



**Závěrečná zpráva
interního grantového projektu ČVUT
CTU0302111**

**Databázové zpracování modulů přetvárnosti z vybraných úseků
modernizovaných železničních koridorů ČD a jejich analýza**

ING. LEOŠ HORNÍČEK

Únor 2004

Obsah

1.	ÚVOD	2
2.	CÍLE GRANTOVÉHO PROJEKTU	2
3.	ČLENĚNÍ ŘEŠENÍ GRANTOVÉHO PROJEKTU	3
4.	TEORIE ÚNOSNOSTI PRAŽCOVÉHO PODLOŽÍ.....	4
5.	METODIKA STANOVENÍ STATICKÉHO MODULU PŘETVÁRNOSTI U ČD	5
5.1	ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ.....	5
5.2	POSTUP ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY.....	6
5.3	ZÁZNAM ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY.....	6
5.4	VYHODNOCENÍ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY	6
5.5	MINIMÁLNÍ POŽADOVANÉ HODNOTY MODULU PŘETVÁRNOSTI	7
5.6	MODUL PŘETVÁRNOSTI MATERIÁLU	8
5.7	VÝHODY A NEVÝHODY STATICKÉ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY.....	9
6.	ELEKTRONICKÁ DATABÁZE MODULŮ PŘETVÁRNOSTI	9
6.1	STRUKTURA DATABÁZE	9
6.2	POPIS POLÍ TABULEK.....	10
6.3	RELAČNÍ PROPOJENÍ TABULEK	13
6.4	SBĚR DAT.....	13
7.	VÝSTUPY Z DATABÁZE	14
7.1	SKLADBA VRSTEV V MÍSTĚ MĚŘENÍ.....	14
7.2	ANALÝZA VLASTNÍHO MODULU PŘETVÁRNOSTI MATERIÁLU.....	15
7.2.1	Princip výpočtu	15
7.2.2	Štěrka v kolejovém loži	16
7.2.3	Štěrka v konstrukční vrstvě	18
7.2.4	Recyklovaná štěrka v konstrukční vrstvě	19
7.3	HOMOGENITA MODULŮ PŘETVÁRNOSTI V JEDNOTLIVÝCH ÚROVNÍCH.....	20
7.4	VĚLIV GEOTEXILIE NA ÚNOSNOST PLÁNĚ TĚLESA ŽELEZNIČNÍHO SPODKU.....	35
7.5	VĚLIV KONSTRUKČNÍ VRSTVY ZE ŠTĚRKODRTĚ NA ÚNOSNOST PLÁNĚ TĚLESA ŽELEZNIČNÍHO SPODKU ...	38
8.	ZÁVĚR	39
	LITERATURA.....	40

1. Úvod

Od roku 1994 probíhá v České republice jedna z největších investičních akcí v dopravní infrastruktuře a nejrozsáhlejší investiční akce Českých drah – modernizace vybraných železničních tratí, tzv. koridorů. Mezinárodními dohodami byly stanoveny základní tranzitní železniční tahy celoevropského významu, z nichž 4 procházejí Českou republikou v celkové délce 1 442 km.

Při modernizaci železničních koridorů je nutné navrhovat konstrukci železniční tratě tak, aby byla zajištěna dlouhodobá stabilita geometrického uspořádání koleje, jejíž nezbytným předpokladem je trvalá a homogenní únosnost železničního spodku v celé délce tratě. Jedním ze základních geotechnických problémů, které je nutno v praxi řešit, je zajištění požadované únosnosti pražcového podloží a optimální skladba konstrukčních vrstev.

Jedním z nejdůležitějších parametrů při předávání modernizovaných železničních úseků dodavatelem investorovi (tj. Českým drahám) je dostatečná únosnost železničního spodku a kolejového lože. Únosnost se stanovuje na základě statické zatěžovací zkoušky kruhovou deskou a je charakterizována modulem přetvárnosti E [MPa]. Podle platných předpisů ČD (S4 Železniční spodek, S3 Železniční svršek) se zjišťuje modul přetvárnosti zemní pláně, modul přetvárnosti pláně tělesa železničního spodku a modul přetvárnosti v úrovni ložné plochy pražce. Naměřené údaje musí vyhovovat minimálním požadovaným hodnotám a jsou nezbytnou součástí projektu skutečného provedení příslušného traťového úseku.

Hodnoty modulů přetvárnosti zjištěné statickou zatěžovací zkouškou kruhovou deskou při modernizacích koridorů ČD se v současné době uchovávají pouze v písemné podobě v projektech skutečného provedení. Tato forma je však nevyhovující pro hlubší analýzu problematiky.

2. Cíle grantového projektu

Na základě již získaného povolení přístupu k archivovaným projektům skutečného provedení modernizovaných traťových úseků je cílem projektu sběr dat o provedených statických zatěžovacích zkouškách na vybraných zmodernizovaných úsecích koridorových tratí ČD (předpokládaná celková délka úseků je cca 50 km) a jejich elektronické zpracování ve formě databáze. Úseky budou voleny v závislosti na umožnění přístupu k potřebným archivním materiálům. Databáze bude vytvořena v prostředí Access 2000. Bude třeba navrhnout její vhodnou strukturu, která zaručí logické a současně ekonomické uložení dat.

Naplněná databáze bude využita na sledování homogenity dosažených modulů přetvárnosti v ucelených úsecích, a to v obou traťových kolejích. Dalším výstupem bude ověření hodnoty vlastního modulu přetvárnosti materiálu kolejového lože a konstrukční vrstvy (šterk, šterkodrt) – tato hodnota je nezbytná pro hospodárný návrh vícevrstvého pražcového podloží. Struktura databáze bude už od počátku koncipována tak, aby mohla být i nadále doplňována a využívána pro další analýzy – např. vlivu vložení geosyntetických materiálů do konstrukce pražcového podloží.

3. Členění řešení grantového projektu

Řešení grantového projektu bylo rozděleno do 4 dílčích kroků:

- **Výběr lokality pro sběr dat a sběr údajů o provedených statických zatěžovacích zkouškách**

Jako optimální lokalita pro sběr údajů o provedených statických zatěžovacích zkouškách byla vybrána část I. železničního koridoru v úseku Brandýs nad Orlicí – Přelouč. V tomto úseku již byla modernizace provedena, a to v 7 samostatných stavebních úsecích. Úseky byly modernizovány různými metodami a za použití různých způsobů zvýšení únosnosti pražcového podloží (geotextilie, stabilizace). Důležitým aspektem při výběru bylo i to, že veškeré archivované údaje jsou uloženy na jednom místě – v tomto případě na pracovištích ČD v Pardubicích.

- **Návrh a realizace elektronické databáze**

Databáze je koncipována jako relační, v níž jsou datové tabulky vzájemně propojeny vazbami, tzv. relacemi. Při návrhu struktury databáze bylo počítáno se všemi nezbytnými údaji určenými k ukládání a přihlédnuto k požadavkům na výstupy z databáze. Do databáze je možno zaznamenat údaje až o 3 vrstvách pod úrovní ložné plochy pražce, 5 vrstvách pod plání tělesa železničního spodku a 5 vrstvách pod úrovní zemní pláně, celkem tedy maximálně o 13 vrstvách. Databáze je realizována na databázové platformě MS Access 2000 z důvodu snadného přenosu dat do dalších analyzačních programů, např. tabulkového procesoru MS Excel, statistického systému STATISTICA, apod.

- **Plnění databáze údaji**

Údaje o provedených statických zatěžovacích zkouškách byly do databáze ukládány v závislosti na sběru dat z jednotlivých stavebních úseků. Databáze nebyla plněna přímo v době sběru dat v místě jejich uložení z důvodu časové náročnosti.

- **Analýza dat (pražcového podloží)**

Uložená data v databázi byla podrobena analýzám. Sledovány byly zejména:

- homogenita únosnosti ve 3 výškových úrovních (na zemní pláni, na pláni tělesa železničního spodku, v úrovni ložné plochy pražce) v jednotlivých úsecích a kolejích,
- vlastní modul přetvárnosti materiálu; analyzovány byly tyto v databázi dostatečně statisticky zastoupené přírodní materiály:
 - a. hrubé drcené kamenivo frakce 32-63 mm (štěrky) v kolejovém loži,
 - b. štěrkokodř v konstrukční vrstvě tělesa železničního spodku,
 - c. recyklovaná štěrkokodř v konstrukční vrstvě tělesa železničního spodku.
- vliv druhu geotextilie (výztužná, separační, kombinace výztužné a separační) vložené do konstrukční vrstvy na únosnost pláně tělesa železničního spodku,
- vliv tloušťky konstrukční vrstvy ze štěrkokodře na únosnost pláně tělesa železničního spodku.

4. Teorie únosnosti pražcového podloží

Problematika sledování únosnosti částí železničního tělesa provází železniční stavby od počátku jejich historie. Pouze dostatečně únosná a stabilní konstrukce je předpokladem dobrého stavu koleje. Železniční vozidla svým provozem vyvozují zatížení, které se prostřednictvím železničního svršku přenáší na pláň tělesa železničního spodku a dále se díky konstrukčním vrstvám roznáší na zemní pláň. Nedostatečná únosnost pražcového podloží se projeví deformacemi pláně tělesa železničního spodku a následně deformacemi geometrické polohy koleje.

V pružném stavu platí mezi napětím a deformací zeminy přibližně lineární vztah, což umožňuje pro výpočet napětí v zemině pod zatížením použít výsledky matematické teorie pružnosti (reálnou zeminu nahrazujeme matematickým modelem). Při řešení nahrazujeme reálné podloží idealizovaným a zjednodušeným modelem – tzv. pružným poloprostorem, který je shora omezen vodorovnou rovinou a vyplněn látkou s idealizovanými vlastnostmi. Nejjednodušší a pro zkoumané napětí v podloží vyhovující je lineárně pružný, homogenní, izotropní poloprostor, který zavedl francouzský vědec Valentin Joseph Boussinesq v roce 1885.

Pro pokles y kruhové tuhé desky o poloměru r , uložené na povrchu lineárně pružného, homogenního, izotropního poloprostoru s modulem pružnosti E a Poissonovým číslem ν , kolmo zatížené silou vyvozující pod deskou tlakové napětí σ platí následující vztah:

$$y = \frac{\pi}{4} \cdot (1 - \nu^2) \cdot \frac{\sigma \cdot 2 \cdot r}{E}, \quad (1)$$

kde y je pokles kruhové tuhé desky [m],
 ν - Poissonovo číslo poloprostoru [-],
 σ - napětí pod kruhovou deskou [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$],
 r - poloměr desky [m],
 E - modul pružnosti poloprostoru [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$].

Bezrozměrné Poissonovo číslo ν vyjadřuje poměr mezi příčným a podélným přetvořením při tahové deformaci a nabývá hodnoty v rozmezí 0 - 0,5; např. pro hrubozrnný štěrk se udává hodnota 0,15; pro písek 0,2; pro jíl 0,4. V případě, že do vzorce (1) dosadíme konstantu $\nu \approx 0,214$, zjednoduší se vzorec do podoby

$$y = 1,5 \cdot \frac{\sigma \cdot r}{E} \quad (2)$$

a po úpravě dostaneme:

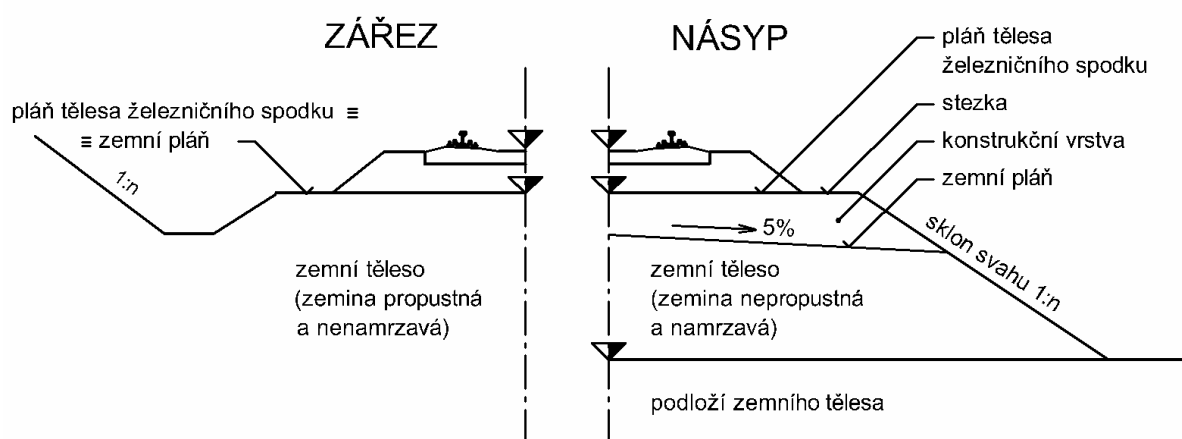
$$E = 1,5 \cdot \frac{\sigma \cdot r}{y}, \quad (3)$$

kde E je modul pružnosti poloprostoru [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$],
 σ - napětí pod kruhovou deskou [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$],
 r - poloměr desky [m],
 y - zatlačení desky neboli pokles desky [m].

Výše uvedené vztahy platí za předpokladu, že se zatížení pohybuje v oblasti pružné deformace. Ve skutečnosti však přetvoření pouze pružné není, a proto se místo modulu pružnosti zavádí nový parametr – modul přetvárnosti, který charakterizuje závislost mezi zatížením kruhové desky a hodnotou jejího zatlačení. Vzhledem k tomu, že je značný rozdíl mezi statickým a dynamickým zatížením, rozlišuje se statický modul přetvárnosti a dynamický modul přetvárnosti. V další části je pojednáno pouze o statickém modulu přetvárnosti.

5. Metodika stanovení statického modulu přetvárnosti u ČD

Statický modul přetvárnosti se jako základní charakteristika únosnosti zemní pláně, konstrukčních vrstev tělesa železničního spodku, pláně tělesa železničního spodku a kolejového lože v úrovni ložné plochy pražce zjišťuje pomocí statické zatěžovací zkoušky [1, 2, 3] (viz obr. 1). U ČD se únosnost vyjadřuje hodnotou modulu přetvárnosti od roku 1971 [4], přičemž zpočátku se užívalo označení modul přetvoření nebo modul deformace.



Obr. 1 Hlavní části tělesa železničního spodku

5.1 Zkušební zařízení

K provedení statické zatěžovací zkoušky je třeba následující zkušební zařízení:

- tuhá zatěžovací deska kruhového tvaru o průměru 0,30 m – jiný průměr zatěžovací desky se nepřipouští,
- hydraulický lis, který je schopný vyvodit sílu nejméně o 20 % vyšší než je největší požadované zatížení desky. Lis musí umožňovat stupňovité zvyšování a snižování síly a její udržování bez kolísání po dobu několika minut,
- kulový kloub umístěný v sestavě zatěžovacího zařízení zajišťující centrické zatížení zatěžovací desky i při nerovnoměrném zatlačení desky,
- siloměr pro měření síly vyvozené hydraulickým lisem,
- indikátorové hodinky s nejmenším dílkem 0,01 mm pro měření zatlačení desky nebo jiný typ měřidel pro stanovení zatlačení zatěžovací desky s přesností 0,01 mm,
- měřicí nosník nebo rám s držáky snímačů posuvu,

- protizátěž (železniční motorový vůz, naložený nákladní automobil, v laboratoři zatěžovací rám apod.) pro opření hydraulického lisu,
- různé pomůcky pro přípravu povrchu zatěžované vrstvy (vodováha, smetáček na očištění povrchu, olovnice, metr, apod.) a nástavce různých délek pro opření lisu o rám protizátěže.

5.2 Postup zatěžovací zkoušky

Zkoušená vrstva se upraví tak, aby byl její povrch nenarušený a rovný. Nerovnosti se mohou vyrovnat buď tenkou vrstvou řídké sádrové kaše nebo křemičitým pískem tak, aby byla zatěžovací deska uložena ve vodorovné poloze.

Na měřicí rám, jehož podpěry musí být od nejbližšího kola protizátěže ve vzdálenosti nejméně 0,75 m, se do držáků upevní troje indikátorové hodinky tak, aby byly ve stejných vzdálenostech kolmo uloženy na zatěžovací desku. Je možné použít i měřicí zařízení, které registruje zatlačení zatěžovací desky v jejím středu.

Na počátku měření se provede pro plné dosednutí jednotlivých částí zatěžovacího zařízení krátkodobé zatížení nepřesahující dobu 10 s, které nesmí vyvodit na zatěžovanou vrstvu tlak větší než je 20 % maximálního zatížení desky. Po odlehčení a ustálení indikátorových hodinek se provede základní čtení.

Deska se zatěžuje postupně ve čtyřech stejně velkých stupních. U každého zatěžovacího stupně se sleduje deformace podloží pod deskou. Pokud je změna deformace během 1 minuty menší než 0,02 mm, považuje se za ustálenou a přejde se na následující zatěžovací stupeň. Stejným způsobem se pokračuje až do dosažení maximálního požadovaného zatížení pro zatěžovanou vrstvu. Následně se zatěžovací deska ve stejných stupních odlehčuje až na nulové zatížení. Cyklus se provede podruhé.

5.3 Záznam zatěžovací zkoušky

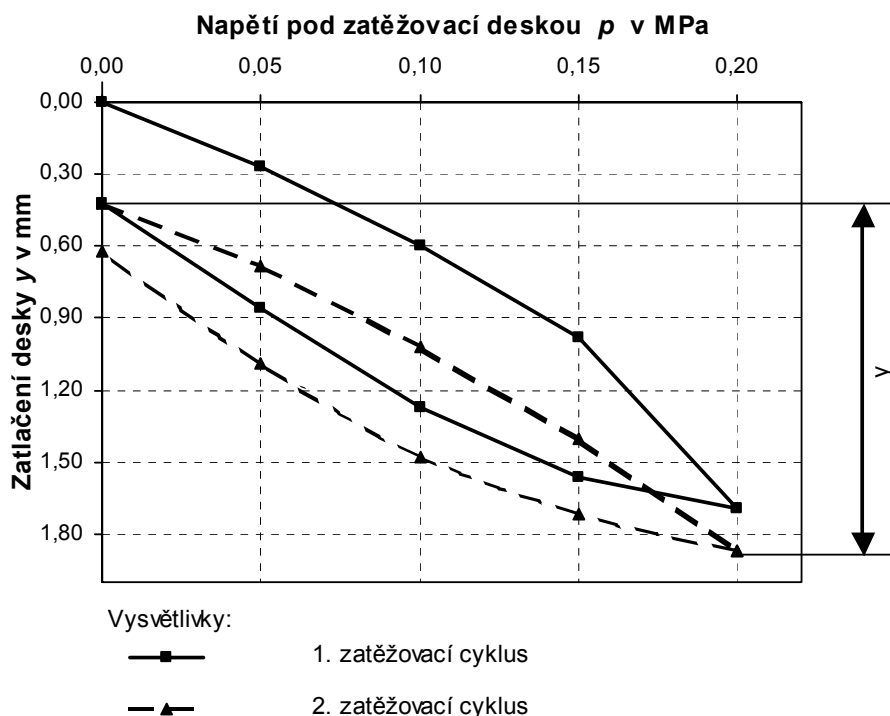
Během zkoušky se do formuláře průběžně zaznamenávají hodnoty zatížení desky ze siloměru a zatlačení desky z indikátorových hodinek. Kromě toho se poznamenají údaje o lokalizaci místa zkoušky (kilometrická poloha, traťový úsek, číslo koleje, poloha desky vzhledem k ose koleje ve směru staničení, horizontální vzdálenost středu desky od osy koleje, hloubka uložení zatěžovací desky pod úložnou plochou pražce), popis zatěžované vrstvy, datum zkoušky, počasí (atmosférické podmínky, teplota) a jméno osoby, která zkoušku provádí.

Navíc je vhodné uvést popis zkoušené vrstvy (zemní pláň, konstrukční vrstva, apod.) a neobvyklé okolnosti zkoušky, pokud se v jejím průběhu vyskytují.

5.4 Vyhodnocení zatěžovací zkoušky

Průměrné zatlačení zatěžovací desky (při měření třemi indikátorovými hodinkami) nebo konečné, ustálené zatlačení středu desky (při měření jedněmi hodinkami) z každého zatěžovacího i odlehčovacího stupně se vynese do grafu vyjadřujícího závislost mezi napětím pod zatěžovací deskou (někdy uváděno jako měrný tlak, tlak na zatěžovací desku nebo kontaktní napětí) a zatlačení zatěžovací desky (viz obr. 2). Do grafu se vyznačí

hodnota průměrného celkového zatlačení desky ze zatěžovací větve druhého cyklu. Současně se uvede výpočet modulu přetvárnosti.



Obr. 2 Graf závislosti napětí pod zatěžovací deskou a zatlačením desky ($p = 0,2$ MPa)

Modul přetvárnosti v měřené úrovni se udává v MPa (což je totéž jako MN.m⁻²) a vypočte podle obecného vztahu:

$$E = 1,5 \cdot \frac{p \cdot r}{y}, \quad (4)$$

kde E je modul přetvárnosti [MPa],
 p - maximální napětí pod zatěžovací deskou [MPa],
 r - poloměr zatěžovací desky [m] - u ČD se užívá 0,15 m,
 y - celkové průměrné zatlačení zatěžovací desky zjištěné v zatěžovací větvi druhého cyklu [m].

Maximální napětí pod zatěžovací deskou se volí:

- na zemní pláni $p = 0,2$ MPa se zatěžovacím stupněm 0,05 MPa, u méně únosných zemin $p = 0,1$ MPa se zatěžovacím stupněm 0,025 MPa; modul se značí E_0 ,
- na konstrukční vrstvě tělesa železničního spodku nebo na pláni tělesa železničního spodku $p = 0,2$ MPa se zatěžovacím stupněm 0,05 MPa; modul se značí E_{pl} ,
- na vrstvě kolejového lože v úrovni 40 - 80 mm pod ložnou plochou pražce [3] (dále „v úrovni ložné plochy pražce“) $p = 0,4$ MPa se zatěžovacím stupněm 0,1 MPa; modul se značí E_{pp} .

5.5 Minimální požadované hodnoty modulu přetvárnosti

Pro zajištění dostatečné únosnosti i za nejnepříznivějších klimatických a hydrogeologických podmínek jsou stanoveny minimální požadované hodnoty modulu

přetvárnosti na zemní pláni, na pláni tělesa železničního spodku [1] a v úrovni ložné plochy pražce [3] (viz tab. 1). Požadavky na únosnost tělesa železničního spodku modernizovaných tratí ČD, navrhovaných převážně na rychlost do 160 km.h⁻¹, byly stanoveny na základě dlouholetých zkušeností, výsledků četných zkoušek a měření na stávajících tratích ČD, s orientačním využitím parametrů únosnosti srovnatelných tratí zahraničních železnic (např. německých a švýcarských) [5].

Tab. 1 Minimální požadované hodnoty modulu přetvárnosti

Druh tratě	Minimální požadované hodnoty modulu přetvárnosti		
	na zemní pláni E_o [MPa]	na pláni tělesa želez. spodku E_{pl} [MPa]	v úrovni ložné plochy pražce E_{pp} [MPa]
Novostavby:			
pro rychlost větší než 160 km.h ⁻¹	60	100	-
pro rychlost menší než 160 km.h ⁻¹	40	80	-
Stávající tratě:			
a) hlavní traťové a hlavní staniční koleje na tratích			
celostátních pro rychlost 120 až 160 km.h ⁻¹	30	50	70
celostátních koridorových pro rychlost menší než 120 km.h ⁻¹	20	50	70
celostátních ostatních pro rychlost menší než 120 km.h ⁻¹	20	40	60
regionálních	15	30	50
b) předjízdne koleje ve stanicích na tratích			
celostátních	20	40	60
regionálních	15	30	50
c) ostatní koleje ve stanicích na tratích			
celostátních	15	30	50
regionálních	15	20	40

5.6 Modul přetvárnosti materiálu

Orientační hodnoty modulu přetvárnosti E nejčastěji používaných materiálů v konstrukčních vrstvách železničního spodku a v kolejovém loži uvádějí [1, 3] (viz tab. 2).

Tab. 2 Orientační hodnoty modulu přetvárnosti materiálů

Materiál	Modul přetvárnosti E [MPa]
jemnozrnne zeminy F1 až F8	5 až 20
písčité zeminy S1 až S5	15 až 40
šterkopísek	40 až 60
šterkovité zeminy G1 až G5	40 až 120
výsivky, vysokopecní struska	50 až 70
šterkodrť, výzisk z kolejového lože	60 až 80

upravený recyklát (minerální směs)	90 až 95
štěrka pro použití v kolejovém loži	100 až 120

U nesoudržných materiálů je hodnota E závislá na jejich relativní ulehlosti I_D , u soudržných materiálů, s výjimkou stabilizovaných zemin, na jejich stupni konzistence I_C .

5.7 Výhody a nevýhody statické zatěžovací zkoušky

Tak jako každá metoda, i statická zatěžovací zkouška má své klady a zápory, mezi něž patří zejména [6, 7]:

Výhody:

- zkouška se používá současně pro kontrolu zhutnění, a proto poskytuje možnost širšího a poměrně přesného porovnávání,
- zkouška je rozšířená a dlouhodobě užívaná.

Nevýhody:

- zkouška je časově velmi náročná a představuje značný zásah do harmonogramu výstavby,
- výsledky zkoušky podávají informace pouze o měřeném místě,
- zatížení statickou silou nedostatečně odpovídá skutečnému dynamickému namáhání,
- k provedení zkoušky je nezbytná vhodná protizátěž o hmotnosti několika tun,
- metodu nelze použít u silně přetvárných – měkkých nebo kašovitých soudržných zemin,
- během zkoušky se nesmí v bezprostřední blízkosti nacházet žádný zdroj otřesů, který by mohl rozkmitat měřidla.

6. Elektronická databáze modulů přetvárnosti

Pro analýzu chování pražcového podloží z hlediska únosnosti bylo navrženo vytvoření elektronické relační databáze, shromažďující informace o provedených statických zatěžovacích zkouškách z vybraných úseků modernizovaných železničních koridorů ČD. Databáze je realizována na databázové platformě MS Access 2000, která umožňuje snadný přenos dat do dalších analyzačních programů, např. tabulkového procesoru MS Excel, statistického systému STATISTICA, apod.

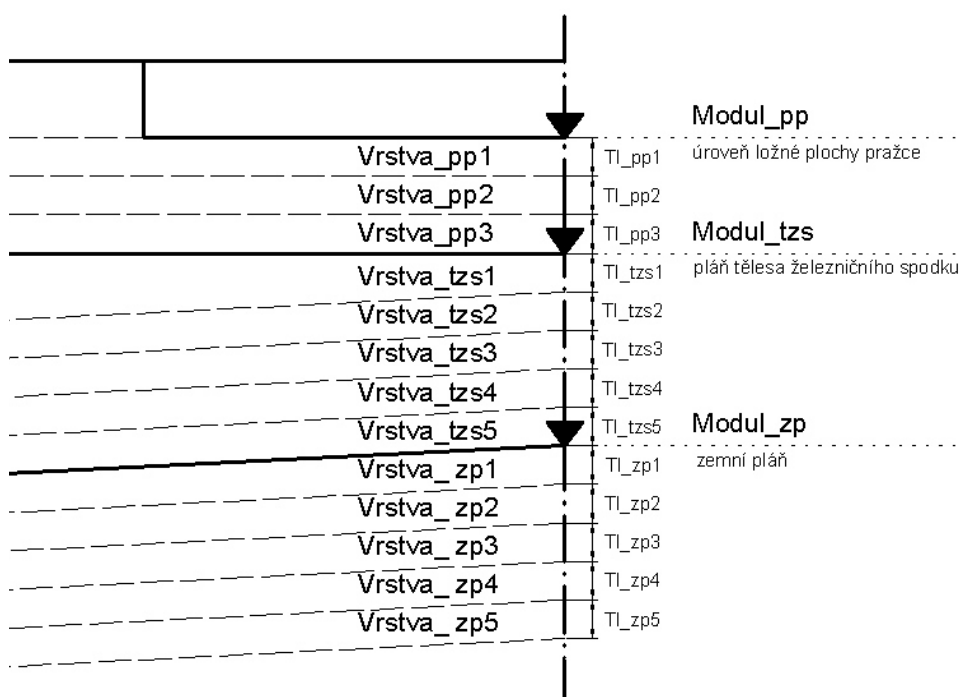
6.1 Struktura databáze

Databáze je od počátku koncipována jako relační, v níž jsou datové tabulky vzájemně propojeny vazbami, tzv. relacemi. Při návrhu struktury databáze je třeba vycházet z požadovaných výstupů z databáze. Mezi tyto výstupy patří zejména:

- výpis vrstev a jejich tloušťek v místě provedení zatěžovací zkoušky,
- výpis modulů přetvárnosti v jednotlivých úrovních v místě provedení zkoušky,
- ověření vzestupnosti hodnot modulů přetvárnosti v jednotlivých úrovních,
- výpis případů použití geosyntetických materiálů,

- výpočet modulu přetvárnosti vybraného materiálu v případě znalosti modulu přetvárnosti na a pod vrstvou, kterou tvoří zvolený materiál (zejména štěrk kolejového lože),
- porovnání hodnot v souběžných traťových kolejích, atd.

Na základě těchto předpokladů byla navržena struktura databáze s jednou hlavní tabulkou *Moduly*, v níž jeden řádek tvoří záznam o provedených statických zatěžovacích zkouškách na zemní pláni, na pláni tělesa železničního spodku a v úrovni ložné plochy pražce v jednom konkrétním místě (kilometráži) a koleji, a přídatnými tabulkami ve funkci číselníků. Z pohledu skladby vrstev může každý řádek obsahovat informace o 3 vrstvách pod úrovní ložné plochy pražce, 5 vrstvách pod plání tělesa železničního spodku a 5 vrstvách pod úrovní zemní pláně. Celkem tedy maximálně o 13 vrstvách (viz obr. 3).



Obr. 3 Schéma skladby vrstev v tabulce *Moduly*

6.2 Popis polí tabulek

Jednotlivé tabulky obsahují následující datová pole:

Název tabulky/pole	Typ	Velikost	Popis pole
Tabulka: Moduly			
ID	douhé celé číslo	4	Automatické číslo záznamu
Trat_zkr	text	5	Traťový úsek - zkratka
Kilometraz	desetinné číslo	6/3	Kilometráž místa, kde se měřil modul přetvárnosti
Spec_mist_zkr	text	3	Specifické umístění měřeného místa - zkratka
Kolej	text	1	Číslo koleje, v níž se měřil modul přetvárnosti
Tech_zkr	text	2	Technologie zřizování vrstev - zkratka
Vrstva_zp1	text	10	Materiál (zkratka) 1. vrstvy pod zemní plání
Tl_zp1	celočíslný	2	Tloušťka 1. vrstvy pod zemní plání v cm
Vrstva_zp2	text	10	Materiál (zkratka) 2. vrstvy pod zemní plání
Tl_zp2	celočíslný	2	Tloušťka 2. vrstvy pod zemní plání v cm
Vrstva_zp3	text	10	Materiál (zkratka) 3. vrstvy pod zemní plání

TI_zp3	celočíslný	2	Tloušťka 3. vrstvy pod zemní pláni v cm
Vrstva_zp4	text	10	Materiál (zkratka) 4. vrstvy pod zemní pláni
TI_zp4	celočíslný	2	Tloušťka 4. vrstvy pod zemní pláni v cm
Vrstva_zp5	text	10	Materiál (zkratka) 5. vrstvy pod zemní pláni
TI_zp5	celočíslný	2	Tloušťka 5. vrstvy pod zemní pláni v cm
Zatl_zp	desetinné číslo	5/2	Velikost zatlačení desky na zemní pláni v mm
Modul_zp	desetinné číslo	4/1	Modul přetvárnosti na zemní pláni v MPa
Modul_zp_min	celočíslný	3	Minimální požadovaná hodnota modulu přetvárnosti na zemní pláni v MPa
Hut_zp	ano/ne	1	Modul na zemní pláni byl dosažen po přehutnění
Stab_h_zp	celočíslný	2	Doba zrání stabilizace v hod. při měření modulu na zemní pláni
Id_zp	desetinné číslo	4/1	Relativní ulehlost zemní pláně
Symbol_zp	text	6	Symbol popisující druh zeminy zemní pláně
Ic_zp	desetinné číslo	3/2	Stupeň konzistence zeminy zemní pláně
Z_zp	desetinné číslo	2/1	Opravný součinitel "z" zeminy zemní pláně
Datum_zp	datum a čas	8	Datum provedení zatěžovací zkoušky na zemní pláni
Protokol_zp	text	20	Označení protokolu o zatěžovací zkoušce na zemní pláni
Vrstva_tzs1	text	10	Materiál (zkratka) 1. vrstvy pod pláni tělesa železničního spodku
TI_tzs1	celočíslný	2	Tloušťka 1. vrstvy pod pláni tělesa železničního spodku v cm
Vrstva_tzs2	text	10	Materiál (zkratka) 2. vrstvy pod pláni tělesa železničního spodku
TI_tzs2	celočíslný	2	Tloušťka 2. vrstvy pod pláni tělesa železničního spodku v cm
Vrstva_tzs3	text	10	Materiál (zkratka) 3. vrstvy pod pláni tělesa železničního spodku
TI_tzs3	celočíslný	2	Tloušťka 3. vrstvy pod pláni tělesa železničního spodku v cm
Vrstva_tzs4	text	10	Materiál (zkratka) 4. vrstvy pod pláni tělesa železničního spodku
TI_tzs4	celočíslný	2	Tloušťka 4. vrstvy pod pláni tělesa železničního spodku v cm
Vrstva_tzs5	text	10	Materiál (zkratka) 5. vrstvy pod pláni tělesa železničního spodku
TI_tzs5	celočíslný	2	Tloušťka 5. vrstvy pod pláni tělesa železničního spodku v cm
Zatl_tzs	desetinné číslo	5/2	Velikost zatlačení desky na pláni tělesa železničního spodku v mm
Modul_tzs	desetinné číslo	4/1	Modul přetvárnosti na pláni tělesa železničního spodku v MPa
Modul_tzs_min	celočíslný	3	Minimální požadovaná hodnota modulu přetvárnosti na pláni tělesa železničního spodku v MPa
Hut_tzs	ano/ne	1	Modul na pláni tělesa železničního spodku byl dosažen po přehutnění
Stab_h_tzs	celočíslný	2	Doba zrání stabilizace v hod. při měření modulu na pláni těl. žel. spodku
Id_tzs	desetinné číslo	4/1	Relativní ulehlost pláně tělesa železničního spodku
Datum_tzs	datum a čas	8	Datum provedení zatěžovací zkoušky na pláni tělesa železničního spodku
Protokol_tzs	text	20	Označení protokolu o zatěžovací zkoušce na pláni tělesa železničního spodku
Vrstva_pp1	text	10	Materiál (zkratka) 1. vrstvy pod ložnou plochou pražce
TI_pp1	celočíslný	2	Tloušťka 1. vrstvy pod ložnou plochou pražce v cm
Vrstva_pp2	text	10	Materiál (zkratka) 2. vrstvy pod ložnou plochou pražce
TI_pp2	celočíslný	2	Tloušťka 2. vrstvy pod ložnou plochou pražce v cm
Vrstva_pp3	text	10	Materiál (zkratka) 3. vrstvy pod ložnou plochou pražce
TI_pp3	celočíslný	2	Tloušťka 3. vrstvy pod ložnou plochou pražce v cm
Zatl_pp	desetinné číslo	5/2	Velikost zatlačení desky v úrovni ložné plochy pražce v mm
Modul_pp	desetinné číslo	4/1	Modul přetvárnosti v úrovni ložné plochy pražce v MPa
Modul_pp_min	celočíslný	3	Minimální požadovaná hodnota modulu přetvárnosti v úrovni ložné plochy pražce v MPa
Pomer_pp	desetinné číslo	2/1	Poměr modulu přetvárnosti v úrovni ložné plochy pražce z druhé větve ku modulu z první větve
Hut_pp	ano/ne	1	Modul v úrovni ložné plochy pražce byl dosažen po přehutnění
Datum_pp	datum a čas	8	Datum provedení zatěžovací zkoušky v úrovni ložné plochy pražce
Protokol_pp	text	20	Označení protokolu o zatěžovací zkoušce v úrovni ložné plochy pražce
Zapsal_zkr	text	3	Zapisovatel - zkratka
Datum_uloz	datum a čas	8	Datum vložení údaje do databáze

Tabulka: CSN_721002

symbol_zp	text	6	Symbol popisující druh zeminy zemní pláně
por_cis	celočíslný	2	Pořadové číslo zeminy
zem_nazev	text	100	Oficiální název zeminy

Tabulka: Material

Mat_zkr	text	9	Materiál - zkratka
Mat_popis	text	50	Materiál - podrobný popis (frakce, ..)

Tabulka: Technologie

Tech_zkr	text	2	Technologie zřizování vrstev - zkratka
Tech_popis	text	50	Technologie zřizování vrstev - popis

Tabulka: Tratovy_usek

Trat_zkr	text	5	Tratový úsek - zkratka
Trat_popis	text	50	Tratový úsek - popis
Trat_koridor	text	1	Železniční koridor číslo
Trat_km_od	desetinné číslo	6/3	Kilometráž úseku od
Trat_km_do	desetinné číslo	6/3	Kilometráž úseku do
Trat_uloz_mat	text	50	Místo uložení materiálů, z nichž bylo čerpáno

Tabulka: Zapisovatel

Zapsal_zkr	text	3	Zapisovatel - zkratka
Zapsal_popis	text	30	Jméno a příjmení zapisovatele

Tabulka: Specifikace_mista

Spec_mis_zkr	text	3	Specifické umístění měřeného místa - zkratka
Spec_mist_popis	text	20	Specifické umístění měřeného místa - popis

Ukázka vyplněného vstupního formuláře pro zadávání údajů statických zatěžovacích zkoušek do databáze je na obr. 4.

Moduly

Tratový úsek: Pardubice - Opočinec Km: 307,200 Kolej: 2 Specifikace místa:
 Technologie zřizování konstrukčních vrstev pražcového podloží: Se snášením kolejových polí

Modul přetvárnosti v úrovni ložné plochy pražce

Epp: 76,3 MPa Zatlačení desky y: 1,18 mm Měrný tlak: 0,40 MPa Datum zkoušky: 19.11.1999
 Vrstva 1: HDK32-63 tt: 35 cm Protokol: 9925-04, str. 4
 Vrstva 2: tt: cm Epp2/Epp1: 5,1
 Vrstva 3: tt: cm

Modul přetvárnosti pláně tělesa železničního spodku

Epl: 53,7 MPa Zatlačení desky y: 0,84 mm Měrný tlak: 0,20 MPa Datum zkoušky: 15.11.1999
 Vrstva 1: ŠD0-32 tt: 25 cm Protokol: 9925-03, str. 2 Stabilizace: hod. Id: 113,4 %
 Vrstva 2: GeoS tt: cm Vrstva 4: tt: cm
 Vrstva 3: GeoV tt: cm Vrstva 5: tt: cm

Modul přetvárnosti zemní pláně

Eo: 19,7 MPa Zatlačení desky y: 1,14 mm Měrný tlak: 0,10 MPa Datum zkoušky: 6.11.1999
 Vrstva 1: Míst zem tt: cm Protokol: 9925-02, str. 6 Stabilizace: hod. Id: 65,7 %
 Vrstva 2: tt: cm Vrstva 4: tt: cm S2 SP Ic:
 Vrstva 3: tt: cm Vrstva 5: tt: cm z: 1,0

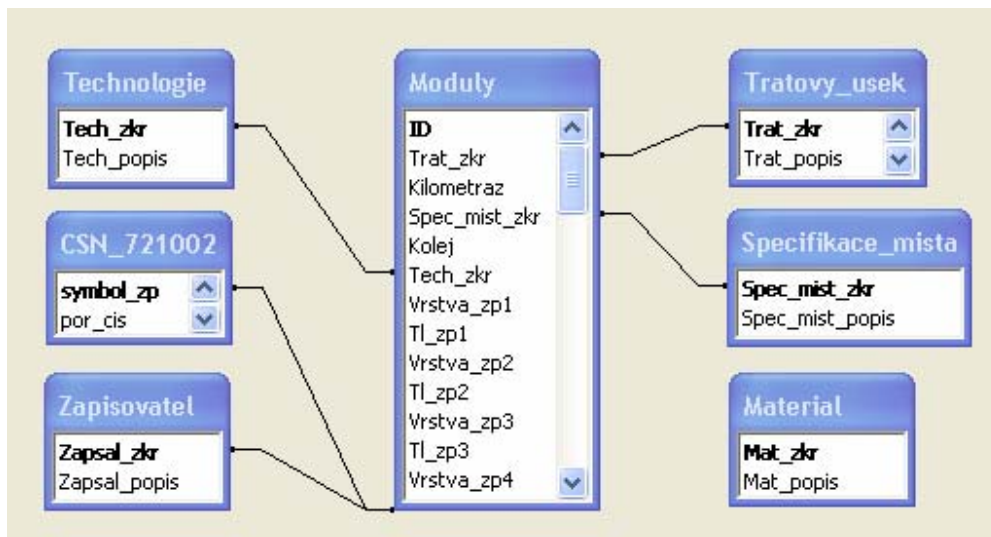
Zapsal: Leoš Horníček Datum: 26.4.2003

Záznam: 321 z 458

Obr. 4 Formulář pro zadávání údajů statických zatěžovacích zkoušek do databáze

6.3 Relační propojení tabulek

K hlavní tabulce *Moduly* jsou relačně připojeny tabulky *CSN_721002*, *Technologie*, *Tratovy_usek*, *Zapisovatel* a *Specifikace_mista* ve funkci číselníků (viz obr. 5). Tabulka *Material* má v databázi zvláštní postavení - je volná (bez relace) a jejího připojení se využije ve výstupech (dotazy, sestavy).



Obr. 5 Relační propojení tabulek databáze

6.4 Sběr dat

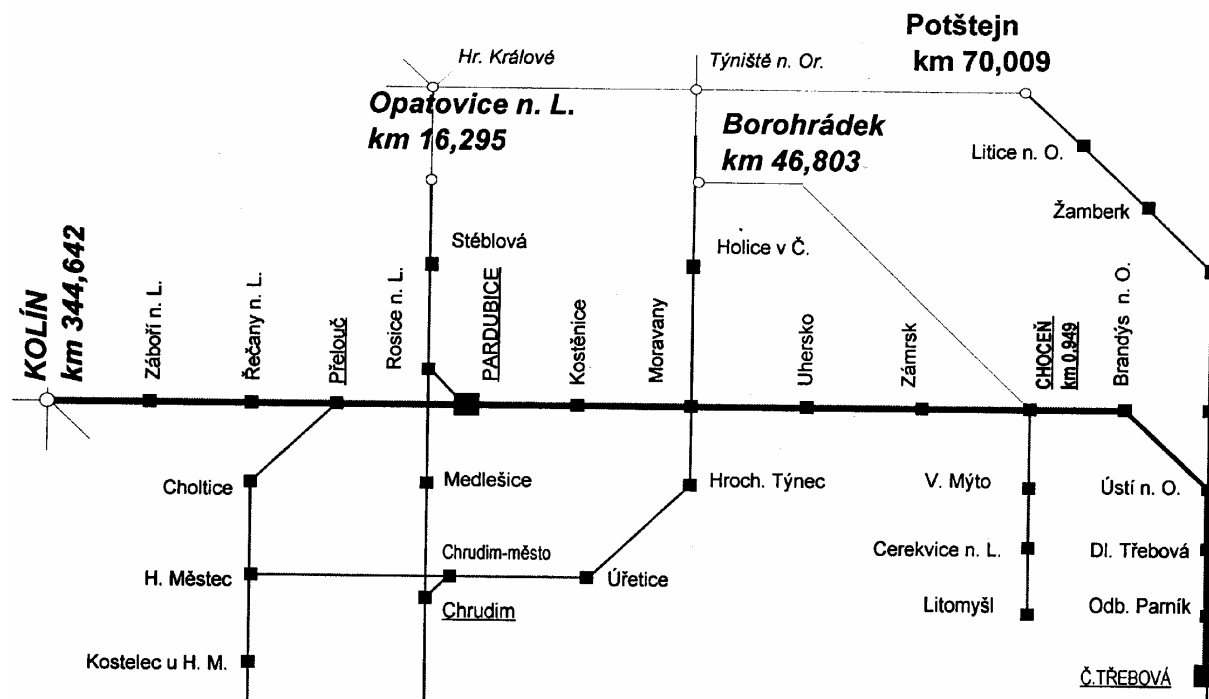
Žádost o přístup k archivovaným projektům byla schválena Ing. Miroslavem Ryklem z ČD DDC, Stavební správy Praha. Tím byl umožněn přístup k archivovaným materiálům obsahujícím informace o provedených statických zatěžovacích zkouškách na modernizovaných úsecích železničních koridorů ČD. Na základě doporučení bylo jako vhodné vybráno středisko ČD DDC, SDC Pardubice, pod které spadá část I. koridoru v úseku Česká Třebová - Kolín.

Z již zmodernizované části I. koridoru byly k dispozici a zpracovány tyto dvoukolejné mezistaniční úseky (viz obr. 6):

- Brandýs nad Orlicí - Choceň (km 267,500 – km 270,340; dokončeno v říjnu 2002),
- Zámorsk – Uhersko (km 281,900 – km 285,770; dokončeno v září 2001),
- Uhersko – Moravany (km 287,444 – km 290,830; dokončeno v říjnu 2001),
- Moravany – Kostěnice (km 292,350 – km 294,630; dokončeno v říjnu 2001),
- Kostěnice – Pardubice (km 296,080 – km 304,320; dokončeno v říjnu 2001),
- Pardubice – Opočíněk (km 306,680 – km 312,200; dokončeno v prosinci 2000),
- Opočíněk – Přelouč (km 312,200 – km 317,020; dokončeno v prosinci 2000).

Tratový úsek Choceň – Uhersko, jehož modernizace byla dokončena v prosinci 1996, patří mezi vůbec první dokončené úseky I. železničního koridoru. V důsledku kombinace nepříznivých vlivů, mezi které lze patřit vysoká hladina podzemní vody, nevhodně zvolená konstrukce pražcového podloží – typ 4 s použitím betonových panelů a povodeň v roce 1998, však došlo v tomto úseku ke značnému narušení železničního spodku, a proto byla

v letních měsících roku 2001 provedena v části úseku Zámorsk – Uhersko jeho kompletní výměna. Data ze zbývajících částí úseku Zámorsk – Uhersko a úseku Choceň – Zámorsk ve své době (rok 1996) nebyla zdokumentována v takové míře, aby je bylo možné do databáze použít. Databáze tedy obsahuje data ze 7 traťových úseků, které tvoří v maximálně možné míře ucelený úsek Brandýs nad Orlicí – Přelouč o délce bezmála 50 km.



Obr. 6 I. železniční koridor v úseku Česká Třebová - Kolín

7. Výstupy z databáze

7.1 Skladba vrstev v místě měření

Na obr. 7 je uvedena ukázka databázového výpisu (sestavy) znázorňujícího počty výskytů pro každou variantu skladby vrstev pražcového podloží.

Označení souvrství:	ŠD 0-32/ŠtaVšp	Počet výskytů: 20
Plán tělesa železničního spodlau:		
Šěrkodrt, frakce 0-32 mm	15-25 cm	
Zemní plán:		
Vápená stabilizace (šěrkopisek+tvápmo 3/6)	30 cm	
Označení souvrství:	ŠD 0-32/ŠtaVzem	Počet výskytů: 137
Plán tělesa železničního spodlau:		
Šěrkodrt, frakce 0-32 mm	15-25 cm	
Zemní plán:		
Vápená stabilizace (místní zemina+tvápmo 3/6)	20-50 cm	
Označení souvrství:	ŠD 0-32/ŠD_rec/L_kam 125/GeoVTen3	Počet výskytů: 5
Plán tělesa železničního spodlau:		
Šěrkodrt, frakce 0-32 mm	15-25 cm	
Zemní plán:		
Šěrkodrt, recyklovaná		
Výstušná geomříš Tensor SS 30		
Šeparační geotextilie 200 g/m ²		

Obr. 7 Ukázka výpisu skladby vrstev

7.2 Analýza vlastního modulu přetvárnosti materiálu

Výpočet vlastního modulu přetvárnosti materiálu E je založen na metodě vícevrstvého systému DORNII, která předpokládá pokles hodnot E ve směru dolů pod pražcem. Podkladem pro výpočet modulu přetvárnosti materiálu jsou výsledky statických zatěžovacích zkoušek v úrovni spodní plochy sledované vrstvy, statických zatěžovacích zkoušek v úrovni horní plochy sledované vrstvy a příslušné tloušťky vrstvy.

7.2.1 Princip výpočtu

Podle metody DORNII lze vyjádřit obecný vztah pro výpočet modulu přetvárnosti materiálu E :

$$E = \frac{E_{e1}}{n^{2,5} \cdot \left[1 - \frac{2}{\pi} \cdot \left(1 - \frac{1}{n^{3,5}} \right) \cdot \arctg \frac{t}{d} \cdot n \right]}, \quad (5)$$

- kde E je modul přetvárnosti materiálu sledované vrstvy [MPa],
 E_{e1} - ekvivalentní modul přetvárnosti = modul přetvárnosti v úrovni horní plochy vrstvy [MPa],
 t - tloušťka vrstvy [m],
 d - průměr zatěžovací desky [m],

$$n = \sqrt[n]{\frac{E}{E_0}}, \quad (6)$$

kde E_0 je modul přetvárnosti v úrovni dolní plochy vrstvy [MPa],

m - odmocninel závislý na jakosti materiálu vrstvy; pro vícevrstvé prostředí $m = 3,5$ [-],

Výpočet není triviální, proto lze pro usnadnění výpočtu použít nomogramu [6], příloha 21, obr. 6, kde je definován parametr a , s jehož pomocí se dopočítá hledaná hodnota modulu přetvárnosti E .

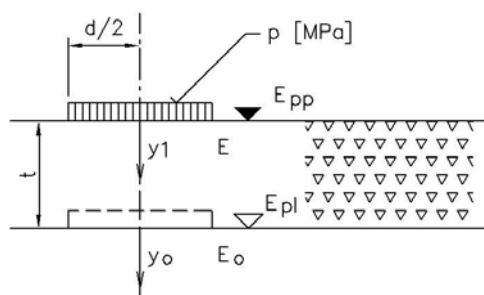
Vzorový příklad výpočtu pro případ materiálu kolejového lože (viz obr. 8):

Dáno:

$E_{pl} = 38,46$ MPa, $E_{pp} = 81,08$ MPa, $t = 35$ cm, $d = 30$ cm.

Postup výpočtu:

1. vypočte se $k_2 = t/d = 35/30 = 1,17$
2. $a = E_{pl}/E_{pp} = 38,46/81,08 = 0,47$
3. z nomogramu se odečte parametr $k_1 = 0,33$
4. vypočte se $E = E_{pl}/k_1 = 38,46/0,33 = 116,5$ MPa

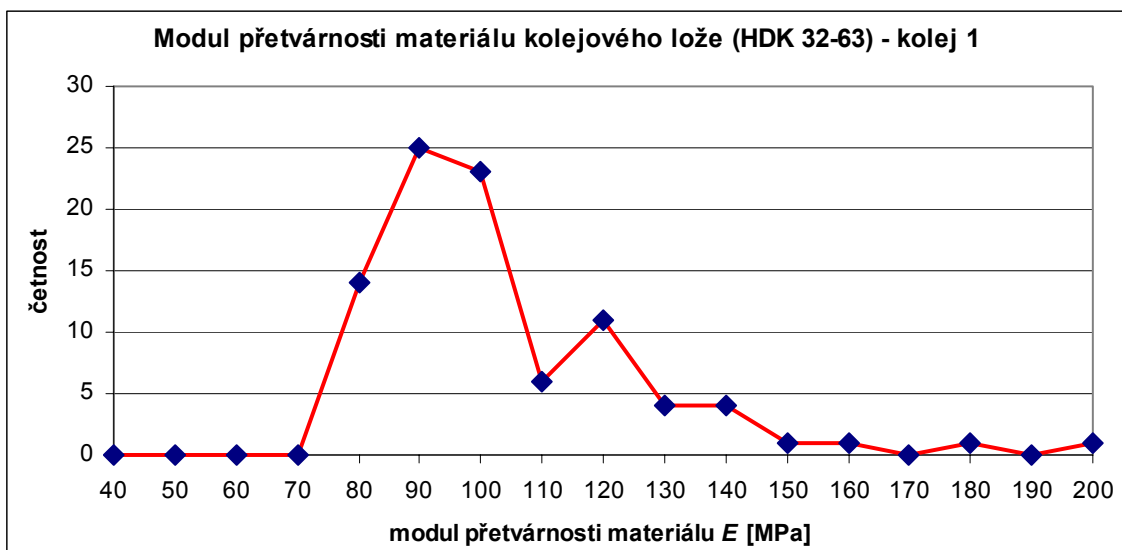


Obr. 8 Schéma výpočtu modulu přetvárnosti materiálu kolejového lože

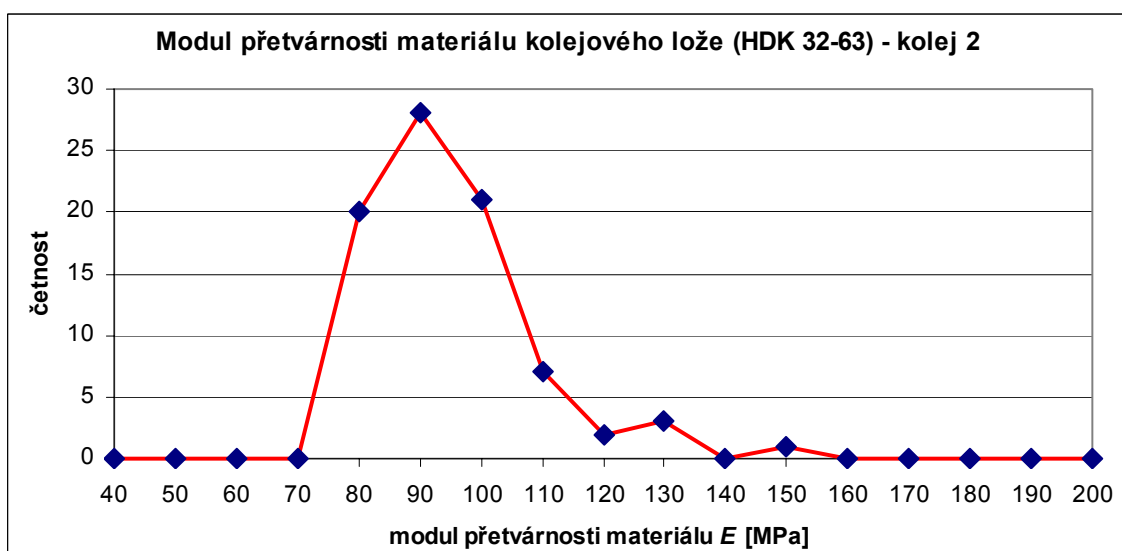
7.2.2 Štěrk v kolejovém loži

Výpočet je použit za předpokladu známých hodnot modulu přetvárnosti na pláni tělesa železničního spodku E_{pl} , modulu přetvárnosti v úrovni ložné plochy pražce E_{pp} a příslušné tloušťky kolejového lože t .

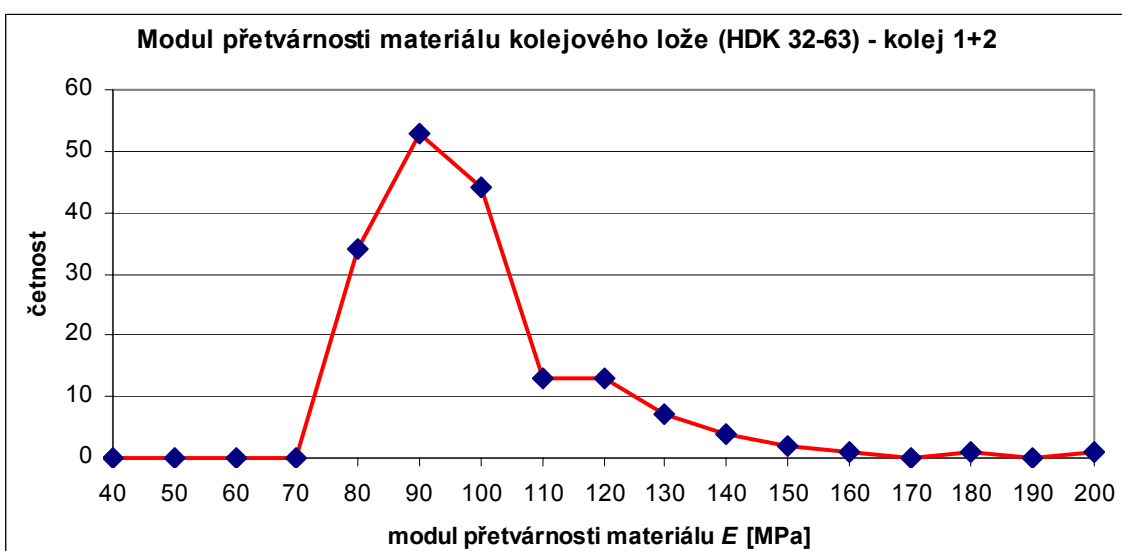
Pro výpočet bylo ze všech traťových úseků použito celkem 173 případů, které splnily podmínku poklesu hodnot ve směru pod pražcem. Kolejové lože bylo ve všech případech složeno z hrubého drceného kameniva frakce 32-63 mm (HDK 32-63). Tloušťka kolejového lože byla uvažována 29 cm. Četnosti výsledných hodnot pro jednotlivé koleje (kolej 1 – 91 případů, kolej 2 – 82 případů) a v součtu za obě koleje jsou uvedeny na obr. 9 až obr. 11.



Obr. 9 Modul přetvárnosti materiálu kolejového lože (HDK 32-63) – kolej 1



Obr. 10 Modul přetvárnosti materiálu kolejového lože (HDK 32-63) – kolej 2



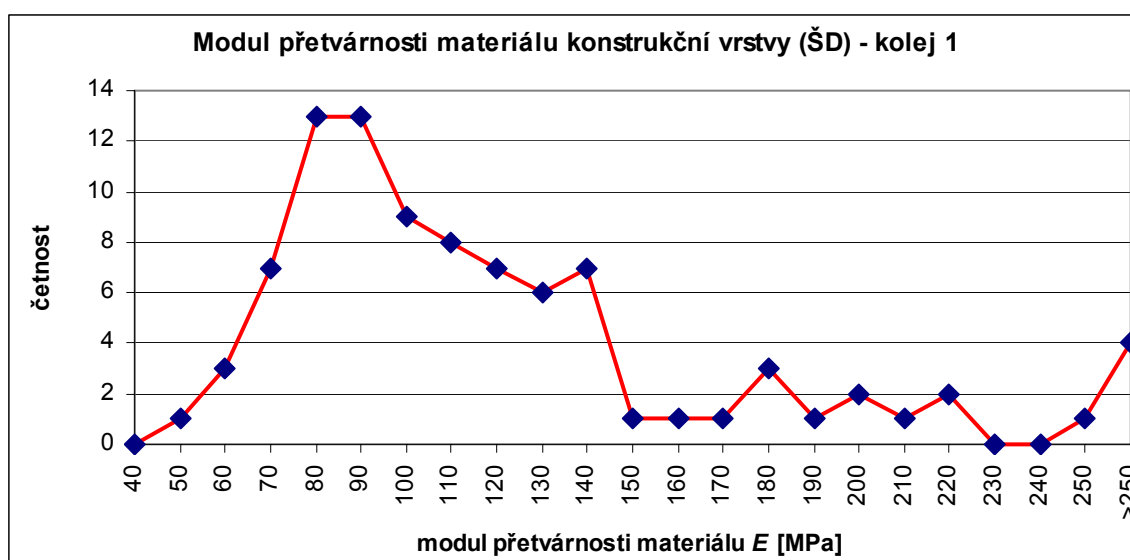
Obr. 11 Modul přetvárnosti materiálu kolejového lože (HDK 32-63) – kolej 1+2

Z grafů je patrné, že největší četnost spadá do rozmezí 80-100 MPa (průměrná hodnota modulu přetvárnosti materiálu kolejového lože vychází 94,1 MPa). V literatuře uváděná orientační hodnota v rozmezí 100-120 MPa (viz tab. 2) [1, 3, 14] nebyla při modernizaci vybraných tratí dosažena. Lze však předpokládat, že hodnota se zvýší zkonsolidováním kolejového lože železničním provozem [15].

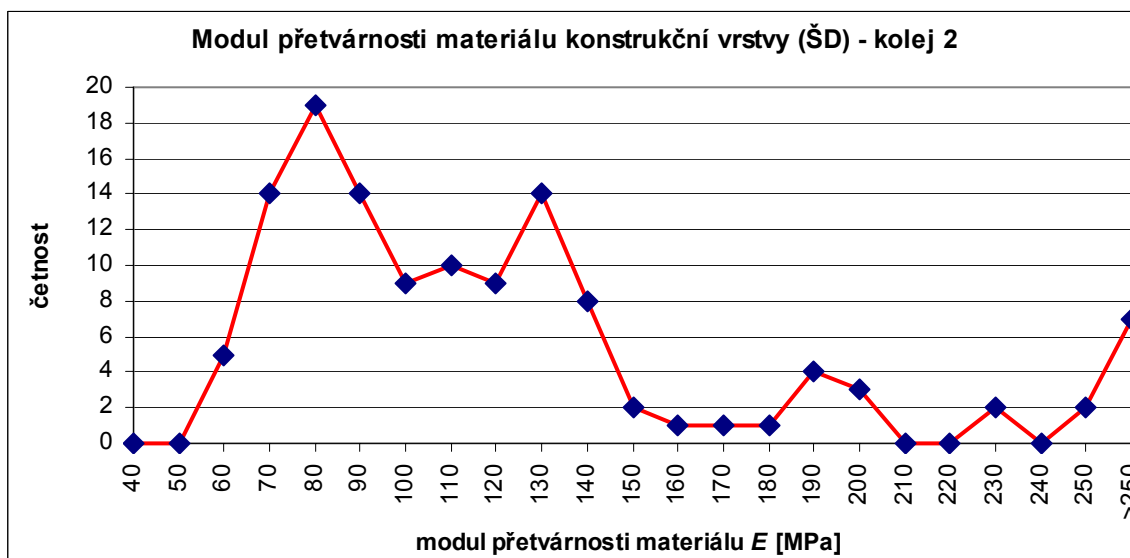
7.2.3 Štěrkodrt' v konstrukční vrstvě

Výpočet je použit při známé hodnotě modulu přetvárnosti na zemní pláni E_0 , modulu přetvárnosti na pláni tělesa železničního spodku E_{pl} a příslušné tloušťky konstrukční vrstvy t .

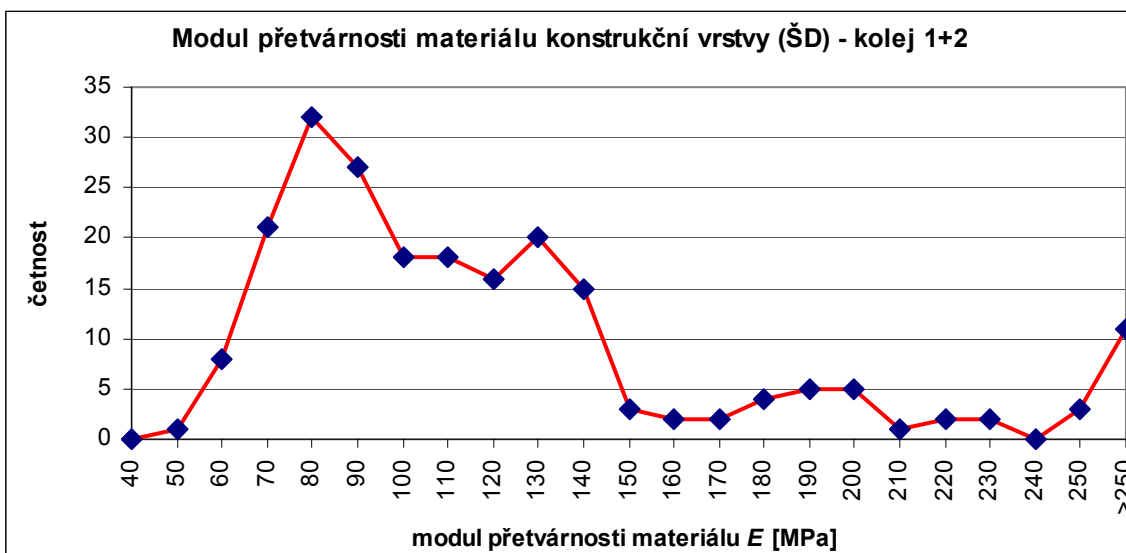
Pro výpočet bylo ze všech traťových úseků použito celkem 216 případů, které splnily podmínku poklesu hodnot ve směru pod pražcem. Konstrukční vrstva byla složena ze štěrkodrtě frakce 0-32 mm (ŠD). Tloušťka konstrukční vrstvy se pohybovala v rozmezí 15 až 25 cm. Četnosti výsledných hodnot pro jednotlivé koleje (kolej 1 – 91 případů, kolej 2 – 125 případů) a v součtu za obě koleje jsou uvedeny na obr. 12 až obr. 14.



Obr. 12 Modul přetvárnosti materiálu konstrukční vrstvy (štěrkodrt') – kolej 1



Obr. 13 Modul přetvárnosti materiálu konstrukční vrstvy (štěrkodrt') – kolej 2



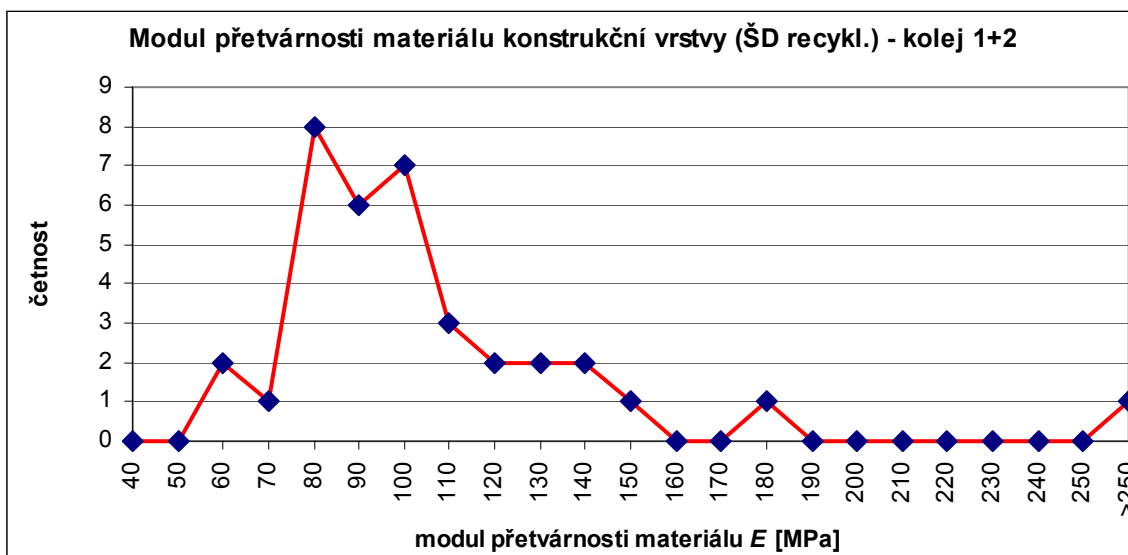
Obr. 14 Modul přetvárnosti materiálu konstrukční vrstvy (šterkodrt') – kolej 1+2

Profil grafů je odlišný od profilu modulů přetvárnosti materiálu kolejového lože. První vrchol četnosti se pohybuje v rozmezí 80-90 MPa. Kromě tohoto vrcholu je zde navíc patrný i podružný „druhý vrchol“ u četnosti 130-140 MPa a relativně značné zastoupení vysokých hodnot (i nad 250 MPa). Tyto vysoké hodnoty jsou způsobeny jednak použitím stabilizace zemní pláně, kdy v některých případech došlo k významnému nárůstu únosnosti v čase (hodnoty únosnosti zemní pláně byly měřeny po 24-48 hodinách po zřízení stabilizace), jednak prostým naměřením (bez zjevných příčin) dvojnásobných a vyšších hodnot únosnosti na konstrukční vrstvě v porovnání s únosností zemní pláně tvořené místní zeminou. Průměrná hodnota, vyloučíme-li výskyty s vypočteným vlastním modulem přetvárnosti vyšším než 200 MPa, vychází 102,5 MPa. Orientační hodnotu pro šterkodrt' uvádí [1] (viz tab. 2) v rozmezí 60-80 MPa. Vypočtená průměrná hodnota je tedy o více než 20 MPa vyšší než horní hranice hodnoty orientační. Navíc lze i v případě konstrukční vrstvy ze šterkodrtě předpokládat, že se hodnoty vlastního modulu přetvárnosti zvýší po zkonsolidování železničním provozem.

7.2.4 Recyklovaná šterkodrt' v konstrukční vrstvě

Výpočet je použit za předpokladu známých hodnot modulu přetvárnosti na zemní pláni E_0 , modulu přetvárnosti na pláni tělesa železničního spodku E_{pl} a příslušné tloušťky konstrukční vrstvy t .

Pro výpočet bylo ze všech traťových úseků použito celkem 36 případů, které splnily podmínku poklesu hodnot ve směru pod pražcem. Konstrukční vrstva byla složena z recyklované šterkodrtě frakce 0-32 mm (ŠD recykl.) Recyklovanou šterkodrtí se rozumí výzisk z kolejového lože splňující stanovené technické a ekologické požadavky; používá se jako náhrada za nové přírodní kamenivo. Tloušťka konstrukční vrstvy se pohybovala v rozmezí 15 až 25 cm. Četnost výsledných hodnot za obě koleje je uvedena na obr. 15.



Obr. 15 Modul přetvárnosti materiálu konstrukční vrstvy (recyklovaná štěrkodrt') – kolej 1+2

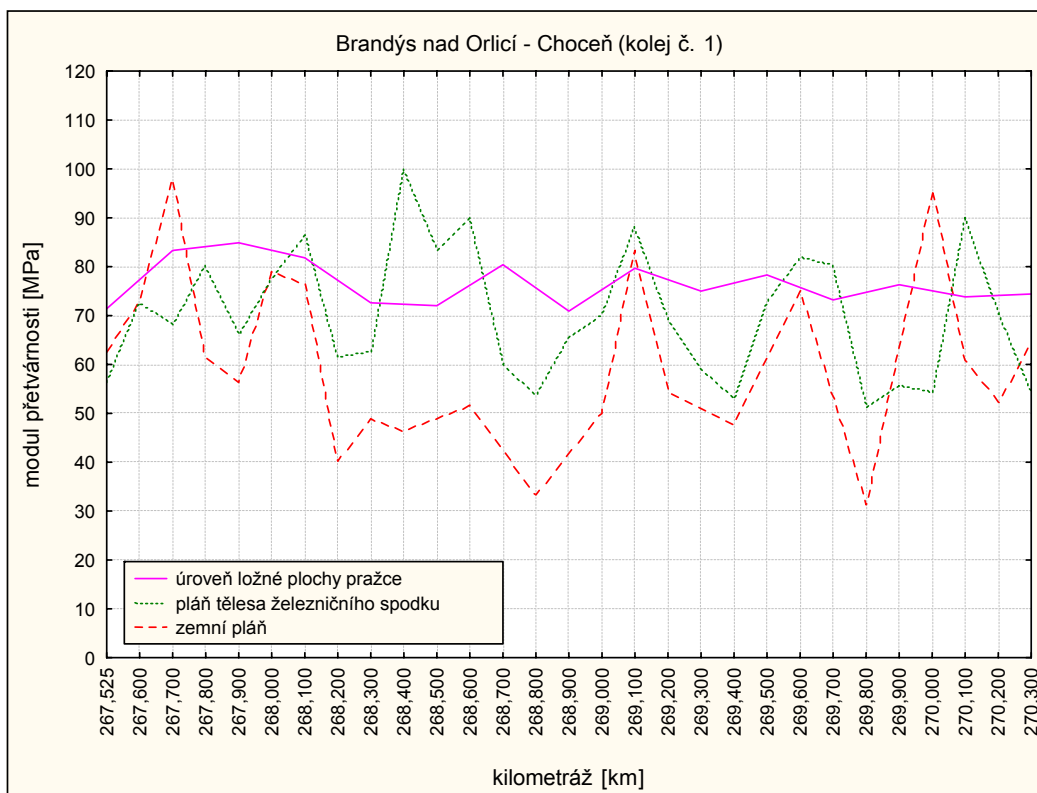
Profil grafů je podobný jako u modulu přetvárnosti konstrukční vrstvy ze štěrkodrtě. První vrchol četnosti se pohybuje rovněž v rozmezí 80-90 MPa. I zde se však vyskytuje „druhý vrchol“, a sice u četnosti 100 MPa. Zastoupení vysokých hodnot modulu přetvárnosti není významné. Průměrná hodnota, vypočtená s vyloučením jediného výskytu vlastního modulu přetvárnosti nad 200 MPa, vyšla 95,4 MPa. Orientační hodnoty pro recyklovanou štěrkodrt' uvádí opět [1] (viz tab. 2) v rozmezí 60-80 MPa. I zde vyšla průměrná hodnota vyšší než horní hranice orientační hodnoty, a sice o více než 15 MPa.

7.3 Homogenita modulů přetvárnosti v jednotlivých úrovních

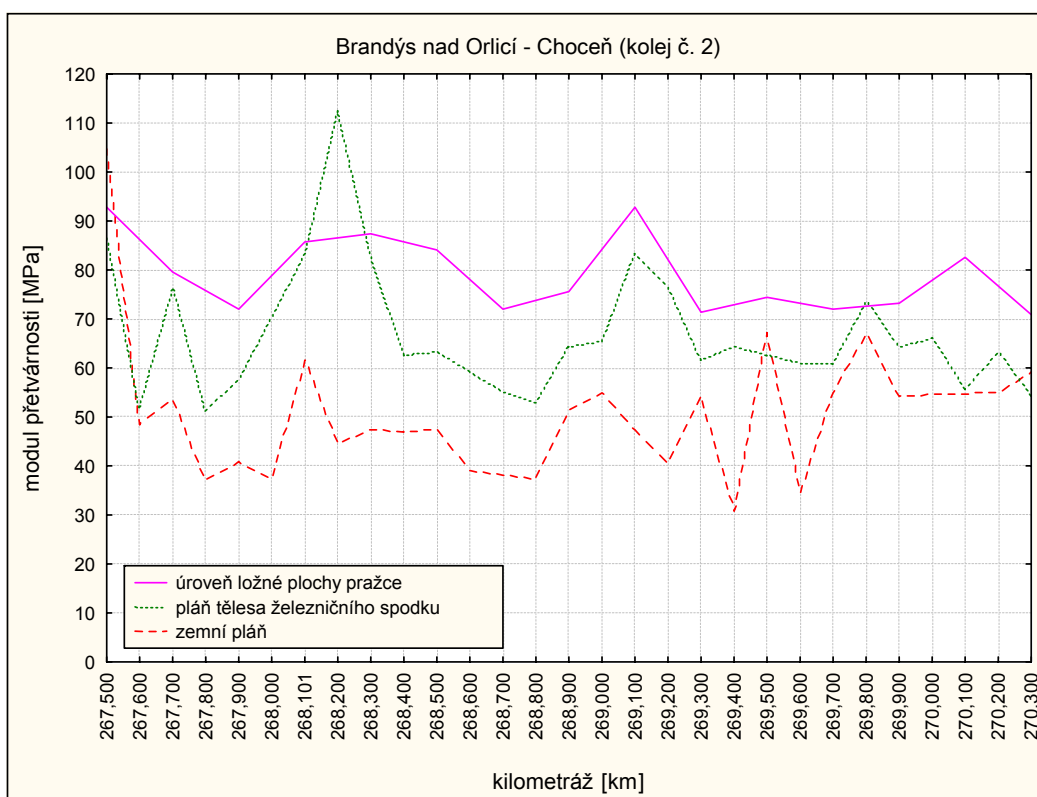
V traťových úsecích, kde byla zjišťována únosnost v jednotlivých úrovních – na zemní pláni, na pláni tělesa železničního spodku a v úrovni ložné plochy pražce – zpravidla nebyla dodržována stejná vzdálenost mezi nejbližšími měřeními v jednotlivých úrovních. Obecně lze konstatovat, že na zemní pláni a na pláni tělesa železničního spodku se statická zatěžovací zkouška provádí po cca 100 m, v úrovni ložné plochy pražce po cca 200 m. Tyto vzdálenosti se v závislosti na místních podmínkách, požadavcích investora nebo použité technologii patřičně upravují.

Grafy znázorňující průběhy modulů přetvárnosti v jednotlivých úrovních samostatně pro 1. a 2. traťovou kolej jsou zobrazeny na obr. 16 až obr. 29. Statistické vyhodnocení modulů přetvárnosti uvedených traťových úseků je uvedeno v textové podobě (tab. 3 - tab. 9) a v grafické podobě (obr. 30 - obr. 36).

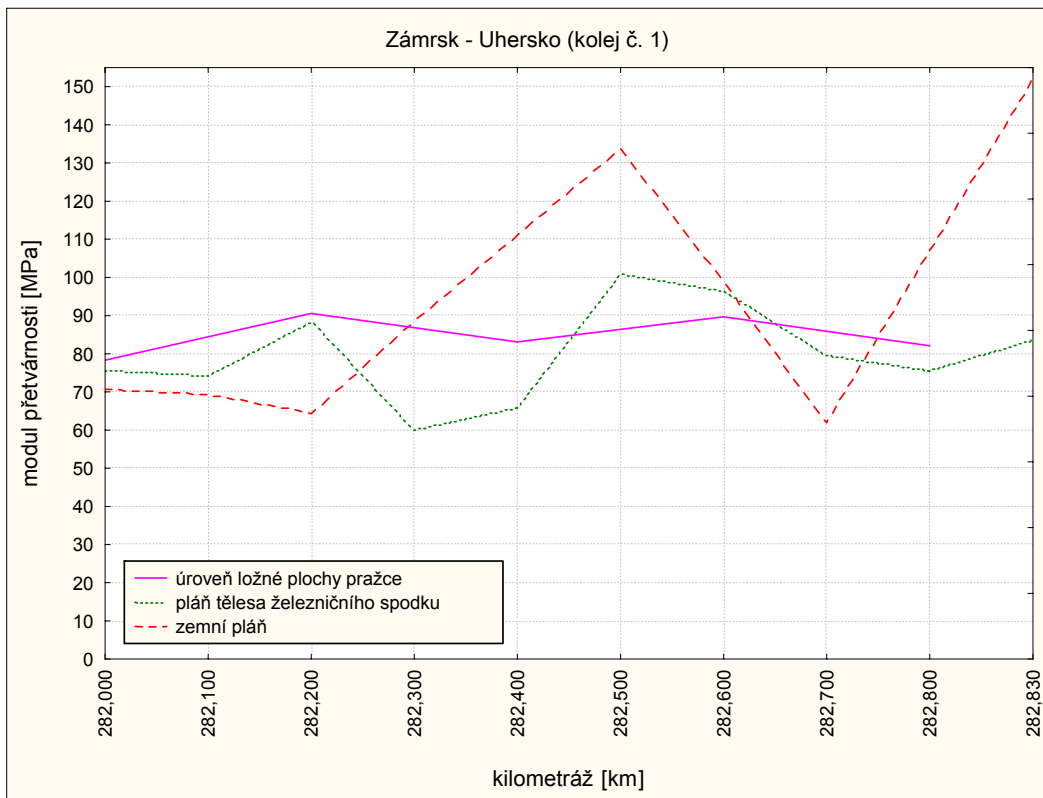
Kromě dosažení minimálních požadovaných hodnot únosnosti v jednotlivých výškových úrovních je důležité klást důraz i na dodržení homogenity hodnot únosnosti. Z uvedených popisných statistik vypovídají o homogenitě únosnosti v jednotlivých úrovních zejména minimální, průměrná a maximální hodnota současně se směrodatnou odchylkou. Minimální hodnota je pro každou úroveň stanovena podle druhu koleje a rychlosti, pro maximální hodnotu žádné omezení není. Směrodatná odchylka vyjadřují míru rozptýlenosti hodnot od průměrné hodnoty, přičemž s rostoucí směrodatnou odchylkou se homogenita únosnosti zhoršuje.



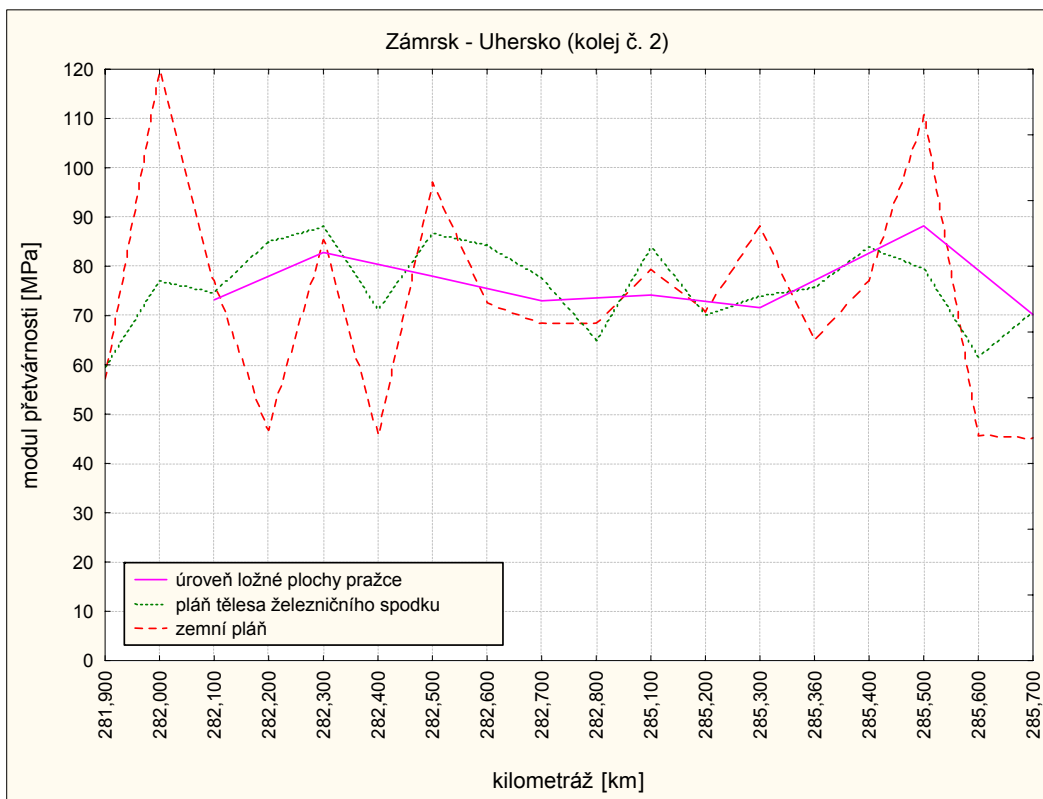
Obr. 16 Graf statických modulů přetvárnosti v úseku Brandýs nad Orlicí - Choceň (kolej č. 1)



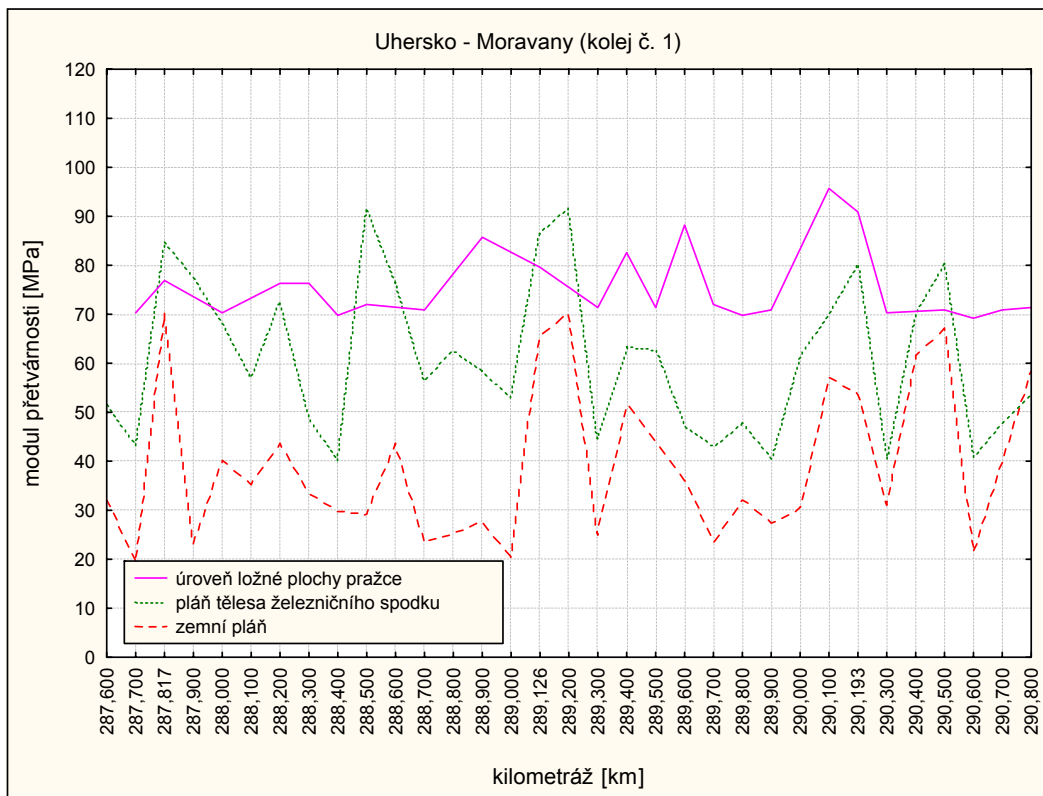
Obr. 17 Graf statických modulů přetvárnosti v úseku Brandýs nad Orlicí - Choceň (kolej č. 2)



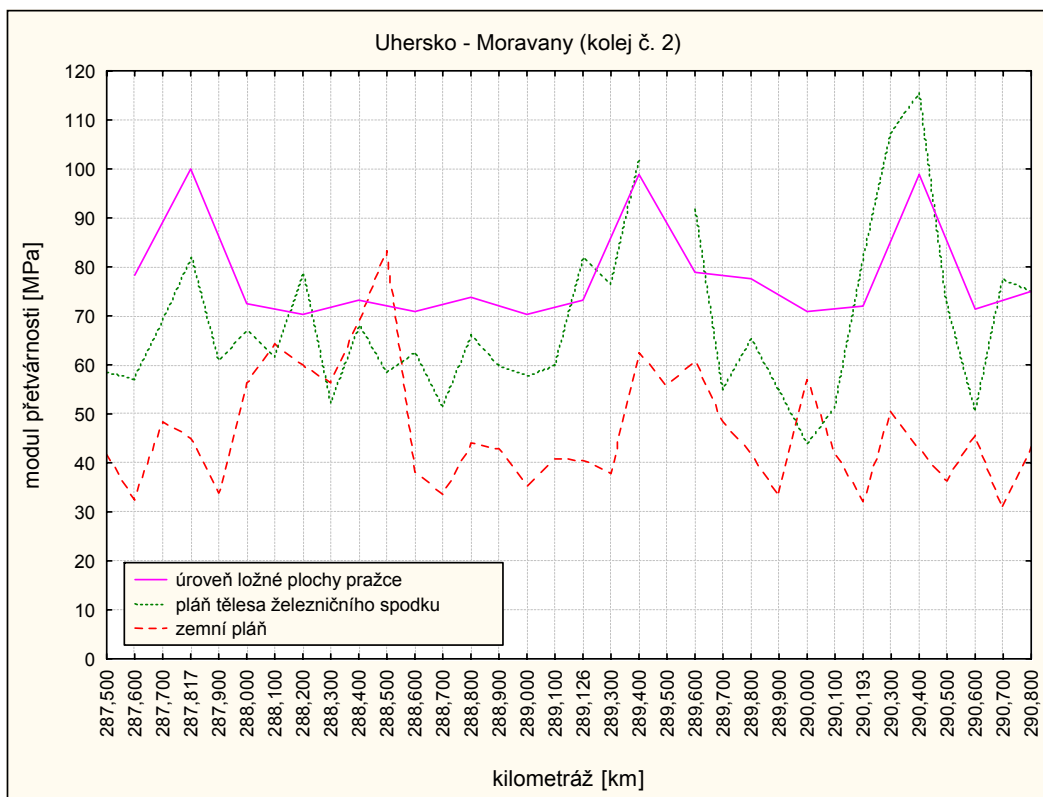
Obr. 18 Graf statických modulů přetvárnosti v úseku Zámorsk - Uhersko (kolej č. 1)



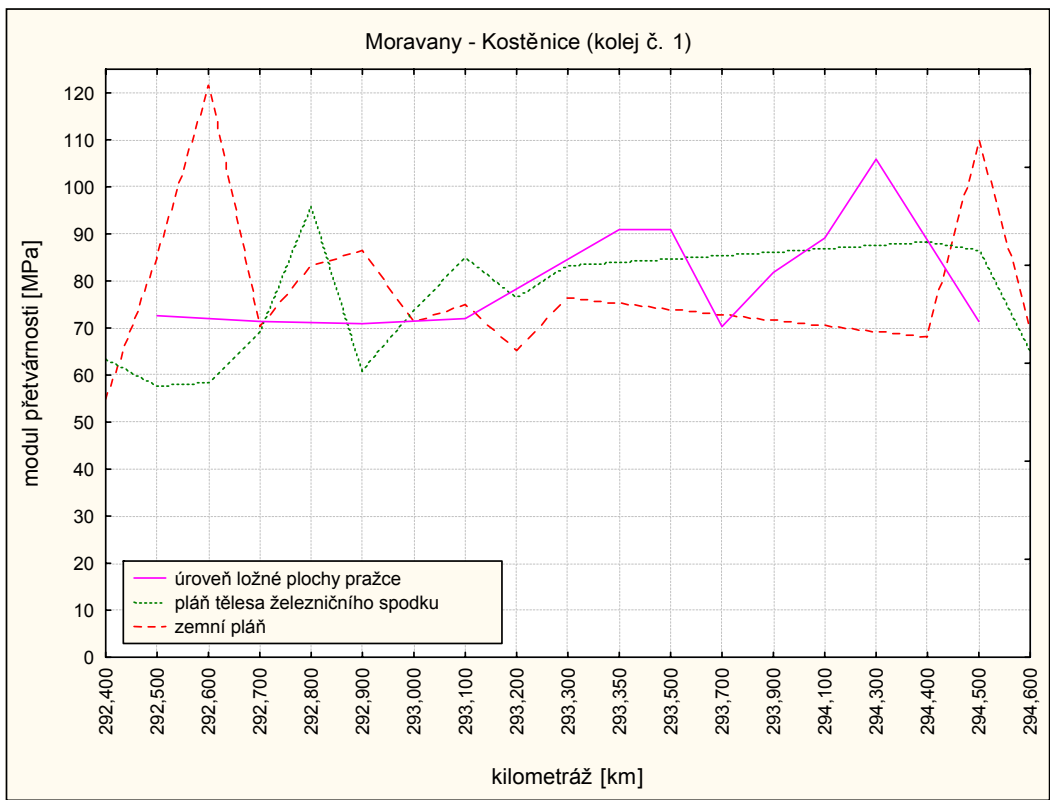
Obr. 19 Graf statických modulů přetvárnosti v úseku Zámorsk - Uhersko (kolej č. 2)



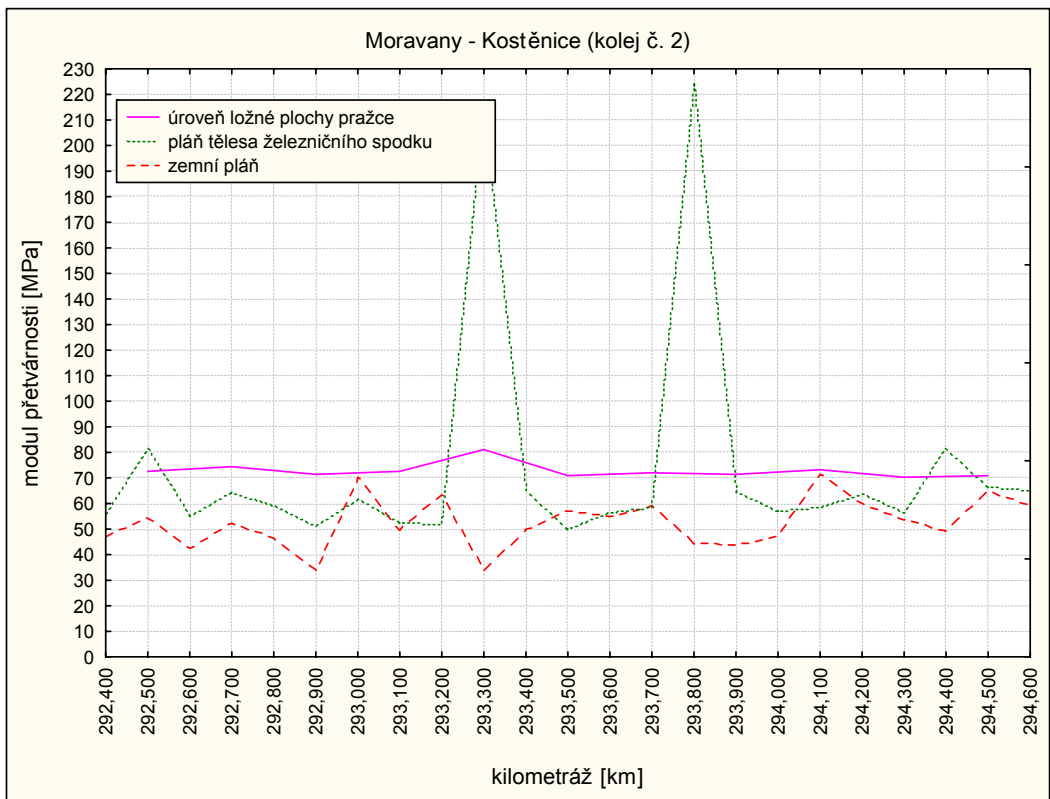
Obr. 20 Graf statických modulů přetvárnosti v úseku Uhersko - Moravany (kolej č. 1)



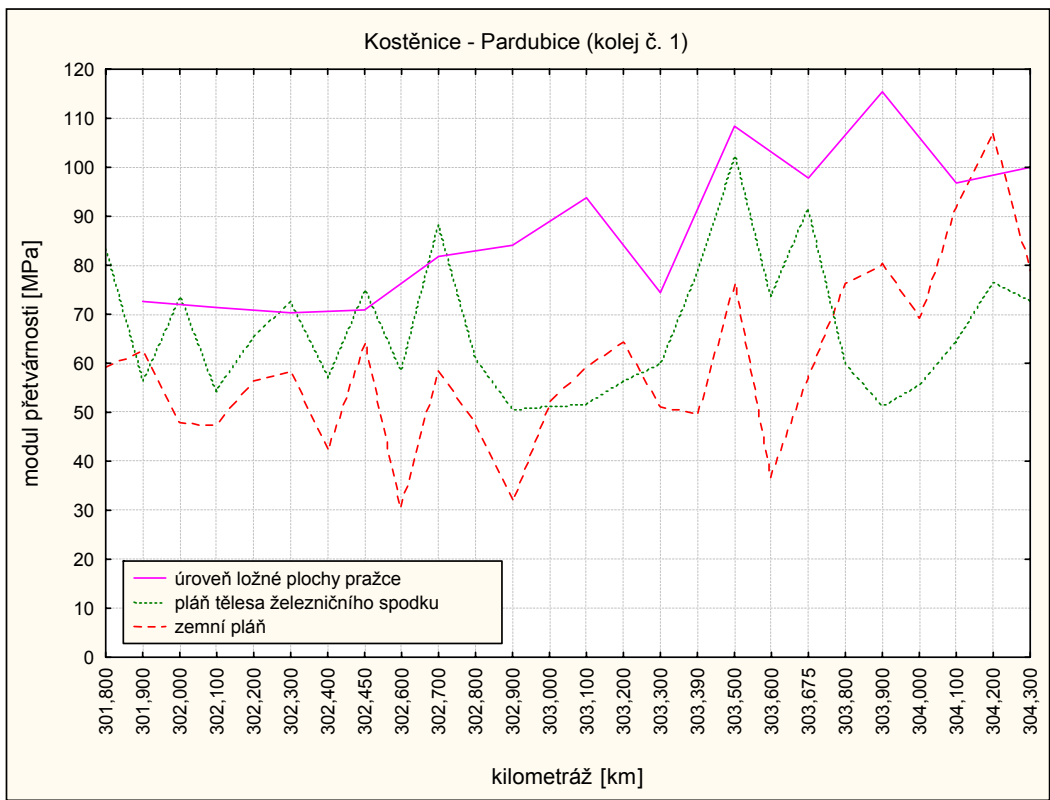
Obr. 21 Graf statických modulů přetvárnosti v úseku Uhersko - Moravany (kolej č. 2)



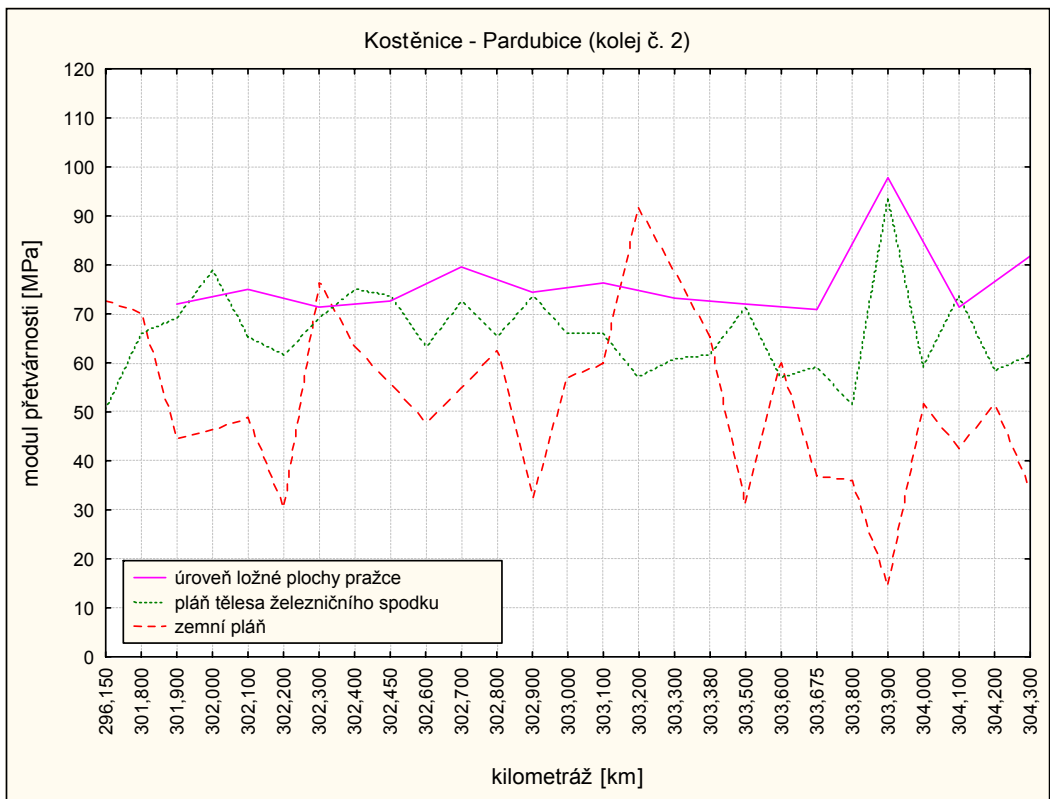
Obr. 22 Graf statických modulů přetvárnosti v úseku Moravany - Kostějnice (kolej č. 1)



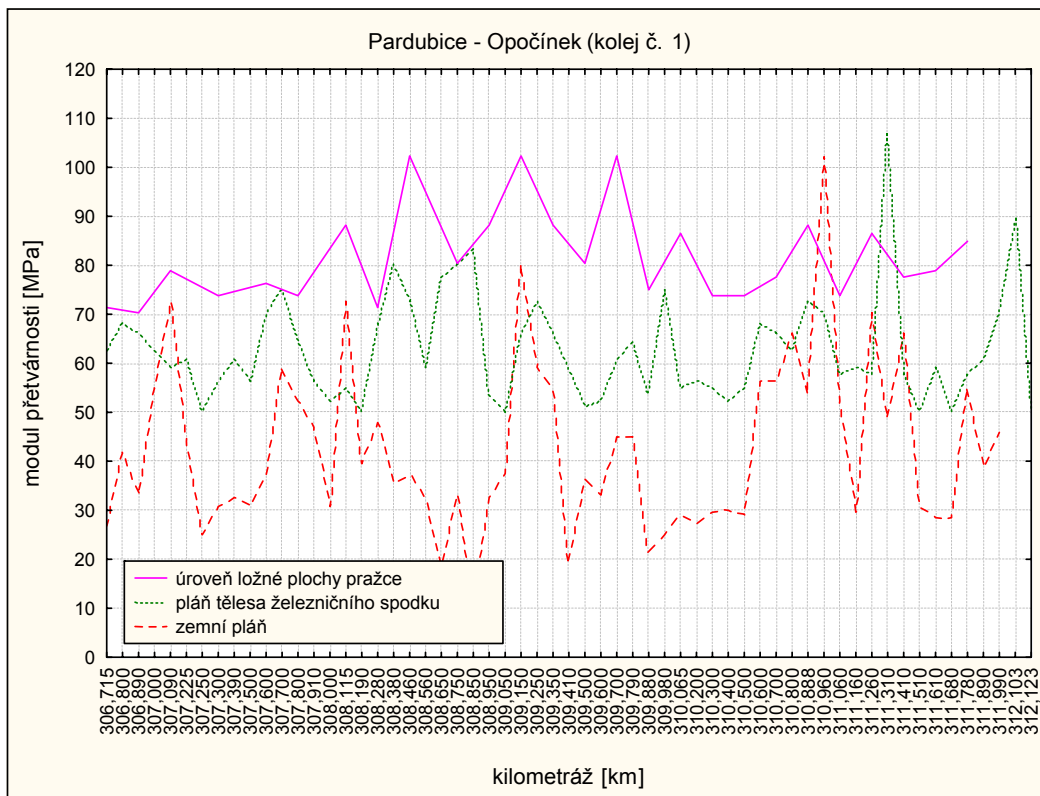
Obr. 23 Graf statických modulů přetvárnosti v úseku Moravany - Kostějnice (kolej č. 2)



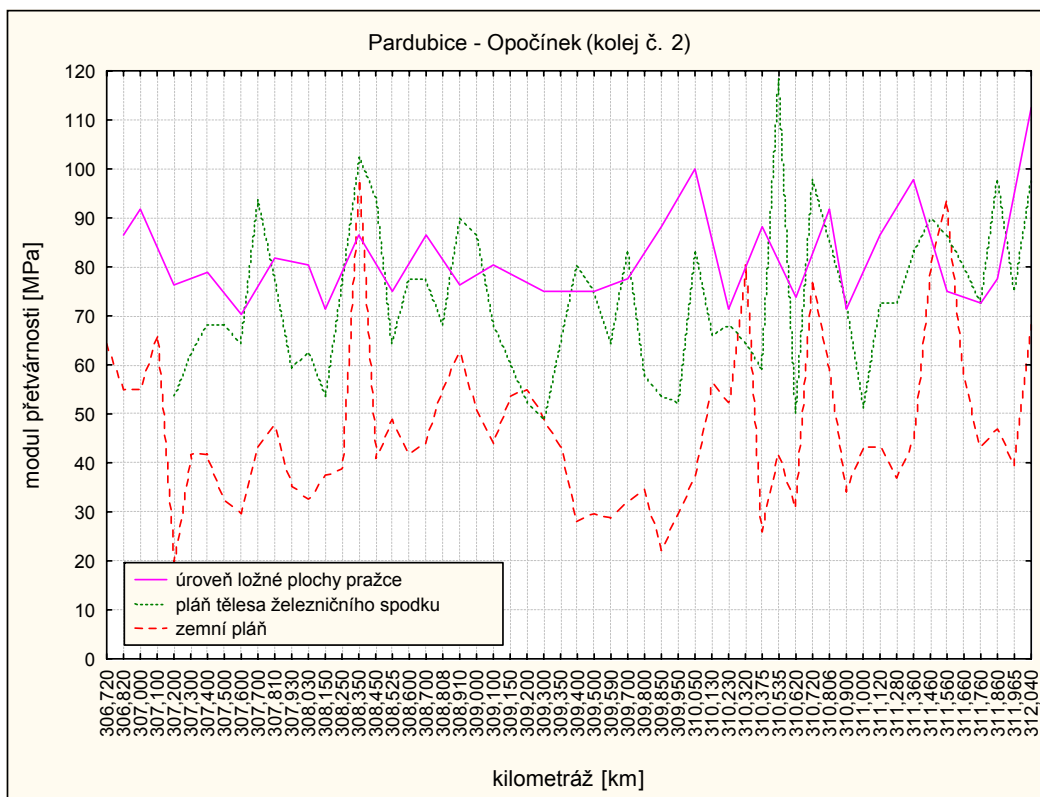
Obr. 24 Graf statických modulů přetvárnosti v úseku Kostěnice - Pardubice (kolej č. 1)



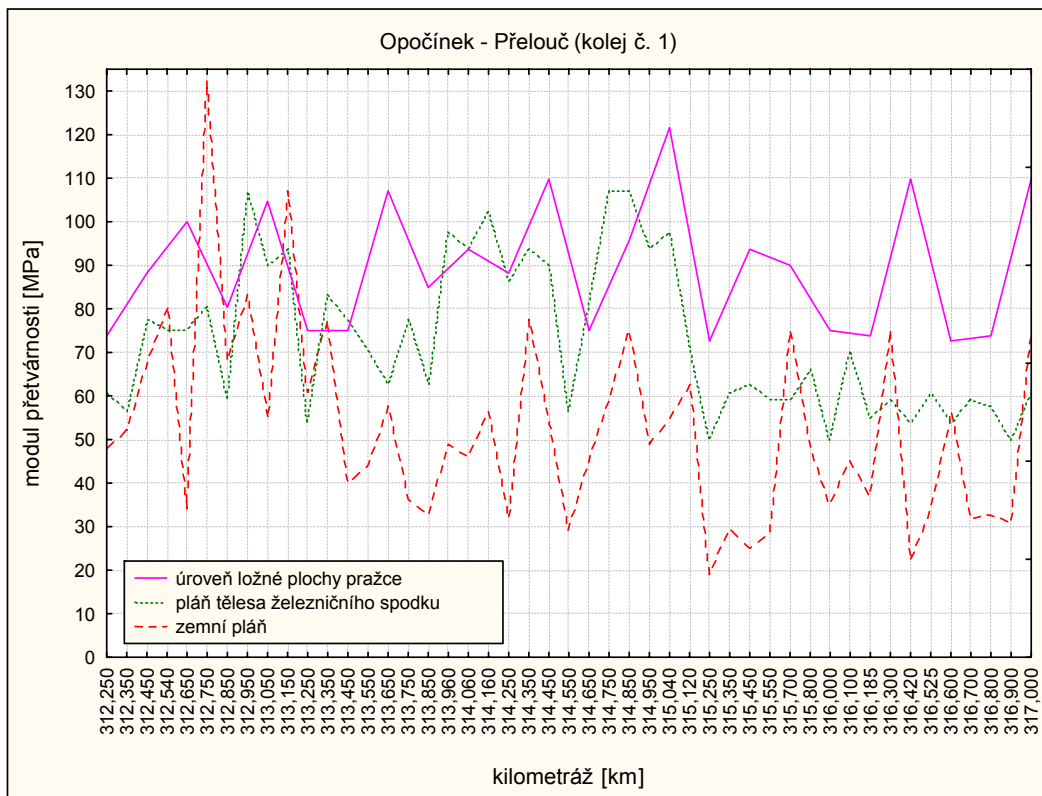
Obr. 25 Graf statických modulů přetvárnosti v úseku Kostěnice - Pardubice (kolej č. 2)



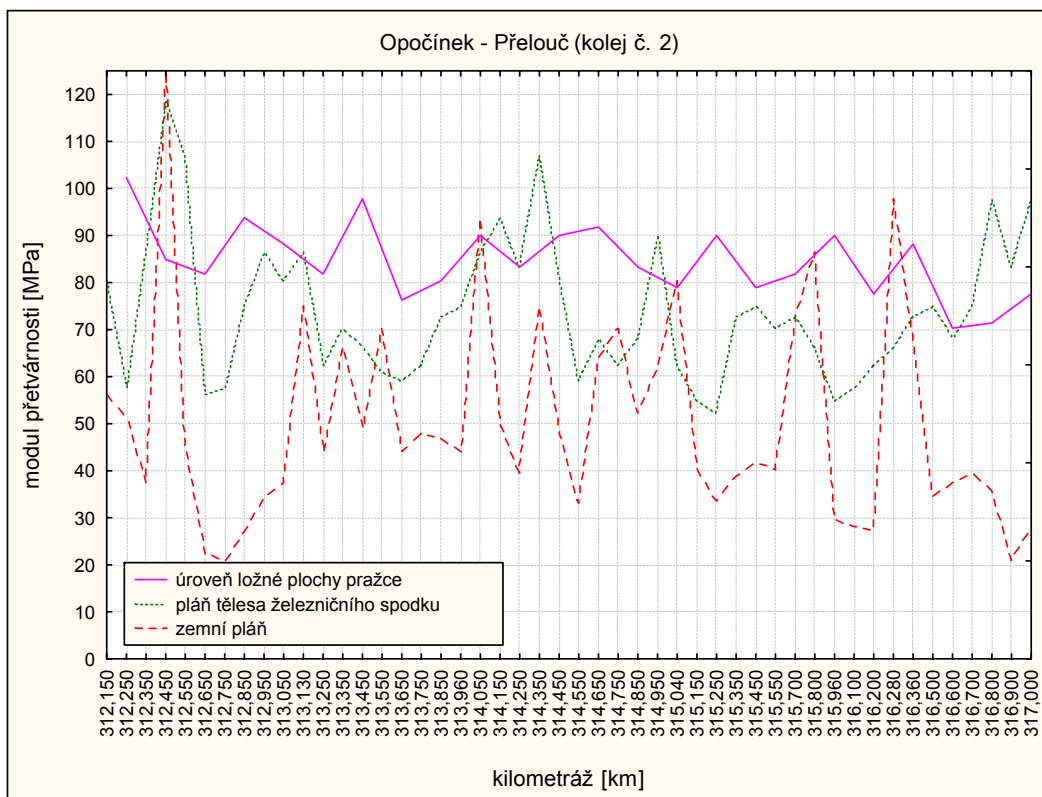
Obr. 26 Graf statických modulů přetvárnosti v úseku Pardubice - Opočíněk (kolej č. 1)



Obr. 27 Graf statických modulů přetvárnosti v úseku Pardubice - Opočíněk (kolej č. 2)



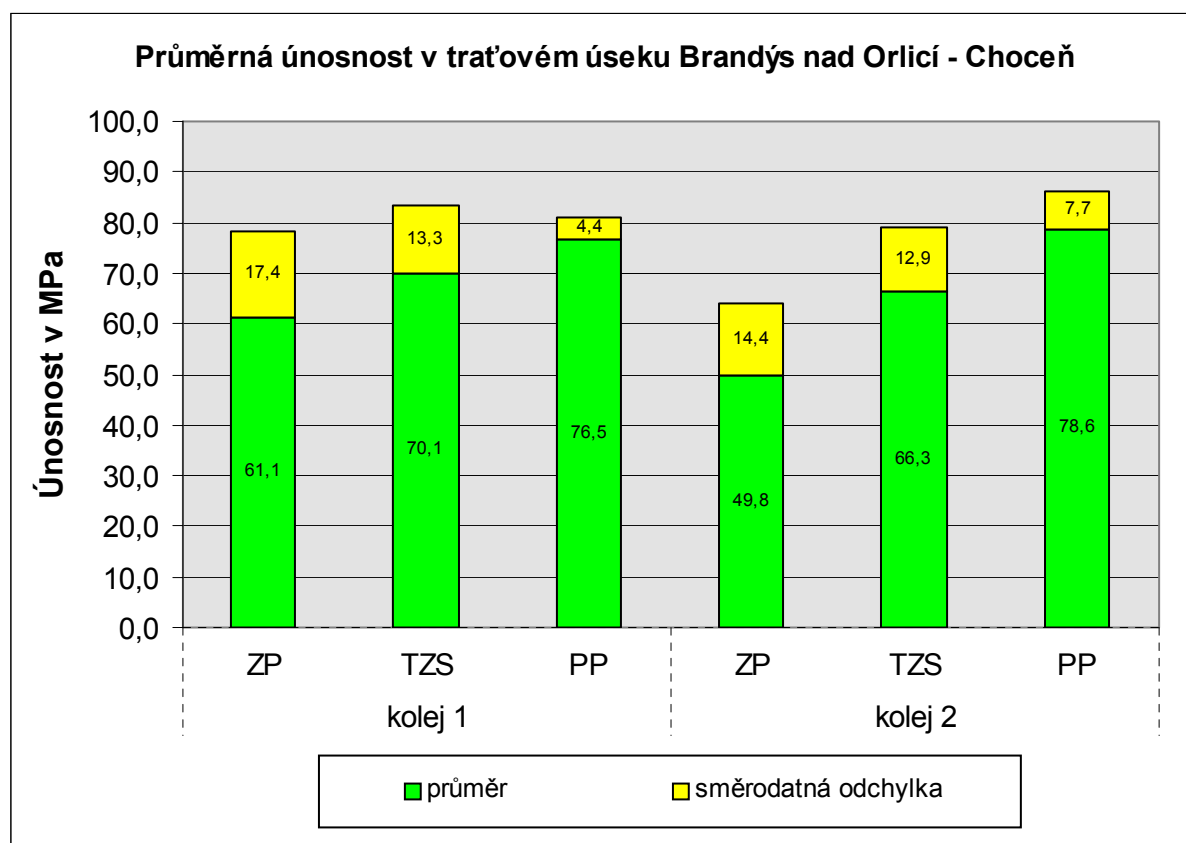
Obr. 28 Graf statických modulů přetvárnosti v úseku Opočinec - Přelouč (kolej č. 1)



Obr. 29 Graf statických modulů přetvárnosti v úseku Opočinec - Přelouč (kolej č. 2)

Tab. 3 Statistické vyhodnocení modulů přetvárnosti v traťovém úseku Brandýs nad Orlicí - Choceň

Popisná statistika	Brandýs nad Orlicí - Choceň					
	Kolej č. 1			Kolej č. 2		
	ZP	TZS	PP	ZP	TZS	PP
průměr [MPa]	61,1	70,1	76,5	49,8	66,3	78,6
medián [MPa]	60,8	69,2	75,0	47,4	63,4	75,0
směrodatná odchylka [MPa]	17,4	13,3	4,4	14,4	12,9	7,7
počet hodnot	23	29	15	26	28	14
minimum [MPa]	31,3	51,1	70,9	30,8	51,1	70,9
maximum [MPa]	97,8	100,0	84,9	104,7	112,5	92,8
dolní výběrový kvartil [MPa]	49,5	59,2	72,9	39,5	58,8	72,0
horní výběrový kvartil [MPa]	73,8	80,4	80,1	54,7	71,2	83,7
95% interval spolehlivosti [MPa]	7,1	4,8	2,2	5,5	4,8	4,0
90% interval spolehlivosti [MPa]	6,0	4,1	1,9	4,6	4,0	3,4

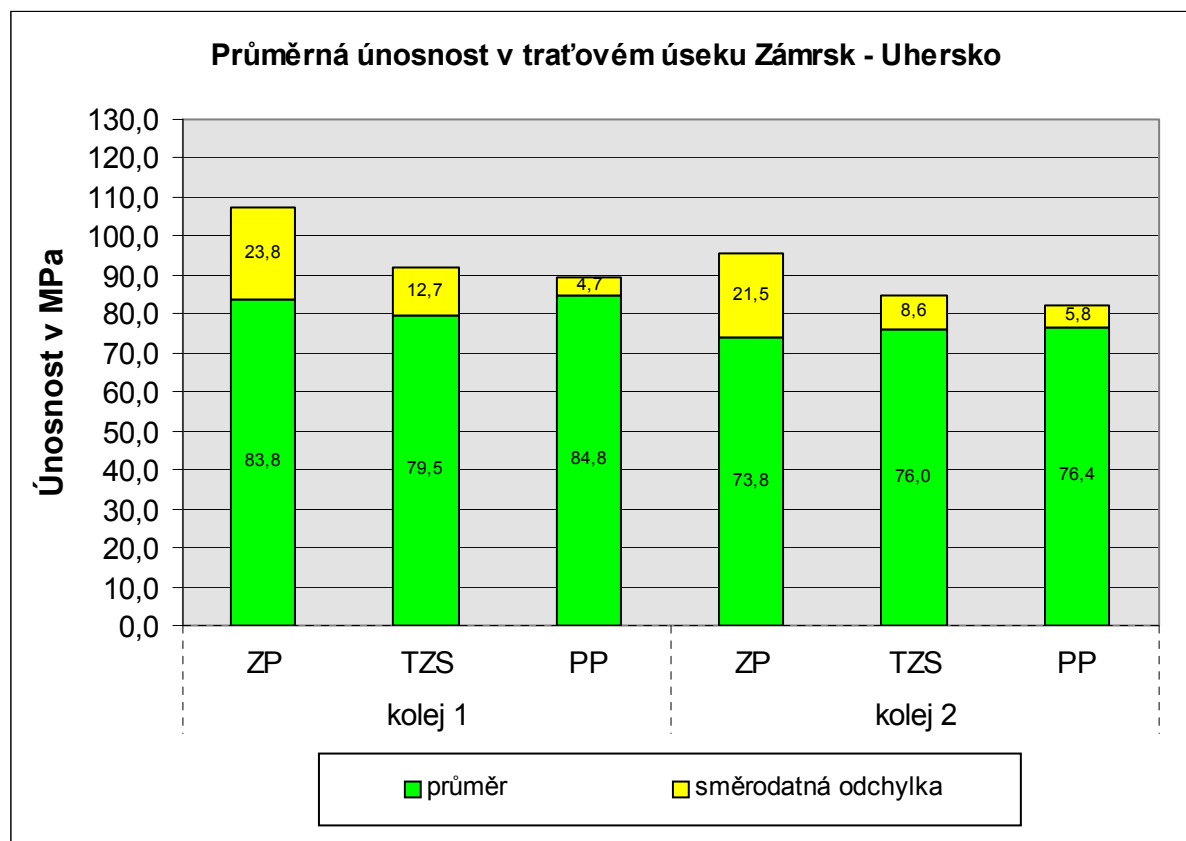


Obr. 30 Grafické vyjádření průměrné únosnosti v traťovém úseku Brandýs nad Orlicí - Choceň

Pozn.: ZP – zemní pláň, TZS – pláň tělesa železničního spodku, PP – úroveň ložné plochy pražce

Tab. 4 Statistické vyhodnocení modulů přetvárnosti v traťovém úseku Zámorsk - Uhersko

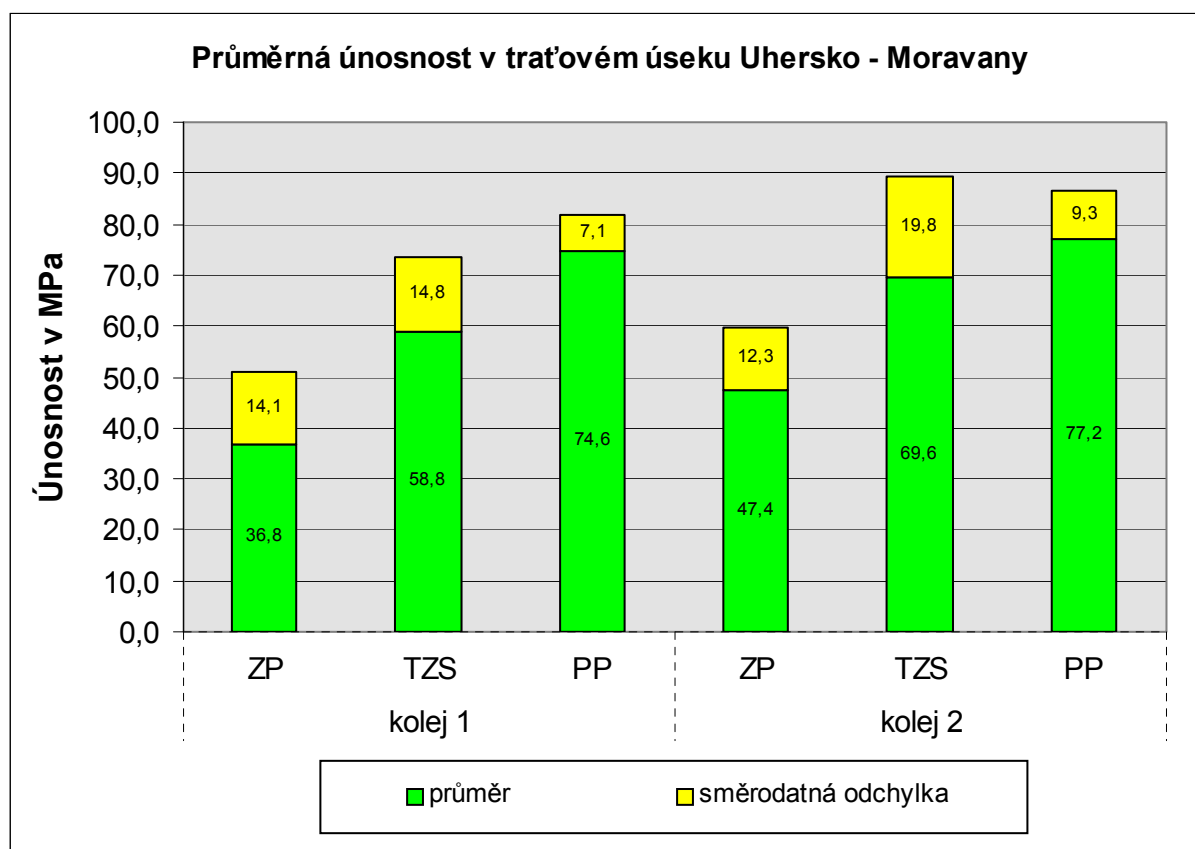
Popisná statistika	Zámorsk - Uhersko					
	Kolej č. 1			Kolej č. 2		
	ZP	TZS	PP	ZP	TZS	PP
průměr [MPa]	83,8	79,5	84,8	73,8	76,0	76,4
medián [MPa]	70,7	75,4	83,1	72,6	77,1	73,7
směrodatná odchylka [MPa]	23,8	12,7	4,7	21,5	8,6	5,8
počet hodnot	7	9	5	17	17	8
minimum [MPa]	61,9	60,0	78,3	45,2	59,5	70,2
maximum [MPa]	133,7	100,8	90,6	119,5	88,2	88,2
dolní výběrový kvartil [MPa]	66,8	74,2	82,1	57,2	70,7	72,7
horní výběrový kvartil [MPa]	93,4	88,2	89,7	85,4	83,9	79,2
95% interval spolehlivosti [MPa]	17,6	8,3	4,1	10,2	4,1	4,0
90% interval spolehlivosti [MPa]	14,8	6,9	3,5	8,6	3,4	3,4



Obr. 31 Grafické vyjádření průměrné únosnosti v traťovém úseku Zámorsk - Uhersko

Tab. 5 Statistické vyhodnocení modulů přetvárnosti v traťovém úseku Uhersko - Moravany

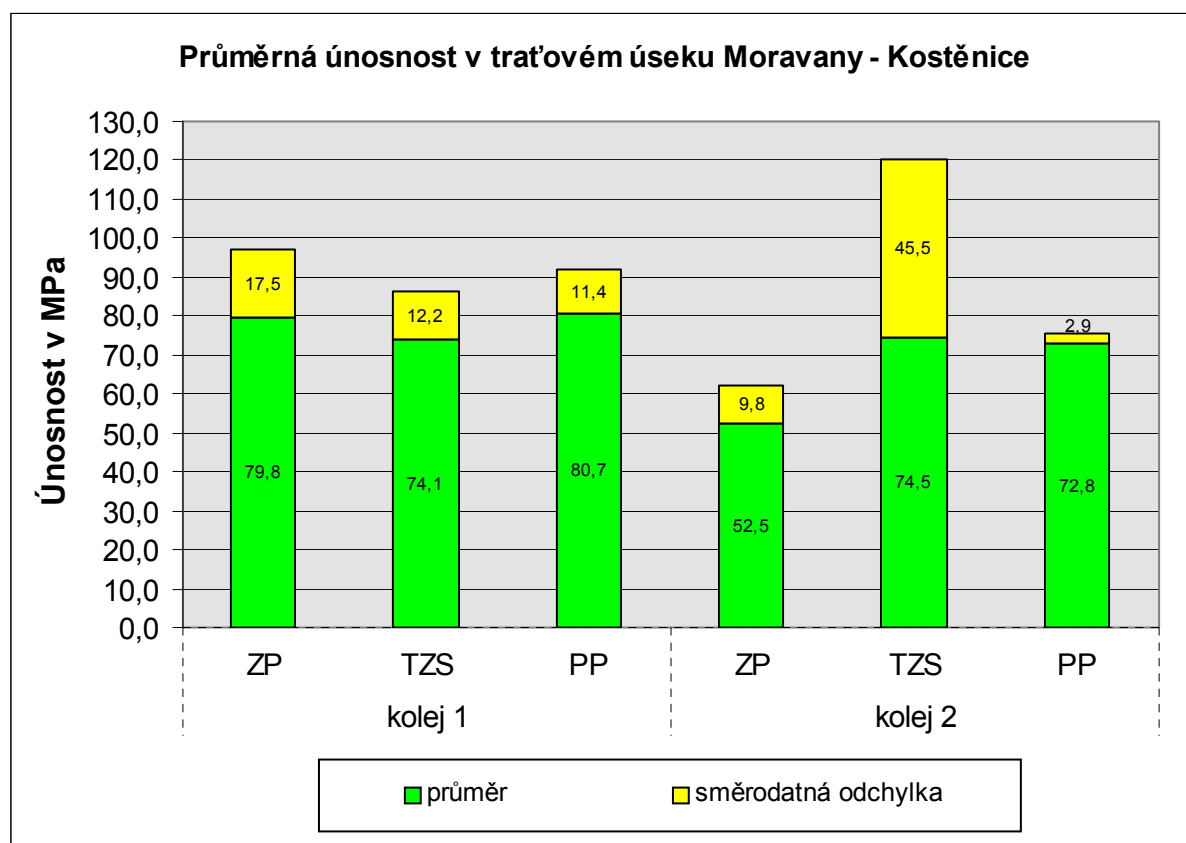
Popisná statistika	Uhersko - Moravany					
	Kolej č. 1			Kolej č. 2		
	ZP	TZS	PP	ZP	TZS	PP
průměr [MPa]	36,8	58,8	74,6	47,4	69,6	77,2
medián [MPa]	32,1	56,7	71,4	43,3	62,5	73,5
směrodatná odchylka [MPa]	14,1	14,8	7,1	12,3	19,8	9,3
počet hodnot	30	30	21	31	31	14
minimum [MPa]	19,4	40,2	69,2	30,8	44,1	70,3
maximum [MPa]	70,3	91,8	95,7	83,3	128,6	98,9
dolní výběrový kvartil [MPa]	25,7	47,2	70,3	38,0	57,4	71,0
horní výběrový kvartil [MPa]	43,7	69,8	76,3	56,3	75,7	78,1
95% interval spolehlivosti [MPa]	5,0	5,3	3,0	4,3	7,0	4,9
90% interval spolehlivosti [MPa]	4,2	4,4	2,5	3,6	5,8	4,1



Obr. 32 Grafické vyjádření průměrné únosnosti v traťovém úseku Uhersko - Moravany

Tab. 6 Statistické vyhodnocení modulů přetvárnosti v traťovém úseku Moravany - Kostějnice

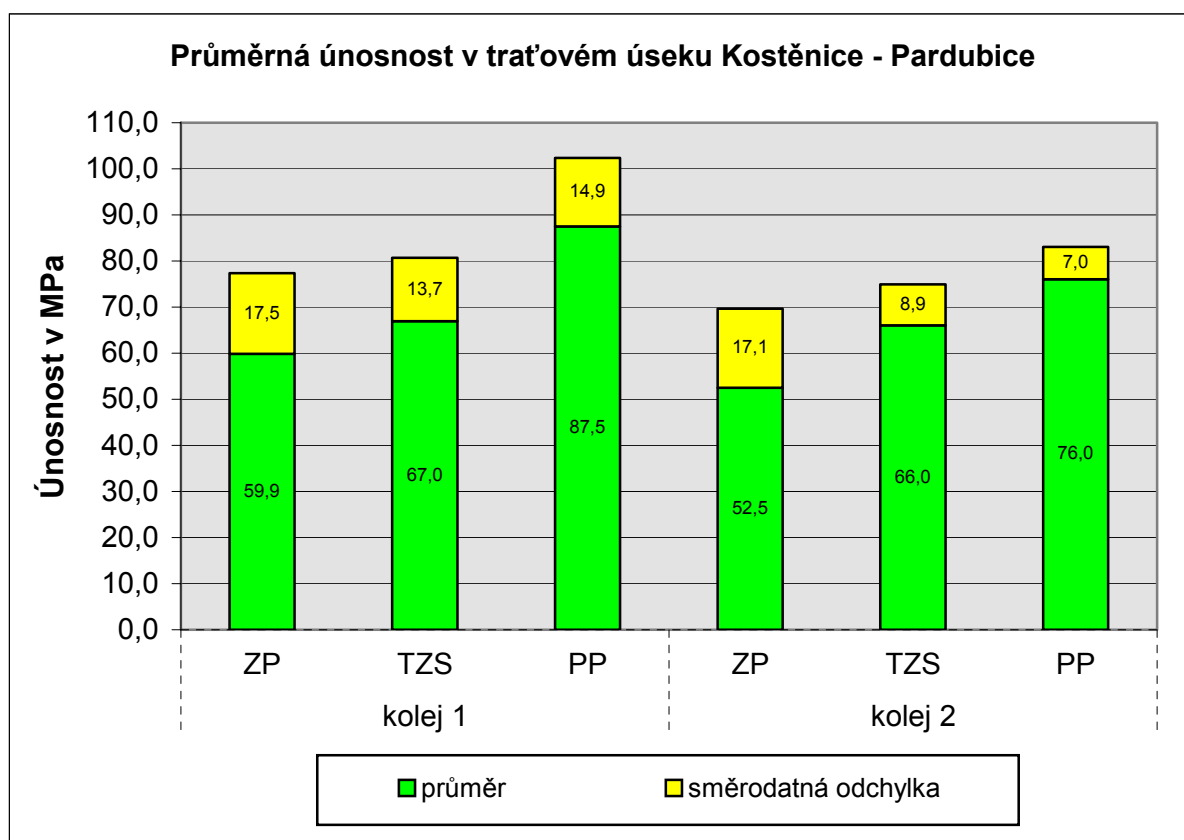
Popisná statistika	Moravany - Kostějnice					
	Kolej č. 1			Kolej č. 2		
	ZP	TZS	PP	ZP	TZS	PP
průměr [MPa]	79,8	74,1	80,7	52,5	74,5	72,8
medián [MPa]	75,0	73,8	72,6	52,3	59,2	72,0
směrodatná odchylka [MPa]	17,5	12,2	11,4	9,8	45,5	2,9
počet hodnot	13	13	11	23	23	11
minimum [MPa]	54,9	57,7	70,3	33,8	50,0	70,3
maximum [MPa]	121,6	95,7	105,9	71,4	225,0	81,1
dolní výběrový kvartil [MPa]	70,3	63,4	71,4	46,7	56,0	71,2
horní výběrový kvartil [MPa]	84,9	84,9	90,0	59,2	65,2	72,9
95% interval spolehlivosti [MPa]	9,5	6,6	6,7	4,0	18,6	1,7
90% interval spolehlivosti [MPa]	8,0	5,6	5,7	3,3	15,6	1,4



Obr. 33 Grafické vyjádření průměrné únosnosti v traťovém úseku Moravany - Kostějnice

Tab. 7 Statistické vyhodnocení modulů přetvárnosti v traťovém úseku Kostěnice - Pardubice

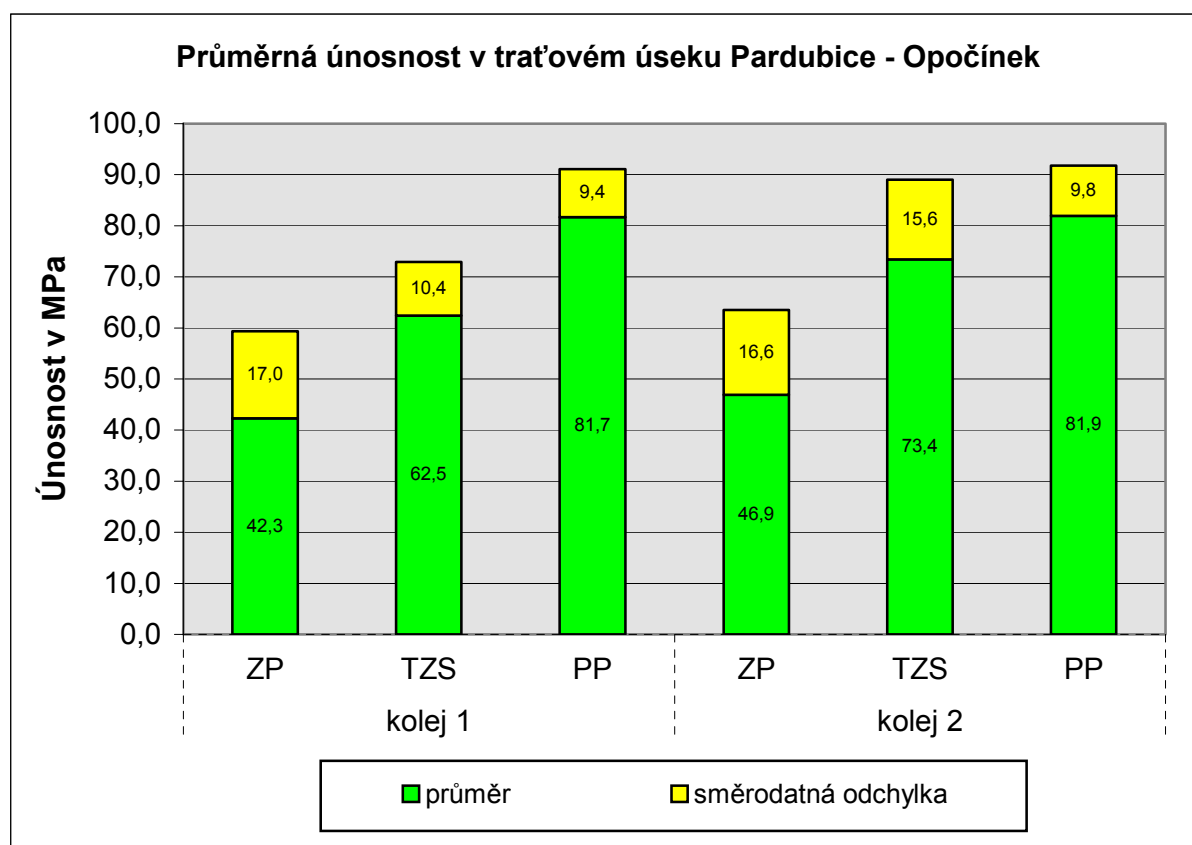
Popisná statistika	Kostěnice - Pardubice					
	Kolej č. 1			Kolej č. 2		
	ZP	TZS	PP	ZP	TZS	PP
průměr [MPa]	59,9	67,0	87,5	52,5	66,0	76,0
medián [MPa]	58,4	62,6	84,1	51,7	65,2	73,2
směrodatná odchylka [MPa]	17,5	13,7	14,9	17,1	8,9	7,0
počet hodnot	26	26	13	27	27	13
minimum [MPa]	30,4	50,6	70,3	14,7	50,6	70,9
maximum [MPa]	107,1	102,3	115,4	91,8	93,8	97,8
dolní výběrový kvartil [MPa]	48,3	56,3	72,6	39,7	60,0	72,0
horní výběrový kvartil [MPa]	68,0	74,7	97,8	63,0	72,0	76,3
95% interval spolehlivosti [MPa]	6,7	5,3	8,1	6,5	3,4	3,8
90% interval spolehlivosti [MPa]	5,6	4,4	6,8	5,4	2,8	3,2



Obr. 34 Grafické vyjádření průměrné únosnosti v traťovém úseku Kostěnice - Pardubice

Tab. 8 Statistické vyhodnocení modulů přetvárnosti v traťovém úseku Pardubice - Opočíněk

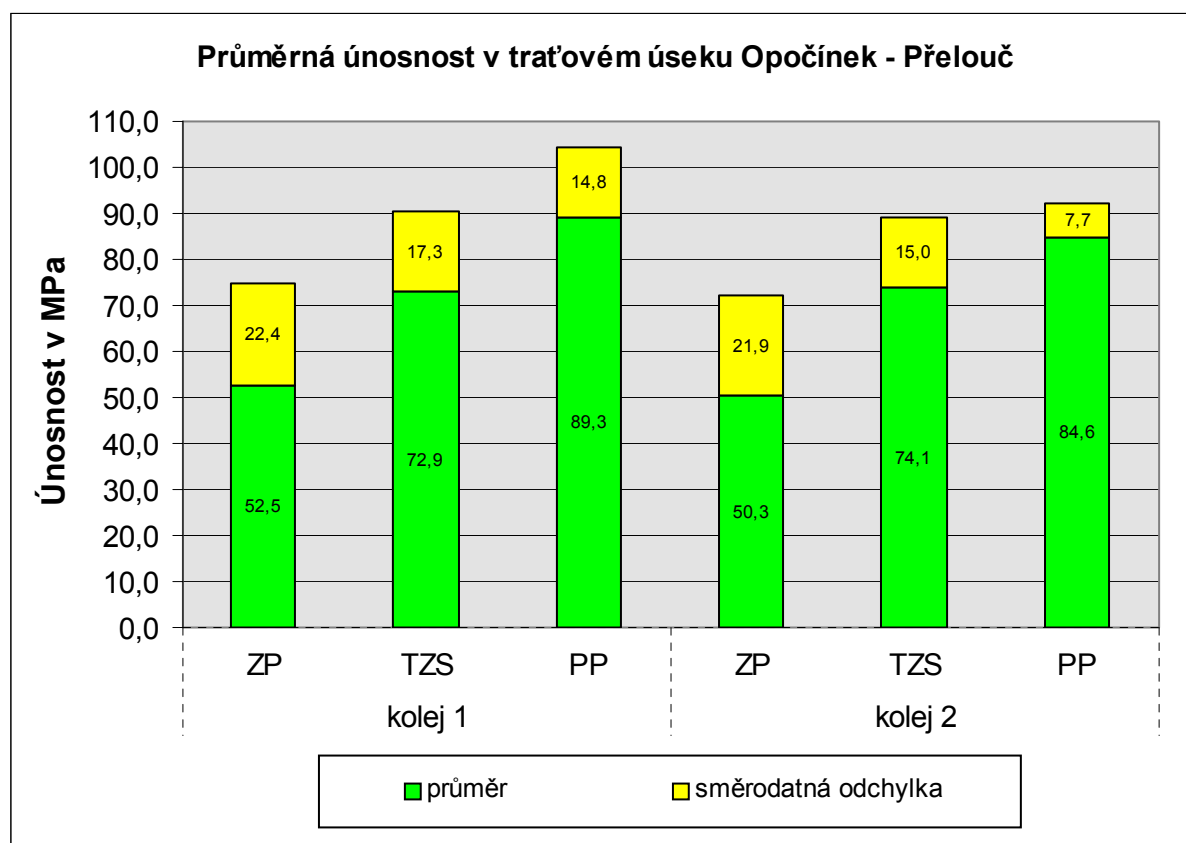
Popisná statistika	Pardubice - Opočíněk					
	Kolej č. 1			Kolej č. 2		
	ZP	TZS	PP	ZP	TZS	PP
průměr [MPa]	42,3	62,5	81,7	46,9	73,4	81,9
medián [MPa]	37,5	60,0	78,9	43,3	72,6	78,9
směrodatná odchylka [MPa]	17,0	10,4	9,4	16,6	15,6	9,8
počet hodnot	58	58	26	56	49	29
minimum [MPa]	8,8	50,0	70,3	19,7	48,9	70,3
maximum [MPa]	102,3	107,1	102,3	97,8	118,4	112,5
dolní výběrový kvartil [MPa]	30,2	54,9	73,8	35,1	62,5	75,0
horní výběrový kvartil [MPa]	53,3	68,2	87,8	54,9	83,3	86,5
95% interval spolehlivosti [MPa]	4,4	2,7	3,6	4,3	4,4	3,6
90% interval spolehlivosti [MPa]	3,7	2,3	3,0	3,6	3,7	3,0



Obr. 35 Grafické vyjádření průměrné únosnosti v traťovém úseku Pardubice - Opočíněk

Tab. 9 Statistické vyhodnocení modulů přetvárnosti v traťovém úseku Opočíněk - Přelouč

Popisná statistika	Opočíněk - Přelouč					
	Kolej č. 1			Kolej č. 2		
	ZP	TZS	PP	ZP	TZS	PP
průměr [MPa]	52,5	72,9	89,3	50,3	74,1	84,6
medián [MPa]	48,9	70,3	88,2	44,1	72,6	83,3
směrodatná odchylka [MPa]	22,4	17,3	14,8	21,9	15,0	7,7
počet hodnot	47	47	24	48	48	24
minimum [MPa]	19,1	50,0	72,6	20,8	52,3	70,3
maximum [MPa]	132,4	107,1	121,6	125,0	118,4	102,3
dolní výběrový kvartil [MPa]	34,1	59,2	75,0	35,4	62,5	78,9
horní výběrový kvartil [MPa]	65,4	88,3	101,2	64,8	83,3	90,0
95% interval spolehlivosti [MPa]	6,4	5,0	5,9	6,2	4,2	3,1
90% interval spolehlivosti [MPa]	5,4	4,2	5,0	5,2	3,6	2,6



Obr. 36 Grafické vyjádření průměrné únosnosti v traťovém úseku Opočíněk – Přelouč

Porovnáním výsledků z jednotlivých kolejí jednotlivých traťových úseků bylo možné přistoupit ke klasifikaci homogenity únosnosti. Jako klíčový parametr byla vybrána statistická odchylka únosnosti. Průměrné hodnoty statistické odchylky za všechny úseky a obě koleje vycházejí:

- pro zemní pláň - 18,0 MPa,
- pro pláň tělesa železničního spodku - 15,0 MPa; při vyloučení jedné extrémně vysoké hodnoty (45,5 MPa) vychází průměrná hodnota 12,6 MPa,
- pro úroveň ložné plochy pražce - 8,1 MPa.

Na základě dosažených průměrných hodnot statistických odchylek bylo navrženo zatřídění únosnosti podle její homogenity v jednotlivých výškových úrovních (viz tab. 10).

Tab. 10 Zatřídění únosnosti podle její homogenity v jednotlivých výškových úrovních

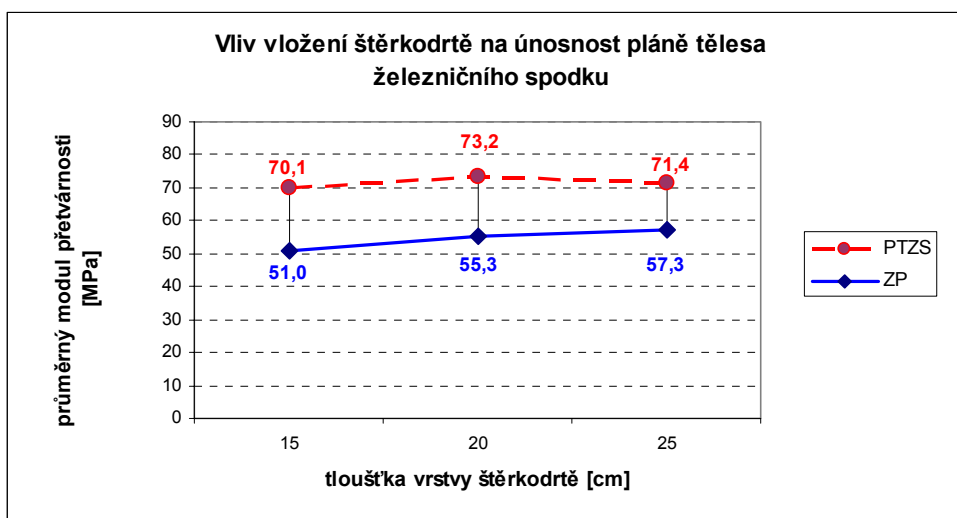
úroveň	únosnost		
	homogenní	relativně dobře homogenní	nehomogenní
	směrodatná odchylka únosnosti [MPa]		
zemní pláň	< 16	16 - 20	> 20
pláň tělesa železničního spodku	< 13	13 - 15	> 15
úroveň ložné plochy pražce	< 6	6 - 10	> 10

7.4 Vliv geotextilie na únosnost pláně tělesa železničního spodku

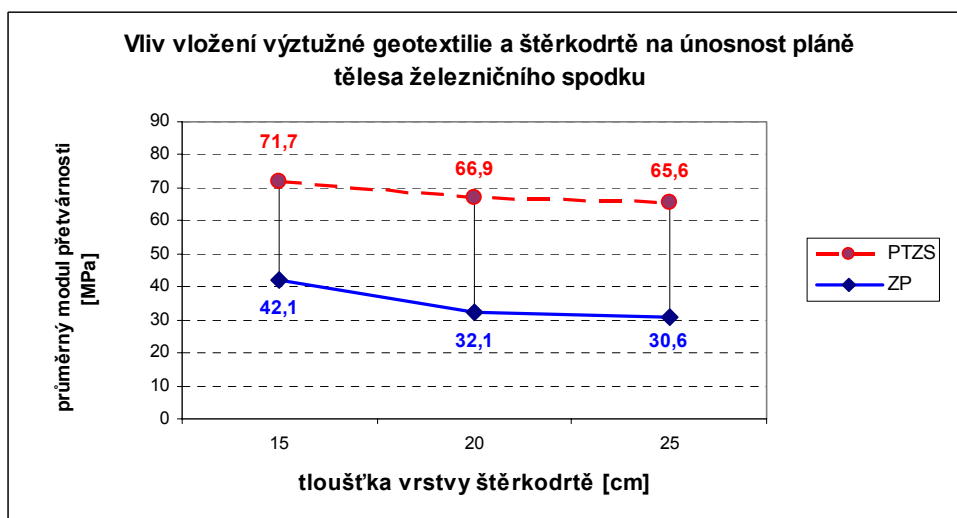
Do konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku lze použít propustné technické textilie vyrobené ze syntetických vláken, tzv. geotextilie. Geotextilie plní v konstrukční vrstvě tělesa železničního spodku tyto hlavní funkce, případně jejich kombinace:

- separační,
- filtrační,
- výztužnou,
- drenážní,
- ochrannou.

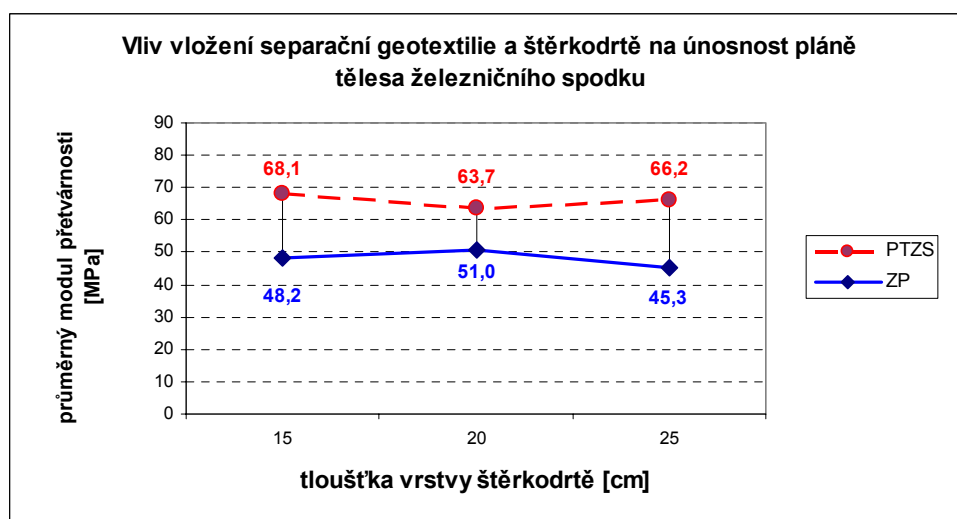
Databáze obsahuje 107 případů konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku s geotextilií a štěrkodrtí. Pro porovnání bylo použito 327 případů konstrukční vrstvy pouze ze štěrkodrtě. Vyhodnocení těchto případů z hlediska vlivu vložení jednotlivých materiálů do konstrukčních vrstev tělesa železničního spodku na únosnost pláně tělesa železničního spodku je na obr. 37 až obr. 40. Zvýšení únosnosti pláně tělesa železničního spodku od únosnosti zemní pláně v závislosti na druhu použité geotextilie a tloušťce konstrukční vrstvy ze štěrkodrtě je na obr. 41 (vyjádřeno v MPa) a na obr. 42 (vyjádřeno v %).



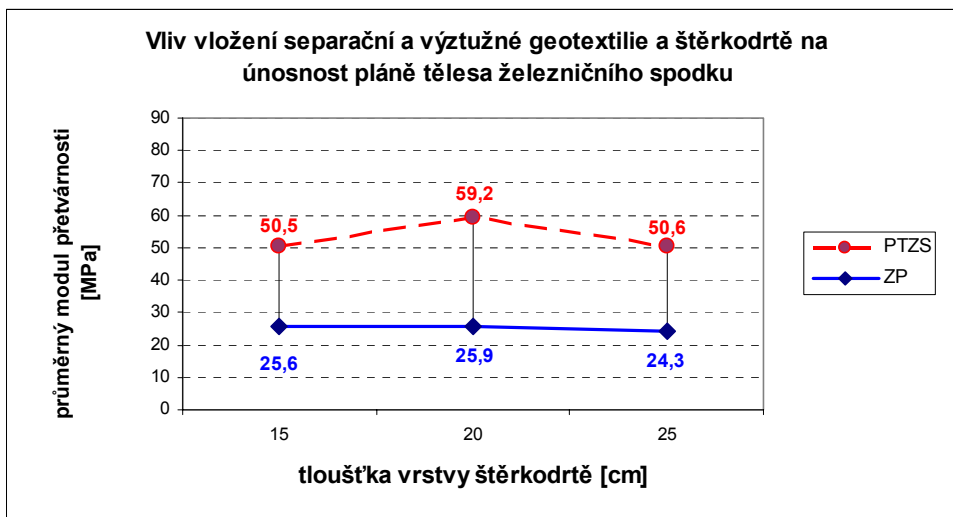
Obr. 37 Vliv vložení štěrkodrtě na únosnost pláně tělesa železničního spodku



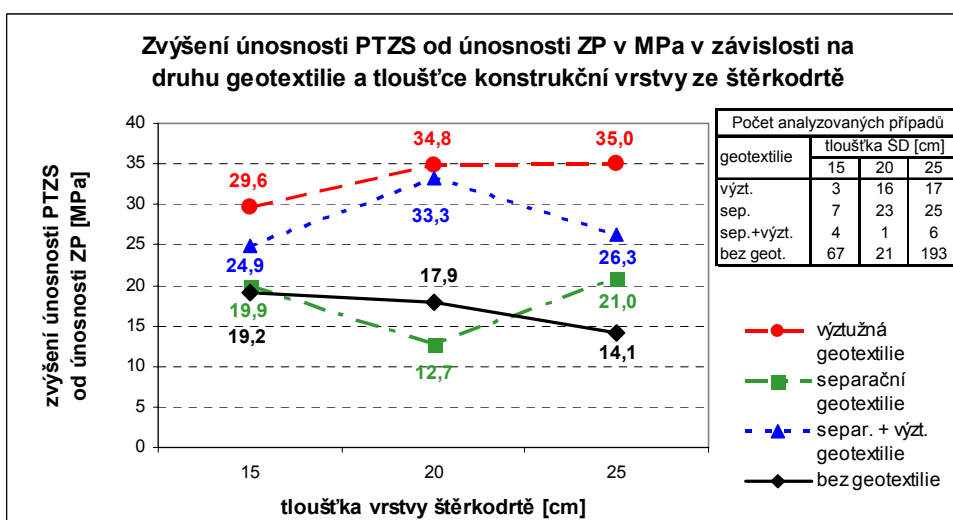
Obr. 38 Vliv vložení výztužné geotextilie a štěrkodrtě na únosnost pláně tělesa železničního spodku



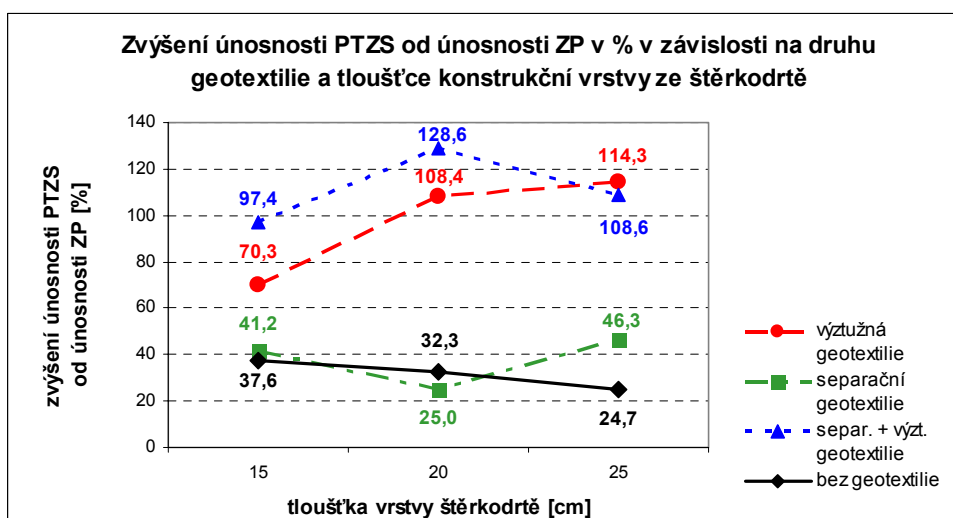
Obr. 39 Vliv vložení separační geotextilie a štěrkodrtě na únosnost pláně tělesa železničního spodku



Obr. 40 Vliv vložení separační i výztužné geotextilie a šterkodrtě na únosnost pláně tělesa železničního spodku



Obr. 41 Zvýšení únosnosti pláně tělesa železničního spodku od únosnosti zemní pláně při použití geotextilie v MPa



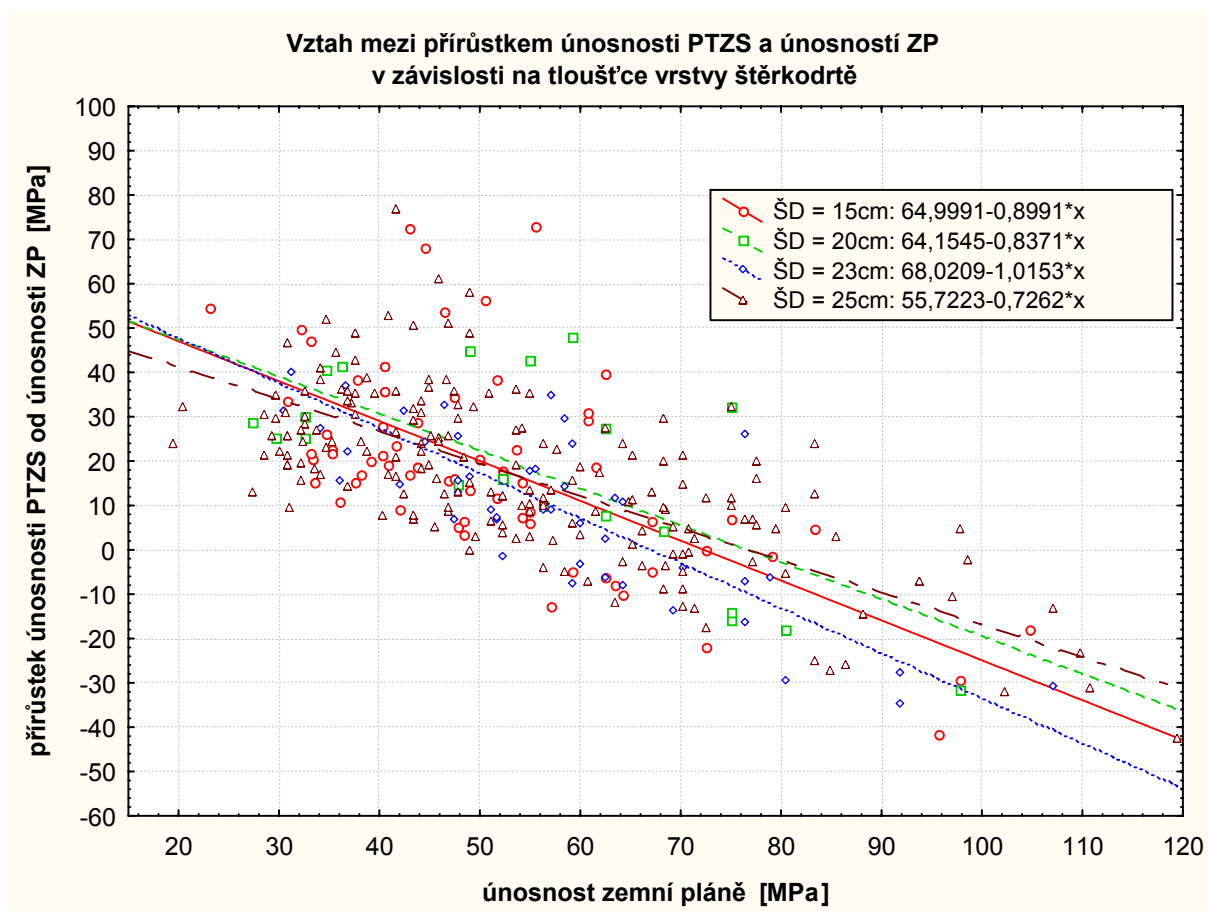
Obr. 42 Zvýšení únosnosti pláně tělesa železničního spodku od únosnosti zemní pláně při použití geotextilie v %

Na obr. 37 je patrný poněkud paradoxní jev, a sice, že při vyšší průměrné hodnotě únosnosti zemní pláně byla použita větší tloušťka konstrukční vrstvy ze štěrkodrtě.

Z tabulky na obr. 41 je zřejmé, že celkový počet analyzovaných případů není rovnoměrně zastoupen v jednotlivých tloušťkách a druzích použité geotextilie. I přesto je z grafických průběhů patrné zvýšení únosnosti pláně tělesa železničního spodku vzhledem ke zjištěné únosnosti zemní pláně zejména při použití výztužné geotextilie. U konstrukční vrstvy ze štěrkodrtě tloušťky 15 cm činí zvýšení o 9,7 MPa od průměrného případu bez použití geotextilie, u tloušťky 20 cm o 14,2 MPa, resp. u tloušťky 25 cm o 18,6 MPa.

7.5 Vliv konstrukční vrstvy ze štěrkodrtě na únosnost pláně tělesa železničního spodku

Vrstva ze štěrkodrtě je nejčastějším řešením konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku. Vzhledem k tomu, že v databázi jsou dostatečně statisticky zastoupeny různé tloušťky štěrkodrtě (15, 20, 23 a 25 cm), bylo možné provést analýzu zaměřenou na závislost mezi přírůstkem hodnoty modulu přetvárnosti na pláni tělesa železničního spodku od hodnoty na zemní pláni (tj. rozdíl hodnot modulů přetvárnosti na pláni tělesa železničního spodku a na zemní pláni) a modulem přetvárnosti na zemní pláni v závislosti na tloušťce konstrukční vrstvy (viz obr. 43).



Obr. 43 Vztah mezi přírůstkem únosnosti PTZS a únosností ZP v závislosti na tloušťce štěrkodrtě

Celkem bylo sledováno 327 případů, z nichž vyplývá, že pro všechny uvažované tloušťky konstrukční vrstvy je charakteristická lineární závislost s klesající tendencí – při rostoucí únosnosti zemní pláně klesá přírůstek únosnosti pláně tělesa železničního spodku

od únosnosti zemní pláně. Je-li únosnost zemní pláně menší než cca 65-75 MPa (v závislosti na tloušťce vrstvy šterkodrtě), je přírůstek únosnosti kladný, v opačném případě je přírůstek záporný a lze tedy hovořit o poklesu únosnosti. Proto při více jak dvojnásobné únosnosti zemní pláně v porovnání s minimální požadovanou hodnotou již nemá z pohledu únosnosti význam zřizovat konstrukční vrstvu ze šterkodrtě.

8. Závěr

Závěrem lze konstatovat, že cíle interního grantového projektu byly splněny. Vytvořená elektronická databáze modulů přetvárnosti, naplněná daty z mezistaničních částí úseku Brandýs nad Orlicí – Přelouč o délce bezmála 50 km, prokázala velmi dobré možnosti k podrobné analýze chování pražcového podloží z hlediska únosnosti.

České dráhy v současné době provozují a plní daty rozsáhlý interní informační systém, jehož součástí je i pasport konstrukčních vrstev železničního spodku, který obsahuje informace o požadované únosnosti zemní pláně, požadované a dosažené únosnosti pláně tělesa železničního spodku. Neobsahuje však údaje o dosažené únosnosti na zemní pláni. Únosnost v úrovni ložné plochy pražce není součástí ani pasportu železničního spodku, ani pasportu železničního svršku, kam správně spadá.

Doplněním těchto chybějících údajů o únosnosti do pasportu železničního spodku, případně i železničního svršku lze vytvořit objemný datový prostor pro účinné sledování problematiky únosnosti v provozní praxi ČD.

Literatura

1. Předpis ČD S4 Železniční spodek. 1997 (účinnost od 1.7.1998).
2. ČSN 72 1006 *Kontrola zhutnění zemin a sypanin*. Český normalizační institut, 1998.
3. *Technické kvalitativní podmínky staveb ČD, Kapitola 7 - Kolejové lože*. Praha 2000.
4. TYC, P. Posouzení požadavků ČD a DB AG na únosnost pražcového podloží. *Nová železniční technika*, 1996, roč. 4, č. 2, s. 48-51, ISSN 1210 - 3942.
5. NEJEZCHLEB, M. Konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku modernizovaných tratí. *Vědeckotechnický sborník Českých drah*, 2000, č. 10, VÚŽ Praha, ISSN 1211 - 2321.
6. ETTINGER, R. *Untersuchungen über die in situ Bestimmung der Verformungsparameter von Böden*. Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Geotechnik, 423 s., 1999.
7. GÖBEL, C. - LIEBERENZ, K. - RICHTER, F. *Der Eisenbahnunterbau*. DB - Fachbuch 8/20, Eisenbahn-Fachverlag, Heidelberg, Mainz, 1996.
8. Předpis ČSD S4 Železniční spodek. 1985 (účinnost od 1.1.1988).
9. STN 72 1006 *Kontrola zhutnenia zemin a sypanin*. 1995.
10. BN-64/8931-02 *Oznaczenie modulu odkształcenia nawierzchni podatnych i podłoża przez obciążenie płytą*. Wydawnictwo normalizacyjne „Alfa“, 1984.
11. ÖNORM B 4417 *Lastplattenversuch*. Österreichisches Normungsinstitut, 2000.
12. DIN 18 134 *Plattendruckversuch*, Deutsches Institut für Normung e.V., 1993.
13. HORNÍČEK, L. - LIDMILA, M. Měření modulu přetvárnosti pražcového podloží u vybraných železničních správ v Evropě. In: *4. odborná konference doktorského studia [CD-ROM]*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2002, ISBN 80-214-2067-7.
14. MORAVČÍK, M. - MORAVČÍK, M.: *Mechanika železničných tratí – 1. diel*. 1. vyd. Žilina: Edis, 2002. ISBN 80-7100-983-0.
15. HORNÍČEK, L. - LIDMILA, M. - POKORNÁ, P. Zpětná analýza modulů přetvárnosti materiálu kolejového lože na tratích ČD. In: *VII. Vedecká konferencia s medzinárodnou účasťou*. Košice: Technická Univerzita, 2002, s. 177-180. ISBN 80-7099-810-5.
16. ČSN 72 1002 *Klasifikace zemin pro dopravní stavby*. Český normalizační institut, 1993.