

LIBEREC — TANVALD

DOLNOLUČANSKÝ TUNEL

Posudek

Brno, červen 1989

G E O T E S T státní podnik B R N O

Heslo akce: LIBEREC - TANVALD, posudek

Zak. číslo: 04 89 0140 6 4 530 3504 3

Objednatel: Železniční stavitelství Brno

Registrační číslo Geofondu Praha: neregistrováno

Stavebně geologické posouzení  
Dolnolučanského tunelu a přilehlých předzářezů  
na trati Liberec - Tanvald

Vypracoval: Ing. Jiří PAVLÍK, CSc - vedoucí úkolu

Schválila: Ing. Eva BABIČOVÁ - vedoucí oblasti geotechniky

*Pavlík*  
*Babičová*



(5) 659 01 Brno, třída Jaroše 28

*J. Pavlík*  
.....  
ředitel podniku

*E. Babičová*  
.....  
geologický náměstek

Archivní číslo: 89 0140

Brno, červen 1989

Výtisk číslo:

**1**

## OBSAH:

1. Úvod	str. 1
2. Geomorfologické a geologické poměry zájmového území	2
3. Dokumentace stěn předzářezů	3
3.1 Levá stěna vjezdového předzářezu	4
3.2 Pravá stěna vjezdového portálu	6
3.3 Čelní stěna vjezdového portálu	8
3.4 Čelní stěna výjezdového portálu	8
3.5 Levá stěna výjezdového předzářezu	9
3.6 Pravá stěna výjezdového předzářezu	11
4. Dokumentace tunelu	12
5. Geotechnické vlastnosti hornin a horninového masívu	18
6. Stabilita stěn zářezů	20
7. Stabilita tunelové trouby	22
8. Návrh sanačních opatření	23
9. Závěr	25
Literatura	26

## PŘÍLOHY:

1. Situace zájmového území
2. Situační schema poruchových míst
3. Tektonogramy
4. Fotografická dokumentace

## ROZDĚLOVNÍK:

- Výtisk číslo 1 - 4 Železniční stavitelství Brno  
5 Geofond Praha  
6 Archiv s.p. Geotest  
7 Archiv oblasti geotechniky

## 1. ÚVOD

Předložený posudek byl vypracován na základě objednávky Železničního stavitelství Brno pod zn. 340-362/20-2/89 ze dne 2.2.89 požadující posouzení horninového masívu, v němž je vyražen Dolnolučanský tunel, zjištění stavu obezdívky tunelu a stanovení charakteristik masívu obou předzářezů tunelu za účelem určení stability jejich stěn.

Pro splnění uvedeného požadavku objednatele předal podklady - situaci 1: 000 tunelu a přilehlých úseků trati,  
- rekonstrukce Dolnolučanského tunelu v km 17,836 30  
17,918 60 - geotechnická část dokumentace stávající stavby

- evidenční list pro jednokolejný tunel Dolnolučanský  
Další použité podklady jsou uvedeny v soupisu literatury.

Předmětem posudku je tunel délky 82,3 m světlého profilu 5,6/5,5 m vyztuženého zdivem ze žulových kvádrů (typ 3) tl. 50 cm a dva předzářezy v délkách 121 m (vjezdový předzářez) a 82 m (výjezdový předzářez). Celkový vyšetřovaný úsek trati Liberec - Tanvald se nachází mezi km 17,715 - 18,000.

Před započítáním vlastní průzkumné činnosti byl vypracován Projekt průzkumných prací, v němž byl uveden způsob průzkumu pro předmětný posudek spočívající v dokumentaci stěn zářezů a tunelové trouby doplněné měřením skleroskopické tvrdosti horniny Schmidtovým kladívkem, na jejímž základě měly být stanoveny potřebné fyzikální a mechanické vlastnosti odvozením. Žádné další polní ani laboratorní zkoušky nebyly uvažovány.

Výsledek dokumentace stěn předzářezů - popis jednotlivých jejich úseků - je uveden v kapitole 3, popis stavu obezdívky tunelu a zjištěné typy hornin za jeho ostěním v kapitole 4. Od měření Schmidtovým kladívkem bylo v průběhu šetření upuštěno pro nevhodnost jeho užití vzhledem k charakteru narušení horniny zvětrávacími pochody.

Výsledky terénního šetření se staly podkladem pro stabilní řešení stěn předzářezů. Jeho výsledky - určení stabilních sklonů stěn - uvádí kapitola 6.

## 2. GEOMORFOLOGICKÉ A GEOLOGICKÉ POMĚRY ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Zájmové území se nachází v Jizerské hornatině, jež je podcelkem orografického celku Jizerských hor náležejících do Sudetské soustavy (podsoustava Západní Sudety). Železniční trať Liberec - Tanvald protíná v zájmovém území plochý hřbet Paseckého vrchu s vyvinutou hřbetní plášinou cca 80 m širokou. Sklon plošiny je velmi malý - v podélném směru hřbetu je plošina ukloněna pod úhlem  $1^{\circ}$  -  $3^{\circ}$  směrem k severu, v kolmém směru se sklon postupně zvyšuje ze střední části přibližně na  $5^{\circ}$ , přičemž vodorovná část dosahuje v prostoru nad tunelem šířky cca 30 m. Sklon úbočí rovněž není velký -  $10^{\circ}$  směrem západním a  $13^{\circ}$  směrem východním. V důsledku malých sklonů úbočí dochází značná délka předzářezů dosahujících největší hloubky 21 m.

Vyšetřovaný tunel a jeho předzářezy jsou vyhloubeny v žulách západní části Krkonoško-jizerského žulového masívu. Krkonoško-jizerský masív vystupuje v jádře klenby starších krystalických břidlic algonkického a staropaleozoického stáří. Žulový masív představuje těleso utuhlé ve velké hloubce, které bylo pozdější geologickou činností vyzdviženo a jeho velká část obnažena. Jeho odkrytá část dnes má tvar ležaté osmičky délky 70 km a šířky 8 - 25 km. Masív je petrograficky jednotvárný. Je budován žulami převážně hrubě až středně zrnitými složenými z křemene, draselného živce, plagioklasu a biotitu, v menším množství zejména v jižní části též muskovitu a amfibolitu a jiných akcesorických součástí.

Krkonoško-jizerské krystalinikum, k němuž zmíněný žulový masív náleží, je průstoupen řadou výrazných poruch, většinou mladých - pokřídového stáří, které byly však založeny během variské nebo dokonce i kaledonské orogeneze. Nejznámější zlomy mají směr SZ-JV, tento směr v zájmovém území je méně významný. Četnější směry zjištěné v předzářezích tunelu mají směry SV-JZ, méně S-J, které jsou obecně považovány v Krkonoško-Jizerském krystaliniku za podružné.

Kvarterní pokryv tvoří v zájmovém území produkty zvětrávání žul. Žuly v důsledku zvětrávání se rozpadají na eluvium převážně písčité, jehož svrchní horizont přechází v deluviální sedimenty - svahové písčité hlíny, řídčeji sutě. Nejsvrchnější vrstvu tvoří ornice. Hloubka zvětrávání žul v zájmovém území

je nestejná, její proměnnost je dána prostoupením značného množství poruch, podél nichž zvětrávání postupuje do velkých hloubek. Celkově je však stupeň narušení horniny ve vyšetřovaném prostoru značný - bloky zdravé horniny lze v zářezích nalézt jen ojediněle. Ve stěnách převládá hornina zvětralá a navětralá, existují i úseky se zcela rozloženou horninou přes celou výšku stěn.

Z hlediska hydrogeologie jde o území chudé na podzemní vodu. Vzhledem k nepropustnosti vlastní horniny se voda v masívu může vyskytnout jen sporadicky v poruchách a otevřených puklinách, a to jen v obdobích bohatších na srážky. Co se týče chemismu, půjde o vody málo mineralizované s velmi malou tvrdostí, které se mohou projevit mírnými agresivními účinky na betonový stavební materiál (vody hladové).

### 3. DOKUMENTACE STĚN PŘEDZÁŘEZŮ

Z hlediska dokumentace a následného řešení stability byly stěny obou předzářezů rozděleny do úseků podle typů hornin, v nichž je zářez vyhlouben, resp. stupňů jejich narušení. Uváděné kilometráže jsou vztaženy k portálům tunelu (vjezdový portál v km 17,836 30) nesouhlasící s umístěním kilometrovníku 17,8. Výšky stěn nebyly měřeny, ale jen odhadovány, proto jsou možné určité odchylky od skutečnosti. Orientace ploch diskontinuity- puklin, poruch a poruchových pásem vyjadřované dvojčíslicím směr sklonu/sklon byly měřeny geologickým kompasem, přičemž toto měření bylo ovlivňováno místními změnami magnetického pole. Polohy poruch jsou udávány staničením jejich průchodu patou stěny.

Naměřené hodnoty poruch i puklinových ploch byly vyneseny do tektonogramů v příloze 3 pro každý úsek stěn zvlášť, poruchy rovněž do situace v příloze 2. Do tektonogramů byly dále zakresleny směry předzářezů, a to jak skutečných, tak i naměřených pro vyloučení vlivu uvedených magnetických anomálií. Orientace poruch, vyznačené v situaci, tyto anomálie rovněž zohledňují.

### 3.1 Levá stěna vjezdového předzářezu

-----

#### Úsek km 17,715 - 17,769

Celý úsek levé stěny postupně zvyšující svoji výšku na 7 m na konci úseku je vyhlouben v kvarterních pokryvech -písčitých hlínách krytých vrstvou humózní hlíny. Stěna je ponechána ve sklonu  $42^{\circ}$ , místy i  $45^{\circ}$ . Úsek se jeví jako stabilní.

#### Úsek km 17,769 - 17,788

Stěna v úseku zvyšuje svoji výšku ze 7 m na 9 m. V horní polovině většinou je provedena ve sklonu  $40^{\circ}$ , v dolní polovině polovině na počátku úseku ve sklonu  $75^{\circ}$ , ve střední části úseku  $48^{\circ}$  a na konci v jednotném sklonu na celou výšku  $45^{\circ}$ . Toto zmenšení sklonu vzniklo dřívějším sesuvem, dnes uklidněným, což dokazuje porost bez známek svahových pohybů. Strmé části stěny obnažují skalní horninu - libereckou žulu, která je v popisovaném úseku zvětřalá, místy i rozložená. Na počátku úseku je patrná část aplitové žíly 40 cm mocné prostupující žulový masív. Masívem prostupují pukliny systémů orientace  $192/76^{\circ}$ ,  $16/24^{\circ}$  a  $128/86^{\circ}$  většinou průběžných s plochami nerovnými a drsnými (v důsledku povrchového zvětřávání, přičemž jejich hustota je ve smyslu ČSN 73 1001 střední).

#### Úsek km 17,788 - 17,813

Výška stěny v úseku se plynule zvyšuje z 9 m na 15 m. V počáteční polovině úseku (do km 17, 802) ve spodní části je stěna vytvořena ve sklonu  $70^{\circ}$ , výše - v pokryvných útvarech - je její sklon menší. Dále je sklon jednotný na celou výšku stěny- cca  $50^{\circ}$  daný sesuvem v úžlabí. Úžlabí obnažené po sesunutí horniny je částečně pokryté vegetací. Hornina v počáteční polovině úseku je navětralá až zvětřalá s ojedinělými bloky zdravé horniny prostoupené puklinové systémy  $133/72^{\circ}$ ,  $165/68^{\circ}$  a  $210/68^{\circ}$  a poruchou 1 m mocnou tvořenou silně zvětřalou až rozloženou horninou. Průběžnost ploch diskontinuity a jejich malá až střední hustota způsobují, že tyto plochy formují líc stěny do velkých rovinných ploch. Styčné plochy puklin jsou mírně nerovné a drsné.

V km 17,795 ve výši 3 m je patrný slabý výron puklinové vody. Zmíněná úžlabí ve druhé polovině úseku (v km 17,802) jsou podmíněna poruchou, v níž je hornina většinou rozložená. Sklon úžlabí je příliš velký vzhledem ke smykové pevnosti tohoto materiálu, proto dochází zde k jeho sesouvání, zvláště při přívalových deštích. Splavovaný materiál má charakter hrubého písku až šterku s ostrohrannými zrny - převládají zrna velikosti do 1 cm, v menším množství materiál obsahuje zrna velikosti až 3 cm. Další poruchy prostupující úsekem stěny jsou v km 17,810 (315/88° mocná 1,5 m s provlhající vodou ve výplni rozložené horniny) a v km 17,813 s proměnnou mocností 30-100 cm. V poslední poruše se při patě svahu objevují bloky horniny, která je zdánlivě zdravá - neproušená zvětrávacími pochody, avšak v důsledku tektonického postižení nepevná, lze ji drtit poměrně snadno v ruce.

#### Úsek km 17,813 - 17,836 30

Stěna v úseku zvyšuje svoji výšku z 15 m na 18 m v prostoru nad portálem tunelu. Ve spodní části do výše cca 12 m je vytvořena v jednotném strmém sklonu 78° ve zvětralé a navětralé hornině s jednotlivými bloky zdravé horniny. Silně zvětralá a rozložená hornina se vyskytuje v nadloží a v poruchách strmě prostupujících masív méně narušených hornin v km 17,821 orientace 280/80° 1 m mocné, v km 17,825 mocná 70 cm 300/87° (převažuje zvětralá hornina), v km 17,828 s postupně se zmenšující mocností směrem vzhůru z 80 cm u paty na 40 cm (284/78°) a na konci úseku přecházejí do čelní portálové stěny 297/45° mocné 297/45°, v níž je hornina převážně zvětralá. Další porucha 280/80° v km 17,833 má charakter průběžné spáry s vyhlazenými plochami, v jejímž okolí do vzdálenosti 40 cm je hornina intenzivně narušena zvětrávacími pochody. Horninový masív je prostoupen systémem průběžných puklin s nerovnými drsnými plochami orientace 93/67°, 150/74°, 280/68° a 302/82°, dále systémem neprůběžných ploch 67/34° (s odlehlostí 30 m) a ojedinělými průběžnými sparami s nerovnými hladkými plochami orientovanými 155/45°, 130/49° a 170/77°. Celková intenzita rozpínání je malá až střední.

Úsek se jeví jako stabilní.



### 3.2 Pravá stěna vjezdového portálu

-----

#### Úsek km 17,715 - 17,757

Celý úsek tvořený pokryvnými útvary - svahovými hlínami krytými ornici - je vysvahován do sklonu  $35^{\circ}$ . Výška svahu se postupně zvyšuje na cca 5 m na konci úseku. V úseku nejsou známky svahových pohybů.

#### Úsek km 17,757 - 17,794

Výška stěny v úseku se postupně zvyšuje z 5 na 12 m, přičemž nejsvrchnější část v mocnosti 1 - 2 tvoří eluvium přecházející do deluvia-svahových písčitých hlín krytých ornici. Pod touto vrstvou je obnažen skalní podklad tvořený zvětralou a rozloženou žulou, navětralou jen v ojedinělých blocích při patě stěny. Vysoký stupeň zvětrávání podmiňuje splavování rozvolněných úlomků horniny vodou přívalových dešťů do prostoru železničního zářezu.

V úseku vznikly v důsledku splavování horniny tři úžlabí:

První úžlabí v km 17,769 je zahlobené 1,5 - 2 m. K uvedenému jevu v něm docházelo v dřívějších dobách. Dnes již je stabilizováno, ačkoliv dosahuje sklonu  $50^{\circ}$ , což ukazuje jeho pokrytí rostlinným krytem. Další úžlabí v km 17,778 relativně měkké (zahlobené jen 0,5 - 1 m) se strmým sklonem v horní části  $85 - 90^{\circ}$  je kryto ve spodní části kuzelem splaveného materiálu povrchového sklonu  $42^{\circ}$  obsahujícím převážně úlomky zvětralé horniny velikosti do 2 cm a ojedinělé balvany velikosti až 60 cm. Toto úžlabí je predisponováno poruchou orientace  $265/82^{\circ}$ .

Třetí úžlabí mísovitého tvaru se středem v km 17,790 je značně široké (9 m). Vzniklo pravděpodobně v důsledku existence poruchového pásma průměrné orientace  $289/76^{\circ}$ . Jeho sklon je průměrně  $48 - 50^{\circ}$ , v horní části, kde zasahuje až do pokryvů, se vytváří převisy zpevněné kořenovým systémem rostlinného krytu. Při patě stěny se vytváří rozměrný splachový kužel s povrchovým sklonem  $36^{\circ}$  tvořený zvětralým a rozloženým horninovým materiálem zrnitosti převážně do 2 - 4 cm s ojedinělými balvany až 25 cm velkými.

Sklon stěny mimo úžlabí do výšky 5 m je strmý až  $78^{\circ}$ , výše se zmenšuje na  $63^{\circ}$ . Prochází zde porucha (v km 17.777)  $0,6$  m mocná orientovaná  $109/89^{\circ}$ , v níž je hornina intenzívně porušena zvětřováním. Další poruchový jev je patrný na počátku úseku, kde dochází k vyvětrávání materiálu podél mírně skloněných spar ( $313/24^{\circ}$ ), takže se vytváří hluboké kaverny dostávající charakter až jeskyní. Takto se vytvořily dvě prostory ve vzdálenosti cca  $1$  m, přičemž výška jejich volného prostoru je  $10 - 50$  cm.

K prorušení stěny došlo i v části mezi druhým a třetím úžlabím, kde se posouvá blok horniny po mírně skloněné ploše  $85/11^{\circ}$ . Posunutím bloku se rozevřely strmé spáry v hloubce  $1$  m rovnoběžné s lícem stěny  $10/75^{\circ}$ . Další systémy odlučných ploch prostoupených horninovým masívem v tomto úseku jsou orientovány  $6/59^{\circ}$  (nerovné, drsné),  $95/78^{\circ}$  (dtto),  $196/85^{\circ}$  (rovné, hladké),  $288/88$  (dtto),  $166/84^{\circ}$  (rovné, drsné) a  $38/83^{\circ}$  a  $310/76^{\circ}$  (nerovné, hladké).

#### Úsek km 17,794 - 17,813

Stěna výšky  $12 - 15$  m tvořená převážně silně zvětřalou až rozloženou horninou překrytou  $0,5 - 1$  cm vrstvou písčitých hlín. Bloky zdravé a navětralé horniny jsou zde jen ojedinělé, a to při patě stěny. Vysoký stupeň narušení horniny je dán existencí většího počtu poruch prostupujících masív a křížících se v líci stěny nebo v jeho blízkosti. Celý úsek je v podstatě poruchovým pásmem orientace  $310/88^{\circ}$ . Poruchy křížící uvedené pásmo jsou orientovány  $70/90^{\circ}$  a  $127/83^{\circ}$ , v koncové části úseku (přecházející do následujícího úseku)  $19/87^{\circ}$ . Sklon svahu v důsledku splachů v uvedených poruchách je průměrně  $63^{\circ}$ , v méně narušených horninách ve spodní části je strmější -  $80^{\circ}$ . Další odlučné plochy, vesměs nerovné a hladké, jsou uspořádány do systémů  $30/85^{\circ}$ ,  $127/81^{\circ}$  a  $37/78^{\circ}$ . Celkově je zde hustota diskontinuit střední až velká.

#### Úsek km 17,813 - 17,836 30

Výška stěny v úseku se pohybuje v mezích  $15 - 18$  m, přičemž ve spodních  $12$  m má sklon líce  $78^{\circ}$ , výše je mírnější (cca  $40 - 45^{\circ}$ ). Úsek je tvořen převážně zvětřalou a navětralou horninou,

vyjímečně též horninou nenarušenou. Úsekem prochází několik poruch: v km 17,818 orientace  $297/76^{\circ}$  (málo výrazná, 20 cm mocná porucha - výraznější v protilehlé stěně), v km 17,824 mocná jen 3 - 5 m způsobující zvětrávání horniny v okolí, orientovaná  $263/78^{\circ}$ , v téže kilometrůžce  $164/68^{\circ}$  o mocnosti 20 cm, v km 17,828 mocná 20 - 30 m ( $309/87^{\circ}$ ) a konečně nejmocnější (1,5 m) orientované  $5/87^{\circ}$ . V poruchách je hornina více rozpukaná a více postižena zvětrávacími procesy. Horninový masív v úseku dále prostupují systémy nerovných a hladkých ploch orientace  $5/85^{\circ}$  (v důsledku zvětrávání se jejich plochy stávají drsnější),  $157/90^{\circ}$ ,  $47/67^{\circ}$ ,  $333/66^{\circ}$  a  $22/42^{\circ}$ . Poslední plocha (místně se měnící na  $19/50^{\circ}$ ) z působuje místní nestabilitu (km 17,820 - 17,824) vyjížděním bloků podél těchto ploch.

### 3.3 Čelní stěna vjezdového portálu

-----

Stěna výšky 10 m (nad zdivem portálu) je tvořena silně zvětralou až rozloženou horninou překrytou souvrstvím písčité hlíny a ornice mocným 2 m. Horninový masív je rozčleněn především sparami orientace  $342/49^{\circ}$  v odlehlosti cca 1 m. V levém rohu prochází poruchové pásmo  $280/80^{\circ}$  mocné 0,5 m podél něhož dochází k sesouvání a splavování rozložených částí horniny do prostoru zářezu. Sklon stěny v pokryvech je  $45^{\circ}$ , v horninovém masívu je v horní polovině  $50^{\circ}$ , v dolní polovině až  $70^{\circ}$ . Sklon stěny je příliš velký vzhledem k charakteru narušení horniny, proto dochází k opadu rozvětralých částí horniny, které se pak hromadí nad portálem předsunutým o 1,5 - 2 m před skalní výrub.

### 3.4 Čelní stěna výjezdového portálu

-----

Výška stěny nad portálem činí 10 m. Spodní polovina stěny je svislá, horní má sklon  $78^{\circ}$  s výjimkou nejsvrchnější části vysoké 1,5 m, která je vytvořena v pokryvech, kde sklon se zmenšuje na  $35^{\circ}$ . Ve spodní polovině stěny vystupuje navětralá hornina, výše zvětralá. Horninový masív je rozčleněn systémem svislých ploch diskontinuity téměř kolmých k ose trati orientace  $8/90^{\circ}$ . V jižním rohu prochází mohutná porucha  $112/10^{\circ}$  podél

níž dochází ke splavování částí rozložené horniny do prostoru předzářezu. Porucha přechází do pravé stěny výjezdového předzářezu.

### 3.5 Levá stěna výjezdového předzářezu

-----

#### Úsek km 17,918 60 - 17,924

Stěna v úseku dosahuje výšky 14 - 16 m. Spodní část výšky cca 8 m je téměř svislá, výše se sklon zmenšuje na  $40^{\circ}$ . Spodní část je tvořena převážně zvětralou žulou, místy navětralou. V horní části stěny vystupuje silně zvětralá až rozložená hornina, která je překryta 4 m mocnou vrstvou eluvií a svahových písčitých hlín s ornicí. Úsekem prostupuje nejvýznačnější systém puklinových ploch strmě zapadajících ( $304/85^{\circ}$ ) se značnou hustotou (spáry jsou od sebe vzdáleny místy jen 10 cm, přičemž se rozevírají až na 5 cm). Stěna na konci úseku je omezena plochou téže orientace, takže hrozí porušení stěny překlopením horninových bloků ve tvaru silnějších lavic. Další spáry v tomto úseku jsou orientovány  $355/77^{\circ}$ ,  $22/75^{\circ}$  - nerovné s hladkými, místy drsnými plochami, rozevřené až na 5 mm. Ojedinele jsou spáry méně sklonité orientace  $316/13^{\circ}$ .

#### Úsek km 17,924 - 17,931

Výška stěny v úseku se zmenšuje z 14 m na 12 m. Pokryv tvoří vrstva 1 m mocná. Celý úsek tvoří mohutné poruchové pásmo, což jsou v podstatě dvě poruchy orientace  $312/79^{\circ}$  a  $112/30^{\circ}$  v nichž je hornina silně zvětralá i rozložená. Vzhledem ke strmému sklonu (až  $60^{\circ}$ ) dochází zde účinkem srážkové vody ke splavování a zvětrávání odloučených jemných částí hornin do prostoru železničního zářezu. V úseku je jeden výraznější systém neprůběžných spar s nerovnými drsnými plochami orientace  $199/77^{\circ}$ . Hustota spar je střední.

#### Úsek km 17,931 - 17,942

Stěna v úseku zmenšuje svoji výšku postupně ze 12 na 10 m. Horní část 4 m vysoká má sklon  $45^{\circ}$ , spodní část téměř svislá ( $85 - 90^{\circ}$ ) obsahuje zvětralou, místy i rozloženou horninu.

Úsekem procházejí dvě subhorizontální poruchy orientace  $16/5^{\circ}$  a puklinové systémy  $348/61^{\circ}$  (mírně rozevřené s nerovnými hladkými plochami),  $186/83^{\circ}$ ,  $286/79^{\circ}$ ,  $1/82^{\circ}$ ,  $333/7^{\circ}$  - vesměs nerovné průběžné s hladkými plochami. Stěna v úseku se jeví stabilní.

#### Úsek km 17,942 - 17,956

Stěna v úseku dosahuje výšky 10 - 7 m z čehož cca 2 m je v pokryvech. Masív zvětralé horniny prostupují poruchy orientace  $312/88^{\circ}$  na začátku úseku (0,5 m mocné s výplní drceného materiálu),  $140/86^{\circ}$  v km 17,949, která je mocná 0,3 m obsahující drcenou a rozloženou horninu a  $103/82^{\circ}$  na konci úseku mocná 5 cm. Úsekem prostupují průběžné pukliny systémů  $150/53^{\circ}$ ,  $159/77^{\circ}$ ,  $200/76^{\circ}$ ,  $185/85^{\circ}$  - zpravidla s nerovnými plochami v důsledku poruchového zvětrávání drsnými. Projevy nestability v úseku nejsou patrné.

#### Úsek 17,956 - 17,980

Stěna v tomto úseku zmenšuje svoji výšku z 7 m na 3 m. Mocnost pokryvu zde činí 2,5-3 m, takže skalní podklad zde vykliňuje. Stěna pak pokračuje v pokryvech až do km 17,990. Skalní hornina v popisovaném úseku je navětralá, místy zvětralá, objevují se bloky i horniny zdravé. Masív prostupují poruchy - v km 17,957 orientace  $200/24^{\circ}$  mocná 10 - 24 cm, v níž hornina je intenzívně rozpukaná, místy i drcená, v km 17,964 mocná 30 cm orient.  $316/77^{\circ}$  s výplní drceného materiálu a 2 cm silné vložky žilného křemene, v km 17,970 orientace  $188/78^{\circ}$  projevující se intenzívnějším zvětráváním horniny a v km 17,974 mocnosti průměrně 3 - 5 cm s výplní silně zvětralé horniny. Tato poslední porucha má orientaci  $96/24^{\circ}$ . Kromě uvedených poruch v masívu v km 17,959 ve střední části stěny je těleso silně zvětralé horniny výšky 5 m a šířky 2 m částečně porostlé vegetací. Masívem dále prostupují pukliny systémů  $158/76^{\circ}$ ,  $13/90^{\circ}$ ,  $320/75^{\circ}$ ,  $73/78^{\circ}$ ,  $148/76^{\circ}$ ,  $352/76^{\circ}$ ,  $15/82^{\circ}$  vesměs s plochami nerovnými, hladkými. Stěna v úseku vzhledem ke své malé výšce se jeví stabilní.

### 3.6 Pravá stěna výjezdového předzářezu

-----

Úsek km 17,918 60 - 17,923

-----

Stěna výšky 15-16 m je tvořena silně zvětralou libereckou žulou s pokryvem cca 2 m svahových hlín překrytých ornicí. Intenzivní zvětrání je způsobeno existencí dvou poruch, v jejichž okolí je hornina rozložena. Vlastní porucha 112/90° je 3 m mocná a obsahuje hlinitou výplň, porucha 301/64° 10-20 m mocná má výplň horniny rozložené. Při přívalových deštích dochází ke splavování části rozložené horniny, která se hromadí ve dně zářezu. Úsek je dále prostoupen systémy průběžných puklin 128/75°, 125/87°, 190/90° s plochami většinou nerovnými, hladkými.

Úsek km 17,923 - 17,939

Stěna v úseku zmenšuje svoji výšku z 15 m na 12 m. Sklon spodní části do výše cca 6 m je téměř svislý, výše (do 10 m) je menší (60 - 70°). Hornina je navětralá a zvětralá, v okolí poruch i rozložená. Pokryv tvoří svahové hlíny a eluvia v mocnosti 1-2 metry. Úsekem procházejí tři poruchy: na počátku úseku orientované 282/83° mocná 10 cm s výplní drčené-mylonitizované horniny, podél níž dochází v důsledku dešťových srážek ke splavování části rozložené horniny, ve střední části 3/14° mocná 8 cm s výplní drce-ného materiálu a na konci úseku 1 m mocná orientovaná 300/76° s výplní rozloženého materiálu. Podél této poruchy dochází rovněž ke splavování rozložené horniny a navíc k následným opadům kamene. Masív je rozpuštěn systémy s nerovnými plochami 19/75°, 14/79°, 28/84°, 16/85°, 242/85° a 123/83° s nerovnými drsnými plochami 303/67° rozevřenými 1 cm s hlinitou výplní 295/15°. Podél spáry rozevřené 1 cm s hlinitou výplní došlo k posuvu o 3,5 cm, ohrožujícím místní stabilitu úseku, který je tak v indiferentní rovnováze.

Úsek km 17,939 - 17,959

Výška stěny se v úseku snižuje z 12 na 8 m. Úsek je tvořen zvětralou, místy silně zvětralou horninou, která se při silných deštích splavuje. Úsek je prostoupen množstvím poruch - na počátku

na počátku úseku 147/58<sup>0</sup> o mocnosti 10 cm s výplní rozložené horniny, v km 17,944 orientace 22/88<sup>0</sup> mocná 60 cm, v km 17,949 mocná 10 cm až 1 m obsahujícími silně zvětřalou žulu orientace 328/84<sup>0</sup> a na konci úseku 50 cm mocná orientace 295/74<sup>0</sup>, podél níž došlo v minulosti k posunu bloků. Systémy spar 19/89<sup>0</sup>, 304/75<sup>0</sup>, 32/90<sup>0</sup>, 10/70<sup>0</sup> měnící orientaci na 30/83<sup>0</sup>, 343/83<sup>0</sup>, 22/75<sup>0</sup> a 120/20<sup>0</sup> mají většinou plochy nerovné, hladké.

#### Úsek km 17,959 - 17,974

Stěna vysoká 8 - 4 m je vytvořena z navětralé, místy zvětřalé horniny do výšky 5 m na začátku úseku a do 2 m na konci úseku, výše v pokryvech, na kterých pokračuje až cca do km 18,000. Od km 17,960 50 do km 17,962 50 se objevují na stěně výrony vody se soustředěnějším výtokem v km 17,962 50. V km 17,971 vyklíňuje porucha orientace 90/22<sup>0</sup> 5-10 cm mocná s výplní silně zvětřalé horniny, podél níž došlo pravděpodobně k menším pohybům. Další porucha 10 cm mocná prochází v koncové části úseku a má orientaci 55/77<sup>0</sup>. Hlavní odlučné plochy masívu tvoří spáry systémů 0/89<sup>0</sup>, 10/90<sup>0</sup>, 132/72<sup>0</sup>, 330/84<sup>0</sup>, 200/62<sup>0</sup>, 345/87<sup>0</sup>, 142/15<sup>0</sup> a 327/13<sup>0</sup>. Podél poslední spáry rovněž došlo k posunu. Zjištěné posuny jsou staršího data (možná nastaly vlivem trhacích prací při hloubení zářezu) a vzhledem k malému sklonu spar, podél níž ke zmíněným pohybům došlo, nemají tyto posuny vliv na současnou stabilitu úseku.

#### 4 . DOKUMENTACE TUNELU

Železniční tunel je vyražen v liberecké žule různého stupně narušení horniny zvětřávacími pochody. Je vystrojen obezdívkou 40 - 50 cm mocnou z opracovaných žulových kvádrů. Vzhledem ke stáří tunelu (rok výstavby 1894) jsou kvádry již povrchově navětralé. Zdivo je rozděleno do pasů oddělených příčnými spárami v km 17,847 90; 17,856 40; 17,865:; 17,873 60; 17,882 30, 17,890 80; 17,899 50, 17,907 50. Spáry v km 17,865; 17,882 30 a 17,899 50 jsou jen v klenbě, zdivo opěr je průběžné přes dva pasy. Ve zdivu byly provedeny průduchy umožňující zjistit

charakter horniny, v níž se tunel razil, případnou vzdálenost povrchu výrubu od ostění a existenci volných prostor mezi ostěním a hrubým výlomem. Polohy průduchů a zjištěný typ narušení horniny jsou uvedeny v následující tabulce na str. 14 - 16.

Z celkem 83 vyšetřovaných průduchů bylo možno zjistit jen v 50 průduších charakter horniny, ostatní byly zaplněny základkou nebo záhozem vyplňujícím volný prostor mezi obezdívkou a výrubem. Zdravá hornina byla zjištěna ve 2 průduších, zdravá až navětralá ve 3, navětralá v 15, navětralá až zvětralá ve 3, zvětralá v 10, zvětralá až rozložená v 9 a rozložená v 8 průduších. Vyloučí-li se mezitypy rozdělením počtu jejich zjištění, je percentuelní zastoupení jednotlivých horninových typů následující:

zdravá hornina	7 %
navětralá hornina	34 %
zvětralá hornina	32 %
rozložená hornina	27 %

Za navětralou horninu se všeobecně považuje hornina, v níž jsou postiženy jen jednotlivé minerály navzájem se nedotýkající, takže skelet tvoří narušené minerály a zdravé minerály jsou izolované. Podle tohoto hlediska horniny se zdravým skeletem jsou zastoupeny 41%, zatímco horniny se skeletem postiženým 59%. Tyto hodnoty ukazují na celkově značné narušení hornin zvětrávacími pochody, které je poněkud příznivější než v zářezích, což je dáno větší výškou nadložních hornin (údaje o stavu narušení byly zjišťovány ve stěnách do max. výšky 4,5 m nad počvou tunelu).

Ve střední části tunelu v km 17,877 70 - 17,979 70 jsou ve stěnách vytvořeny výklenky výšky 2 m hl. 1,6 m (v pravé stěně) a 1,3m (v levé stěně). Výklenky jsou na bocích a v klenbě obezděny, čela zůstávají v hornině. V pravém výklenku byla zastižena hornina zdravá i zvětralá. V hornině jsou patrné dvě poruchy orientace  $300/62^{\circ}$  (3 cm mocná) a  $120/9^{\circ}$  - 20 cm mocná s výplní silně zvětralé a rozložené horniny. Masív zde prostupují pukliny  $37/80^{\circ}$  a  $13/86^{\circ}$  (s hladkými rovnými plochami ve zdravé hornině), pukliny s plochami nerovnými a drsnými mají orientaci  $317/70^{\circ}$  a  $280/76^{\circ}$ .



TYPY HORNINY ZA OBEZDÍVKOU TUNELU

Tabulka č. 1

Pas	Stěna	Poloha průduchu		Stupeň narušení horniny +)	Vzdálenost výrubu od líce ++)
		staničení	výška		
km	-	km	m	-	km
1	2	3	4	5	6
17,836 30 - pravá		17,839 70	0,1	Z	0,9
- 17,847 90		17,839 20	2	-	zakládka
		17,840 60	0,1	Z	0,9
		17,841 80	2	-	zakládka
		17,843 40	0,1	O	0,9
	levá	17,840 90	0,1	N	0,7
		17,844 20	2,2	N	0,6
		17,846 80	2,2	O-N	0,7
<hr/>					
17,847 10 - pravá		17,848 50	0,1	R	0,8
- 17,856 40 levá		17,848 50	0,1	N	0,5
		17,852 30	0,1	N	0,9
		17,855 40	2,3	-	zakládka
<hr/>					
17,856 40 - pravá		17,857 90	0,1	O	0,9
-17,865		17,857,90	3,7	-	zakládka
		17,861 10	4,0	-	zakládka
		17,864 00	4,1	-	zakládka
	levá	17,857 40	0,1	R	zakládka
		17,854 00	2,2	-	zakládka
		17,860 40	3,9	-	zakládka
		17,864 00	0,1	-	0,9
<hr/>					
17,865 00- pravá		17,865 10	0,2	Z-R	0,9
-17 873 60		17,865 90	4,2	-	(0,9)zaklád.
		17,867 20	2,4	Z-R	0,6
		17,868 30	4,0	-	zakládka
		17,868 30	0,2	R	0,9

1	2	3	4	5	6
		17,871 00	2,2	N-Z	0,85
		17,871 00	0,4	N	0,9
		17,873 00	0,4	R	(0,7)zaklád.
	levá	17,866 30	2,2	-	0,7
		17,866 30	0,1	-	zakládka
		17,870 50	2,0	Z	0,7
		17,871 90	0,1	O-N	0,7
		17,871 90	3,8	Z	0,7
		17,873 00	4,0	-	zakládka
17,873 60-	pravá	17,876 20	0,8	R	0,6
-17 882 30		17,876 90	2,3	-	zakládka
		17,882 30	2,0	-	zakládka
	levá	17,876 40	2,9	Z	0,6
17,882 30 -	pravá	17,885 00	2,0	N-Z	0,5
-17,890 60		17,888 90	1,9	-	zakládka
	levá	17,886 10	1,9	R	zakládka
17,890 80-	pravá	17,892 50	2,0	-	(0,6)zaklád.
- 17,899 50		17,894 20	1,9	O-N	0,45-0,7
		17,896 20	3,8	-	zakládka
		17,898 90	3,8	N	(0,7)zaklád.
		17,899 50	0,1	-	(0,7)zaklád.
	levá	17,891 70	4,2	-	zakládka
		17,895 70	0,1	Z	0,75
		17,897 60	0,1	-	(0,9)zakl.zásyp
		17,898 90	2,3	N	0,7
17,899 50-	pravá	17,899 60	1,9	Z-R	0,8
-17 907 50		17,901 60	4,10	Z	0,6
		17,903 50		-	0,5
		17,903 00	0,3	N	0,6
		17,380 80	1,9	Z-R	0,6
		17,905 10	0,1	R	zásyp
		17,906 00	4,2	Z	0,6
		17,906 60	1,9	N	0,5

1	2	3	4	6	7
	levá	17,900 50	0,1	Z	0,75
		17,901 30	2,2	Z-R	0,80
		17,902 80	0,1	-	0,6
		17,903 20	3,6	R	0,6
		17,904 60	2,2	Z-R	0,8
		17,905 20	0,1	N	0,5
		17,905 30	3,6	-	zakládka
<hr/>					
17,907 50-	pravá	17,909 10	0,3	-	zásyp
-17 988 60		17,910 00	3,9	-	zakládka
(výjezdový		17,911 00	2,0	N	0,45
portál)		17,912 00	3,9	-	zakládka
		17,912,10	0,3	Z-R	0,7
		17,913 30	2,0	N	0,4
		17,914 80	0,3	-	(0,4)zaklád.
		17,914 80	3,9	Z	0,3
		17,916 80	2,0	-	zakl.s výplní
		17,917 00	3,9	-	zdivo
	levá	17,908 00	4,0	Z-R	0,7
		17,908 40	0,2	N-Z	0,7
		17,910 00	1,9	-	0,8 zakl.
		17,912 00	2,0	Z-R	0,8
		17,912 70	0,4	N	0,7
		17,916 70	3,0	-	zakládka

+) Typ horniny podle narušení

O - hornina zdravá

N - hornina navětralá

Z - hornina zvětralá

R - hornina rozložená

++) příp. existence zakládky za průduchem

Levý výklenek odkrývá zdravou horninu, při pravém boku do vzdálenosti 30 - 40 cm a v levém horním rohu horninu navětralou až zvětralou. V levém horním rohu prochází porucha 5 cm mocná orientace  $297/62^{\circ}$ . Dále zde horninu prostupují spáry  $41/83^{\circ}$  rozevřené 1 cm s hladkými plochami a  $64/87^{\circ}$  s nerovnými drsnými plochami.

Údaje o hloubce skalního výrubu za lícem obezdívky v tab. 1 mohou posloužit pro zjištění velikosti nadvýlomu v prostorách opěr. Průměrná vzdálenost od líce činí 71 cm, uvažujeme-li průměrnou tloušťku zdiva 45 cm, vychází nadvýlom průměrně jen 26 cm. Lze však očekávat, že v klenbě budou nadvýlomy podstatně větší.

Při terénních šetřeních byl rovněž zjišťován stav obezdívky. Bylo zjištěno, že obezdívka je celkově na velmi dobrém stavu s výjimkou portálových úseků, kde jsou patrné trhliny jdoucí napříč tunelovou troubou, jejichž příčinou je existence nepříznivě orientovaných spar v nadloží ohrožujících stabilitu stěn nad portály a zdiva vlastních portálů. U vjezdového portálu byly zjištěny dvě trhliny. Výraznější 1,6 m od líce portálu v záklenku rozevřen 1 - 2 cm, směrem do boků zmenšující rozevření na několik mm. U počvy není tato trhлина zřetelná. Další trhлина ve vzdálenosti 2,5 m od líce portálu prochází levou polovinou klenby, v bocích není patrná. V tomtéž pase byla zjištěna ještě méně významná trhлина v km 17,843 10 na výši 4,5 m v pravé stěně procházející přes nosný blok (klenák).

V sousedním pasu v km 17,850 - 17,853 70 prochází ve výšce 3,3 m vodorovná trhлина ve spáře zdiva, dále do km 17,854 30 prochází ve spáře o klenák výše. Trhлина je rozevřena 2 mm. Další trhлина, rovněž podélná, je patrná v levém boku ve výši 4,5 m v km 17,860 60 - 17,861 60. Tato trhлина prochází rovněž spárami ve zdivu.

Výjezdový portálový pas je porušen obdobně jako vjezdový. V blízkosti portálu prochází dvě příčné trhliny, které jsou však mírně šikmé - v klenbě ve vzdálenosti 0,6 m přecházejí do pravé opěry 1,3 m od líce. Další trhлина 2 m od líce v klenbě vychází částečně do opěr (v levé opěře končí ve výši 1 m ve vzdálenosti 0,6 m od líce portálu). V pravé opěře 40 cm od líce portálu je patrná další méně významná trhлина. V km 17,908 až 17,910 90 je mírně zdeformovaná klenba, nelze však vyloučit, že tento tvar pochází z doby výstavby tunelu.

Dalšími poruchami zdiva je zvětralá a vypadlá malta ze spar zdiva. Poruchy tohoto typu byly zjištěny v km 17,866 60 v levém boku zdiva ve výši 2,20 m, v km 17,875 50 ve výši 3,8 v pravém boku, v pravé stěně pravého výklenku, v km 17,886 60 - 17,886 90 ve výši 1,9 m, v km 17,893 50 ve výši 5 m v pravém boku (několik spar), v km 17,892 70 ve výši 4,20 m v levém boku, v km 17,904 dvě spáry ve výši 4,8 m a 5,3 m v pravém boku, v km 17,903 - 17,904 dvě spáry ve výši 4,5 m a 4,8 m v levém boku, v km 17,907 80 - 17,908 20 ve výši 5 m v pravém boku.

Uvedené poruchy jsou zakresleny do situace v příloze 2.

## 5. GEOTECHNICKÉ VLASTNOSTI HORNIN A HORNINOVÉHO MASÍVU

Hornina budující masív v prostoru dolnolučanského tunelu je v nenarušeném stavu velmi pevná, její pevnost se však postupujícím zvětráváním značně snižuje. Toto snížení pevnosti a zhoršení dalších důležitých fyzikálních a mechanických vlastností ukazuje tabulka č. 2 obsahující výsledky zkoušek vzorků odebraných při průzkumu pro nedalekou přehradu Josefův Důl na Kamenici. Vzhledem k tomu, že zkouškami byly zjišťovány vlastnosti stejného horninového typu, Uvedené hodnoty mají platnost i pro horniny vyšetřovaného prostoru.

Tabulka č. 2

Stupeň narušení horniny	-	nenarušená	navětralá	zvětralá
Hustota	kgm <sup>-3</sup>	2 620	2 620	2 510
Hustota pevných částic	kgm <sup>-3</sup>	2 670	2 610	2 640
Nasákavost	%	0,79	0,82	1,46
Hutnost	%	98,12	99,24	95,07
Pórovitost	%	1,88	0,76	4,93
Pevnost v tlaku po vysuš.	MPa	130	70	42
Pevnost v tlaku po nasyc.	MPa	107	57	32
Pevnost ve stříhu po vysuš.	MPa	48	32	31
Pevnost ve stříhu po nasyc.	MPa	20	13	14
Pevnost v tlaku po zmrazení	MPa	103	67	30
Odolnost proti mrazu	%	0,21	0,36	1,62
Otluk	%	40,00	32,80	76,00
Síranová zkouška	%	0,53	0,84	51,85
Součinitel změknutí	1	0,82	0,81	0,77
Součinitel vymrazení	1	0,79	0,95	0,70

Rozložená hornina v rámci průzkumu pro zmíněnou přehradu zkoušena nebyla, nejdůležitější hodnoty vlastností lze odvodit z výsledků zkoušek hornin obdobného typu - granodioritu brněnského masívu. Objemovou hmotnost lze brát hodnotou  $2500 \text{ kgm}^{-3}$ , pórovitost 6%, nasákavost 4% a pevnost v tlaku 1 MPa.

Vlastnosti horninového masívu jsou ovlivněny prostoupením odlučnými sparami. Jejich vliv je tím větší, čím hornina je méně postižena zvětráváním. Celkový smykový odpor závisí na velikosti normálního přítlaku  $\sigma$  a hodnotách parametru  $\tau_0$  - počáteční smykové pevnosti a úhlu tření  $\varphi$ .

Smyková pevnost ve směru ploch diskontinuity je dána třením mezi jejich styčnými plochami, případně smykovou pevností jejich výplně. Pro sevřené spáry s rovnými hladkými plochami lze brát úhel tření  $\varphi_p = 33^\circ$ , s nerovnými hladkými plochami  $\varphi_p = 38^\circ$ , s nerovnými a drsnými  $45^\circ$ . Rozevřením spar do 1 mm se jejich úhel snižuje, a to na hodnoty  $32^\circ$ ,  $33^\circ$  a  $40^\circ$ . Ve všech případech bereme počáteční smykovou pevnost  $\tau_{op} = 0$ .

Odklání-li se smyková plocha od roviny spáry o úhel  $\alpha$ , lze smykovou pevnost přepočítat podle vzorců

$$\tau = \frac{\tau_{op} + \sigma(\cos^2 \alpha \operatorname{tg} \varphi + \sin \alpha \cos \alpha)}{\cos^2 \alpha - \sin \alpha \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi}$$

respektive při  $\tau_{op} = 0$

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} (\varphi + \alpha)$$

v příslušném směru však nesmí přestoupit hodnoty dané parametry

$$\tau_{oh} = 0,7 \text{ MPa} \quad \varphi_h = 52^\circ \text{ pro horninu nenarušenou}$$

$$\tau_{oh} = 0,4 \text{ MPa} \quad \varphi_h = 50^\circ \text{ pro horninu navětralou}$$

$$\tau_{oh} = 0,3 \text{ MPa} \quad \varphi_h = 39^\circ \text{ pro horninu zvětralou}$$

$$\tau_{oh} = 0,02 \text{ MPa} \quad \varphi_h = 35^\circ \text{ pro horninu rozloženou}$$

Uvedené hodnoty, které byly odvozeny ze zkoušek granodioritů brněnského masívu, mají platnost v oboru normálního zatížení  $\sigma \leq 1 \text{ MPa}$ , což postačuje pro řešení geotechnických úloh v prostoru vyšetřovaného tunelu.

Přetvárné charakteristiky byly stanoveny polními zkouškami v přehradním profilu vodního díla. Josefův Důl, lze jej proto bez změny použít i pro horninový masív dolnolučanského tunelu. Hodnoty modulů přetvárnosti a pružnosti uvádí tabulka 3.

Tabulka č. 3

Stupeň narušení horniny	Modul přetvárnosti v oboru zatížení MPa				Modul pružnosti
	0 - 1	0 - 2	0 - 3	0 - 4	
-	MPa				MPa
nenarušená	8 000	6 900	7 900	8 300	15 000
navětralá	8 000	6 600	6 600	6 300	15 000
zvětralá	180	220	270	310	600
rozložená	70	120	180	-	400

## 6. STABILITA STĚN ZÁŘEZŮ

Stabilita stěn skalních těles je dána řadou činitelů, především vlastní tíhou a smykovou pevností horninového masívu. Tyto činitele je třeba vzít do úvahy vždy, ostatní (např. tlak vody, seismické účinky) vyžadují-li to místní podmínky, což v tomto případě není. Pokud je masív tvořen rozloženou horninou charakteru stmeleného ostrohranného písku nebo šterku lze užít pro stanovení stupně bezpečnosti svahu určitého sklonu metod mechaniky zemin. Při úvaze parametrů uvedených v předchozí kapitole, stěna maximální výšky 20 m v jednotném sklonu  $42^{\circ}$  bude mít stupeň bezpečnosti  $s = 1,3$  dostatečný k tomu, aby byla dlouhodobě stabilní. Sklon svahu za indiferentní rovnováhy (při  $s = 1$ ) vychází pak  $56^{\circ}$ .

Stabilita stěn v masivech tvořených skalními horninami je dána především smykovým odporem podél ploch oslabení - podél poruch a puklin. Stěna se udrží v maximálním, tzv. bezpečném sklonu, protínají-li roviny odlučných ploch líc stěny v jeho spádnících. Přitom se berou do úvahy pouze plochy skloněné pod větším úhlem, než je jejich úhel tření.

Vypočtené bezpečné sklony svahů jsou uvedeny v následující tabulce č. 4.

Bezpečné sklony skalních stěn

Tabulka č. 4

Úsek	Stěna	Sklon stabilní stěny
km	-	0
Vjezdový předzářez		
17,769 - 17,788	levá	76
17,788 - 17,813	levá	68
17,813 - 17,836	levá	76 (45)
17,757 - 17,794	pravá	77 (39)
17,794 - 17,813	pravá	78
17,813 - 17,836	pravá	66
17,836	čelní	82
Výjezdový předzářez		
17,918 - 17,924	levá	90
17,924 - 17,931	levá	88
17,931 - 17,941	levá	83
17,942 - 17,956	levá	77 (54)
17,956 - 17,980	levá	76
17,918 - 17,923	pravá	70
17,923 - 17,939	pravá	75 (66)
17,939 - 17,959	pravá	70 (61)
17,918	čelní	90

Uvedené hodnoty mají platnost jen v částech tvořených zdravou, navětralou nebo zvětralou horninou a vcelku odpovídají sklonům spodní části stěn zářezu. Neplatí tedy pro části tvořené horninou rozloženou, vyskytující se v poruchových pásmech a mocnějších poruchách. Hodnoty v závorkách byly určeny z řídících, t.j. nejnepríznivěji orientovaných ojedinělých ploch diskontinuity, o kterých lze však předpokládat, že vzhledem k příznivému prostorovému účinku silového působení neohrozí celkovou stabilitu.



Nepříznivý účinek prostorového působení se projevuje pouze v úseku levé stěny při výjezdovém portálu v km 17,918 60-17,924, kde dochází k bočnímu překlápění strmě uložených lavic. Pro vyloučení tohoto jevu bylo by zapotřebí zmenšit sklon skalního tělesa tohoto úseku na sklon sousedního poruchového pásma tvořeného rozloženou horninou, aby skalní těleso nemělo obnaženu boční stěnu.

## 7. STABILITA TUNELOVÉ TROUBY

Jak bylo při terenním šetření zjištěno, boky hrubého výlomu jsou vzdáleny od líce obezdívky v průměru 70 cm. Podle předaných podkladů je světlá šířka tunelu 5,6 m, vychází tedy šířka výlomu  $b = 7,0$  m. Lze předpokládat, že výška  $h_t$  výrubu bude přibližně stejná.

Tunel je vyražen ve stejných horninách, které jsou odkryty v předzářezích. Pro dimenzování obezdívky lze užít koeficienty Protodjakonova následujících hodnot

rozložená žula	$f_p = 1,5$
zvětralá žula	$f_p = 3$
navětralá žula	$f_p = 7$
zdravá žula	$f_p = 10$

za předpokladu, že se vytvoří v těchto horninách horninová klenba.

Podle Terzaghiho je k vytvoření klenby nutná výška nadloží  $1,5 (b + h_t)$ . Této podmínce vyhovuje pouze střední úsek tunelové trouby v délce cca 30 m.

Zatěžovací výšky podle Terzaghiho při úvaze uvedených rozměrů vycházejí 0,6 m pro výrub ve zdravé žule, 1,75 m v navětralé žule, 3,5 m v žule zvětralé a 8 m v žule rozložené, což odpovídá přibližně hodnotám vypočteným podle Protodjakonova.

Obezdívka tunelu, jak ukázal průzkum, nevykazuje žádných poruch v důsledku nadměrných tlaků. Poruchy zjištěné v příportálových úsecích ukazují na vliv takových axiálních sil, které jsou způsobeny rozevíráním strmých spar v nadloží a bočním tlakem zvětralin hromadících se za opěrami, případně za parapetní zídrou.

## 8. NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

Současný stav zářezů je neúnosný z důvodu nutného častého čištění prostoru od úlomků zvětralé horniny splachovaných při vydatnějších dešťových srážkách. Stabilita skalních stěn mimo poruchy a poruchová pásma, kde k uvedenému jevu dochází, je většinou uspokojivá, neboť nepříznivě orientované spáry se vyskytují jen ojediněle, a to na kratších úsecích a smyková pevnost vlastní horniny (i zvětralé) je dostatečná k tomu, aby zamezila vzniku smykových ploch ve skalním tělese omezeném strmou stěnou i do výše 20 m.

Sanaci předzářezů je možno provést následujícími způsoby:

- celkovým snížením jejich sklonu na úhel stabilního úklonu v nejméně pevných horninách - eluviích - t.j. na  $42^{\circ}$  (při zabezpečení povrchu proti dalšímu splachování ohumusováním na  $45^{\circ}$ ),
- snížením sklonu v poruchových úsecích s převažující horninou rozloženou a zabezpečení skalních úseků proti zvětrávání,
- vybudováním záchytných zdí v poruchových úsecích a zabezpečení lícních ploch skalních stěn proti zvětrávání.

Úseky vyžadující zabezpečení proti sesouvání rozložené horniny v pravé stěně jsou v km 17,757 - 17,813 a 17,918 - 17,923 a v levé stěně 17,800 - 17,813 a 17,924 - 17,931.

První způsob sanace se jeví jako nejméně výhodný, i když je nejsnáze proveditelný. Vyžaduje vylámání značného množství skalní horniny (i v úsecích s dostatečnou stabilitou) a zábor zemědělské půdy.

O výhodnosti druhého či třetího způsobu je třeba rozhodnout na základě ekonomického zhodnocení. Zábor zemědělské půdy je nutný u druhého způsobu, i když v menším rozsahu, než u způsobu prvního. Na druhé straně třetí způsob vyžaduje výstavbu opěrné zdi pro zachycení opadávajících úlomků rozvětralé horniny, a to do výše, za níž by se mohly tyto úlomky hromadit v tělese s maximálním sklonem povrchu daným úhlem tření  $35^{\circ}$ . Na tento úhel je třeba dimenzovat opěrnou zeď.

Zabezpečení skalní horniny proti zvětrávání je třeba uskutečnit u obou způsobů na čelní ploše, u druhého způsobu navíc na bočních plochách odkrytých po odtěžení rozložené horniny.

Ochrannou vrstvu vytvoří beton tl. cca 10 - 20 cm stříkaný na síť přichycené ke skalní hornině krátkými tyčovými kotvami délky 1 - 2 m.

Pokud bude nutno při sanačních pracích zasahovat do stávajících skalních stěn pomocí trhavin, je třeba postupovat velmi opatrně, aby nedošlo k nadměrnému rozvolnění masívu. Hodnoty stabilních úklonů v tabulce 4 mají platnost jen za současného stavu minimálních výlomových prací v době výstavby tunelu. Necitlivé užití dnešních účinnějších trhavin může zapříčinit značné snížení stability stěn, což může mít za následek nutné zmenšení jejich sklonů.

Portály tunelu je třeba zajistit proti zmíněným axiálním silám. Velikost těchto sil vyplyne z velikosti tlaku v klidu při uvažování Poissonova čísla  $\mu = 0,25$  jednotně pro všechny typy hornin. Tohoto cíle se nejlépe dosáhne kotvením vodorovnými případně mírně ukloněnými lanovými nebo tyčovými kotvami, lze použít mikropiloty rozmístěné po celé ploše boků portálu a čelní skalní stěny nad portálem. Délku kotev je třeba volit takovou, aby jejich kořeny byly umístěny v neporušené části masívu, tj. ve vzdálenosti minimálně 8 m od líce portálu.

Obezdivka tunelu je tvořena pravidelnými žulovými kvádry spojovanými maltou, která na mnoha místech již ze spar vypadala. Je proto nutné výplň spar mezi bloky obnovit.

Další sanační prostředek uvažovaný objednatelem - injektování prostoru za rubem obezdivky - není nevyhnutelné. Jak bylo zjištěno, prostor (aspoň v bocích) byl zakládán, takže byl zajištěn aspoň částečný kontakt obezdivky s horninou. Injektováním zakládky dojde ke zmonolitnění této výplně, na druhé straně však se výrazně omezí vodní cesty, což se nepříznivě projeví možným zvýšením tlaku na obezdivku v době nástupu podzemní vody vlivem vydatnějších srážek případně po náhlé oblevě. Z tohoto důvodu je výhodná injektáž pouze v prostoru klenby. Pokud se injektáž uskuteční v celém profilu, je třeba zabezpečit odvodnění jiným způsobem. V každém případě je třeba zachovat volný prostor v místě existujících průduchů.

## 9. ZÁVĚR

Uskutečněný průzkum měl za úkol prošetřit geologické poměry masívu v místě Dolnolučanského tunelu na trati Liberec-Tanvald a zjistit stav obezdívky tunelu. Jeho součástí bylo stanovení geotechnických vlastností a následné posouzení stability předzářezů.

Šetřením bylo zjištěno, že obezdívka tunelu je v celkem dobrém stavu vyžadující pouze vyspárování s výjimkou portálových úseků, které doporučujeme zabezpečit kotvením. Stabilita stěn předzářezů závisí na stupni narušení horniny zvětráváním. Úseky stěn ve zdravé až zvětralé hornině jsou v současné době stabilní, v hornině rozložené se sesouvají. Stěny zářezů je nutno sanovat některým ze způsobů uvedených v předloženém posudku.

Vzhledem k náročnosti sanace doporučujeme další spolupráci jak ve fázi projektové přípravy, tak i při vlastním provádění sanačních prací.

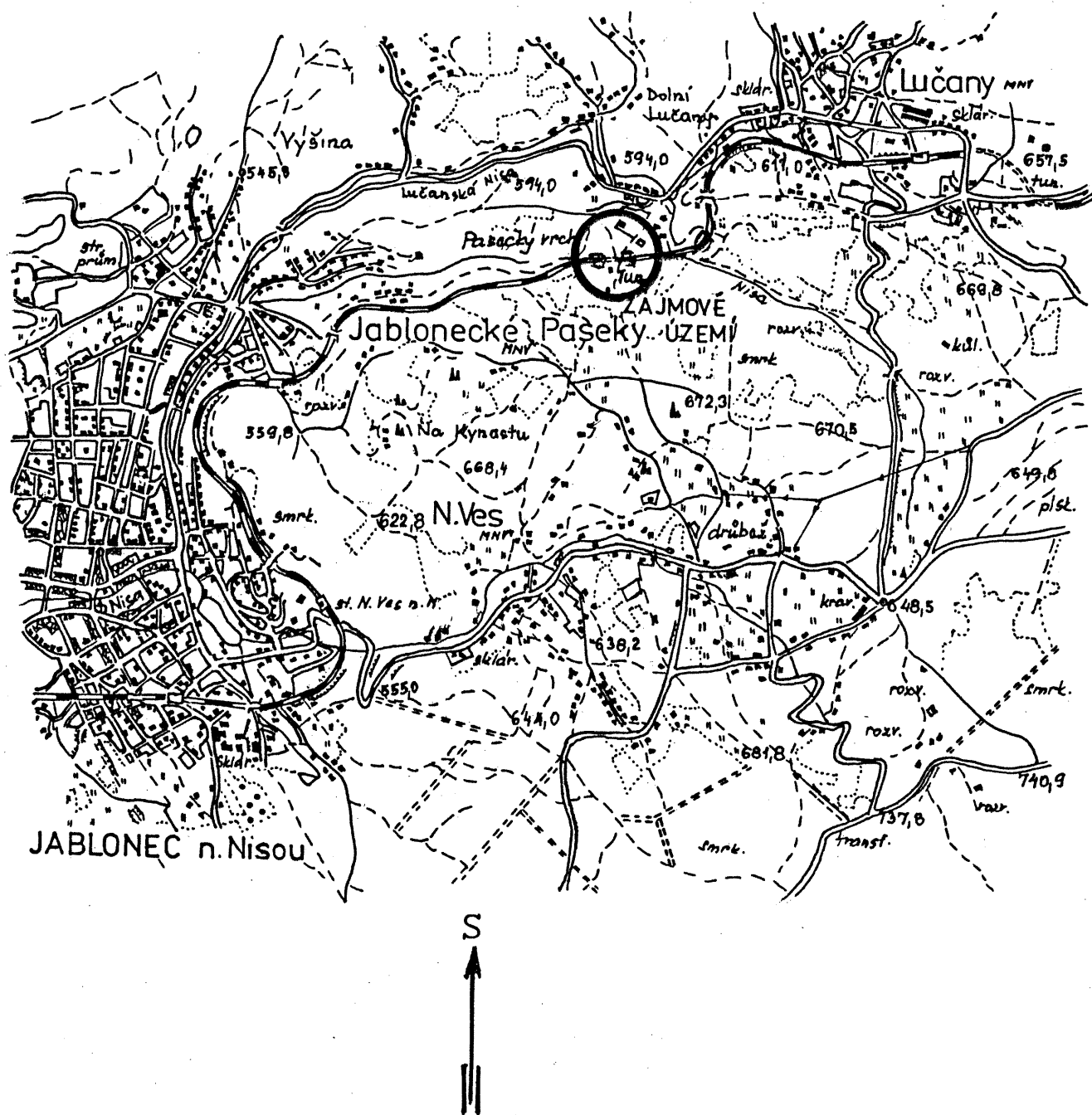
V Brně dne 28.6.1989


Zpracoval: Ing. Jiří Pavlík, CSc

Prověřila: Ing. Eva Babičová

## LITERATURA

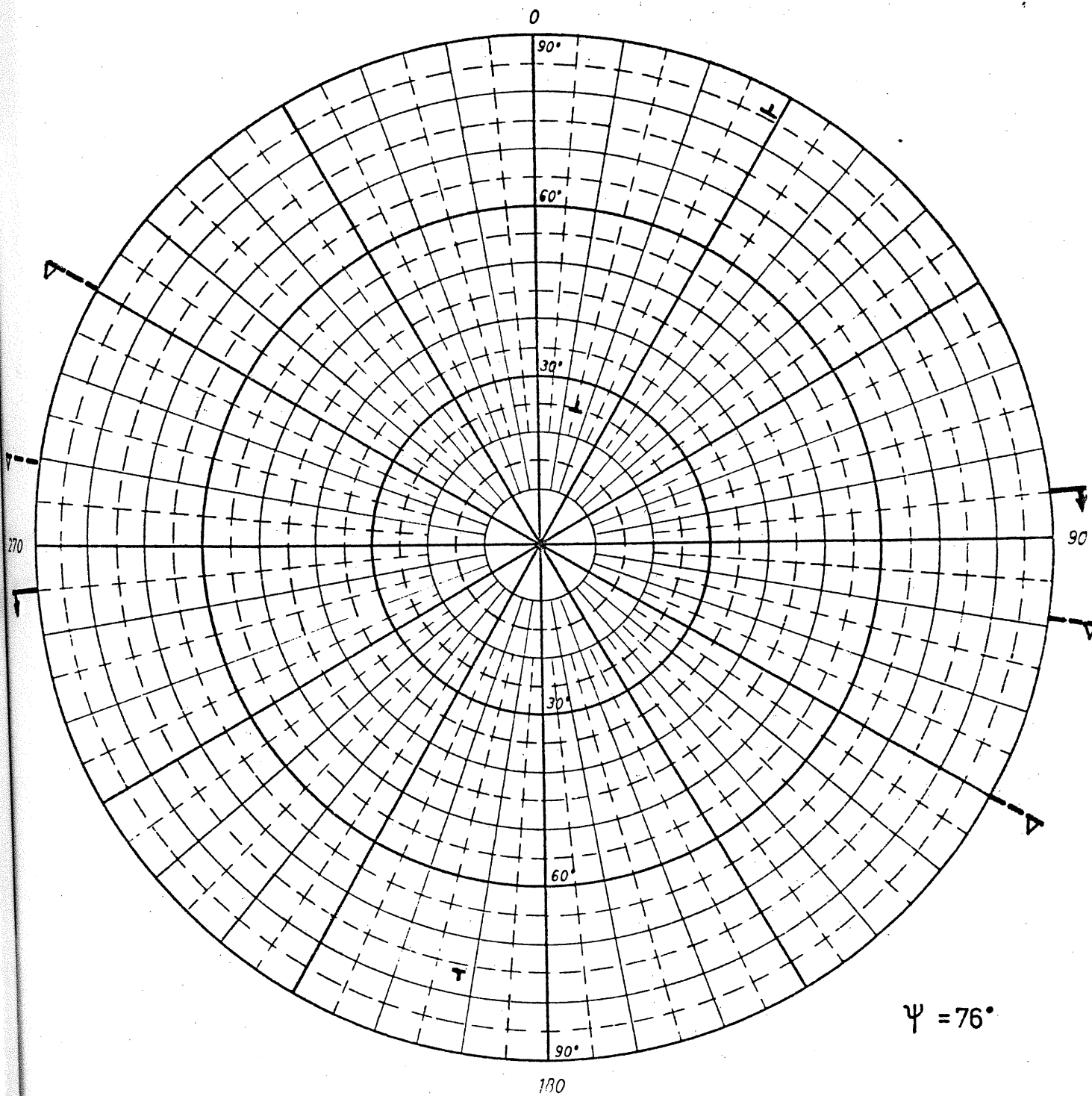
- /1/ Horák V.: Zpráva o výsledcích geotechnického průzkumu pro stanovení vlastností hornin v podzemní trase diametru A rychlé tramvaje v Brně. Geotest Brno, 1986
- /2/ Pavlík J.: Zpráva o polních zatěžovacích zkouškách. In Horský O.: Závěrečná zpráva o výsledcích inženýrskogeologického průzkumu pro přehradu na řece Kamenici u Josefova Dolu. Geotest Brno, 1971
- /3/ Pavlík J.: Přehrada Josefův Důl na Kamenici II. etapa - kamenivo. In dtto /2/
- /4/ Pavlík J.: Závěrečná zpráva o inženýrskogeologickém průzkumu pro tunel č. 6 a přilehlé objekty na trati Brno-Česká Třebová, 1977.
- /5/ Pavlík J.: Geotechnické způsoby určování stabilit skalních stěn. SNTL Praha 1981
- /6/ Pavlík J.: Zpráva o geotechnickém průzkumu pro rekonstrukci tunelu č. 8 na trati Brno-Česká Třebová. Geotest Brno, 1983
- /7/ Rech S., Hrdý J.: Zpráva o geotechnickém průzkumu pro stavbu silničních tunelů VMO v Brně - Cacovicích. Geotest Brno, 1975
- /8/ Roth Z.: Problémy horských tlaků skalních masívů z hlediska geologie. NČSAV Praha, 1954
- /9/ Svoboda J. a kol.: Regionální geologie ČSSR. Díl I. NČSAV Praha, 1964



Zodp. řešitel	Vypracoval	Kreslil	Schválil	 BRNO, tř. kpt. Jaroše 28
ING. J. PAVLÍK CSc.	ING. J. PAVLÍK CSc.	R. GALLEOVÁ	ING. E. BABIČOVÁ	
<i>Pavlik</i>	<i>Pavlik</i>	<i>Galleová</i>	<i>Babičová</i>	
Kraj: SEVEROČESKÝ	MNV LUČANY n. NISOU			
Objednatel: ŽELEZNIČNÍ STAVITELSTVÍ BRNO				
Název úkolu: LIBEREC - TANVALD , posudek				Formát A4
				Datum červen 1989
				Zak. číslo Arch. číslo 89 0140
Název přílohy: SITUACE				Měřítko 1:25 000 Č. přílohy 1

LEVÁ STĚNA

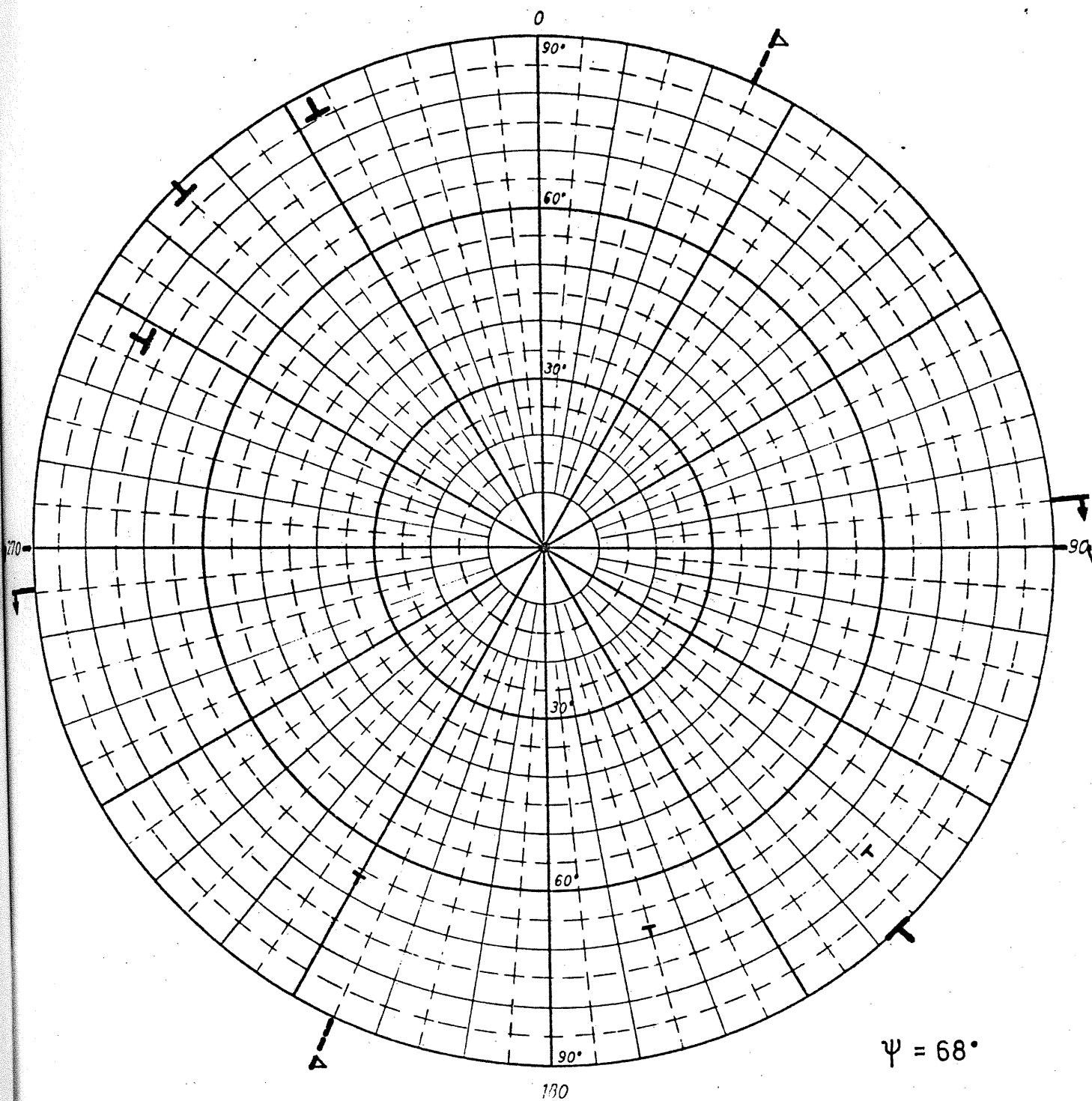
úsek km 17,769 - 17,788



príl..č. 3.1

LEVÁ STĚNA

úsek km 17,788 - 17,813

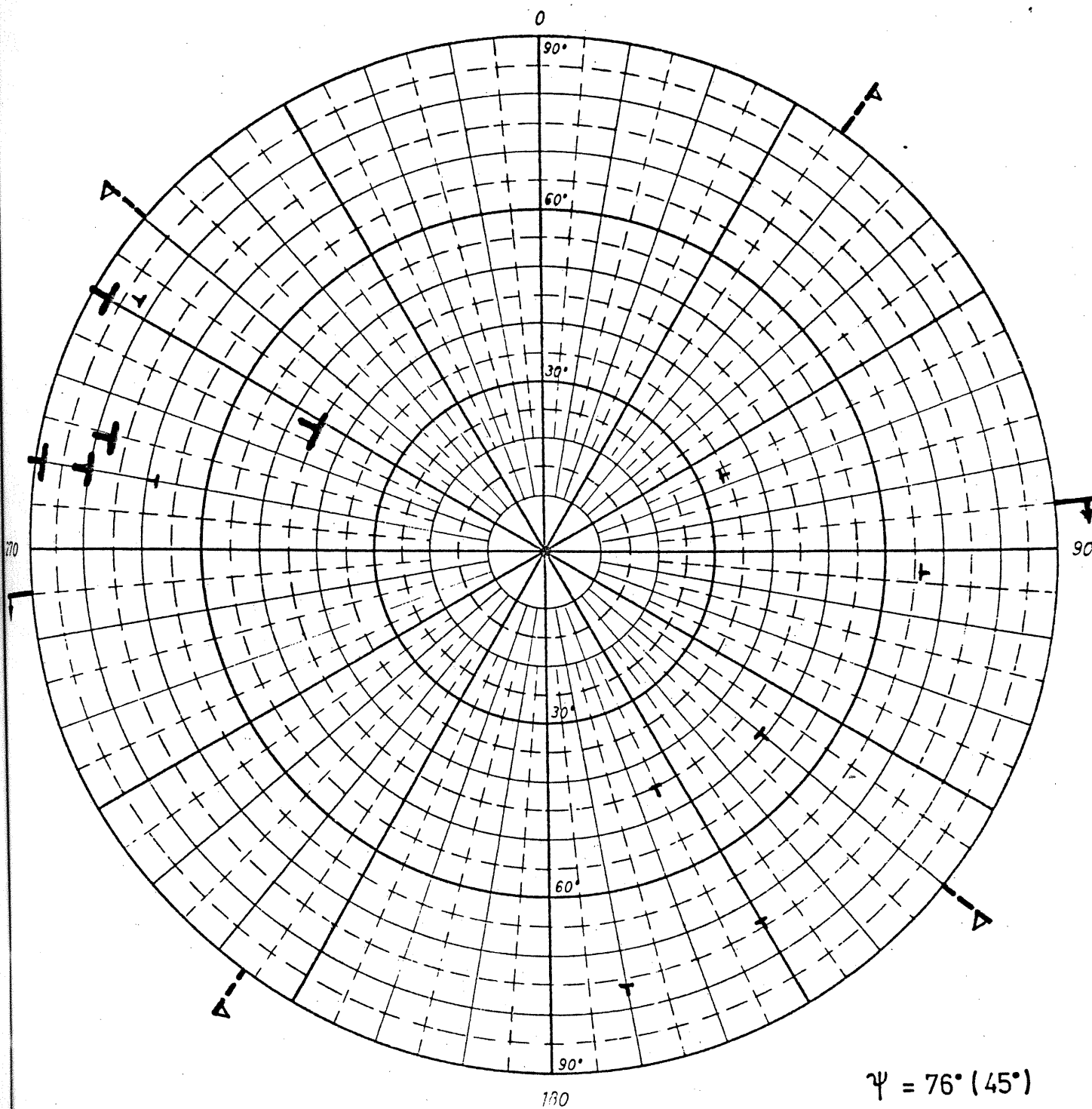


příl. č. 3.2



LEVÁ STĚNA

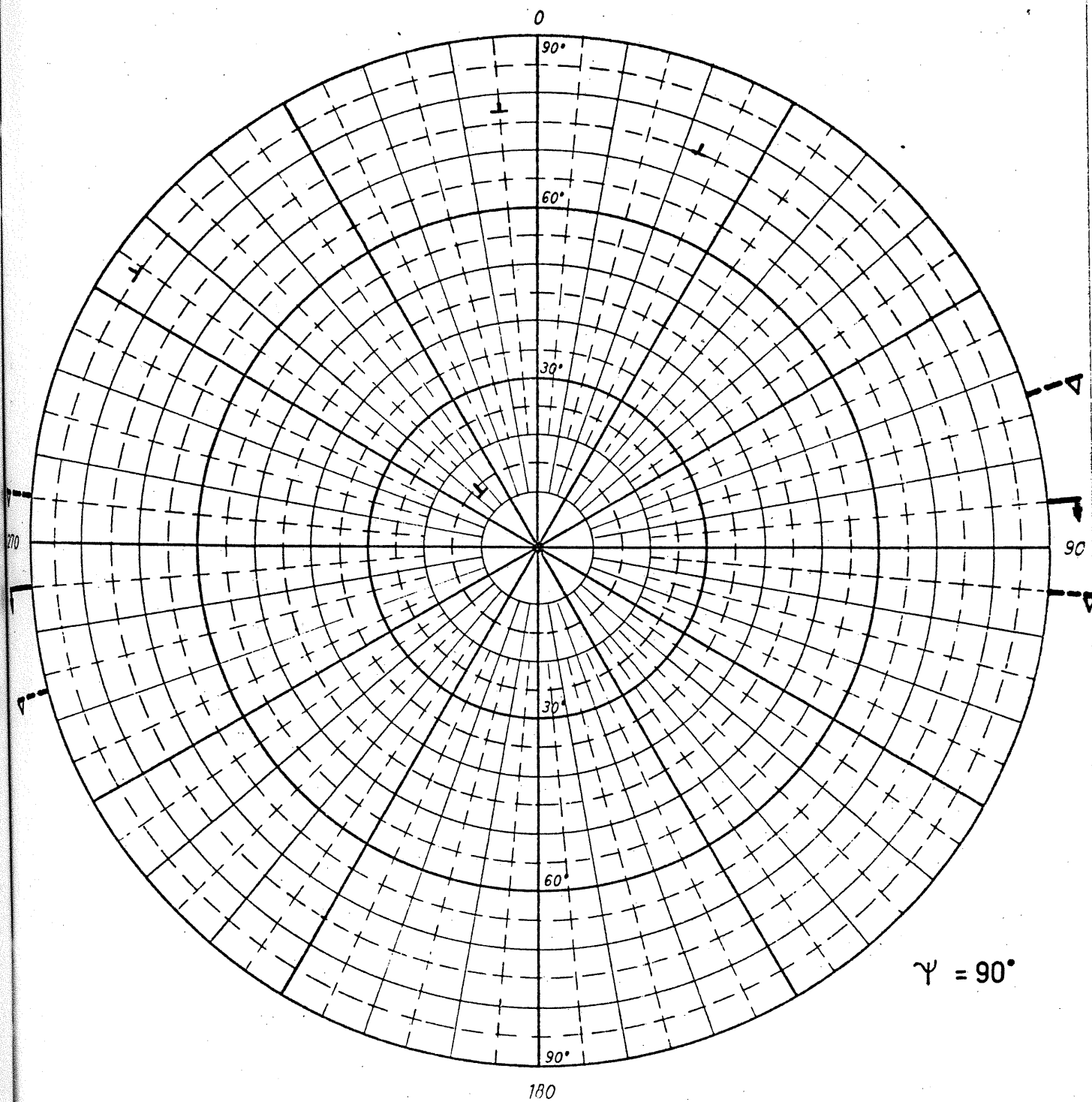
úsek km 17,813 - 17,836



příl. č. 3.3

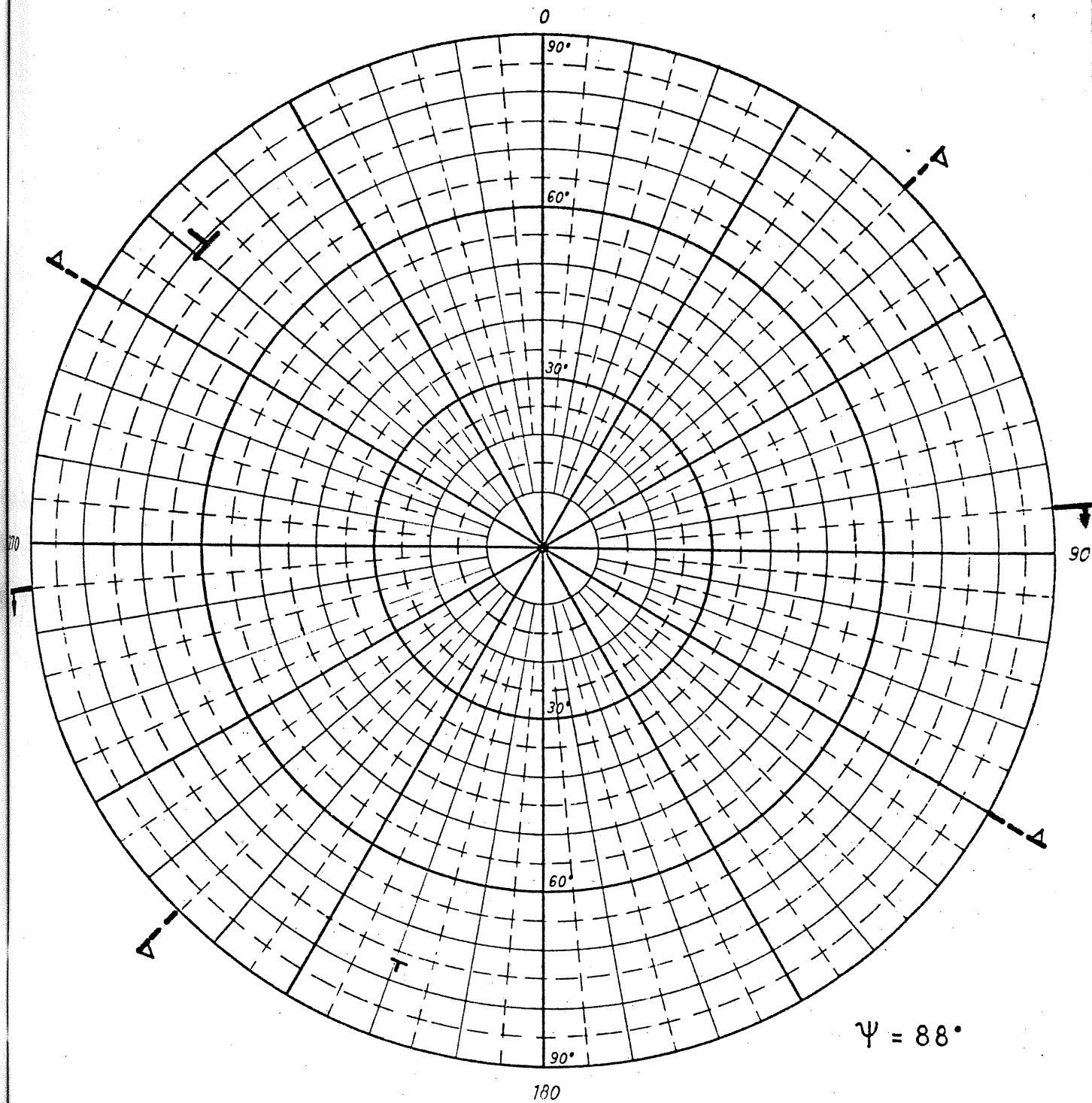
· · L E V Á   S T Ě N A

úsek km 17,918 - 17,924



LE V Á S T Ě N A

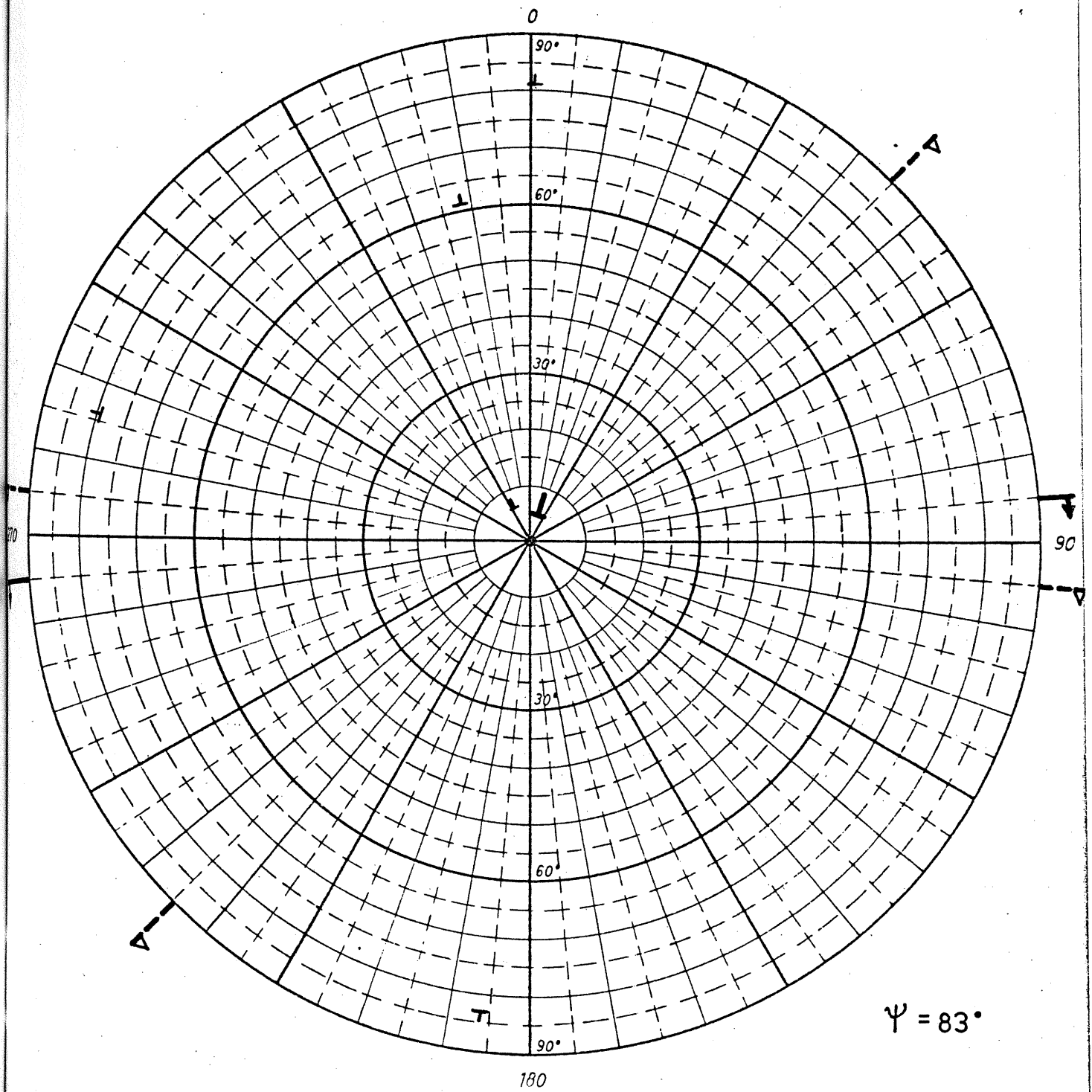
úsek km 17,924 - 17,931



příl. č. 3.5

LEVÁ STĚNA

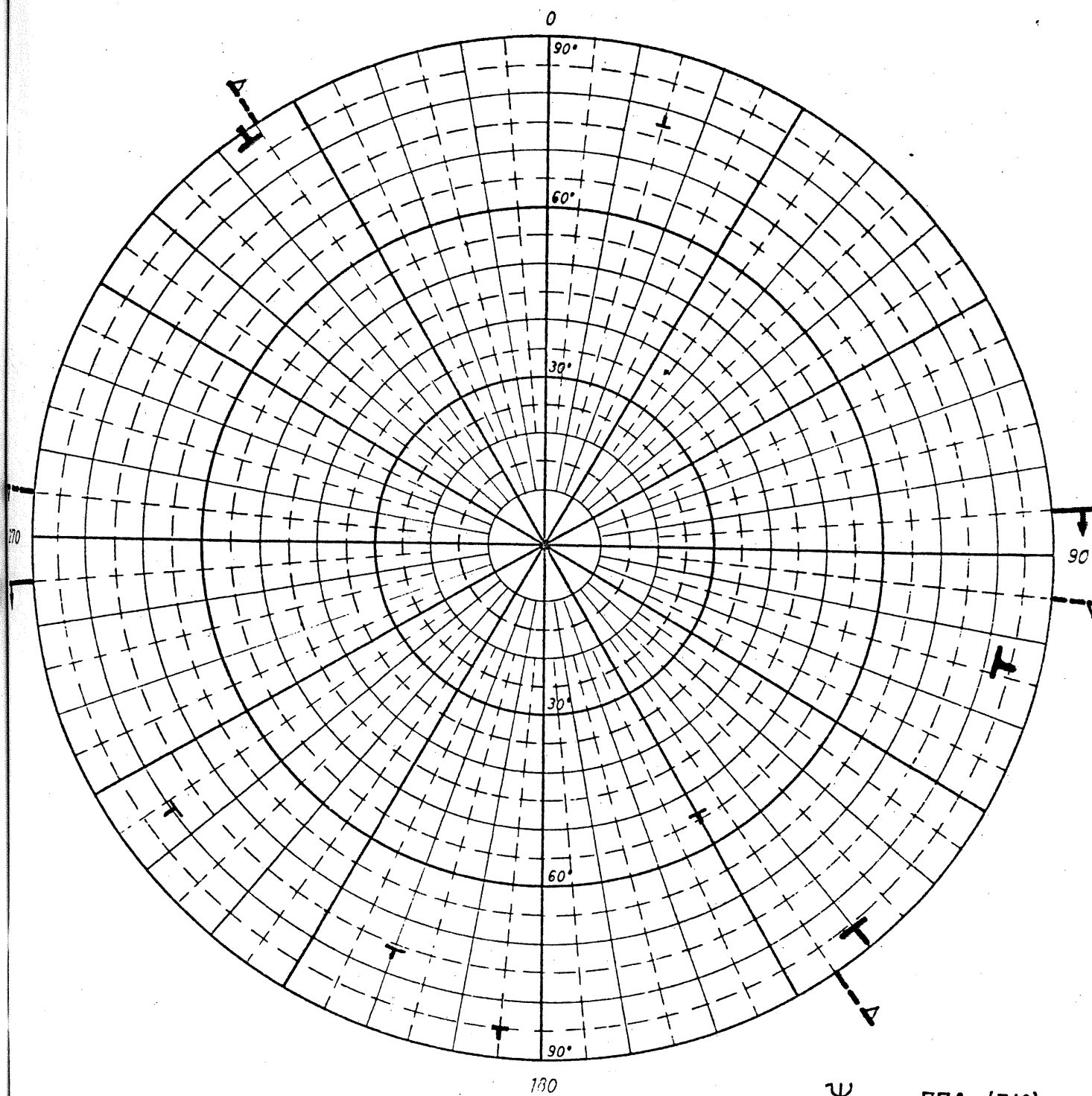
úsek km 17,931 - 17,942



příl. č. 3.6

LE V Á      S T Ě N A

úsek km 17,942 - 17,956

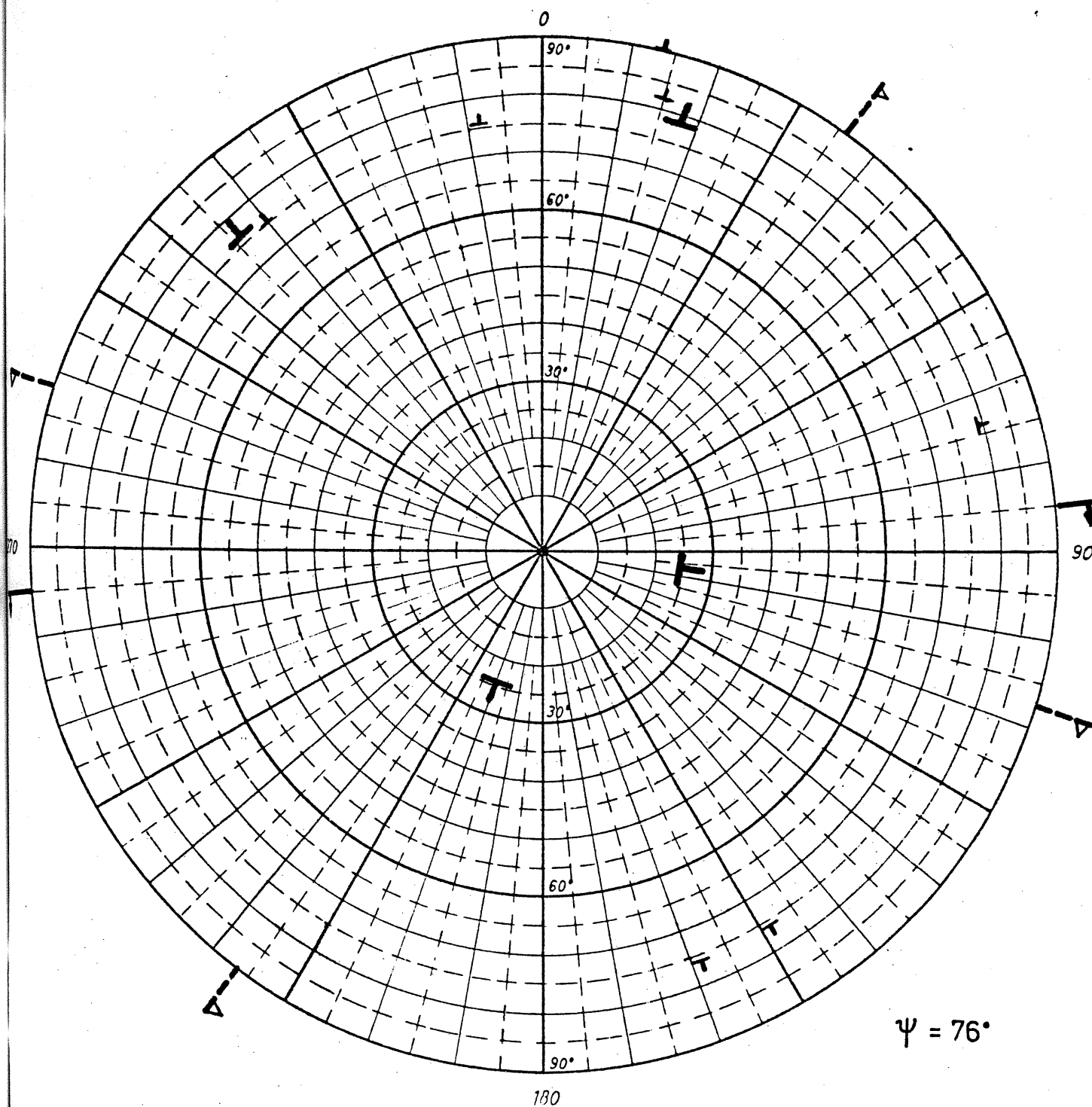


$$\psi = 77^\circ \quad (54^\circ)$$

příl. č. 3.7

LE V Á      S T Ě N A

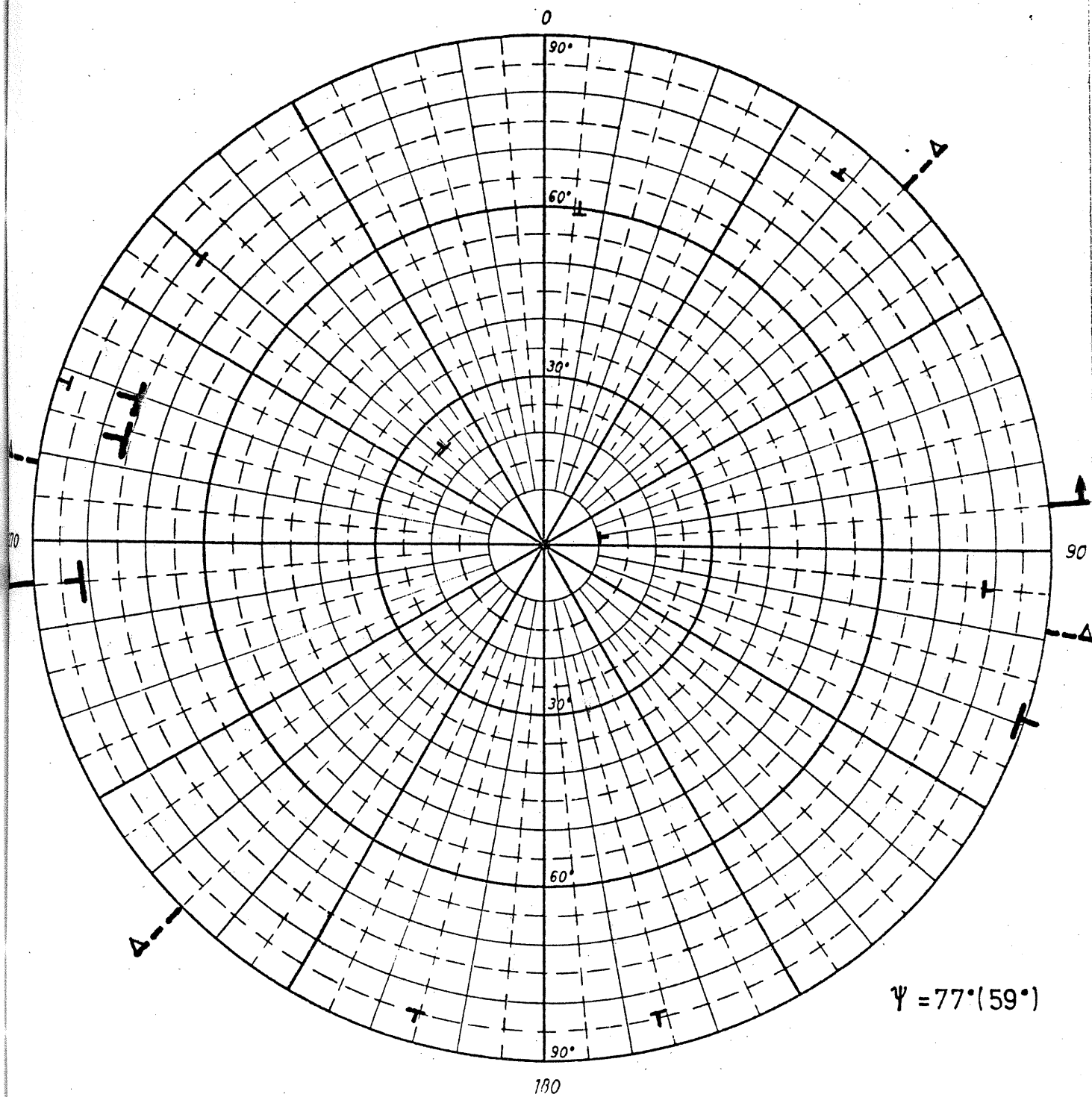
úsek km 17,956 - 17,980



příl. č. 3. 8

.. P R A V Á S T Ě N A

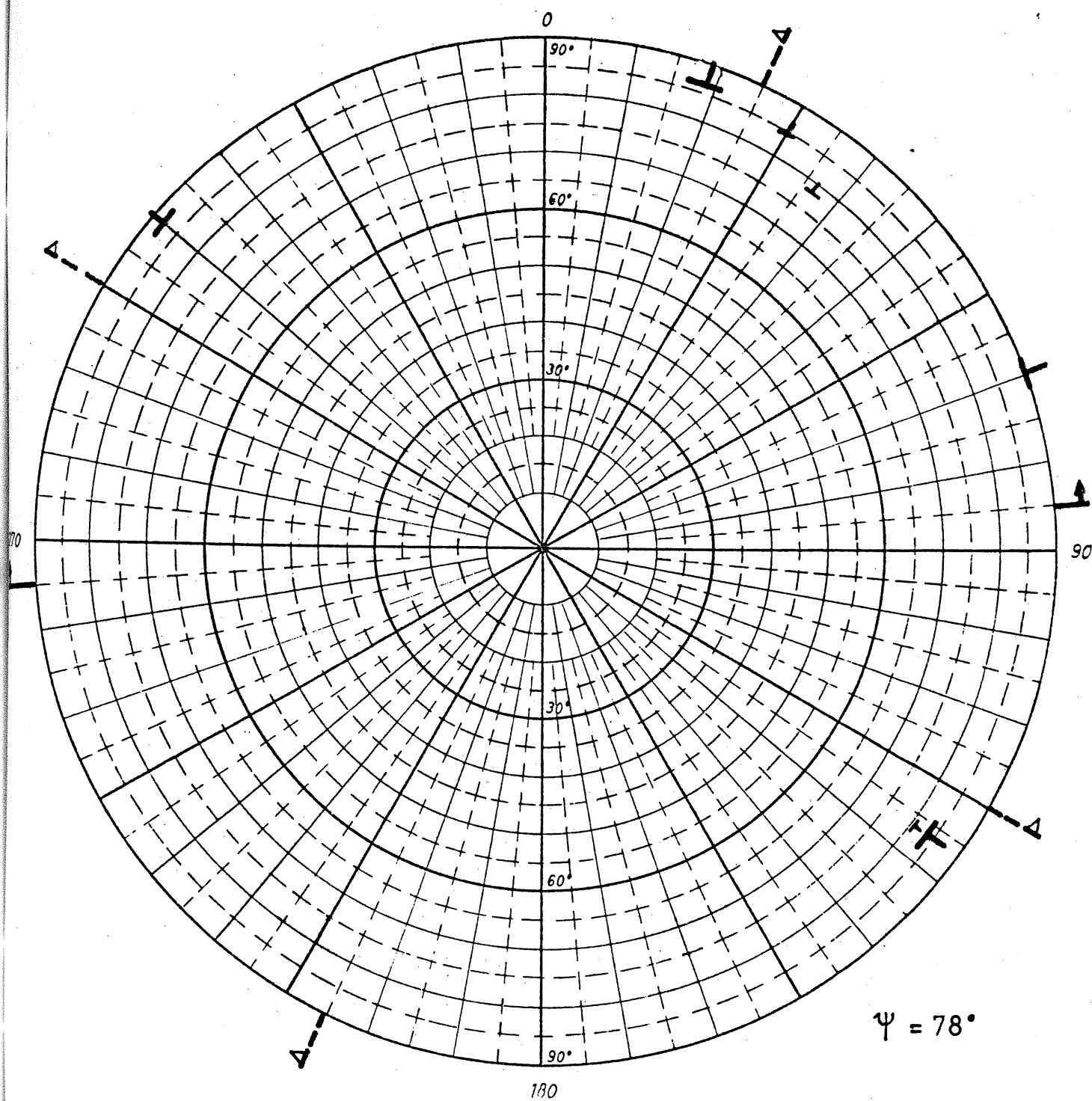
úsek km 17,757 - 17,794



příl.č. 3,9

P R A V Á   S T Ě N A

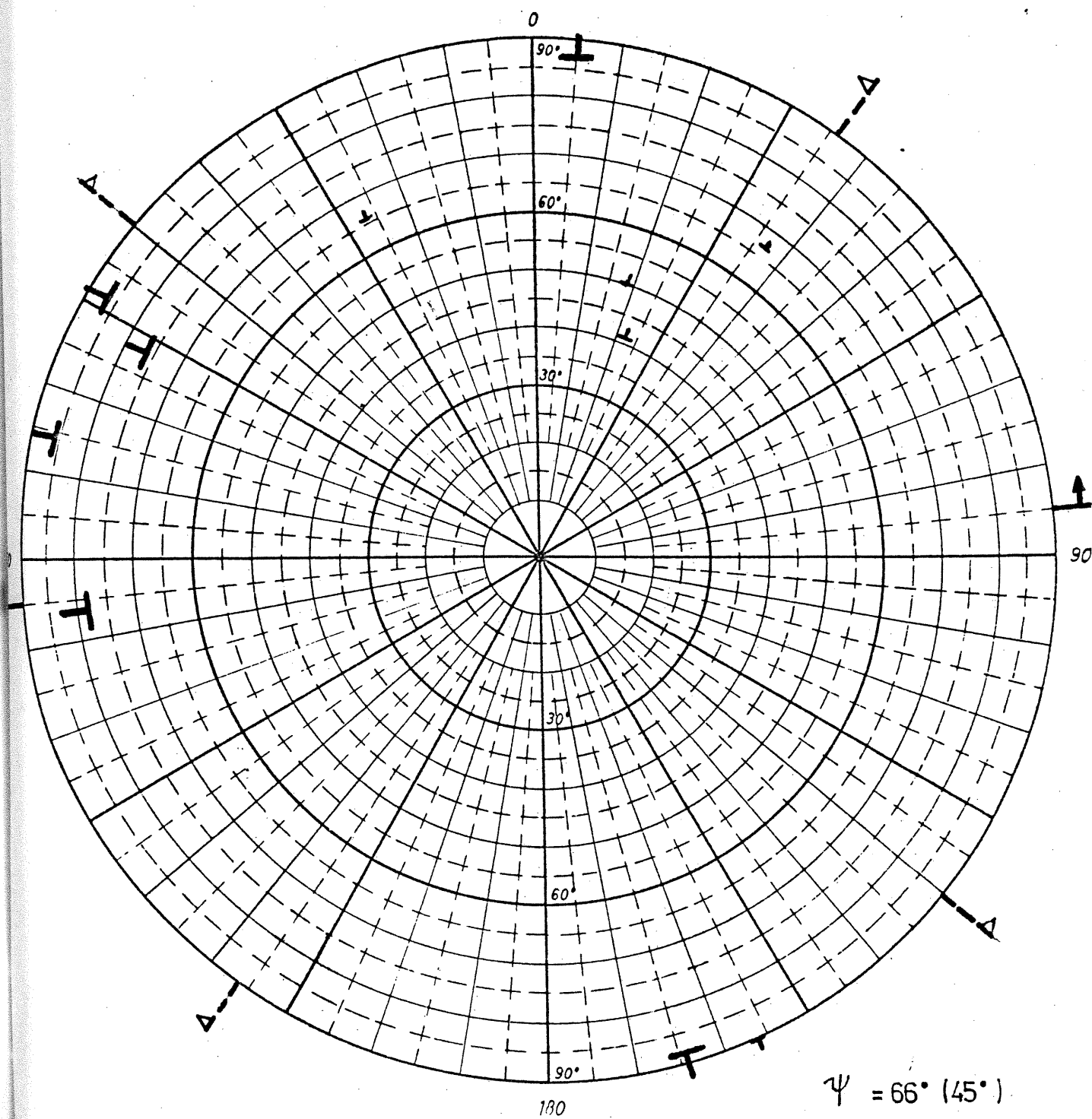
úsek km 17,794 - 17,813



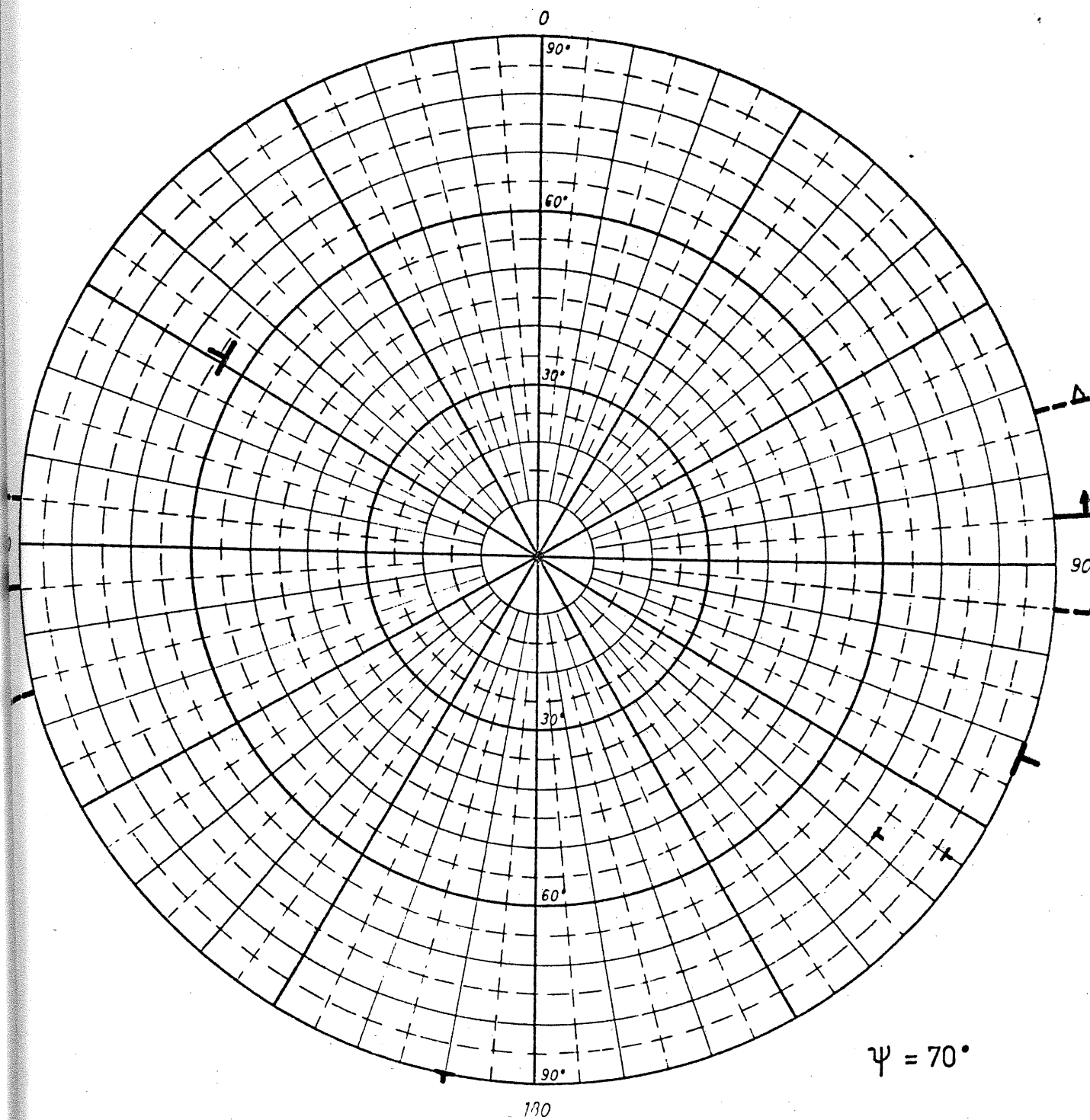


P R A V Á    S T Ě N A

úsek km 17,813 - 17,836



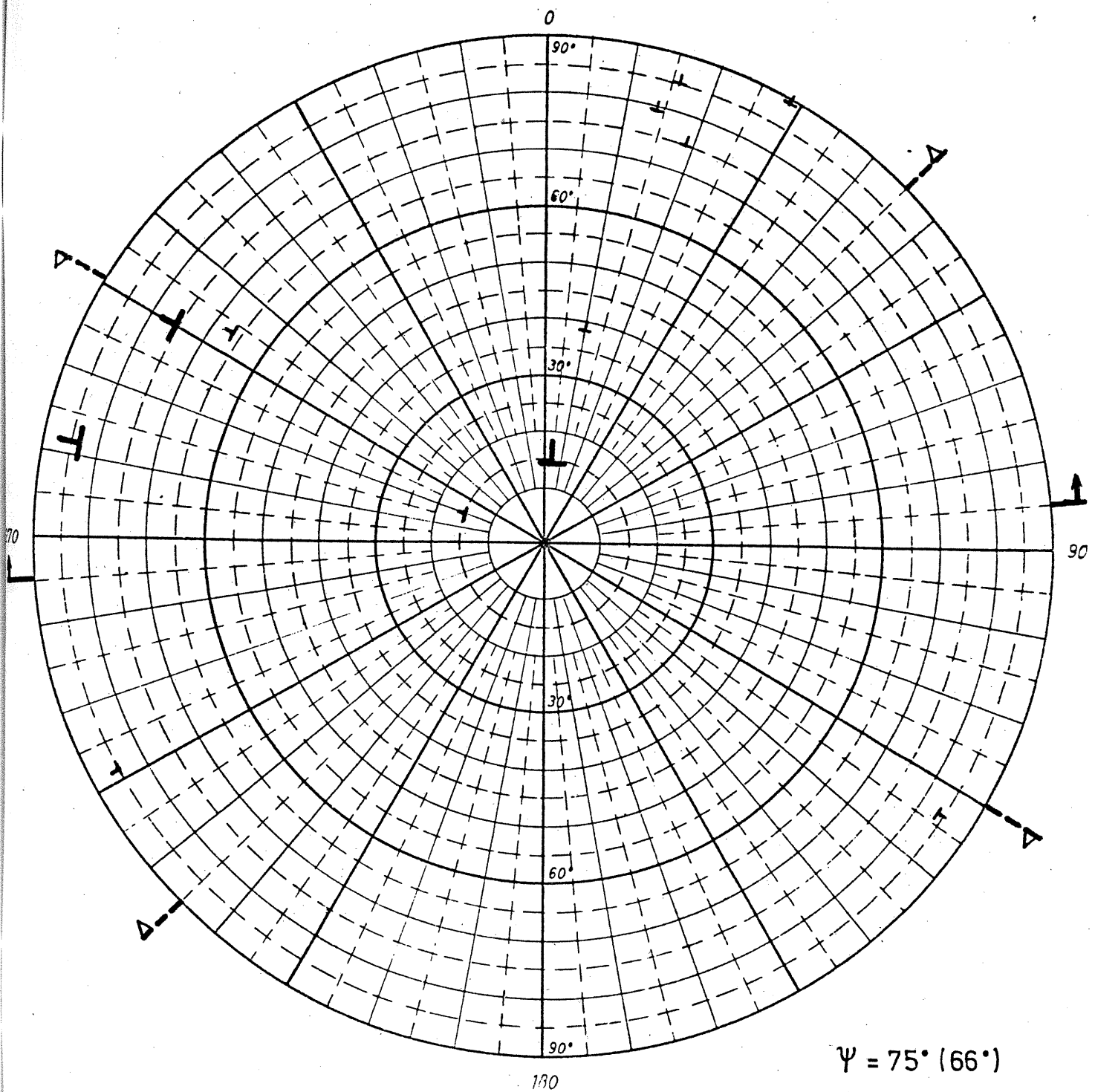
úsek km 17,918 - 17,923



příl. č. 3.12

P R A V Á S T Ě N A

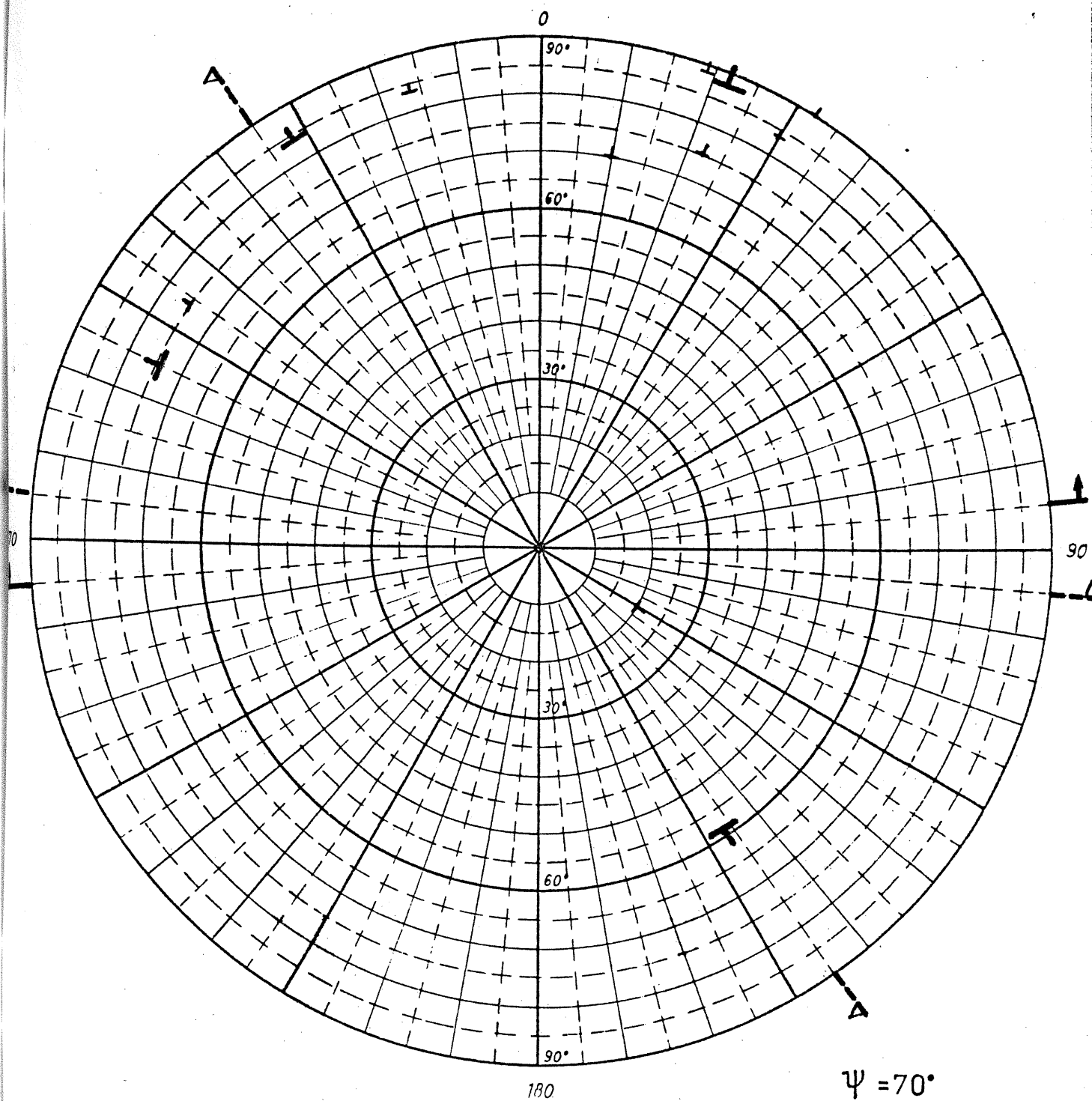
úsek km 17,923 - 17,939



příl. č. 3.13

P R A V Á   S T Ě N A

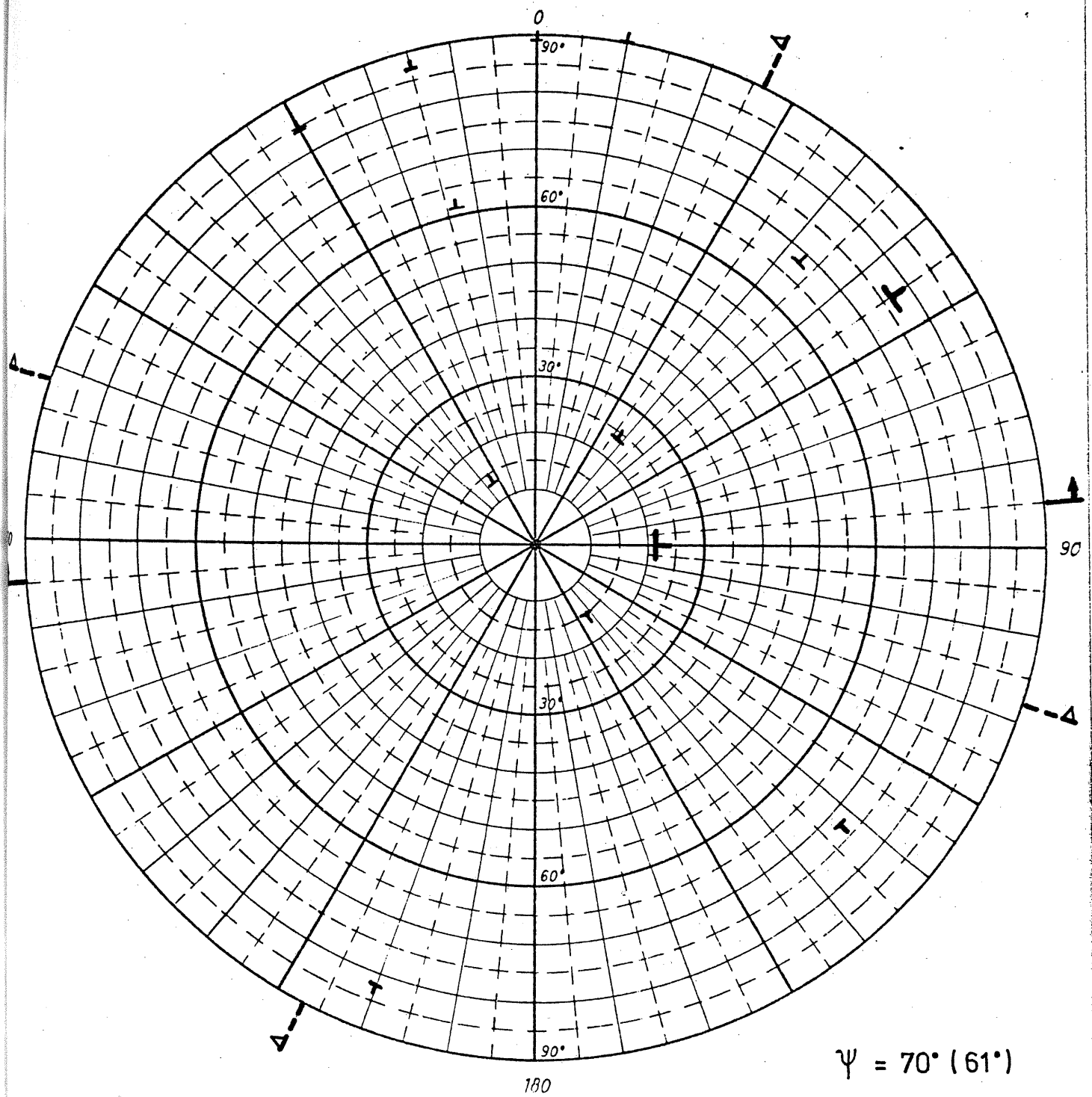
úsek km 17,939 - 17,959



příl. č. 3. 14

P R A V Á   S T Ě N A

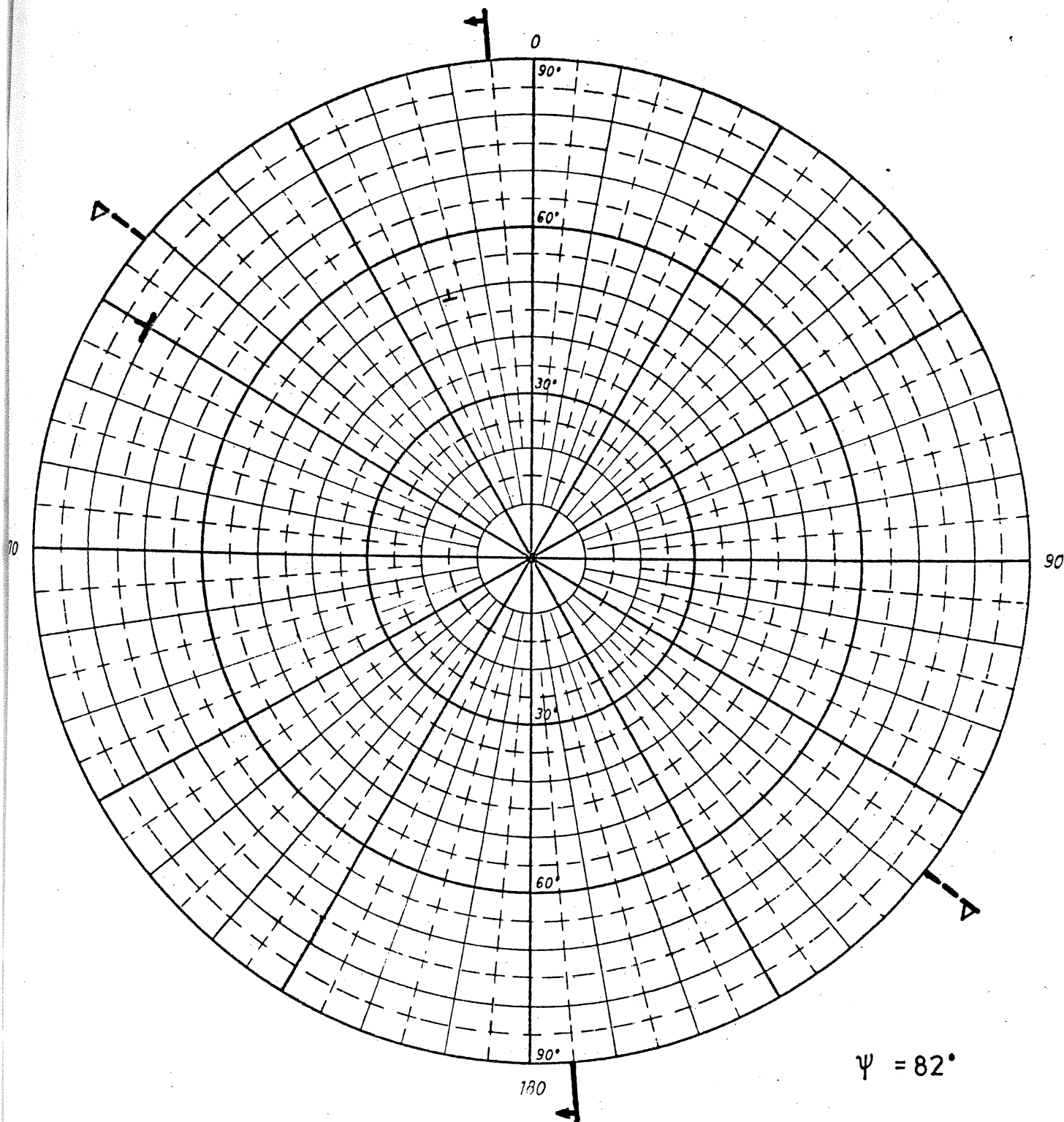
úsek km 17,959 - 17,974



příl. č. 3.15

ČELNÍ STĚNA VJEZDOVÉHO  
PORTÁLU

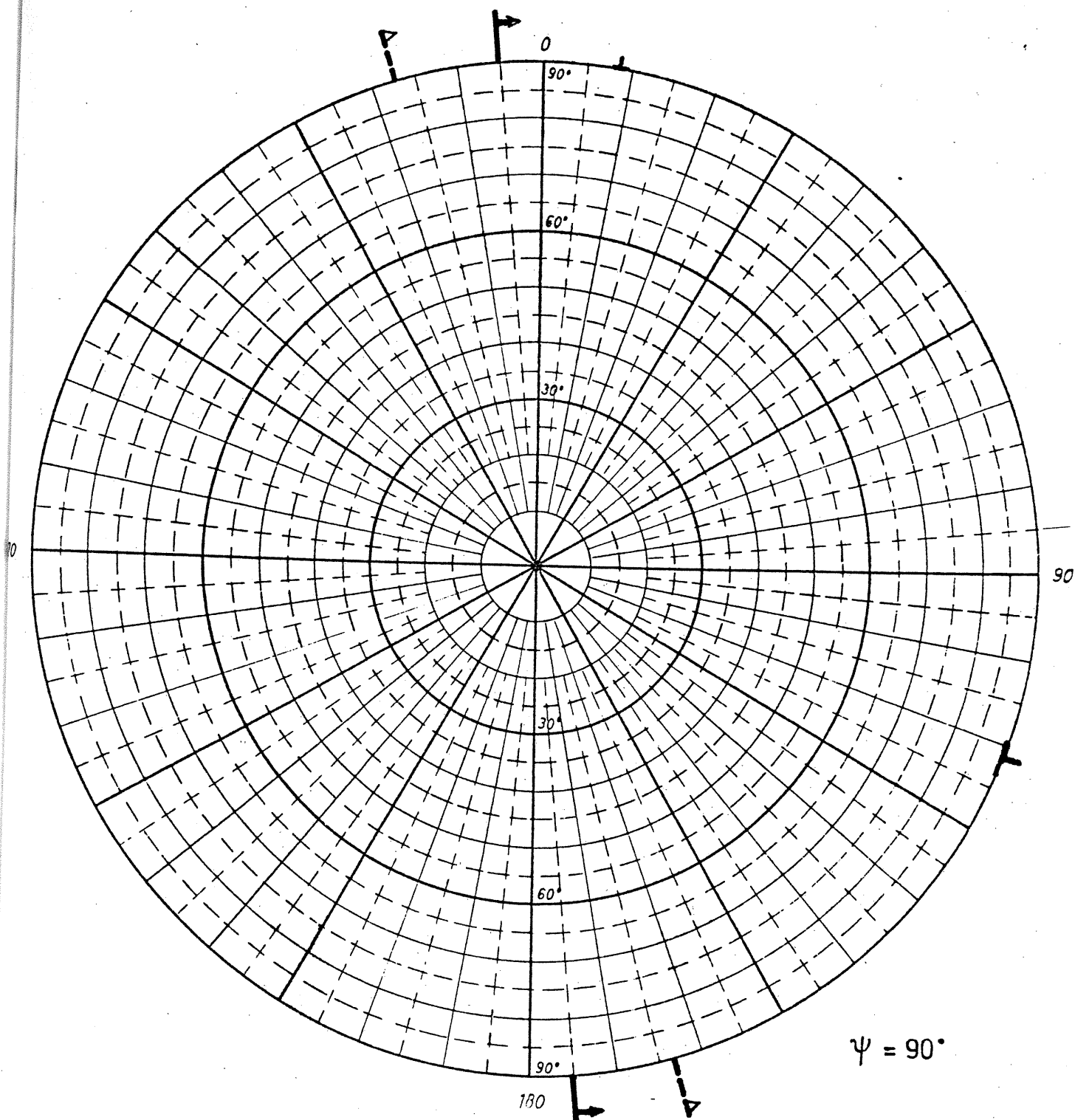
km 17,836




příl. č. 3.16

ČELNÍ STĚNA VÝJEZDOVÉHO  
PORTÁLU

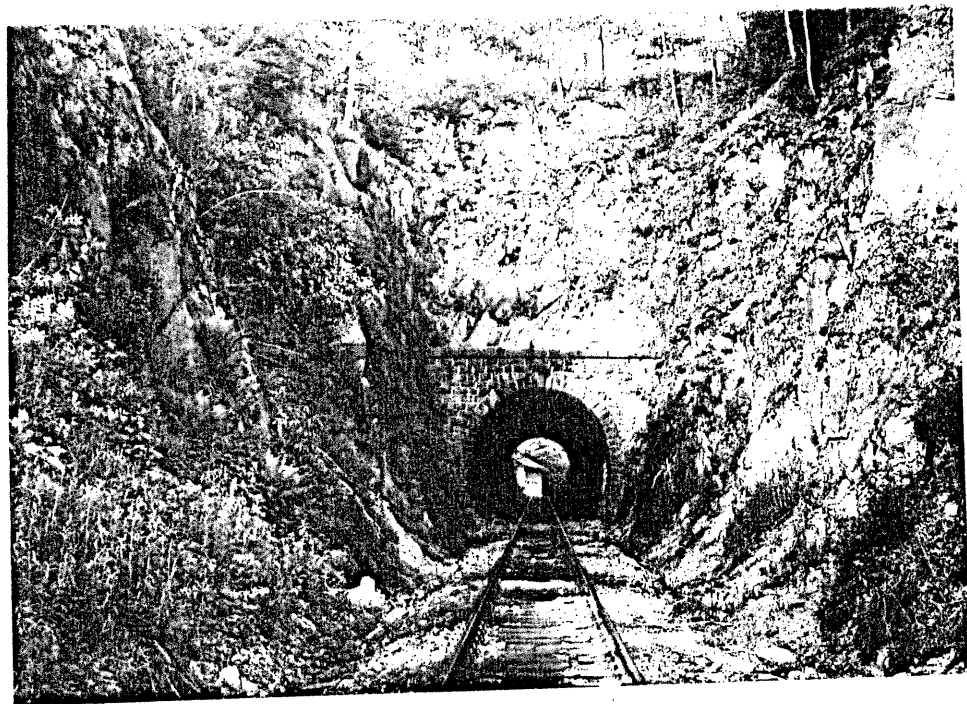
km 17,918



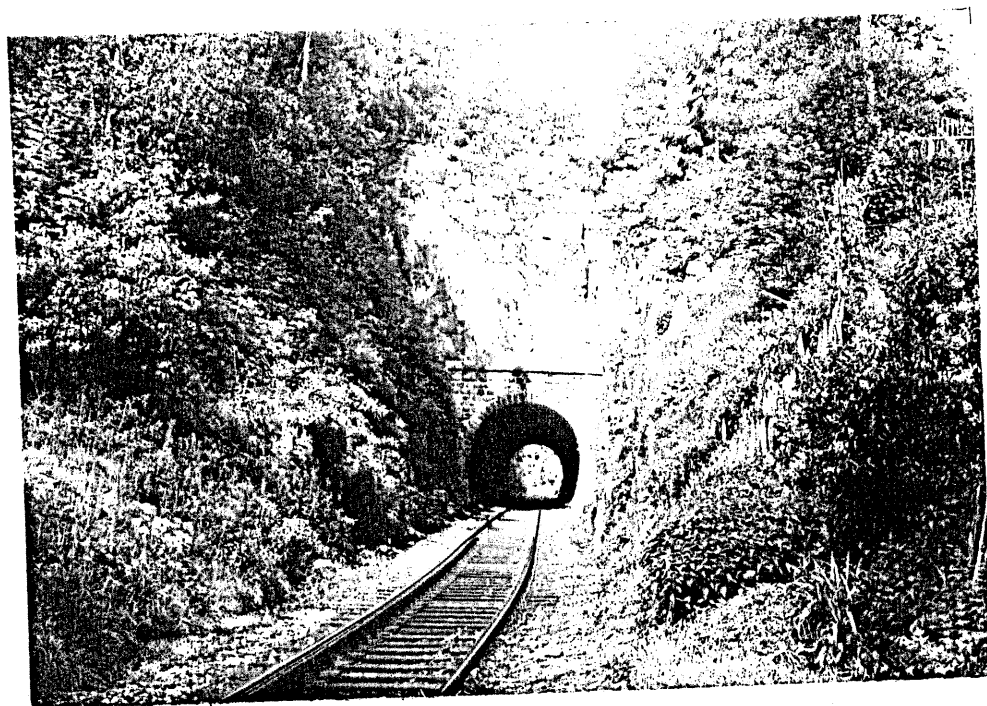
příl. č. 3.17

Zodp. řešitel	Vypracoval	Kreslil	Schválil	 BRNO, tř. kpt. Jaroše 28	
ING.J.PAVLÍK,CSc.	ING.J.PAVLÍK,CSc.		ING.BABIČOVÁ		
<i>Pavel Pavlík</i>	<i>Pavel Pavlík</i>		<i>Babičová</i>		
Kraj: SEVEROČESKÝ	MNV LUČANY n. NISOU				
Objednatel: ŽELEZNIČNÍ STAVITELSTVÍ BRNO					
Název úkolu: LIBEREC - TANVALD, posudek				Formát	A 4
				Datum	červen 1989
Název přílohy: FOTOGRAFICKÁ DOKUMENTACE				Zák. číslo Arch. číslo	89 0140
				Měřítko	Č. přílohy 4





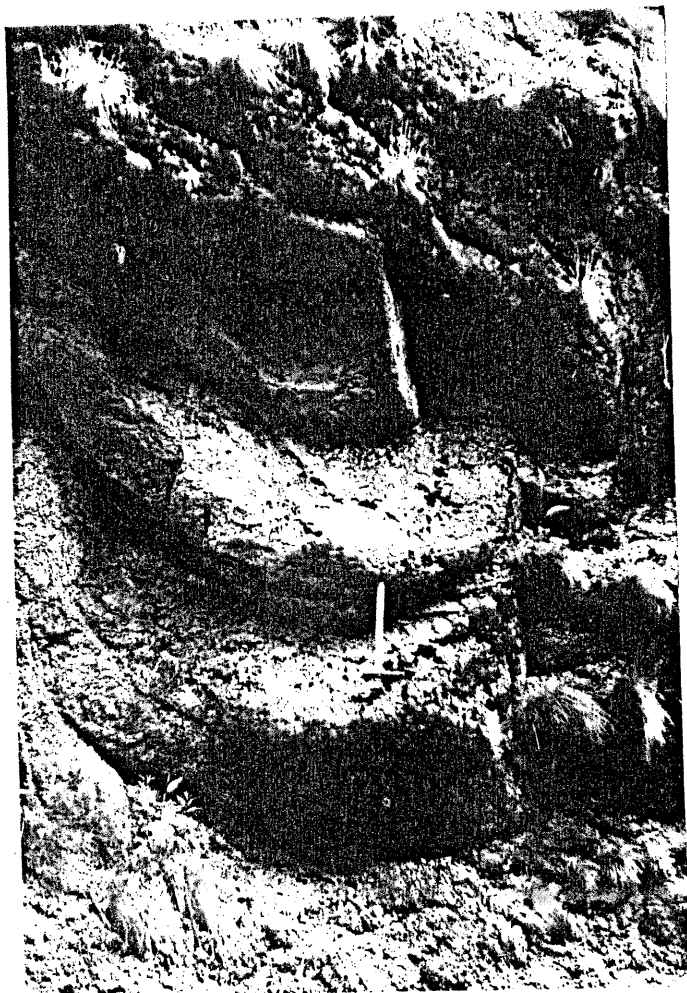
Obr.č. 1 - Vjezdový předzářez s poruchami vytvářejícími  
úžlabí v levé stěně v km 17,802 - 17,813



Obr.č. 2 - Celkový pohled na výjezdový předzářez

Obr.č. 3

Porucha v pravé stěně vjezdového předzářezu vytvářející úžlabí v km 17,794 - 17,813



Obr.č. 4

Vyjíždění bloků horniny podél ploch vycházející z pravé stěny vjezdového předzářezu v km 17,820-17,824

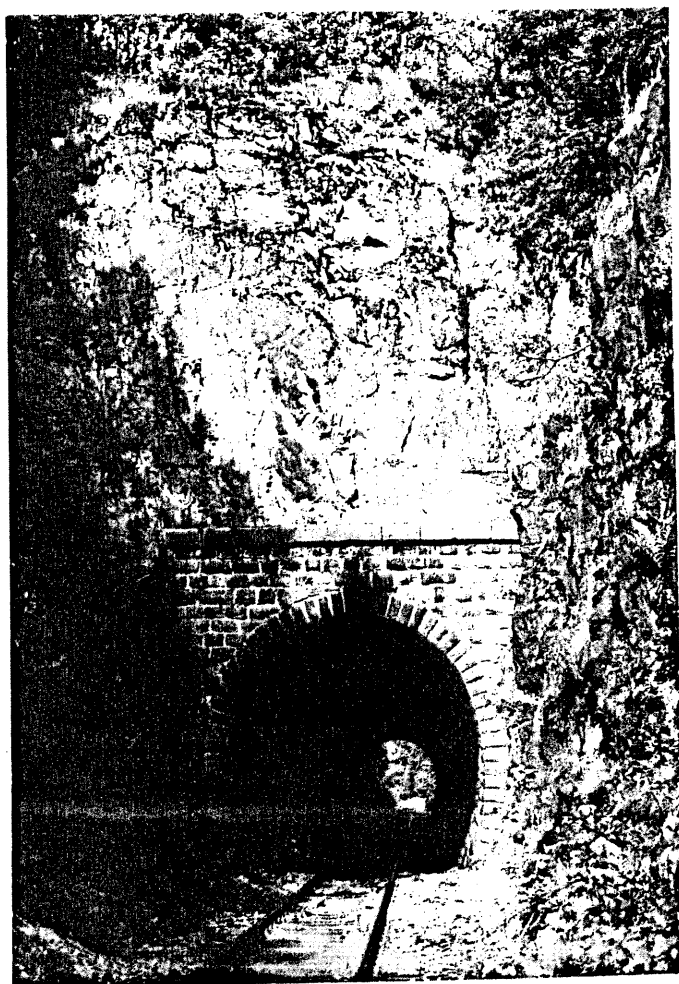


Obr. č.5

Porucha orientace 301/64  
v horní části pravé stěny  
výjezdního předzářezu v  
úseku km 17,918 - 17,923

Obr. č.6

Čelní stěna výjezdového  
předzářezu





Obr. č. 7 - Úžlabí v pravé stěně výjezdního předzářezu  
v km 18,918 - 17,923