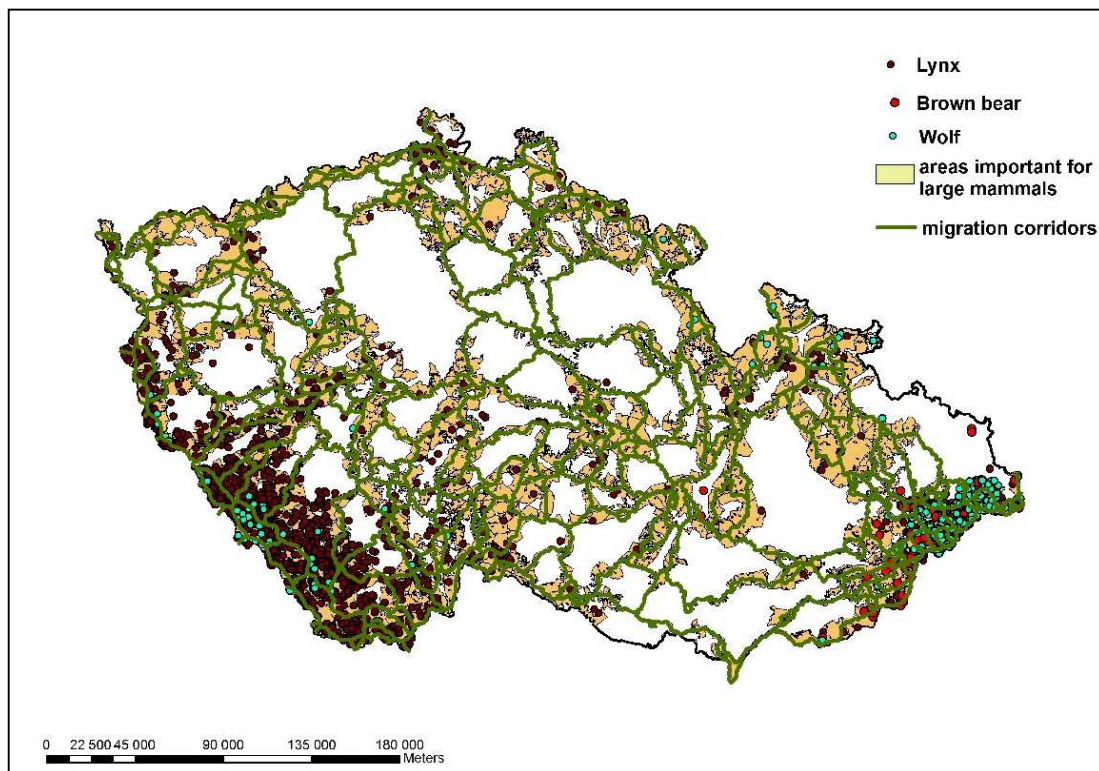
Slovo ekodukt je odvozeno z latinského slova oikos (dům, prostředí) a duco (vést něco). Ekodukty jsou speciální mostní objekty určené pro zachování spojitosti životního prostředí a migračních tras živočichů. Jejich stavbou se také omezí riziko střetu vozidel s přebíhající zvěří (zvěř se naučí přecházet bezkolizně po ekoduktu). [10]

### 4.1 Dopad výstavby liniových dopravních staveb na možnost migrace zvířat

Budování velkých inženýrských staveb, mezi které náleží též silniční a dálniční komunikace, nesmí mít za následek nevratné změny, popř. poškození biologických relací ve značně rozsáhlých územích. Kapacitní a intenzivně zatížené komunikace vytvářejí v krajině zvláště pro velké savce velmi obtížně překonatelné bariéry, které způsobují fragmentaci prostředí i populací. Vznikají tak vzájemně izolované „ostrovní“ populace, které jsou velmi zranitelné a jejichž dlouhodobá existence se stává nejistou. Fragmentace populací se stává v Evropě jedním z nejvýznamnějších ohrožujících faktorů pro řadu živočišných druhů. V případě jakýchkoliv lokálních nepříznivých vlivů přestává být malá izolovaná populace rezistentní. Izolované ostrovy při malém počtu zvířat trpí nedostatečností genetické rozmanitosti, což může v dlouhodobé perspektivě způsobit postupný zánik takovéto izolované populace a tím snížení druhové rozmanitosti.

Za normálních okolností existuje u většiny druhů savců vždy část populace, která nerespektuje stálá teritoria a pohybuje se na velké vzdálenosti. Jde často o mladé jedince vytlačované z domovských areálů, v menší míře se jako migranti projevují staří plně dospělí jedinci. Motivy a zákonitosti těchto migrací nejsou dosud u většiny druhů zcela objasněny. Je však jisté, že tyto migrace mají zásadní význam pro trvalé přežívání a prosperitu populací. Bez větších problémů jsou díky migraci vyrovnávány výkyvy početnosti způsobené např. přechodně zhoršenými podmínkami, epidemiemi, živelními katastrofami apod. Díky migracím dochází k objevení a využívání míst s přechodně vhodnými podmínkami popř. i k osídlování nových vhodných oblastí a tím posilování

druhové různorodosti a ekologické stability. Migrací uvnitř areálu rozšíření je zajištěna nezbytná genetická výměna a udržována diverzita zvířecí populace.



Obr. 4-1 Mapa migrace a výskytu živočichů na území ČR

Se zvětšující se hustotou kapacitní komunikační sítě a rostoucí intenzitou dopravy se problém liniových bariér stává zásadní otázkou udržení populací velkých savců v prostředí. Řešení situace je věnována značná pozornost ve všech zemích s hustou dálniční sítí. Vedle ochrany populací je třeba se zabývat i otázkou bezpečnosti silničního provozu a v neposlední řadě i etickými otázkami usmrcování živočichů pod koly automobilů.

## 4.2 Výstavba ekoduktů

Převedení migrantů přes bariéry je možno provést vhodně upraveným objektem-ekoduktem. Vzdálenost mezi jednotlivými objekty je založena na délce trasy, po kterou zvíře jde podél bariéry a hledá vhodný přechod, než se od ní odkloní. Tato vzdálenost je různá u různých druhů zvířat.

Rozdílnost názorů je v případě stanovení prostorových parametrů. Tyto parametry byly v dosavadní praxi stanovovány na základě prostorových parametrů biokoridorů, které jsou určeny ve třech kategoriích (místní, regionální, nadregionální) standardně pro území celého státu bez rozlišení konkrétního prostředí a také bez vysvětlení jakým způsobem se k těmto parametrům dospělo.

Kvantifikace alespoň základních prostorových parametrů, vhodné řešení objektů vybudovaných za jiným účelem (přemostění toku) a umístění, resp. rozestup objektů speciálně vytvořených za účelem umožnění migrace zvířat, je základním předpokladem efektivního vynakládání prostředků. Přesné specifikování potřeb a zpětné dokladování funkčnosti realizovaných opatření a tím i efektivity může přispět k zajištění kontinuity vývoje, která jediná může vést k všeobecně akceptovatelnému kompromisu v rozporu mezi potřebami zvířat a ekonomikou výstavby kapacitních komunikací.



Obr. 4-2 Holandský ekodukt na dálnici A1

V ČR tento problém není prozatím jednotně upraven a tak se dostává investor často do situace, kdy jsou technická opatření mající za cíl umožnit migraci situována na nevhodných místech, prostorově jsou naddimenzována nebo naopak poddimenzována, popř. mají závady v technickém řešení, které markantně snižují jejich využívání zvířaty. Též z hlediska konstrukčního jsou tyto objekty dosud podceňovány a nejsou chápány jako zvláštní typ konstrukcí se specifickými požadavky budované pro speciální účely, a proto jim není věnována potřebná pozornost. Pokud se budují, jde v

mnoha případech o náhodně umístěné stavby konstrukčních typů kopírujících objekty určené pro zcela jiné určení.

Složitá je situace zejména v případě opatření umožňujících migraci přes těleso komunikace. Složitost je dána jednak náročným technickým řešením a vyššími finančními prostředky na něj vynakládaným na straně jedné a malou mírou konkrétních znalostí a nekonkrétní legislativou dávající prostor širokému spektru názorů na straně druhé. Až na základě podrobné analýzy je možno navrhovat ekodukty, které splní svoje poslání, budou funkční i ekonomické ve smyslu jejich využívání a současně účelně vynaložených finančních prostředků.

### **4.3 Způsob přechodu zvířat**

Přechod zvěře z jedné strany tělesa komunikace na druhou se uskutečňuje v podstatě dvěma způsoby, a to formou nadjezdu, kdy stezka zvěře přechází dálnici nad její niveletou, nebo formou podjezdu, kdy je přechod uskutečněn pod její niveletou. Do první skupiny patří mosty podobné silničním nadjezdům, do druhé skupiny lze zařadit konstrukce dálniční mostů a konstrukce podobné propustkům. V obou případech je třeba splnit řadu podmínek, které zajistí, že zvěř bude vybudované přechody využívat. Nejvhodnějšími místy přechodu z tohoto hlediska jsou místa, kde se kříží trasa komunikace s hlavními "stezkami" tradičně užívanými zvěří. Přitom místa křížení, využitá k přechodu zvěře, je výhodné zvolit ve stejném místě, kde se přes komunikaci převádí také polní popř. lesní cesta nebo jiná komunikace, popř. vodoteč.

Pokud je niveleta komunikace v hlubokém zářezu, jehož hloubka umožňuje převedení migrační stezky zvěře v úrovni terénu, pak řešení vede k mostu, který spojuje oba břehy zářezu. Boky zářezu mohou být buď svislé, nebo v šikmém sklonu. Předností tohoto řešení je, že podle místních okolností může být šířka mostu snadno přizpůsobena požadavkům migrační stezky. Při šířce mostu větší než 50 m lze toto uspořádání nazvat hloubeným tunelem. Ve srovnání se všemi ostatními způsoby řešení je toto řešení optimální. Jeho předností je, že umožňuje zachování původního vedení migračních stezek a zachovává tvar a všechny charakteristické vlastnosti terénu, jako je např. uspořádání vegetace. Další výhodou je, že mostní konstrukce je možno navrhovat pro zatížení provozem na stezce, popř. na jiné komunikaci, které je obvykle značně

menší než zatížení dopravním provozem na komunikaci. Ke zlepšení přechodu zvěře na tento široký most je účelné volit nálevkovité omezení krajních částí mostu.

#### 4.4 Umístění ekoduktů a jejich šířkové uspořádání



Obr. 4-3 Ekodukt národním parku Bennf, Alberta, Kanada

Poloha objektů musí být stanovena podle místa výskytu těch živočišných druhů, pro které má prioritně snižovat bariérový efekt. Vstupní oblast pak musí zahrnovat alespoň okrajové části teritorií s výskytem ohrožených druhů. Tam, kde je zasaženo jádro teritoria, by měl migrační profil ležet pokud možno v jeho centru. Vzhledem k tomu, že jedním z hlavních cílů ekoduktů a speciálních mostů je zachování migračních možností větších savců, je podmínkou jejich efektivních využívání a tím naplnění nosné myšlenky migračních profilů jejich lokalizace co nejbližší místům, na nichž dochází ke křížení stezek zvěře s komunikací, nebo musí být umístěny v rozestupu určeném vzdáleností, po kterou zvěře sleduje bariéru.

Šířka mostu se řídí jeho účelem, tedy nároky těch druhů, které mají být přes migrační profil převedeny. Není proto možné, aby údaje o šířce byly standardizovány v obecné podobě. Minimální požadovaná šířka vychází z požadavku, aby cílové druhy našly v migračním profilu taková životní teritoria, které by odpovídala jejich druhově

specifickým nárokům. Dalším kritériem je specifické chování druhů vůči překážkám, popřípadě zúženým prostorům. Podle doposud publikovaných výsledků jsou tyto požadavky s největší pravděpodobností splněny při minimální šířce 50 m pro všechny zkoumané druhy divoce žijících savců v případě ekoduktů a šíří 25 až 40 m u mostních objektů. U drobných živočichů, například pod zemí žijících malých savců a bezobratlých, musí být migrační profil minimálně tak široký, aby na něm mohly být vytvořeny odpovídající biokoridory. Vytvoření biokoridorů pro druhy s různými nároky je podmíněno tím, aby na migračním profilu existovalo dostatečné množství různých biotopů. Z toho se odvíjí minimální šířka mostu nutná pro malé živočichy, která se pohybuje v rozmezí cca 20 m. Dalším důležitým faktorem pro zatraktivnění migračního profilu je kromě šířky, která je základním parametrem při horním překonání komunikace pomocí ekoduktu, i výška mostu nad terénem, v případě překonání bariéry spodem. Z dosavadních poznatků lze učinit závěr, že minimální výška pro větší savce je cca 5 m.

#### 4.5 Úprava okolí ekoduktu

Povrch terénu na mostě, po němž přechází zvěř, by měl být podobný povrchu terénu v ostatních částech stezky. Nejméně vhodná pro přechod zvěře je betonová vozovka nebo dlažba pro svou tvrdost. Optimální je volný povrch zhutněné zeminy, se zatravněním drny.

Ploty ohraničující migrační stezku na mostě a v jeho přilehlých částech musí zajistit bezpečný přechod zvěře po mostě a posloužit jako zařízení navádějící uživatele stezky na most. Přitom musí být nenápadné a funkčně vyhovující, tj. nemají zvěř plašit ani ohrožovat. Vhodným materiálem je dřevo, kombinované s ocelovými profily a sítěmi nebo nízké dřeviny.

Násyp na mostě musí umožňovat růst vegetace. Povrchová humusová vrstva by měla být pokryta drny trávy, zhutněná podkladová vrstva by měla být mírně propustná a na zadním líci nosné konstrukce by měla být propustná vrstva písku, pokrývající nepropustnou izolaci zamezující pronikání vlhkosti do nosné konstrukce. Voda pronikající vrstvami zeminy na povrch izolace musí být odvedena vyspárováním mimo nosnou konstrukci.

## 4.6 Důvody pro výstavbu ekoduktů

Zkušenosti z domova i ze zahraničí ukazují na nutnost výstavby ekoduktů zejména tam, kde plánovaná dopravní trasa podstatným způsobem ovlivňuje chráněné lokality a chráněné živočichy, kde migrace zvířete bude trvale ovlivněna komunikací. K určení lokality vhodné pro vybudování ekoduktu je v první řadě nutné provést dlouhodobá pozorování, podle kterých ekolog určí migrační potenciál, typ migrující zvířete a doporučí typ ekoduktu.



Obr. 4-4 Slovenský ekodukt na dálnici D1

Ekodukty určené zvířeti jsou koncipovány podle požadavků zvířecí populace, žijící v dané lokalitě nebo používající konkrétní migrační cestu. Pro každý druh zvířete je vhodný více či méně rozdílný typ ekoduktu. Například pro vysokou a černou zvěř jsou nejvhodnější ekologické mosty nebo ekologické tunely, jejichž velký koridor umožňuje bezproblémovou migraci; naopak pro jezevce se jeví jako optimální varianta trubní propustek.

## 4.7 Současná situace

Avšak nejen při stavbě nových konstrukcí může a mělo by být uplatněno ekologické hledisko a názor ekologů. I současné konstrukce skýtají možnosti úprav, jež by zmírnily neprůchodnost těchto objektů pro zvěř.

K výstavbě speciálních ekoduktů, zejména tzv. zelených mostů nebo tunelů, by se mělo přistupovat jako ke krajnímu opatření pro umožnění volného přechodu zvěře přes komunikaci. Proto pro kvalifikované rozhodnutí o zřízení takové konstrukce je třeba získat a vyhodnotit výsledky dlouhodobých rozsáhlých pozorování zaměřených na zjištění průchodnosti stávajících komunikací pro zvířecí populaci.

Velmi cenné jsou zkušenosti ze zahraničí, které mohou varovat a následně ukázat cestu k řešení této problematiky. Za posledních dvacet let se v Evropě postavilo několik desítek ekoduktů, u nichž se ukázalo, že jejich výstavba byla unáhlená, nevhodná, špatně dimenzovaná nebo umístěná ve špatné lokalitě, či jinak nedosáhla požadované účinnosti zejména díky nevhodnému začlenění do okolní krajiny. Naopak se v řadě případů dosáhlo výborných výsledků s vysokou efektivitou vynaložených prostředků.

Proto je velmi účelné čerpat z těchto zkušeností v nejvyšší možné míře. Je třeba nejprve podat základní informace o významných a charakteristických realizovaných ekoduktech v zahraničí.

Zkušenosti ze zahraničí a spolupráce s odborníky z jiných evropských zemí mohou velmi výraznou měrou pomoci při urychlené výstavbě ekoduktů v našich podmínkách. Na druhou stranu prosté přejímání zahraničních zkušeností v „ekologickém projektování“ je značně komplikováno velmi výraznými rozdíly v druhovém spektru fauny jednotlivých států, která se zásadně liší a vyžaduje tudíž specifický přístup se zohledněním biotopu a druhové různorodosti domácích lokalit (např. není možno využívat holandské zkušenosti pro projektování na Šumavě, apod.). Je třeba připomenout, že ani v mezinárodním měřítku není tento problém vyřešen a je považován za vysoce aktuální.

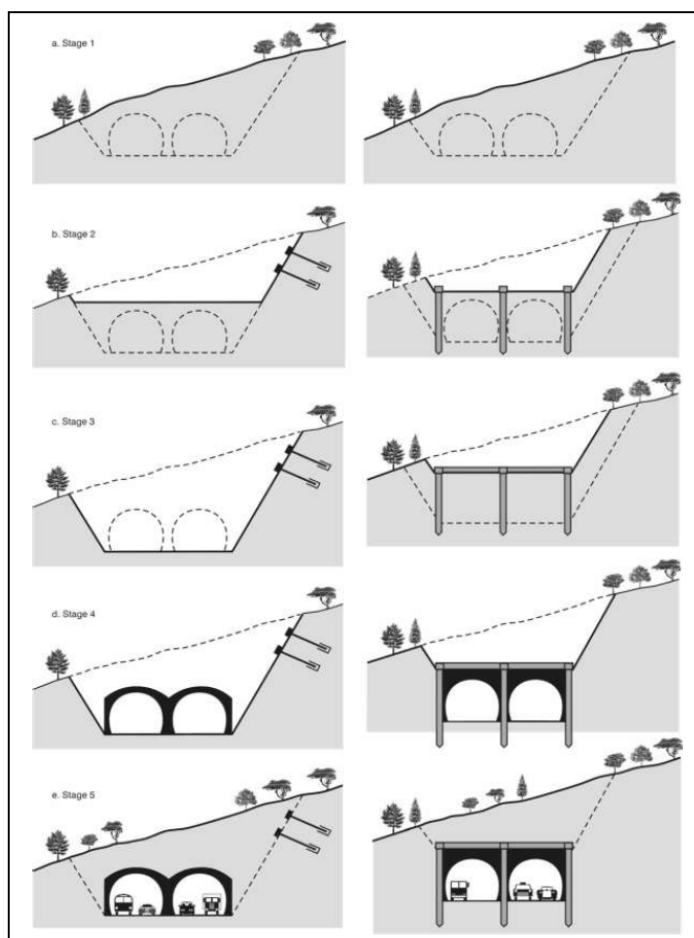
Je nezbytné zdůraznit, že je nutností zvýšenou měrou dbát ekologických hledisek při stavbě nejen přechodů přes komunikace, ale též při stavbách komunikací samotných. Hlavním předpokladem funkčnosti jakýchkoliv přechodů nebo podchodů určených pro migraci zvěře je jejich vhodné začlenění do daného prostředí.



## 5. METODY VÝSTAVBY PŘESYPANÝCH OBJEKTŮ NA KOMUNIKACÍCH

### 5.1 Obecné uspořádání

„Cut-and-cover“ a „Cover-and-cut“ jsou metody pokročilé inženýrské techniky pro konstrukce tunelů a přesypaných staveb v městských i meziměstských oblastech. „Cut-and-cover“ metoda, která byla původně určená pro tunelování metra, byla později přenesena na dálniční projekty, aby se vypořádala s méně hlubokými dálničními tunely a lokálními přírodními překážkami. Hlavní koncept této metody spočívá ve výkopu po celé délce nebo jen v úsecích podél silnice a následné výstavbě objektu. Po odvodnění a hydroizolačním opatření následuje detailní monitoring zasypávání a konstrukční proces, řádně popsany v podmínkách řízení a kontroly kvality. Ekologické otázky, jako výsadba nebo úprava okolí, představují až konečnou fázi výstavby.



Obr. 5-1 Proces výstavby metodou cut-and-cover vlevo, cover-and-cut vpravo

## 5.2 Stavební proces metody cut-and-cover

Hlavní předpoklady pro aplikaci této metody jsou: přítomnost měkkých nebo slabých zemin a/nebo mělké nadloží (mělký zářez komunikace).

„Cut-and-cover " metoda spočívá ve vyhloubení zářezu tradičním způsobem. Poté se postaví jednoduché nebo dvojité ostění tunelu. Jakmile je dokončena betonová stavba a zejména hydroizolační a drenážní opatření, mohou začít přesýpací operace, které jsou prováděny obvykle na počáteční úrovni země. Nutná je zvýšená pozornost při postupu zhutňování při stavbě prvních nižších vrstev půdy, protože těžkými vibračními válci riskujeme vnesení napětí do konstrukce tunelu. Místní dopravní sítě jsou následně obnoveny a jsou provedeny finální úpravy v souladu se životním prostředím.

Při tunelování at' už silniční nebo železniční dopravy, se používá „Cut-and-cover" metody v případech, kdy lze řez provést ve slabém materiálu a/nebo v oblastech s potenciálem pro rozvoj nových nebo opakujících se sesuvů. Proto se v některých případech se špatnými půdními podmínkami, kde je nestabilní podloží, vyžaduje použití této metody. Existují však případy, a to zejména v horských terénech s vysokým reliéfem a problémy se stabilitou, kde tato možnost není reálná. V inženýrských projektech jsou „Cut-and-cover" tunely konstruovány s využitím otevřeného výkopu k vytvoření řezu požadované části. Mírně nepříznivé půdní poměry jsou řešeny pomocí zemních kotev, které jsou vrtány a napnuty v průběhu výstavby.

## 5.3 Stavební proces metody cover-and-cut

"Cut-and-cover"metoda není vhodná, pokud je dané území náchylné k povrchovým sesuvům, pádům kamení nebo hlubokým půdním sesuvům. Výkopová zóna musí být snížena na minimum a plně podepřena s cílem usnadnit požadované zemní práce. Tyto požadavky jsou dosaženy metodou "Cover-and-cut", která před hloubením zajišťuje plné podepření betonové skořepiny pro každý tunelový otvor (popřípadě dvojice tunelů). Tento ochranný krunýř sestává z vrtaných na místě betonovaných pilot podpírajících vodorovnou desku, která je pak osazena na povrchu a převázána na piloty. Výkop v rámci této ochranné betonové skořepiny je podobný výkopu ve vhodně lemovaném tunelu a je naprosto bezpečný.

„Cover-and-cut“ metoda pro konstrukci portálů je vhodná když je:

- významné riziko pádu kamení nebo povrchových sesuvů v ose komunikace
- významné riziko hlubokých sesuvů v příčném směru
- významné riziko hlubokých sesuvů půdy v důsledku rozšířeného výkopu v příčném směru
- rozšířený otevřený výkop nepřístupný kvůli stávajícímu zařízení
- rozšířený otevřený výkop nepřístupný z důvodu ekologického omezení

Základním konceptem této metody je minimalizovat rozsah nechráněného hloubení a poskytnout plné krytí tunelového otvoru. V první fázi se otevřený výkop směrem dolů ukončí na úrovni mnohem vyšší, než předpokládá nechráněný výkop a tím se sníží riziko nestability. V podélném směru se metoda používá, pokud se zde nachází nestabilní půdní formace.

Stavební proces se skládá ze šesti oddělených fází, včetně zemních operací, vrtání a betonáže pilot, betonáže desky, odstranění zeminy a zahlazení:

Fáze I: Provádí se předběžné výkopové práce a třídění. Zemní úroveň je upravena způsobem, aby byl povolen přístup a pohyb zařízení pro vrtání a betonáž pilot a desky konstrukce. V několika případech může být lokálně povrch zaplněn zeminou, aby poskytl jednotný horizontální povrch země. Hlavy pilot musí být na stejné úrovni, aby mohly být horizontálně převázány.

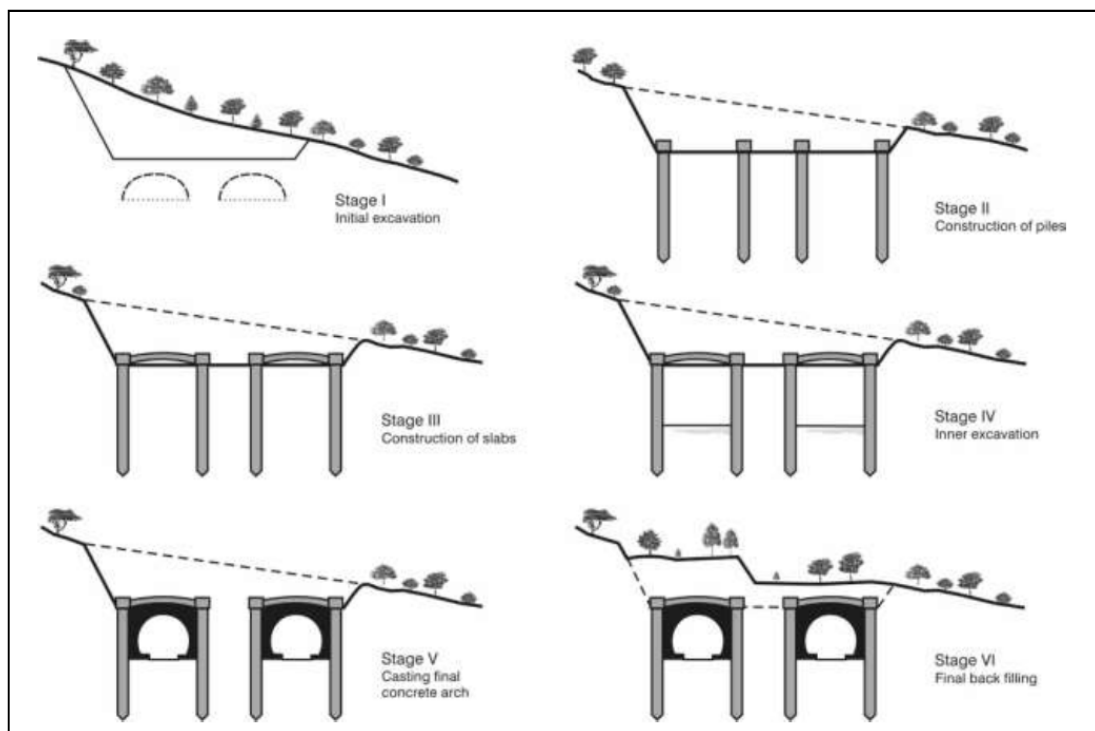
Fáze II: Je vyvrtána jedna řada pilot na obou stranách úseku tunelu. Piloty jsou betonovány na místě. Rozteč pilot je obvykle rovna  $2D$ , kde  $D$  je průměr piloty.

Fáze III: Ve fázi III jsou vyrobeny trámové hlavy pilot a krytina z desky.

Fáze IV: V této fázi se provádí podzemní práce zcela chráněné pilotami a deskou z betonové skořepiny. Stríkaný beton je rozprostřen na povrchu skály na prostor mezi pilotami.

Fáze V: V kroku V je zbudováno vnitřní ostění tunelu.

Fáze VI: Zpětný zásyp je obvykle proveden ve fázi VI, buď z důvodu životního prostředí, nebo z důvodu obnovy silniční sítě.



Obr. 5-2 Proces výstavby metodou Cover-and-cut

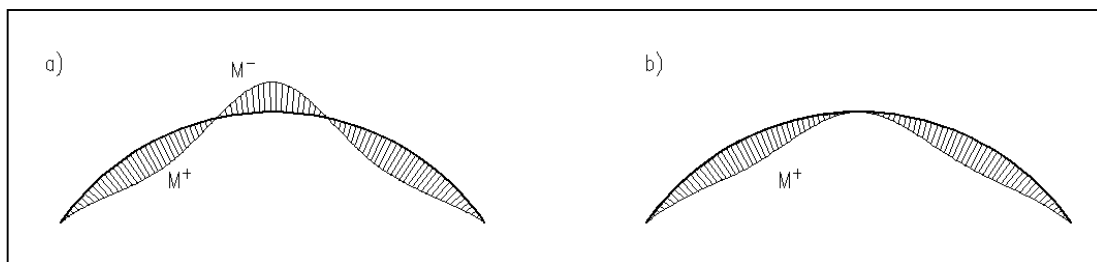
V dálničním stavebnictví je „Cover-and-cut“ metoda použita ke konstrukci ostění tunelů a tunelových portálů namísto "Cut-and-cover“ metody kdykoliv, je-li rozsah zvětralých, zlomených a nestabilních skalních hornin velký a riziko selhání vysoké. Ve srovnání s "Cut-and-cover" metodou, tato metoda nabízí možnost provádět výkopové práce a betonové ostění ve většině nepříznivých podmínek a dosáhnout pevného skalního podloží ve větší hloubce.

## 6. TEORETICKÉ POZNATKY K MODELOVÁNÍ A VÝPOČTU

Náplní této kapitoly diplomové práce je snaha o popis problematiky a vysvětlení základních pojmů a důležitých postupů, potřebných pro co nejpřesnější řešení přesypaných konstrukcí.

### 6.1 Statické působení

Trojkloubový oblouk, je svým statickým působením jedním z nevhodnějších modelů pro konstrukce obdobného typu. Je velmi odolný na popuštění podpor, kdy se pouze změní jeho geometrie, ale nevzniknou výrazná napětí od již naneseného zatížení. Toto je způsobeno statickou určitostí a faktem, že každý uzel oblouku je tvořen kloubem, čili je v něm dovoleno jakékoliv natočení. Tím nevzniknou ani nové ohybové momenty od zatížení a oblouk tak nemusíme navrhovat na zvýšené účinky vnitřní síly. Dále tento model netrpí na výrazně vysoké ohybové momenty vznikající ve vrcholu oblouku, jak je zvykem u betonových konstrukcí. Výsledkem jsou tedy štíhlejší profily oproti klasickému dvojklobovému nosníku.



Obr. 6-1 Schematické vyobrazení průběhu ohybových momentů ve finální fázi výstavby na a) dvojklobovém a b) trojklobovém nosníku

Významnou roli při navrhování a posuzování přesypávaných konstrukcí představují fáze, kdy dochází k samotnému zásypu konstrukce. Pokud by vznikající přídavné boční tlaky nebyly správně modelovány a zapracovány do výpočtu, může docházet k poddimenzování přesypávané konstrukce a následnému překročení některého z mezních stavů, ať už ztrátě únosnosti či k nadlimitním deformacím konstrukce. Ze stejných příčin může vznikat samozřejmě i opačný stav, tedy

předimenzování konstrukce, které sice obvykle neohrožuje její stabilitu, životnost nebo použitelnost, ale je však z hospodářského hlediska těžko obhajitelný.

## 7. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Pro řešení navržené v této práci jsou zpracovány a následně naceněny výkazy výměr. Na základě odhadu stavebních nákladů je poté provedeno ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení.

Schematický výkaz výměr vychází z kubatur získaných při návrhu. Vzhledem k chybějícím vstupům musí být hodnoty uvažovány s přiměřenou rezervou. Pro určení stavebního nákladu byly vyčísleny objemy prací jednotlivých dominantních položek rozpočtu. Jsou uvažovány tyto položky rozpočtu (včetně měrných jednotek):

Výkopy	[m <sup>3</sup> ]
Železobetonové základové pasy	[m <sup>3</sup> ]
Dřevo	[m <sup>3</sup> ]
Izolace	[m <sup>2</sup> ]
Zásyp	[m <sup>3</sup> ]
Ostatní práce nezahrnuté ve výše uvedených	[Kč]
Režie a ostatní nutné náklady *	[Kč]

\* (zaměření, průzkumy, projektová dokumentace, mzdy, náklady na stroje, inženýrská činnost během výstavby, sledování migrace v okolí mostu během výstavby a po uvedení do provozu, apod.)

Ostatní práce nezahrnuté ve výše uvedených obsahují mimo jiné: protihluková opatření na a v okolí ekoduktu, stavbu zábran proti oslunění, výměny svodidel vyvolané výstavbou ekoduktu, úpravy příkopů podél silnice, apod. v celkovém objemu 25% sumy ostatních prací uvedených v měrných jednotkách. Jednotkové ceny jednotlivých dominantních položek rozpočtu byly získány konzultací s příslušnými zpracovateli jednotlivých prací. V cenách jsou zahrnuty související položky, např. jednotková cena za beton je uvažována včetně bednění, ošetřování, výztuže, apod.

Odhad stavebních nákladů je shrnut v následující tabulce:

<b>Prováděná práce</b>	<b>Objemy prací</b>	<b>MJ</b>	<b>cena za jedn.</b>	<b>Celkem</b>
Výkopy	4667,2	m <sup>3</sup>	480 Kč	2 240 256 Kč
ŽB pásy	315,9	m <sup>3</sup>	14 400 Kč	4 547 520 Kč
Dřevo	701,6	m <sup>3</sup>	20 000 Kč	14 031 360 Kč
Izolace	2250	m <sup>2</sup>	2 400 Kč	5 400 000 Kč
Zásyp	6312,5	m <sup>3</sup>	1295 Kč	8 174 687 Kč
Ostatní práce	25%			8 598 000 Kč
<b>Rezerva, inž. činnost, projekt, režie</b>				<b>15 411 145 Kč</b>
<b>Celkem</b>				<b>58 402 968 Kč</b>

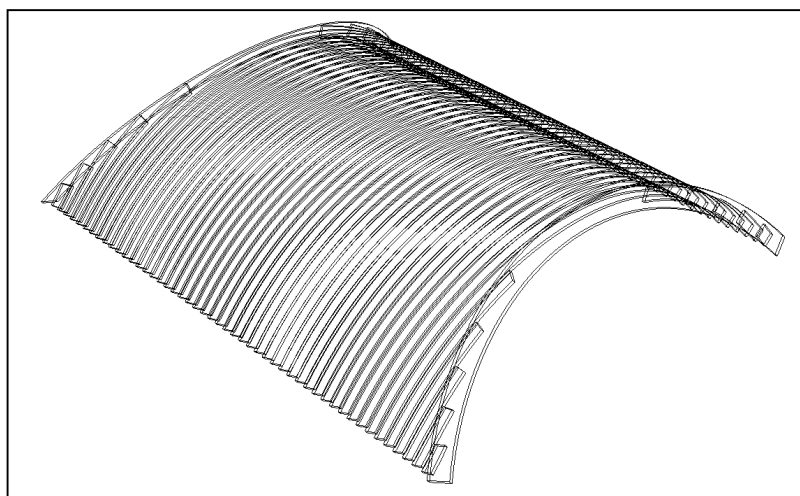
Porovnání se stejnou stavbou z železobetonu:

<b>Prováděná práce</b>	<b>Objemy prací</b>	<b>MJ</b>	<b>cena za jedn.</b>	<b>Celkem</b>
Výkopy	5163,5	m <sup>3</sup>	480 Kč	2 478 480 Kč
ŽB pásy	515,8	m <sup>3</sup>	14 400 Kč	7 427 520 Kč
ŽB konstrukce	1215,5	m <sup>3</sup>	15 600 Kč	18 961 800 Kč
Izolace	2250	m <sup>2</sup>	1600 Kč	3 600 000 Kč
Zásyp	6312,5	m <sup>3</sup>	1295 Kč	8 174 687 Kč
Ostatní práce	25%			15 160 621 Kč
<b>Rezerva, inž. činnost, projekt, režie</b>				<b>25 454 258 Kč</b>
<b>Celkem</b>				<b>81 257 366 Kč</b>

Rozpočet železobetonové varianty je pouze orientační za použití pouze přibližných rozměrů. Co se ekonomického srovnání týká, lze i tak jasně zhodnotit, že navržený dřevěný ekodukt, je skutečně levnější, než jeho betonová varianta. Je tak způsobeno hlavně objemem spotřebovaného materiálu, který je u dřevěné konstrukce výrazně nižší než u železobetonové. Naopak dražší je izolace, která je v případě dřeva složitější a náročná na montáž. Obecně jsou náklady na rezervu, inženýrskou činnost atd. vyšší u ŽB konstrukce hlavně z důvodů nutnosti pozastavení dopravy na komunikaci a náročnost na vybavení při výstavbě.

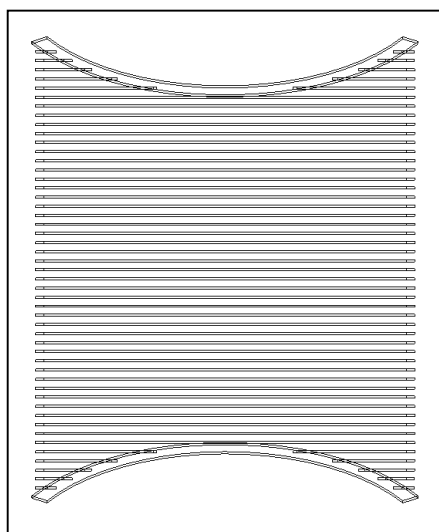


## 8. STATICKÝ VÝPOČET



Obr. 8-1 *Pohled na schematickou konstrukci ekoduktu*

Náplní diplomové práce je vytvořit a posoudit model přechodu pro zvěř na 100. kilometru dálnice D1 mezi Brnem a Prahou. Jedná se o přesypávanou konstrukci z dřevěných lamelových obloukových nosníků. Vzhledem ke statickému řešení a materiálu konstrukce jsem zvolil pro matematické modelování celého systému program SCIA Engineer 2013, který modeluje a provádí výpočet na principu metody konečných prvků.



Obr. 8-2 *Schematický půdorys konstrukce*

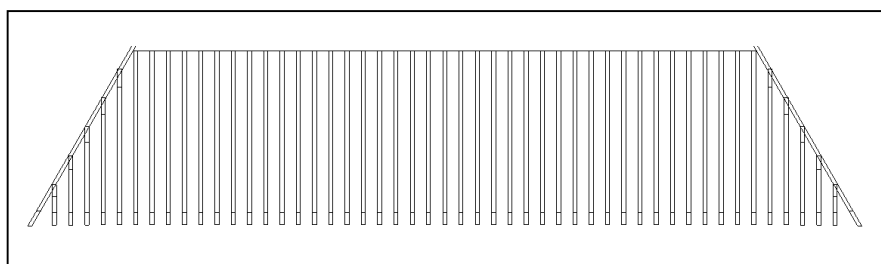
V první části statického výpočtu je vysvětlen princip vytvoření modelu v prostředí programu SCIA Engineer. Dále je popsán způsob zatěžování takto vytvořeného modelu. Poté je vysvětlena výstavba již samotné konstrukce a izolační souvrství umístěné na jejím povrchu.

V hlavní části je zahrnut návrh, výpočet a posudky na mezní stavy železobetonového základového pasu a dřevěného nosníku, včetně čepového ložiska. Tato část je řešena bez podpory programů posuzujících navrženou konstrukci. Pro porovnání je návrh provedený pomocí programu Geo5 součástí přílohy.

Samotný ekodukt má půdorysné rozměry 43,6 m x 53 m.

Při tvorbě modelu je důležité nejdříve stanovit, jestli se jedná o model rovinný, prostorový, případně prutový. Nejpřesnější a nevytíženější je model prostorový. Charakter konstrukce v mém případě lze velmi přesně vystihnout i modelem rovinným. Protože se jedná o liniovou symetrickou stavbu, můžeme zanedbat třetí rozměr: délku.

Ekodukt se nachází na dálnici D1, umístěný v přímé komunikaci s minimálním sklonem. Lze tedy konstrukci modelovat pouze jediným prutovým systémem a řešit tak celý model na 1 metr běžný. Okrajové části ekoduktu řešeny nebudou, jelikož nepodléhají takovému zatížení jako prvky uprostřed a nevykazují velké deformace.



Obr. 8-3 *Boční pohled na schéma konstrukce*

Konstrukce je vytvořena z několika obloukových nosníků uprostřed spojených čepem, čímž vytváří trojkloubový systém. Tyto nosníky jsou navzájem zajištěny pokládkou latí z řeziva, která tvoří povrch pro vrstvy izolací a zasypání celé konstrukce. Portál ekoduktu je vytvořen z jednoho krajního římsového nosníku o vyšším profilu svírající se svislou osou úhel 30°. Římsový nosník vytvoří svým zkosněním rovinu řezu, kterou prvních několik trojkloubových nosníků seřízne. Tyto seříznuté nosníky se

mechanicky připojí k římsovému nosníku a vytvoří tak plynulejší přechod mezi vozovkou a samotným ekoduktem. Tento zkosený nosník je použit na obou stranách konstrukce.

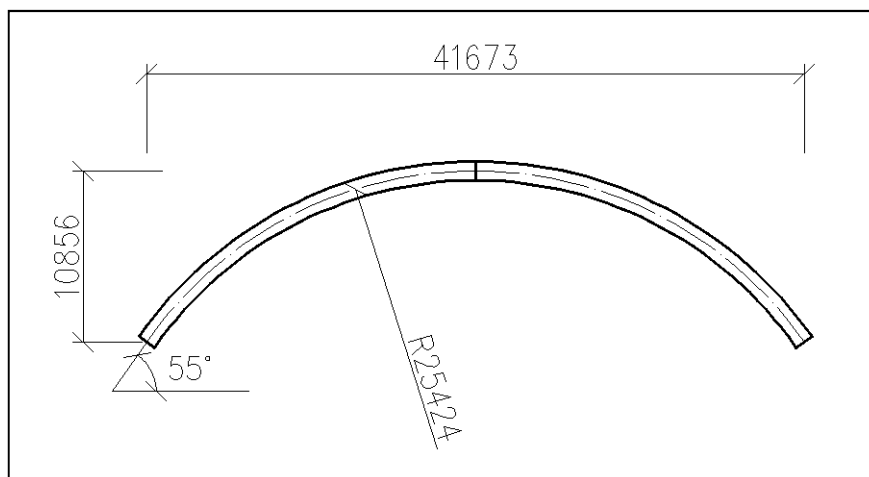


Obr. 8-4 Montáž záklopu z řeziva

## 8.1 Vytvoření modelu v programu SCIA Engineer 2013

Tvorba modelu zvolené konstrukce spočívá v několika krocích:

1) Prvním krokem je zvolení vhodného modelu. Jak jsem již naznačil, zvolil jsem model rovinný. Úloha se tím zjednoduší a přitom si zanechá svou přesnost. Jelikož je zatížení ve směru délky konstrukce nulové či téměř nulové (jedná se o zatížení příčným větrem, který působí na přesypávanou konstrukci; v programu SCIA Engineer 2013 jsem si potvrdil, že účinky ve směru kolmém na model jsou opravdu téměř nulové a prakticky zanedbatelné) můžeme tedy přistoupit k modelování pouze ve 2D prostředí.



Obr. 8-5 Schéma modelu trojkloubového nosníku

2) Dalším krokem je zadání prutů konstrukce. Nejprve se určí celkový statický model. V mém případě jsem zvolil pro daný případ trojkloubový nosník uložený na pevných kloubových podporách a s uprostřed vloženým kloubem. Tímto vzniknou dva samostatné pruty. Takto vytvořený model je staticky určitý a vyvozuje příznivější vnitřní síly než modely složené pouze z jednoho prvku (dvojklobový oblouk) nebo jinak uložené (vetknutý oblouk).

3) Poté se vymodeluje samotný prut odpovídající tvaru nosníku. Tvar závisí na zachování průřezného profilu na komunikaci a na výslednicích podporových reakcí.

4) Dále se vybere přibližný profil nosníku vhodný pro dané rozpětí a statický model.

5) Nakonec do krajních uzlů osadíme již zmíněné pevné kloubové podpory a do uzlu mezi symetrickými nosníky vložíme kloub. Tímto je výpočtový model jako takový hotov.

## 8.2 Materiálové charakteristiky

Jako hlavní materiál bylo pro konstrukci použito homogenní lepené lamelové dřevo třídy GL24h. Pro tuto stavbu jsem jej zvolil kvůli menším nárokům na zatížení, estetické stránce materiálu, zjednodušeným stavebním pracím a úspoře celkových nákladů oproti obdobným stavbám železobetonovým. Dřevo jako materiál vykazuje vysokou statickou únosnost vzhledem k vlastní hmotnosti i při velkých rozpětích, není náchylné ke tvoření trhlin a je tvarově stálé.

Jako hlavní zásypový materiál byl použit liapor o granulometrii 8-16 mm, aby se zamezilo nepříznivým bočním tlakům na dřevěnou konstrukci. Liapor je velmi lehký granulát vyráběný expandováním přírodního jílu. Svou podstatou se řadí mezi keramické hmoty, které jsou jedním z nejstarších a nejosvědčenějších stavebních materiálů. Jedná se však o vyšší stupeň zpracování výchozího materiálu, což umožňuje, že k základním vlastnostem keramických materiálů, jako je pevnost, stálost a zdravotní nezávadnost, přistupují u Liaporu ještě další, jako např. velmi nízká objemová hmotnost, velmi nízká nasákavost (nepřijímá vlhkost ze vzduchu, tzn. není hydrokopický), dále zdravotní nezávadnost, stoprocentní recyklovatelnost, chemická stálost a celková trvanlivost. Vynikající jsou také jeho tepelně izolační a zvukově izolační vlastnosti. Velkou nevýhodou liaporu je křehkost, a proto by se nemělo dostat do styku s hutnicími přístroji.

Jako druhotný zásypový materiál je použita písčité hlína přímo ze staveniště, která bude sloužit jako podklad pro lehkou hutnicí desku (předejde se tím drcení keramického kameniva při hutnění).

Složení samotného zásypu jsou metrové vrstvy z: 0,7 m liaporu a 0,3 m hlíny. Na povrch zásypu je plánována 0,2 m vysoká humózní vrstva kvůli zatravnění a osazení vegetace.

### 8.3 Zatížení

Takto navržená konstrukce svým tvarem a způsobem uložení nepřenáší vodorovné tlaky do podpor, nýbrž se za předpokladu symetrického zasypání díky geometrii konstrukce tyto tlaky téměř neprojeví. Pokud chceme posuzovat vrchní stavbu, tak tyto tlaky samozřejmě musíme brát v potaz, pokud se nám ale jedná o dimenzaci základů, nemusíme. Jelikož se jedná o dřevěnou konstrukci, není třeba počítat ve fázích zatěžování s napjatostním stavem z fáze předchozí, protože je dřevo velmi pružný materiál a po odlehčení se napjatostní stav vrací do původního. Fáze zatěžování viz příloha č. 2: Výstup z programu SCIA Engineer.

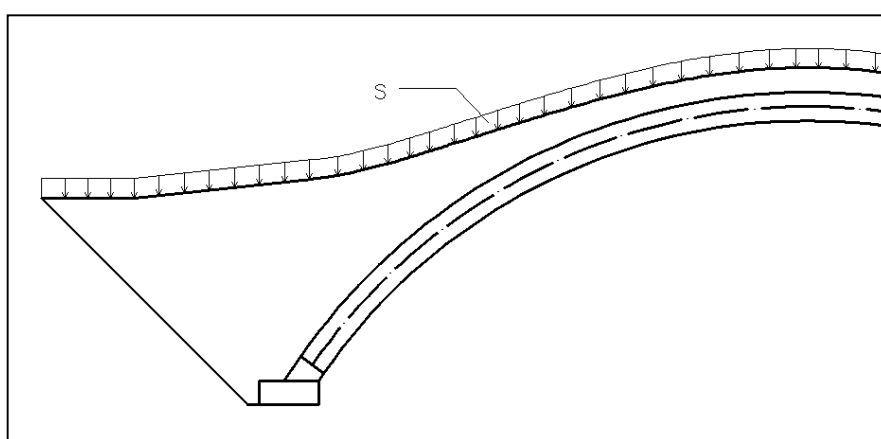
Prvním zatěžovacím stavem je vlastní tíha samotného nosníku. Tato tíha je počítána automaticky programem SCIA Engineer 2013 dle materiálu a profilu nosníku.

Druhý zatěžovací stav je od přitížení betonových desek o tloušťce 0,5 metru k celkové délce 4 metrů ve spojení obou prutů. Desky o celkové váze 200 tun (na celý

ekodukt), jsou zde umístěny, aby vyrovnávaly rostoucí deformace od postupného zásypu konstrukce a nedošlo tak k výraznému nadzdvížení středu nosníku. Tyto deformace se při plném zatížení pohybují v desítkách centimetrů.

### 8.3.1 Zatížení sněhem

Třetí zatěžovací stav je klimatický a jedná se o sněh. Přestože program SCIA Engineer umí klimatická zatížení generovat, nemohl jsem jej v mém případě použít. Musel jsem vystihnout zatížení na povrch zasypaní a ne na nosník samotný.



Obr. 8-6 Schematické zatížení terénu sněhem

zatížení sněhem	$s$
charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi	$s_k = 1,5$ pro danou lokalitu
součinitel expozice	$C_e = 1,0$
tepelný součinitel	$C_t = 1,0$
tvarový součinitel pro terén do sklonu $30^\circ$	$\eta_1 = 0,8$

$$s = \eta_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

$$s = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 = 1,2$$

Čtvrtý zatěžovací stav je užitné zatížení, které sestává z montážního zatížení dělníky, popřípadě stroji při pokládání izolací a montáži nosníků. Zároveň se jedná o zatížení v průběhu samotného fungování ekoduktu, které nejde nijak konkrétně vystihnout.

V rámci užitečného zatížení a zatížení sněhem jsem uvažoval pro konečnou fázi výstavby vliv bočních tlaků (svislý tlak násobený zemním tlakem zásypu v klidu) pro správnou dimenzaci dřevěných prvků.

### 8.3.2 Zatížení hutněním

Pátý zatěžovací stav je od přetížení hutněním. Jelikož se nejedná o tuhou konstrukci, neuvažují se zvýšenými tlaky od hutnění, protože se po přetížení napjatostní stav konstrukce vrací do původního stavu. Zatížení tedy uvažují pouze ve svislém směru vždy co nejbližší konstrukce kvůli roznosu zatížení. Model jsem tedy zatížil osamělým břemenem vždy v místě styku zásypu a konstrukce nosníku při průběžném zasypávání. Uvažoval jsem i o zatížení terénu zásypu deskou s roznosem pod úhlem 45°, ale nikdy nevykazovala nepříznivější účinky jako zatížení osamělým břemenem.

Byla zvolena lehká hutnicí technika kvůli křehkému liaporu pod vrstvou hlíny, který by se pod těžšími stroji začal drtit.

#### Hutnicí zařízení:

*jednosměrná lehká vibrační deska*

odstředivá síla	15 kN
šířka desky	500 mm
rychlost	27 m/min
provozní hmotnost	95 kg

vyvozená síla hutnicího stroje  $F = 95 \cdot 10 + 15000 = 15950 \text{ N}$

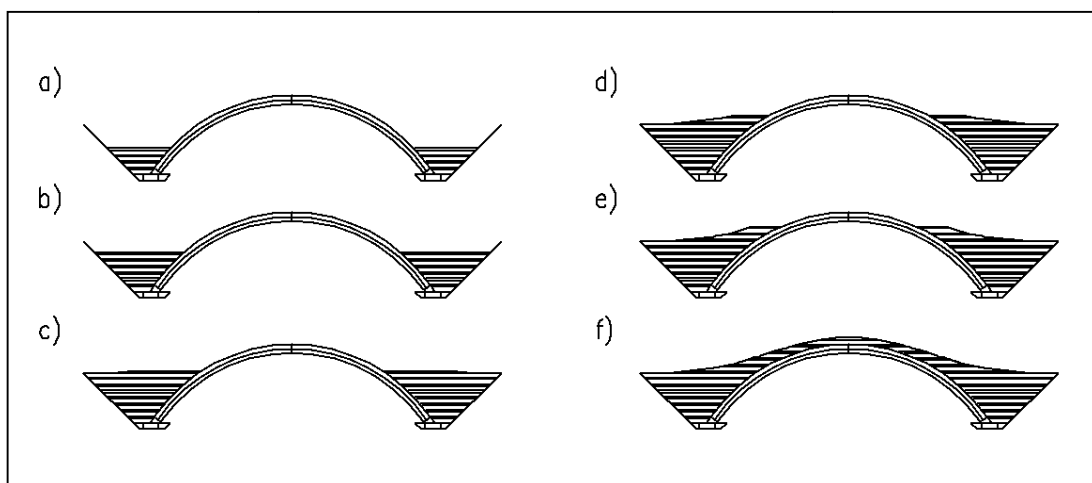
Hutnění probíhá po pásech šířky hutnicí desky každé metrové vrstvy liaporu a hlíny. Finální hutnění proběhne na humózní vrstvě povrchu celého zásypu. Předepsaný technologický postup hutnění je předepsaný pro konkrétní hutnicí stroj.



Obr. 8-7 Příklad lehké vibrační desky

### 8.3.3 Zatížení zeminou

Zbylé zatěžovací stavy jsou tlaky od postupného přesypávání celé konstrukce (a až f). Přesypávání probíhá po metrových vrstvách symetricky z obou stran. Každá vrstva se hutní, aby došlo k co největšímu ustálení zeminy a liaporu. Finální zasypání konstrukce je v nejvyšším místě uprostřed konstrukce 12,5 m od povrchu komunikace a nad patou konstrukce 8 m od upraveného terénu.



Obr. 8-8 Postupné zasypávání po vrstvách – s vystřídáním liaporu a hlíny

Samotné zadávání zatížení od zasypávání do programu SCIA Engineer 2013 probíhalo zadáním profilu vrtů umístěných vrcholem vrtu vždy do požadované výšky zásypu. Takto vytvořené profily vrtů byly dále použity pro zatížení zeminou



rovnoměrně po celém nosníku o zatěžovací šířce 1 m. (Viz příloha č. 2: Výstup z programu SCIA Engineer) Zatížení zeminou bylo zadáváno ve směrech Z a X, čili vodorovném a svislém. V obou směrech X i Z bylo ve vrcholu nosníku vždy uvažováno s plným zatížením od zeminy a nad patou s částečným kvůli svahování terénu z 12,5 m nad vrcholem do 8 m nad patou nosníku. Svislý tlak na nosník byl uvažován plný po celé délce. Vodorovný tlak na nosník byl uvažován průměrný klidový z vrstev hlíny a liaporu. Klidový tlak byl zvolen, jelikož se jedná o konstrukci z pružného materiálu a ne tuhého.

Pro výpočet zemních tlaků byl použit postup dle Terzaghiho pro soudržné zeminy a dle Jákyho pro nesoudržné.

### **Zemní tlak v klidu:**

Hodnoty převzaty z tabulky 8-1.

Liapor – dle Jákyho pro nesoudržné zeminy:

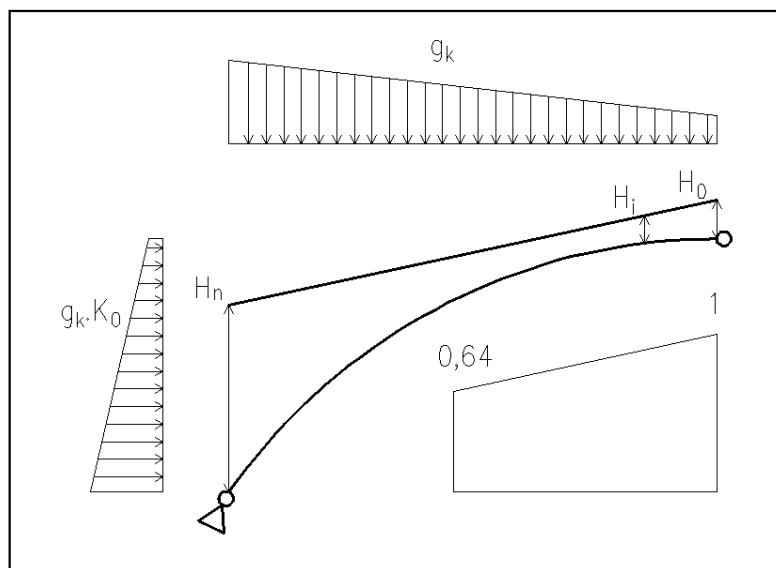
$$K_{0,l} = 1 - \sin \varphi = 1 - \sin 35^\circ = 0,426$$

Hlína písčitá – dle Terzaghiho pro soudržné zeminy:

$$K_{0,h} = \frac{\nu}{1 - \nu} = \frac{0,35}{1 - 0,35} = 0,538$$

Průměrný tlak v klidu použitý pro výpočet vnitřních sil v programu SCIA Engineer 2013:

$$K_{0,pr} = K_{0,l} \cdot h_l + K_{0,h} \cdot h_h = 0,426 \cdot 0,7 + 0,538 \cdot 0,3 = 0,461$$



Obr. 8-9 Schéma zatížení oblouku při plném přesypání

Pro potřeby výpočtu bylo zadáno zatížení s přihlédnutím ke sklonu svahu násypu. Přičemž vrchol oblouku jsem uvažoval zatížený plnou výškou násypu a nad patou 0,64% plného zatížení, čímž jsem dosáhl vymodelování reálného průběhu zatížení od přesypání.

Abych přesněji vystihl chování konstrukce, zadal jsem další tři zatěžovací stavy vlivem sedání základu. Jedná se o popuštění podpor jak symetricky, tak jednostranně. Tyto zatěžovací stavy jsou výběrové a je vždy zvolen pouze ten nejméně příznivý pro danou kombinaci. Popuštění podpor jsem aktivoval až při plném zásypu ekoduktu.

V mém případě mělo díky zvolenému statickému systému popuštění podpor nepatrný vliv na vnitřní síly a napětí v nosnících.

### 8.3.4 Výpis zatížení

Následuje stručný výpis zatížení zadaných do programu SCIA Engineer 2013. Tyto zatěžovací stavy byly následně kombinovány, tak aby vyvodily co nejnepříznivější účinky na konstrukci. Kombinace jsou vypsány ve výstupu z programu.

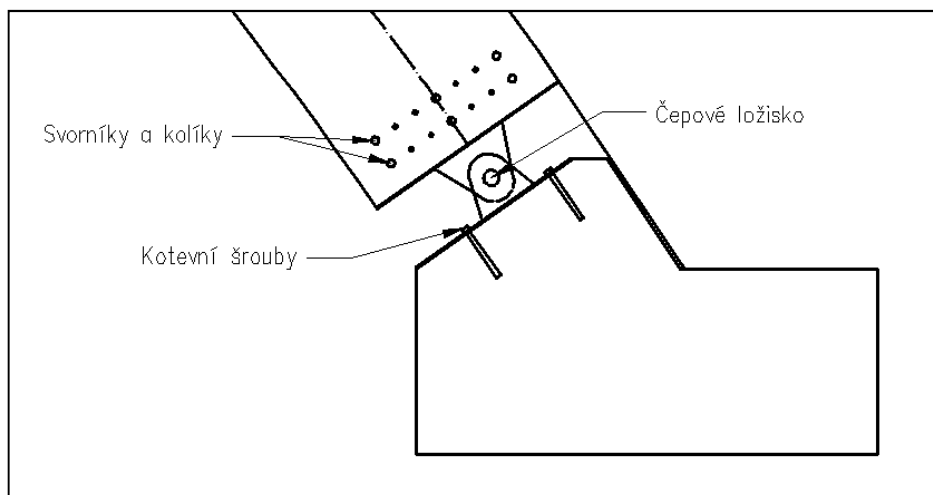
VI. Tíha	Vlastní tíha konstrukce
Přít bet	Přítížení betonovými deskami ve vrcholu nosníku
Sníh	Klimatické zatížení od sněhu

Užitné	Užitné zatížení (proměnné)
Hutnění	Přítížení od hutnění
Tlak zem	celkový zásyp konstrukce
Tlak zem1	Zásyp do 4 m od paty konstrukce
Tlak zem2	Zásyp do 6 m od paty konstrukce
Tlak zem3	Zásyp do 8 m od paty konstrukce
Tlak zem4	Zásyp do 9 m od paty konstrukce
Tlak zem5	Zásyp do 10 m od paty konstrukce
Sníh b	Boční tlaky od zatížení sněhem
Užitné b	Boční tlaky od užitného zatížení
Popuštěn	Popuštění o hodnotu sedání obou podpor
Popuštěn1	Popuštění o hodnotu sedání levé podpory
Popuštěn2	Popuštění o hodnotu sedání pravé podpory

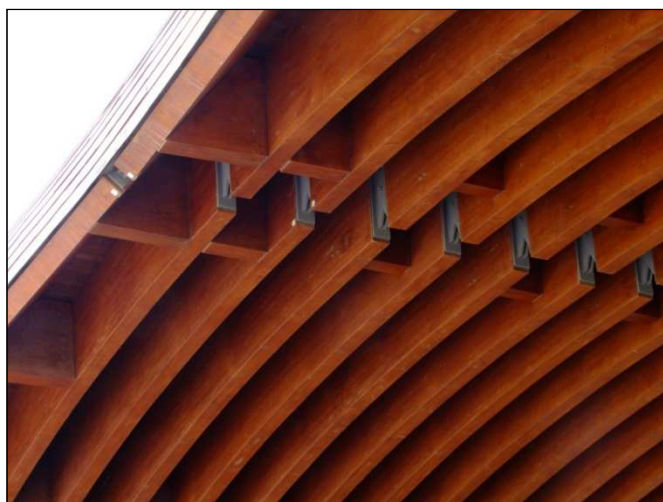
## 8.4 Fáze výstavby

Jelikož se prakticky jedná o metodu tunelování cut and cover, je nutné nejdříve provést dostatečně široký výkop pro pohodlné vybetonování základů a následnou manipulaci s konstrukcí. Po vymezení základové spáry a jejím dostatečném zhutnění (dle kvality odkrytého povrchu – dá se očekávat zvětralá rula s puklinami vyplněnými pevnou až tvrdou hlínou písčitou – tudíž není třeba přílišné hutnění). Na připravenou základovou spáru se osadí příslušné bednění pro základový pas o šířce 2,7 m a délce 53 m.

Poté proběhne samotná betonáž základu včetně osazení předepsané výztuže. Na takto vybetonovaný pas se osadí kotevní šrouby na uchycení čepového ložiska. Jelikož se během montáže a zasypávání konstrukce radikálně mění úhel výslednice sil nosníku působící na základ ( $7^\circ$  až  $30^\circ$ ), musíme zajistit, aby kotevní šrouby přenesly smykové síly na ně působící, i když je ve finálním zatížení přenos sil uskutečněn hlavně tlakem mezi ložiskem a povrchem základu.

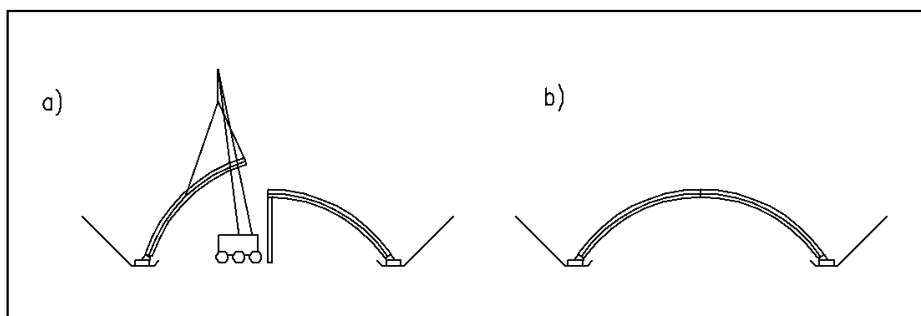


Obr. 8-10 Schéma uložení nosníku na základ

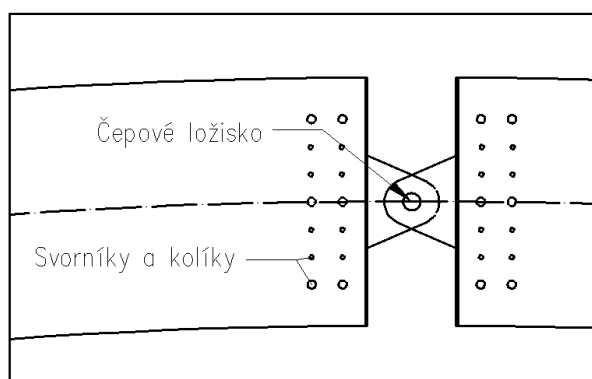


Obr. 8-11 Detail způsobu spojení nosníků

Samotná montáž nosníků probíhá v několika krocích. Nejdříve se musí na obou stranách osadit čepovými ložisky a dostatečně zajistit pomocí vloženého plechu, svorníků a kolíků. Poté se jeřábem vyzvedne do požadované polohy nejdříve první polovina, která se zajistí stojkou uprostřed a čepem v základu a následně se stejným způsobem vyzvedne i druhá polovina (a). Navzájem se zajistí čepem a odstraní se stojka (b).



Obr. 8-12 Fáze montáže nosníku



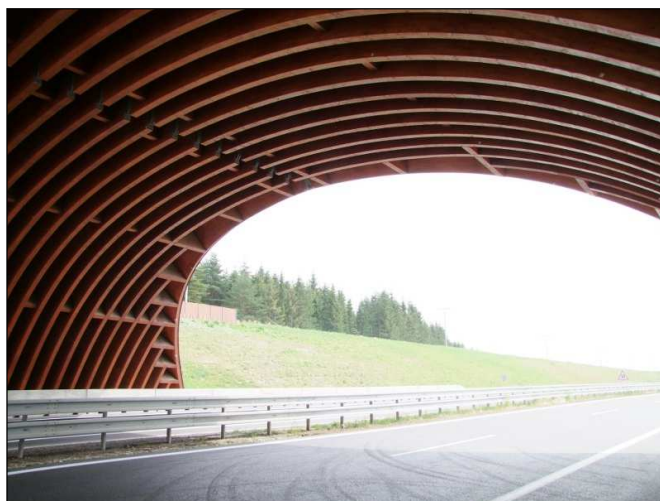
Obr. 8-13 Schéma spojení nosníků



Obr. 8-14 Montáž nosníků obdobného ekoduktu na Slovensku

Tímto způsobem se provede všech 40 mezilehlých nosníků. Na závěr se osadí krajní římsové nosníky spolu se seříznutými nosníky, které se k římsovým mechanicky

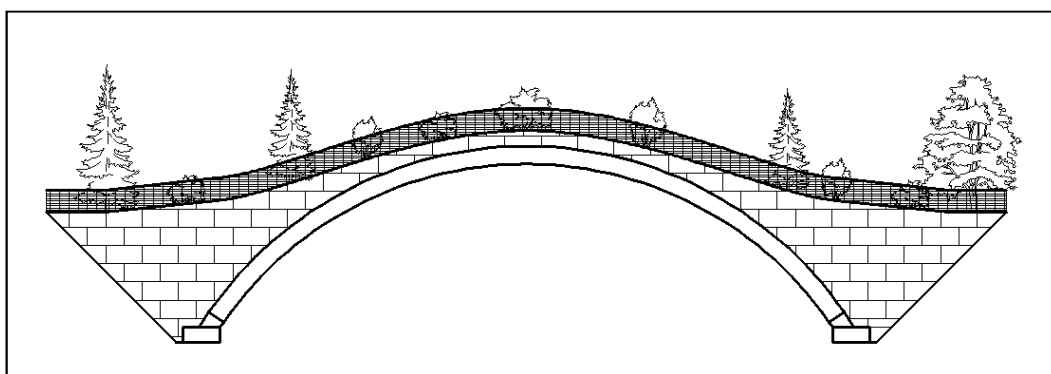
připojí pomocí kolmých příložek ze dřevěných profilů. Mezi dva sousední nosníky se ve čtvrtinách jejich délky vkládají příčné výztuhy, aby došlo ke zpevnění celého systému.



Obr. 8-15 Pohled z komunikace u ekoduktu na Slovensku

Poté se vytvoří plášť pobitím nosníků latěmi z řeziva. Na takto vytvořený záklop oblouku se mechanicky zajistí několik vrstev izolace. Poté se začne postupně symetricky po vrstvách konstrukce zasypávat a následně se zemina zhutní. V momentě, kdy se začne porušovat vlivem nadměrného zvedání středu nosníku tvar oblouku, umístíme a pevně připevníme betonové desky, které zajistí opětovné vytvoření správného tvaru oblouku. Nakonec zasypeme zbytek konstrukce včetně aplikace humózní vrstvy a naposledy zhutníme.

Portál a okrajové části zasypaného přemostění se zajistí proti sesuvu geotextilií. Poté osadíme vegetací a na kraje přechodu plot.



Obr. 8-16 Finální vzhled přechodu pro zvěř z pohledu od vozovky

## 8.5 Izolace

Jelikož je dřevo jako materiál náchylné na vysokou vzdušnou vlhkost, nepřístupnost vzduchu a mechanické poškození, je nutné klást vysoké požadavky právě na izolaci, zvláště z hlediska jejího vysokého stupně bezpečnosti a dlouhodobé funkční spolehlivosti.

Je nutné také přihlédnout k požadavku na odolnost izolace proti prorůstání kořenů vegetace, kterou lze předpokládat vzhledem k charakteru přesypané konstrukce, stejně tak jako k řešení detailů, zvláště napojení izolace vlastní obloukové konstrukce na římsu krajního nosníku a na betonový základový pás.

Dále je nutno brát v úvahu způsoby aplikace jednotlivých systémů, jejich fixace k podkladu apod., opět s přihlédnutím na rozměry a tvar konstrukce v návaznosti na obtížnou manipulaci se zpracovaným materiálem i obtížný pohyb pracovníků na povrchu obloukové konstrukce. Takto ztížené pracovní podmínky nesmějí mít negativní dopad na kvalitu vlastního provedení díla.

Z důvodů bezpečnosti jsou aplikovány dva nezávislé izolační systémy z různých materiálů, využívající v maximální míře jejich přednosti. Jsou zvoleny systémy s přihlédnutím k jejich mechanické odolnosti jak vůči případnému mechanickému poškození při následných stavebních pracích, tak i během celé životnosti objektu.

Je proto dána přednost robustnímu, vysoce odolnému izolačnímu systému ze dvou vrstev asfaltových izolačních pásů s modifikovanou povlakovou hmotou elastomery.

Je zvolena kombinace asfaltových pásů s vysokopevnostní nosnou vložkou ze sklotkaniny s pásem s nosnou vložkou na bázi syntetických polyesterových vláken s vysokou průtažností. Tento systém je položen na celé ploše dřevěné konstrukce včetně říms krajních nosníků na předem aplikovanou účinnou mikroventilační vrstvu, umožňující z hlediska životnosti nezbytné „dýchání“ dřevěné konstrukce. Mechanické kotvení první vrstvy tohoto izolačního systému zajišťuje jeho dokonalou fixaci k podkladu a přitom umožňuje případné malé pohyby konstrukce bez nebezpečí poškození povlakové izolace.

Jako druhý izolační systém, současně tvořící ochranu hydroizolace proti jejímu poškození kořeny rostlin, je zvolen volně položený foliový systém s příslušnou podkladní a krycí netkanou textilií.



Obr. 8-17 Izolace obdobného ekoduktu na Slovensku

#### 8.5.1 Skladba hydroizolačního souvrství:

- mikroventilační vrstva – drenážní kompozit (prostorová textilie) z polyetylenových vláken: Petexdren 900 g/m<sup>2</sup>
- ochranná vrstva mikroventilace – asfaltový pás tloušťky 2,0 mm, kotvený společně s mikroventilační vrstvou lepenkovými hřeby
- hlavní hydroizolační systém – asfaltovaný hydroizolační pás tloušťky 4,0 mm mechanicky kotvený v přesazích nerezovými vruty s podložkami se svařením přesahů sousedících pásů o šířce 100 mm + asfaltový izolační pás tloušťky 4 mm plnoplošně natavený na podkladní pás,
- ochranná vrstva – netkaná textilie ze syntetických vláken 300 g/m<sup>2</sup> bodově natavená na povrch hydroizolačního pásu se svařením přesahů sousedících pásů
- hydroizolační vrstva odolná proti prorůstání kořínků – tunelová folie tloušťky 2 mm volně položená se svařením přesahů sousedících pásů o šířce 50 mm horkovzdušným agregátem,
- ochranná vrstva – netkaná textilie 300 g/m<sup>2</sup> bodově natavená na povrch hydroizolační folie se svařením přesahů sousedících pásů



Hydroizolační systém je na betonových základech ukončen ve styku s drenážním betonem tak, aby vodě stékající po povrchu izolace bylo umožněno odtéci do drenážního potrubí. Přejed izolace z dřevěné na betonovou konstrukci je řešen dilatačním a zesilujícím pásem v šířce 500 mm, mechanicky jednostranně kotveným (na straně dřevěné konstrukce) a kladeným opět hrubozrnným posypem směrem na podklad (dilatační funkce).

## 8.6 Posouzení mezních stavů základové půdy v programu Geo5

Kromě posudku bez použití softwaru jsem základovou půdu a pas posoudil v programu Geo5. Celkem jsem do programu zadal 7 fází výstavby, tak jako v programu SCIA Engineer 2013. Nastavení výpočtu je stejné jako v posudku uvedeném níže, čili dle EC-7 návrhový přístup 2. Základové poměry jsem se snažil vystihnout co nejpresněji s přihlédnutím k podkladům z dosavadních průzkumů území (vrty, dynamické penetrace, kopané rýhy) a k tabulkovým hodnotám charakteristik základové půdy, jak v normě, tak v programu samotném.

Model základového pasu nelze vytvořit zcela přesně, proto jsem musel do zatížení zadat přídatné momenty od reakcí z nosníků a zásypu, aby se model co nejvíce podobal realitě. Jedná se hlavně o excentricitu reakcí, nepůsobících přímo na základu zadaném v programu, ale o něco výše a především o samotný zásyp, který působí na většinu plochy pasu.

Snažil jsem se základový pas navrhnout co nejefektivněji, aby jeho plocha byla využita v co největší míře. Program Geo5 neumožňuje zadání hodnot stálých a proměnných zatížení. Hodnoty zatížení jsem tedy převzal z programu SCIA Engineer zvláště pro každý zatěžovací stav a zkombinoval v programu MS Excel dle návrhového přístupu 2. tak, jak se kombinují dle návrhového přístupu 2. Poté jsem je již dosadil do programu, se kterými dále počítal.

Posudek programem je v příloze č. 6: Výstup z programu Geo5 a č. 7: Schéma výztuže z programu Geo5.

## 8.7 Posouzení mezních stavů základové půdy dle EC-7 bez podpory programu Geo5

### 8.7.1 Mezní stav porušení

Volíme návrhový přístup 2, který dává méně příznivé výsledky než návrhový přístup 1. Oba používají kombinaci skupin dílčích součinitelů A1+M1, avšak NP1a se kombinuje se skupinou R1, což pro únosnost plošných základů znamená použití dílčích součinitelů  $\gamma_{R,V} = \gamma_{R,h} = 1,0$  zatímco při NP2 se využívá skupiny R2, kde jsou součinitelé méně příznivé  $\gamma_{R,V} = 1,4$  a  $\gamma_{R,H} = 1,1$ .

NP2: A1+M1+R2

#### Dílčí součinitele pro NP2:

Stálé nepříznivé zatížení:	$\gamma_G = 1,35$
Proměnné nepříznivé zatížení:	$\gamma_Q = 1,50$
Tangenta úhlu vnitřního tření	$\gamma_\varphi = 1,00$
Efektivní soudržnost	$\gamma_c = 1,00$
Objemová tíha	$\gamma_\gamma = 1,00$
Únosnost základu	$\gamma_{R,V} = 1,40$
Usmýknutí základu	$\gamma_{R,H} = 1,10$

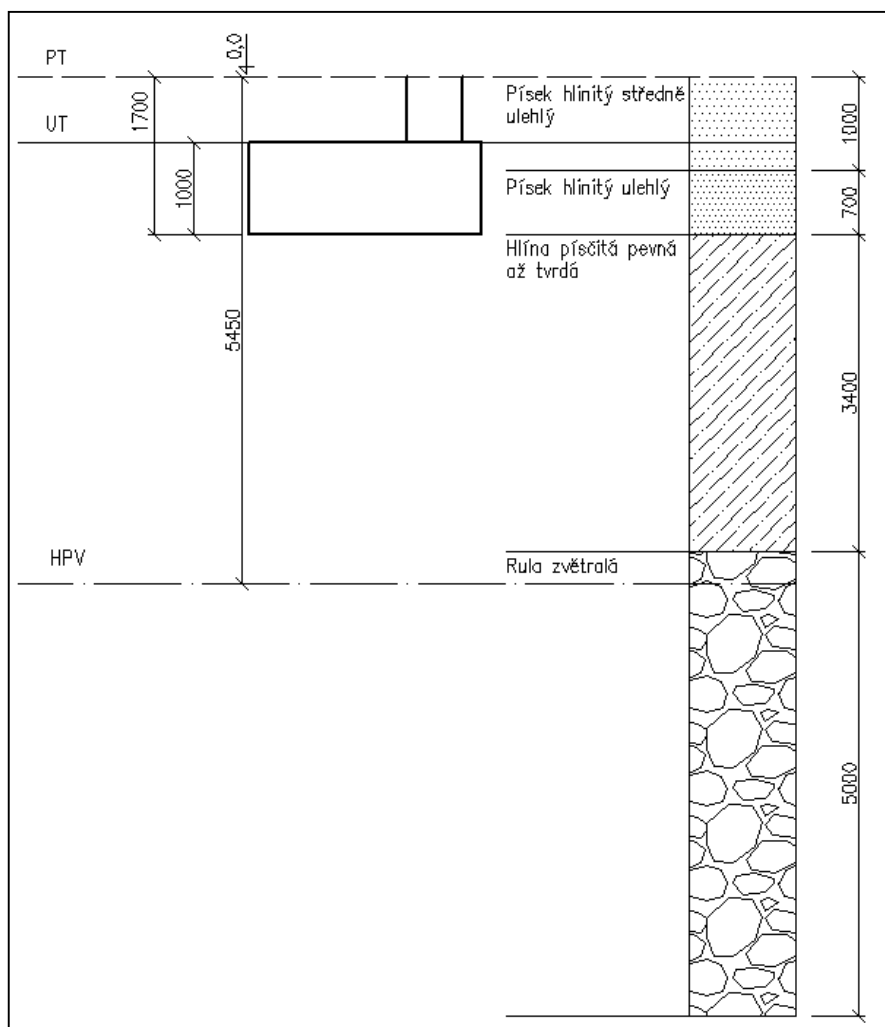
#### 8.7.1.1 Vlastnosti základové půdy

Veškeré charakteristické hodnoty zemin jsem určil s ohledem na dosavadní průzkum území. Vycházel jsem z podkladů inženýrsko-geologického průzkumu a tabulkových hodnot uvedených v normě.

Tab. 8-1 Vlastnosti základové půdy

Vrstva	Popis	Úhel vnitřního tření [°] efektivní	Soudržnost [kPa] efektivní	Objemová tíha [kN.m <sup>-3</sup> ]	Modul deformace [MPa]	Poissonovo číslo
A	Písek hlinitý středně ulehlý (siSa)	29	5	18	-	-

B	Písek hlinitý ulehlý (siSa)	29	5	18	-	-
C	Hlína písčítá pevná až tvrdá (saSi)	28	35	18	15	0,35
D	Liapor	35	0	3	15	0,2
E	Rula zvětralá (R5)	29	40	24	50	0,25



Obr. 8-18 Profil podloží pod základovým pasem

## 8.7.1.2 Geometrie základu

šířka základového pasu

B = 2,7 m

délka základového pasu

L = 53 m

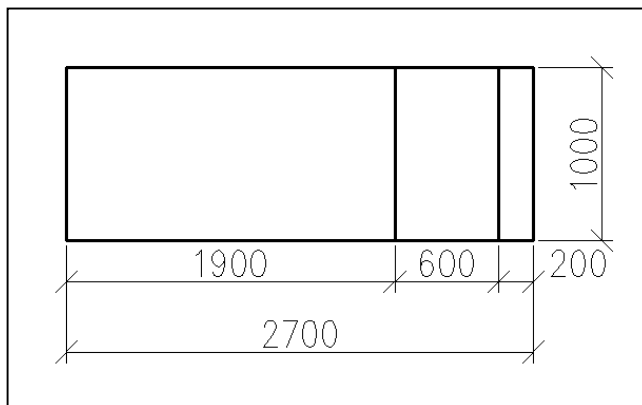
hloubka založení

 $D = 1 \text{ m}$ 

tloušťka základu

 $t = 1 \text{ m}$ 

objemová tíha železobetonu

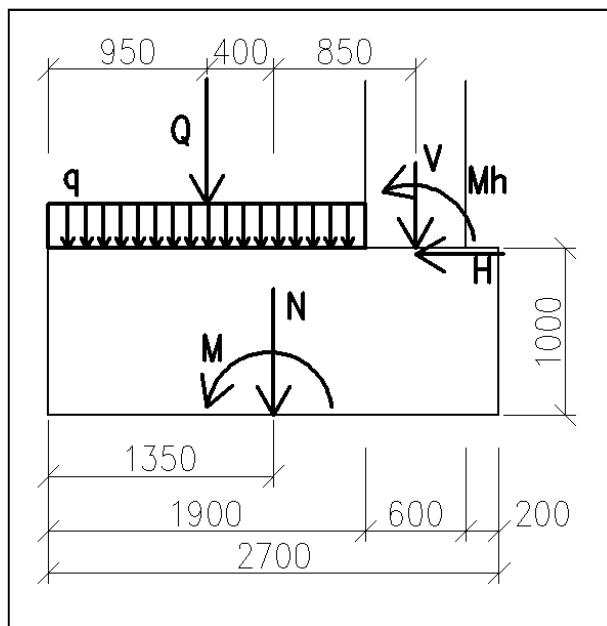
 $\gamma_B = 25 \text{ kNm}^{-3}$ 

Obr. 8-19 Půdorysné schéma základového pasu – výpočtový model

Pro výpočet únosnosti základové půdy budeme uvažovat náhradní délku  $L = 1 \text{ m}$ .

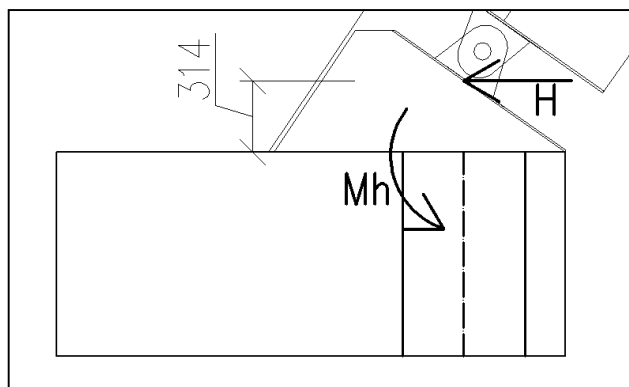
Volíme tak na základě uložení nosné konstrukce ekoduktu, která je uložena v základovém pasu po 1m.

### 8.7.1.3 Zatížení



Obr. 8-20 Schéma zatížení základového pasu – výpočtový model

Jelikož nosník není uložen přímo v rovině základu, ale nad ním, musel být do zatížení započítán moment vyvolaný touto excentricitou, jak je patrné na obrázku 8-21. Reakce byly spočítány pomocí kombinací z programu SCIA Engineer (Viz příloha č. 2: Výstup z programu SCIA Engineer – Reakce) v příloze č. 4 – Kombinace reakcí.



Obr. 8-21 Vliv uložení nosníku – skutečný model

### Návrhové hodnoty

tíha základu	$G$
svislá reakce paty nosníku konstrukce	$V_d$
náhradní břemeno zatížení od zasypání konstrukce působící na základ	$Q_d$
svislá síla působící na základovou spáru	$N_{zd}$
vodorovná síla působící na základovou spáru	$H_{xd}$
moment vyvolaný složkami zatížení působící v těžišti základové spáry	$M_y$
moment vyvolaný vodorovnou silou vlivem uložení konstrukce	$M_h$

$$G = B \cdot L \cdot \gamma_B = 2,7 \cdot 1 \cdot 25 = 67,5 \text{ kN}$$

$$V_d = V_G \cdot \gamma_G + V_Q \cdot \gamma_Q = 688,51 \cdot 1,35 + 76,24 \cdot 1,5 = 1043,85 \text{ kN}$$

$$Q_d = q_k \cdot 1,9 \cdot \gamma_G = 60 \cdot 1,9 \cdot 1,35 = 153,9 \text{ kN}$$

$$N_{zd} = V_d + G \cdot \gamma_G + Q_d = 1043,85 + 67,5 \cdot 1,35 + 153,9 = 1288,88 \text{ kN}$$

$$H_{xd} = H_G \cdot \gamma_G + H_Q \cdot \gamma_Q = 399,12 \cdot 1,35 + 64,64 \cdot 1,5 = 635,77 \text{ kN}$$

$$M_h = H_G \cdot h = 635,77 \cdot 0,314 = 199,63 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{yd} &= H_{xd} \cdot 1 + Q_d \cdot 0,4 - V_d \cdot 0,85 + M_h \\ &= 635,77 \cdot 1 + 153,9 \cdot 0,4 - 1043,85 \cdot 0,85 + 199,63 = 9,69 \text{ kNm} \end{aligned}$$

## 8.7.1.4 Stanovení efektivních parametrů základu

Pro mezní stav porušení se předpokládá konstantní průběh kontaktního napětí v základové spáře  $\sigma_d$ . Počítáme tedy s tzv. efektivní plochou základové spáry.

$A_{ef}$  – efektivní plocha základu

$B_{ef}$ ,  $L_{ef}$  – efektivní rozměry základu

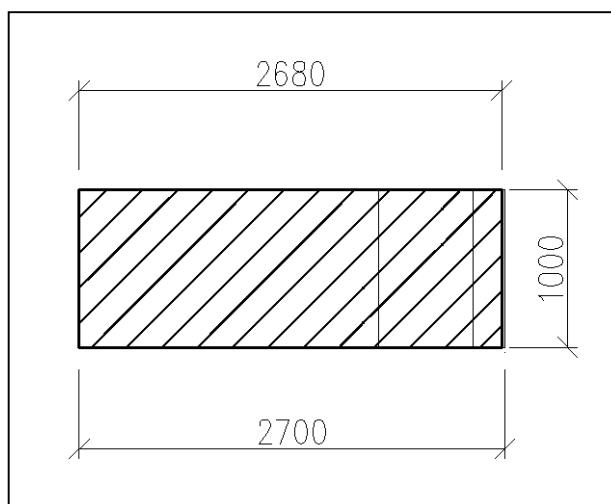
$e_x$ ,  $e_y$  – excentricita svislé síly v základové spáře

$$e_x = M_{yd}/N_{zd} = 9,69/1288,88 = 0,0075 \text{ m}$$

$$B_{ef} = B - 2e_x = 2,7 - 2 \cdot 0,0075 = 2,68 \text{ m}$$

$$L_{ef} = L = 1 \text{ m}$$

$$A_{ef} = B_{ef} \cdot L_{ef} = 2,68 \cdot 1 = 2,68 \text{ m}^2$$



Obr. 8-22 Excentricky zatížený základový pas – efektivní plocha

Jelikož je moment kolmý na osu x zanedbatelný, excentricitu  $e_y$  také zanedbáme a uvažujeme  $L_{eff} = L$ .

Musíme splnit podmínku:

$$e_x/B \leq 1/3$$

$$0,0075/2,7 = 0,0028 \leq 0,33$$

VYHOVUJE

## 8.7.1.5 Převod vrstevnatého podloží na homogenní

Jelikož se základ nachází na vrstevnatém podloží, musíme pro výpočet použít vázané průměrné hodnoty získané iteračním postupem. Zemina se tak převede na homogenní zeminu pomocí stanovení smykových ploch dle Prandtla.

Řešíme pouze pro zeminy nacházející se pod základovou spárou do hloubky  $z = 2 \cdot b$ , čili 5,4 m.

průměrný úhel vnitřního tření zemin	$\varphi_{pr}$
průměrná soudržnost zemin	$c_{pr}$
průměrná objemová tíha zemin	$\gamma_{pr}$
minimální úhel vnitřního tření zemin	$\varphi_{min}$
minimální soudržnost zemin	$c_{min}$
minimální objemová tíha zemin	$\gamma_{min}$
charakteristiky s indexem 1	hlína písčítá
charakteristiky s indexem 2	rula zvětralá

$$\varphi_{pr} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} = \frac{28^\circ + 29^\circ}{2} = 28,5^\circ$$

$$c_{pr} = \frac{c_1 + c_2}{2} = \frac{35 + 40}{2} = 37,5 \text{ kPa}$$

$$\gamma_{pr} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2} = \frac{18 + 24}{2} = 21 \text{ kN/m}^3$$

Převod vrstevnatého podloží nemusíme řešit pokud:

$$\varphi_{pr} - \varphi_{min} < 4^\circ$$

$$28,5 - 28 = 0,5^\circ < 4^\circ$$

VYHOVUJE

$$c_{pr} - c_{min} < 0,04 \cdot c_{pr}$$

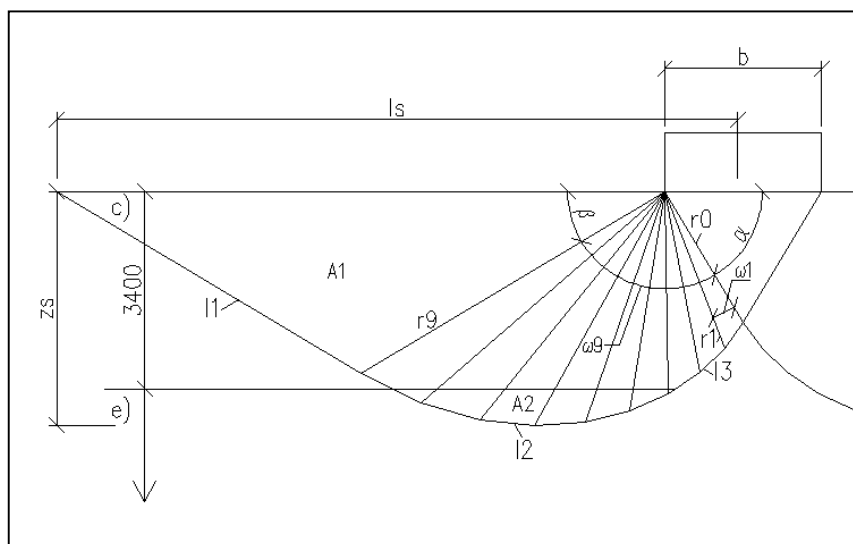
$$37,5 - 35 = 2,5 \text{ kPa} < 1,5 \text{ kPa}$$

NEVYHOVUJE – nutný převod na homogenní zeminu

$$\gamma_{pr} - \gamma_{min} < 0,05 \cdot \gamma_{pr}$$

$$21 - 18 = 3 \text{ kN/m}^3 < 1,68 \text{ kN/m}^3$$

NEVYHOVUJE – nutný převod na homogenní zeminu



Obr. 8-23 Schéma pro výpočet průměrných charakteristik základové půdy

Výpočet náhradních hodnot úhlu vnitřního tření ( $\varphi$ ), koheze ( $c$ ) a objemové tíhy ( $\gamma$ ) se spočítá dle následujících vztahů:

$$\varphi = \frac{\varphi_1 \cdot (l_1 + l_3) + \varphi_2 \cdot l_2}{\sum_{i=1}^3 l_i}$$

$$c = \frac{c_1 \cdot (l_1 + l_3) + c_2 \cdot l_2}{\sum_{i=1}^3 l_i}$$

$$\gamma = \frac{\gamma_1 \cdot A_1 + \gamma_2 \cdot A_2}{\sum_{i=1}^2 A_i}$$

hloubka dosahu smykových ploch:

$$z_s = r \cdot \frac{\cos \varphi}{\cos \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)} \cdot e^{\left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \text{tg} \varphi} = 1,35 \cdot \frac{\cos 28,2^\circ}{\cos \left( 45^\circ + \frac{28,2^\circ}{2} \right)} \cdot e^{\left( \frac{\pi}{4} + \frac{28,2 \cdot \pi}{2 \cdot 180} \right) \cdot \text{tg} 28,2^\circ} =$$

$$= 4,028 \text{ m}$$



délka dosahu smykových ploch:

$$l_s = r \cdot \left[ 1 + 2 \cdot \operatorname{tg} \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot e^{\frac{\pi}{2} + \operatorname{tg} \varphi} \right] = 1,35 \cdot \left[ 1 + 2 \operatorname{tg} \left( 45^\circ + \frac{28,2^\circ}{2} \right) \cdot e^{\frac{\pi}{2} + \operatorname{tg} 28,2^\circ} \right] =$$

$$= 11,824 \text{ m}$$

Výpočet byl proveden v programu MS Excel. (Viz příloha č. 3:  
Výpočet vrstevnatého podloží)

$$\varphi = 28,2^\circ$$

$$c = 36,58 \text{ kPa}$$

$$\gamma = 19,67 \text{ kN/m}^3$$

Napětí v úrovni základové spáry

$$\sigma_d = N_{zd}/A_{ef} = 1288,88/2,68 = 480,93 \text{ kPa}$$

Únosnost základu na odvodněném podloží

$$R_d = c_{ef} \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + \gamma_1 \cdot D \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma_2 \cdot b_{ef} \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

Součinitelé únosnosti

$$N_q = e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} \cdot \operatorname{tg}^2(45 + \varphi/2) = e^{\pi \operatorname{tg} 28,2^\circ} \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ + 28,2^\circ/2) = 15,05$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \operatorname{cotg} \varphi = (15,05 - 1) \cdot \operatorname{cotg} 28,2^\circ = 26,2$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \cdot \operatorname{tg} \varphi = 2(15,05 - 1) \cdot \operatorname{tg} 28,2^\circ = 15,07$$

Součinitelé tvaru základu

- uvažujeme celý pas  $B_{ef} = 2,68 \text{ m}$  a  $L_{ef} = 53 \text{ m}$

$$s_q = 1 + (B_{ef}/L_{ef}) \cdot \sin \varphi = 1 + (2,68/53) \cdot \sin 28,2^\circ = 1,024$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1)/(N_q - 1) = (1,024 \cdot 15,05 - 1)/(15,05 - 1) = 1,026$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3(B_{ef}/L_{ef}) = 1 - 0,3(2,68/53) = 0,985$$

Součinitelé šikmé základové spáry

úhel svírající spádnice základové spáry s vodorovnou rovinou  $\alpha = 0^\circ$

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi)^2 = (1 - 0^\circ \cdot \operatorname{tg} 28,2^\circ)^2 = 1$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q)/(N_c \cdot \operatorname{tg} \varphi) = 1 - (1 - 1)/(26,2 \cdot \operatorname{tg} 28,2^\circ) = 1$$

Součinitelé šikmosti zatížení

$$i_q = (1 - H_d/(N_{zd} + A_{ef} \cdot c_{ef} \cdot \operatorname{cotg} \varphi))^m i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_c \cdot \operatorname{tg} \varphi) = \\ = 0,469 - (1 - 0,469)/(26,2 \cdot \operatorname{tg} 28,2^\circ) = 0,448$$

$$i_\gamma = (1 - H_d/(N_{zd} + A_{ef} \cdot c_{ef} \cdot \operatorname{cotg} \varphi))^{m+1} = \\ = (1 - 635,77/(1288,88 + 2,68 \cdot 36,58 \cdot \operatorname{cotg} 28,2^\circ))^{1,27+1} = 0,277$$

kde

$$m = m_x = (2 + (B_{ef}/L_{ef}))/((1 + (B_{ef}/L_{ef}))) = (2 + (2,68/1))/((1 + (2,68/1))) = \\ = 1,27$$

pokud je  $H_d$  ve směru B

$$R_d = 36,58 \cdot 26,2 \cdot 1 \cdot 1,026 \cdot 0,448 + 18 \cdot 1 \cdot 15,05 \cdot 1 \cdot 1,024 \cdot 0,488 + \\ + 0,5 \cdot 19,67 \cdot 2,68 \cdot 15,07 \cdot 1 \cdot 0,985 \cdot 0,277 = 440,52 + 135,37 + 108,377 = \\ = 684,27 \text{ kPa}$$

$$R_d/\gamma_{Rv} > \sigma_d$$

$$684,27/1,4 = 488,76 \text{ kPa} > 480,93 \text{ kPa}$$

VYHOVUJE

Odolnost proti usmýknutí

$$R_{dh} = (N_{zd} \cdot \operatorname{tg} \varphi_d + A_{ef} \cdot c_{ef}) = (1288,88 \cdot \operatorname{tg} 28,2^\circ + 2,68 \cdot 36,58) = 789,13 \text{ kPa}$$

$$R_{dh}/\gamma_{Rh} > H_d$$

$$789,13/1,1 = 717,39 \text{ kPa} > 635,77 \text{ kPa}$$

VYHOVUJE

### 8.7.2 Mezní stav použitelnosti

Pro MSP využíváme charakteristické hodnoty pro zatížení a parametry zeminy.

Sedání počítáme pro obdélníkový základ o stranách  $B \times L = 2,7 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ .

## 8.7.2.1 Tuhost základu

tuhost základu	k
modul pružnosti betonu základu	$E_b = 30000 \text{ MPa}$
průměrná velikost modulu deformace základové půdy do hloubky 2B pod základovou spáru	$E_{\text{def,pr}}$
tloušťka základu	$t = 1 \text{ m}$
šířka základu	$B = 2,7 \text{ m}$
náhradní délka základu	$L = 1 \text{ m}$

$$E_{\text{def,pr}} = (h_1 \cdot E_{\text{def,1}} + h_2 \cdot E_{\text{def,2}}) / (2 \cdot B) = (3,4 \cdot 15 + 1,6 \cdot 50) / (2 \cdot 2,5) = 26,2 \text{ MPa}$$

$$k = (E_b / E_{\text{def,pr}}) \cdot (t/B)^3 = (30000 / 26,2) \cdot (1/2,7)^3 = 73,28$$

resp.

$$k = (E_b / E_{\text{def,pr}}) \cdot (t/L)^3 = (30000 / 26,2) \cdot (1/1)^3 = 1145,04$$

Pokud je  $k < 1$ , základ je poddajný v daném směru a pokud je  $k > 1$ , základ je tuhý v daném směru.

Tuhost ve směru šířky základu je:  $73,28 > 1$  – základ je ve směru šířky tuhý

Tuhost ve směru délky základu je:  $1145,04 > 1$  – základ je ve směru délky tuhý (uvažována délka 1m)

Z tohoto vyplývá, že průběh kontaktního napětí pod základem uvažujeme rovnoměrný (lineární) dle teorie pružnosti.

## 8.7.2.2 Konečné sedání

Konečné sedání pod příslušným bodem základové spáry se vypočte dle vzorce:

$$s = \sum_{i=1}^n (\sigma_{z,i} - m \cdot \sigma_{\text{or},i}) \cdot h_i / E_{\text{oed},i}$$

svislá složka napětí od přitížení ve středu i-té vrstvy  $\sigma_{z,i}$

původní geostatické napětí ve středu i-té vrstvy  $\sigma_{\text{or},i}$

opravný součinitel dle ČSN EN 1997-1	$m = 0,2$
mocnost i-té vrstvy	$h_i$
charakteristická hodnota oedometrického modulu	
přetvárnosti i-té vrstvy	$E_{\text{oed},i}$
modul přetvárnosti	$E_{\text{def}}$
Poissonovo číslo	$\nu$

Vztah mezi modulem přetvárnosti a oedometrickým modulem přetvárnosti je dán:

$$E_{\text{oed}} = E_{\text{def}}/\beta$$

$$\beta = (1 - 2 \cdot \nu^2 / (1 - \nu))$$

Pro výpočet sedání je třeba počítat s upravenou vzdáleností  $z_{ri}$  vypočítané pomocí vzdálenosti  $z_i$  od základové spáry po střed i-té vrstvy dle vztahu:

$$z_{ri} = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot z_i$$

součinitel zohledňující hloubku založení D

pro základový pas  $\kappa_1 = 1 + 0,61 \cdot \arctg \frac{D}{z}$

součinitel zohledňující vliv nestlačitelného podloží  $\kappa_2$

vzdálenost od základové spáry do středu i-té vrstvy  $z_i$

Vliv nestlačitelného podloží neuvažujeme.

Svislá složka napětí od přitížení se spočítá pomocí příčinkového součinitele sedání závislého na tvaru základu  $I_2$  a napětí v základové spáře  $\sigma_n$ .

$$\sigma_{z,i} = I_2 \cdot \sigma_n$$

## 8.7.2.3 Stanovení zatížení a napětí v základové spáře

Jelikož sedání počítáme pomocí charakteristických hodnot, veškeré dílčí součinitele  $\gamma$  jsou rovny 1,0.

$$N_{zk} = (N_G + G + Q) \cdot \gamma_G + N_Q \cdot \gamma_Q = (688,51 + 67,5 + 60 \cdot 1,7) \cdot 1,0 + 76,24 \cdot 1,0 \\ = 934,25 \text{ kN}$$

$$\sigma_n = N_{zk}/A = 934,25/2,7 = 346,02 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{or,0} = \gamma_1 \cdot D = 18 \cdot 1 = 18 \text{ kPa}$$

Vliv momentu působící na základovou spáru je velmi malý, proto jej ve výpočtu neuvažujeme.

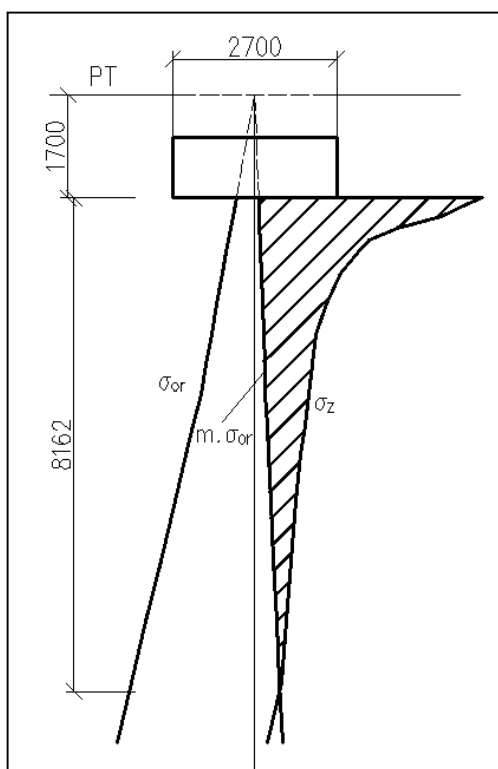
Výpočet byl proveden pomocí programu MS Excel. (Viz příloha č. 5: Sedání)

Limitní sednutí  $s_{lim}$  stanovuje investor. Řídíme se tedy doporučenými hodnotami mezního sedání. Pro staticky určitou konstrukci je dána hodnota 100 mm.

$$s_{lim} < s$$

$$100 \text{ mm} < 22,6 \text{ mm}$$

VYHOVUJE



Obr. 8-24 Schematický průběh napětí pro výpočet sedání pod základovým pasem

## 8.8 Posouzení dřevěného nosníku

Program SCIA Engineer 2013 umí posuzovat dřevěné prvky, ale nepodporuje posudky obloukových vazníků. Výpočet jsem provedl ručně s výsledky vnitřních sil z modelu, vytvořeném v programu SCIA.

### 8.8.1 Materiálové charakteristiky

- lepené dřevo třídy GL24h
- stupeň vlhkosti II
- nejkratší trvání zatížení - krátkodobé

modul pružnosti	$E_{0,05} = 8,8 \text{ GPa}$
pevnost za ohybu	$f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$
pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny	$f_{t,0,k} = 16,5 \text{ MPa}$
pevnost v tlaku kolmo na vlákna	$f_{t,90,k} = 0,5 \text{ MPa}$
pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k} = 24 \text{ MPa}$
pevnost v tahu kolmo na vlákna	$f_{c,90,k} = 2,7 \text{ MPa}$
pevnost ve smyku	$f_{v,k} = 2,7 \text{ MPa}$

### Návrhové hodnoty:

modifikační součinitel pro třídu vlhkosti a trvání zatížení	$k_{\text{mod}} = 0,9$
dílčí součinitel vlastností materiálu pro lepené dřevo	$\gamma_M = 1,25$

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{24}{1,25} = 17,28 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{16,5}{1,25} = 11,88 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{0,5}{1,25} = 0,36 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{24}{1,25} = 17,28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 1,944 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 1,944 \text{ MPa}$$

### 8.8.2 Geometrie

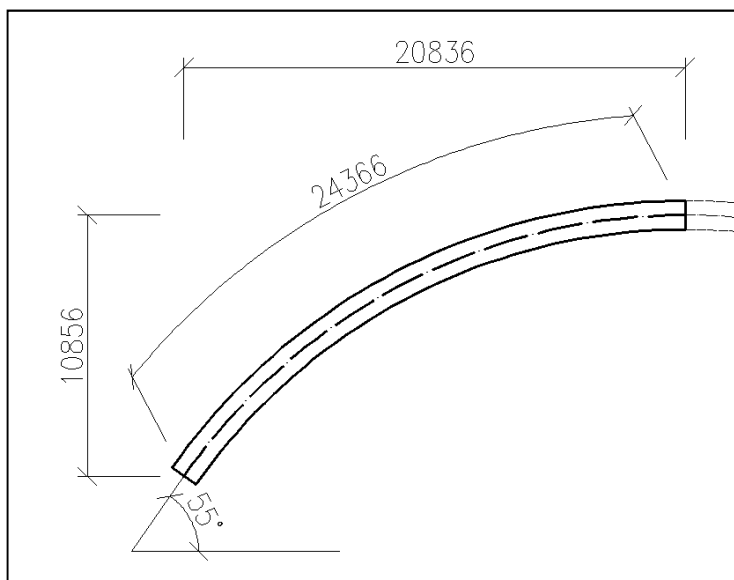
Šířka nosníku

 $b = 250 \text{ mm}$ 

Výška nosníku

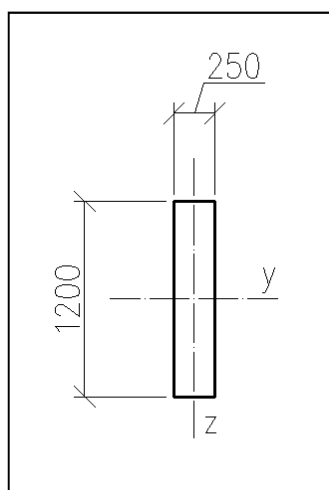
 $h = 1200 \text{ mm}$ 

Délka nosníku

 $L = 24366 \text{ mm}$ 

Obr. 8-25 Schéma nosníku konstrukce

### 8.8.3 Průřezové charakteristiky nosníku



Obr. 8-26 Příčný řez nosníkem konstrukce

$$A = bh = 250 \cdot 1200 = 300\,000 \text{ mm}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} \cdot 250 \cdot 1200^3 = 360 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12}hb^3 = \frac{1}{12} \cdot 1200 \cdot 250^3 = 15 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6} \cdot 250 \cdot 1200^2 = 60 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6}hb^2 = \frac{1}{6} \cdot 1200 \cdot 250^2 = 12,5 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{360 \cdot 10^8}{300000}} = 346,41 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{15 \cdot 10^8}{300000}} = 72,17 \text{ mm}$$

#### 8.8.4 Mezní stav únosnosti

Nosník posuzujeme na kombinace, které na něj vyvozují nejnepříznivější účinky.

##### 8.8.4.1 Vzpěrný tlak

$N_d = 1167,47 \text{ kN}$  (Viz příloha č. 2: Výstup z programu SCIA Engineer - Tabulka s vnitřními silami)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \leq 1,0$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{1167470}{160000} = 3,911 \text{ MPa}$$

štíhlostní poměry:

$L_{cr,y} = 24366 \text{ mm}$  (vzdálenost podpěr bránící posunu v ose y)

$L_{cr,z} = 5000 \text{ mm}$  (vzdálenost určená konstrukčním systémem nosníku)



$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{24366}{346,61} = 70,34$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5000}{72,17} = 69,28$$

kritické napětí:

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = \frac{\pi^2 \cdot 8800}{70,34^2} = 17,55 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = \frac{\pi^2 \cdot 8800}{69,28^2} = 18,09 \text{ MPa}$$

relativní štíhlost:

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = \sqrt{\frac{24}{17,55}} = 1,17$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = \sqrt{\frac{24}{18,09}} = 1,15$$

součinitel k:

$\beta_c = 0,1$  pro lepené dřevo

$$k_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,5(1 + 0,1(1,17 - 0,5) + 1,17^2) = 1,22$$

$$k_z = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,5(1 + 0,1(1,15 - 0,5) + 1,15^2) = 1,19$$

součinitel vzpěru  $k_{c,y}$ :

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,22 + \sqrt{1,22^2 - 1,17^2}} = 0,64$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,19 + \sqrt{1,19^2 - 1,15^2}} = 0,66$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{3,911}{0,64 \cdot 17,08} = 0,352 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{3,911}{0,66 \cdot 17,08} = 0,343 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

#### 8.8.4.2 Klopení

$$L_{ef} = 0,9L_{crz} = 0,9 \cdot 5000 = 4500 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{3 b^2 E_{0,05}}{4 h L_{ef}} = \frac{3 \cdot 200^2 \cdot 8800}{4 \cdot 1200 \cdot 4500} = 79,44 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{79,44}} = 0,55 \leq 0,75 \rightarrow k_{crit} = 1$$

klopení nenastane

#### 8.8.4.3 Smyk

$$V_d = 213,1 \text{ kN (viz tabulka s vnitřními silami)}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1,0$$

pro obdélníkový průřez:

$$\tau_d = \frac{3 V_d}{2 b \cdot h} = \frac{3 \cdot 213100}{2 \cdot 250 \cdot 1200} = 1,065 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{1,065}{1,944} = 0,548 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

#### 8.8.4.4 Ohyb

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$$

$$M_{y,d} = 749,62 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{749,62 \cdot 10^6}{60 \cdot 10^6} = 12,494 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \frac{12,494}{17,28} = 0,723 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

#### 8.8.4.5 Kombinace tlaku a ohybu

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cy} \cdot f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$$

$N_d$  pro kombinaci s  $\max M_{y,d}$ :

$$N_d = 428,14 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{428,14}{300000} = 1,427 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cy} \cdot f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \frac{1,427}{0,64 \cdot 17,28} + \frac{12,494}{17,28} = 0,851 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

#### 8.8.4.6 Normálová napětí ve vrcholu rovnoběžně s vlákny

tloušťka lamel	$t = 20 \text{ mm}$
vnitřní poloměr vazníku	$r_m = 24810 \text{ mm}$
úhel uložení nosníku	$\beta = 35^\circ$
úhel ve vrcholu nosníku	$\alpha = 0^\circ$

$$\frac{\sigma_{m,ap,d}}{k_r f_{m,d}} \leq 1,0$$

$$\sigma_{m,ap,d} = k_1 \frac{M_{ap,d}}{W_y}$$

$$M_{ap,d} = 500,36 \text{ kNm}$$

$$k_r = 1 \leftarrow \frac{r_m}{t} = \frac{24810}{20} = 1240,5 \geq 240$$

$$k_1 = k_1 + k_2 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^3$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \text{tg} \alpha + 5,4 (\text{tg} \alpha)^2 = 1 + 1,4 \text{tg} 0^\circ + 5,4 (\text{tg} 0^\circ)^2 = 1$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \text{tg} \alpha = 0,35 - 8 \text{tg} 0^\circ = 0,35$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \text{tg} \alpha - 7,8 (\text{tg} \alpha)^2 = 0,6 + 8,3 \text{tg} 0^\circ - 7,8 (\text{tg} 0^\circ)^2 = 0,6$$

$$k_4 = 6 (\text{tg} \alpha)^2 = 6 (\text{tg} 0^\circ)^2 = 0$$

$$r = r_m + \frac{h_{ap}}{2} = 24810 + \frac{1200}{2} = 25410 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} k_1 &= k_1 + k_2 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^3 = \\ &= 1 + 0,35 \left( \frac{1200}{25410} \right) + 0,6 \left( \frac{800}{25410} \right)^2 + 0 = 1,018 \end{aligned}$$

$$\sigma_{m,ap,d} = k_1 \frac{M_{ap,d}}{W_y} = 1,018 \cdot \frac{500,36 \cdot 10^6}{60 \cdot 10^6} = 8,488 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{m,ap,d}}{k_r f_{m,d}} = \frac{8,488}{1 \cdot 17,28} = 0,491 \leq 1,0$$

#### VYHOVUJE

#### 8.8.4.7 Normálová napětí ve vrcholu kolmo k vláknům

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} \leq 1,0$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{M_{ap,d}}{W_y}$$

$$k_p = k_5 + k_6 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^2$$

$$k_5 = 0,2 \operatorname{tg} \alpha = 0,2 \operatorname{tg} 0^\circ = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \operatorname{tg} \alpha + 2,6 (\operatorname{tg} \alpha)^2 = 0,25 - 1,5 \operatorname{tg} 0^\circ + 2,6 (\operatorname{tg} 0^\circ)^2 = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \operatorname{tg} \alpha - 4 (\operatorname{tg} \alpha)^2 = 2,1 \operatorname{tg} 0^\circ - 4 (\operatorname{tg} 0^\circ)^2 = 0$$

$$k_p = k_5 + k_6 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^2 = 0 + 0,25 \left( \frac{1200}{25410} \right) + 0 = 0,012$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{M_{ap,d}}{W_y} = 0,012 \cdot \frac{500,36 \cdot 10^6}{60 \cdot 10^6} = 0,098 \text{ MPa}$$

$$k_{dis} = 1,4 \text{ (pro zakřivené vazníky)}$$

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2}$$

$$\text{srovnávací objem } V_0 = 0,01 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{\beta\pi}{180} b(h_{ap}^2 + 2r_m h_{ap}) = \frac{35\pi}{180} \cdot 250 \cdot (1200^2 + 2 \cdot 24810 \cdot 1200) \\ &= 146 \cdot 10^8 \text{ mm}^3 \leq \frac{2}{3} V_b = \frac{2}{3} \cdot b \cdot h \cdot L = \frac{2}{3} \cdot 250 \cdot 1200 \cdot 24366 = 48,7 \cdot 10^8 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

- pokud neplatí, uvažujeme menší z hodnot

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{4,87}\right)^{0,2} = 0,29$$

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} = \frac{0,098}{1,4 \cdot 0,29 \cdot 0,36} = 0,67 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

#### 8.8.4.8 Tlak kolmo k vláknům v podpoře

$$\text{šířka podpory } L_e = 450 \text{ mm}$$

$$V_{z,d} = 213,1 \text{ kN (viz tabulka vnitřní síly)}$$

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{f_{c,90,d}} \leq 1,0$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_{z,d}}{bL_e} = \frac{213100}{250 \cdot 450} = 1,89 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{f_{c,90,d}} = \frac{1,89}{1,944} = 0,974 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

### 8.8.5 Mezní stav použitelnosti, posouzení mezního průhybu

U dřevěných konstrukcí dochází vlivem času k dotvarování konstrukce a tím ke zvětšení okamžitých průhybů  $u_{inst}$ . Konečný průhyb je tedy dán jakou součet průhybu okamžitého a průhybu s dotvarováním.

součinitel vlivu dotvarování od stálých zatížení  $k_{def} = 0,8$

součinitel vlivu dotvarování od krátkodobých zatížení  $k_{def} = 0,0$

kombinační součinitel pro sníh  $\psi_0 = 0,6$

#### 8.8.5.1 Celkový průhyb s dotvarováním

pro směr z:

$$u_{fin,1} = u_{inst,g}(1 + k_{def}) + u_{inst,g2}(1 + k_{def}) + u_{inst,g3}(1 + k_{def}) + \\ + \psi_0 u_{inst,s}(1 + k_{def}) + u_{inst,u}(1 + k_{def}) + u_{inst,h}(1 + k_{def})$$

obdobně pro směr x

#### 8.8.5.2 Limitní průhyb s dotvarováním je pro nosné konstrukce:

$$u_{fin} \leq u_{fin,lim} = \frac{L}{300} = \frac{24364}{300} = 81,21 \text{ mm}$$

průhyb  $u_{inst}$  (Viz příloha č. 2: Výstup z programu SCIA Engineer - tabulka deformací)

Deformace ve směru x jsou zanedbatelné, rozhodující je směr z.

Tab. 8-2 Konečný průhyb nosníku

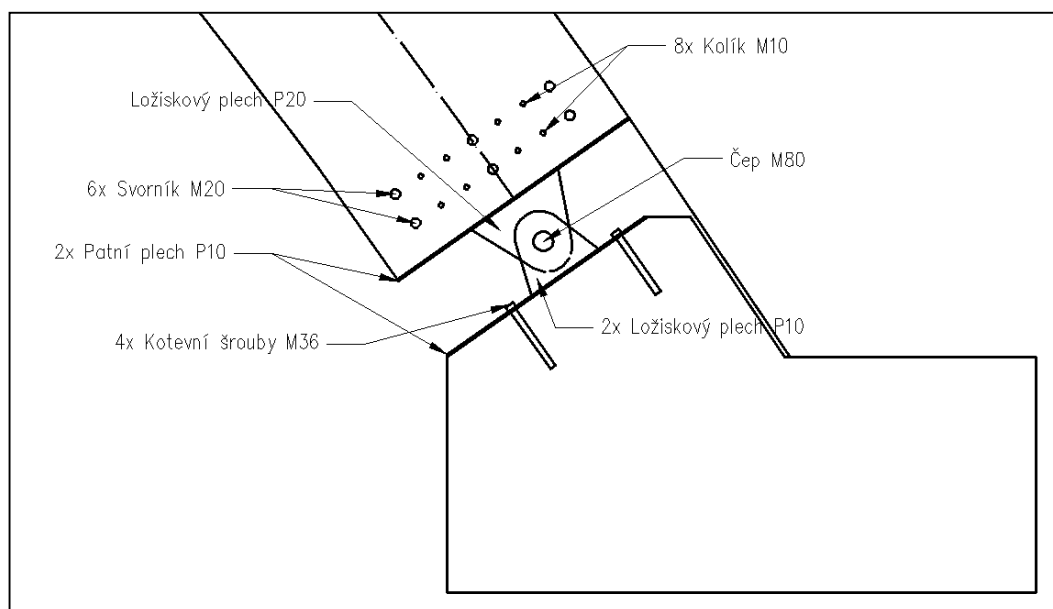
směr z	$u_{fin}$	$u_{inst}$
	[mm]	[mm]
vlastní tíha	-3,24	-1,8
přítížení betonu	-47,52	-26,4
tlak zeminy	118,26	65,7
přítížení od hutnění	2	2
celkové účinky	69,5	39,5

$$|u_{fin}| = 69,5 \text{ mm} \leq 81,21 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

Pro posouzení na mezní stav použitelnosti byla použita poslední fáze výstavby s plným zasypáním bez proměnných zatížení, která měla na deformace způsobná stálým zatížením opačný vliv.

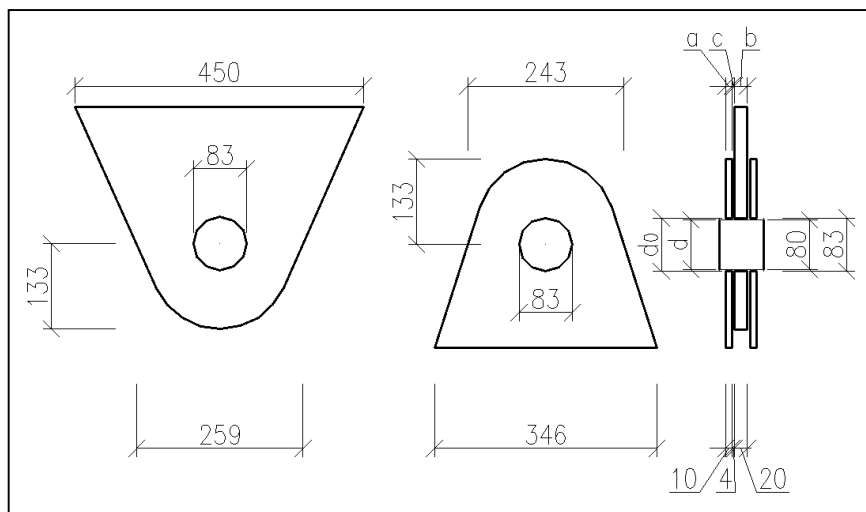
### 8.9 Posouzení čepového uložení nosníku na základový pas.



Obr. 8-28 Schéma uložení nosníku na základovém pasu



Přípoj je proveden pomocí patního plechu svařeného s plechem s otvorem pro ložisko. Na základovém pasu je provedeno totéž. Spoj ocel dřevo je řešen pomocí vloženého plechu a kolíků. Spoj ocel beton (základový pas) je řešen pomocí kotevních šroubů.



Obr. 8-29 *Profil plechů a čepu u čepového ložiska (plech spojený se dřevem, plech spojený se základovým pasem a řez ložiskem s čepem)*

extrémní návrhová síla ze zatížení	$F_{Ed} = 1163,33 \text{ kN}$
poloměr čepu	$r = 40 \text{ mm}$
průměr čepu	$d = 80 \text{ mm}$
otvor pro čep	$d_0 = 83 \text{ mm}$
mez pevnosti čepu	$f_{up} = 500 \text{ MPa}$
mez kluzu čepu	$f_{yp} = 355 \text{ MPa}$
tloušťka spojované části	$t = 40 \text{ mm}$
rozměry plechů a, b, c	$a = 100 \text{ mm}$
	$b = 200 \text{ mm}$
	$c = 4 \text{ mm}$
plocha čepu	$A = 5026,55 \text{ mm}^2$
dílčí součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_{M0} = 1,0$
dílčí součinitel spolehlivosti spoje	$\gamma_{M2} = 1,25$

**8.9.1 Únosnost čepu ve stříhu**

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot A \cdot \frac{f_{up}}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot 5026,55 \cdot \frac{500}{1,25} = 1206,37 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} \geq F_{v,Ed}$$

$$1206,37 \text{ kN} \geq 1167,47 \text{ kN}$$

**VYHOVUJE****8.9.2 Únosnost čepu v otláčení**

$$F_{b,Rd} = 1,5 \cdot t \cdot d \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 200 \cdot 80 \cdot \frac{355}{1,0} = 1704 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} \geq F_{b,Ed}$$

$$1704 \text{ kN} \geq 1167,47 \text{ kN}$$

**VYHOVUJE****8.9.3 Únosnost čepu v ohybu**

$$W_{el} = \frac{\pi \cdot r^3}{A} = \frac{\pi \cdot 40^3}{5026,55} = 39,99 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} \cdot (b + 4c + 2a) = \frac{1167,47}{8} \cdot (20 + 4 \cdot 4 + 2 \cdot 10) = 8,11 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 1,5 \cdot W_{el} \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 40 \cdot 80 \cdot \frac{355}{1,0} = 39,99 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$39,99 \text{ kN} \geq 8,11 \text{ kN}$$

**VYHOVUJE**

**8.9.4 Kombinace střihu a ohybu**

$$\left[ \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$$

$$\left[ \frac{8,11}{39,99} \right]^2 + \left[ \frac{1167,47}{1206,37} \right]^2 = 0,964 \leq 1$$

VYHOVUJE

## 9. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout dřevěný ekodukt na dálnici D1 u Jihlavy.

První část byla věnována obecnému popisu území, na kterém je ekodukt navržen. Dále zde byla rozebrána problematika migrace zvířete přes komunikace, kde byl vysvětlen postup návrhu těchto ekoduktů z ekologického hlediska.

Další část byla zaměřena na metody výstavby tunelů a přesypaných staveb v dálničním inženýrství. Podrobněji byl uveden postup výstavby metod cut-and-cover a cover-and-cut a jejich vhodná volba pro dané území.

Následovalo ekonomické zhodnocení a porovnání navržené dřevěné konstrukce s obdobnou konstrukcí z železobetonu.

Ve statickém výpočtu byl vypracován návrh a posudek jak železobetonového základového pasu, tak dřevěných nosníků a čepového ložiska. Hlavní částí celého návrhu bylo vytvoření reálného modelu a zatížení. Toho jsem docílil pomocí programu SCIA Engineer 2013, který pracuje na principu konečných prvků, a je tedy ideální na určení vnitřních sil a kombinaci zatížení. Posudky jednotlivých částí konstrukce byly provedeny již bez specializovaných programů. Pro ověření posouzení základového pasu bylo využito programu Geo5.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

### Seznam použité literatury

- [1] MASOPUST, J.: Navrhování základových a pažících konstrukcí Příručka k ČSN EN 1997 Informační centrum ČKAIT, s.r.o. Praha, 2012, vydání 1., ISBN 978-80
- [2] WEIGLOVÁ, K., GLISNÍKOVÁ, V., MASOPUST, J.: Mechanika zemin a zakládání staveb pro kombinované studium, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2003, AA-VA 15,7-15,57
- [3] MÍSAŘ, Z., DUDEK, A., HAVLENA, V., WEISS, V.: Geologie ČSSR I, Český masív, Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1983
- [4] MYSLIL, V.: Vysvětlivky k základní hydrogeologické mapě ČSSR 1:200 000, list 23 Jihlava – ÚÚG Praha, 1985
- [5] ANDĚL, P.: Metodická příručka k zajišťování průchodnosti dálničních komunikací pro volně žijící živočichy, AOPK ČR, Havlíčkův Brod, 2001
- [6] BRNUŠÁK, A., CÍSLEROVÁ, M., DAHINTER, K., KŘÍSTEK, V., KURTH, H., LENNER, R., VOPLAKAL, M.: Ekodukty, Inženýrská akademie ČR & SMP Construcion, a.s., Praha, 2003
- [7] FOGLAR, M., BOCEK, R.: Innovative Method of Design and Construction of Ecological Bridges, Sborník příspěvků vědecké konference Ekodukty – Umožnění migrace nebo plýtvání penězi z veřejných prostředků?, Brno, 2009
- [8] FOGLAR, M., KŘÍSTEK, V., PĚNČÍK, J.: Structures for the Innovative Ecological Bridges Design and Construction, Sborník příspěvků vědecké konference Ekodukty – Umožnění migrací nebo plýtvání penězi z veřejných prostředků?, Brno, 2009
- [9] ANDĚL, P.: EIA: Dálnice D1 Mirošovice – Kývalka, zkapacitnění, Dokumentace dle přílohy č. 4 zákona č. 100/2001 Sb. v platném znění EVERNIA s.r.o., 2009

**Seznam odkazů na elektronické studijní zdroje**

- [10] LIBOSVÁR, T.: Ekodukty [online]. [cit. 2013-10-12]. Dostupné z:  
<http://www.ceskedalnice.cz/dalnicni-sit/ekodukty>
- [11] STRAKA, B.: Eurokód 5 pro dřevěné konstrukce část 2 [online]. [cit. 2013-10-12]. Dostupné z:  
[http://www.ckait.cz/sites/default/files/EC5\\_Seminar\\_drevo\\_2.pdf](http://www.ckait.cz/sites/default/files/EC5_Seminar_drevo_2.pdf)
- [12] MATĚJŮ, K.: První dřevěný ekotunel na Slovensku [online]. [cit. 2013-01-12]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/prvni-dreveny-ekotunel-na-slovensku-a-jeho-hydroizolace/>
- [13] MATĚJŮ, K.: Předpoklady kvalitního zaizolování mostů [online]. [cit. 2013-01-12]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/predpoklady-kvalitniho-zaizolovani-mostu/>
- [14] BREJCHA, V.: Ekodukt z obloukových dřevěných nosníků. STAVEBNICTVÍ 05/11[online]. [cit. 2013-09-10]. [www.casopisstavebnictvi.cz](http://www.casopisstavebnictvi.cz)
- [15] MOURATIDIS, T.: The “Cut-and-Cover” and “Cover-and-Cut” Techniques in Highway Engineering. Electronic Journal of Geotechnical Engineering [online]. [cit. 2013-12-12]. [www.ejge.com](http://www.ejge.com)

## **Seznam použitých norem**

ČSN EN 1997-1: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla

ČSN EN 1995-1: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1995-1: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 2: Mosty

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 2-1	Konkrétní umístění stavby.....	8
Obr. 2-2	Umístění stavby s ohledem na širší okolí.....	9
Obr. 3-1	Geologická mapa území 1:50 000 .....	11
Obr. 4-1	Mapa migrace a výskytu živočichů na území ČR .....	14
Obr. 4-2	Holandský ekodukt na dálnici A1 .....	15
Obr. 4-3	Ekodukt národním parku Bennf, Alberta, Kanada.....	18
Obr. 4-4	Slovenský ekodukt na dálnici D1 .....	20
Obr. 5-1	Proces výstavby metodami cut-and-cover a cover-and-cut.....	22
Obr. 5-2	Proces výstavby metodou Cover-and-cut.....	25
Obr. 6-1	Schematické vyobrazení průběhu ohybových momentů .....	26
Obr. 8-1	Pohled na schematickou konstrukci ekoduktu .....	29
Obr. 8-2	Schematický půdorys konstrukce .....	29
Obr. 8-3	Boční pohled na schéma konstrukce .....	30
Obr. 8-4	Montáž záklopu z řeziva.....	31
Obr. 8-5	Schéma modelu trojkloubového nosníku .....	32
Obr. 8-6	Schematické zatížení terénu sněhem .....	34
Obr. 8-7	Příklad lehké vibrační desky .....	36
Obr. 8-8	Postupné zasypávání po vrstvách – s vystřídáním liaporu a hlíny .....	36
Obr. 8-9	Schéma zatížení oblouku při plném přesypání.....	38
Obr. 8-10	Schéma uložení nosníku na základ.....	40
Obr. 8-11	Detail způsobu spojení nosníků.....	40
Obr. 8-12	Fáze montáže nosníku .....	41
Obr. 8-13	Schéma spojení nosníků .....	41
Obr. 8-14	Montáž nosníků obdobného ekoduktu na Slovensku .....	41
Obr. 8-15	Pohled z komunikace u ekoduktu na Slovensku .....	42
Obr. 8-16	Finální vzhled přechodu pro zvěř z pohledu od vozovky.....	42
Obr. 8-17	Izolace obdobného ekoduktu na Slovensku .....	44
Obr. 8-18	Profil podloží pod základovým pasem .....	47
Obr. 8-19	Půdorysné schéma základového pasu – výpočtový model.....	48



Obr. 8-20	Schéma zatížení základového pasu – výpočtový model.....	48
Obr. 8-21	Vliv uložení nosníku – skutečný model .....	49
Obr. 8-22	Excentricky zatížený základový pas – efektivní plocha.....	50
Obr. 8-23	Schéma pro výpočet průměrných charakteristik základové půdy .....	52
Obr. 8-24	Schematický průběh napětí pod základovým pasem.....	57
Obr. 8-25	Schéma nosníku konstrukce .....	59
Obr. 8-26	Příčný řez nosníkem konstrukce.....	59
Obr. 8-28	Schéma uložení nosníku na základovém pasu.....	68
Obr. 8-29	Profil plechů a čepu u čepového ložiska .....	69

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1-1	Geologický profil daného území .....	11
Tab. 8-1	Vlastnosti základové půdy.....	46
Tab. 8-2	Konečný průhyb nosníku.....	68

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ**

$s$	.....	zatížení sněhem
$s_k$	.....	charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi
$C_e$	.....	součinitel expozice
$C_t$	.....	tepelný součinitel
$\eta_1$	.....	tvarový součinitel pro terén do sklonu $30^\circ$
$K_0$	.....	součinitel zemního tlaku v klidu
$\gamma_G$	.....	Dílčí součinitel pro stálé nepříznivé zatížení
$\gamma_Q$	.....	Dílčí součinitel pro proměnné nepříznivé zatížení
$\gamma_\varphi$	.....	Dílčí součinitel pro tangentu úhlu vnitřního tření
$\gamma_c$	.....	Dílčí součinitel pro efektivní soudržnost
$\gamma_Y$	.....	Dílčí součinitel pro objemovou tíhu
$\gamma_{R,V}$	.....	Dílčí součinitel pro únosnost základu
$\gamma_{R,H}$	.....	Dílčí součinitel pro usmýknutí základu
$B$	.....	šířka základového pasu
$L$	.....	délka základového pasu
$D$	.....	hloubka založení
$t$	.....	tloušťka základu
$\gamma_B$	.....	objemová tíha železobetonu
$G$	.....	tíha základu
$V_d$	.....	svislá reakce paty nosníku konstrukce
$Q_d$	.....	náhradní břemeno zatížení od zasypání konstrukce působící na základ
$N_{zd}$	.....	svislá síla působící na základovou spáru
$H_{xd}$	.....	vodorovná síla působící na základovou spáru
$M_y$	.....	moment vyvolaný složkami zatížení působící v těžišti základové spáry
$M_h$	.....	moment vyvolaný vodorovnou silou vlivem uložení konstrukce
$A_{ef}$	.....	efektivní plocha základu
$B_{ef}$	.....	efektivní šířka základu
$L_{ef}$	.....	efektivní délka základu
$ex$	.....	excentricita svislé síly ve směru šířky v základové spáře

$e_y$	.....	excentricita svislé síly ve směru délky v základové spáře
$\varphi_{pr}$	.....	průměrný úhel vnitřního tření zemin
$c_{pr}$	.....	průměrná soudržnost zemin
$\varphi_{pr}$	.....	průměrná objemová tíha zemin
$\varphi_{min}$	.....	minimální úhel vnitřního tření zemin
$c_{min}$	.....	minimální soudržnost zemin
$\varphi_{min}$	.....	minimální objemová tíha zemin
$c$	.....	soudržnost
$\varphi$	.....	úhel vnitřního tření
$c'$	.....	efektivní soudržnost
$\varphi'$	.....	efektivní úhel vnitřního tření
$\gamma$	.....	objemová tíha
$k$	.....	tuhost základu
$\sigma_d$	.....	napětí v úrovni základové spáry
$R_d$	.....	únosnost základu na odvodněném podloží
$\alpha$	.....	úhel svírající spádnice základové spáry s vodorovnou rovinou
$N_q$	.....	součinitel únosnosti
$N_c$	.....	součinitel únosnosti
$N_\gamma$	.....	součinitel únosnosti
$s_q$	.....	součinitel tvaru základu
$s_c$	.....	součinitel tvaru základu
$s_\gamma$	.....	součinitel tvaru základu
$b_q$	.....	součinitel šikmosti základové spáry
$b_c$	.....	součinitel šikmosti základové spáry
$b_\gamma$	.....	součinitel šikmosti základové spáry
$i_q$	.....	součinitel šikmosti zatížení
$i_c$	.....	součinitel šikmosti zatížení
$i_\gamma$	.....	součinitel šikmosti zatížení
$R_{dh}$	.....	odlonost proti usmýknutí
$E_b$	.....	modul pružnosti betonu základu
$E_{def,pr}$	.....	průměrná velikost modulu deformace základové půdy

$t$	.....	výška základu
$s$	.....	konečné sednutí základu
$\sigma_{z,i}$	.....	svislá složka napětí od přetížení ve středu i-té vrstvy
$\sigma_{or,i}$	.....	původní geostatické napětí ve středu i-té vrstvy
$m$	.....	opravný součinitel dle ČSN EN 1997-1
$h_i$	.....	mocnost i-té vrstvy
$E_{oed,i}$	.....	charakteristická hodnota oedometrického modulu přetvárnosti i-té vrstvy
$E_{def}$	.....	modul přetvárnosti
$\nu$	.....	Poissonovo číslo
$z_{ri}$	.....	upravená vzdálenost od základové spáry do středu i-té vrstvy
$\kappa_1$	.....	součinitel zohledňující hloubku založení D
$\kappa_2$	.....	součinitel zohledňující vliv nestlačitelného podloží
$z_i$	.....	vzdálenost od základové spáry do středu i-té vrstvy
$s_{lim}$	.....	limitní sednutí
$E_{0,05}$	.....	modul pružnosti
$f_{m,k}$	.....	pevnost za ohybu
$f_{t,0,k}$	.....	pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny
$f_{t,90,k}$	.....	pevnost v tlaku kolmo na vlákna
$f_{c,0,k}$	.....	pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny
$f_{c,90,k}$	.....	pevnost v tahu kolmo na vlákna
$f_{v,k}$	.....	pevnost ve smyku
$k_{mod}$	.....	modifikační součinitel pro třídu vlhkosti a trvání zatížení
$\gamma_M$	.....	dílčí součinitel vlastnosti materiálu pro lepené dřevo
$b$	.....	šířka nosníku
$h$	.....	výška nosníku
$L$	.....	délka nosníku
$A$	.....	plocha nosníku
$I_y$	.....	moment setrvačnosti kolmý k ose y
$I_z$	.....	moment setrvačnosti kolmý k ose z
$W_y$	.....	modul průřezu kolmý k ose y
$W_z$	.....	modul průřezu kolmý k ose z
$i_y$	.....	poloměr setrvačnosti kolmý k ose y

$i_z$	.....	poloměr setrvačnosti kolmý k ose z
$t$	.....	tloušťka lamel
$r_m$	.....	vnitřní poloměr vazníku
$\beta$	.....	úhel uložení nosníku
$\alpha$	.....	úhel lamel ve vrcholu nosníku
$V_0$	.....	srovnávací objem nosníku
$V$	.....	objem nosníku
$L_e$	.....	šířka podpory
$k_{def}$	.....	součinitel vlivu dotvarování
$\psi_0$	.....	kombinační součinitel
$u_{inst}$	.....	okamžitý průhyb
$u_{fin}$	.....	průhyb s dotvarováním
$u_{lim}$	.....	limitní průhyb
$F_{Ed}$	.....	extrémní návrhová síla ze zatížení
$r$	.....	poloměr čepu
$d$	.....	průměr čepu
$d_0$	.....	otvor pro čep
$f_{up}$	.....	mez pevnosti čepu
$f_{yp}$	.....	mez kluzu čepu
$t$	.....	tloušťka spojované části
$a$	.....	rozměr plechu
$b$	.....	rozměr plechu
$c$	.....	rozměr plechu
$A$	.....	plocha čepu
$\gamma_{M0}$	.....	dílčí součinitel spolehlivosti materiálu
$\gamma_{M2}$	.....	dílčí součinitel spolehlivosti spoje

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha č. 1 - Inženýrsko-geologický průzkum

Příloha č. 2 - Výstup z programu SCIA Engineer 2013

Příloha č. 3 - Výpočet vrstevnatého podloží v MS Excel

Příloha č. 4 - Výpočet kombinací reakcí v MS Excel

Příloha č. 5 - Výpočet konečného sedání základu v MS Excel

Příloha č. 6 - Posudek základového pasu v programu Geo5

Příloha č. 7 - Schéma výztuže základu z programu Geo5

Příloha č. 8 - Řez ekoduktu 1:150

Příloha č. 9 - Schéma ekoduktu 1:500