

TP 101

Ministerstvo dopravy a spojů

Odbor pozemních komunikací

Výpočet svodidel

Technické podmínky

Schváleno MDS-OPK č.j. 26514/97-120

ze dne 16.12.1997

s účinností od 1. ledna 1998

Dopravoprojekt Brno, a.s.

prosinec 1997

Obsah

Předmluva	4
Předpisy, podklady a prameny	5
1 Úvod	6
2 Příčná síla působící mezi vozidlem a svodidlem	14
2.0 Značky	14
2.1 Formulace úlohy: vozidlo - svodidlo	15
2.2 Energetická bilance nárazu	17
2.3 Vyčíslení energetické bilance nárazů definovaných v [8], [10] a [11]	26
2.4 Uplatnění příčných sil jako zatížení svodidla	32
3 Účinky příčné síly F_{max} (vnitřní síly ve svodidle, průhyby, reakce)	38
3.0 Značky	38
3.1 Zásady řešení, výpočtové modely	39
3.2 Příklady výpočtových modelů svodidel při převážně ohybovém chování (malé deformace)	42
3.3 Příklady výpočtových modelů svodidel při převážně lanovém chování (velké deformace)	49
3.4 Zatížení konstrukcí podporujících posuvné svodidlo	62
3.5 Výtah z předpisu [17] (Angle)	67
4 Posouzení svodidla jako nosné konstrukce	70
4.0 Značky	70
4.1 Zajištění spolehlivosti vozidla proti převrácení přes svodidlo (určení minimální výšky svodidla)	70
4.2 Spolehlivost svodidla proti převrácení (určení minimální délky svodidla)	76
4.3 Spolehlivost svodidla proti odsunutí (určení minimální délky svodidla)	79
4.4 Spolehlivost svodidla a jeho částí proti ztrátě vnitřní soudržnosti	82
PŘÍLOHA 1 Grafické vyjádření vztahů $F_{max}(w_{max})$ (tj. závislostí velikosti náhradní síly F_{max} na deformaci svodidla w_{max}) pro zkušební nárazy předepsané v [8] a [10]	87
PŘÍLOHA 2 Ukázka grafického vyjádření vztahů $w_{max}(F_{max})$ (tj. závislostí deformace svodidla w_{max} na velikosti náhradní síly F_{max}) získaných řešením několika náhodně zadaných (nejde o předpověď chování existujících svodidel s volným zámkem nebo s tyčí!) výpočtových modelů popsanych v 3.3.2 a 3.3.3	88

PŘÍLOHA 3 Ukázka grafického vyjádření vztahů $w_{\max}(F_{\max})$ (tj. závislosti deformace svodidla w_{\max} na velikosti náhradní síly F_{\max}) získaných řešením několika náhodně zadaných (nejde o předpověď chování existujících spínaných svodidel!) výpočtových modelů popsaných v 3.3.4 a 3.3.5	89
PŘÍLOHA 4 Stručný přehled kroků výpočtu svodidel a odkazy na příslušné části TP 101	90



Předmluva

TP 101 jsou určeny jako metodická pomůcka pro navrhování svodidel.

Obsahují doporučení, pokyny, komentáře a doplňky k:

TP 59 Zatížení a navrhování svodidel,
TP 60 Zkoušení a schvalování svodidel,

týkající se výpočtů svodidel jako nosných konstrukcí.

TP 101 současně nahrazují část C směrnice Betonové svodidlo.

TP 101 obsahují kromě vstupních částí (tj. kromě titulního listu, obsahu, předmluvy, seznamu předpisů, podkladů a pramenů, a kap.1 "Úvod") tři hlavní kapitoly a to:

- kap.2, která je zaměřena na stanovení velikosti síly nahrazující náraz;
- kap.3, která je zaměřena na stanovení silových i deformačních účinků náhradní síly působící na svodidlo;
- kap.4, která je zaměřena na definování mezních stavů svodidel jako nosných konstrukcí a na ověřování spolehlivosti svodidel proti překročení těchto stavů.

Přílohy 1 až 3 obsahují grafické znázornění řešení několika vybraných dílčích úloh, které se mohou při výpočtu svodidla vyskytnout; příloha 4 obsahuje stručný přehled kroků výpočtu svodidel a odkazy na příslušné části TP 101, v nichž je možné pro jednotlivé kroky výpočtu najít podrobnější doporučení a případně i konkrétní příklady.

Uvedené teoretické úvahy, výpočtové modely, ani uvedené výsledky konkrétních výpočtů nebyly v dostatečné míře konfrontovány s následky ani zkušebních, ani "provozních" nárazů vozidel na svodidla. Navíc pomocí výpočtů nelze ověřit funkci svodidel co do schopnosti splnit všechny požadavky kladené na zachytná bezpečnostní zařízení. Proto skutečnost, že došlo k vypracování a schválení těchto TP, nemá být chápána jako oslabení doporučení:

- ověřovat vhodnost svodidel přednostně pomocí nárazových zkoušek (a nikoliv pomocí výpočtu);
- schvalovat svodidla přednostně na základě výsledků nárazových zkoušek (a nikoliv na základě výsledků výpočtu);
- používat přednostně "svodidla schválená" nebo již navržená a prověřená "svodidla jiná" (a nikoliv navrhovat nová "svodidla jiná").

Předpisy, podklady a prameny

- [1] ČSN 73 0031 Spolehlivost stavebních konstrukcí a základových púd. Základní ustanovení pro výpočet
- [2] ČSN 73 1401 Navrhování ocelových konstrukcí
- [3] ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů
- [4] ČSN 73 6203 Zatížení mostů
- [5] ČSN 73 6207 Navrhování mostních konstrukcí z předpjatého betonu
- [6] ČSN P ENV 1991-3 (73 6203) Zásady navrhování a zatížení konstrukcí. Část 3: Zatížení mostů dopravou
- [7] Eurocode 1 Zatížení konstrukcí (sborník k semináři), 1993
- [8] prEN 1317 Road restraint systems (Silniční záchytná bezpečnostní zařízení. Část 1: Terminologie a obecná kritéria pro zkušební metody. Část 2: Svodidla - třídy svodidel, požadovaná kritéria u zkoušek nárazem a zkušební metody). Neoficiální překlad konečného návrhu z března 1995
- [9] DIN 1072 Zatížení mostů
- [10] TP 59 Zatížení a navrhování svodidel (vydání 1993 + příprava revize 1998)
- [11] TP 60 Zkoušení a schvalování svodidel (vydání 1993)
- [12] TP 63 Ocelová svodidla na pozemních komunikacích
- [13] Betonové svodidlo. Směrnice.
Časť A. Osadzovanie betónových svodidiel
Časť B. Konštrukční prvky a príklady použitií
Časť C - výpočtová
- [14] Richtlinien für passive Schutzeinrichtungen an Straßen
- [15] Technické podmínky k projektování, homologaci a užívání bezpečnostních silničních svodidel (neoficiální překlad z L'industria Italiana del CEMENTO)
- [16] Standard specifications for highway bridges; kap.2.7 Railings. USA, 1984 (neoficiální překlad)
- [17] Design manual for roads and bridges; vol.2, sect.3, part 3 (The design of highway bridge parapets). Anglie, 1993 (neoficiální překlad)
- [18] Zprávy o zkouškách svodidlových prvků a spojů těchto prvků (Dopravní stavby a Mosty, a.s., Vývojové pracoviště Brno, 1992 až 1993)
- [19] Hořejší, Šafka: Statické tabulky

1 Úvod

1.1 Předmětem TP 101 jsou výpočty svodidel jako nosných konstrukcí, tj. výpočty, jejichž cílem je posoudit či předpovědět (nebo alespoň usnadnit kvalifikovaně "odborně odhadnout"):

- schopnost svodidel zachycovat nárazy, aniž by docházelo k jejich destrukci (např. přeražení, roztržení) či k jejich překonání jiným způsobem (souvisejícím např. s převrácením vozidel přes svodidla nebo s převrácením, případně odsouváním svodidel samých);
- deformace (příčné odsuny) svodidel při nárazech.

TP 101 obsahují jen takové pokyny (doporučení) pro navrhování svodidel a jen takové pokyny (doporučení) pro posuzování vhodnosti daných svodidel zachycovat nárazy vozidel, které mají přímou souvislost s požadavky a výpočty týkajícími se výše uvedených záležitostí.

TP 101 neuvádějí pokyny, doporučení, a ani kritéria vhodnosti, související s jinými požadavky na svodidla než s požadavky na jejich globální únosnost a tuhost (tedy neuvádějí pokyny týkající se např. zajištění "přijatelnosti nárazů" či komplexní "úspěšnosti zadržení" ve smyslu 1.2, neuvádějí pokyny týkající se prostorového uspořádání, atd.). Nezabývají se ani konstrukčními detaily konkrétních typů svodidel.

1.2 Ze skutečnosti, že negativní dopady (škody, případně újmy na zdraví) související s nárazem vozidla na svodidlo či zábradelní svodidlo mohou postihnout:

- narážející vozidlo a jeho posádku (buď ihned při nárazu, zvláště byl-li příliš prudký, nebo po překonání svodidla v důsledku pádu nebo nárazů v prostoru mimo komunikaci, nebo po odražení od svodidla, např. v důsledku střetů s dalšími účastníky provozu);
- ostatní účastníky provozu (při střetu s vozidlem odraženým od svodidla, při střetech s díly rozbitého svodidla, při střetech s dalšími vozidly či překážkami, došlo-li k řetězové srážce);
- svodidlo samo a/nebo konstrukce svodidla podporující;
- okolí dopravního prostoru komunikace (jde nejen o "cizí majetek", ale i o mostní konstrukce a jejich části, tj. např. o závěsy, o hlavní nosníky u mostů s dolní mostovkou, o podpěry mostů, apod.) za svodidlem (při střetu s vozidlem, které překonalo svodidlo nebo se při nárazu vyklonilo, při

zasažení úlomkou svodidla nebo i celým deformovaným svodidlem),

je zřejmé, že zajištění pouze toho, aby se vozidlo při nárazu nedostalo za svodidlo a aby deformace svodidla nebyly nadměrné, může být k minimalizaci negativních dopadů nárazů nedostatečné. Zadržení se proto považuje za "úspěšné po všech stránkách" teprve tehdy, proběhl-li náraz navíc přiměřeně "měkce" (takže nedošlo k nadměrnému poškození vozidla ani k nadměrnému zranění jeho posádky), bylo-li vozidlo během nárazu "svedeno" (odtud český název tohoto zachytného bezpečnostního zařízení) podél svodidla (takže nebylo odraženo, nedostalo se do smyku, neudělalo hodiny, nezůstalo trčet zadkem napříč do vozovky, apod.), a zůstalo-li po nárazu jak svodidlo, tak i vozidlo (včetně nákladu) přiměřeně vcelku (podrobněji a exaktněji viz např. [8] nebo [11]).

Zajištění "přijatelnosti nárazů" ze všech uvedených hledisek je záležitostí komplikovanou, na které se podílí řada faktorů. Jedním z nich, a možná nejdůležitějším, je globální mechanická spolehlivost (jde zejména o dostatečnou únosnost a přiměřenou tuhost) svodidel jako nosných konstrukcí, jejímž ověřováním se zabývají tyto TP 101. Dalšími faktory, jejichž vlivem ani posuzováním (resp. volbou či návrhováním) se tyto TP 101 již nezabývají, a z nichž mnohé ani nejsou běžnými stavebně-mechanickými výpočty postihnutelné, jsou např. tvary vozidel i svodidel, prostorové uspořádání komunikací, vlastnosti povrchů, "deformační kapacity" karoserií a další konstrukční vymoženosti vozidel (např. samonafukovací pytle) související s ochranou jejich posádek před účinky nárazů, lokální "nárazové" únosnosti a schopnosti plastického přetváření konstrukčních detailů svodidla, atd..

Při hodnocení "přijatelnosti nárazů" se ve společnosti uplatňují i faktory netechnické, související např. se zněním pravidel silničního provozu, se "zvyklostmi" a snad i autoritou instancí dohlížejících na dodržování a sankcionujících nedodržování těchto pravidel, s přístupem sdělovacích prostředků, s veřejným míněním a s postupy pojišťoven, atd.; tyto faktory rovněž nejsou předmětem zájmu TP 101.

1.3 V ČR před rokem 1994: Předpisy uváděly povinně používaný typ svodidla a obsahovaly i většinu konstrukčních podrobností (projektovala se i osazovala výhradně ocelová svodidla NHKG, jejichž prostorové i konstrukční uspořádání závazně předepisovala "Typizačná smernica pre osadzovanie zvodidiel", a to jak pro pozemní komunikace, tak i pro mosty), takže projektant (ani nikdo jiný) si nemusel lámat hlavu tím, jaké nárazy je schopno navržené svodidlo zadržet a jak se přitom bude svodidlo i vozidlo chovat. Tuto idylu podstatněji nenarušovala ani norma pro zatížení mostů ([4]), uvádějící zatížení svodidla paušálně "4 x 18 kN/m", neb tento požadavek se v praxi neaplikoval (až na výjimky) na svodidla sama, ale jen na konstrukce svodidla podporující.

Nyní: V předpisech řady států se objevují konkrétní a mnohdy i diferencované požadavky na schopnost svodidel zadržovat nárazy, jejichž intenzita je nějakou konkrétní formou (buď uvedením rozměrů a tíhy vozidla najíždějícího danou rychlostí pod daným

úhlem, nebo stanovením velikosti "energie nárazu" odpovídající složce rychlosti vozidla kolmé ke svodidlu, nebo přímo určením velikosti a působíště náhradního silového zatížení) předepsána, viz např. [6], [7], [8], [9], [15], [16] a [17]. Na tyto tendence reagovalo v roce 1993 MDS ČR vydáním předpisu TP 59 ([10]), zavádějícího pojmy jako "úroveň zadržení" (klasifikace intenzit nárazů), "návrhová úroveň zadržení" (požadovaná zatížitelnost svodidla vyjádřená velikostí a okolnostmi působení náhradního zatížení, kterému má svodidlo spolehlivě odolávat), "třída úrovně zadržení svodidla" (charakteristika svodidla vypovídající o předpokládané přijatelnosti průběhu nárazů definovaných určitými parametry), apod., a kvantifikujícího požadavky tohoto typu.

TP 59 tedy nevznikly jako reakce na nespokojenost české motoristické nebo jiné veřejnosti (např. státní správy, pojišťoven, policie, sdělovacích prostředků, atd.), která by zpochybňovala správnost fungování svodidel NHKG nebo vhodnost jejich používání a domáhala se nápravy, ale jako odraz současných světových trendů a jako součást naší vstupenky k "návratu do Evropy".

1.4 Svodidla, na jejichž schopnost odolávat nárazům jsou kladeny konkrétní a kvantifikované požadavky (např. formou zadání třídy úrovně zadržení), evidentně patří mezi nosné stavební konstrukce. Rozhodujícími pracovními prostředky, které mají být uplatňovány při navrhování či posuzování těchto konstrukcí z hlediska jejich mechanické spolehlivosti, jsou proto "ze zákona" výpočty, jejichž užití má mít dle [1] přednost před zkouškami.

Používání výpočtů při ověřování "mechanické pevnosti a stability" svodidel při nárazu však není z řady důvodů běžné. Nejsilnějším z těchto důvodů je a pravděpodobně i zůstane to, že tyto výpočty nejsou v současné době schopny poskytnout dostatečné podklady pro posuzování komplexní vhodnosti uplatnění konkrétního svodidla jako záchytného bezpečnostního zařízení z hlediska prognózy "prijatelnosti nárazů po všech stránkách" (viz 1.2). Jedním z důvodů, proč se výpočty nepoužívají ani na to, na co v současné době stačí (tj. na provádění předpovědí či "odborných odhadů" průměrného globálního mechanického chování svodidel při nárazech určité intenzity co do porušení a co do deformace), je však i nedostatek až neexistence metodických pokynů, doporučení a podkladů zabývajících se touto problematikou.

Při zjišťování "jak to dělají jinde" nelze nenarazit na projevy evidentní schizofrenie. Přestože svodidla plní na mostech i na komunikacích mimo mosty obdobné funkce a přestože mohou být a někdy i bývají konstruována (i co do uložení či kotvení) v obou případech podobně, bývá u svodidel určených pro pozemní komunikace mnohdy požadováno užívat k ověření jejich schopnosti zajistit přijatelný průběh "provozních" nárazů zásadně jen zkušební nárazy (viz např. [8], [15]), zatím co užití výpočtů se oficiálně považuje za málo důvěryhodné a nepřipouští se (i když je zřejmé, že vzhledem k finančním prostředkům, které se kolem zkoušení svodidel točí, mohou být důvody pro upřednostnění zkoušek před výpočty i jiné než jen péče o důvěryhodnost); na rozdíl od svodidel na silnicích však mnohé předpisy (např. [4], [6], [7], [9], [16], [17]) pohlíží na svodidla na mostech jako

na nosné konstrukce, jejichž funkcí je vzdorovat určenému mimořádnému silovému zatížení nahrazujícímu náraz, a proto je bývá nejen dovoleno, ale i doporučeno (přednostně před prováděním zkoušek) navrhovat či posuzovat pomocí výpočtů prováděných v souladu s metodikou uváděnou v normách pro navrhování.

1.5 Nárazové zkoušky: Jejich provádění a vyhodnocování, byť je pro některé případy a situace striktně předepsáno (viz např. [8], [11] a [15]), je nejen nákladné (i když počet zkušebních nárazů předepsaných pro ověření správnosti funkce jednoho typu svodidla bývá jen jeden až dva, málokdy více než tři) a náročné na vybavení zkušebny, ale navíc je aplikace výsledků těchto zkoušek při předpovídání, jak se bude svodidlo chovat v praxi, tj. při užití na komunikacích a při konkrétních "provozních" nárazech, problematická, neboť:

- nárazy do úseků svodidel jiné délky nebo s jinak upravenými či kotvenými (tj. jinak poddajnými) konci, nárazy v jiných vzdálenostech od konců úseku, než jaké byly při nárazové zkoušce, nárazy do ne zcela rovných nebo do záměrně vydutých nebo vypuklých svodidel (zvláště pak při větší křivosti), nebo jde-li o jiné, i když zdánlivě velmi podobné vozidlo (lišící se např. jen konstrukčními detaily), apod., probíhají někdy podstatně jinak, než nárazy při nárazových zkouškách;

- rozptyl výsledků stejných zkoušek, tj. zkoušek provedených při stejných parametrech vozidla i svodidla a při stejném pohybu vozidla, je značný (jev je ve svých následcích i průběhu, včetně statistického rozptylu, podobnější spíše následkům defenestrace z prvního patra, která někomu neublíží a někoho zabije, než třeba účinkům přejezdů daného vozidla přes most při zatěžovací zkoušce, které si bývají velmi podobné);

- na průběh nárazu může mít zásadní vliv i relativně malá změna výšky těžiště vozidla či jeho nákladu, která však při zkouškách bývá spíše odhadována než měřena a její předpis uvedený v [8] nebývá přísně dodržován (jde především o problémy stability, tj. o převrácení vozidla přes svodidlo nebo o převrácení svodidla samého, ale nejen o ně; výška působíště nárazových sil může podstatně ovlivnit např. i mechanismus porušování svodidla při přetížení a jeho zatížitelnost, může ovlivnit i charakter pohybů jak svodidla, tak i vozidla během nárazu, atd.),

takže klasifikace svodidel jako vyhovujících nebo nevyhovujících, provedená jen na základě vyhodnocení předepsaných zkušebních nárazů, je spíše jen úmluvou a splněním požadavků předpisů než technicky podloženou zárukou, že následky všech (nebo alespoň většiny) nárazů určité třídy budou v praxi přijatelné po všech stránkách.

Výpočty: Problematické bývá nejen stanovení souvislostí (čili vlastní konstruování výpočtového modelu, který navíc obvykle nelze verifikovat), ale už i jen sestavení seznamu vlastností a okolností, které mají rozhodující vliv na to, co se při nárazu stane. Je vysoce pravděpodobné, že při vytváření výpočtového

modelu něco významného buď nelze zohlednit nebo se ani "nepostřehne", takže získané řešení nepředpoví a ani nemůže předpovědět něco zásadního. Např. nelze oprávněně očekávat, že výpočet poukáže na možnost vymrštění některé části svodidla, která může ohrozit posádku vozidla či náhodného chodce, že poukáže na možnost proražení benzinové nádrže a následného vzniku požáru, že poukáže na možnost křehké "průtrže" svodidla (např. zlomením, přeražením, vypáčením, apod. některé významné konstrukční části, nejčastěji některého styku, k níž by mohlo dojít při náhodném střetu se zvláště nepodajnou hranou či rohem vozidla), že poukáže na možnost vytvoření "pytle", nebo na možnost odražení vozidla až do vzdálenějších pruhů vozovky, nebo na možnost převrácení vozidla, nebo na možnost vzniku "hodin", že předpoví ovlivnění průběhu nárazu způsobenou existencí odrazného obrubníku před nebo pod svodidlem, atd., není-li tato záležitost teoreticky zvládnuta a neobsahuje-li výpočtový model příslušná kritéria. Navíc mnohé ze základních vstupních údajů popisujících výpočtové modely svodidel jsou obtížně získatelné, i když je jasně definováno, co mají vyjadřovat (může jít např. o fyzikální vztahy charakterizující chování styků prvků svodidla).

Kde hledat východisko? Přirovnání výsledků nárazových zkoušek k "vrabci v hrsti" (co se jednou nebo dvakrát skutečně stalo, je jisté, avšak na základě těchto výsledků nelze dát spolehlivou předpověď, co se stane při jiném, byť velmi podobném, nárazu) a výsledků výpočtů k "holubovi na střeše" (pomocí výpočtů lze "nasekat" grafy či tabulky popisující průměrné globální mechanické chování svodidla při všech možných i nemožných nárazech, které jsou sice vhodné např. ke srovnávání různých svodidel přibližně stejného druhu i ke srovnávání účinků různých nárazů, avšak bez dostatečné záruky, že nárazy budou probíhat právě takto), navozuje otázku, zda by "holubem v hrsti" nemohla být kombinace těchto dvou přístupů. Několik nárazových zkoušek by ukázalo, zda je svodidlo vůbec schopno zafungovat přijatelně (po všech stránkách) alespoň při některých nárazech, a výpočtový model, k jehož "odladění" by byly využity výsledky těchto zkušebních nárazů, by umožnil získat řady předpovědí, vznik jakých účinků (zejména jde o velikost náhradní kontaktní síly, jejíž znalost umožňuje stanovit např. velikosti vnitřních sil ve svodidle a přibližně předpovědět i velikost příčného odsunu svodidla, o podklady pro ověření spolehlivosti vozidla i svodidla proti ztrátě mechanické pevnosti a stability, o určení reakcí, atd.) by asi mohl způsobit náraz s jinými parametry (např. náraz s jinou intenzitou a/nebo náraz jiného vozidla a/nebo náraz do svodidla jiné délky a jiného uspořádání), než jaké odpovídají poměrům při zkouškách.

Provádění výpočtů svodidel by tak mohlo najít své místo a mít svůj význam, i kdyby mu předpisy statut "prostředku vhodného k ověření spolehlivosti" nepřiznaly. I pak by mohly být výpočty výhodně použitelné jako "prostředky usnadňující přípravu nárazové zkoušky", přinášející ve srovnání s přístupem "pokus - omyl" značné úspory. Jde např. o to, že pomocí výpočtů lze mnohdy předem odhadnout vliv změn konstrukce svodidel (např. konstrukčních změn spojek, změn délek dílců, změn upevnění svodidel k podkladu, apod.) na jejich únosnost a tuhost, a v návaznosti pak zvolit přiměřené parametry nárazových zkoušek (tj. např. výběr zkušebního testu ve smyslu [8], od kterého se

pak, pokud proběhl úspěšně, odvíjí stanovení "třídy úrovní zadržení" svodidla). Obdobnou pomoc výsledků výpočtu lze využít i při navrhování a zkoušení zcela nových nebo podstatně inovovaných typů svodidel. Stanovují-li se parametry zkoušek jen na základě "inženýrského citu" (např. podle vizuálního porovnání s jinými typy svodidel, a nikoliv na základě výpočtem získaných předpovědí mechanického chování svodidla, což by bylo u jiných stavebních konstrukcí, např. u překladů, samozřejmé), může se tento metodický nedostatek projevit relativně vysokým počtem zkoušek, jejichž vypovídací schopnost bude v důsledku nevhodně zvolené intenzity zkušebního nárazu malá nebo zavádějící (u svodidla, které při nárazové zkoušce vyhovělo, se neví, zda by nevyhovělo i při zkoušce s vyšší intenzitou, a naopak), což může vést k používání málo vhodných (obvykle nadbytečně únosných a v souvislosti s tím i příliš tuhých a proto vzhledem k lehčím vozidlům málo šetrných) svodidel.

Výhodnost užití popsaného smíšeného přístupu lze podpořit poukázáním na případy nárazů působících v relativně velkých vzdálenostech od konců přímého (nebo s velkým poloměrem zakřivení) úseku svodidla. Předpověď chování svodidla při těchto nárazech je významná (neb jde o relativně nejčastější situaci, jejíž známý průběh dobře charakterizuje běžné uplatnění svodidla daného typu), avšak provedení předpovědi tohoto chování jen na základě vyhodnocení nárazu do zkušebního úseku běžné délky (tj. cca 70 m) je evidentně problematické (při volných koncích vykáže nárazová zkouška větší deformace a následně menší náhradní i vnitřní síly; při vetknutých je tomu naopak). Výpočtový model "odladěný" pomocí výsledků několika nárazových zkoušek však může poskytnout i předpověď chování svodidla nekonečné délky.

1.6 V ČR došlo k tomu, že nové předpisy pro zkoušení a schvalování svodidel (TP 60), a zejména předpisy pro jejich zatěžování a navrhování (TP 59), byly vrženy do nedostatečně připraveného prostředí, což se promítá do diskusí (a bohužel i do závěrů diskusí) souvisejících se zhotovováním a projednáváním dokumentace staveb pozemních komunikací, a o čemž také svědčí téměř nepřetržitý proud dotazů (i charakter těchto dotazů) směřovaný na autory předpisů [10], [11], [12] a [13].

Pokud jde o požadavky na provádění a vyhodnocování nárazových zkoušek, s nimiž nejsou v ČR zkušenosti, je situace vážná, nikoliv však zoufalá, neb o jejich provádění jednak není v ČR velký zájem (což je způsobeno náročností těchto zkoušek a u některých typů svodidel podpořeno i existencí jiné možnosti splnění podmínek použití nového typu svodidla), a za druhé, i kdyby byl, TP 60 ([11]) jsou zpracovány v souladu s evropskou normou [8], podle níž se dělají nárazové zkoušky v zahraničí, a i sama norma [8] (včetně řady protokolů o nárazových zkouškách provedených podle této normy) je k dispozici, takže je odkud čerpat zkušenosti.

Horší je to s posuzováním svodidel pomocí výpočtů, které je pro:

- svodidla na mostech našimi i zahraničními předpisy doporučeno (prakticky však jde o požadovek);

- některé typy svodidel na pozemních komunikacích ve volné trase našimi předpisy dovoleno (i když možná jen dočasně, v závislosti na platnosti TP 60);
- svodidla umístěná jinde než přímo na mostě nebo jinde než na komunikaci ve volné trase (jde např. o svodidla v podjezdech, o přechodové úseky svodidel za opěrami mostu, o oblasti ukončení svodidel, apod.) mnohdy nezbytné, a to bez ohledu na pojetí a kompletnost pojednání těchto "zvláštností" v předpisech.

Doporučení a podklady pro provádění výpočtů svodidel se objevují (pokud vůbec existují a jsou publikovány) spíše jen ve zlomcích než jako ucelená teorie či komplexní pokyny pro výpočet v oficiálně uznávaných nebo alespoň v běžně dostupných pramenech a ani příslušné odborné školy tuto problematiku do svých učebních osnov nezařadily.

Jedním z negativních důsledků neexistence metodického pokynu pro provádění výpočtů svodidel je, že vzájemné porovnání výsledků výpočtů toho moc neřekne a že tyto výsledky nebývají a prakticky ani nemohou být oponovány. Vzhledem k tomu, že jen v letech 1994 až 1996 šlo v ČR o několik desítek případů výpočtů (souvisejících z části s úlevou uvedenou v TP 60, která za určitých okolností dovoluje nahradit průkazní nárazové zkoušky částečně nebo i zcela výpočtem; z části s ověřováním návrhu "jiných svodidel" na mostech), jejichž aplikace znamenala desetikilometry svodidel, jde o záležitost značného společenského významu.

Proto, jako vyjádření snahy začít plnit tuto mezeru, byly zpracovány tyto TP 101, na které lze pohlížet jednak jako na doplňky a komentáře k [10] a [11] (týkající se výpočtu jak betonových, tak i ocelových svodidel a zábradelních svodidel), a za druhé i jako na úplné přepracování části C směrnice [13] (platnost části C se vydáním TP 101 ruší), k němuž bylo přikročeno po cca čtyřech letech zkušeností nejen s výpočty samými, ale i s porovnáním výsledků výpočtů s výsledky nárazových zkoušek.

Přes částečné zpřístupnění problematiky výpočtu svodidel, ke kterému snad vydáním těchto TP dojde, se však i nadále předpokládá, že navrhování (resp. ověřování spolehlivosti) svodidel pomocí výpočtu se nestane záležitostí častou a rutinní, obdobně jako se nestalo běžným navrhovat pomocí výpočtů např. ložiska. Ve většině případů půjde i u svodidel o navrhování spočívající v provedení výběru z již existujících (a schválených) výrobků či z již existujících (a prověřených) typů konstrukcí, jak je dnes běžné při navrhování ložisek, mostních závěrů, zábradlí, atd., přestože i pro vedení výpočtu těchto částí mostů je k dispozici metodika a podklady.

1.7 Teorie a postupy uvedené v TP 101 vychází z předpokladu, že některé významné účinky nárazu vozidla na svodidlo (např. deformace svodidla, vnitřní síly ve svodidle, reakce, aj.) a odpovídající účinky vhodně (či "správně" ?) určené staticky působící nepohyblivé osamělé síly, mohou být srovnatelné natolik, že výsledky předpovědi, jak se bude svodidlo chovat při působení této síly, mohou být při navrhování (posuzování) svodidel

použitelné; dále se předpokládá, že pomocí výpočtů lze s prakticky dostatečnou přesností odhadnout i samu velikost této náhradní (tj. co do vyvolaných účinků ekvivalentní) síly.

Přijetí těchto zjednodušujících předpokladů umožňuje zčásti nahradit:

- zkoušky "jedoucí vozidlo - delší úsek svodidla" zkouškami "staticky působící síla - část svodidla", kde zkoušenou částí může být nejen krátký úsek svodidla, ale někdy i jen dílec či detail, např. styk dílců;

- dynamické výpočtové modely statickými (i když obvykle, alespoň při vyšších intenzitách nárazů fyzikálně i geometricky nelineárními), v nichž je zatížením nepohyblivá osamělá síla,

a tím stanovení (alespoň na úrovni odborného odhadu) únosnosti a tuhosti svodidel oproti zjišťování těchto vlastností výhradně nárazovými zkouškami podstatně usnadnit i zlevnit.



2 Příčná síla působící mezi vozidlem a svodidlem

2.0 Značky

- F** celková velikost příčné (tj. kolmé ke svodidlu, vodorovné nebo rovnoběžné s povrchem přilehlé vozovky) složky kontaktní síly, během nárazu proměnné (lze uvažovat o závislosti F např. na čase, na proměnné w , na dráze vykonané vozidlem, atd.), kterou na sebe při nárazu vzájemně působí svodidlo a vozidlo; u některých druhů svodidel má význam rozdělit sílu F na několik částí příslušných různým mechanismům či funkcím přenosu v závislosti na tvaru svodidla i vozidla a dalších parametrech (např. 2.2.3 zavádí u betonového svodidla $F = F_{bsv} + F_{tr}$; v kap. 3 se považuje F za součet síly přenášené ohybovým působením svodidla a síly přenášené lanovým působením svodidla)
- Fvýz** náhradní konstantní intenzita celkové příčné kontaktní síly odvozená z proměnné intenzity F , která je něčím významná (např. může jít o hodnotu reprezentující působení síly F v časovém intervalu významné délky; z tohoto hlediska jsou v 2.2.2 definovány tři významné intenzity F a to $F_{prům}$, F_{max} a F_{dyn})
- w** podle souvislosti buď průhyb (příčná deformace) svodidla, rostoucí během nárazu od nuly do w_{max} , nebo příčná změna polohy těžiště vozidla, rostoucí během nárazu od nuly do w_{cmax}
- wmax** maximální velikost průhybu svodidla dosažená během nárazu (někdy bývá též označována w_{dyn})
- wcmax** příčná složka dráhy, kterou vykoná těžiště vozidla mezi okamžikem prvního kontaktu (tj. začátkem nárazu) a okamžikem, kdy je příčná složka rychlosti vozidla nulová; v 2.2.5 je w_{cmax} zavedeno jako součet čtyř částí ($w_{cmax} = w_{max} + w_d + w_v + w_s$)
- m** celková hmotnost vozidla (vč. nákladu)
- φ_i** úhel nárazu (nájezdu), který svírá dráha vozidla najíždějícího na svodidlo s rovinou svodidla (resp. s tečnou ke svodidlu) v místě prvního kontaktu
- v** rychlost vozidla v okamžiku prvního kontaktu se svodidlem

E	část kinetické energie vozidla odpovídající příčné složce jeho rychlosti ($E = m \cdot [v \cdot \sin(\alpha)]^2 / 2$)
Ed	práce vykonaná (spotřebovaná) na dráze w_{\max} jinými odpory než F
b	polovina šířky vozidla
ag1	půdorysná vzdálenost mezi předkem vozidla (narázníkem) a osou přední nápravy měřená v ose vozidla
ag2	půdorysná vzdálenost mezi osou přední nápravy a těžištěm vozidla měřená v ose vozidla
ag	půdorysná vzdálenost mezi předkem vozidla a jeho těžištěm měřená v podélné ose vozidla ($ag = ag1 + ag2$)
t	výška těžiště vozidla nad přilehlým povrchem vozovky
g	gravitační zrychlení ($g = 9,81 \text{ m/sec}^2$)
FI	součinitel vlečného tření betonového svodidla o podklad; doporučuje se uvažovat při podkladu betonovém i živičném jednotně $FI = 0,70$ (vesměs se součinitelem spolehlivosti 1,0, neb se obvykle uplatňuje průměrnou hodnotou jako charakteristika relativně dlouhého úseku svodidla) a při sklonech podkladu nad cca 3 % tento sklon přičíst, resp. odečíst (při zkouškách vlečení betonového kvádrů s třecí plochou urovnanou dřevěným hladítkem jak po betonové, tak i po živičné vozovce, v obou případech vodorovné a s obvyklou drsností povrchu, v obou případech jak po suché, tak i po mokré, v obou případech jak po souvislém povrchu, tak i po prazích, bylo naměřeno FI v relativně malém rozmezí cca 0,65 až 0,80; hodnota tření z klidu nebyla zjišťována, lze však očekávat, že bude větší, někdy vlivem "kvazikoheze" i mnohem větší, a že bude mít i mnohem větší rozptyl)

Pokud není uvedeno v daném konkrétním případě jinak, dosazují se do všech nehomogenních vztahů uvedených v TP 101:

- síly v [kN]
- délky v [m];
- hmotnosti v [t];
- úhly ve stupních;
- rychlosti v [km/hod];
- energie v [kJ].

2.1 Formulace řešení úlohy: vozidlo - svodidlo

2.1.1 Velikost síly F závisí mj. i na deformacích svodidla. Čím je svodidlo poddajnější a jeho průhyb větší, tím jsou kontaktní

síly menší a tím je vzájemné působení vozidla a svodidla při nárazu s jinak stejnými parametry (stejně vozidlo, stejná rychlost, stejný úhel nárazu) obvykle šetrnější. Úloha vozidlo - svodidlo je tedy typickou interakční záležitostí, kdy akce (intenzita náhradního silového zatížení) závisí na tuhostních vlastnostech zatížené konstrukce.

Pro některé průběhy nárazu (zejména pro takové, o kterých lze mluvit jako o přijatelných) a pro některé druhy svodidel (svodidly téhož druhu se rozumí, bez přesnější definice, skupina svodidel podobných si co do tvaru, materiálů, atd., a následkem toho i co do chování při nárazu) je možné předpovědět (a početně a/nebo graficky vyjádřit) závislost $F_{výz}(w_{max})$ pro daný náraz (tj. pro náraz určitého vozidla při dané rychlosti a úhlu) působící na různě poddajná svodidla téhož druhu, kde $F_{výz}$ je označení pro některou (obecně pro kteroukoliv; bližší určení souvisí s účelem, ke kterému se má závislost použít) z významných intenzit síly F (např. pro $F_{prům}$ nebo pro F_{max}).

Různé druhy (různé skupiny) svodidel se mohou co do charakteru závislosti $F_{výz}(w_{max})$ pro týž náraz (stejně vozidlo, rychlost i úhel) lišit; např. u svodidel ocelových (svodnice, sloupky), u nichž je narážející vozidlo vedeno vesměs po zemi, bývá síla $F_{výz}$ způsobená běžným osobním autem obvykle větší než u svodidel betonových tvaru New Jersey, která "vedou" během nárazu tato vozidla po šikmých plochách nebo je i nadhazují do vzduchu, čímž je část kinetické energie nárazu odčerpána.

Protože odvození závislosti $F_{výz}(w_{max})$ těžko může vycházet z něčeho jiného než z úvah, co se při nárazu děje (tj. jakým způsobem se degraduje na teplo) s kinetickou energií vozidla, je tato závislost výstižně (snad) dále nazývána "energetickou bilancí nárazu".

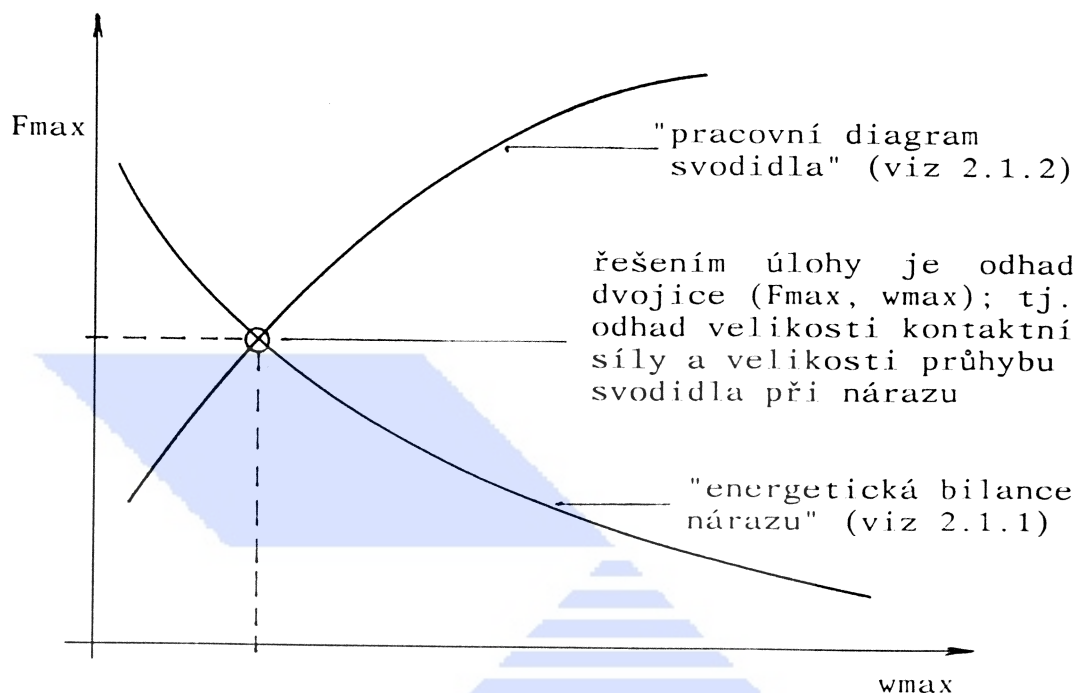
2.1.2 Pro určité konkrétní svodidlo bývá možné alespoň přibližně stanovit (a početně a/nebo graficky vyjádřit) závislost $w_{max}(F_{výz})$ charakterizující tuhost (resp. poddajnost) tohoto svodidla zatíženého kontaktní silou $F_{výz}$ v určitém místě. Z hlediska fyzikálního významu lze inverzní vztah $F_{výz}(w_{max})$ nazývat "pracovním diagramem svodidla".

Významná hodnota kontaktní síly F , která má právě ten význam, že náhradní statická osamělá nepohyblivá síla této velikosti by vyvolala stejně velký příčný odsun daného svodidla, jako by způsobil daný náraz, je v TP 101 označována jako F_{max} . Tímto je zavedena (či snad přímo definována) jedna z hodnot $F_{výz}$; zpřesnění a podrobnosti jsou uvedeny v 2.2.

2.1.3 Nechť je za řešení úlohy "vozidlo - svodidlo" považováno stanovení dvojice hodnot (F_{max} , w_{max}) vyhovujících jak energetické bilanci nárazu $F_{max}(w_{max})$ dle 2.1.1, tak i pracovnímu diagramu svodidla dle 2.1.2.

Obtížnost úlohy spočívá v nalezení obou závislostí (tj. $F_{výz}(w_{max})$ dle 2.1.1 a $w_{max}(F_{výz})$ dle 2.1.2, a v určení, která z intenzit (tj. jakým způsobem definovaná intenzita v závislosti

na průběhu F během nárazu) F je v daném případě (tj. k danému účelu) intenzitou významnou. Je-li $F_{výz}$ "správně" definována a z průběhu F správně odvozena, a jsou-li obě závislosti "správně" stanoveny nebo známé, je již snadné hledanou dvojici hodnot najít; např. řešením dvou rovnic (jsou-li závislosti uvedeny jako rovnice), nebo interpolací ve dvou tabulkách (jsou-li závislosti dány jako řada hodnot), nebo i graficky jako průsečík dvou křivek dle obr.2.1.



Obr.2.1 Princip řešení úlohy: "stanovení průhybu svodidla w_{max} a příslušné kontaktní síly F_{max} působící mezi vozidlem a svodidlem při nárazu"

2.2 Energetická bilance nárazu

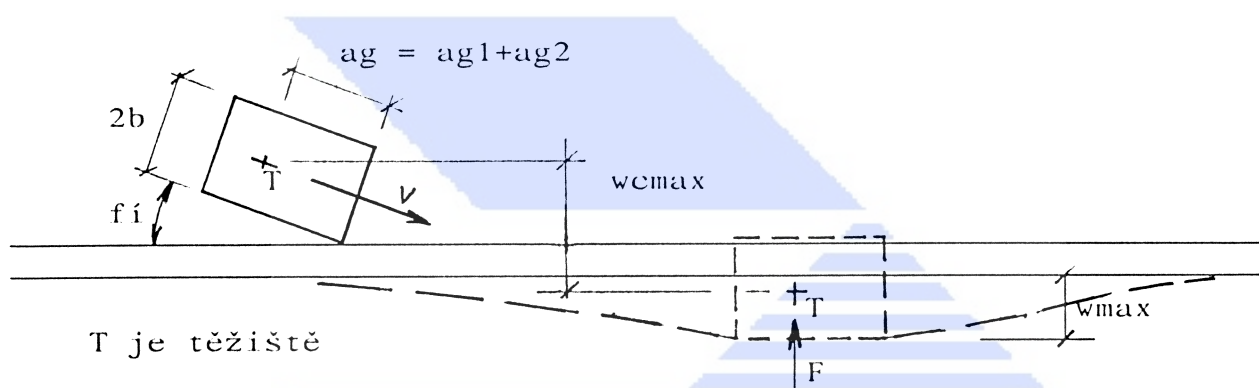
2.2.1 Nechť vozidlo o hmotnosti m narazí na svodidlo rychlostí v pod úhlem φ . Při úspěšném zadržení vozidla nastane během nárazu situace znázorněná na obr.2.2; jde o existenci "okamžiku obratu", kdy je příčná složka rychlosti vozidla, jejíž počáteční velikost byla $v \cdot \sin(\varphi)$, právě nulová, a kdy průhyb svodidla dosahuje maximální hodnoty w_{max} . Příčinou změny směru jízdy vozidla (o úhel φ) je:

- působení (= práce) odporu F na dráze w_{max} ;
- případně i působení dalších odporů, jejichž překonávání pohlcuje energii pohybujícího se vozidla takovým způsobem, že snižuje příčnou složku jeho rychlosti (takto spotřebovaná

část energie E je dále označena E_d); může jít např. o rozkmitání nebo nadhození vozidla, o zaboření kol do měkkého podkladu odporujícího pohybu, o jízdu proti sklonu, apod..

Existence popsané situace (část kinetické energie vozidla, odpovídající příčné složce jeho rychlosti $v \cdot \sin(f_i)$, je na dráze w_{\max} právě pohlcena svodidlem či jiným zachytným zařízením vyvolávajícím příčné reakce F , a případně i jinými mechanismy měnícími kinetickou energii vozidla na energii tepelnou, polohy, přetvárnou a nebo i kinetickou něčeho jiného) je vhodnou příležitostí k vyjádření axiomu zachování energie rovnicí:

$$E = m \cdot [v \cdot \sin(f_i)]^2 / 2 = \int_0^{w_{\max}} F(w) \cdot dw \quad [+ E_d] \quad (2.1)$$



Obr.2.2 Při úspěšném zadržení vozidla dojde během nárazu k situaci, kdy je příčná složka jeho okamžité rychlosti právě nulová

2.2.2 Kdyby byla velikost síly F během nárazu skorokonstantní, tj. kdyby alespoň přibližně pro všechny hodnoty w z intervalu $(0, w_{\max})$ platilo, že $F(w) = F_{\text{prům}}$, bylo by možné integrál uvedený ve vztahu (2. 1) jednoduše nahradit součinem:

$$\int_0^{w_{\max}} F(w) \cdot dw = F_{\text{prům}} \cdot w_{\max} \quad (2.2)$$

a všude (tj. při navrhování, posuzování, srovnávání, hodnocení, atd.) pracovat nikoliv s funkcí $F(w)$ nebo s několika náhradními významnými intenzitami $F_{\text{výz}}$, jejichž definice by vycházely z účelu použití těchto hodnot, ale jen s jednou významnou hodnotou $F_{\text{prům}}$.

Bohužel ve skutečnosti tomu tak není; průběhy zrychlení měřené při nárazových zkouškách ukazují, že kontaktní síla F je během nárazu silně proměnná. Při zamhouření alespoň jednoho oka se však přesto jeví přípustným zjednodušení nabízené vztahem (2. 2) využít. Vyhodnocení měření (mnoha a podrobně sledovaných) průběhů síly F během různých zkušebních nárazů, a vyhodnocení zkušeností s tím, jak dlouho musí významná náhradní intenzita působit, aby se svými účinky projevila určitým způsobem, ukazují, že pro navrhování (posuzování) svodidel jako nosných stavebních konstrukcí i pro posuzování přijatelnosti nárazu z hlediska poškození vozidla a jeho posádky, je dostatečné definovat "podle délky trvání" tři významné náhradní intenzity kontaktní síly F (obr.2.3) a to:

- **Fprům** (průměrnou), která fyzikálně vlastně ničím významná není, bývá však uváděna v různých tabulkách, např. v [8], její vyčíslení pomocí vztahů (2. 2) a (2. 1) se jeví na první pohled snadné a jednoznačné (což však není tak docela pravda), a je zvykem od ní odvozovat další významné intenzity;

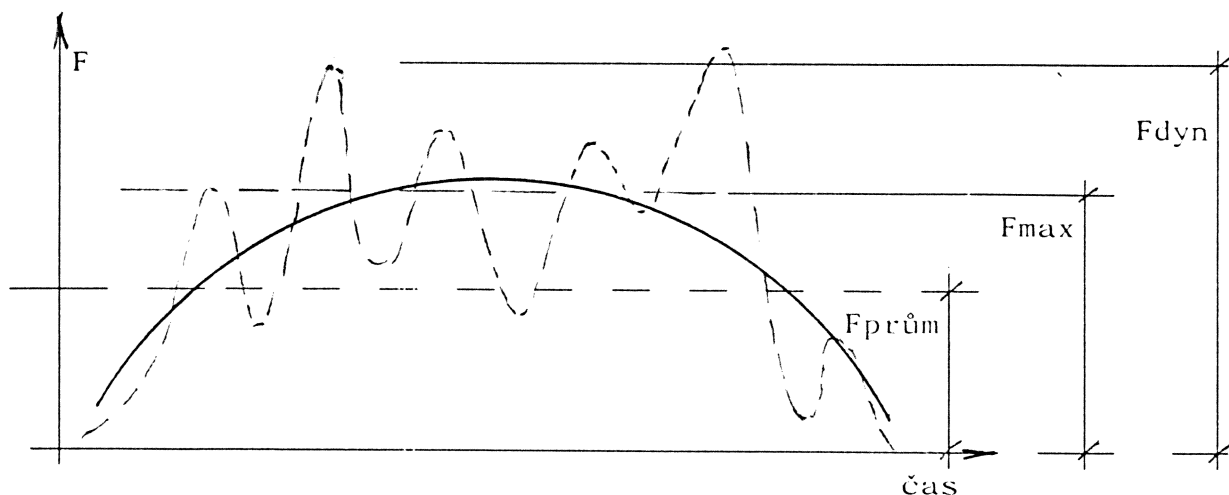
- **Fmax** (maximální), která je maximem trvajícím několik málo desetin sekundy, o které lze (alespoň se tak jeví z výsledků zkoušek) předpokládat, že svodidlo jako celek deformuje nebo převrací nebo odsouvá a kterou lze proto při posuzování spolehlivosti svodidla (jako nosné konstrukce) proti dosažení mezí porušení (nejde však o "porušení jakékoliv povahy" a ani o meze porušení stanovené striktně podle norem pro navrhování) považovat za zatížení "návrhové" ve smyslu [1] (v 2.1.3, v obr.2.1, a i v jiných souvislostech, pokud není výslovně doporučeno uvažovat s jinou intenzitou $F_{výz}$, je třeba pracovat právě s tímto maximem);

- **Fdyn** (dynamickou), která je maximem trvajícím cca 1/20 sekundy, o které lze (alespoň se tak jeví z výsledků zkoušek) předpokládat, že je rozhodující (pokud se neutlumí něčím uvnitř vozidla) pro "poškození" posádky vozidla, která převrací vozidlo přes svodidlo, a která možná někdy ničí vozidlo i detaily svodidla (např. láme hrany a rohy), avšak z tohoto posledního hlediska je znalost velikosti F_{dyn} pro navrhování svodidla málo cenná ("dynamická mez destrukce při nárazu" není normami pro navrhování stavebních konstrukcí definována, a znát jen jednu stranu příslušných podmínek spolehlivosti je projekční praxí nanic),

a také ukazují, že mezi těmito třemi intenzitami bývávají, byť případ od případu jinak a mnohdy se značným rozptylem, přibližně zachovávány relace:

$$F_{\max} = 1,6 \cdot F_{\text{prům}} \quad (2. 3)$$

$$F_{\text{dyn}} = 1,6 \cdot F_{\max} = 2,5 \cdot F_{\text{prům}} \quad (2. 4)$$



Obr.2.3 Schema možného průběhu kontaktní síly F působící mezi vozidlem a svodidlem ve směru kolmém ke svodidlu a znázornění definice významných intenzit $F_{prům}$, F_{max} a F_{dyn}

2.2.3 Svodidla s lícem tvaru New Jersey nebo podobným mohou být při nárazu zatěžována nejen vodorovnými silami, ale i svislým přitížením souvisejícím s tíhou vozidla najetého na "rampu" svodidla. U posuvně uložených svodidel uvedeného tvaru (obvykle jde o svodidla betonová; posuvná však mohou být i svodidla ocelová, umělohmotná s náplní, třeba s vodou, kombinovaná, aj.) lze tedy na celkovou příčnou kontaktní sílu F (a rovněž na každou významnou intenzitu $F_{výz}$, tj. např. na $F_{prům}$, F_{max} i F_{dyn}) pohlížet jako na součet:

$$F = F_{bsv} + F_{tr} \quad (2.5)$$

kde je:

F_{bsv} ta část síly F , která je přenášena svodidlem jako nosným systémem (tj. "globálně"; F_{bsv} obvykle "aktivuje" delší úsek svodidla);

F_{tr} ta část tření posuvného svodidla o podklad, která má původ v části tíhy vozidla přitěžující svodidlo ve svislém směru (účinky F_{tr} se projevují jen "lokálně" v bezprostředním okolí nárazu; svodidlo je touto silou zatěžováno jen jako tuhý "přenašeč síly" a nikoliv jako deformující se nosný systém).

Při odhadu velikosti třecí síly F_{tr} lze (snad) vyjít z obr.2.4 a jemu odpovídající podmínky momentové rovnováhy:

$$B \cdot a_1 = m \cdot g \cdot a_3 + F \cdot a_2 \quad (2.6)$$

Za předpokladu, že v témže okamžiku je na svodidlo najeta "polovina poloviny" vozidla, tj. buď jen polovina jeho přední nápravy nebo jen polovina jeho zadní nápravy (v okamžiku nájezdu přední části vozidla na svodidlo bývá ještě jeho zadek ve vozovce; zadek vozidla najíždí na svodidlo obvykle teprve po odražení předku), kterýžto předpoklad přičiňuje do závislosti

mezi B a Ftr násobitel "2", je vztah mezi B (tj. mezi částí tíhy vozidla připadající na všechna kola na straně vozidla přilehlé ke svodidlu) a Ftr:

$$B * FI = 2 * Ftr$$

Dosažením za B do vztahu (2. 6) se získá závislost Ftr(F) ve tvaru:

$$Ftr = (m * g * a3 + F * a2) * FI / (2 * a1) \quad (2. 7)$$

kde:

$$a1 = 2 * (b - 0,2) * \cos(\beta) \text{ [m];}$$

$$a2 = t * \cos(\beta) + 0,35/2 - 0,6 \text{ [m];}$$

$$a3 = (b - 0,2) * \cos(\beta) - t * \sin(\beta) \text{ [m];}$$

0,2 m je předpokládaná půdorysná vzdálenost středu pneumatiky od okraje vozidla;

β je průměrné naklonění vozidla během nárazu (velikost tohoto úhlu je odhadnuta tak, jakoby byla kola na straně vozidla přilehlé ke svodidlu zvednuta 0,35 m nad vozovku);

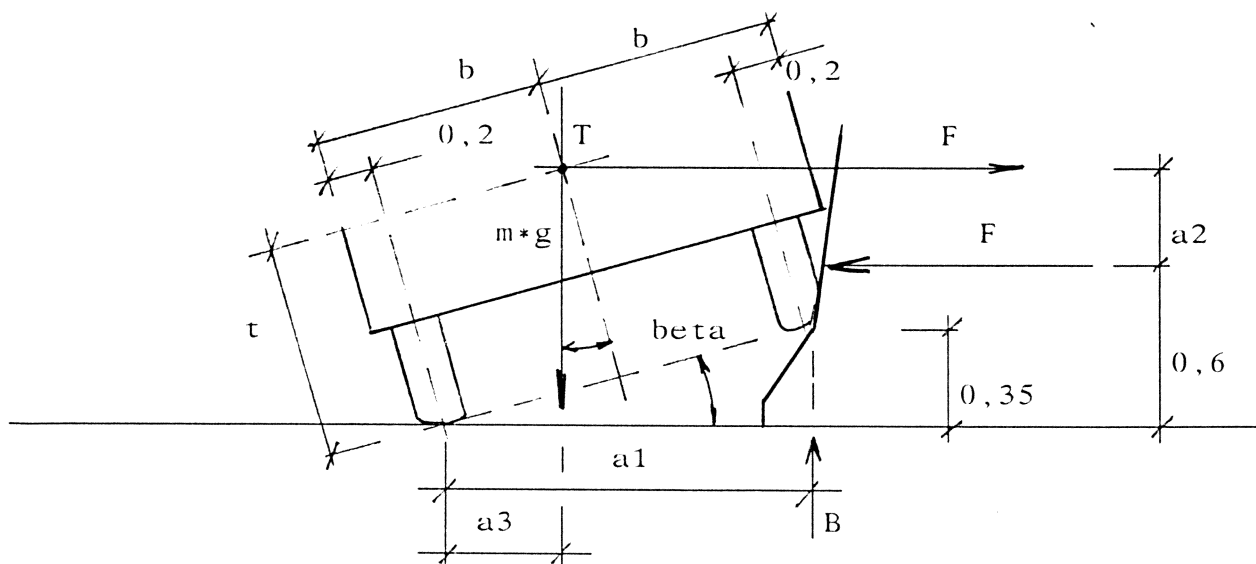
$$\sin(\beta) = 0,35 / [2 * (b - 0,2)];$$

0,6 m je průměrná výška působíště kontaktní síly F (předpokládá, že tato síla je přenášena někde v oblasti třetiny výšky kol nakloněného vozidla).

Hodnotu Ftr vyčíslenou ze vztahu (2. 7) je třeba prověřit a případně i upravit ze dvou dále uvedených hledisek, a to:

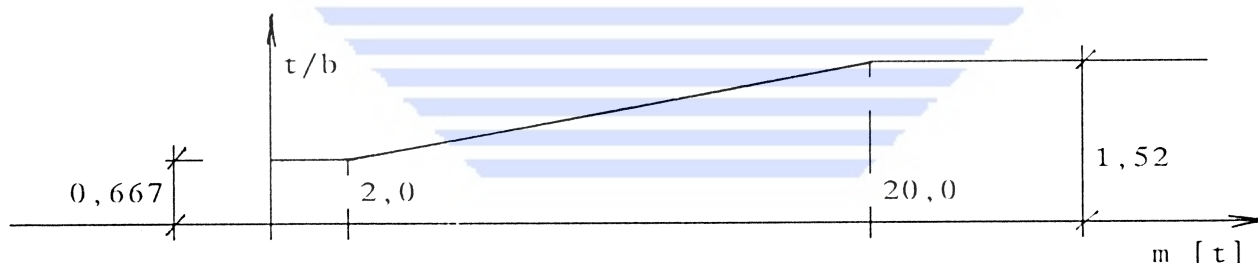
1.) Ftr nemůže být větší než $m * g * FI / 2$ a to ani v případě, že je tato síla odvozována jako příslušná k Fdyn (neboť odlehčení kol vozidla na straně k vozovce nemůže být větší než $m * g / 2$; kdyby si rovnováha vyžadovala dosažení většího odlehčení, tato kola by nadskočila a došlo by ke změně statického schématu zrušením jednostranné vazby), a také nemůže být (z obdobných důvodů) záporné;

2.) S příznivou možností najetí vozidla nahoru na svodidlo (postupně téměř všemi nápravami tak, aby větší část doby trvání nárazu tam alespoň některé z nich byly) lze uvažovat jen u svodidel "s krátkým předkem", tj. jen tehdy, je-li tato možnost dána vzájemným vztahem tvaru svodidla a tvaru vozidla; roli hraje i deformovatelnost vozidla. Na svodidlo, jehož líc má tvar New Jersey (tj. s vyložení "rampy" jen cca 0,2 m), těžko může najet vozidlo s extrémně "dlouhým a tuhým předkem", zejména je-li úhel nárazu β velký (v takovém případě může vozidlo narazit na svodidlo jako na svislou zeď). Popsanou "geometrii" je tedy třeba nějak respektovat; snad redukováním hodnoty Ftr (vypočtené podle vztahu (2. 7) a již upravené podle hlediska 1.) "skrz dlouhý předek" součinitelem $ws/0.4$ (ws viz vztah (2.11) v 2.2.6) nabývajícím hodnotu mezi nulou a jedničkou.



Obr.2.4 Připustí-li to tvar svodidla i vozidla, může při nárazu dojít k přetížení svodidla částí tíhy vozidla

2.2.4 Není-li známa výška těžiště vozidla t , která je významným parametrem nárazu a uplatňuje se i při navrhování a posuzování jak svodidel samých, tak i konstrukcí svodidla podpírajících, mnohdy nezbyvá, než ji odhadnout. Tento odhad lze opřít o zkušenost, že závislost poměru výšky těžiště vozidla k jeho šířce a hmotnosti vozidla dost často přibližně odpovídá obr.2.5).



Obr.2.5 Předpokládaný vztah mezi výškou těžiště, šířkou vozidla a hmotností vozidla

2.2.5 Celkový příčný posuv těžiště vozidla w_{max} , k němuž dojde v době mezi prvním kontaktem vozidla se svodidlem a okamžikem vynulování příčné složky jeho rychlosti (viz obr.2.2), si lze představit jako součet čtyř částí:

$$w_{max} = w_{max} + w_d + w_v + w_s \quad (2. 8)$$

Část posuvu těžiště vozidla, označená w_{max} , je maximální deformace (průhyb + odsunutí) svodidla v příčném směru, k níž dojde během nárazu (někdy též zvaná "dynamická deformace").

Problematicke stanovení závislostí $w_{\max}(F_{\max})$ resp. $F_{\max}(w_{\max})$, čili "pracovních diagramů", pro vybrané typy svodidel, je věnována část kap.3 těchto TP.

Část posuvu těžiště vozidla, označená w_d , je deformace karoserie vozidla, jejíž velikost obecně závisí na konstrukci vozidla, na intenzitě a časovém průběhu kontaktní síly F (pro deformaci karoserie je snad významná intenzita síly F blízká intenzitě F_{dyn} definované v 2.2.2), na rozložení síly F po kontaktu, aj. Ve výpočtech, jejichž výsledky jsou uvedeny v 2.3 a v příloze 1, byl uplatněn empirický vztah (podložený přibližným změřením deformací několika vozidel, která narazila na poměrně tuhé svodidlo) ve tvaru:

$$w_d = 0,4/2 * v * f_i / (100 * 20) = v * f_i / 10000 \quad [\text{m}] \quad (2.9)$$

kde je:

v počáteční rychlost vozidla v [km/hod];

f_i úhel nárazu ve stupních (při $f_i > 40$ se dosadí $f_i = 40$).

Vztah (2.9) je založen na předpokladech, že deformace karoserie na hmotnosti vozidla nezáleží (těžší auto mívá i tužší karoserii), že při úhlu nárazu 20 stupňů a rychlosti 100 km/hod si auto srazí předecku o cca 0,4 m (měřeno ve směru kolmo ke svodidlu), že průměrná boční deformace w_d je polovinou "sražení předecku", a že závislost w_d na f_i i na v je (alespoň v určitém rozmezí) lineární.

Vyčíslené hodnoty w_d nejsou zaručené pro žádný případ (uvedené předpoklady jsou z části spekulativní, jde o odhad jevů s velkým rozptylem, vztah (2.9) nezohledňuje vlastnosti svodidla); odpovídají však spíše následkům působení svodidel betonových nebo velmi tuhých ocelových, např. zábradelních svodidel mostních, než působení třeba běžných silničních svodidel ocelových (např. při nárazu na relativně poddajný zachytňový systém, třeba na lanové svodidlo, bude w_d značně menší).

Část posuvu těžiště vozidla, označená w_v , je příčná složka dráhy, kterou během nárazu vykoná těžiště vozidla při jeho natáčení z šikmé polohy, při níž došlo k prvnímu kontaktu se svodidlem, do polohy se svodidlem rovnoběžné (viz obr.2.2). Velikost w_v lze jednoduše odvodit z geometrie vozidla, jak je zřejmé z obr.2.2 (viz též např. [8]). Je dána vztahem:

$$w_v = a_g * \sin(f_i) - b * (1 - \cos(f_i)) \quad (2.10)$$

Použitelnost vztahu (2.10) souvisí se způsobem zadržení vozidla. Je-li průběh nárazu podstatně jiný, než jaký se předpokládá při "úspěšném zadržení" znázorněném na obr.2.2, neuplatní se veličina w_v v celkové energetické bilanci buď vůbec nebo nějak jinak než by odpovídalo uvedeným vztahům. Např. má-li vozidlo příliš lehký předecku, může dojít k jeho odražení (jako pružného balónu) a nikoliv k jeho "svedení"; též může dojít k hodinám; geometrie nárazu je také jiná např. při velkém úhlu f_i , kdy vozidlo při nárazu mění směr jízdy jen nepatrně a zastavuje se ve

svodidle "natvrdo" (tj. bez náležitého "svedení") o tzv. "pytel" (pokud neprojde skrz), atd..

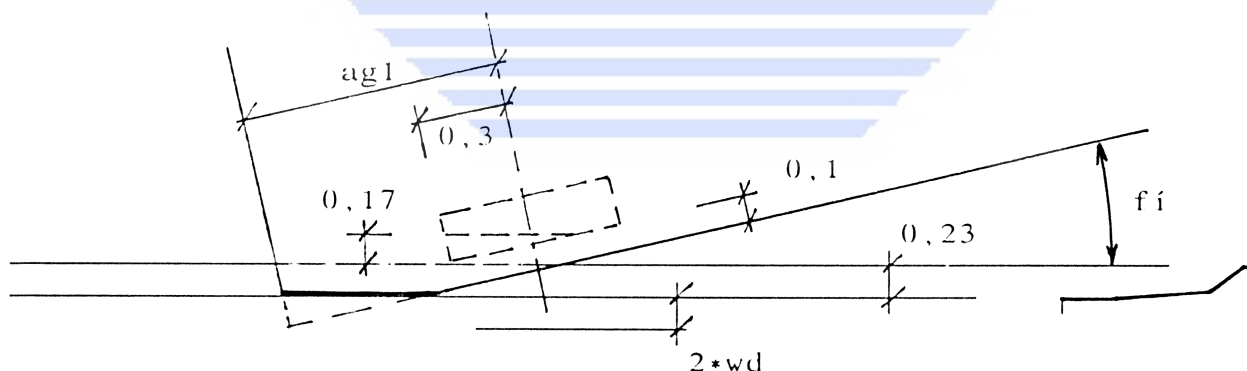
Část posuvu těžiště vozidla, označená ws , může být nenulová jen u svodidel s tvarem New Jersey nebo podobným a uplatní se jen při nárazu vozidla s "krátkým předkem" a/nebo při nárazu vozidla s velmi poddajnou karoserií. Tato délka, na které "pracuje" síla F při nájezdu předního kola vozidla na svodidlo (viz obr.2.6), souvisí s půdorysným průmětem "nájezdové rampy" svodidla a s deformací přední nápravy (včetně deformace kola i pneumatiky). Ve výpočtech, jejichž výsledky jsou uvedeny v 2.3 a v příloze 1, byla délka ws zohledněna poloempirickým vztahem:

$$ws = (0,23+0,17) + 2*wd - (ag1-0,3)*\sin(f_i) - 0,1 \text{ [m]} \quad (2.11)$$

přičemž se ws uvažovalo nejvíce 0,4 m a nejméně nula.

Ve vztahu (2.11) je:

- 0,23 m půdorysný průmět "nájezdové rampy" + nakloněné horní části svodidla;
- 0,17 m odhadnutá deformace přední nápravy (včetně deformace kola i pneumatiky);
- $2*wd$ předpokládaná deformace (sražení) přímo naraženého předního rohu vozidla [m];
- 0,3 m předpokládaný poloměr pneumatik;
- 0,1 m předpokládaná půdorysná vzdálenost mezi okrajem vozidla a okrajem pneumatiky.



Obr.2.6 Podklady k odvození velikosti části posuvu těžiště vozidla, která je v 2.2.5 označena jako ws

2.2.6 Poslední člen vztahu (2. 1) E_d má vyjadřovat případné jiné ztráty energie vozidla odpovídající složce jeho rychlosti $v*\sin(f_i)$, než jsou ztráty související s příčnými silami (odpory) F vyvozenými přímo svodidlem samým.

Odpor pohybu vozidla na dráze w_{\max} , nesouvisící se svodidlem, může být vyvozován např. nějakým zvlněním nebo zdrsňením povrchu komunikace v pruhu před svodidlem, velmi účinné je zaboření vozidla do pískového pole (případně i jeho brzdění "vlastní silou", které však spící řidič těžko zajistí - předpokládá se, že řidič se probouzí až nárazem a teprve v tomto okamžiku že mu spadne noha s plynu), apod..

S třením mezi vozidlem a vozovkou se doporučuje, pokud k tomu není zvláštní důvod, raději neuvažovat vůbec, neb může existovat mnoho příčin toto tření podstatně snižujících (tenká vrstva písku, prachu nebo vody, led, bláto, nadskočení vozidla, aj.) nebo je úplně rušících (jede-li vozidlo stále dopředu, jeho kola se nesmýkají a jde o tření nikoliv kluzné, ale valivé).

Při nárazu vozidla "s krátkým předkem" na svodidlo tvaru New Jersey obvykle dochází k nadzvednutí či nadhození vozidla. Odpovídající ztráta "příčné" kinetické energie, která se přemění nejprve částečně v energii polohy a nakonec v "odpadní teplo", byla ve výpočtech, jejichž výsledky jsou uvedeny v 2.3 a v příloze 1, uvažována podle vztahu:

$$E_d = m \cdot g \cdot z_d \cdot [\sin(\varphi)]^2 / 0,5 \quad (2.12)$$

kde 0,5 je odhadnutá "energetická účinnost" probíhajících dějů (nadzvedávání či nadhazování provázeného rozkmitáním, třením, apod.).

Pro odhad hodnoty zvednutí těžiště vozidla (výšky letu vozidla), označené z_d , byl uplatněn empirický vztah (dávající výsledek přibližně odpovídající videozáznamům "letu" několika vozidel po najetí na betonové svodidlo):

$$z_d = (w_s/0,4) \cdot (v/100) \cdot 0,8 = w_s \cdot v / 50 \quad [m] \quad (2.13)$$

přičemž se z_d uvažovalo nejvíce 1,0 m.

Ve vztahu (2.13) je:

v počáteční rychlost vozidla v [km/hod];

w_s dáno vztahem (2.11), nepředpokládá se větší než 0,4 m, dosazuje se v [m].

Vztah (2.13) vyjadřuje předpoklad, že při plném a razantním najetí vozidla na šikmé plochy svodidla (tj. při $w_s = 0,4$ m a rychlosti $v = 100$ km/hod) je vozidlo vyhozeno do vzduchu 0,8 m a že závislost z_d na w_s i v je lineární.

2.2.7 Vztahy uvedené v 2.2 vedoucí k určení velikosti síly $F_{v\gamma}$ ve všech třech zavedených významných náhradních intenzitách ($F_{pr\bar{u}m}$, F_{\max} , F_{dyn}) i k odhadu velikostí případných složek této síly (F_{bsv} , F_{tr}) jsou poloempirické (byla v nich uplatněna řada součinitelů stanovených buď tak, aby neodporovaly výsledkům provedených zkoušek, nebo i jen vymyšlených pouze hlavou a nijak neověřených) a proto lze očekávat, že budou pro některé typy svodidel, pro některé typy vozidel, pro některé typy nárazu, i pro některé intenzity (velikosti) nárazu málo výstižné až

nevhodné. Při konkrétních výpočtech lze však tyto vztahy vesměs velmi snadno "doladit" na základě nových praktických poznatků či nových pohledů na věc, a to vesměs pomocí jednoduchých úprav (např. úpravou hodnot součinitelů nebo zavedením dalších součinitelů).

2.3 Vyčíslení energetické bilance nárazů definovaných v [8], [10] a [11]

2.3.1 K daným intenzitám náhradních sil $F_{výz}$, uvedeným v nějaké literatuře či předpisu, ústně nebo písemně sděleným, apod., aniž by bylo blíže určeno, zda jde např. o intenzitu $F_{prům}$, F_{max} nebo F_{dyn} (nebo zda jde o nějakou jinou, jinak definovanou významnou intenzitu), bez určení, pro jaké druhy svodidel, nárazů a vozidel dané hodnoty "platí", a bez určení, jak má být s těmito silami zacházeno při navrhování nebo posuzování svodidla, je třeba přistupovat obezřetně. Tak např. náhradní síly uvedené v tabulce v předpisu [8], které byly získány vyčíslením vzorce:

$$F = \frac{m}{2} * \frac{[v * \sin(\phi)]^2}{w_{max} + a_g * \sin(\phi) - b * (1 - \cos(\phi))} \quad (2.14)$$

jsou síly $F_{prům}$, které jsou stanovené za předpokladu, že jak $w_d = w_s = 0$, tak i $E_d = 0$ (vozidlo se nedeformuje, při nárazu "nenadskočí", a ani nedochází k žádným jiným ztrátám jeho kinetické energie). Tyto hodnoty jsou tedy jen informativní a tak jsou i míněny. Snad naznačují řád velikosti kontaktních sil, snad mohou být odrazovým můstkem při předpovídání, který ze dvou nárazů by asi "dopadl hůř", ale neměly by být (alespoň ne přímo a bez úpravy, spočívající alespoň v přenásobení nějakým součinitelem, např. podle 2.2.2) směrodatným podkladem navrhování či posuzování ani svodidel samých, ani konstrukcí svodidla podporujících.

2.3.2 V tabulkách v [8] uvedené závazné parametry vozidel (předepsaných jako zkušební) a závazné parametry nárazových zkoušek jsou přepsány do tab.2.1.

Předpisy [10] a [11] stanovují (na rozdíl od [8], kde jsou přímo uvedeny jak úhly nájezdu, tak i rozměry, hmotnosti a rychlosti zkušebních vozidel, avšak podobně jako např. v [15]) jen minimální kinetickou energii zkušebních (resp. návrhových) nárazů příslušnou jednotlivým třídám úrovní zadržení. Tyto požadavky jsou přepsány do tab.2.2; ostatní konkrétní parametry nárazů i zkušebních vozidel, uvedené v této tabulce, jsou jen "možné a v úvahu připadající" (resp. i doporučené, neb jsou stanoveny tak, aby byly podobné požadavkům uvedeným v [8]).

Tab.2.1 Závazné parametry nárazových zkoušek a zkušebních vozidel podle [8]

Označení zkoušky /vozidla	hmotnost vozidla m [t]	rychlost v [km/hod]	fí úhel nárazu [stupně]	energie (2.1) E [kJNm]	rozměry vozidla [m]			
					ag1	ag2	2*b	t
TB11 / 1	0,9	100	20	40,6	0,90	0,90	1,50	0,49
TB21 / 2	1,3	80	8	6,2	0,90	1,10	1,62	0,53
TB22 / 2	1,3	80	15	21,5	0,90	1,10	1,62	0,53
TB31 / 3	1,5	80	20	43,3	0,76	1,24	1,74	0,53
TB32 / 3	1,5	110	20	81,9	0,76	1,24	1,74	0,53
TB41 / 4	10,0	70	8	36,6	2,30	2,70	2,44	1,50
TB42 / 4	10,0	70	15	126,6	2,30	2,70	2,44	1,50
TB51 / 5	13,0	70	20	287,5	2,45	3,80	2,50	1,40
TB61 / 6	16,0	80	20	462,1	1,90	3,10	2,50	1,60
TB71 / 7	30,0	65	20	572,0	1,16	4,14	2,50	1,90
TB81 / 8	38,0	65	20	724,6	2,40	6,20	2,50	1,90

Tab.2.2 Doporučené parametry nárazových zkoušek podle [10] a [11] (doporučená zkušební vozidla se uvažují stejná jako v tab.2.1)

Třída úrovni zadržení	energie dle (2.1) E [kJNm]	označení vozidla dle tab.2.1	hmotnost vozidla m [t]	rychlost v [km/hod]	fí úhel nárazu [stupně]
A1	30	1	0,9	100	17,09
		2	1,3	80	17,80
A2	75	3	1,5	110	19,10
		4	10,0	70	11,49
B1	195	4	10,0	70	18,73
		5	13,0	70	16,36
B2	360	5	13,0	70	22,50
		6	16,0	80	17,57
C1	570	6	16,0	80	22,32
		7	30,0	65	19,96
		8	38,0	65	17,66

Množství energie uvedené ve druhém sloupci je požadované minimum.
 Popsány jsou pouze zkušební nárazy předepsané pro ověření únosnosti svodidla a určení jeho deformace; případné další předepsané zkoušky "přijatelnosti" uvedeny nejsou, neb s předmětem TP 101 nesouvisí.

2.3.3 Energetické bilance (které jsou vlastně "převodními vztahy mezi energií a příslušnými náhradními silami $F_{výz}$ ", usnadňujícími vzájemné srovnání a předběžný odhad účinků) nárazů definovaných v tab.2.1 i nárazů definovaných v tab.2.2 byly vyhodnoceny podle 2.2:

a) vždycky za předpokladu, že platí $w_s=0$ i $E_d=0$ (což odpovídá např. nárazu na ocelové svodidlo typu pásnice-sloupky nebo nárazu na svislou stěnu apod.; k nárazu tohoto typu však může dojít i u svodidel typu New Jersey, je-li délka ag_1 , tj. délka "předku vozidla", dost dlouhá a je-li úhel nárazu α dost velký);

b) za předpokladu, že w_s i E_d jsou nenulové, avšak jen v případech, že doporučené zkušební vozidlo mělo "krátký předek" (tj. relativně malou délku ag_1) a byl-li úhel nárazu α dostatečně malý, a to při volbě w_s i E_d odpovídající (snad) svodidlům s tvarem líce New Jersey nebo podobným, a při jednotném součiniteli vlečného tření mezi svodidlem a jeho podkladem $F_I=0,7$.

Výsledky tohoto vyhodnocení, tj. energetické bilance nárazů čili závislosti:

- F_{max} na w_{max} , odpovídající případu ad a);
- F_{bsv} příslušných k F_{max} (viz 2.2.3) na w_{max} , odpovídající případu ad b),

jsou graficky znázorněny v Příloze 1; podkladem pro vykreslení grafů byly tisky tabulek závislostí $F_{max}(w_{max})$, resp. závislostí $F_{max,bsv}(w_{max})$, jejichž získání (rozumí se: zhotovení programu) bylo velmi jednoduché, neb šlo o pouhé vyčíslování vzorců uvedených v 2.2 (žádné systémy rovnic, žádné iterace).

Jednotlivé závislosti (grafy) jsou v Příloze 1 označeny stejně jako příslušné řádky tab.2.1 a tab.2.2; navíc:

- u grafů pro nárazy odpovídající tab.2.2 je uvedena číslice označující uvažované zkušební vozidlo;
- u grafů odpovídajících případům ad b), tj. odpovídajících (snad) nárazům vozidel s "krátkým předkem" na svodidla s tvarem New Jersey, u nichž se uvažovalo $F_{tr}>0$, $w_s>0$ a $E_d>0$, je uvedeno označení "/bsv".

Příloha 1 umožňuje jednoduché porovnání pravděpodobné účinnosti zkušebních nárazů předepsaných v ENV 1317 ([8]) a několika vybraných nárazů podmiňujících zatřídění svodidel do tříd A1, A2, B1, B2 a C1 definovaných v TP 59 a TP 60 ([10] a [11]). Tato příloha obsahuje i grafické znázornění náhradních sil F_s pro úrovně zadržení I a II, které jsou předepsány v TP 59 jako mimořádná zatížení tzv. "jiných svodidel" na mostech, což umožňuje přibližně porovnat požadavky (byť zadané různou formou) na únosnost svodidel silničních a mostních.

2.3.4 Pro vytvoření základní představy intenzit zkušebních nárazů dle [8] a dle [10] (a jejich vzájemných relací) je v tab.2.3 uvedeno několik údajů, zhruba odpovídajících Příloze 1 (oproti Příloze 1 jsou "hranice" příslušných náhradních sil F_{max} pro zkušební nárazy podle [10] a [11] ve srovnání s grafy uvedenými v Příloze 1 záměrně poněkud rozšířeny, aby postihly i působení vozidel s poněkud jinými parametry, než jaké jsou uvedeny v tabulkách), znázorněných pomocí číselné osy sledující velikost sil F_{max} v kN. Tyto údaje (stejně tak jako hodnoty uvedené v Příloze 1) je však třeba brát s rezervou, neb hodnoty (grafy) odpovídající zkušebním nárazům:

- jsou zatíženy nejistotami (či chybami) výpočtového energetického modelu vyjadřujícího zčásti spekulativní vztahy mezi parametry nárazu a velikostí kontaktní síly F_{max} nahrazující náraz;
- vychází z omezených a tedy jen problematicky zobecnitelných představ a zkušeností, týkajících se pouze několika typů svodidel a několika průběhů nárazů (videozáznamy);
- mohou být u nárazů odpovídajících požadavkům [10] a [11] (označených A1, A2, B1, B2 nebo C1), vymezených jen minimální hodnotou kinetické energie a nikoliv danými parametry včetně vlastností zkušebních vozidel, ovlivněny volbou těchto parametrů více než jak napovídá odhadnutý rozptyl znázorněný v tab.2.3.

Jiný původ a tedy i jiný charakter mají hodnoty (v tab.2.3) i grafy (v Příloze 1) znázorňující náhradní zatížení svodidel na mostech (F_{sI} a F_{sII}) předepsaná v [10] jednoznačně a pevnou hodnotou. I na tyto hodnoty a grafy lze pohlížet jako na energetické bilance jakýchsi hypotetických nárazů; v těchto případech sice není na místě hovořit o chybách či o ovlivnění nějakých parametrů subjektivními volbami, jde však o hodnoty náhradních sil stanovené jen odborným odhadem a prohlášené za platné jen na základě dohody, a nikoliv o hodnoty stanovené vyhodnocením nějakých průzkumů, statistických rozborů, nárazových zkoušek, výpočtů, apod.. Vztah "mostních" úrovní zadržení I a II k "přiměřenému vyjádření veřejného zájmu" je proto ještě méně transparentní než u tříd úrovní zadržení A1 až C1 podle [10] (a zvláště je méně názorný než je tomu u zkušebních nárazů definovaných v [8]).

Tab.2.3 Srovnání intenzit (účinností) zkušebních nárazů podle [8], vybraných zkušebních nárazů odpovídajících požadavkům [10] a [11], a náhradních zatížení pro svodidla na mostech podle [10]; vše na úrovni F_{max}

relativně málo poddajné svodidlo (předpokládaný průhyb cca 0,1 - 0,5 m)	náhradní síla kN (číselná osa)	relativně dost poddajné svodidlo (předpokládaný průhyb cca 1,5 - 2,5 m)
<p>TB21</p> <p>TB22</p> <p>TB21 TB41 A1</p> <p>TB11 TB3</p> <p>TB22 TB32 A2</p> <p>TB41 TB31 A1</p> <p>TB11 TB31 B1</p> <p>TB42 FsI</p> <p>TB42 TB32 FsI</p> <p>TB51 B1</p> <p>TB51 TB71 B2</p> <p>TB81 TB61 C1</p> <p>TB81 TB61</p> <p>TB71</p>	<p>0</p> <p>5</p> <p>10</p> <p>15</p> <p>20</p> <p>25</p> <p>30</p> <p>35</p> <p>45</p> <p>50</p> <p>55</p> <p>60</p> <p>65</p> <p>70</p> <p>75</p> <p>80</p> <p>85</p> <p>90</p> <p>100</p> <p>110</p> <p>120</p> <p>130</p> <p>140</p> <p>150</p> <p>160</p> <p>170</p> <p>180</p> <p>200</p> <p>240</p> <p>280</p> <p>300</p> <p>320</p> <p>340</p> <p>380</p> <p>400</p> <p>460</p>	<p>TB21</p> <p>TB22</p> <p>TB21 TB41 A1</p> <p>TB11 TB31 A2</p> <p>TB22 TB32 A1</p> <p>TB41 TB31</p> <p>TB42 B1</p> <p>TB32 A2</p> <p>TB42 FsI</p> <p>TB51 FsI</p> <p>TB51 B2</p> <p>TB71 C1</p> <p>TB51 TB61</p> <p>TB81 TB61</p> <p>TB81 TB61</p> <p>TB71</p> <p>B2</p> <p>C1</p> <p>FsII</p> <p>FsII</p>

2.3.5 Je velmi pravděpodobné, že v revidovaném předpisu TP 59, který má od roku 1999 nahradit vydání téhož předpisu z roku 1993 ([10]), dojde oproti současnému znění ke změnám tříd úrovní zadržení nejen co do počtu a označení, ale i co do požadovaného minimálního množství kinetické energie příslušného zkušebního nárazu.

Pokud k těmto změnám dojde, pak je rovněž velmi pravděpodobné, že půjde o zajištění návaznosti vymezení "českých" tříd úrovní zadržení dle TP 59 na vymezení "evropských" zkušebních nárazů definovaných v prEN 1317 ([8]; viz též tab.2.1 TP 101) a o uplatnění "evropského" označení a pojmenování úrovní zadržení v souladu s tab.2.4. Touto změnou (bude-li odpovídat zde uvedenému předpokladu) nebudou TP 101 znehodnoceny a jejich používání nebude prakticky ovlivněno; pouze v kap.2 se stane tab.2.2 (i s návaznými aplikacemi) zbytečnou a naopak bude posílen význam tab.2.1 a jejích aplikací (jde zejména o aplikace údajů z tab.2.1 a z tab.2.2 v tab.2.3 a v příloze 1). Používání ostatních částí TP 101 nebude revizí TP 59 ovlivněno vůbec.

Tab.2.4 Úrovně zadržení podle prEN 1317 ([8])

Úrovně zadržení	označení tříd úrovní zadržení	označení požadované zkoušky dle tab.2.1
nízké (jen pro dočasná svodidla)	T1 T2 T3	TB21 TB22 TB41
běžné	N1 N2	TB31 TB32
vyšší	H1 H2 H3	TB42 TB51 TB61
velmi vysoké	H4a, resp. H4b	TB71, resp. TB81
Ve třetím sloupci je uvedena jen zkouška předepsaná pro ověření únosnosti svodidla a určení jeho deformace; případné další předepsané zkoušky "přijatelnosti" uvedeny nejsou, neb s předmětem TP 101 nesouvisejí.		

2.3.6 U svodidel schválených MDS ČR pro používání na pozemních komunikacích na základě výsledků výpočtů (kterými byly ve smyslu TP 60 ([9]) nahrazeny nárazové zkoušky), provedených autorem TP 101, bylo vyčíslení "energetické bilance nárazů" provedeno uplatněním vztahů uvedených v 2.2, a to:

- s odchylkou spočívající ve vyšším odhadu velikosti a tím i vlivu (resp. účinnosti) třecí síly F_{tr} u svodidel schvalovaných v roce 1995 nebo dříve, tj. konkrétně u svodidel spínaných typu SSŽ-91 (SSŽ Řevnice), u svodidel s volným zámkem (ŽPSV Uherský Ostroh) a u svodidel s tyčí CPS fí 26 (SSŽ Řevnice);

- bez jakékoliv odchylky (u betonových svodidel schvalovaných v roce 1996 nebo později, tj. konkrétně u svodidel s tyčí HPT fí 32 (SSŽ Řevnice) a u svodidel s tyčí fí 35 z oceli 13240.6 (rovněž SSŽ Řevnice).

Důsledkem rozdílného odhadu velikosti síly F_{tr} došlo k tomu, že údaje pro navrhování (třídy, deformace, délky) neznamenaají u obou skupin svodidel zcela totéž, neboť:

- u první skupiny svodidel (tj. u svodidel schválených před rokem 1996) odpovídají tyto údaje spíše nárazům rychlých vozidel s "krátkými předky" a pod malými úhly, zatímco energeticky stejně vydatné nárazy vozidel s "dlouhými předky" a pod velkými úhly by měly (teoreticky) proběhnout méně příznivě (neb taková vozidla na "rampu" svodidla pravděpodobně nenajedou, přestože se ve výpočtu se ztrátami energie souvisejícími s najetím uvažovalo);

- u druhé skupiny svodidel (tj. u svodidel schválených po roce 1995) odpovídají tyto údaje spíše nárazům pomalejších vozidel s "dlouhými předky" a pod většími úhly, zatímco energeticky stejně vydatné nárazy vozidel s "krátkými předky" a pod malými úhly by měly (teoreticky) proběhnout příznivěji (neb taková vozidla na "rampu" svodidla pravděpodobně najedou, přestože ve výpočtu nebyly ztráty energie nárazu související s najetím zohledněny).

Tedy: stalo se (vinou autora TP 101), že na svodidla schválená na základě výpočtů před rokem 1996 byl vzat poněkud mírnější metr než na svodidla schvalovaná na základě výpočtů v roce 1996 a později.

2.4 Uplatnění příčných sil F jako zatížení svodidla

2.4.1 Z hlediska metodiky mezních stavů je zatížení svodidla při nárazu zatížením mimořádným, které se aplikuje jen v mimořádné kombinaci a jehož působení se předpokládá jen v mimořádné (v nehodové) návrhové situaci.

Náhradní intenzita $F_{prům}$ se při navrhování ani posuzování svodidla přímo neuplatní; úvahy a doporučení týkající se aplikace F_{max} a F_{dyn} , jejichž vztah k $F_{prům}$ lze zavést podle 2.2.2, jsou uvedeny v dalších bodech tohoto oddílu.

2.4.2 Na intenzitu F_{max} se doporučuje pohlížet jako na intenzitu charakteristickou (normovou); tj. stejně jako na intenzitu náhradního zatížení svodidel na mostech, která je uvedena v předpisech pro navrhování mostů (např. v [4], [6], [7], [9], [10], [16] a [17]).

Tuto intenzitu se doporučuje uplatňovat přímo (tj. bez dynamického součinitele a se součinitelem zatížení 1,0) při ověřování spolehlivosti svodidla proti dosažení všech mezních stavů, uvedených v normách pro navrhování, které mají význam

"meze" vzhledem k požadované funkci svodidla při nárazu. Jde zejména o mezní stavy související s:

- průhybem či příčným odsunem větší délky nebo celého úseku svodidla (znamená-li překročení "mezní hodnoty", že náraz proběhl nepříjemně);
- převrácením či vyvrácením nebo vylomením dílce svodidla nebo úseku svodidla (znamená-li tento jev, že náraz proběhl nepříjemně);
- s některými typy porušení (nikoliv obecně s porušením "libovolné povahy", ale jen s takovým porušením, které má za následek nepříjemnost průběhu nárazu),

přičemž však obecně platná kritéria (obecné objektivní stanovení a předpisem kvantitativně určené vymezení), jaký průběh nárazu či jaký jev má být ještě považován za přijatelný a jaký již za nepřijatelný, neexistují a (až na zcela evidentní případy, jako je např. "rozbití" svodidla na kusy, které jsou "vystřeleny" po vozidlech nacházejících se v blízkosti) pravděpodobně ani existovat nebudou. Lze tedy oprávněně očekávat, že bude snaha provádět hodnocení svodidla až "post festum", že toto hodnocení bude subjektivní a případ od případu různé (např. u soudu - např. podle toho, kdo se zabil). Tato pro projektanta nebezpečná situace (stav právní nejistoty) by jej měla motivovat k úsilí uplatňovat přednostně "svodidla schválená", za jejichž fungování při nárazu nese přece jen menší právní odpovědnost, než za fungování jím navržených "svodidel jiných".

Při ověřování splnění příslušných podmínek spolehlivosti se doporučuje postupovat podle norem pro navrhování, nebo alespoň v jejich duchu, přičemž je vhodné jak při stanovení účinků zatížení, tak i při stanovení odporů konstrukce využít úlev a možností, které vedou k úsporám, s nimiž normy dovolují uvažovat při působení jednorázových (resp. mimořádných) zatížení, tj. např. uvažovat s rozvojem plastických kloubů a zohlednit souvisící redistribuci vnitřních sil, uvažovat se změnou statického působení (obvykle z ohybového geometricky lineárního při menší intenzitě F_{max} na tahové (tj. převážně lanové) geometricky nelineární při větší intenzitě F_{max}), atd..

2.4.3 Na intenzitu F_{dyn} se doporučuje pohlížet jako na intenzitu návrhovou (výpočtovou) odvozenou z charakteristické intenzity F_{max} přenásobením součinitelem, který je však spíše součinitelem dynamickým (či součinitelem "krátkosti působení") než součinitelem spolehlivosti zatížení.

Tuto intenzitu se doporučuje uplatňovat jen při ověřování spolehlivosti svodidla proti překročení dvou mezních stavů běžně v normách pro navrhování neuváděných, a to proti:

- převrácení vozidla přes svodidlo (je-li překonání svodidla převráceným vozidlem nepříjemné);
- "totální ztrátě vnitřní soudržnosti" průřezů či detailů svodidla, např. styků (též by bylo možno hovořit o překročení "mezního stavu při nárazu" nebo o překonání "mezního stavu

destrukce"; u svodidel by snad bylo výstižné hovořit i o dosažení "mezního stavu průtrže"), což je něco zcela jiného než dosažení mezního stavu porušení definovaného v normách pro navrhování (např. mezní odpory uplatňované při ověřování spolehlivosti svodidla proti destrukci mohou být odvozovány z charakteristické pevnosti a charakteristické tažnosti materiálů a ne jen z návrhové meze kluzu a z mezního přetvoření; i výpočtové modely jak pro stanovení účinků zatížení, tak i pro stanovení mezních odporů, mohou být "nenormové").

Při ověřování splnění příslušných podmínek spolehlivosti se doporučuje "ctít ducha" (tj. dodržovat metodiku) základních norem pro navrhování (zejména [1]); avšak postupovat striktně podle speciálních norem pro navrhování nosných konstrukcí z konkrétních materiálů (např. podle ČSN 73 1201, 73 1401, 73 6205, 73 6206, 73 6207, apod.) nebývá právě nejvhodnější.

2.4.4 Doporučuje se, aby ze dvou různě formulovaných požadavků na zajištění vnitřní soudržnosti, tj., aby svodidlo bylo spolehlivé proti:

- porušení při působení zatížení F_{max} (2.4.2);
- destrukci při působení zatížení F_{dyn} (2.4.3),

byl považován za rozhodující ten benevolentnější, tj. ten, jehož aplikace vede k úspornějším dimenzím při navrhování či k vyšší zatížitelnosti při posuzování. Požadavek, aby svodidlo bylo spolehlivé současně jak proti porušení ve smyslu norem pro navrhování (i když jde jen o dodržení zásad těchto norem a nikoliv o jejich striktní uplatnění), tak i proti destrukci, je nejen "na straně nevhodné", ale mohl by zapříčinit i navržení svodidla nadbytečně tuhého a proto hůře fungujícího, které větší počet lehčích vozidel odrazí (nikoliv "svede").

Ve většině případů bude mírnějším (a tedy rozhodujícím) požadavek na zajištění spolehlivosti svodidla a jeho částí proti destrukci při působení síly F_{dyn} ; ověření této skutečnosti je však vždy náročnější a pracnější než ověření spolehlivosti proti porušení ve smyslu norem (nejsou a ani nebudou detailní předpisy co do podrobností srovnatelné s normami pro navrhování, je třeba zohlednit fyzikální i geometrickou nelinearitu - obvykle na obou stranách spolehlivostních nerovností, příslušné hodnoty materiálových charakteristik nebývají uvedeny přímo v ČSN a je třeba je hledat v jiných podkladech nebo i sáhnout ke zkouškám).

2.4.5 Návrhové intenzity náhradního zatížení, jejichž účinkům mají být schopna odolávat nejen svodidla sama, ale i konstrukce svodidla podporující, mají výrazně jiný charakter než návrhové intenzity většiny ostatních druhů zatížení předepsaných zatěžovacími normami. Nevyjadřují nějaké "maximální intenzity", které prakticky nemohou být podstatněji překročeny (jak je tomu např. u zatížení stálých), ani intenzity dosahované s nějakou přiměřenou periodicitou (jak je tomu např. u zatížení dopravou nebo sněhem, atd.), a ani nejde o intenzity mající nějaký rozumný

vztah k možnému extrému. Vztah mezi četností výskytu určité intenzity kontaktní síly a velikostí této intenzity (pravděpodobnostní rozdělení) je vyjádřen (snad) spíše plynulou a povlnnou sestupnou křivkou než obvyklým "zvonek" (viz obr.2.7). Pokud nejsou užita nějaká zvláštní a obvykle zcela nepřijatelná opatření (např. že vozidla jsou vedena úzkým klikatým korytem a že jejich tíha je omezena účinnějším opatřením než jen předpisem), nelze s přiměřenou pravděpodobností zaručit, že nedojde k nárazu, k jehož zachycení by nestačil ani záchytný systém nadimenzovaný na působení náhradních sil třeba i dvacetkrát intenzivnějších než návrhové.

Z uvedené skutečnosti, a ze snahy respektovat zásadu, že "následky nemají být neúměrné příčině" (uvedené např. v Eurokódu 2-1-1, čl.2.1, odst.2), vyplývá, že někdy (zejména u svodidel osazovaných jinak než přímo na zem nebo na sloupky zaražené do země) je vhodné navrhovat svodidla (některou část svodidla, případně některou z konstrukcí svodidlo podporujících) nejen tak, aby byla schopna spolehlivě odolat návrhovému nebo předepsanému (či "rozhodnutím příslušných orgánů ústřední nebo místní správy určenému") zatížení, ale i tak, aby uspokojivým způsobem (tj. tak, aby nedošlo k nepřiměřeným škodám nebo k neočekávaným nepříznivým jevům) řídila "běh věcí" i při nárazech podstatně razantnějších než je náraz návrhový. Obvykle je vhodné zajistit, aby překonání svodidla vozidlem nebylo provázeno nepřiměřeným poškozením konstrukcí svodidlo podporujících (jde-li o svodidlo na mostě, tak poškozením např. římsy nebo dokonce hlavní nosné konstrukce).

Zásady navrhování nosných konstrukcí, na které může zapůsobit náraz s neznámou, prakticky neomezenou intenzitou, nejsou v předpisech pro navrhování podrobně rozvedeny. Mnohdy však může (obdobně jako např. u elektrických obvodů) "řízení běhu věcí jinak těžko říditelných" obstarat vhodná volba a vhodná konstrukce "pojistky" čili volba nejslabšího článku v nosném řetězci začínajícím madlem či svodnicí svodidla a končícím podzákladem, který by byl nadimenzován nejen běžným způsobem, tj. tak, aby spolehlivě odporoval účinkům návrhového zatížení, ale navíc (a méně běžným způsobem) i tak, aby "spolehlivě" (tj. s přiměřenou pravděpodobností) došlo k jeho úplnému vyloučení z funkce, dosáhnou-li účinky zatížení určité "horní meze".

Pro dimenzování částí svodidla "před pojistkou" jsou významné účinky návrhového zatížení (resp. návrhového nárazu); pro dimenzování prvků nosného řetězce "za pojistkou" jsou významné "meze spolehlivého vyloučení z funkce" pojistky. Tyto meze, stejně jako i jiné odpory konstrukcí, nejsou odvozeny z velikosti účinků nárazu ani z velikosti účinků nějakých jiných zatížení. Podkladem pro stanovení "mezí vyloučení pojistky z funkce" by měly být odpory pojistky stanovené v závislosti na její konstrukci. Nejde však o meze únosnosti pojistky stanovené podle norem pro navrhování, a ani nejde o "meze totální ztráty vnitřní soudržnosti" pojistky zmíněné v 2.4.3. Jde o meze "zaručeného překonání pojistky", při jejichž určování by se mělo vyjít z opačného konce pravděpodobnostního rozdělení pevnostních charakteristik materiálů a detailů zvolené pojistky, než jak tomu bývá při stanovování odporů konstrukce podle norem (snad alespoň tak, že se uvažuje s převrácenou hodnotou součinitelů spolehlivosti - např. součinitelů spolehlivosti materiálů,

jde-li o destrukci, součinitelů stability polohy, jde-li o ztrátu stability polohy, atd.).

Poměr mezi "mezi spolehlivého vyloučení z funkce" a mezi únosností (zatížitelností) stanovenou podle norem pro navrhování pojistky bude evidentně (v závislosti na materiálech a geometrii detailů) případ od případu jiný a vesměs bude obtížně zjištěitelný. Místo provádění výpočtů tohoto poměru, nutně opřené o subjektivní odhady, je proto obvykle dostatečně uplatnit při dimenzování všech pokračujících článků nosného řetězce za pojistkou (mají-li být "pojistkou" např. sloupky svodidla, začíná pokračování nosného řetězce kotvením sloupků) doporučení zahraničních předpisů a předpokládat hodnotu "meze spolehlivého vyloučení z funkce" pojistky jako cca 1,7 násobek její zatížitelnosti (návrhové únosnosti); např. v [17] je uvedena hodnota 5/3 (v [6] je uvedena hodnota tohoto součinitele sice jen 1,25, vztahuje se však k únosnosti charakteristické, nikoliv k únosnosti návrhové).

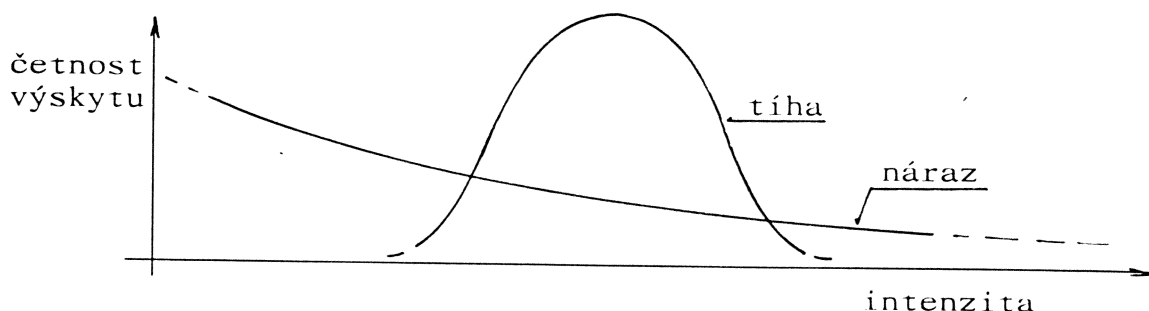
Ověření vhodnosti volby součinitele 1,7 (ani způsob stanovení "horních" zatížitelností stavebních konstrukcí nebo nějaká obecnější metodika dimenzování "pojistek") není zcela pokryto běžnými normami pro navrhování; v principu však jde o poměr mezi "horní návrhovou" (v normách ani jinde běžně neuváděnou) mezi rozhodující pevnostní charakteristiky rozhodujícího materiálu či detailu, a návrhovou (též "dolní", běžně při navrhování aplikovanou) mezi těžce charakteristiky. Protože materiálem rozhodujícím o destrukci svodidel (i betonových) bývá obvykle konstrukční ocel nebo betonářská výztuž, a za předpokladu, že rozhodující pevnostní charakteristikou oceli je mez kluzu (a to i pro mezní stav destrukce), že pravděpodobnostní rozdělení této meze je symetrické, a že plastická větev pracovního diagramu oceli je dost dlouhá a dost plochá, takže mez pevnosti se neuplatní prakticky nikdy (např. sloupek svodidla se ohne až na zem, aniž by se ulomil) a ani k podstatnějším zpevnění nedojde, lze se k součiniteli 1,7 přibližně dopracovat vynásobením:

$$\text{gama} \times \text{beta} \times \text{beta} \times \text{gama} = 1,1 \times 1,2 \times 1,2 \times 1,1 = 1,7$$

- gama = 1,1 je součinitel spolehlivosti (stejnoměrnosti) materiálu (oceli);
- beta = 1,2 by mělo souviset s pravděpodobnostním rozdělením meze kluzu oceli (beta by mělo vyjádřit poměr mezi střední mezi kluzu a charakteristickou mezi kluzu, odpovídající 5 % kvantilu "podměrečných" hodnot).

Bude-li pro destrukci svodidla rozhodující jiný materiál než ocel s výraznou mezi kluzu, nebo bude-li rozhodující nějaký konstrukční detail (např. styk dílců), může být vhodná hodnota tohoto součinitele obecně jiná (obvykle vyšší).

Aplikace uvedených úvah o součiniteli 1,7 je v souladu se stanovováním zatížitelnosti zvolené "pojistky" běžným způsobem podle norem pro navrhování jako kterékoliv jiné konstrukční části zatížené zatížením mimořádným. Stejným způsobem (tj. jako se zatížením mimořádným) se dále "pracuje" s 1,7 násobkem této zatížitelnosti při dimenzování konstrukcí svodidla podporujících (nejen bezprostředně podporujících; jde i o všechny následující články nosného řetězce).



Obr.2.7 Charakter pravděpodobnostního rozdělení intenzity běžného zatížení (např. tíhy) a charakter rozdělení intenzity nárazu

2.4.6 Nebude-li při navrhování svodidla, při navrhování jeho uložení a při navrhování konstrukcí svodidlo podporujících, uplatněna "filosofie pojistky" popsaná v 2.4.5, která by s přiměřenou spolehlivostí zajistila, že nedojde "k následkům neúměrným příčině" (takže je konstrukčními opatřeními zaručeno, že např. řidič kamionu, který se rozhodne projet skrz svodidlo ven z dopravního prostoru, nemůže vzít s sebou i kus hlavní nosné konstrukce mostu, i kdyby spáchal cokoli kromě výbuchu), doporučuje se při navrhování "konstrukcí svodidlo podporujících" respektovat příslušné ustanovení [6] (bod (1) čl. 4.7.3.4), uvádějící jako náhradní zatížení (nahrazující náraz do konstrukce mostu ve směru kolmém ke směru jízdy) sílu $F_{max} = 500 \text{ kN}$ působící 1,25 m nad úrovní přilehlého povrchu vozovky.

3 Účinky příčné síly F_{max} (vnitřní síly ve svodidle, průhyby, reakce)

3.0 Značky

Kromě značek uvedených a vysvětlených v tomto článku, a kromě značek vysvětlených přímo v místě použití, jsou v kap.3 užívány i značky uvedené v 2.0.

F_{maxo} velikost síly F_{max} , při jejímž dosažení lze očekávat v daném svodidle a za daných okolností (prostorové uspořádání, působiště) vznik (a při přetížení či déle trvajícím působení následující rozvoj) plastických kloubů nebo lomových čar v počtu majícím za následek změnu nosného systému svodidla z tvarově určité konstrukce na mechanismus); na F_{maxo} lze též pohlížet jako na mezní sílu, při jejímž působení lze ještě považovat chování svodidla za ohybové a jeho deformace ještě za malé ve smyslu 3.1.4; o F_{maxo} lze též uvažovat jako o síle, jejíž působení snese svodidlo i opakovaně a bez nutnosti provést opravu globální geometrie; F_{maxo} bývá jen zlomkem jednorázové únosnosti (či zatížitelnosti) svodidla, jejímuž dosažení obvykle předchází lanové chování a velké deformace celého zachytného systému

q tíha jednotkové délky svodidla

L délka jednoho dílce prefabrikovaného svodidla (vesměs betonového, běžně bývá $L = 4 \text{ m}$)

$P = FI * q * L$ síla potřebná k posouvání jedním dílcem, o které se předpokládá, že její směr je přibližně i směrem posuvu těžiště příslušného dílce (tento předpoklad výrazně zjednodušující výpočet je pouze "přání otcem myšlenky", ve skutečnosti směr tření odpovídá směru okamžité rychlosti posuvu a nikoliv směru výsledného posuvu)

k_t poměr mezi součinitelem tření z klidu a FI ; hodnota tohoto poměru může být i 1,0 (pro nové svodidlo nebo pro svodidlo, se kterým nedávno pohnulo), i "hodně", třeba i přes 10,0 (např. pro svodidlo přimrzlé, přilepené vyschlým blátem, apod.)

Mu,pl (Mu,pl,za pro záporný a Mu,pl,kl pro kladný směr momentu působícího na celé svodidlo; Mu,pl,sl pro sloupek a Mu,pl,i pro i-tou příčli zábradelního svodidla) plastický moment, jehož významná hodnota může být podle okolností návrhová, charakteristická, průměrná nebo i jiná; neuvažuje-li se se zpevněním, moment v průřezu teoreticky nemůže hodnotu Mu,pl překročit (dosáhne-li jí, dochází k "tečení" průřezu a jeho okolí co do zakřivení)

3.1 Zásady řešení, výpočtové modely

3.1.1 Stejně jako kap.2 (a mnohé předpisy a prameny, např. [1], [4], [6], [7], [8], [9], [10], [16], [17]) vychází i kap.3 TP 101 z předpokladu, že silové i deformační účinky nárazu vozidla na svodidlo mohou být jak při navrhování (resp. při posuzování spolehlivosti) svodidla, tak i při stanovení jeho zatížitelnosti, nahrazeny účinky v čase neproměnné, nepohyblivé a ke svodidlu kolmé osamělé náhradní síly $F_{výz}$, pokud je vhodně (správně?) určena její intenzita i působíště.

Podle 2.1 a obr.2.1 lze náhradní sílu $F_{výz}$ (a to, podle 2.2.2, přímo její intenzitu F_{max} , z níž pak lze vynásobením součinitelem 1,6 odvodit intenzitu F_{dyn}) stanovit, spolu s příslušným průhybem svodidla w_{max} a závisle na něm, jako řešení dvou rovnic o dvou neznámých, z nichž:

- první je závislostí intenzity náhradní síly F_{max} na velikosti průhybu w_{max} (vyjadřuje tzv. "energetickou bilanci nárazu", doporučení pro její stanovení jsou uvedena v 2.2);
- druhá je závislostí velikosti průhybu svodidla w_{max} na intenzitě působící síly F_{max} (či "pracovním diagramem svodidla", poznámky ke stanovení této závislosti jsou uvedeny v této kap.3.

3.1.2 Svodidlo se považuje za nosnou konstrukci zatíženou:

- příčnou silou F_{max} ;
- třením svodidla o podklad, je-li svodidlo uloženo posuvně a je-li síla F_{max} dost velká k překonání počátečního tření.

Vhodným konstrukčním uspořádáním svodidla jako celku i jeho detailů by se mělo dosáhnout (a vesměs se i dosáhne) toho, že objemové změny nevyvolávají ve svodidle významné vnitřní síly ani jiné významné účinky; silové účinky větru i silové účinky vlastní tíhy prvků svodidla (nejen madel nebo svodnic, ale i betonových dílců) bývají pro svodidlo samo (nikoliv však vždy i pro konstrukce svodidla podporující) zanedbatelné.

3.1.3 Pohlíží-li se na svodidlo jako na nosnou konstrukci zatíženou náhradní silou F_{max} (a případně třením o podklad), lze u většiny typů svodidel z hlediska stavební mechaniky rozlišit dva základní případy chování svodidla a to chování:

- "ohybové", ke kterému dochází při relativně (vzhledem k danému svodidlu) malých nárazech, při kterém vynášení zatížení zprostředkovávají převážně ohybové momenty a příslušné posouvající síly v podélných prvcích svodidla;
- "lanové", ke kterému dochází při relativně (vzhledem k danému svodidlu) velkých nárazech, při kterém vynášení zatížení zprostředkovávají převážně tahové síly v podélných prvcích svodidla;

Pro mnohé běžně užívané typy svodidel (a pro dané situační poměry a další dané okolnosti nárazu) bývá tedy možné alespoň přibližně stanovit takovou mez F_{maxo} , že při nárazu nahrazeném silou:

- $F_{max} < F_{maxo}$ je chování svodidla zcela nebo alespoň převážně ohybové (viz 3.1.4 a 3.2);
- $F_{max} > F_{maxo}$ je chování svodidla zcela nebo alespoň převážně lanové (viz 3.1.5 a 3.3).

Je-li F_{max} jen nepříliš větší než F_{maxo} , je u některých typů svodidel, např. u zábradelních ocelových svodidel na mostech, u nichž by byl vznik převážně lanového chování (rozumí se při návrhovém nárazu) nepřijatelný z důvodu příliš velkého průhybu, účelné uvažovat i o chování smíšeném (ohybově-lanovém), kdy se na vynášení zatížení významně podílí jak ohybové momenty, tak i tahové síly vznikající v podélných prvcích svodidla. O tomto chování svodidel jsou zmínky v 3.3.4.

U lanových a jim podobných svodidel jde vždy jen o chování lanové (v těchto případech $F_{maxo} = 0$); u "křehkých" svodidel, jakými jsou např. monolitické zídky ze slabě vyztuženého betonu bez podélných ocelových nosných prvků, jde naopak vždy (pokud to nejsou masivní gravitační zdi vzdorující nárazu tíhou přímo naražené hmoty, na které lze pohlížet jako na nedeformovatelná tělesa) o chování převážně ohybové (pak $F_{maxo} =$ zatížitelnost, resp. únosnost). Jinak než převážně ohybově se také nemůže chovat svodidlo (jakékoliv) v případě, že náraz působí do konce úseku, pokud tento konec není schopen svým vetknutím či kotvením zajistit přenos podélné tahové síly do konstrukce svodidla podporující (např. do zemního tělesa, mostu, zdi).

3.1.4 Převážně ohybové chování svodidla bývá provázeno průhyby obvykle nepřesahujícími 0,1 až 0,2 m. Tyto hodnoty lze označit jako "malé" z hlediska:

- prostorového uspořádání konstrukcí svodidla podporujících i z hlediska chráněného okolí komunikace (což je mnohdy považováno za žádoucí);

- velikosti kontaktních sil působících při nárazu jak na vozidlo, tak i na svodidlo, k jejichž podstatnější redukci oproti nárazu s jinak stejnými parametry na nekonečně tuhou zeď prakticky nedochází (pokud se svodidlo takto chová při nárazech osobních vozidel jedoucích vysokou rychlostí a narážejících na svodidlo pod značným úhlem, mohou být takové nárazy pro posádky těchto vozidel velmi nepříjemným, ba až "konečným", řešením);

- pohybu vozidla během nárazu a po něm, kdy vozidlo může být právě z důvodu malosti průhybu svodidlem nikoliv sváděno, jak by se podle etymologie slušelo a patřilo, nýbrž může jím být odraženo zpět do vozovky (kde může zapříčinit další havárii, i řetězovou);

- výpočtového modelu svodidla jako nosné stavební konstrukce (k odhadu silových účinků síly F_{max} ve svodidle, včetně odhadu reakcí, kterými jsou zatěžovány konstrukce svodidla podporující, i k ověření správnosti výchozího předpokladu o převážně ohybovém mechanickém chování svodidla, pak obvykle postačuje geometricky lineární výpočtový model, mnohdy relativně jednoduchý, např. ohýbaný nosník, rošt, nebo deska, který je řešitelný pomocí běžných programů, někdy i ručně).

Poznámky uvedené v závorkách u jednotlivých odrážek naznačují, že vhodná hodnota meze F_{max} (na kterou lze při navrhování svodidla pohlížet jako na předmět volby) může být případ od případu jiná podle toho, zda výhody spojené s vysokou hodnotou této meze (výhodou mohou být např. malé deformace z hlediska provozu i z hlediska navrhování; možnost zachycení dalších nárazů bez oprav; někdy i jednoduchost a robustnost konstrukce svodidla) v dané konkrétní situaci vyvažují nebo nevyvažují související nevýhody (nevýhodou může být např. větší pravděpodobnost odražení vozidel do značné vzdálenosti od svodidla; větší pravděpodobnost zranění osob; nepříznivější namáhání konstrukcí svodidla podporujících; někdy i větší cena a větší tíha svodidla). Může se tedy ukázat užitečným hodnotu meze F_{max} navržením vhodného svodidla řídit, resp. volit či předepsat, nebo ji alespoň umět pro dané svodidlo a danou situaci stanovit (např. proto, aby se dalo předem odhadnout, jak se bude dané svodidlo chovat při nárazech s intenzitami značně menšími než je jeho zatížitelnost, což může být využito např. v místech, kde je k dispozici jen malá deformační zóna).

3.1.5 Při působení tak velké síly F_{max} , že svodidlo již není schopno vzdorovat jako konstrukce převážně ohýbaná (tj. po vytvoření a rozvoji tolika plastických kloubů či linií, že z tvarově určité konstrukce vznikne mechanismus, nebo jde-li o lanové svodidlo při jakémkoliv zatížení), se obvykle (pokud nejde o "křehké" svodidlo) iniciuje ještě před "průtrží" svodidla "lanový nosný systém", jehož relativní podíl na vynášení náhradní síly F_{max} vzrůstá se zvětšováním této síly. Toto lanové chování svodidla bývá provázáno kromě existence podélných tahů i velkými (jak z hlediska teorie stavební mechaniky, tak často i z hlediska prostorového uspořádání komunikace) deformacemi měřitelnými někdy i v metrech.

Vytváření výpočtových modelů "lanově" fungujících svodidel, řešení těchto modelů (charakterizovaných vždy geometrickou nelinearitou a obvykle i fyzikální nelinearitou a předem neznámým rozsahem "zasaženého" úseku), a v neposlední řadě i verifikace správnosti získaných výsledků, je úlohou značně komplikovanější, než vytváření a řešení výpočtových modelů svodidel s ohybovým chováním. Přesto je v 3.3 učiněno několik pokusů vytvořit a řešit zjednodušené výpočtové modely "lanových" nosných systémů odpovídajících posuvně osazeným betonovým svodidlům (předpjatým i nepředpjatým) sestaveným z dílců; zmínka je věnována i ocelovým zábradelním svodidlům mostním běžného typu (tj. sloupky a madla).

3.2 Příklady výpočtových modelů svodidel při převážně ohybovém chování (malé deformace)

3.2.1 Při určování (odhadování) meze F_{\max} daného svodidla, resp. při navrhování svodidla takového, aby jeho charakteristika F_{\max} dosáhla předem zvolené velikosti, lze uplatnit triviální ("školní") postupy stanovení účinků zatížení i zcela běžné (dle norem pro navrhování stavebních konstrukcí) postupy stanovení odporů konstrukce svodidla.

V 3.2.2 až 3.2.7 jsou (s různou podrobností, někde jen obecné úvahy, někde popis postupu výpočtu, někde i přímo "vzorečky" nebo vztahy) uvedeny pokyny k provedení odhadu meze F_{\max} pro:

- betonové svodidlo sestavené z dílců, posuvně uložené na podkladu (3.2.2);
- monolitické (nebo zmonolitněné) betonové svodidlo, posuvně uložené na podkladu (3.2.3);
- betonové svodidlo (montované z dílců nebo monolitické) přikotvené k podkladu (3.2.4);
- betonové svodidlo monolitické (nebo zmonolitněné) monoliticky spojené s podkladem (3.2.5);
- ocelové svodidlo, resp. ocelové zábradelní svodidlo (3.2.6);
- obecný případ (3.2.7).

Jde-li o svodidlo z dílců, předpokládá se působení náhradní síly v těsné blízkosti styku, kde je obvykle nejúčinnější.

I když v 3.2.2 a 3.2.3 jsou uvedeny případy, kdy síla F_{\max} působí v těsné blízkosti konce svodidla (o kterém se předpokládá, že není kotvený a ani jinak zesílený oproti vnitřním částem svodidla), obvykle se za základní, svodidlo charakterizující a pro praxi rozhodující považuje případ, kdy náhradní síla působí uvnitř delšího úseku svodidla.

3.2.2 V ČR se běžně užívá betonové svodidlo sestavené z relativně tuhých a dostatečně únosných dílců délky L , které jsou posuvně uloženy na podkladu. Nechť u tohoto svodidla je velikost třecí síly potřebné k posouvání jedním dílcem svodidla P a nechť styk dílců je schopen odporovat "zlomení" návrhovým plastickým momentem:

$$M_{u,pl} = M_{u,pl,kl} = M_{u,pl,za}$$

stejným pro kladný i pro záporný směr.

Návrhový $M_{u,pl}$ styku lze určit obvyklým způsobem (tj. podle norem pro navrhování, při uplatnění návrhových pevnostních charakteristik materiálů).

Jde-li o dílce spojené jen předpínací výztuží bez soudržnosti, lze $M_{u,pl}$ styku stanovit jako součin velikosti předpínací síly a délky ramene měřeného od těžiště předpínací výztuže po odhadnutou "osu rotace" (tato osa nemusí být svislá a může mít s průřezem společných jen několik bodů).

Je-li styk dílců tvořen "volným zámekem" nebo jde-li o svodidlo s tyčí, lze obvykle považovat spojení dílců za kloubové a předpokládat, že $M_{u,pl}=0$.

Podmínky momentové rovnováhy, z nichž lze stanovit hledanou velikost síly F_{maxo} , lze odvodit z "rovnosti virtuálních prací sil vnějších a sil vnitřních", tj. v tomto případě ze vztahů (3. 5) a (3. 8), nebo, vzhledem k jednoduchosti úlohy, i přímo. Tyto podmínky jsou, působí-li F_{maxo} na:

a) konec svodidla (obr.3.1a):

$$L * F_{maxo} - M_{u,pl} - (1/2) * L * P = 0 \quad (3. 1)$$

odtud:

$$F_{maxo} = M_{u,pl} / L + (1/2) * P \quad (3. 2)$$

b) vnitřní část svodidla (obr.3.1b):

$$L * F_{maxo}/2 - 2 * M_{u,pl} - (1/2) * L * P = 0 \quad (3. 3)$$

odtud:

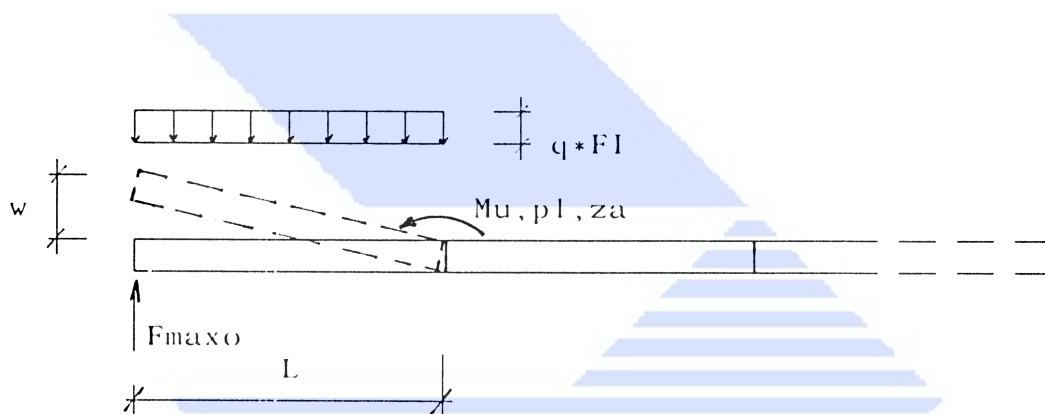
$$F_{maxo} = 4 * M_{u,pl} / L + P \quad (3. 4)$$

Při běžných délkách dílců L (4 m), při běžných tíhách svodidla (6 až 13 kN/m) a při stycích fungujících jako klouby ($M_{u,pl}=0$), vychází v případě ad b) velikost meze F_{maxo} cca 15 až 35 kN. Jde o minimální zaručenou hodnotu; skutečná síla, která při působení uvnitř svodidla ještě nevyvolí velké deformace, bude z více důvodů (F není osamělá síla, ale působí na určité délce; tření z klidu je větší než tření za pohyb; žádné styky se nenatáčí zcela bez odporu; uvedený výpočet nepostihuje část síly označenou v 2.2.3 jako F_{tr}) vždy o dost větší. Lze očekávat, že betonová svodidla daného typu budou odolávat prakticky bez posuvu silám

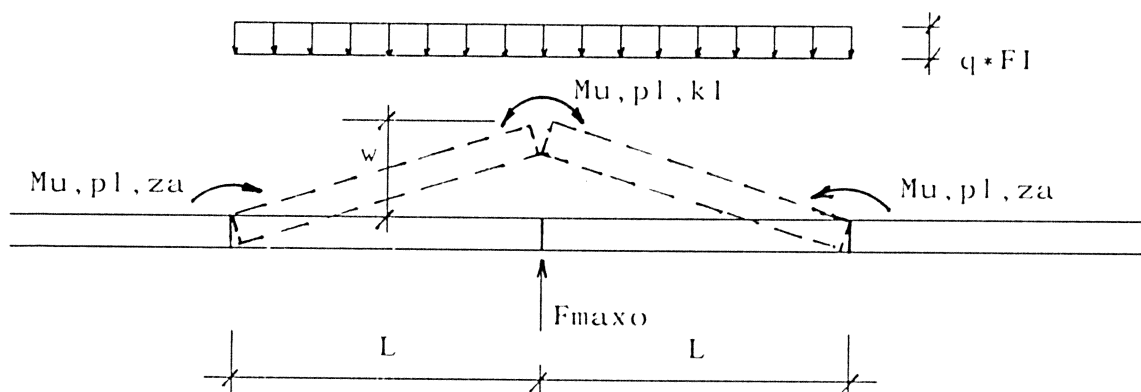
alespoň dvojnásobným, tj. cca 30 až 70 kN; u předpjatých svodidel ($M_{u,pl} > 0$) mnohdy půjde o síly přesahující 100 kN.

Je-li hodnota $M_{u,pl}$ styku relativně velká, může se svodidlo "chtít zlomit" až ve vzdálenosti $2 \cdot L$ (resp. i $3 \cdot L$) od působíště síly F_{maxo} (zejména je-li L kratší než obvyklé 4 m). Zvýšená pravděpodobnost vzniku lomu až ve vzdálenějších stycích se pozná podle toho, že velikost síly F_{maxo} vyjde při dosazení délky $2 \cdot L$ (resp. i $3 \cdot L$) do vztahů (3. 2) nebo (3. 4) a do P (na místě jednoduché délky L) o něco menší.

Je-li hodnota $M_{u,pl}$ vnitřní části dílců relativně malá, mohlo by (zejména při velkém L , nebo při velkém P , nebo při velkém $M_{u,pl}$ styku) dojít k rozvoji plastických kloubů i uvnitř dílců. V takovém případě, nabízí-li "kinematika" více možností, uplatní se ta z nich, která je energeticky nejméně náročná. Tvar a rozměry vzniklého mechanismu, jakož i velikost příslušné síly F_{maxo} , lze v takovém případě stanovit (počínaje odhalením skutečnosti, že k něčemu takovému vůbec může dojít) pomocí úvah a někdy přímo i pomocí vztahů uvedených v 3.2.3.



Obr.3.1a Statické schéma odpovídající působení síly F_{maxo} na konci betonového svodidla



Obr.3.1b Statické schéma odpovídající působení síly F_{maxo} na vnitřní část betonového svodidla

3.2.3 V ČR dosud nikoliv, ale v zahraničí se někdy užívá betonové monolitické svodidlo, nekotvené a nevetknuté, které je volně (posuvně) uložené na podkladu. Nechť u tohoto svodidla je $q \cdot FI$ velikost třecí síly potřebné k posouvání jednotkové délky svodidla po podkladu, a nechť průřez svodidla je schopen odporovat návrhovým plastickým momentem $M_{u,pl,kl}$ zlomení "kladným" směrem a návrhovým plastickým momentem $M_{u,pl,za}$ proti zlomení "záporným" směrem (tyto momenty lze určit obvyklým způsobem, tj. podle norem pro návrhování, při uplatnění návrhových pevnostních charakteristik materiálů).

Podmínky momentové rovnováhy, a vztahy, z nichž lze stanovit velikost síly F_{maxo} , jsou podobné jako v případě 3.2.2, tj. jako vztahy (3. 1) až (3. 4); v tomto případě však není významná délka L_b (zde nejde o známou délku dílce označovanou L , ale o předem neznámou vzdálenost místa vzniku plastického kloubu od působíště síly F_{maxo}). Lze očekávat, že se bude realizovat taková délka L_b , při které je potenciační energie systému π (systém zahrnuje zatížení včetně tření + svodidlo; působíště zatížení se posouvá, svodidlo se láme) minimální. Pro:

a) konec svodidla (obr.3.1a) je:

$$\pi = M_{u,pl,za} \cdot w/L_b + (q \cdot FI) \cdot L_b \cdot w/2 - F_{maxo} \cdot w \quad (3. 5)$$

$$d\pi/dL_b = - M_{u,pl,za} / L_b^2 + (q \cdot FI) / 2 = 0 \quad (3. 6)$$

$$L_b = \sqrt{[(2 \cdot M_{u,pl,za}) / (q \cdot FI)]} \quad (3. 7)$$

$$F_{maxo} = M_{u,pl,za} / L_b + (1/2) \cdot L_b \cdot (q \cdot FI) \quad (3. 8)$$

b) vnitřní část svodidla (obr.3.1b) je:

$$\pi = (2 \cdot M_{u,pl,kl} + 2 \cdot M_{u,pl,za}) \cdot w/L_b + 2 \cdot (q \cdot FI) \cdot L_b \cdot w/2 - F_{maxo} \cdot w \quad (3. 9)$$

$$d\pi/dL_b = - (2 \cdot M_{u,pl,kl} + 2 \cdot M_{u,pl,za}) / L_b^2 + (q \cdot FI) = 0 \quad (3.10)$$

$$L_b = \sqrt{[(2 \cdot M_{u,pl,kl} + 2 \cdot M_{u,pl,za}) / (q \cdot FI)]} \quad (3.11)$$

$$F_{maxo} = (2 \cdot M_{u,pl,kl} + 2 \cdot M_{u,pl,za}) / L_b + (q \cdot FI) \cdot L_b \quad (3.12)$$

Např. je-li $M_{u,pl,kl} = M_{u,pl,za} = 36 \text{ kNm}$ (což není nic moc) a měrná třecí síla svodidla o podklad $q \cdot FI = 6,25 \text{ kN/m}$, vychází v případě ad b) délka $L_b = 4,8 \text{ m}$ a síla $F_{maxo} = 60 \text{ kN}$ (ve skutečnosti, z důvodů uvedených v 3.2.2, k nimž se zde ještě přidává "bezpečné" vyčíslení $M_{u,pl}$, bude síla F_{maxo} zřejmě větší).

3.2.4 Někdy, zejména na mostech, bývá, jako odporu proti příčnému posuvu betonového svodidla z dílců nebo monolitického, využito kromě tření o podklad i kotvení svodidla k podkladu charakterizované měrným plastickým odporem p , kde p je definováno jako příčná síla vyvolující vodorovnou (či "smykovou") příčnou

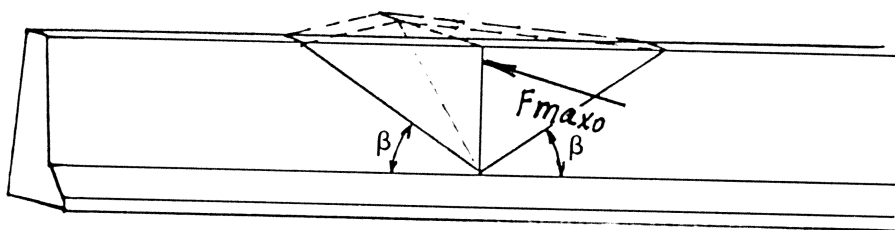
plastickou deformaci kotevních prvků umístěných průměrně na jednotkové délce svodidla.

Je-li pravděpodobné, že při bočním odsouvání svodidla dojde ke spolupůsobení tření svodidla o podklad a střižové síly v kotvení, lze při stanovení síly F_{maxo} užít postupy i vztahy uvedené v 3.2.2 nebo v 3.2.3, avšak s tím rozdílem, že se na místě $q \cdot FI$ dosadí součet $(p + q \cdot FI)$.

Jsou-li kotevní prvky konstruovány tak, že spolupůsobení tření svodidla o podklad a odporu kotev proti stříhu není zaručeno (např. může-li při nárazu dojít k nadzvedávání svodidla a tím ke ztrátě jeho kontaktu s podkladem), lze při výpočtu F_{maxo} postupovat rovněž podle 3.2.2 nebo 3.2.3, avšak s tím rozdílem, že se na místě $q \cdot FI$ dosadí jen měrný plastický odpor p .

3.2.5 Při působení náhradní síly na betonové svodidlo (nejen na monolitické, ale i na sestavené z dílců; nejen na kotvené nebo vetknuté, ale i na volně posuvné) může dojít k vytvoření lomových čar a ke vzniku mechanismu odpovídajícího např. obr.3.2 (nebo i ke vzniku jiného "energeticky co nejúspornějšího" mechanismu souvisícího s vytvořením jiného "kinematicky přípustného" systému lomových čar). Inspiraci při volbě metodiky řešení a někdy i konkrétní pokyny pro stanovení parametrů uvedeného (nebo i jiného) mechanismu (např. jde o úhel β závisící na vyztužení v obou směrech a na rozměrech svodidla), pro stanovení velikosti náhradní síly F_{maxo} , i pro ověření správnosti volby tvaru mechanismu, lze najít v dostupné literatuře zabývající se plasticitou a mezními stavy únosnosti železobetonových desek (např. v monografii doc. Z.Sobotky "Teorie plasticity desek").

V tomto případě (na rozdíl od situace popsané v 3.2.6) je užití programů "fyzikálně lineární deska" problematické (buď se to musí umět, nebo je to pracné, nebo je to málo spolehlivé). V současné době však již existují programy pro řešení deskových konstrukcí, které automaticky přidávají přírůstky zatížení, vyhodnocují možnost vzniku lomových čar, určují jejich směry a sledují jejich rozvoj (intenzita F , dosahující stavu propadu, je právě F_{maxo}).



Obr.3.2 Příklad mechanismu porušování monolitického betonového svodidla

3.2.6 Pro rovinná (tedy nikoliv pro silně zakřivená či lomená) ocelová svodidla či zábradelní svodidla sestavená ze sloupků, svodnic a případně i nosných madel, je vhodným (dostupným, zvládnutým, jednoduchým, dostatečně obecným, dostatečně mocným a přitom z hlediska možné věrnosti předpovědi plně dostačujícím) výpočtovým modelem pro stanovení účinků náhradní síly F_{maxo} zcela obyčejný "rovinný rošt", jehož zadávání i řešení umožňuje prakticky každý program pro "řešení" stavebních konstrukcí. Nezvládá-li program fyzikální nelinearitu (či alespoň pružnoplastické chování prutů), vystačí se i s opakovaným řešením lineární úlohy s nepříliš pracným postupným "ručním" vkládáním tolika plastických kloubů, "až je dost kloubů", což program pozná (model se stává tvarově neurčitým).

Mnohdy není třeba ani to; polohu plastických kloubů se obvykle podaří odhadnout i bez výpočtů a pro vyčíslení velikosti síly F_{maxo} pak bývá možné použít nějakou triviální podmínku rovnováhy, odvozenou buď přímo nebo pomocí např. principu minimalizace potencionální energie.

Např., nechť u ocelového zábradelního svodidla se vzdáleností sloupků L_z , schematicky odpovídajícího obr.3.3, na které působí náhradní síla F_{maxo} ve výšce v_z nad vozovkou, je plastický mezní moment buď sloupku nebo kotvení sloupku (je-li méně únosné než vlastní sloupek) $M_{u,pl,sl}$ a plastický mezní moment i -té příčle, která je ve výšce $v_{p,i}$, nechť je $M_{u,pl,i}$.

Obdobným postupem jako v 3.2.3 (obecně jde o odhad kinematiky, tj. o odhad tvaru a fungování mechanismu, který vznikne po vytvoření plastických kloubů; o sestavení výrazu vyjadřujícího potencionální energii systému zatížení + konstrukce; a o variování tohoto funkcionálu podle vhodného parametru deformace), případně přímo, lze odvodit podmínky momentové rovnováhy a z nich "osamostatnit" hledané hodnoty náhradní síly F_{maxo} .

Tento postup "dá" pro zábradelní svodidlo odpovídající obr.3.3 tyto vztahy pro F_{maxo} , a to pro:

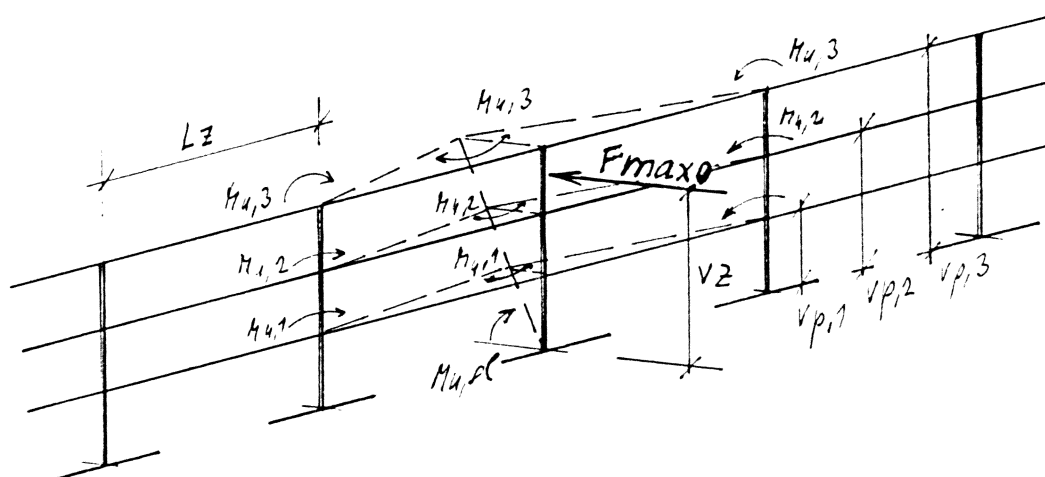
a) konec svodidla:

$$F_{maxo} = M_{u,pl,sl} / v_z + (\sum (M_{u,pl,i} * v_{p,i})) / (v_z * L_z) \quad (3.13)$$

b) vnitřní část svodidla menší z hodnot F_{maxo1} (odpovídá nárazu uprostřed pole délky L_z) a F_{maxo2} (odpovídá nárazu do sloupku):

$$F_{maxo1} = 8 * (\sum (M_{u,pl,i} * v_{p,i})) / (v_z * L_z) \quad (3.14)$$

$$F_{maxo2} = M_{u,pl,sl} / v_z + 4 * (\sum (M_{u,pl,i} * v_{p,i})) / (v_z * L_z) \quad (3.15)$$



Obr.3.3 Schema ocelového zábradelního svodidla

3.2.7 Betonová svodidla montovaná z dílců a přikotvená k podkladu, s obecnými tuhostními, pevnostními a případně i "třecími" vlastnostmi jak styků dílců mezi sebou, tak i styků dílců s podkladem, jejichž hodnoty jsou čímkoliv "mezi nulou a nekonečnem", která mohou být doplněná ocelovými madly, spolu s ocelovými svodidly a zábradelními svodidly osazenými na betonovou "zídku" různého tvaru a výšky (včetně výšky nulové) představují širokou třídu zachytných bezpečnostních zařízení, do které patří nejen všechny typy svodidel zmíněné v 3.2.2 až 3.2.6, ale i mnohé další.

Pro zjištění velikosti síly F_{maxo} odpovídající alespoň přibližně "mezi malých deformací" (3.2.1, 3.1.4) je rozhodující určení (či předpověď) energeticky nejúspornějšího způsobu vzniku tvarově neurčitěho systému, po jehož dosažení dojde buď okamžitě k "průtrži" svodidla, což může nastat u systémů neumožňujících rozvoj plastického chování, nebo k rychlému (nelineárnímu) nárůstu průhybu a k postupné změně mechanického chování svodidla z "ohybového" na "lanové".

Způsob vzniku mechanismu (tvar mechanismu), který závisí na vlastnostech styků (tuhostech, mezních přetvořeních a únosnostech) a geometrii systému, nemusí být vždy předem zcela evidentní; obecně mohou plastické klouby či linie vznikat nejen ve stycích, ale i mezi nimi, jejich příčinou nemusí být vždy jen ohybové momenty, ale i např. posouvající síly a/nebo normálové síly (pak jde o "střihy" či dislokace a/nebo o "otevření vypáčením" - např. u kotvených svodidel v místě kotevních šroubů - a nikoliv jen o "ohybové" plastické klouby či lomové čáry), směry rotací či posuvů mohou být obecné (nemusí být vždy jen vodorovné nebo svislé).

Při tvorbě a řešení výpočtových modelů lze někdy uplatnit poznámky již uvedené v 3.2.2 až 3.2.6. Využití soudobých programových systémů pro řešení konstrukcí je dobře možné, nelze však očekávat, že pro dosažení rozumného výsledku postačí postavit se před počítač a projevit své přání silným hlasem.

Existuje-li v daném konkrétním případě nějaký energeticky úspornější mechanismus rozvíjení velkých deformací svodidla, než jaký "byl vypočten", resp. než jaký byl v uvedených nebo jim podobných příkladech předpokládán (např. v 3.2.2 a 3.2.3 by mohlo připadnout v úvahu prolomení horní části posuvného svodidla podle obr.3.2 nebo zplastizování styků mezi dílci třeba kombinací posouvající síly a kroucení, atd.), příroda to určitě zjistí a využije, přičemž se na provedené výpočty ani na názory projektantů neohlíží pranic. Proto se doporučuje ve sporných a současně závažných případech uvážít a třeba i vyhodnotit (tj. porovnat množství energie potřebné k vytvoření tvarově neurčité konstrukce) několik "kinematicky se nabízejících" mechanismů porušování.

3.3 Příklady výpočtových modelů svodidel při převážně lanovém chování (velké deformace)

3.3.1 Při sestavování a řešení výpočtových modelů svodidel s převážně lanovým (či tahovým) chováním se s běžnými stavebně-mechanickými postupy vesměs nevystačí. Příčinou není jen geometrická nelinearita, které nelze uniknout, ale i to, že předem nebývá známa "aktivní či zasažená délka svodidla" (tj. délka svodidla, které se při nárazu příčně a/nebo podélně posune, resp. které je jakkoliv dotčeno nárazem). Tato skutečnost někdy činí problematickým využívání obecných programových systémů, které obvykle vyžadují geometrii úlohy včetně tzv. "okrajových či přechodových podmínek" předem definovat ve vstupech a během výpočtu již automaticky (opakovaným vyhodnocováním nějakých nerovností) "aktivní rozměry řešené konstrukce" neprovrhují, i když mnohé z těchto programů "znají" nelinearity, tření, jednostranné vazby a případně i další zajímavosti, bez jejichž zohlednění je výpočtový model svodidel s lanovým chováním někdy těžko myslitelný.

V 3.3.2 až 3.3.6 jsou (s různou podrobností, někde jen obecné úvahy, někde popis postupu výpočtu, někde i přímo soustavy rovnic a nerovností spolu s vyřešenými příklady) uvedeny pokyny vedoucí k vytvoření výpočtových modelů vhodných (snad) k stanovení závislosti $F_{max}(w_{max})$, resp. $w_{max}(F_{max})$, která se považuje za řešení úlohy, pro:

- betonové svodidlo sestavené z dílců obdobným způsobem, jako je řetěz sestavený z článků nebo vlak z vagonů (může jít např. o svodidlo s "volnými zámky" tvořenými I profilem zasunutým do čelistí tvaru U nebo o svodidlo "s tyčí" tvořenou prutem betonářské nebo nepředepnuté předpínací výztuže), které je posuvně uloženo na podkladu (v 3.3.2 úvaha o výpočtovém modelu, v 3.3.3 příklad vstupních údajů, v příloze 2 výsledky řešení v grafické formě);

- betonové svodidlo sestavené z dílců obdobným způsobem, jako je náhrdelník sestavený z korálek navlečených na šňůrce (může jít např. o dílce, jimiž je provlečena nesoudržná předpínací

výztuž, která je pak předepnuta), které je posuvně uložené na podkladu (v 3.3.4 úvaha o výpočtovém modelu, v 3.3.5 příklad vstupních údajů, v příloze 3 výsledky řešení v grafické formě);

- ocelové svodidlo, resp. ocelové zábradelní svodidlo (3.3.6).

Jde-li o svodidlo z dílců, předpokládá se působení náhradní síly v těsné blízkosti styku, kde je obvykle nejúčinnější.

Ve všech uvedených případech se předpokládá, že náhradní síla F_{max} působí uvnitř (uprostřed) nekonečně dlouhého úseku svodidla, což lze považovat za základní, svodidlo charakterizující a pro praxi rozhodující případ. Působí-li síla v menší vzdálenosti od konce svodidla, než je cca polovina "zasazené délky svodidla" stanovené pro nekonečně dlouhé svodidlo, lze očekávat, že chování svodidla bude touto skutečností ovlivněno (např. průhyb bude větší a zatížitelnost menší, ale může tomu být i naopak, a to v závislosti na délce a konstrukční úpravě konce, zejména v závislosti na tuhosti a únosnosti jeho vetknutí).

TP 101 neobsahuje pokyny pro provedení výpočtů kotvených betonových svodidel ani betonových svodidel konečné délky "za mezí F_{max} ", přestože obojí by mohlo najít praktické uplatnění (např. při navrhování mostních svodidel; při simulaci nárazových zkoušek, kdy obvykle jde o úsek délky cca 60 až 70 m; při předpovídání chování či při posuzování svodidel zatížených v relativně malých vzdálenostech od konce, apod.). Autor se omlouvá, že se na tyto úlohy nedostalo; v TP 101 však zásadně nejsou popisovány žádné výpočetní postupy, které by nebyly zcela zvládnuté (resp. naprogramované) až do číselných výsledků a které by nebyly prověřené pro řadu konkrétních příkladů (přestože např. doplnění nejen teorie, ale i programů pro případy popsané v 3.3.2 a 3.3.4 o vliv kotvení s libovolným pracovním diagramem, i s možností "vyřazení z funkce", se jeví schůdné a výsledky lze očekávat "jedlé").

3.3.2 Nechť u betonového svodidla sestaveného z relativně tuhých a dostatečně únosných dílců délky L , které jsou posuvně uloženy na podkladu a spojeny jako "řetěz z článků" či jako "vlak z vagonů" (tj. např. "volným zámkem" nebo "tyčí"), je P velikost třecí síly potřebné k posouvání jedním dílcem svodidla, a nechť styky dílců:

- fungují jako klouby nebránící pootočení;
- se vlivem posouvajících sil ani kroutících momentů prakticky nedeformují (což bývá zajištěno nejen konstrukcí styků samých, ale obvykle i úpravou čel dílců do tvaru pero - drážka);
- jsou charakterizovány známým (nejlépe změřeným, v nouzi vypočteným či odhadnutým) fyzikálním vztahem typu Hookeova zákona (pracovním diagramem) vyjadřujícím obecně nelineární závislost $N(du)$, kde " N " [síla] je podélná (normálová) síla ve styku (i ve svodidle) a " du " [délka] je prodloužení styku a jeho okolí zahrnujícího obě přilehlé poloviny dílců,

příčemž při stanovení vnitřních sil a deformací ve svodidle (tj. v globálním výpočtovém modelu konstrukce) má být uplatněn průměrný pracovní diagram styků (zatímco při posuzování spolehlivosti styků proti destrukci přetržením by měly být uplatněny návrhové pevnostní charakteristiky).

Při působení náhradní síly $F_{\max} > P$ (nemusí být nutně i $F_{\max} > k_t \cdot P$, neb vlivem klopícího momentu vznikají v ložné spáře kromě smyků i tahy, které jsou obvykle dostatečné ke zrušení "quazikoheze") přímo do styku (případné působení F_{\max} mezi styky, např. doprostřed dílce je "globálně" méně účinné, vyvozuje menší příčný posuv svodidla w_{\max} a obvykle i menší vnitřní síly v nejvíce namáhaném styku) se svodidlo deformuje tak, že v místě působení vznikne "špice" tvořená dvěma nejvíce příčně posunutými dílci (obr.3.4). Vznik "špice" je podmíněn tím, že několik sousedních dílců se posune směrem k působení síly F_{\max} (tj. k bodu "0") dle obr.3.5, a to první až j-tý dílec se posune podélně i příčně s převahou příčné složky posuvu, (j+1)-tý až k-tý dílec se posune převážně jen podélně (popsaná "putování" dílců i vznik "špic" během nárazů byly ověřeny pomocí modelů a odpovídají i výsledkům nárazových zkoušek).

Podmínku příčné rovnováhy ve "špici" lze uvažovat přibližně ve tvaru:

$$F_{\max} = 2 \cdot N(0) \cdot \sin(\psi) + P \cdot \cos(\psi) \quad (3.16a)$$

nebo i ve tvaru:

$$F_{\max} = 2 \cdot N(0) \cdot \sin(\psi) + P \quad (3.16b)$$

nebo i v poněkud jiném tvaru, neb přesný směr působení tření P není znám a pravděpodobně ani není při všech nárazech týž.

Pro jeden každý z všech "aktivních" dílců dotčených nárazem (jejich počet je předem neznámý, v jedné větvi je jich " k ") lze sestavit (pro první až j-tý dílec přibližnou, pro další dílce "přesnou") jednoduchou podmínku podélné rovnováhy (obr.3.5) ve tvaru:

$$N(i-1) = N(i) + P \quad (3.17)$$

Délka úseku svodidla s podélným posuvem je omezena poklesem velikosti normálové síly ve svodidle, postupujícím dle vztahu (3.17) směrem od místa nárazu; podélný posuv "se zarazí" u (k+1)-tého dílce poté, co je $N(k) < k_t \cdot P$.

Výpočty (i modelové zkoušky) naznačují, že "aktivní úsek" svodidla bude vesměs delší než úsek svodidla odsunutý v příčném směru (tzn., že budou existovat dílce, které se posunou jen podélně směrem k místu nárazu a přitom "zůstanou v původní přímce"; bude tedy vesměs $k > j$, nikoliv $k = j$). Z této (snad) skutečnosti a z toho, že při nárazu roste průhyb svodidla w od nuly do w_{\max} v závislosti na velikosti síly F rostoucí od jakési prahové hodnoty, která je alespoň " P ", do hodnoty F_{\max} (při malém F se svodidlo ani neutrhne, při dosažení prahové hodnoty "skočí", a při dalším růstu F by měl průhyb svodidla w teoreticky narůstat plynule), lze soudit, že tření příčně se deformující části svodidla o podklad je charakterizováno jen součinitelem FI (třením za pohybu) a nikoliv zvýšeným součinitelem tření $k_t \cdot FI$

(nikoliv třením z klidu), neb vše, co se posouvá příčně, bylo, kromě dvou přímo naražených dílců, již v předchozím okamžiku odtrženo podélným smykem a/nebo klopícím momentem.

Spekulace o směrech působení sil P , které musí být takové, "aby to vyšlo" (aby zhruba vyšla celková příčná rovnováha mezi silou F_{\max} a jí odporujícím příčným třením $F_l \cdot q \cdot L_c$, kde L_c je celková délka příčně odsunuté části svodidla), vede k představě, že velikosti lomů " η, i " (obr.3.6) mezi sousedními dílci souvisejí se splněním podmínek vyjadřujících rovnováhu v uzlech v příčném směru. Tyto podmínky lze (snad) uvažovat ve tvaru:

$$N(i) \cdot \sin(\eta, i) = (1 + \cos(\eta, i)) \cdot P/2 \quad (3.18a)$$

nebo i ve tvaru:

$$N(i) \cdot \sin(\eta, i) = P \quad (3.18b)$$

nebo i v poněkud jiném tvaru, neb přesný směr působení sil P není a možná ani nemůže být znám.

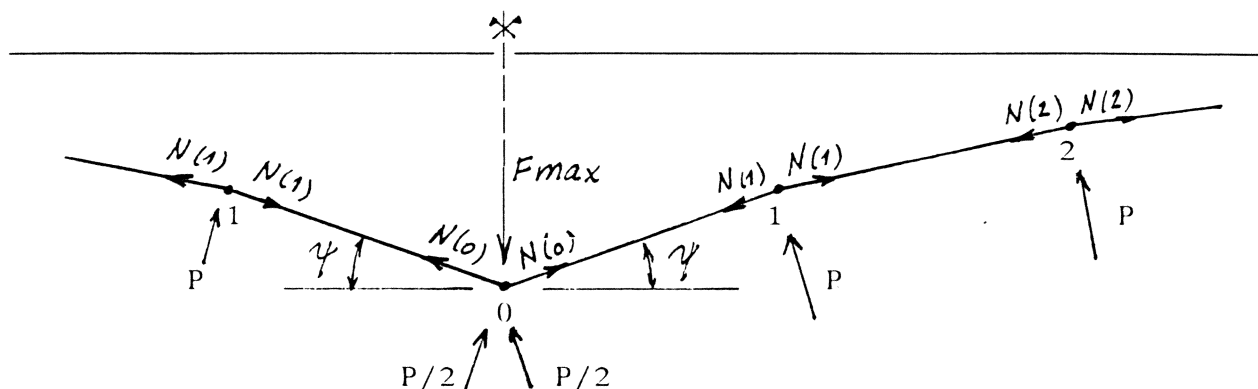
Pro kloub " j " (obr.3.5) je hodnota η, j stanovena z rovnice (3.18a) nebo z rovnice (3.18b) horním omezením (předpokládá se, že v uzlu " j ", v němž ještě dojde ke zlomu, dosahuje tento zlom nějaké předem neznámé velikosti mezi nulou a hodnotou určenou uvedenou rovnicí).

Řešení úlohy musí kromě vztahu (3.16a) nebo (3.16b), kromě " i " vztahů (3.17), kromě " i " vztahů (3.18a) nebo (3.18b) a kromě nerovností souvisejících s rovnováhou v "netypických" stycích " j " a " k " splňovat také geometrickou podmínku vnášející do výpočtového modelu fyzikální vztahy, která vyjadřuje "globální kompatibilitu". Tuto podmínku lze formulovat např. takto:

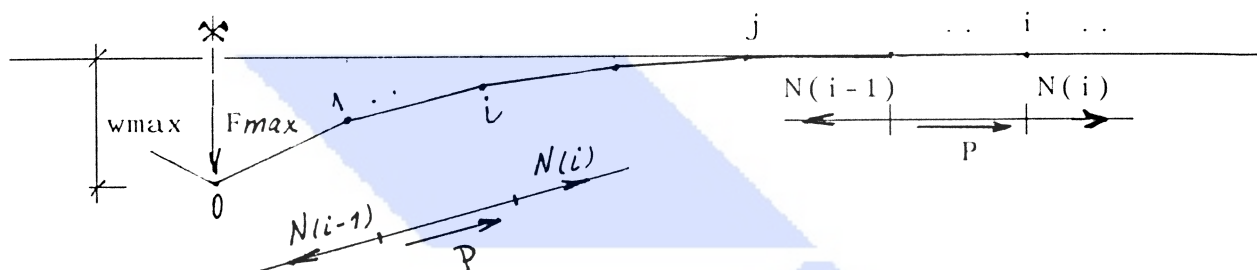
$$\begin{aligned} &\text{součet prodloužení všech styků, ve kterých} \\ &\text{se náraz projevil (prodloužení styků} \\ &\text{odpovídají tahovým silám v přilehlých} \\ &\text{dílcích svodidla a jejich velikost je dána} \\ &\text{pracovním diagramem styku)} \end{aligned} = \begin{aligned} & \\ & \\ & \\ & \\ & \end{aligned} \quad (\text{rovno}) \quad (3.19)$$

$$\begin{aligned} &\text{délce polygonu tvořeného} \\ &\text{deformovaným svodidlem} \end{aligned} - \begin{aligned} & \\ & \end{aligned} \quad (\text{minus}) \quad \begin{aligned} &\text{původní přímá} \\ &\text{délka svodidla} \end{aligned}$$

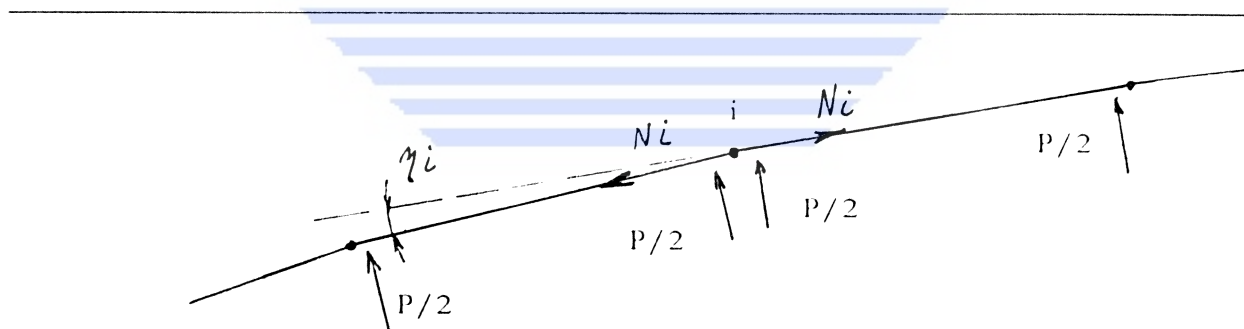
Ve vztahu (3.19) se zohlední, že klouby $i < j$ se posouvají ve směru příčném i podélném (Pythagorova věta), kdežto klouby $i \geq j$ jen ve směru podélném (přírůstek délky se přímo odečte z pracovního diagramu styku).



Obr.3.4 Schema pro odvození vztahu (3.16a) či (3.16b) vyjadřujícího podmínku "příčné" rovnováhy ve styku 0 (tj. v místě působení náhradní síly F_{max})



Obr.3.5 Schema pro odvození vztahu (3.17) vyjadřujícího podmínku "podélné" rovnováhy i -tého dílce



Obr.3.6 Schema pro odvození vztahu (3.18a) nebo (3.18b) vyjadřujícího podmínku "příčné" rovnováhy v i -tém styku

3.3.3 Vstupní údaje potřebné ke konkretizaci výpočtového modelu svodidla obecně popsaného v 3.3.2 jsou:

q , FI , kt , L , pracovní diagram styku (skutečný, průměrný).

Pro ověření spolehlivosti svodidla proti destrukci je třeba dále ještě znát či určit "pravé strany", tj. návrhové pevnostní charakteristiky (zejména návrhovou mezní pevnost styku v tahu

a návrhovou hodnotu mezního lomu "psí" styku; tím se však tato kap.3 nezabývá).

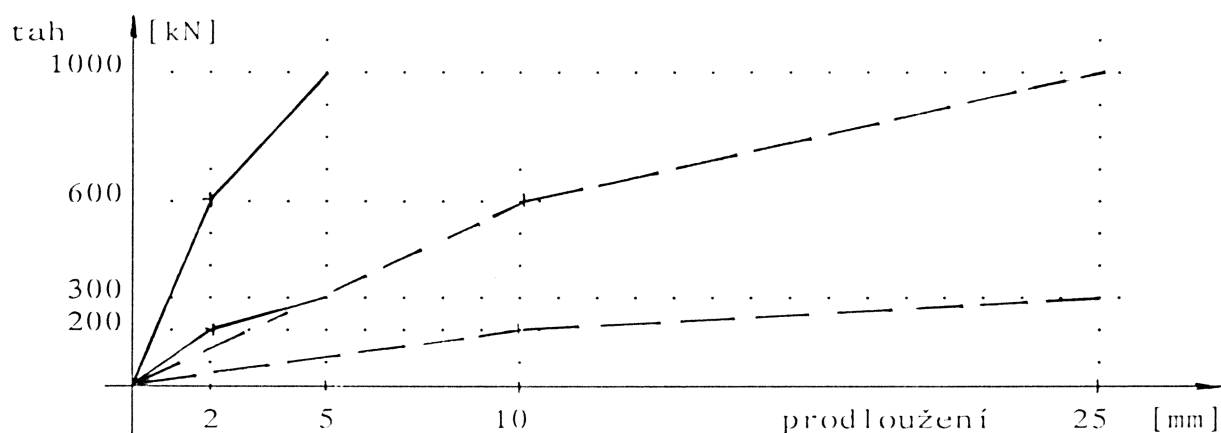
Vstupní údaje pro příklady, jejichž řešení je graficky vyvedeno v příloze 2, byly zvoleny tak, aby alespoň zhruba odpovídaly používaným typům svodidel (délka dílce $L = 4$ m; součinitel vlečného tření svodidla o podklad $FI = 0,7$; u nových svodidel poměr mezi třením z klidu a třením za pohybu $kt = 1,0$; tíhy $q = 6,5$ kN/m u svodidel výšky 0,8 m a $q = 13,5$ kN/m u svodidel výšky 1,2 m odpovídají obvyklým hodnotám). Pro poměr mezi "quazitřením" z klidu a třením za pohybu u starého svodidla byla použita spekulativní hodnota $kt = 10,0$, která odpovídá "quazikohezi" cca 0,1 MPa.

Znalosti "pracovních diagramů" skutečně používaných styků dílců nejsou úplné ani aktuální, neboť většinu typů styků (jak tuzemských, tak i cizozemských) jejich výrobci téměř průběžně inovují co do konstrukčního uspořádání i co do materiálů, přičemž však vesměs sledují, uvádí a zaručují jen pevnosti styků v tahu a nikoliv průběhy závislosti tah-prodloužení (ani "tažnosti"). Vzhledem k těmto mezerám ve znalostech byly (bez ověření v reálu, avšak na základě několika málo provedených zkoušek podobných styků a s uvážením vlastností ocelí) pro příklady zvoleny a v nich použity čtyři relativně dost odlišné (přesto snad nikoliv zcela nereálné) pracovní diagramy (obr.3.7).

Z výsledků výpočtů byly vybrány a v příloze 2 znázorněny vztahy F_{max}/w_{max} pro šestnáct zadání (dvojí q , dvojí kt , dvojí pevnost styku, dvojí maximální protažení styku), resp. pro těch čtrnáct z nich, pro které užítý model a metoda (program) "vydaly" řešení. Označení jednotlivých grafů v příloze 2 je:

$q/kt/pevnost/tažnost$ (např.: 6,5/1/300/5).

V tab.3.1 jsou uvedeny (jen na ukázkou a pro názor, stejně tak, jako i v příloze 2, nejde o žádné existující svodidlo !) komplexnější tisky výsledků řešení pro dva náhodně vybrané případy lišící se "pouze" tažností styku.



Obr.3.7 Vymyšlené (neodpovídající realitě) vztahy mezi tahem ve styku (svodidle) a prodloužením styku (dílce) uplatněné v příkladech 3.3.3

Tab.3.1 Příklad výsledků řešení výpočtového modelu (dle 3.3.2) dvou velmi podobných volně uložených betonových svodidel z dílců spojených volným zámekem (v obou případech je: $q=13,5\text{kN/m}$; $FI=0,7$; $kt=10,0$; $L=4,0\text{m}$; průměrná pevnost styku je 1000 kN), která se liší pouze "položením" pracovního diagramu styku

poradnice	pr. diag. [kN]:	.0	600.0	1000.0	
souradnice	pr. diag. [mm]:	.000	2.000	5.000	
wmax [m]	Fmax [kN]	Lc [m]	prodl.[mm]	N [kN]	tg(psi)
.130	67.05	8.00	1.50	450.0	.0325
.269	118.23	8.00	2.00	600.0	.0672
.393	143.09	16.00	2.50	666.7	.0793 !
.497	168.32	16.00	3.00	733.3	.0894 !
.593	195.24	16.00	3.50	800.0	.0990 !
.714	220.40	24.00	4.00	866.7	.1061 !
.852	249.24	24.00	4.50	933.3	.1141 !
.978	279.11	24.00	5.00	1000.0	.1217 !
poradnice	pr. diag. [kN]:	.0	600.0	1000.0	
souradnice	pr. diag. [mm]:	.000	10.000	25.000	
wmax [m]	Fmax [kN]	Lc [m]	prodl.[mm]	N [kN]	tg(psi)
.291	103.05	8.00	7.50	450.0	.0728
.808	197.95	16.00	10.00	600.0	.1350
1.108	240.80	24.00	12.50	666.7	.1544 !
1.383	285.21	24.00	15.00	733.3	.1715 !
1.741	331.53	32.00	17.50	800.0	.1872 !
2.018	374.18	32.00	20.00	866.7	.1983 !
2.433	424.02	40.00	22.50	933.3	.2119 !
2.836	475.12	48.00	25.00	1000.0	.2246 !
--Údaje o prodloužení (prodl.[mm]) a normálové síle (N [kN]) platí pro nejvíce namáhaný styk (pro "špici"). --Vykřičník (!) upozorňuje na překročení 2/3 průměrné pevnosti (v příloze 2 je část grafu za touto mezí čárkovaně). --Uvedení tg(psi) usnadňuje ověření přípustnosti velikosti lomu ve "špici". --Celkovou "aktivní délku" svodidla lze odhadnout pomocí vztahu $L_a=2*(N-kt*P)/(q*FI)$ a výsledek zaokrouhlit na nejbližší násobek délky $2*L$ nahoru; např. pro $N=1000\text{kN}$ by v uvedeném příkladu šlo o cca 136m. -- L_c je celková délka příčně odsunuté části svodidla.					

3.3.4 Nechť u betonového svodidla sestaveného z relativně tuhých a dostatečně únosných dílců délky L , které jsou posuvně uloženy na podkladu a spojeny jako "korálky navlečené na šňůře" (obvykle jde o sepnutí nesoudržnou předpínací výztuží kotvenou ve zvláštních "kotevních dílcích" ohraničujících tzv. "vahadlo";

vzdálenost těchto kotevních dílců, čili tzv. "délka vahadla", je dále označována jako LV a v praxi bývá např. 24 m nebo 32 m; tzn., že každý šestý až každý osmý čtyřmetrový dílec bývá kotevní), je $q \cdot FI$ velikost třecí síly potřebné k posouvání jednotkové délky svodidla, a nechť styky dílců:

- fungují jako klouby nebránící pootočení poté, co dojde k příčnému posuvu svodidla a s tím souvisejícímu protažení nesoudržné předpínací výztuže a "uvolnění" jednotlivých dílců svodidla;

- se vlivem posouvajících sil ani kroutících momentů prakticky nedeformují (což bývá zajištěno nejen konstrukcí styků samých, ale obvykle i úpravou čel dílců do tvaru pero - drážka).

Předpínací výztuž by měla být charakterizována skutečným (a průměrným) pracovním diagramem, který má být uplatňován v globálním výpočtovém modelu konstrukce svodidla (a nejen svodidla, ale každé stavební konstrukce) sloužícím ke stanovení vnitřních sil a deformací; při posuzování spolehlivosti výztuže proti destrukci přetržením mají být uplatněny návrhové charakteristiky.

Za předpokladu, že $F_{max} > F_{max0}$ (kde F_{max0} odpovídá 3.2.2), a za předpokladu, že předpínací výztuži je ponechána dostatečná plastická rezerva, se při působení náhradní síly F_{max} (předpokládá se, že tato síla působí přímo do styku mezi dva dílce; působení mezi styky, např. doprostřed dílce, by vyvolalo menší příčný posuv svodidla w_{max} i o něco menší přírůstek normálové síly v předpínací výztuži) deformuje svodidlo tak, že v místě působení vznikne "špice" tvořená dvěma nejvíce příčně posunutými dílci (obr.3.4). Vznik "špice" souvisí s tím, že volná předpínací výztuž se vlivem přírůstku normálové síly protáhne, a to nejméně v jednom vahadle, působí-li F_{max} dovnitř vahadla, a nejméně ve dvou vahadlech, působí-li síla F_{max} do (nebo poblíž) kotevního dílce.

Podmínku příčné rovnováhy ve "špici" (obr.3.4) lze vyjádřit obdobně jako v 3.3.2 pomocí některého ze vztahů (3.16a), (3.16b), apod..

Obdobně jako v 3.3.2 lze pomocí některého ze vztahů (3.18a), (3.18b), apod., vyjádřit podmínky příčné rovnováhy v i -tém styku (pro $i < j$), které vedou ke stanovení výsledného tvaru deformovaného svodidla (obr.3.6).

Nesoudržnost předpínací výztuže má za následek, že tah v této výztuži lze přibližně považovat v jednom každém vahadle za konstantní a že rozdíly velikostí těchto tahů v sousedních vahadlech aktivní části svodidla (tj. takové části svodidla, v níž dojde k nárůstu síly v předpínací výztuži) odpovídají "běžné" vztahu:

$$N(I-1) = N(I) + PI \quad (3.20)$$

"Neběžné" (tj. jiné než odpovídá vztahu (3.20)) rozdíly ve velikosti tahů v předpínací výztuži v sousedních vahadlech lze očekávat (jak naznačují i obr.3.8a a obr.3.8b) zejména mezi tahem ve výztuži v:

- posledním aktivním vahadle (J-tém) a tahem ve výztuži následujícího vahadla, v němž zůstává počáteční hodnota předpínací síly NP, kde by při $J > 1$ mělo platit:

$$N(J) < NP + kt \cdot PI \quad \text{a současně} \quad N(J) + PI > NP + kt \cdot PI$$

(při nesplnění první podmínky by došlo k popovytažení předpínací výztuže i z (J+1)-tého vahadla a při nesplnění druhé podmínky by se popovytahování předpínací výztuže zastavilo dříve, než by dospělo až k J-tému vahadlu);

- 0-tém vahadle a tahem ve výztuži sousedního (tj. prvního) vahadla, kde by při $J > 1$ mělo platit:

$$N(0) - N(1) < PI$$

(např. při nárazu doprostřed vahadla lze očekávat, že bude $N(0) - N(1) = PI/2$);

- 0-tém vahadle a tahem ve výztuži sousedního (tj. prvního) vahadla při $J < 2$ (a zejména při $J = 0$).

Ve vztahu (3.20) i v textu je:

I pořadí vahadla přiřazované směrem od místa nárazu do pryč (vahadlo přímo zasažené nárazem je 0-té; vahadlo sousedící s 0-tým je první, poslední vahadlo, v němž při nárazu došlo k přírůstku normálové síly v předpínací výztuži (příčímž však nemuselo ani k příčnému, ani k podélnému posuvu dílců tohoto vahadla) je J-té

$PI = FI \cdot q \cdot LV$ síla potřebná k posouvání jedním vahadlem

Výpočty naznačují, že "aktivní úsek" svodidla bude obvykle (zejména při malé hodnotě kt) delší než úsek svodidla odsunutý v příčném směru. Lze tedy soudit (stejně jako v 3.3.2), že tření příčně se deformující části svodidla o podklad je obvykle charakterizováno jen součinitelem FI a nikoliv zvýšeným součinitelem $kt \cdot FI$. Při velké hodnotě kt (tj. při velkém tření z klidu) však nelze vyloučit, že k příčnému odsunu dojde i u několika dílců neaktivního (nejen co do podélného posunu, ale i co do popovytažení předpínací výztuže) vahadla; v takovém případě by asi bylo třeba k uvolnění dílce od podkladu působit na jeho konci příčnou silou alespoň $1/2 \cdot kt \cdot P$ (a nikoliv jen $1/2 \cdot P$).

Řešení úlohy musí kromě vztahu (3.16a) nebo (3.16b), kromě "I" vztahů (3.20), kromě "i" vztahů (3.18a) nebo (3.18b) a kromě nerovností doplňující podmínky rovnováhy v "netypických" stycích "j" a v "netypickém" vahadle "J" splňovat také geometrickou podmínku vnášející do výpočtového modelu fyzikální vztahy, která

vyjadřuje "globální kompatibilitu". Tuto podmínku lze formulovat např. takto:

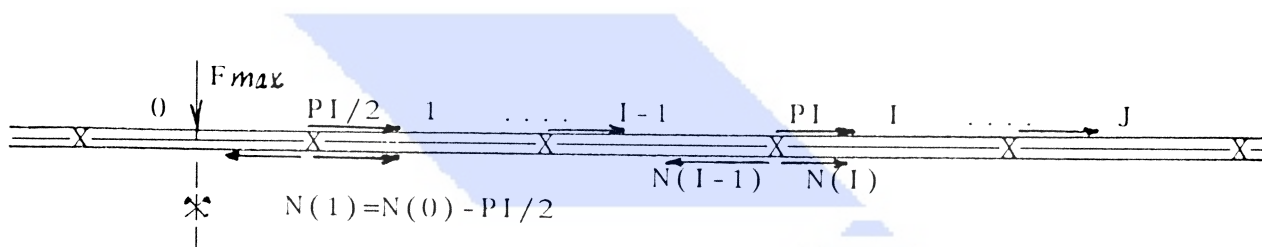
součet prodloužení předpínací výztuže ve všech
 vahadlech dotčených nárazem (toto prodloužení
 odpovídá přírůstkům sil $N(I)$ oproti počáteční
 hodnotě N_P , je dáno pracovním diagramem výztuže)

=
 (rovno)
 (3.21)

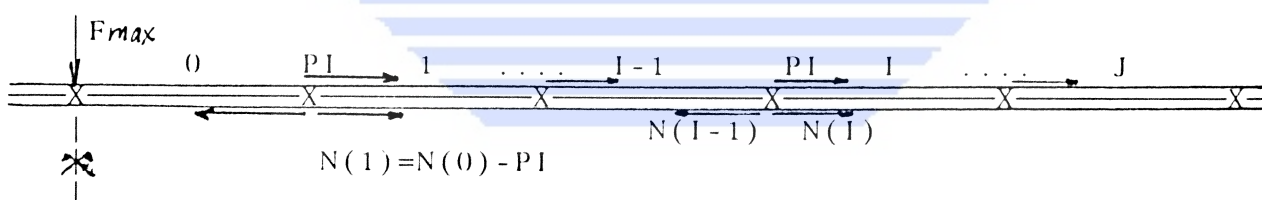
délce polygonu tvořeného	-	původní přímá
deformovaným svodidlem	(minus)	délka svodidla

Ve vztahu (3.21) se zohlední, že některé klouby se posouvají ve směru příčném i podélném (Pythagorova věta), kdežto některé části vahadel (nebo i celá vahadla) jen ve směru podélném (přírůstek délky se přímo odečte z pracovního diagramu předpínací výztuže).

Vliv tření volné předpínací výztuže o "lomy" stěn kanálku, které vznikají při nárazu, je oproti tření dílců o podklad malý a proto (a také pro zjednodušení modelu i jeho řešení) je v uvedených vztazích zanedbán.



Obr.3.8a Schema (X představuje kotevní dílec) znázorňující podmínky "podélné" rovnováhy vahadel při působení náhradní síly F_{max} v blízkosti středu vahadla



Obr.3.8b Schema (X představuje kotevní dílec) znázorňující podmínky "podélné" rovnováhy vahadel při působení náhradní síly F_{max} v blízkosti kotevního dílce

3.3.5 Vstupní údaje potřebné ke konkretizaci výpočtového modelu svodidla obecně popsaného v 3.3.4 jsou:

q, FI, kt, L, LV,
pracovní diagram předpínací výztuže (skutečný, průměrný),
určení působíště F_{max} (střed vahadla či kotevní dílec).

Pro ověření spolehlivosti svodidla proti destrukci je třeba dále ještě znát či určit "pravé strany", tj. návrhové pevnostní charakteristiky (zejména návrhovou mezní pevnost předpínací výztuže v tahu).

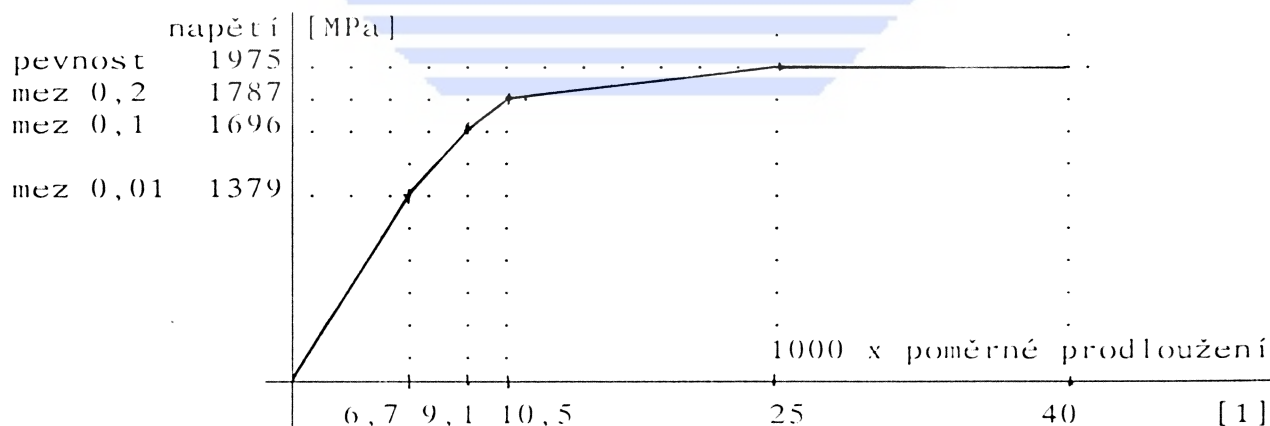
Vstupní údaje pro příklady, jejichž řešení je graficky vyvedeno v příloze 2, byly zvoleny tak, aby alespoň zhruba odpovídaly používaným typům svodidel (délka dílce $L = 4$ m; součinitel vlečného tření svodidla o podklad $FI = 0,7$; u nových svodidel poměr mezi třením z klidu a třením za pohybu $kt = 1,0$; tíhy $q = 6,5$ kN/m u svodidel výšky 0,8 m a $q = 13,5$ kN/m u svodidel výšky 1,2 m odpovídají obvyklým hodnotám). Zvolená délka vahadla ($LV = 28$ m) je rovněž v běžných relacích. Pro poměr mezi "quazitřením" z klidu a třením za pohybu u starého svodidla byla použita spekulativní hodnota $kt = 10,0$, která odpovídá "quazikohezi" cca 0,1 MPa.

O předpínací výztuži se předpokládalo, že jde o 2 ks nebo o 4 ks lan $f_1 L_p 15,5/1800$, která jsou předeprnuta jednou na cca čtvrtinu a podruhé na cca polovinu charakteristické pevnosti. Podkladem pro konstrukci skutečného pracovního diagramu předpínací výztuže (obr.3.9) byly údaje uvedené v tab.3 publikace č.228 VÚISu Bratislava z r.1987 (Lazar, Plotěný: Laná v predpätém betóne).

Z výsledků výpočtů byly vybrány a v příloze 3 znázorněny vztahy F_{max}/w_{max} pro šestnáct zadání (dvojí q , dvojí kt , dvojí počet lan, dvojí počáteční napětí); ve všech uvedených vztazích jde o případ, kdy síla F_{max} působí na střed vahadla - tj. na styk dílců ležící přibližně uprostřed mezi kotevními dílci. Označení jednotlivých grafů v příloze 3 je:

$q/kt/\text{počet lan}/\text{počáteční napětí}$ (např.: 6,5/1/2/450).

V tab.3.2 jsou uvedeny (jen na ukázkou a pro názor, stejně tak, jako i v příloze 3, nejde o žádné existující svodidlo !) komplexnější tisky výsledků řešení pro dva vybrané případy lišící se "pouze" místem působení síly F_{max} (v prvním je působišťem střed vahadla, ve druhém kotevní dílec).



Obr.3.9 Skutečný pracovní diagram předpínací výztuže uplatněný v příkladech 3.3.5 (byl vytvořen na základě údajů uvedených v tab.3 publikace č.228 VÚISu Bratislava z r.1987).

Tab.3.2 Příklad výsledků řešení výpočtového modelu (dle 3.3.4) dvou zcela stejných předpjatých volně uložených betonových svodidel z dílců ($q=13,5\text{ kN/m}$; $FI=0,7$; $kt=10,0$; $L=4,0\text{ m}$; předpínací výztuží jsou 4 ks lan $\phi L_p 15,5/1800$; počáteční napětí je $452,5\text{ MPa}$), která se liší pouze předpokládaným místem působení síly F_{\max} (horní část tabulky odpovídá působení poblíž středu vahadla, dolní část tabulky odpovídá působení do kotevního dílce)

poradnice	pr. diag.	[kN]:	0	780	960	1012	1118	1118
souradnice	pr. diag.	[o/oo]:	-2.2	4.5	6.9	8.3	22.8	37.8
wmax [m]	Fmax [kN]	Lc [m]	přetv.[o/oo]	N [kN]	tg(psi)			
.333	99.54	8.00	1.00	372.5	.0833			
.590	147.05	16.00	2.00	489.0	.1127			
.790	192.00	24.00	3.00	605.4	.1287			
1.034	236.19	24.00	4.00	721.8	.1390			
1.240	276.06	32.00	5.00	817.5	.1476			
1.445	310.12	32.00	6.00	892.5	.1546			
1.619	343.43	32.00	7.00	963.7	.1609			!
1.760	368.10	32.00	8.00	1000.9	.1676			!
1.887	387.23	32.00	9.00	1017.1	.1747			!
2.005	403.55	32.00	10.00	1024.4	.1817			!
.528	124.14	16.00	1.00	372.5	.1170			
.891	182.90	16.00	2.00	489.0	.1505			
1.275	239.69	24.00	3.00	605.4	.1696			
1.635	295.64	32.00	4.00	721.8	.1820			
1.957	345.25	40.00	5.00	817.5	.1919			
2.285	388.28	40.00	6.00	892.5	.2007			
2.594	429.80	48.00	7.00	963.7	.2082			!
2.873	460.21	48.00	8.00	1000.9	.2163			!
3.110	483.29	48.00	9.00	1017.1	.2249			!
3.354	502.43	56.00	10.00	1024.4	.2334			!
--Údaje o přetvoření (přetv.[o/oo]) a normálové síle v předpínací výztuži (N [kN]) platí pro vahadlo (nebo dvě, při nárazu do kotevního dílce) přímo zachycující sílu Fmax.								
--Vykřičník (!) upozorňuje na překročení 0,8 průměrné pevnosti lan (v příloze 3 je část grafu za touto mezí čárkovaně).								
--Celkovou "aktivní délku" svodidla lze odhadnout pomocí vztahu $L_a=2\cdot(N-N_0-kt\cdot LV\cdot q\cdot FI)/(q\cdot FI)$, kde N_0 je počáteční síla ve výztuži, a výsledek zaokrouhlit nahoru na nejbližší přirozený sudý násobek délky vahadla LV při nárazu do kotevního dílce a nahoru na nejbližší přirozený lichý násobek LV při nárazu doprostřed vahadla.								
--Lc je celková délka příčně odsunuté části svodidla.								

3.3.6 U ocelových svodidel nebo zábradelních svodidel sestavených ze sloupků, svodnic a případně i nosných madel bývá dobře možné vyjádřit celkový odpor F_{\max} jako součet dvou nezávislých složek a to odporu $F_{\max 0}$ příslušného ohybovému působení svodidla (vyvozujícího prakticky zanedbatelný průhyb) a odporu $F_{\max 1}$ příslušného lanovému působení svodidla

(vyvozujícího průhyb w_{max} ; přičemž vztah mezi F_{max} a w_{max} odpovídá úvahám uvedeným v 2.2 a 2.3). F_{max0} lze výpočtem stanovit dost jednoduše a přitom i dost spolehlivě (3.2.6); jde o konstantní prahovou hodnotu nezávislou na intenzitě F_{max} . F_{max1} pak je "ten zbytek":

$$F_{max1} = F_{max} - F_{max0},$$

vzhledem k němuž (a k jeho silovým účinkům) zaujmou prvky deformovaného svodidla přiměřený tvar takový, že jak svodidlo jako celek, tak i každý jeho prvek je v rovnováze (ve svodnicích a v madlech je od F_{max1} jen čistý tah), a že je respektována možnost případného "vylučování z funkce vnitřních vazeb (např. se mohou utrhnout madla či svodnice od sloupků) a/nebo vnějších vazeb (např. se mohou utrhnout kotvy spojující sloupky s podkladem). Přitom obě uvedené situace (odtržení svodnic od sloupků, odstrižení sloupků v kotvení, i některé další "vyloučení vazeb") jsou typické pro správnou funkci ocelového svodidla při nárazu s intenzitou řádově srovnatelnou se zatížitelností svodidla (za mezní stav destrukce ocelového svodidla se obvykle považuje až přetržení svodnic a madel).

Prakticky těžko překonatelné potíže představuje stanovení fyzikálních charakteristik typu Hookeova zákona, které vyjadřují vztahy mezi prodloužením svodnic či madel a příslušnými "duálními účinky", tj. normálovými silami těmito prvky přenášenými. Nejsou-li tyto vztahy známy (či alespoň předpokládány, ať už vědomě nebo nevědomě), nejde provést žádný výpočet ani žádný odhad (v mechanice to "bez fyziky nejde", a to zcela zákonitě, zásadně a vždycky). Potíže spočívají v tom, že je třeba aplikovat nikoliv Hookeův zákon daný plochami ocelových průřezů a modulem pružnosti oceli, ale jakési efektivní (či náhradní) vztahy zohledňující nejen poddajnosti nakláněných a natačených sloupků, příslušné poddajnosti všech styků (mezi které lze počítat i kotvení či vetknutí sloupků), ale i vliv počátečních zakřivení a dalších nerovností (mnohdy náhodných) svodidla, které se při vnášení normálových sil do svodidla vyrovnávají a tím rozhodujícím způsobem ovlivňují normálovou "quazipoddajnost" vodorovných prvků svodidla.

Problematické může být i rozdělení síly F_{max1} po výšce (jaká část F_{max1} připadne na jednotlivé svodnice a madla a jaká je vazba mezi deformacemi těchto vodorovných prvků).

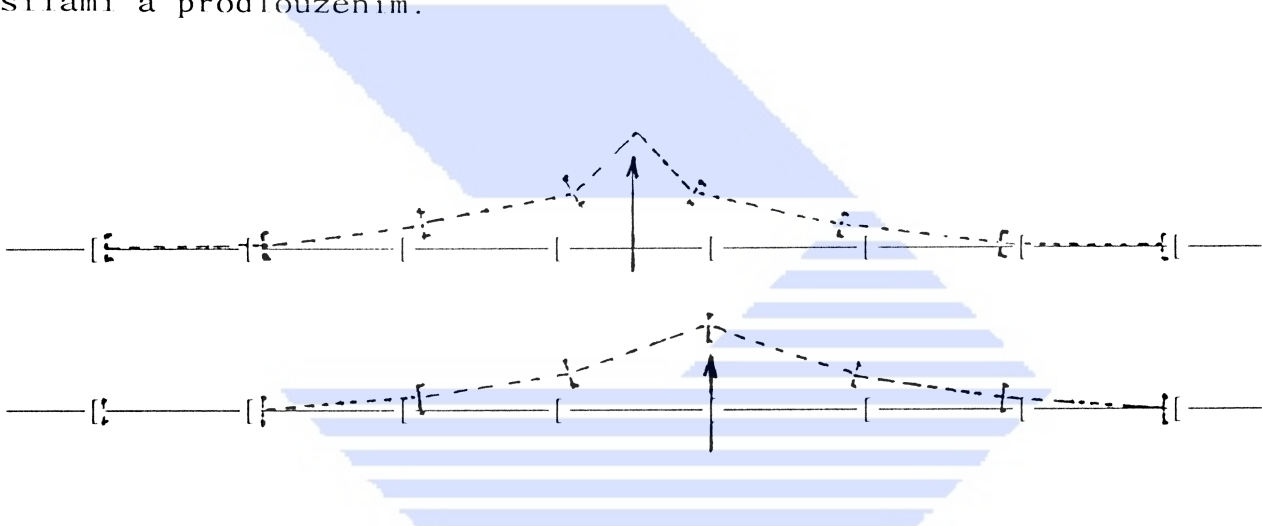
Přes tyto objektivní potíže, které prakticky znemožňují systematicky vyrábět věrné předpovědi chování ocelových svodidel a zábradelních svodidel v konkrétních situacích, bylo by možné (i když poměrně náročné a pracné) provádět výpočty uvedeného typu sloužící k účelům vypsáním v kap.1, přičemž by byla zpracovávána vstupní data (zejména jde o náhradní tuhostní charakteristiky a o detailní působení zatížení) stanovená zčásti na základě spekulací.

"Pěší cesta" (bez počítače) k odhadu F_{max1} a w_{max} může vést např. přes zkusmé hledání vhodného tvaru deformovaného svodidla (odpovídajícího např. schématům tvaru polygonů znázorněných na obr.3.10) založené na představě, že chování sloupků namáhaných vodorovnými silami je v obou směrech tuhoplastické (charakterizované známými mezními odpory označenými např. P_{ux} a P_{uy} , jejichž velikost se odvoď z mezních momentů M_{ux} a M_{uy}

paty sloupků či kotvení sloupků, při zanedbání interakce mezi nimi) se známými mezními posuny, takže o reakcích přenášených sloupky se předpokládá, že:

- sloupky, u kterých jsou posuny větší než nula a menší než mezní, odporují silami s předem známými velikostmi P_{ux} a P_{uy} ;
- sloupky, u kterých jsou posuny větší než mezní, neodporují vůbec (neb se něco utrhlo);
- neposunuté sloupky odporují silami, jejichž velikosti (předem neznámé) jsou mezi nulou a mezní hodnotou.

Touto cestou lze připravit pro každou "rozumnou" velikost F_{max} řadu (i spojitou, např. vzhledem k w_{max}) stavů svodidla kinematicky možného tvaru a splňujících podmínky rovnováhy. Z této řady geometricky a staticky vyhovujících stavů je hledaným řešením úlohy ten, u kterého vypočtená prodloužení vodorovných nosných prvků (tj. rozdíly mezi délkami na deformovaném a nedeformovaném svodidle) alespoň zhruba respektují známé (odhadnuté či jinak stanovené) fyzikální vztahy mezi normálovými silami a prodloužením.



Obr.3.10 Příklady deformování ocelových svodidel s "lanovým chováním" zatížených osamělou silou

3.4 Zatížení konstrukcí podporujících posuvné svodidlo

3.4.1 Vodorovná síla $F_{výz}$ nahrazující náraz, která působí kolmo na svodidlo ve výšce v_z nad vozovkou, není nějakým "samorovnovážným Saint-Venantovským efektem", jehož účinky by se projevily jen v omezené části konstrukce, ale akcí vyvozující reakce přenášené do konstrukcí svodidla podporujících a jimi dále do podloží. Dle 2.2.2 se v dané souvislosti obvykle uvažuje s intenzitou F_{max} , jejíž působení trvá několik desetin sekundy, neboť přenos sil konstrukcí se děje právě ve srovnatelném čase. Úvahy v 2.2 na téma, zda pro stanovení velikosti reakcí má být směrodatná intenzita F_{max} odvozená z návrhového nárazu, či zda je

prozíravější vycházet z únosnosti "nejslabšího článku nosného řetězce", vedou (v souladu s [6]) k doporučení spíše druhé možnosti.

Jde-li o svodidlo spojené s konstrukcemi je podporujícími pomocí styků, které jsou u stavebních konstrukcí běžné a jejichž chování se považuje za známé (např. pomocí kotvení či vetknutí), lze při stanovení reakcí (a vlastně při předpovídání účinků akce v celém nosném řetězci "nataženém" mezi působištěm síly F_{max} a středem zeměkoule) uplatnit běžné modely a metody stavební mechaniky.

Volné (posuvné) položení svodidla na podklad je však někdy z tohoto hlediska považováno za zvláštní (neběžný, ve stavebnictví obvykle nepoužívaný) "třecí styk", jehož chování nelze postihnout běžnými nástroji praktického statika (i když podobnost např. se základovou spárou gravitační opěrné zdi je evidentní), a je požadováno uvedení zvláštních pokynů pro stanovení účinků (reakcí) náhradní síly F_{max} vznikajících v úrovni povrchu podkladu; stanovení pokračování přenosu těchto sil do nitra konstrukce se už považuje za dostupné při použití obvyklých prostředků.

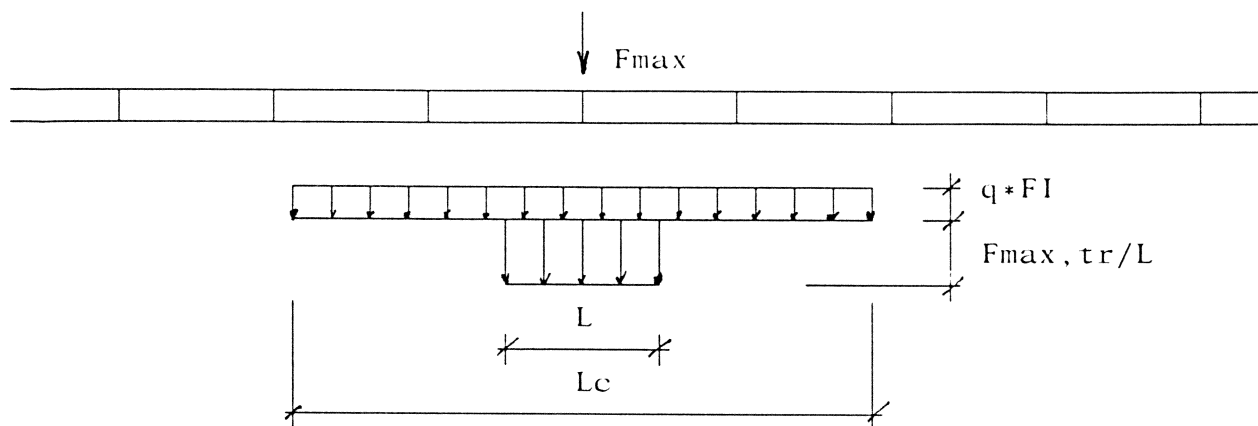
3.4.2 Při působení síly F_{max} , je-li $F_{max} - F_{max,tr} > F_{max,o}$, se část posuvného svodidla v okolí působiště síly obvykle příčně odsune. V případě, že jde o svodidlo s tvarem líce "New Jersey" nebo podobným, u něhož může vlivem najíždějícího vozidla dojít k místnímu svislému přetížení, lze přibližně odhadnout celkovou délku této odsunuté části (nezávisle na výsledcích výpočtů provedených podle 3.3.2 nebo 3.3.4, přitom však nikoliv v zásadním rozporu s nimi) pomocí vztahu:

$$L_c = (F_{max} - F_{max,tr}) / (q \cdot FI) \quad (3.22)$$

vyplývajících ze zjednodušené celkové podmínky příčné rovnováhy svodidla znázorněné na obr.3.11.

Velikost síly $F_{max,tr}$ lze stanovit např. pomocí úvah a vztahů uvedených v 2.2.3; též postačí uvažovat, že $F_{max,tr} = FI \cdot Q/3$, kde Q je celková tíha narážejícího vozidla. U posuvného svodidla, které nemůže být vozidlem zatíženo svisle, je vždy $F_{max,tr} = 0$. O síle $F_{max,tr}$ lze předpokládat, že se rozprostře na délce jednoho dílce L (nebo na nějaké jiné rozumné délce korespondující s tím, že příčinou vzniku této síly je koncentrované svislé zatížení svodidla, obv. jednou nebo dvěma nápravami vozidla).

Uvedený postup stanovení vodorovné reakce zanedbává "okrajové poruchy" v rozdělení reakce oproti znázornění na obr.3.11 na hranicích mezi odsouvanou a neodsunutou částí svodidla (související mj. i s tím, že hranice stanovené podle vztahu (3.22) se obecně nekryjí s hranicemi dílců), neb jde o zjednodušení prakticky neovlivňující dimenze konstrukcí svodidla podporujících.



Obr.3.11 Intenzita (rozdělení) vodorovné reakce vyvozené silou F_{max} v "základové spáře" volně uloženého (posuvného) svodidla

3.4.3 Moment $F_{max} \cdot v_z$ se projeví změnou polohy výslednice svislého zatížení (tj. tíhy svodidla a případně přitížení svodidla) způsobem odpovídajícím podmínce momentové rovnováhy zřejmé z obr.3.12:

$$F_{max} \cdot v_z = q \cdot L_d \cdot (d_2 - d_1) + F_{max, tr} / FI \cdot (d_3 - d_1) \quad (3.23)$$

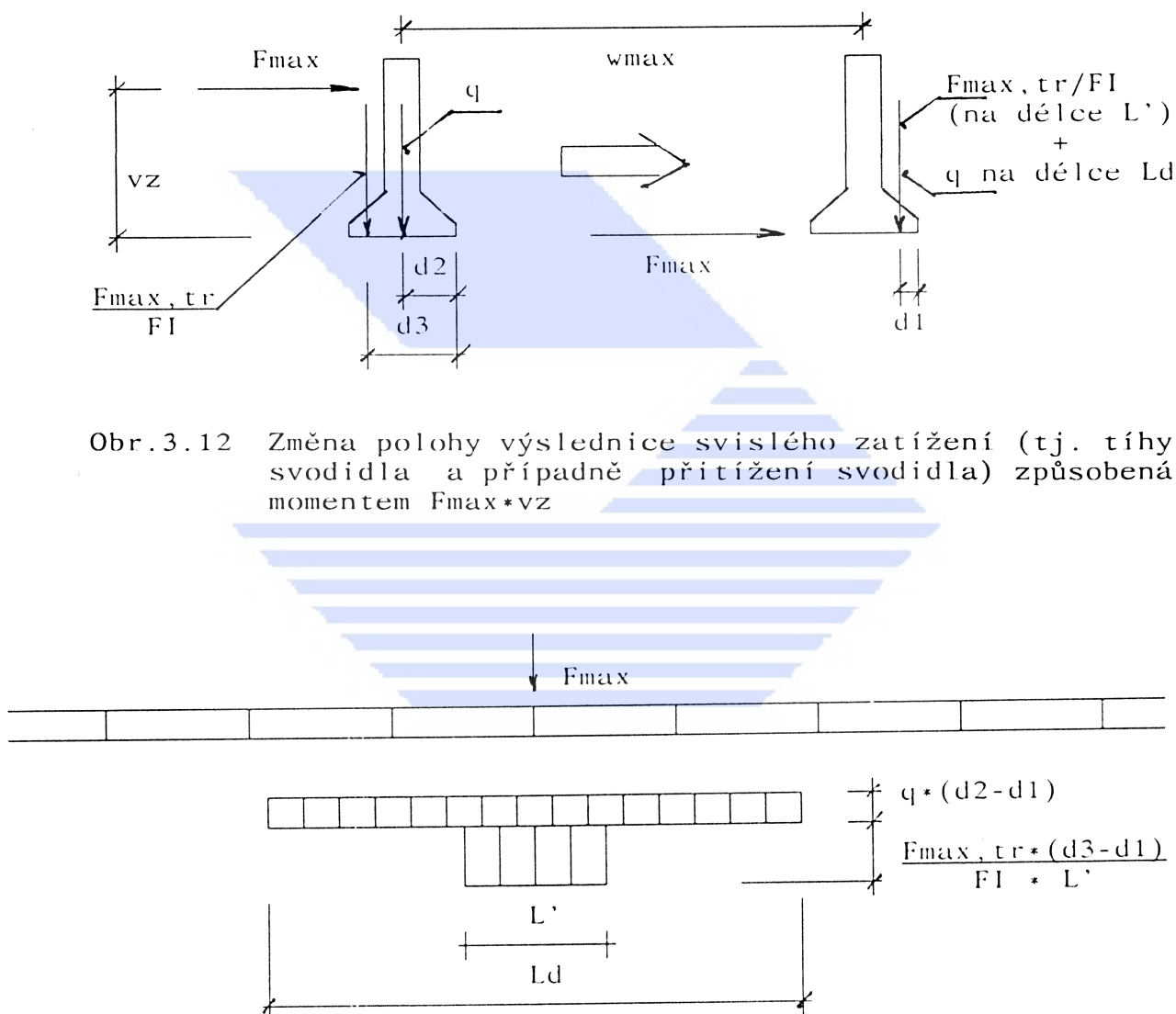
kde označení " d_1 " je užito pro jakousi náhradní (nikoliv průměrnou) délku zavedenou pro zjednodušení úlohy, která vyjadřuje náhradní konstattní polohu výslednice svislého zatížení v úrovni povrchu podkladu svodidla (která je v oblasti postižené nárazem evidentně proměnná) významnou pro dimenzování konstrukce svodidla podpírající.

Vzhledem k tomu, že vzdálenost d_1 výslednice od kraje svodidla nemůže být menší než nula, lze ve většině případů považovat volbu d_1 mezi nulou a cca 0,1 m (např. 50 mm) za přiměřeně bezpečnou. Učiněním této volby je již určena jak délka L_d (která může být obecně dost jiná (obvykle větší) než délka L_c vypočtená pomocí vztahu (3.22)), tak i délka L' "rozprostření" svislého přitížení vozidlem najetým na rampu svodidla New Jersey" (viz obr.3.13). Aby byl zachován poměr FI mezi vodorovnou silou $F_{max, tr}$ a svislým přitížením tuto třecí sílu generujícím a z důvodu zachování svislé rovnováhy je délka L' k -krát větší než dosedací délka působení svislé síly $F_{max, tr} / FI$ ($k = v_z \cdot FI / (d_3 - d_1)$) a intenzity příslušných svislých zatížení jsou v opačném poměru. Tato délka L' by měla být blízká třecí délce L , o jejíž volbě se zmiňuje 3.4.2; souladu lze dosáhnout koordinovanou volbou délek L a d_1 .

Při dimenzování konstrukce podpírající svodidlo se tedy může uplatnit (pokud se ukáže být rozhodující) tíha svodidla v nejúčinnější poloze (tj. obvykle deformovaného, odsunutého o w_{max}), která je navíc "modifikována" (přenesením působistě) o vliv momentu $F_{max} \cdot v_z$, a tíha vozidla najetého až k odsunutému svodidlu. Tíha svodidla je v dané souvislosti zatížením mimořádným, zatímco v jiných souvislostech je tíha svodidla, na které nic nenaráží, trvalou složkou zatížení buď provozního nebo

výpočtového nebo i mnohokrát opakovaného (totéž platí i pro zatížení dopravou).

V případě, že se působením síly F_{max} dostane část svodidla (vesměs půjde o "špici" o celkové délce menší než $2 \cdot L$ tvořenou dvěma necelými dílci svodidla) až "do vzduchu" vně podpírající konstrukce, nastane, kromě příčného přesunutí svislého zatížení způsobeného momentem $F_{max} \cdot v_z$ (případně zvětšeným o moment vyvozený konzolovitě vyloženým svodidlem) souvisícím s délkou d_1 , ještě podélné rozdělení oblasti s přesunutým svislým zatížením na dvě a odsunutí těchto oblastí podélně (symetricky od místa nárazu) tak, aby svislé zatížení našlo svou podpěru.



Obr.3.13 Intenzita (rozdělení) momentu vyvozeného silou F_{max} působící ve výšce v_z nad podkladem v "základové spáře" volně uloženého (posuvného) svodidla (působení momentu je zprostředkováno změnou působíště výslednice svislého zatížení)

3.4.4 Při navrhování konstrukcí podepírajících posuvné svodidlo je někdy třeba zohlednit účinky nárazu na "volně posuvné svodidlo, jehož posuvnost není spolehlivě zaručena". Příčinou omezení posuvnosti svodidla může být např. zaboření buď celé základny svodidla nebo jenom jeho zadní spodní hrany do podkladu, hrubší nerovnosti nebo "schůdek" v podkladu, apod. Čím výše náraz (či náhradní síla) působí, tím méně nápadné příčiny mohou toto nepříznivé chování svodidla (směřující spíše k jeho k převrácení než k odsouvání) způsobit.

V takovém případě, kdy k vodorovnému posuvu nedojde, se tření neaktivuje a síla F_{max} se "roznáší" vnitřní soudržností materiálů a konstrukcí tvořících nosný řetězec až do podloží buď podobně, jakoby spáry nebylo, nebo, degraduje-li třecí spára na "quazikloub", dojde alespoň k "rozprostření" momentu $F_{max} \cdot v_z$ způsobem, který lze při navrhování modelovat podle doporučení uvedených v 3.4.3.

V případě, že je za svodidlem ve vzdálenosti menší než w_{max} překážka, o kterou se svodidlo (ať je jakékoliv, nejen volně posuvné) při nárazu zadrží, lze při rozdělování náhradní síly F_{max} působící na vozidlo na dvě části, a to na část působící na onu překážku a na část působící na svodidlo, "přiměřeně" (působíště náhradní síly nemusí být vždy 1,25 m nad vozovkou a i svodidlo nižší než 1,1 m může zabránit převrácení vozidla přes svodidlo vrchem a podílet se na vzdorování nárazu) využít dovolení uvedené v čl.3.4.23 NAD v [6].

V případě, že je za svodidlem ve vzdálenosti menší než w_{max} překážka, kterou svodidlo (ať je jakékoliv, nejen volně posuvné) při nárazu překoná, lze zohlednit vliv této překážky na průběh nárazu zahrnutím energie potřebné k destrukci překážky do části energie označené v 2.2 jako E_d (o tuto část energie se zmenší množství energie pohlcované svodidlem).

Ve všech zmíněných situacích, kdy něco brání odsouvání původně posuvného svodidla a tím přispívá ke zmenšení jeho posuvu oproti w_{max} příslušnému volnému odsunutí, dojde ke zvětšení síly F_{max} působící na vozidlo a obvykle i ke změně velikosti síly připadající na vlastní svodidlo. Při stanovení velikosti těchto změněných intenzit lze uplatnit úvahy a vztahy uvedené v kap.2 (jde zejména o "energetický přístup" k problematice a z něj vyplývající představy o závislosti namáhání kontaktu na poddajnostech, o rozdělení energie nárazu na část pohlcenou svodidlem a část pohlcenou jinými překážkami, o rozdělení síly F na část přenášenou svodidlem jako poddajným nosným systémem a na část přenášenou svodidlem jako tuhým tělesem, atd.).

3.5 Výtah z předpisu [17] (Anglie)

3.5.1 Předpis [17] obsahuje (mj.) požadavky na návrhy mostních zábradelních svodidel. Tento předpis sice pohlíží na mostní zábradelní svodidla jako na nosné konstrukce, které projektant mostu "dimenzuje", tj. obdobně jako tyto TP 101, avšak na rozdíl od TP 101, a i na rozdíl od některých předpisů (např. od [6], [8], [9], [10], [11], [13] a [15]), uvádí nejen zatížení zábradelních svodidel (tj. parametry návrhových nárazů a/nebo intenzity a působíště náhradních návrhových sil), ale přímo (tj. bez nároků na vytváření a řešení výpočtových modelů) i silové účinky tohoto zatížení v jednotlivých prvcích zábradelního svodidla.

Předpis [17] neobsahuje informace o způsobu, jakým byly uvedené silové účinky stanoveny (zkouškami, výpočty, odbornými odhady, kombinací těchto způsobů ?); ať to však bylo jakkoliv, je velmi pravděpodobné, že tyto účinky odpovídají jen určitému typu zábradelního svodidla (při určitém způsobu kotvení, při určitém způsobu ukončení, atd.), resp. jen několika určitým typům zábradelních svodidel. Proto nemusí být použití těchto hodnot při navrhování jiných typů zábradelních svodidel (ba ani při navrhování obdobných typů zábradelních svodidel, ale určených pro zachycování nárazů jiných vozidel či pro odolávání jiným a jinak působícím náhradním silám) vždycky vhodné.

Výtah z předpisu [17], který je uveden v 3.5.2 až 3.5.5, si nečiní nárok na úplnost ani přesnost (ani co do terminologie, ani co do věcné správnosti) a není okomentován ani doplněn pro praktické použití; jeho cílem není nic jiného než "vzbudit zájem". Přesto aplikace metodiky předpisu [17] (resp. aplikace předpisu [17] samého) spolu s TP 101, nebo i místo TP 101, pro naše poměry není vyloučena, měla by však být podložena jak úplnou znalostí tohoto předpisu (jsou v něm uvedeny další podmínky a požadavky na zábradelní svodidla, týkající se zejména prostorového uspořádání, materiálů a konstruování detailů, které nebyly do výtahu zahrnuty), tak i znalostí anglických předpisů souvisejících, a to včetně předpisů pro navrhování ocelových a betonových konstrukcí (jde např. o návazné dimenzování, neb [17] neobsahuje informace o "úrovni spolehlivosti", která může být chápána jinak než u nás a/nebo může být zajišťována jinými prostředky a postupy než je zvykem u nás) a včetně předpisů pro projektování mostů pozemních komunikací (jde např. o "deformační zóny", neb [17] se o deformacích zábradelních svodidel nezmiňuje).

3.5.2 [17] definuje tři "úrovně zadržení" zábradelních svodidel, a to:

- normální P1 (vozidlo 1,5 t; rychlost 113 km/hod; úhel nárazu 20°), jejíž zajištění je požadováno na mostech dálnic a silnic dálničního charakteru; výška zábradelního svodidla je min. 1,0 m;
- nízkou P2 (vozidlo 1,5 t; rychlost 80 km/hod; úhel nárazu 20°), jejíž zajištění je požadováno na mostech silnic

obecného charakteru a účelových; výška zábradelního svodidla je min. 1,0 m;

- vysokou P6 (vozidlo 30 t; rychlost 64 km/hod; úhel nárazu 20°) jejíž zajištění je požadováno na místech s vysokým rizikem; výška zábradelního svodidla je min. 1,0 m.

3.5.3 U ocelového zábradelního svodidla tvořeného sloupky (vzdálenost mezi osami sloupků L nepřesahuje 3,8 m) osazenými na železobetonový "sokl" (výška soklu musí být buď mezi 50 mm a 100 mm nebo nad 700 mm) a několika (n) "efektivními" rovnoběžnými podélnými prvky (příčměž železobetonový sokl výšky nad 700 mm se považuje za jeden podélný prvek) má být při požadované úrovni zadržení P1 resp. P2:

- každý sloupek dimenzován (uplatní se plastický modul odporu) na zatížení příčnou silou F rovnou 50 kN resp. 25 kN, přičemž "složky" této síly o velikosti F/n působí ve výšce těžišť podélných prvků (přitom odpory sloupku proti působení podélných sil nemají být menší než osmina jeho odporů "příčných");

- mezní moment "vodorovný", jímž podélný prvek odporuje působení vodorovných sil kolmých k rovině zábradelního svodidla, tj. součin plastického modulu odporu podélného prvku (rozumí se ve směru odporujícím příčné síle) a minimálního zaručeného napětí oceli, alespoň $8,3 \cdot L/n$ kNm resp. $4,15 \cdot L/n$ kNm (přitom mezní moment "svislý" podélného prvku má být alespoň polovinou jeho mezního odporu "vodorovného");

- konstrukčně zajištěna spojitost (rozumí se co do schopnosti přenášet momenty i tahovou sílu) podélných prvků v celé délce (v místech dilatací se považuje za dostatečné, není-li schopnost těchto prvků přenášet tahovou sílu snížena pod 60 % "vnitřní" mezní hodnoty - jinak je třeba na obou stranách dilatace instalovat zvlášť únosné "koncové sloupky").

Požadavky na dimenzování ocelových zábradelních svodidel obdobného typu s požadovanou úrovní zadržení P6 předpis [17] neuvádí.

3.5.4 Železobetonové monolitické svodidlo má být dimenzováno jako konzola (při základně), při požadované úrovni zadržení P1 resp. P2, na straně:

- přilehlé k dopravě na moment 25 kNm/m, resp. 12,5 kNm/m;
- odlehlé od dopravy, na moment 12,5 kNm/m, resp. 6,25 kNm/m.

U železobetonového svodidla z dílců, při požadované úrovni zadržení P1 resp. P2:

- má být kotvení dílců k základně dimenzováno na moment 37,5 kNm/m, resp. 18,75 kNm/m;
- mají být svislé spáry mezi dílci schopny odolávat příčné smykové (střihové) síle 65 kN/m, resp. 32,5 kN/m.

Je-li železobetonové svodidlo spodní částí ("soklem") ocelového zábradelního svodidla, uplatní se při jeho dimenzování i požadavky související s upevněním sloupků a se zachycením místně působící síly F/n dle 3.5.3.

3.5.5 Železobetonové monolitické svodidlo s požadovanou úrovni zadržení P6 má být dimenzováno jako konzola (při základně), na straně:

- přilehlé k dopravě, v koncových úsecích na moment 165 kNm/m a ve vnitřních úsecích na moment 125 kNm/m;
- odlehlé od dopravy, na moment 62,5 kNm/m.

U železobetonového svodidla z dílců, při požadované úrovni zadržení P6, mají být:

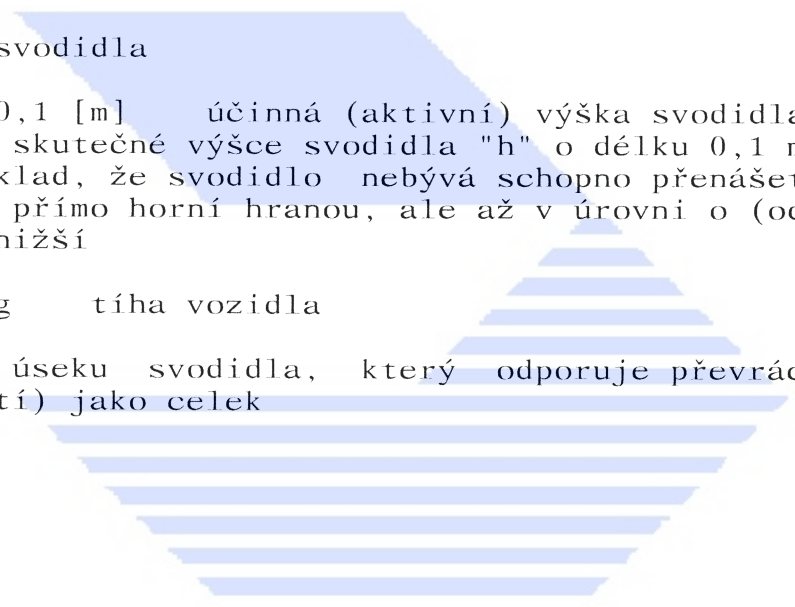
- dílce schopny odolat náhradní příčné síle 330 kN působící ve výšce 0,85 m na vodorovné přímce dlouhé 1,5 m;
- dílce schopny odolat náhradní příčné síle 330 kN působící ve výšce "hlavy" svodidla na přímce dlouhé 3,0 m;
- svislé spáry mezi dílci schopny přenést smykovou (střihovou) sílu 110 kN/m (tj. min. 165 kN celkově).

3.5.6 Podobným způsobem jako [17] (avšak bez uvedení konkrétních intenzit zatížení) je koncipován i předpis [16]; v něm uvedené rozdělení vnitřních sil se údajům uvedeným v [17] blíží nebo je s nimi i totožné (např. v [16] je považováno za dostatečné, je-li sloupek ocelového zábradelního svodidla schopen samostatně odolat 1/4 celkové náhradní síly P působící na zábradelní svodidlo příčně; madla mají být navržena na ohybový moment $P.L/(6.n)$, kde L je vzdálenost sloupků a n je počet nosných madel).

4 Posouzení svodidla jako nosné konstrukce

4.0 Značky

Kromě značek uvedených a vysvětlených v tomto článku, a kromě značek vysvětlených přímo v místě použití, jsou v kap.4 užívány i značky uvedené v 2.0 a v 3.0.



h	výška svodidla
H	= h - 0,1 [m] účinná (aktivní) výška svodidla; zmenšení oproti skutečné výšce svodidla "h" o délku 0,1 m vyjadřuje předpoklad, že svodidlo nebývá schopno přenášet nárazovou sílu F přímo horní hranou, ale až v úrovni o (odhadem) cca 0,1 m nižší
Q	= m * g tíha vozidla
Lu	délka úseku svodidla, který odporuje převrácení (resp. posunutí) jako celek

4.1 Zajištění spolehlivosti vozidla proti převrácení přes svodidlo (určení minimální výšky svodidla)

4.1.1 Podmínku, vyjadřující ve smyslu [1] spolehlivost vozidla proti převrácení přes svodidlo, případně přes odraznou zídku nebo přes odrazný obrubník, lze dle obr.4.1 uvažovat (jde o rotaci kolem osy A) ve tvaru:

$$F_{dyn} * (c - H) < 0,9 * (Q * AD * H + Q * r_1) \quad (4. 1)$$

V podmínce spolehlivosti (4. 1) i v obr.4.1 je:

F_{dyn} dynamická intenzita náhradní kontaktní síly

c délka přibližně rovná: $t + 0,15 * b$

0,15 bezrozměrný součinitel vyjadřující předpoklad, že v rozhodujícím okamžiku (těsně před převrácením

vozidla přes svodidlo) dochází při kymácení vozidla k jeho naklonění o cca 15 % směrem ke svodidlu

0,9 součinitel stability polohy dle [1] (ostatní součinitele spolehlivosti předepsané v [1] lze považovat za jedničky, a to včetně součinitele tíhy vozidla i součinitele adheze)

AD bezrozměrný součinitel adheze (vlečného bočního tření) mezi pneumatikami a podkladem, jehož hodnota je v literatuře uváděna pro případ neojetých pneumatik a běžně udržovaného podkladu cca 0,8 až 0,9 (téměř shodně pro živičný povrch, pro beton i pro drobné kostky), který však může klesnout i pod 0,05, jde-li o vztah ojetých pneumatik a náledí nebo bláta

r1 rameno síly Q vzhledem k ose otáčení A, přibližně $r1 = b - 0,15 \cdot (t - H)$

Podmínka (4. 1) vyjadřuje zkušenost, že k převrácení vozidel přes svodidlo dochází nejčastěji v okamžiku, když vozidlo současně:

- jede podél svodidla, s ním přibližně rovnoběžně (tehdy je rameno "r1" nejmenší možné a právě tehdy, tj. během "střední části nárazu", může kontaktní síla F nabýt hodnot blízkých maximu (alespoň u krátkých vozidel je to téměř pravidlem; náraz dlouhých vozidel obvykle má dva vrcholy intenzity);

- je "přikloněno ke svodidlu" (fotografie i videozáznamy zkušebních nárazů ukazují, že vyšší vozidla se během nárazu kymácí, přičemž odklony od svislice bývají i při úspěšném zadržení 15 % i více).

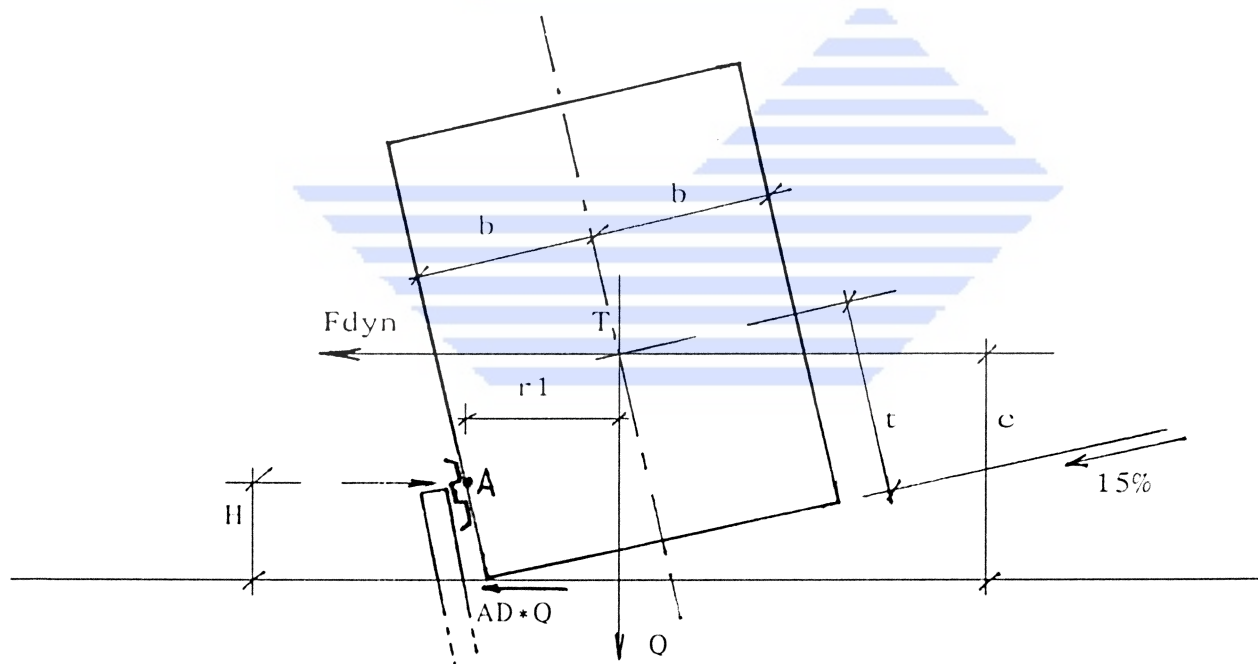
Dále se předpokládá, že výška svodidla "h" (resp. účinná výška svodidla "H") je během nárazu alespoň přibližně zachována. Tento předpoklad bývá splněn nejen u zařízení současně velmi tuhých i velmi únosných, jakými jsou např. monolitické betonové zdi, které se při nárazu prakticky ani nehnu, ale i u lanových svodidel (lana se vyvlečou ze sloupků a zařiznou se do karoserie, přičemž výškově zachovávají směr), u novějších typů ocelových svodidel (svodnice se utrhnou od sloupků a vedou vozidlo jako přibližně vodorovný poddajný pás či žebřík), a obvykle i u betonových svodidel nespojených tuze s podkladem (tj. u svodidel buď zcela volně uložených, nebo co do posuvu velmi poddajně a současně co do schopnosti odporovat momentu málo pevně přikotvených), která se mohou po podkladu příčně odsouvat.

Splnění tohoto předpokladu je však nejisté u svodidel a zábradelních svodidel (betonových i ocelových) pevně (nosně) přikotvených k podkladu a u starších ocelových svodidel (tato zařízení mají tendenci se při nárazu snížit až sklopit, neb svodnice se včas od ohýbajících se sloupků neodtrhne), u betonových svodidel či odrazných zídek nadstavených ocelovým madlem (ocelová část bývá poddajnější než betonová, takže "nezabere" včas a může být vozidlem "zalehnuta"), a někdy i u subtilnějších betonových svodidel (horní část může být rozlámána či uražena a samostatně vyvrácena).

Pokud není ověřeno, že se svodidlo bude v reálu deformovat podle předpokladů (tj. v souladu s výsledky výpočtů či zkoušek),

doporučuje se stanovit F_{dyn} "na straně bezpečné" a při výpočtu výšky svodidla předpokládat průhyb svodidla w_{max} příslušný k síle F_{max} , od kterého se odvozuje síla F_{dyn} (např. dle 2.2.2 přenásobením součinitelem 1,6), raději menší. Toto se týká zejména svodidel betonových, která se ráda "zakusují" do podkladu (pak se neodsouvají, ale odklání) a která ráda hledají "výmluvy" (např. nerovnosti v podkladu těsně za svodidlem) pro to, aby se nemusela při nárazu ani pohnout (při navrhování výšky betonových svodidel, pokud není přímo požadována předpisem, se proto doporučuje uvážit i případ, že w_{max} nepřekročí cca 0,2 m).

Vztah (4. 1) nepopisuje žádný jiný způsob překonání svodidla vozidlem (např. přejetí nebo přeskočení) než převrácení (překocení) vozidla přes svodidlo tak, že úroveň účinné výšky "H" (bod A na obr.4.1) tvoří myšlenou osu rotace. Tento vztah obecně nevystihuje spolehlivost vozidla proti převrácení přes svodidlo v případě, že je svodidlo umístěno za nebo nad odrazným obrubníkem (záleží na způsobu jakým vozidlo překoná obrubník; začne-li proces převrácení nejprve kolem horní hrany odrazného obrubníku, může úhel naklonění vozidla při styku se svodidlem již výrazně překročit uvažovaných 15 %). Vztahem (4. 1) rovněž nelze postihnout případy, kdy při nárazu nezůstane vozidlo v celku (jde o autocisterny, valníky, apod., u kterých se může odtrhnout cisterna či korba s nákladem od podvozku a pak může "letem" svodidlo překonat samostatně).



Obr.4.1 Poloha vozidla v okamžiku rozhodujícím o tom, zda se vozidlo přes svodidlo převrátí či nepřevrátí

4.1.2 V tab.4.1 jsou uvedeny dvojí minimální skutečné výšky svodidel "h" splňující podmínku spolehlivosti (4. 1) vzhledem k nárazovým zkouškám TB42 (kompakt), TB51 (autobus), TB61 (kompakt), TB71 (kompakt) a TB81 ("kloubák") s parametry dle

tab.2.1; a to minimální výšky označené pro účely těchto TP 101 jako:

- "běžné" odpovídající situacím, kdy adheze funguje běžným způsobem, tj. kdy $AD = 0,8$ (což odpovídá běžným, avšak udržovaným a čištěným povrchům na silnicích a mostech i poměrům při nárazových zkouškách);
- "zvýšené" zajišťující spolehlivost proti převrácení i při souběhu nepříznivých okolností, kdy je adheze vyloučena (což při nárazové zkoušce sice nenastává, ale v silničním provozu dost často) a kdy se současně výšky těžišť vozidel (tyto výšky závisí nejen na vozidlech samých, ale i na jejich nákladu) blíží hodnotám uvedeným v tab.2.1 (tyto hodnoty jsou dost vysoké a v běžném silničním provozu je jich dosahováno jen zřídka).

Při výpočtu minimálních výšek svodidel uvedených v tab.4.1 byly pro stanovení velikostí náhradních sil F_{dyn} příslušných zkušebním nárazům užity vztahy uvedené v 2.2 (F_{dyn} se uvažuje jako 1,6 násobek F_{max} stanoveného za předpokladu, že $F_{tr} = 0$).

Tab.4.1 neuvádí minimální potřebnou výšku svodidel pro třídy úrovní zadržení A2 až C1 definované v [10], neb pro tyto třídy nelze tuto výšku stanovit bez řady spekulací týkajících se parametrů nárazu ([10] i [11] předepisují jen energii nárazu, nikoliv výšku těžiště vozidla, jeho tíhu, rozměry, rychlost a úhel nájezdu). Hodnoty uvedené v tab.4.1 však umožňují učinit si jakoustakous představu i o výškách svodidel potřebných k zadržení těchto nárazů.

U svodidel třídy A1 (a u svodidel tříd N1, N2 podle [8] a u dočasných svodidel), která jsou určena k svádění převážně osobních aut (a případně i k svádění nákladních aut narážejících pod malými úhly), se výška stanovuje podle předpisů či požadavků nebo "podle zvyklostí" a k výsledku danému vztahem (4. 1) se obvykle nepřihlíží (při vyčíslení vztahu (4. 1) vychází totiž v těchto případech velmi malá výška "h", vesměs menší než 0,5 m a mnohdy i než 0,2 m).

Z tab.4.1 (i z tab.4.2 a tab.4.3) je zřejmý vliv poddajnosti svodidla na jeho nutnou výšku. Čím tužší svodidlo se použije, tím by mělo být (pro zachycení stejného nárazu) vyšší. Tyto tabulky také potvrzují, že u relativně velmi poddajných ocelových svodidel je běžně používaná výška (cca 0,75 m) právě přiměřená.

Definice minimálních výšek "běžných" a "zvýšených" v závislosti na velikosti adheze pneumatik k vozovce naznačují, že výška svodidla ověřená nárazovými zkouškami provedenými podle [8] nebo podle [11] je pouze výškou blízkou nebo větší (zkouška nedává podklady pro stanovení "o kolik" větší) než výška minimální "běžná". Tato výška svodidla se může ukázat v reálu jako nedostatečná v případech, kdy povrch vozovky není pravidelně udržován a čištěn a to nejen těsně před svodidlem, ale i v rozsahu deformační zóny za ním (i to je místo, kde se může ukázat adheze mezi pneumatikami a vozovkou rozhodující). Při navrhování výšky svodidla (pokud není dána předpisem) výběrem vhodné hodnoty z intervalu mezi "běžnou" a "zvýšenou" minimální výškou stanovenou výpočtem je tedy na místě přihlídnout k předpokládanému provozu (jaká vozidla, co budou vozit, jaké

výšky těžišť, jaká je společenská přijatelnost převrácení vozidla přes svodidlo) a k předpokládané úrovni údržby (jaká adheze).

Tab.4.1 Minimální výšky h [m] svodidel stanovené výpočtem podle 4.1.1 (s využitím přílohy 1)

Označení zkoušky		průhyb svodidla w_{max} [m] (volba)				
		0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
TB42	F_{dyn}/F_{max} [kN]	239/149	175/109	137/ 86	113/ 71	96/ 60
	běžná min. h	1,06	0,88	0,73	0,61	0,50
	zvýšená min. h	1,34	1,18	1,04	0,90	0,76
TB51	F_{dyn}/F_{max} [kN]	334/209	272/170	230/144	199/124	175/109
	běžná min. h	1,02	0,91	0,81	0,73	0,65
	zvýšená min. h	1,26	1,17	1,08	0,99	0,91
TB61	F_{dyn}/F_{max} [kN]	659/412	516/322	423/265	359/224	312/195
	běžná min. h	1,40	1,29	1,19	1,10	1,02
	zvýšená min. h	1,62	1,55	1,48	1,41	1,34
TB71	F_{dyn}/F_{max} [kN]	784/490	619/387	511/319	435/272	379/237
	běžná min. h	1,42	1,28	1,15	1,04	0,94
	zvýšená min. h	1,77	1,67	1,56	1,46	1,37
TB81	F_{dyn}/F_{max} [kN]	619/387	531/332	464/290	413/258	371/232
	běžná min. h	1,12	1,01	0,91	0,82	0,74
	zvýšená min. h	1,54	1,44	1,34	1,25	1,15

4.1.3 Obdobné dvojí minimální skutečné výšky svodidel " h " (tj. "běžné" pro případy, kdy lze uvažovat s adhezí $AD = 0,8$ a "zvýšené" pro případy, kdy lze odůvodněně očekávat vyloučení adheze), splňující podmínku spolehlivosti (4. 1) vzhledem úrovním zadržení I a II definovaným pro "jiná svodidla" v [10], jsou uvedeny v tab.4.2 (pro I) a v tab.4.3 (pro II). Tyto výšky byly vypočteny za předpokladu, že narážejícími vozidly jsou vozidla označená v tab.2.1 čísla 4 (kompakt), 5 (autobus), 6 (kompakt), 7 (kompakt) a 8 ("kloubák").

Tab.4.2 Minimální výšky h [m] stanovené výpočtem podle 4.1.1 pro "jiná svodidla" s úrovní zadržení I

Označení vozidla		průhyb svodidla w_{max} [m]			
		0,0	0,5	1,0	1,5
	F_{dyn}/F_{max} [kN]	160/100	144/ 90	128/ 80	112/ 70
4	běžná min. h	0,83	0,76	0,69	0,60
	zvýšená min. h	1,13	1,07	0,99	0,89
5	běžná min. h	0,59	0,52	0,44	0,35
	zvýšená min. h	0,85	0,76	0,66	0,53
6	běžná min. h	0,57	0,50	0,42	0,32
	zvýšená min. h	0,88	0,78	0,66	0,51
7	běžná min. h	0,28	0,20	0,12	-
	zvýšená min. h	0,47	0,32	0,14	-
8	běžná min. h	0,11	-	-	-
	zvýšená min. h	0,12	-	-	-

Tab.4.3 Minimální výšky h [m] stanovené výpočtem podle 4.1.1 pro "jiná svodidla" s úrovní zadržení II

Označení vozidla		průhyb svodidla w_{max} [m]			
		0,0	0,5	1,0	1,5
	F_{dyn}/F_{max} [kN]	320/200	267/167	213/133	160/100
4	běžná min. h	1,20	1,12	1,00	0,83
	zvýšená min. h	1,44	1,38	1,28	1,13
5	běžná min. h	1,00	0,90	0,77	0,59
	zvýšená min. h	1,25	1,16	1,04	0,85
6	běžná min. h	1,04	0,92	0,77	0,57
	zvýšená min. h	1,35	1,25	1,10	0,88
7	běžná min. h	0,81	0,67	0,49	0,28
	zvýšená min. h	1,23	1,07	0,83	0,47
8	běžná min. h	0,63	0,49	0,31	0,11
	zvýšená min. h	1,01	0,82	0,53	0,12

4.2 Spolehlivost svodidla proti převrácení (určení minimální délky svodidla)

4.2.1 Spolehlivost proti převrácení je významná zejména u:

- svodidel posuvných (čili volně uložených), obvykle betonových, odporujících převrácení pouze svou tíhou (jde o prakticky jediný "čistý" případ, kdy svodidlo může být převráceno jako relativně tuhé těleso bez ztráty vnitřní soudržnosti čehokoliv);
- betonových svodidel kotvených k podkladu (resp. vetknutých do podkladu), odporujících převrácení svou tíhou a kotvením (resp. svou tíhou a vetknutím);
- masivnějších (tužších) ocelových svodidel nebo zábradelních svodidel, pokud zůstávají pásnice spojené se sloupky i během nárazů, u kterých převrácení odporují buď dolní průřezy sloupků nebo kotvení (resp. založení) sloupků, přičemž rozhoduje nejslabší článek.

U některých typů svodidel, např. u svodidel lanových (lana se při nárazu nesklápějí, neb se zařezávají do karoserie a jsou jí vedena během celého nárazu přibližně ve stejné výšce) a u novějších svodidel ocelových, zejména distančních (u kterých pásnice, u oboustranných alespoň jedna, zůstávají během nárazu drženy na vozidlech ve "slušné" výšce nad zemí), nemá pojem "spolehlivost svodidla proti převrácení" žádný smysl (na rozdíl od "spolehlivosti vozidel proti převrácení přes svodidla" pojednané v 4.1, která je významná pro všechny typy svodidel).

4.2.2 Podmínku, vyjadřující ve smyslu [1] spolehlivost svodidla jako celku (vesměs spolu i s vozidlem) proti převrácení (resp. převržení, sklopení, apod.; obdobným způsobem, jakým se převrací např. opěrná zeď i s tím, co se o ni opírá), lze dle obr.4.2 uvažovat (jde o rotaci kolem osy B) ve tvaru:

$$F_{\max} * c < 0,9 * (Q * r_2 + Lu * Modp) \quad (4. 2)$$

V této podmínce spolehlivosti i v obr.4.2 je:

F_{\max} maximální intenzita náhradní kontaktní síly (4.2.3)

c délka přibližně rovná: $t + 0,15 * b$

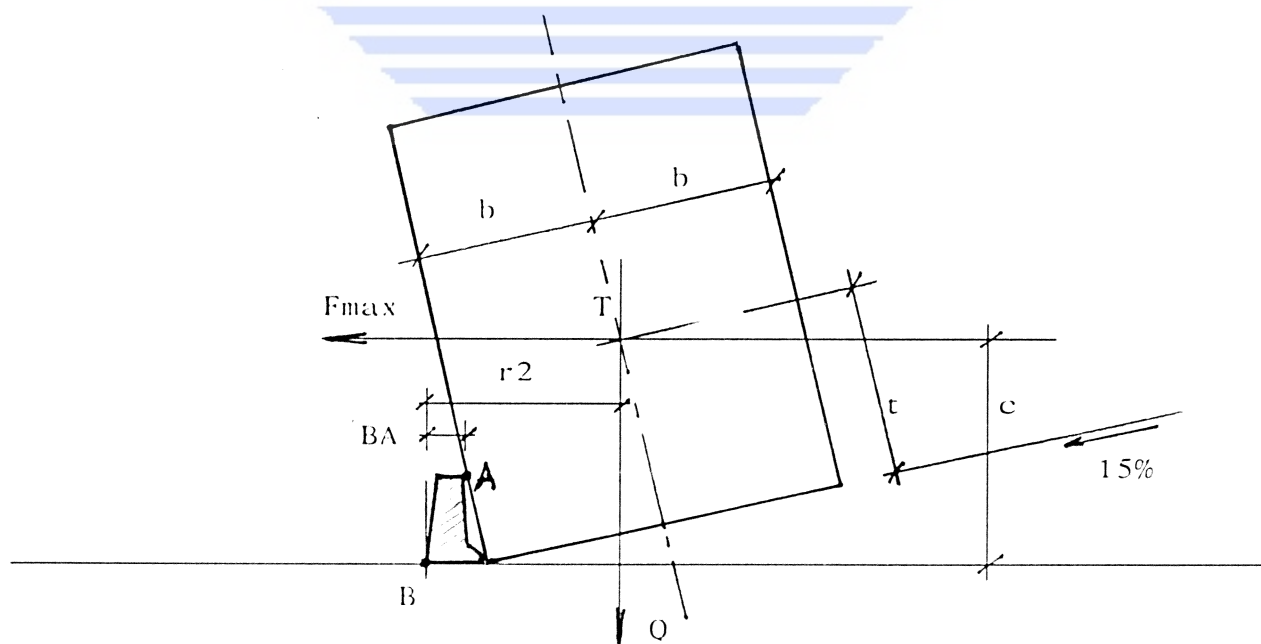
0,15 bezrozměrný součinitel vyjadřující předpoklad, že v rozhodujícím okamžiku (těsně před převrácením vozidla i se svodidlem) dochází při kymácení vozidla k jeho naklonění o cca 15 % směrem ke svodidlu

- 0,9 součinitel stability polohy dle [1] (kromě součinitele vlastní tíhy svodidla lze považovat ostatní součinitele spolehlivosti předepsané v [1] za jedničky, a to včetně součinitele tíhy vozidla)
- r_2 rameno síly Q vzhledem k ose otáčení B, přibližně $r_2 = b - 0,15 \cdot (t - H) + BA$
- BA půdorysná vzdálenost os B a A (obr.4.2)
- Modp moment (návrhová hodnota), kterým průměrný úsek svodidla jednotkové délky odporuje převrácení (4.2.4)

Podmínka (4. 2) vyjadřuje zkušenost, že k současnému převrácení vozidla i se svodidlem dochází nejčastěji v okamžiku, který je popsán také v 4.1.1, to je tehdy, když vozidlo současně:

- jede podél svodidla, s ním přibližně rovnoběžně (tehdy je rameno " r_2 " nejmenší možné a právě tehdy, tj. během "střední části nárazů", může F_{max} (tj. průměrná kontaktní síla F za dobu několika desetin sekundy) nabývat hodnot blízkých maximu);
- je "přikloněno ke svodidlu" (fotografie i videozáznamy zkušebních nárazů ukazují, že vozidla se během nárazu kymácí, že ve "střední části nárazů" trvá přiklonění ke svodidlu i několik desetin sekundy, přičemž odklony od svislice bývají i při úspěšném zadržení 15 % i více).

Dále se předpokládá, že svodidlo má vnitřní soudržnost dostatečnou k tomu, aby zůstalo během nárazu v přiměřené míře vcelku (tj., že se např. nevylomí několik dílců betonového svodidla, že se nerozpojí pásnice ocelového svodidla, atd.).



Obr.4.2 Situace v okamžiku rozhodujícím o tom, zda se svodidlo (i s vozidlem) převrátí či nepřevrátí

4.2.3 Intenzitu síly F_{\max} lze zjišťovat buď výpočtem (např. přímo "nakrmením" a řešením výpočtových modelů popsaných v kap.2 a kap.3 těchto TP 101, přičemž se vesměs předpokládá, že $F_{tr} = 0$), nebo měřením při nárazových zkouškách. Někdy je však třeba posoudit stabilitu úseku svodidla o jiné, obvykle o kratší délce, než jaká byla použita při nárazové zkoušce či než jakou zvládá výpočtový model, který je k mání (pokud výpočtový model zvládá jen svodidlo nekonečné délky, je tento problém nastolen teoreticky vždycky). V takových případech lze uplatnit obecnou platnost pravidla, že (pokud není užita nějaká zvláštní úprava konců svodidla), dojde při jinak stejných parametrech nárazu u úseku kratší délky vždy ke vzniku většího průhybu w_{\max} a příslušná síla F_{\max} je menší, než postihne-li náraz úsek téhož svodidla o větší délce, a buď uplatněním síly F_{\max} příslušné úseku svodidla s větší délkou vědomě "zůstat na straně bezpečné", nebo F_{\max} přiměřeně (odborným odhadem) snížit.

Při stanovení velikosti náhradní kontaktní síly F_{\max} , která se uplatní při vyhodnocování podmínek spolehlivosti (4. 2) či (4. 4), se však vhodné uvažovat s teoreticky vypočtenou či zkouškami zjištěnou hodnotou průhybu w_{\max} (a se silou F_{\max} příslušnou k tomuto průhybu w_{\max}) pouze tehdy, je-li opodstatněné očekávat, že předpoklady výpočtu, resp. okolnosti, za kterých proběhly zkoušky, budou (zejména co do kvality povrchu podkladu) trvale zajištěny (jde nejen o provedení, ale i o údržbu). To se týká zejména svodidel betonových (i volně posuvných), která mají tendenci se při nárazu zapřít zadní dolní hranou do podkladu a narážejícímu vozidlu uhnout jen kousek (cca 0,1 až 0,30 m) přímo zatíženým vrškem, přičemž začínají rotovat kolem osy B (obr.4.2), aniž by došlo k významnějšímu příčnému posuvu svodidla (viz též předposlední odstavec 4.1.1). Je-li takové nebezpečí reálné, je na místě uvažovat, že síla F_{\max} je příslušná onomu malému průhybu w_{\max} .

4.2.4 Moment M_{odp} , kterým svodidlo (a jeho přikotvení, založení, vetknutí, atd., existuje-li) odporuje převrácení, lze při vyhodnocování podmínek spolehlivosti (4. 2) a (4. 4) stanovit pomocí vztahu:

$$M_{odp} = 0,9 \cdot q \cdot r_{am} + M_{kot} \quad (4. 3)$$

V tomto vztahu je:

0,9 součinitel tíhy svodidla

r_{am} rameno, na kterém při vytváření momentu odporujícího převrácení kolem osy B pracuje tíha celého úseku svodidla $L_u \cdot q$ (bezpečně lze za " r_{am} " považovat půdorysnou vzdálenost těžiště svodidla od osy B nedeformovaného svodidla; obvykle však i u tzv. "tuhého" svodidla dojde v okamžiku před ztrátou stability alespoň k místnímu posuvu, čímž účinná hodnota " r_{am} " alespoň o nějakých cca 0,1 až 0,2 m vzroste - jak napovídá představa rovnováhy na deformované soustavě)

Mkot návrhový moment, kterým kotvení (založení, vetknutí) průměrného úseku svodidla jednotkové délky odporuje převrácení svodidla kolem osy B (při stanovení tohoto momentu není nutné postupovat striktně podle norem pro navrhování; např. za základní pevnostní charakteristiku ocelí lze považovat mez pevnosti a nikoliv mez kluzu, apod.)

4.2.5 V podmínce (4. 2) není zohledněn případ, kdy je svodidlo "sraženo k zemi a překonáno" (obvykle přejeto), aniž by se převrátilo i vozidlo, ke kterému může dojít u některých ocelových svodidel (občas k tomu dochází např. u původních svodidel NHKG, i když v těchto případech bývá příčinou něco jiného, než že by byl úsek svodidla příliš krátký); toto nebezpečí je také reálné u betonových svodidel při nárazech (pod většími úhly) vozidel s "dlouhým předkem". Při ověřování spolehlivosti svodidla proti tomuto způsobu ztráty stability polohy lze použít vztah:

$$F_{max} * h_p < 0,9 * L_u * M_{odp} \quad (4. 4)$$

V této podmínce spolehlivosti je:

F_{max} , M_{odp} i součinitel 0,9 totéž jako v 4.2.1

h_p výška působišťe síly F_{max} na svodidlo závislá na konstrukci vozidla i svodidla; obvykle lze za " h_p " považovat menší z dvojice hodnot " H " (účinná výška svodidla) a 0,90 m (výška nárazníku u větších nákladních aut)

4.2.6 Pro podporu předběžného odhadu (nikoliv jako podklad pro navrhování) jsou v tab.4.5 umístěné až za 4.3.3 uvedeny "výpočtové" minimální délky " L_u " úseku betonového posuvného svodidla stanovené (bez ohledu na možnost překocení vozidla přes svodidlo, pojednanou v 4.1) vyčíslením podmínek, které vyjadřují spolehlivost úseku svodidla proti převrácení, a to jak spolu s vozidlem (podmínka (4. 2)), tak i svodidla samotného bez vozidla (podmínka (4. 4)), pro tři "vymyšlená" (viz 4.3.3 a tab.4.4) volně uložená betonová svodidla.

4.3 Spolehlivost svodidla proti odsunutí (určení minimální délky svodidla)

4.3.1 Podmínku, vyjadřující ve smyslu [1] spolehlivost volně uloženého (posuvného) svodidla, obvykle betonového, jako celku proti odsunutí, lze uvažovat ve tvaru:

$$F_{max} < 0,9 * 0,9 * q * L_u * F_I \quad (4. 5)$$

V podmínce spolehlivosti (4. 5) je:

F_{max} maximální intenzita náhradní kontaktní síly (4.2.3 a 4.3.2)

0,9 (poprvé) součinitel stability polohy dle [1]

0,9 (podruhé) součinitel tíhy svodidla dle [4]

4.3.2 Uplatnění maximální intenzity kontaktní síly F_{max} odpovídající předpokladu, že průhyb w_{max} je nulový nebo velmi malý (vždy na "straně bezpečné") může být považováno za přiměřené jen v případech, kdy je odsunutí svodidla již o malý kousek, třeba jen o 0,3 m, nepřijatelné (např. jde-li o svodidlo na kraji mostu; v této situaci lze sice obvykle připustit průhyb svodidla i cca 0,5 až 1,0 m, nikoliv však odsun úseku svodidla jako celku). Jinak však v případech, kdy je odsunutí svodidla malé či nulové proto, že jeho odsouvání brání něco fyzicky existujícího (nikoliv zákaz či přání, ale nějaká fyzická překážka, např. "schůdek" v podkladu, stačí již litý asfalt tloušťky 20 mm tvořící kryt chodníku za svodidlem, který je položený dodatečně), je úsek svodidla vždy spolehlivý proti odsunutí, byť by byl jakkoliv krátký, a ověřování této spolehlivosti vyhodnocováním vztahu (4. 5) je bezpředmětné. Totéž platí v případech, kdy odsunutí svodidla nevede proto, že je za ním dost místa.

Je-li v dané konkrétní situaci mezní průhyb w_{mez} větší než očekávaný průhyb w_{max} , lze rozdíl $w_{mez}-w_{max}$ považovat za rezervu, která smí být využita při odsouvání svodidla jako celku. V takovém případě by uplatnění (ve vztahu (4. 5)) maximální intenzity kontaktní síly F_{max} vypočtené "běžným způsobem" podle kap.2 a kap.3 těchto TP 101 a upraveného s přihlédnutím k 4.2.3 (tj. stanoveného za předpokladu, že $E_d = 0$ a že úsek svodidla je hodně (až nekonečně) dlouhý, nebo dokonce i za předpokladu, že průhyb w_{max} je malý až nulový) mohlo vést k navrhování zbytečně dlouhých úseků betonových svodidel.

Pro takovou situaci může být vhodné stanovit hodnotu F_{max} o něco menší a přitom dané situaci (za předpokladu, že šofér závčas sundá nohu s plynu) přiměřenější, a to sice rovněž pomocí úvah a někdy i vztahů uvedených v těchto TP XX (včetně uplatnění úvahy o oprávněnosti redukce F_{max} "na krátkost úseku", uvedené v 4.2.3), avšak s tou změnou, že se od energie nárazu "E" odečte práce E_d potřebná k odsunu úseku svodidla o délku $w_{mez}-w_{max}$. Množství této práce lze odhadnout vyčíslením vztahu:

$$E_d = q * L_u * F_I * (w_{mez}-w_{max})$$

Obdobným způsobem lze přibližně zohlednit i vliv slabého kotvení užívaného někdy na mostech (aby svodidlo "neputovalo", i když do něho nic nevráží), které se při odsouvání "ustříhne" (do " E_d " se zahrne i práce potřebná k ustřižení kotev; k vyčíslení tohoto množství energie je však nutno znát celý smykový pracovní diagram kotvení, znát jen jeho smykovou či střižovou pevnost je nedostatečné).

4.3.3 Pro podporu předběžného odhadu (nikoliv jako podklad pro navrhování) jsou v tab.4.5 uvedeny (spolu s údaji popsány v 4.2.6 stanovenými vyčíslením podmínek (4. 2) a (4. 4)) "výpočtové" minimální délky "Lu" úseku betonového posuvného svodidla stanovené (i v tomto případě bez ohledu na možnost překocení vozidla přes svodidlo, pojednanou v 4.1) vyčíslením podmínky (4. 5), vyjadřující dle 4.3.1 spolehlivost úseku svodidla proti odsunutí, pro tři sice "vymyšlená" volně uložená betonová svodidla, avšak přitom blízká běžně používaným typům betonových svodidel (jde o tatáž "myšlená" betonová svodidla, pro která jsou stanoveny údaje uvedené dle 4.2.6 v předních sloupcích tab.4.5).

Základní rozměry a další významné vlastnosti těchto tří "vymyšlených" betonových svodidel jsou uvedeny v tab.4.4. Lze očekávat, že jak u současně používaných, tak i u nově navrhovaných typů svodidel, i když se budou od těchto tří "vymyšlených" typů svými rozměry, tvarem i tíhou poněkud lišit, vyjdou minimální délky "Lu" v případech, kdy se uvažuje $w_{max} < 0,5$ m (ať už je důvodem pro nedosažení či nepřipuštění větší hodnoty w_{max} cokoliv) sice poněkud jiné, avšak nikoliv příliš jiné (nebudou to násobky ani zlomky).

Tab.4.4 Rozměry a další vlastnosti tří typů "vymyšlených" betonových volně uložených svodidel, pro které uvádí orientační tab.4.5 výpočtem stanovené minimální délky úseků Lu pro $w_{max} < 0,5$ m

typ	výška h [m]	základna [m]	tíha q [kN/m]	BA [m]	ram [m]	hp [m]
0,8	0,8	0,6	6,5	0,20	0,50	0,7
1,0	1,0	0,7	9,5	0,25	0,55	0,9
1,2	1,2	0,8	13,5	0,30	0,60	0,9

Tab.4.5 Orientační "výpočtové" minimální délky úseků Lu v [m] betonových volně uložených svodidel s rozměry dle tab.4.4 (w_{max} je uvažováno jednotně 0,25 m; příslušné F_{max} je vyčíslené dle 2.2 v [kN] pro $E_d=0$)

Označení zkoušky dle [8] či třídy dle [10] označení vozidla v tab.2.1 F_{max} pro $w_{max}=0,25$			vztah pro Lu								
			(4. 2)			(4. 3)			(4. 5)		
			svodidlo typu			svodidlo typu			svodidlo typu		
			0.8	1.0	1.2	0.8	1.0	1.2	0.8	1.0	1.2
TB11	1	64	12	7	5	17	14	9	17	12	8
A1	1	52	9	5	3	14	11	7	14	10	7
TB21	2	17	-	-	-	5	4	2	5	3	2
TB22	2	40	5	3	2	11	8	5	11	7	5
A1	2	50	8	5	3	13	11	7	14	9	7
TB31	3	67	11	6	4	18	14	9	18	12	9
TB32	3	119	24	15	9	32	25	16	32	22	16
A2	3	112	23	14	9	30	24	15	30	21	15
I	3	95	18	11	7	25	20	13	26	18	12
TB41	4	59	-	-	-	16	13	8	16	11	8
TB42	4	126	36	21	12	34	27	17	34	23	16
A2	4	92	14	7	4	24	20	13	25	17	12
B1	4	162	59	35	21	43	34	22	44	30	21
I	4	95	16	8	4	25	20	13	26	18	12
II	4	183	73	43	27	49	39	25	50	34	24
TB51	5	188	54	31	19	50	40	26	51	35	25
B1	5	150	31	17	10	40	32	21	41	28	20
B2	5	213	69	41	25	57	45	29	58	40	28
II	5	183	51	29	18	49	39	25	50	34	24
TB61	6	362	175	106	67	96	77	50	98	67	47
B2	6	313	141	85	53	83	67	43	85	58	41
C1	6	408	206	125	79	109	87	56	111	76	53
TB71	7	432	213	127	79	115	92	59	117	80	56
C1	7	431	212	127	78	115	92	59	117	80	56
TB81	8	357	118	67	39	95	76	49	97	66	47
C1	8	313	84	46	25	83	67	43	85	58	41

4.4 Spolehlivost svodidla a jeho částí proti ztrátě vnitřní soudržnosti

4.4.1 Článek 4.4 navazuje na 2.4 obsahující některé obecné pokyny a zásady ověřování spolehlivosti svodidel a jejich částí proti "ztrátě vnitřní soudržnosti". Tento pojem je prakticky

synonymem k termínu "porušení libovolné povahy", zavedenému v [1] a užívanému v normách pro navrhování. Účelem zavedení a užívání nenormového termínu v TP 101 je umožnit při navrhování a posuzování svodidel jako nosných konstrukcí legálně uplatňovat požadavky a doporučení norem pouze "přiměřeně" a nikoliv striktně (jde např. o to, aby u průřezu betonového svodidla na mostě, namáhaného mj. i ohybem, nemuselo být již překročení dovoleného namáhání výztuže klasifikováno jako nedodržení předpisů, aby se u výztuže propojující zámky nepožadovalo nepřekročení mezní soudržnosti mezi ocelí a betonem, atd., atd.).

4.4.2 Silové účinky vyvozené ve svodidle nárazem (resp. ideálním zatížením F_{max} nahrazujícím náraz) lze pomyslně rozdělit na globální (vnitřní síly a reakce; z nich nejvýznamnější a obvykle rozhodující bývá tah) a lokální (místní namáhání v okolí nárazu).

Při nárazu vzniká globální tah ve všech zachytných zařízeních, která jsou vzhledem k tomuto nárazu "svodidlem" v plném smyslu tohoto slova. Nevznikl-li globální tah, šlo o "odražedlo" (tím bývá např. betonové svodidlo vetknuté či tuze přikotvené k podkladu vzhledem k většině účastníků provozu; pro cyklistu je "odražedlem" již každé tužší zábradlí). "Odražedla" lze považovat za běžné stavební konstrukce (působením návrhových zatížení nedochází ke staticky významné změně tvaru) a takto je lze také navrhovat či posuzovat; TP 101 se proto jejich "statikou" zabývá jen okrajově (např. kap.2 se zabývá i zatížením "odražedel"). Úvahy týkající se možnosti stanovit velikost globálního tahu ve svodidle, které se jako svodidlo i chová, jsou uvedeny v kap.3 (zejména v 3.3). Tento globální tah je třeba přenést od místa jeho vzniku až "do středu země"; není-li toho některý článek příslušného nosného řetězce (jde tedy nejen o vlastní pásnice či dílce svodidla, ale i o jejich styky, o propojení zámků přenášející tah při vyloučení betonu z funkce "přeražením", o upevnění svodidla ke konstrukcím je podpírajícím či ke koncovým blokům, apod.) mocen s přiměřenou spolehlivostí, tj. je-li příslušný návrhový účinek (jde nejen o globální tah sám, ale o vše, co s ním souvisí) větší než odpovídající návrhový odpor článků nosného řetězce, lze považovat dané svodidlo za nespolehlivé.

Na první pohled se může zdát významnou i schopnost svodidla odporovat posouvajícím silám (při lanovém působení je snad názornější hovořit o stříhových silách v místě působení síly F_{max}), jejichž velikost obvykle dosahuje cca $F_{max}/2$. Druhý pohled (rovnováha a geometrie okolí nárazu, porovnání velikostí $F_{max}/2$ a globálního tahu) však vrhá na věc jiné světlo; globální tah (i když je přenášený týmiž ocelovými prvky jako stříh) je rozhodující a ani snížení návrhového odporu v tahu, k němuž v důsledku složeného namáhání v okolí nárazu dojde, nebude destruktivní. Z obdobného důvodu (a taky proto, že kroucení se zčásti eliminuje změnou polohy svislé reakce) nebývá pro dimenzování svodidla rozhodující ani kroutící moment související s tím, že náraz bije "jak vysoko chce" a nikoliv do těžiště tahových prvků (a navíc že během nárazu dochází ke změně působíště náhradní síly nejen po délce svodidla, ale i po jeho výšce). Přes tyto uklidňující úvahy se však doporučuje (a provádí se a osvědčuje se) pomocí styků betonových dílců úpravou čel dílců po většině výšky svodidla do tvaru pero-drážka (tato úprava

je vhodná vždycky; staticky je však významná zejména tehdy, jsou-li prvky zajišťující spojení dílů kumulovány do jednoho místa, které se obvykle nachází poblíž "temene" svodidla).

Schopnost průřezů vodorovných prvků svodidla odolávat ohybovým momentům není významná, pokud při zlomení těchto prvků nedojde k přetržení výztuže určené k přenosu globálního tahu (nejde tedy o rotační kapacitu průřezů či o plastické klouby ve smyslu norem pro navrhování betonových konstrukcí, neb po zlomeném prvku se nepožaduje, aby odporoval ohybovému momentu pořád; je dostatečné, bude-li odporovat globálnímu tahu a případně střihu) a je-li umožněna změna statického působení svodidla z ohybového na lanové. Poznámky týkající se obrany proti křehkému zlomení betonového svodidla "na dva kusy" (tj. včetně výztuže určené pro přenos globálního tahu) jsou uvedeny v 4.4.3 (pro vnitřní části dílců a pro monolitické svodidlo) a v 4.4.4 (pro styky).

Pokud jde o lokální silové účinky nárazu, tato kap.4 neobsahuje informace o schopnosti částí svodidel odporovat těmto účinkům (což je v souladu s kap.3 neobsahující informace o dosahovaných intenzitách místních účinků). Na velmi mírnou a benevolentní představu [6], [9] a následně i [10] (že dosedací plochu náhradní síly $F_{max} = 100$ kN lze odvinout od přímkového zatížení délky 0,5 m působícího 0,1 m pod horní hranou svodidla, takže u betonových svodidel lze tuto plochu uvažovat až 0,5 m x 0,2 m) by mělo být pohlíženo jako na snahu autorů předpisů nezavdat příčinu k nadměrným požadavkům na pevnostní charakteristiky materiálů svodidel a jejich dimenze, a zabránit postihům projektantů a případně i dodavatelů, ke kterým by jinak mohlo docházet z toho důvodu, že se svodidlo při nárazu místně poškodilo. Plocha 0,5x0,2 je tedy plochou stanovenou tak, "aby to vyšlo" (tj., aby místní namáhání související s dosednutím síly F_{max} na tuto plochu a s jejím roznášením pod 45 stupni vesměs nebyla pro dimenzování svodidel rozhodující); lze říci, že jde o plochu stanovenou "politickým rozhodnutím" o tom, že místní poškození je při návrhovém nárazu přípustné a že navrhovat svodidla jako spolehlivá proti místním poškozením při nárazu by přišlo společnost neúměrně draho a proto že se nepožaduje. Přesto však jakýsi "quazistatický" požadavek na konstruování svodidel související s jejich místním namáháním existuje (navíc kromě předepsání relativně velké dosedací plochy). Jde o požadavek zajistit, aby se svodidla při nárazu netříštila na části, které by mohly např. propíchnout posádku narážejícího vozidla, "zastřelit" ostatní účastníky provozu, apod.. Při vhodném konstruování detailů z tohoto hlediska (a následně při ověřování splnění tohoto požadavku) však lépe než výpočty poslouží selský rozum, uplatnění stávajících zkušeností, a zkoušky v reálu.

4.4.3 Výztuž dílců betonového svodidla (resp. výztuž monolitického svodidla), které má být schopno fungovat jako "lanový systém" namáhaný převážně tahem, je třeba nadimenzovat a uspořádat tak, aby nedošlo k jejímu přetržení při případném zlomení dílce. Je tedy třeba zajistit, aby přednostně došlo buď k rozdrčení betonu v tlačené oblasti (splnění této podmínky lze ověřit běžnou analýzou průřezu, neb přibližná kolmost neutrální osy k podkladu svodidla je zajištěna geometricky; postupuje-li se přitom podle norem pro navrhování betonových konstrukcí podle mezních stavů, je nutno uplatnit metodu mezní deformace) nebo

k vytržení výztuže z betonu bokem (tuto možnost je asi lepší ověřit zkouškou než výpočtem).

Ke splnění tohoto požadavku přispívá, je-li výztuž (resp. prvek) přenášející globální tah soustředěna uprostřed oboustranného svodidla (je-li jednostranné, může být výztuž umístěna blíže líce) nehluboko pod jeho temenem. Tím se zmenší rameno vnitřních sil a zvýší pravděpodobnost vytržení výztuže z betonu bokem. Dále je ve prospěch věci, má-li výztuž velkou tažnost, jde-li o výztuž se zpevněním, a není-li temeno svodidla (a část dříku pod ním) nadbytečně široké.

U betonových svodidel předpjatých nesoudržnou předpínací výztuží (ani u styků dílců takového svodidla) není třeba se tímto požadavkem zabývat, neb je splněn vždycky.

4.4.4 Běžně užívané styky dílců posuvného (nebo jen lehce přikotveného) betonového svodidla se z řady důvodů nedimenzují a nemají dimenzovat tak, aby svým momentovým odporem zabráňovaly "zlomení" (náhlé změně směru) svodidla v těchto předurčených místech. Ba naopak; je třeba vhodnou konstrukční úpravou styků přispět k tomu, aby svodidlo bylo schopno vytvořit (alespoň při nárazech blízkých návrhovým) kloubový mechanismus svádějící vozidlo pozvolně zpět směrem k jízdni dráze. Nejde o nějaký nedostižný ideál; tohoto chování posuvného betonového svodidla bývá běžně dosahováno, o čemž svědčí řada vidozáznamů pořízených při nárazových zkouškách. Tyto záznamy ukazují, že při úspěšném zadržení vzniká v místě w_{max} (které se po svodidle během nárazu někdy stěhuje a někdy nestěhuje) sice tupá, ale přesto znatelná "špice", kterou lze charakterizovat "zlomením" o úhel 2ψ (stanovení velikosti úhlu ψ vznikajícího při působení náhradní síly F_{max} viz 3.3.2, vztah (3.16) a obr.3.4; též 3.3.3 a tab.3.1).

Styky dílců je tedy třeba konstrukčně uspořádat tak, aby jejich zlomení o úhel celkové velikosti 2ψ (alespoň) bylo možné bez "průtrže" svodidla. Navíc by se měl dít nárůst zlomení ve stycích pokud možno plynule a bez "hupanců" (vznikajících třeba tím, že někde ve styku něco náhle praskne), neb tím se snižuje nebezpečí vzniku "pytle". Ze stejného důvodu mají být styky dílců vzhledem k přenášení tahové síly dost tuhé a při montáži svodidla mají být dotaženy až mírně předpjaty (ponechání "vůlí ve stycích" je zásadní chybou; za zvětšení mezního lomu mající tento původ se platí nejen větší deformací a větším úhlem zlomení svodidla, takže vlastně nula od nuly pojde, ale i tím, že vozidlo je zadržováno více deformovaným svodidlem a tedy i více čelně, čímž se zvětšuje kinetická energie nárazu a následně i pravděpodobnost "průtrže").

Schopnosti styku chovat se jako kloub (prakticky bezmomentově) až do zlomení 2ψ (alespoň) se dosahuje např. zkosením paty dílců (obr.4.3) a/nebo měkkými vložkami do spar. Pro ověření této funkce styku je vhodná zkouška; někdy postačí i odhad vycházející např. ze schematického obr.4.4, podle kterého lze přibližně určit maximální (mezní) velikost lomu ve styku (za předpokladu, že

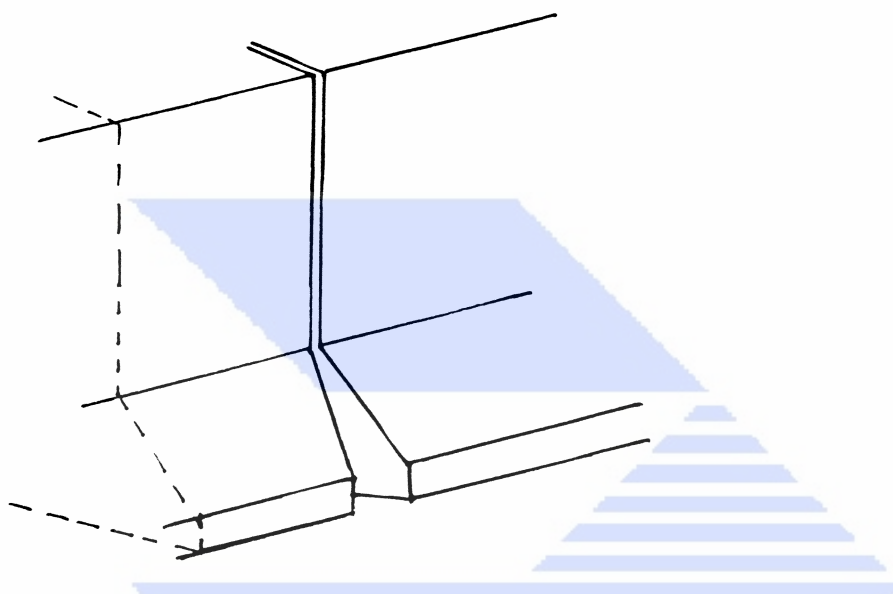
neutrálná osa je kolmá k podkladu, což přibližně bývá zachováno) jako menší ze dvou hodnot získaných vyčíslením výrazů:

$$\frac{(r1+du)}{(r3-xu3)} \quad \text{a} \quad \frac{(r2+du)}{(r4-xu4)} ;$$

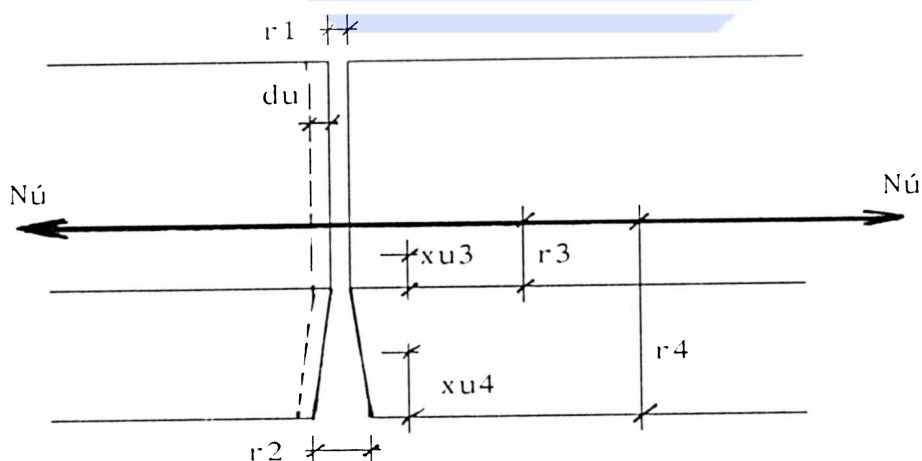
ve kterých je

du mezní prodloužení styku

xui výšky příslušných tlačенých oblastí betonu stanovených např. ve smyslu ČSN 73 1201



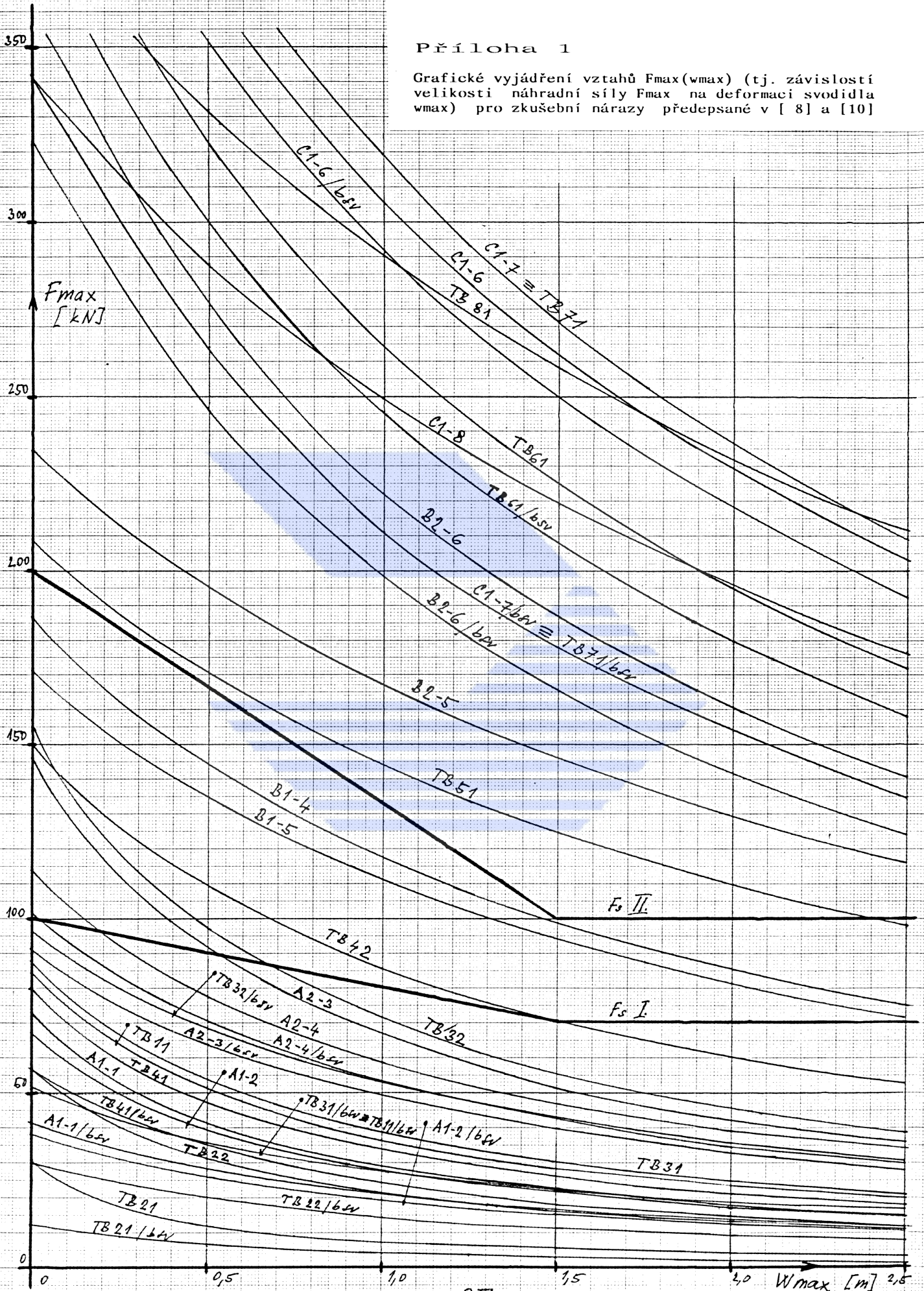
Obr.4.3 Zkosení pat dílců přispívá k tomu, aby se styky chovaly jako klouby přenašející jen malý moment



Obr.4.4 Schema pro přibližné určení maximální (mezní) velikosti lomu styku dílců betonového svodidla

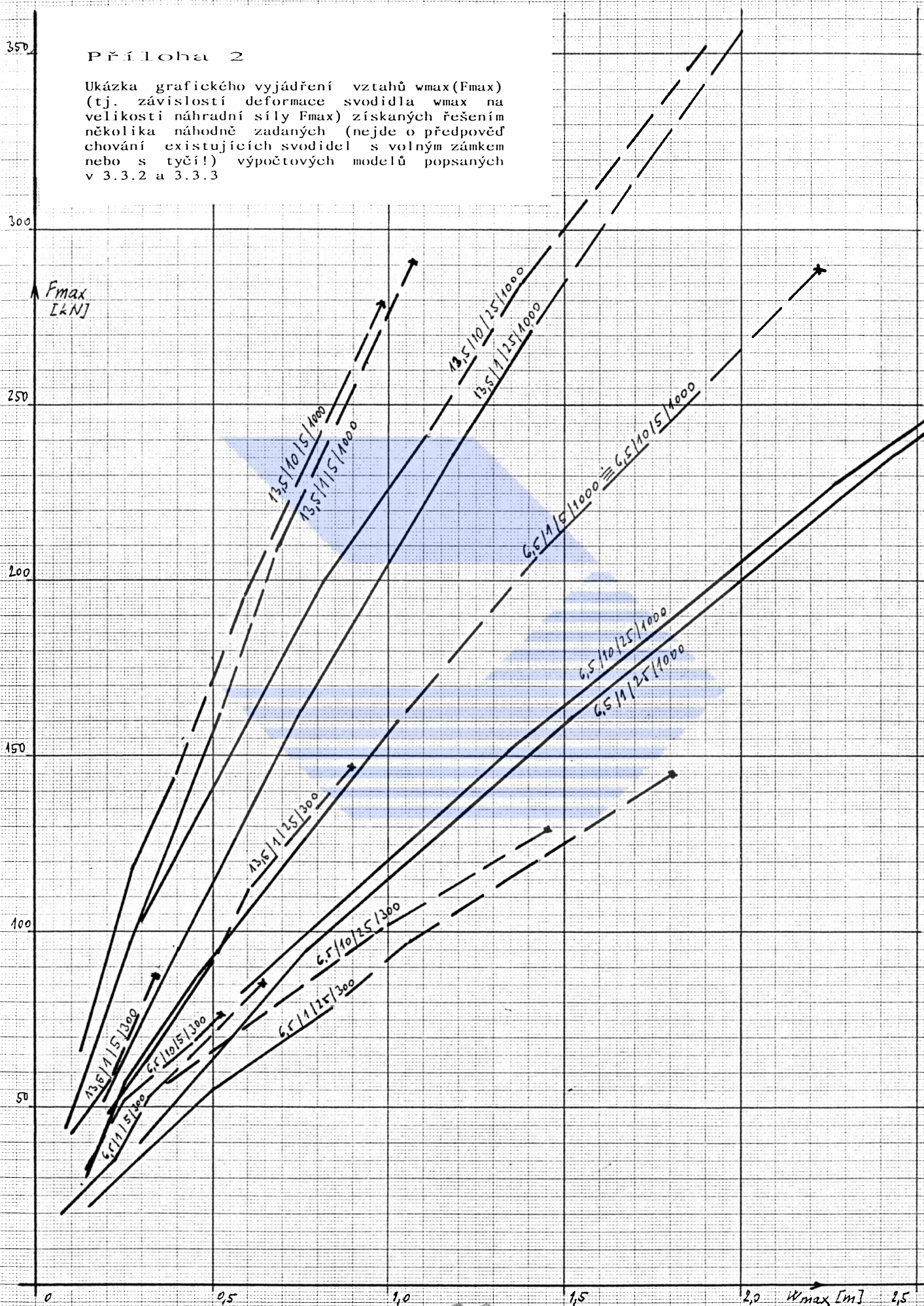
Příloha 1

Grafické vyjádření vztahů $F_{max}(w_{max})$ (tj. závislosti velikosti náhradní síly F_{max} na deformaci svodidla w_{max}) pro zkušební nárazy předepsané v [8] a [10]



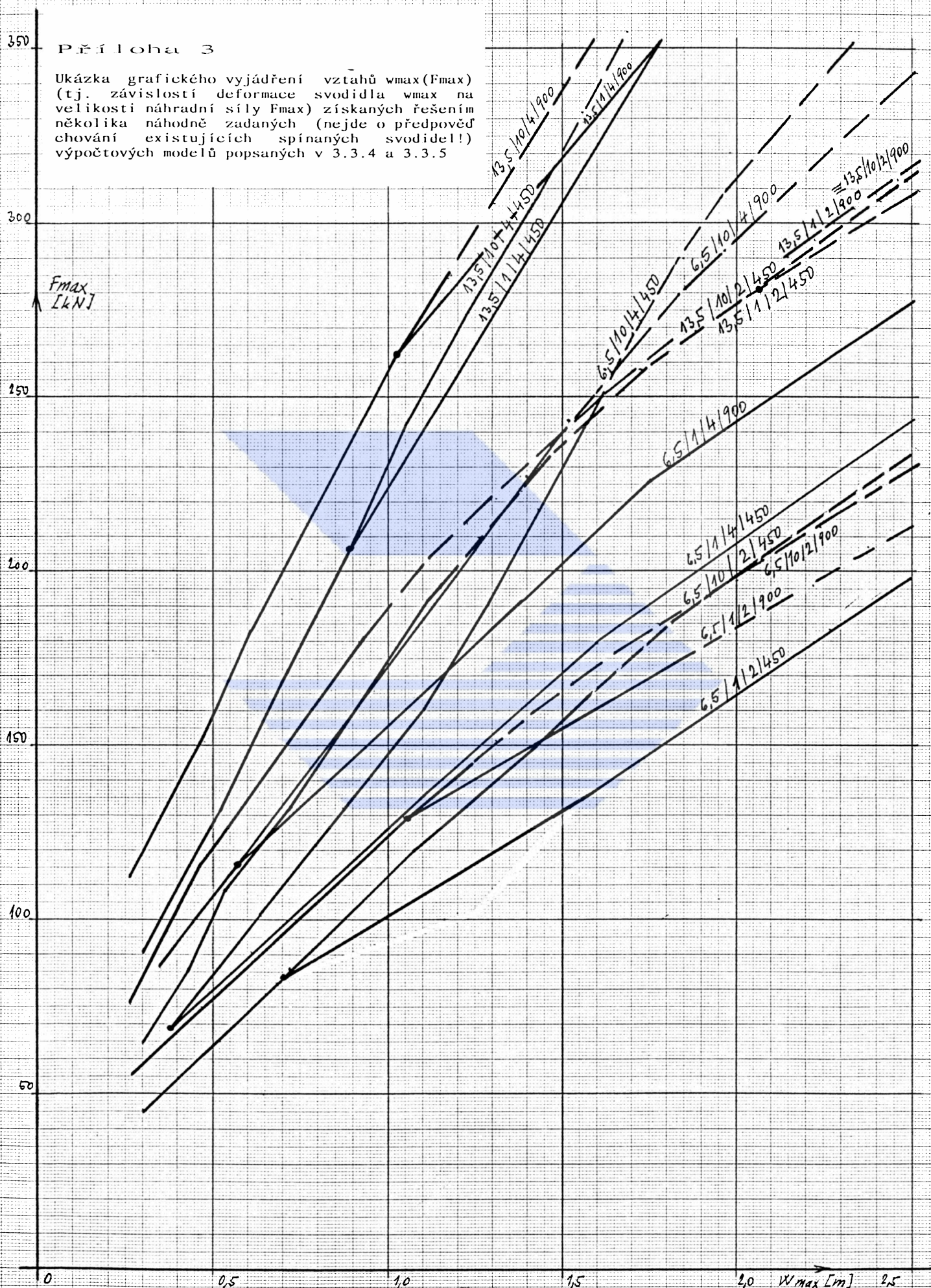
Příloha 2

Ukázka grafického vyjádření vztahů $w_{\max}(F_{\max})$ (tj. závislosti deformace svodidla w_{\max} na velikosti náhradní síly F_{\max}) získaných řešením několika náhodně zadanych (nejde o předpověď chování existujících svodidel s volným zámkem nebo s tyčí!) výpočtových modelů popsaných v 3.3.2 a 3.3.3



Příloha 3

Ukázka grafického vyjádření vztahů $w_{max}(F_{max})$ (tj. závislosti deformace svodidla w_{max} na velikosti náhradní síly F_{max}) získaných řešením několika náhodně zadanych (nejde o předpověď chování existujících spínacích svodidel!) výpočtových modelů popsaných v 3.3.4 a 3.3.5



Příloha 4

Stručný přehled kroků výpočtu svodidel a odkazy na příslušné části TP 101

P 4.1 Za první krok výpočtu lze označit stanovení tzv. "energetických bilancí nárazů", tj. závislostí velikosti náhradních nepohyblivých staticky působících vodorovných ke svodidlu kolmých sil F (a to významných hodnot těchto sil označovaných v TP 101 jako F_{\max}), nahrazujících náraz s danými parametry co do vybraných významných účinků, na délkách drah působení těchto sil (tj. na w_{\max}), závislých na velikosti maximálních příčných posuvů svodidla w_{\max} .

Tento krok výpočtu je podrobně a úplně popsán v 2.2. Kap. 2 dále obsahuje zadání a obecně prakticky použitelné výsledky 34 konkrétních číselných příkladů stanovení "energetických bilancí nárazů" (v 2.3 jsou vstupní údaje odpovídající nárazům definovaným v [8] a [10]; grafické vyjádření vypočtených závislostí $F_{\max}(w_{\max})$, které byly získány dosazením vstupních údajů do "vzorečků" uvedených v 2.2, je v příloze 1).

Tedy co náraz, to jedna "funkce" $F_{\max}(w_{\max})$ vyjádřená jedním grafem v příloze 1; tato funkce nezávisí na vlastnostech svodidla, pokud je charakter nárazu týž (v 2.2 je pojednán "co do charakteru" dvojí náraz, a to za prvé běžný případ, kdy vozidlo stále jede "všema čtyřma" po vozovce, a za druhé případ nárazu pod malým úhlem vozidla s krátkým předkem na svodidlo s lícem tvaru "New Jersey", kdy dojde k významnému přetížení svodidla vozidlem najetým na šikmé části svodidla).

V některých případech je závislost $F_{\max}(w_{\max})$ dána přímo předpisem (např. TP 59 uvádí bilineární závislost $F_{\max}(w_{\max})$ pro "jiná svodidla"); některé předpisy (např. [4], [6] a [9]) zadávají velikost F_{\max} jako konstantu, tedy nezávisle na w_{\max} .

P.4.2 Dalším krokem výpočtu, pro svodidla s přípustnou (a očekávanou) výraznou příčnou deformací ne zcela nezbytným a ani ne vždy požadovaným, může být stanovení zatížitelnosti $F_{\max 0}$ odpovídající mezi "malé deformace", čímž se v této souvislosti rozumí mezní deformace svodidla (bez ohledu na to, zda jde o 10 mm nebo o 100 mm), která je definovaná tím, že před jejím dosažením ještě převládá "počáteční" ohybové chování (ve svodidle nevznikají významné podélné síly, výpočtový model lze volit geometricky lineární, nedochází k destrukci žádných staticky významných prvků svodidla, atd.), kdežto po jejím překročení už nikoliv.

Pro svodidla s přípustnou (a očekávanou) výraznou příčnou deformací je stanovení $F_{\max 0}$ podkladem (v návaznosti na P.4.1) pro zajímavý (z provozního hlediska) odhad intenzit nárazů, po

jejichž "účinkování" obvykle nebude nezbytně nutné svodidlo opravovat.

Pro svodidla nazývaná někdy "tuhá", přestože výstižnější název by byl "křehká" (takovými mohou být např. vetknuté betonové zídky, betonová svodidla z dílců velmi únosně kotvená k podkladu a přitom podélně slabě spojená, apod.), u kterých nastane destrukce některého ze základních nosných prvků, aniž by jí předcházela změna statického systému a s ní souvisící iniciace významných podélných tahů zapojujících do akce vzdálenější části svodidla, nebo pro svodidla, jejichž příčnému odsouvání, resp. deformování, je bráněno (např. zásypem), nebo pro krátké a na koncích málo účinně zakotvené úseky svodidel, ve kterých nejsou podmínky pro vznik větších podélných sil (např. může jít o zábradelní svodidla na krátkých mostech), je F_{\max} současně mezní únosností.

Stanovení F_{\max} je pro projekční praxi zabývající se alespoň v minimální míře navrhováním či posuzováním nosných konstrukcí rutinní činností; v tomto kroku výpočtu svodidla lze beze zbytku uplatnit zvyklosti, programové vybavení, normy, atd., týkající se navrhování (posuzování, stanovení zatížitelnosti, atd.) stavebních konstrukcí, "jak se učí ve škole", bez jakýchkoliv specifik souvisejících s tím, že jde o náraz na svodidlo a nikoliv třeba o mimořádné zatížení chodníkové konzoly nohou autojeřábu. To se týká i stanovení reakcí (čili stanovení zatížení konstrukcí svodidlo podporujících) a navržení konstrukčních opatření pro jejich převedení do podzákladí. V TP 101 proto není věnována stanovení F_{\max} větší pozornost; zmínky a vybrané vztahy (konkrétnější pro betonová svodidla posuvná) jsou v 3.2.

P.4.3 Chování svodidel s přípustnou (a očekávanou) výraznou příčnou deformací při působení statických sil F_{\max} nahrazujících návrhové nárazy je charakterizováno závislostí deformace w_{\max} na intenzitách této náhradní síly. Vesměs jde o svodidla, jejichž základní nosné prvky jsou podélné, buď průběžné nebo alespoň spojované (svodnice, lana, pruty betonářské výztuže, apod.), a jsou při nárazu namáhány tahem redistribuujícím účinky nárazu do vzdálenějších podpěr těchto prvků.

Pro tyto případy je početní stanovení závislosti $w_{\max}(F_{\max})$ obtížné. Dostupné prameny se touto problematikou nezabývají, běžné programové systémy pro výpočty stavebních konstrukcí si s tím neporadí (alespoň ne "snadno a lehce"). Výpočtový model (jde o podmínky rovnováhy celku i částí uvažující s deformací soustavy, o geometrické podmínky zajišťující spojitost a respektující uložení, a o vztahy mezi silovými a geometrickými veličinami, přičemž všechny tyto podmínky by měly být formulované tak, aby alespoň přibližně vystihovaly reálné chování svodidla při nárazu; výpočtový model svodidla by měl též obsahovat základní kritéria umožňující rozpoznat ztrátu únosnosti svodidla) není jednoduché ani definovat, ani "naplnit" (jde např. o stanovení fyzikálních závislostí typu Hookova zákona platných až do porušení), ani řešit (geometrická i fyzikální nelinearita, jednostranné vazby, předem neznámá "spolupůsobící" délka úseku svodidla), ani s potřebnou obecností "naprogramovat".

Řešení modelu by mělo poskytnout podklady pro stanovení významných (rozhodujících) silových i deformačních účinků odpovídajících působení všech v úvahu připadajících intenzit F_{max} (zejména jde o podélné tahové síly a o příčné deformace svodidla) a mělo by obsahovat upozornění na možné způsoby ztráty únosnosti (např. upozornění na nebezpečí, že spoj betonových dílců s malou rotační kapacitou by mohl být porušen nejen přetržením, ale i "přelomením", resp. "přepáčením").

V 3.3 (v 3.3.2 a v 3.3.4) je uveden popis jednoduchých (ne zcela korektních) výpočtových modelů betonových svodidel z dílců (dílců mohou být spojeny buď zámek nebo předpínací výztuží), včetně zadání příkladů a včetně obecně prakticky nepoužitelných výsledků řešení těchto příkladů (3.3.3, 3.3.5 a přílohy 2 a 3); 3.3.6 obsahuje rozpačité zmínky o výpočtovém modelu ocelového zábradelního svodidla.

Ve všech případech pojednaných v 3.3 je modelováno přímé svodidlo nekonečné délky (tj. případ, kdy chování svodidla při nárazu nezávisí na "uložení" jeho konců); na rozdíl od toho předpisy pro nárazové zkoušky svodidel ([8], [11]) požadují, aby náraz působil na úsek svodidla dlouhý cca 60 m až 70 m (v tomto případě může chování svodidla při nárazu záviset na "uložení" konců zkušebního úseku podstatně). Velikosti účinků nárazů (zejména příčná deformace w_{max} je viditelná a snadno změřitelná) stanovené řešením výpočtových modelů popsaných v 3.3 jsou tedy nesrovnatelné s velikostmi těchto účinků stanovených nárazovými zkouškami a mnohdy nejsou srovnatelné ani s účinky skutečných "provozních" nárazů, ke kterým dochází v "konečné" vzdálenosti od konců svodidlového úseku a které navíc obvykle působí na nezanedbatelně zakřivené svodidlo.

P.4.4 Souřadnice F_{max} a w_{max} společného bodu "energetické bilance daného nárazu" (kap.2, příloha 1 a P.4.1) a křivky vyjadřující závislost w_{max} na F_{max} pro dané svodidlo (kap.3 a P.4.3), jsou "hledaným řešením"; toto jsou dvě základní hodnoty významné pro posouzení vhodnosti použití daného svodidla pro zachycení daného nárazu za daných podmínek.

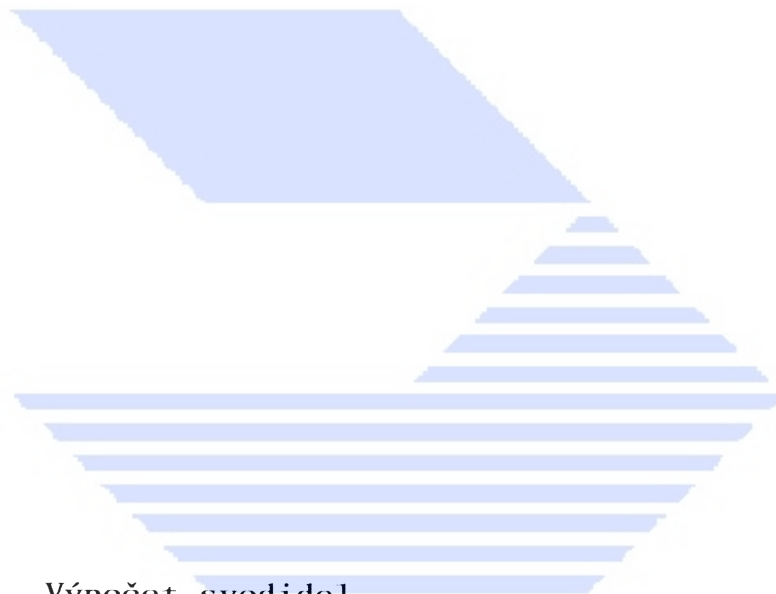
Jelikož nejistoty v určení obou křivek jsou značné, není na místě považovat výsledky výpočtů (pro specifické poměry při nárazových zkouškách však ani výsledky těchto zkoušek) za něco obecně platného či dokonce nezpochybnitelného. A protože navíc navzdory dohodám o intenzitách návrhových nárazů nikdo předem neví, jaké nároky budou na svodidlo skutečně kladeny - zda žádné nebo třeba desetinásobné než návrhové, je evidentní, že vypočtené hodnoty F_{max} a w_{max} nejsou vlastně ničím jiným než "odborným odhadem" podpořeným přibližnými výpočty, s kterým je třeba naložit uvážlivě a přiměřeně, s přihlédnutím k tomu, aby "selháním lidského faktoru" nedošlo k následkům neúměrným původní příčině" (citát z Eurokódů). Uplatnění této zásady vede k obecnému doporučení dávat přednost (zejména u konstrukcí vystavených nárazům) materiálům a detailům s výraznou plastickou větví pracovních diagramů před materiály a detaily "křehkými"; konkrétně u svodidel to znamená: v místech, kde by mohla "průtrž" způsobit velké škody (např. v důsledku vyvolané řetězové srážky), dávat přednost systémům s průběžnými volnými ocelovými prvky.

Vypočtenou, resp. graficky určenou (nebo i při nárazové zkoušce dosaženou) velikost příčné posuvu w_{max} lze považovat (spolu s předpokladem o dosahu a následcích výkyvu vozidla při nárazu) za podklad pro stanovení šířky tzv. "deformační zóny" za svodidlem (je-li za svodidlem něco "cenného" a snadno poškoditelného, raději přidat; je-li za svodidlem volný prostor (vzduch) nebo konstrukce schopná se na přenášení nárazu spolupodílet, raději šetřit).

Vypočtená, resp. graficky určená intenzita příčné síly F_{max} je zatížením svodidla, které lze uplatnit např. při:

- stanovení vnitřních sil ve svodidle (P.4.2, P.4.3, kap.3) a následném ověřování spolehlivosti částí svodidla proti porušení či proti destrukci (zmínky v 2.4 a v 4.4; lze postupovat v duchu norem pro navrhování stavebních konstrukcí);
- stanovení reakcí svodidla přenášených konstrukcemi svodidlo podporujícími a následném ověřování spolehlivosti těchto konstrukcí proti porušení (zmínky v 3.4 zaměřené na stanovení reakcí vyvozovaných posuvným betonovým svodidlem; zmínky v 2.4.5 zaměřené na filosofii navrhování "nosného řetězce" a na volbu "nejslabšího článku"; lze postupovat v duchu norem pro navrhování stavebních konstrukcí);
- ověřování spolehlivosti daných vozidel proti převrácení přes svodidlo (v 4.1 je podrobně rozveden postup výpočtu přiměřené výšky svodidla; je zde i řada příkladů navazujících na zadání zkušebních nárazů uvedených v [8] a v [11] a tabulky obsahující výsledky těchto příkladů, které jsou obecně prakticky použitelné v případech, kdy výška svodidla není předem dána či dohodnuta);
- ověřování spolehlivosti krátkého úseku svodidla (zejména posuvného betonového) proti převrácení a proti odsunutí (v 4.2 a v 4.3 je podrobně rozveden postup výpočtu přiměřené minimální délky úseku svodidla; je zde i řada příkladů navazujících na zadání zkušebních nárazů uvedených v [8] a v [11] a tabulky obsahující výsledky těchto příkladů, které sice nejsou obecně prakticky použitelné, avšak určitou vypočítací hodnotu mají).

Při stanovení síly F_{max} a jejím uplatňování při navrhování, resp. při posuzování "potencionálně" posuvného svodidla i konstrukcí takové svodidlo podporujících je vhodné uvážit, jaké důsledky by mohlo mít, kdyby něco (přimrznutí, zaboření do asfaltu, zvýšení povrchu za svodidlem tvořící zdánlivě nepatrný schůdek, apod.) zabránilo volnému odsouvání svodidla, připadá-li tato možnost reálně v úvahu. Mohlo by dojít ke značnému zvětšení síly F_{max} , které by se (kromě negativních dopadů na vozidlo a jeho posádku) sice mohlo, avšak ne vždy nutně muselo projevit většími vnitřními silami ve svodidle, ale které by se obvykle projevilo většími reakcemi působícími na konstrukce svodidlo podporující a koncentrací těchto reakcí, a které by se mohlo projevit také zvětšením pravděpodobnosti převrácení vozidla přes svodidlo a/nebo převrácení vozidla i se svodidlem.



Název: **Výpočet svodidel**
Technické podmínky

Vydal: Ministerstvo dopravy a spojů ČR,
Odbor pozemních komunikací

Zpracoval: Dopravoprojekt Brno, a.s.
Ing. Pavel Šmerk

Náklad:

Počet stran: 94

Distribuce: Dopravoprojekt Brno, a.s.
Kounicova 13, 658 30 Brno
tel. 05 / 41 32 12 54
fax 05 / 41 21 12 47