

POVRCHOVÉ DOBÝVACÍ STROJE A ZAŘÍZENÍ

3. (otázky ke státním zkouškám, 21.-26.-8, Využívání zdrojů stavebních nerostných surovin, Ostrava)

1. Dozery – rozdělení, tažná síla, silový rozbor, základní konstrukční celky, technologie práce, výkonnost.
2. Skrejpy – rozdělení, tažná síla, silový rozbor, základní konstrukční celky, technologie práce, výkonnost.
3. Grejdry, rýhovače, rozrývače – rozdělení, základní konstrukční celky, pracovní nástroj, silový rozbor.
4. Lopatové nakladače – rozdělení, konstrukční celky, pracovní zařízení, silový rozbor, hydraulické obvody, technologie práce, výkonnost, stabilita.
5. Hydraulická lopatová rýpadla – rozdělení, konstrukční celky, pracovní zařízení, rozbor sil na pracovní zařízení, stabilita, výkonnost.
6. Lopatová rýpadla a lanová lopatová rýpadla – konstrukční celky, pracovní zařízení, konstrukční řešení zařízení, konstrukční řešení pohonu výsuvu násady, výkonnost.
7. Dragline – konstrukční provedení výložníku a vlečného korečku, podmínka vniknutí vlečného korečku do zeminy.
8. Plovoucí lopatová rýpadla a dragline – druhy, základní celky, nasazení.
9. Vrtací stroje a lomové vrtací soupravy – vrtatelnost, základy teorie vrtání, konstrukční celky, pracovní zařízení a pracovní nástroje, nasazení hydraulických bouracích kladiv.
10. Korečková rýpadla – rozdělení, základní konstrukční uzly, pohon turasu, korečkový výložník, výpočet výkonnosti pohonu turasu, technologie práce.
11. Korečková rýpadla plovoucí a elevátory – konstrukční celky, nasazení a technologie práce
12. Kolesová rýpadla – rozdělení, základní konstrukční celky, špička kolesa, konstrukce kolesa, pohon kolesa, výkonnost.
13. Sací rýpadla (bagry) – konstrukční celky, rozrývací orgán, hydropneumatická těžba.
14. Kompaktní kolesová rýpadla a povrchové kombajny. /
15. Technika zakládání – rozdělení výsypek s ohledem na používanou techniku, zakladače kolejové a pásové, shazovací vůz.
16. Lanové a vyřezávací pily – rozdělení, podstata a princip práce, konstrukční celky.
17. Propalovací soupravy a hydromonitory – technologie nasazení, podstata a princip dobývání, rozdělení hydromonitorů.
18. Zhutňovací stroje – rozdělení, nasazení, konstrukční celky.
19. Stroje pro lesnickou a zemědělskou rekultivaci.
20. Skládkové stroje – rozdělení, technologie sypání, funkční možnosti, konstrukční celky.
21. Housenicové podvozky zemních strojů – systémy a typy, řízení housenic, výkon pohonu housenic.
22. Kolové podvozky zemních strojů – základní charakteristiky zeminy, konstrukce, stabilita.
23. Kolejové, kráčivé a dvojcestné podvozky zemních a těžebních strojů – konstrukce, jízdní odpor.
24. Otoč horní stavby zemních a těžebních strojů – rozdělení podle konstrukce, konstrukční provedení jednotlivých variant, pohon otoče a jeho výkon.
25. Stroje pro drcení – rozdělení podle konstrukčních provedení, základní celky, teorie drcení.
26. Stroje pro mletí – rozdělení, konstrukční celky.
27. Stroje pro sekundární dělení a zpracování kamenických výrobků.
28. Technická vybavenost strojů pro zemní práce – bezpečnost práce, ergonomie, druhy ochranných konstrukcí, stabilita, doplňková a pomocná zařízení.
29. Základní zásady provozu a údržby strojů a zařízení – systémy údržby, druhy oprav, klasifikace poruch, organizační postavení údržby, základní části údržby, knihy o stroji, revizní a kontrolně inspekční činnost.
30. Technologické celky, technologické sestavy – výkonnost, podmínky nasazování, technické složení.

STROJE PRO ZEMNÍ PRÁCE SILNIČNÍ STROJE

Karel Jeřábek
František Helebrant
Josef Jurman
Věra Voštová

Oponenti: Prof. Ing. Josef HOJDAR, Dr.h.c.
Prof. Ing. Ján FABIÁN, CSc.
Ing. Antonín VANĚK

© Doc. Ing. Karel Jeřábek, CSc., 1996
Doc. Ing. František Helebrant, CSc., 1996
Doc. Ing. Josef Jurman, CSc., 1996
Doc. Ing. Věra Voštová, CSc., 1996

Obsah

ÚVOD	13
A. STROJE PRO ZEMNÍ PRÁCE	15
1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY ZEMNÍCH PRACÍ	15
1.1 Charakter a společenský význam zemních prací	15
1.2 Projekt zemního díla a zemní práce jako proces	17
1.3 Druhy zemních děl a zemních prací s přiřazením strojů	19
2. OBECNĚ TECHNOLOGIE ZEMNÍCH PRACÍ A KONCEPCE STAVBY STROJE PRO ZEMNÍ PRÁCE	20
2.1 Technologie zemních prací	20
2.2 Základní typy strojů pro zemní práce, jejich použití a parametry z hlediska technologie zemních prací	21
2.3 Koncepce konstrukční stavby strojů pro zemní práce	23
3. PRACOVNÍ NÁSTROJE TĚŽEBNÍCH STROJŮ A JEJICH VZÁJEMNÉ ÚČINKY SE ZEMINOU	27
3.1 Způsoby rozpojování zemin a jejich energetická náročnost	27
3.2 Základní tvary a geometrie nástrojů	27
3.3 Silové účinky mezi nástrojem a zeminou	29
4. POHONY STROJŮ PRO ZEMNÍ PRÁCE	35
4.1 Vnější charakteristiky pracovních mechanismů a charakteristiky zdrojů energie	35
4.2 Druhy pohonů a jejich použití	41
4.2.1 Pohony s mechanickým přenosem energie	42
4.2.2 Pohony s hydrostatickým přenosem energie	43
4.2.3 Hydrodynamické převody	53
5. SYSTÉMY ŘÍZENÍ A OVLÁDÁNÍ STROJŮ	60
5.1 Přehled a rozdělení systémů řízení a ovládání strojů	60
5.2 Systémy řízení směru jízdy	60
5.2.1 Stroje s pásovým podvozkem	60
5.2.2 Stroje s kolovým podvozkem	63
5.3 Servořízení	65
5.4 Nivelační zařízení pro vedení pracovních nástrojů	67

Stroje pro zemní práce a silniční stroje

5.4.1 Stabilizovaná základna mimo konstrukci stroje	68
5.4.2 Stabilizovaná základna jako součást konstrukce stroje	68
5.4.3 Snímače polohy	69
5.5 Řízení strojů pomocí laseru	69
5.5.1 Vizuální způsob kontroly polohy pracovního nástroje	70
5.5.2 Fotoelektrický způsob kontroly polohy pracovního nástroje	70
5.5.3 Fotoelektrické snímače polohy	71
5.6 Dálkové ovládání strojů	71
6. PODVOZKY STROJŮ PRO ZEMNÍ PRÁCE	72
6.1 Požadavky na podvozky a rozdělení podvozků	72
6.2 Pásové (housenicové) podvozky	72
6.2.1 Konstrukce a základní části pásových podvozků	72
6.2.2 Napínání pásů	79
6.2.3 Styk pásu s podložkou, průběh tlaků ve stykové ploše pásu s podložkou	81
6.2.4 Jízdní odpory pásového podvozku	83
6.3 Kolové podvozky	92
6.3.1 Rozdělení, konstrukce a základní části kolových podvozků	92
6.3.2 Styk kola s podložkou a přenos sil mezi kolem a terénem	95
6.3.3 Pneumatiky	102
6.4 Kolejové podvozky	103
6.4.1 Systém uložení rámu spodní stavby kolejových podvozků	103
6.4.2 Konstrukce kolejových podvozků	105
6.4.3 Jízdní odpory, zatížení a výkon pohonu kolejových podvozků	107
6.5 Kráčivé podvozky	109
6.5.1 Mechanické kráčivé systémy	110
6.5.1.1 Kráčivé zařízení s výstředníky	110
6.5.1.2 Kráčivé zařízení s kličkovým mechanismem	112
6.5.1.3 Vahadlové kráčivé zařízení	112
6.5.1.4 Kráčivý systém Ransomes & Rapier	113
6.5.2 Hydraulické kráčivé systémy	113
6.5.2.1 S hydraulickým válcem hlavním a pomocným	113
6.5.2.2 S dvěma hydraulickými válci do tvaru V	114
6.5.2.3 Se čtyřmi hydraulickými válci	115
6.5.2.4 Mezikruhový hydraulický systém kráčení	115
6.5.2.5 Hydraulický systém kráčení s vnějšími prstenci	116
6.5.3 Kolejovo-kráčivé podvozky	116

Obsah

7. OTÁČIVÉ ÚSTROJÍ	118
7.1 Druhy, konstrukce a dimenzování opěrných systémů	118
7.2 Klasifikace pohonů otáčecích ústrojí	132
7.3 Výpočet pohonu otáčecího ústrojí	136
8. LOPATOVÁ RÝPADLA A DRAGLINE	149
8.1 Lopatová rýpadla	149
8.1.1 Mechanická lopatová rýpadla	154
8.1.2 Lanová lopatová rýpadla	156
8.2 Hydraulická lopatová rýpadla	158
8.2.1 Základní konstrukční celky hydraulických lopatových rýpadel	158
8.2.2 Základní parametry a označování hydraulických lopatových rýpadel	161
8.2.3 Návrh hlavních parametrů pracovního zařízení	162
8.3 Dragline (rýpadla s vlečným korečkem)	167
8.3.1 Obecně o rýpadlech s vlečným korečkem	167
8.3.2 Vlečný koreček	168
9. LOPATOVÉ NAKLADAČE	171
9.1 Použití a rozdělení lopatových nakladačů	171
9.2 Funkční celky nakladačů	171
9.3 Kinematická charakteristika nakládacího mechanismu	175
9.4 Silové účinky na nakladač	175
10. KONTINUÁLNĚ PRACUJÍCÍ STROJE PRO ZEMNÍ PRÁCE	181
10.1 Kolesová rýpadla	181
10.1.1 Pracovní princip kolesových rýpadel	181
10.1.2 Dobývací ústrojí	185
10.1.3 Výpočty některých základních parametrů	199
10.2 Korečková rýpadla	208
10.2.1 Pracovní princip korečkových rýpadel a základní koncepce	208
10.2.2 Dobývací ústrojí	210
10.2.3 Výpočty některých základních parametrů	214
10.3 Zasladače	217
10.3.1 Obecně o zasladačích	217
10.3.2 Kolejové zasladače	219
10.3.3 Pásové zasladače	220

Stroje pro zemní práce a silniční stroje

10.4 Skrývkové mosty	222
10.5 Technologické celky	225
10.6 Rýhovače	229
10.7 Povrchové kombajny	230
11. ROZRÝVAČE	235
11.1 Základy rozrývání	236
11.2 Konstrukce rozrývačů	237
12. DOZERY	239
12.1 Použití a rozdělení dozerů	239
12.2 Konstrukce pracovního zařízení	240
12.3 Vnější a vnitřní silové účinky	243
13. SKREJPRY	246
13.1 Funkční a typové členění skrejprů	246
13.2 Konstrukce skrejprů, stanovení hlavních parametrů	249
13.3 Vnější a vnitřní silové účinky	250
14. SROVNAVAČE A GREJDRELEVÁTORY	252
14.1 Chakteristika a rozdělení strojů pro dokončovací zemní práce	252
14.2 Konstrukce srovnavaců	254
14.3 Silové účinky	255
15. DEMPRY A TERÉNNÍ VOZY	258
15.1 Funkce a konstrukce	258
15.2 Vnější a vnitřní silové účinky	262
16. STROJE A ZAŘÍZENÍ PRO ZHUTŇOVÁNÍ ZEMÍN A HORNIN	265
16.1 Technologie zhutňování zemin a hornin	265
16.1.1 Volba zhutňovacího stroje	266
16.1.2 Zásady kvalitního zhutňování	267
16.2 Stroje pro mechanické zhutňování zemin a hornin	267
16.2.1 Třídění zhutňovacích strojů a zařízení	267
16.2.2 Konstrukční řešení zhutňovacích mechanismů	267
16.3 Zhutňovací stroje se statickým působením	273

	Obsah
16.3.1 Výpočet hlavních parametrů	274
16.3.2 Stanovení výkonu statických válců	275
16.4 Stroje z hutňující statickým tlakem a hnětením	276
16.4.1 Válce pneumatikové	276
16.4.1.1 Výpočet hlavních parametrů	279
16.4.2 Válce s profilovaným povrchem běhouňů	280
16.5 Stroje z hutňující vibracemi	284
16.5.1 Budiče vibrací	284
16.5.2 Vibrační válce	288
16.5.3 Konstrukční řešení běhouňů vibračních válců	291
16.5.4 Podmínky provozního nasazení vibračních válců	292
16.5.4.1 Z hutňovací zkouška	295
16.5.4.2 Postup hutnění	295
16.5.4.3 Z hutňovací výkony	295
16.5.4.4 Omezení pracovního nasazení	296
16.5.5 Vibrační desky	296
16.6 Stroje z hutňující úderem a kombinací účinků	298
16.6.1 Z hutňovací desky	299
16.6.2 Vibro-úderné pěchy	299
17. STABILITA POLOHY STROJŮ	301
17.1 Statická stabilita	301
17.2 Dynamická stabilita	303
17.3 Opěry	304
18. PROVOZ STROJŮ PRO ZEMNÍ PRÁCE	305
18.1 Základní kritéria efektivnosti strojů pro zemní práce	305
18.2 Výkonnost strojů pro zemní práce	305
18.2.1 Výkonnost lopatových rýpadel	306
18.2.2 Výkonnost lopatových nakladačů	308
18.2.3 Výkonnost rozrývačů	310
18.2.4 Výkonnost dozerů	311
18.2.5 Výkonnost skrejprů	313
18.2.6 Výkonnost kontinuálně pracujících strojů	315
18.2.7 Výkonnost strojů pro z hutňování zemin	316
18.3 Sestavy strojů při zemních pracích	316
19. VÝVOJOVÉ SMĚRY VE STAVBĚ STROJŮ PRO ZEMNÍ PRÁCE	317

Stroje pro zemní práce a silniční stroje

20. VRTACÍ STROJE A SOUPRAVY	321
20.1 Vrtatelnost hornin	321
20.2 Mechanismus rozpojování hornin při vrtání	322
20.3 Vrtací stroje	326
20.3.1 Sbíječky	326
20.3.2 Bourací kladiva	327
20.3.2.1 Konstrukce a funkce bouracích kladiv	327
20.3.2.2 Energie úderu a účinnost bouracích kladiv	330
20.3.3 Vrtačky	333
20.3.4 Vrtací kladiva	334
20.3.4.1 Vrtací kladiva pneumatická	334
20.3.4.2 Vrtací kladiva hydraulická	335
20.3.4.3 Vrtací kladiva ponorná	336
20.4 Vrtací nářadí	338
20.5 Vrtací soupravy lomové	342
20.5.1 Vrtací sloupy	342
20.5.2 Vrtací soupravy bez vlastního pojezdu	344
20.5.3 Vrtací soupravy s vlastním pojezdem a separátním pohonem	345
20.5.4 Vrtací soupravy s vlastním pohonem	346
21. STROJE PRO TĚŽBU KAMENE	349
21.1 Vyřezávací stroje	349
21.1.1 Lanové pily	349
21.1.2 Řetězové pily	352
21.1.3 Kotoučové pily	353
21.2 Propalovací soupravy	353
21.3 Dobývání klínováním	355
21.4 Dobývání údernými vrubovými stroji a odvrtáváním	356
21.5 Další metody dobývání	356
22. STROJE PRO TĚŽBU SYPKÝCH A ZRNITÝCH HMOT	359
22.1 Všeobecně o těžbě z vody a základní rozdělení	359
22.2 Plovoucí rýpadla (bagry)	361
22.3 Plovoucí drapáková rýpadla	364
22.4 Plovoucí korečková rýpadla	365

	Obsah
22.5 Plovoucí korečkové elevátory	366
22.6 Plovoucí lopatová rýpadla a plovoucí dragline	366
22.7 Další technické prostředky na rozpojení zeminy	367
22.8 Hydromonitory	367
23. SKLÁDKOVÉ STROJE	371
23.1 Účel a podmínky skladování sypkých materiálů	371
23.2 Metody zakládání hromad	372
23.2.1 Podélné skládky	372
23.2.2 Kruhové skládky	374
23.3 Naběrače	375
23.3.1 Čelní naběrače	375
23.3.2 Boční naběrače	376
23.4 Nasazení skládkových strojů	378
24. ÚDRŽBA ZEMNÍCH STROJŮ	381
24.1 Provozní spolehlivost strojů	381
24.1.1 Vlivy konstrukční	381
24.1.2 Vlivy provozní	385
24.2 Obecné zásady provozu a údržby strojů	385
24.3 Metody a systémy údržby	386
24.4 Kontrolně inspekční a revizní činnost	388
24.5 Organizace údržby a řízení oprav	389
24.6 Nasazení metod technické diagnostiky	390
24.7 Informační a řídicí systémy v údržbě	392
B. SILNIČNÍ STROJE	395
25. ÚVOD DO PROBLEMATIKY SILNIČNÍCH PRACÍ	395
25.1 Silniční síť	395
25.2 Současný stav a nové trendy	395
25.3 Rozdělení a konstrukce vozovek	396
25.4 Klasifikace zemin pro dopravní stavby	399
25.5 Druhy silničních prací	401

Stroje pro zemní práce a silniční stroje

26. STROJE A TECHNOLOGIE PRO STAVBU PODKLADŮ VOZOVEK	403
26.1 Druhy podkladů	403
26.2 Stavba nestmelených podkladů	403
26.3 Stavba stmelených podkladů	405
26.3.1 Stabilizace prováděná na místě	405
26.3.2 Stabilizace prováděná v mísícím centru	408
27. STROJE A TECHNOLOGIE PRO STAVBU ŽIVIČNÝCH KRYTŮ VOZOVEK	409
27.1 Kryty vozovek	409
27.2 Druhy živičných krytů	409
27.2.1 Postřikové úpravy	410
27.2.2 Nátěrové úpravy	410
27.2.3 Živičné koberce a asfaltové betony	411
27.2.4 Lité asfalty	411
27.3 Výroba a doprava živičných směsí	411
27.3.1 Vařiče litého asfaltu	412
27.3.2 Tavicí kotle	412
27.3.3 Obalovací soupravy	412
27.3.3.1 Stroje pro stavbu živičných vozovek. Úspora energie	414
27.3.3.2 Ekologické živičné hospodářství	414
27.3.4 Rozstříkovač živice	417
27.3.5 Přepravníky živice	418
27.4 Pokládka a zpracování živičných směsí	419
27.4.1 Finišery živičných směsí	419
27.4.2 Rozhrnovače litých asfaltů 284-12	421
27.4.3 Dohutnění živičné směsi	421
27.5 Jízdní odpory a výkonnost finišerů	422
28. STROJE A TECHNOLOGIE PRO STAVBU CEMENTOBETONOVÝCH KRYTŮ VOZOVEK	423
28.1 Cementobetonové kryty	423
28.1.1 Podklad vozovky	423
28.1.2 Konstrukce cementobetonového krytu	424
28.1.3 Stavební materiály	425
28.2 Technologie pokládky cementobetonových krytů vozovek	425
28.3 Stroje pro stavbu cementobetonových krytů	426
28.3.1 Mísicí centra	426

	Obsah
28.3.2 Doprava cementobetonové směsi	426
28.3.3 Stroje pro bočnicovou betonáž	426
28.3.3.1 Rozhrnovače betonové směsi	427
28.3.3.2 Finišery	428
28.3.3.3 Ošetřování a ochrana povrchu	428
28.3.3.4 Odpory a výkon finišera pro bočnicovou betonáž.	429
28.3.4 Bezbočnicové finišery	430
28.3.5 Stroje pro řezání spár	431
28.3.6 Zalévače a čističe spár	432
28.3.7 Stroje pro stavbu bočních profilů	433
29. STROJE PRO OPRAVY KRYTŮ VOZOVEK	435
29.1 Stroje pro rozrušování krytů vozovek	435
29.2 Recyklace materiálu povrchu vozovek	436
29.2.1 Soupravy pro obnovu živelných vozovek	436
29.2.2 Soupravy pro obnovu cementobetonových krytů	438
29.3 Opravy povrchů vozovek přímo na místě	439
30. STROJE A ZAŘÍZENÍ PRO LETNÍ ÚDRŽBU VOZOVEK	441
30.1 Stroje na čištění povrchu vozovek	441
30.1.1 Kropicí stroje.	441
30.1.2 Silniční zametače.	441
30.2 Stroje na vodorovné značení vozovek	442
30.3 Stroje na čištění krajnic a příkopů	443
30.3.1 Výkonnost jednotlivých pracovních orgánů	444
30.4 Stroje na odstraňování travních porostů	445
31. STROJE A ZAŘÍZENÍ PRO ZIMNÍ ÚDRŽBU VOZOVEK	448
31.1 Stroje pro odkliz sněhu	448
31.1.1 Sněhové pluhy	448
31.1.2 Odpory automobilových sněhových pluhů.	449
31.1.3 Rotorové stroje	450
31.2 Stroje pro posyp a postřik vozovek	451
31.2.1 Určení výkonu pro pohon sypacího zařízení	453
31.3. Odklizecí stroje a zařízení	455
LITERATURA	457

Stroje pro zemní práce a silniční stroje

Autoři vyjadřují poděkování všem společnostem, bez jejichž podpory by vydání této publikace nebylo možné:

- Severočeské doly**, a. s. Chomutov
- Sokolovská uhelná**, a. s.
- Mostecká uhelná společnost**, a. s.
- SILNICE OSTRAVA**, a. s.
- KRUPP MASCHINENTECHNIK GMBH**, Bereich Bautechnik
 - GEMONT**, spol. s r. o. Albrechtice
- VÍTKOVICE-PRODECO**, spol. s r. o. Teplice
 - LAROS**, a. s. Ostrava
- Atlas Copco CME AB**, Praha
- REKULTIVAČNÍ VÝSTAVBA Most**, a. s.
 - D-PRESTIGE**, spol. s r. o. Most
 - MÓVEO**, spol. s r. o. Most
- BÖHLER PNEUMATIK INTERNATIONAL PRAHA**, spol. s r. o.
 - BOHEMIA PETROL**, a. s. Most
- ČESKÁ POJIŠŤOVNA**, a. s. Pojištění průmyslu a podnikatelů, severomoravská pobočka Ostrava
 - SKF LOŽISKA**, a. s. Praha
- PHOENIX, ZEPPELIN**, spol. s r. o. Praha,
Výhradní zastoupení CATERPILLAR
 - UNEX**, a. s. Uničov
- DOPRAVNÍ STAVBY PROSTĚJOV-PRODOS**, spol. s r. o.
 - PŘEROVSKÉ STROJÍRNY**, a. s. Přerov
- ČESKOMORAVSKÝ PRŮMYSL KAMENE**, a. s. Hradec Králové
 - TRANSPORTA**, a. s. Chrudim
 - STAVOSTROJ**, a. s. Nové Město nad Metují
 - REKULTIVACE**, soukromý podnik Dubí u Teplic
- SPOLEČNOST HUDECZEK**, Albrechtice
 - OKD, DPB Paskov**, a.s.

* * *

ÚVOD

Zemní práce jako takové jsou významnou a nedílnou součástí procesu veškeré výstavby v obecné rovině (výstavba průmyslových objektů, objektů technické a občanské vybavenosti, vodo-hospodářské stavby, železniční a silniční stavitelství apod.), ale totéž platí i o lomové těžbě užitkových surovin (stavební materiály, cihlářské hlíny, hnědé uhlí apod.), kde technika je zásadně postavena na použití zemních strojů v celé své komplexnosti. Rovněž druhá část učebnice je věnována ve své logické návaznosti silničním strojům, o jejichž uplatnění bychom mohli mluvit ve stejném smyslu. Za své určité hovoří i základní čísla z poslední nejdůležitější a nejznámější výstavy stavebních a zemních strojů - BAUMA 95 (2500 vystavovatelů, 173 výrobců zemních strojů apod.).

Učebnice je určena zejména posluchačům všech technických fakult, zabývajících se danou problematikou, poskytuje poznatky provozním technikům a celé široké odborné veřejnosti. Shrnuje základní poznatky o technologii a technice zemních prací, stavbě dopravních komunikací, konstrukci strojů pro uvedené účely s cílem, poskytnout první ucelený materiál pro studium na vysokých školách technického zaměření. Z těchto důvodů je možno konstatovat možnost využití i pro studium na středních odborných školách.

Šíře tématiky neumožnila autorům rozpracovat a zahrnout do učebnice všechnu látku podle svých představ. Proto předpokládají, že v pedagogickém procesu bude v přiměřené míře využíváno další dostupné literatury (soubory přednášek, skripta apod.). Tato práce byla navíc ztfízena již zmíněným faktem, že zpracování učebnice je prvním monografií v dané problematice. Plně si uvědomujeme, že u některých typů strojů jsme text stěsnali do několika stránek, ač by vyžadoval větší rozsah a proto doufáme, že daná problematika najde pokračování v dalších odborných knihách.

autoři

A. STROJE PRO ZEMNÍ PRÁCE

1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY ZEMNÍCH PRACÍ

1.1 Charakter a společenský význam zemních prací

K urychlení reprodukčního procesu potřebuje společnost mimo jiné výkonné stavebnictví. Stavebnictví, které by vytvářelo dobré životní podmínky pro obyvatele, stavebnictví schopné pružně reagovat na požadavky trhu, stavebnictví s přiměřenými rezervami kapacit využitelnými tam, kde to přinese největší ekonomický efekt.

Stavebnictví významně ovlivňuje životní a kulturní úroveň společnosti a jeho aktivity jsou nepostradatelné pro většinu dalších odvětví hospodářství. Dynamický rozvoj společnosti klade rostoucí nároky nejen na objemy prací zajišťovaných stavební výrobou, ale souběžně vyvolává požadavky na rychlé strukturální změny v souvislosti s transformací hospodářství, pronikáním vědy a techniky do výrobního procesu i zvyšujícími se nároky spotřebitelů.

Rostoucí a měnící se celospolečenskou poptávku stavební výroby nelze v současné etapě vývoje společnosti zajišťovat zvyšováním počtu pracovníků, jak tomu bylo v období extenzivního rozvoje. Za podmínek, kdy ve stavebnictví dochází k lepšímu využívání pracovníků, se vývoj stále důrazněji orientuje na uplatňování technického rozvoje ve výrobním procesu, zlepšování organizace a humanizace práce a uplatňování logistiky.

Výrobní proces ve stavebnictví je charakterizován značnými nároky na přesun zeminy. Stavební firmy stojí každý rok před úkolem při zemních a skalních pracích vytěžit, přepravit, uložit a zhutnit miliony krychlových metrů zeminy a kameniva. Při zabezpečování tak náročných aktivit se prosazuje stále více požadavek optimálně nasazovat a využívat mechanismy. Uplatňování poznatků technického rozvoje se v posledních letech projevuje v posunu technologie těžení na kvalitativně vyšší úroveň charakterizovanou plynulosť a rovnoměrností prováděných prací, zvýšenou hospodárností provozu, ve zdokonalených systémech ovládání a řízení strojů, v dalším zlepšování pracovních podmínek obsluh a zvýšeném respektování požadavků ekologů a v neposlední řadě ve zvýšené hospodárnosti provozu strojů.

Zemní práce se podílejí na celkovém objemu stavebních a stavebně montážních prací ve stavebnictví podílem asi 10 %. Pojem zemní práce zahrnuje širokou oblast od funkčního a konstrukčního utváření zemních děl, přes jejich technologickou přípravu, provedení a kontrolu, až po zkoumání interakcí mezi pracovními předměty, pracovními prostředky a pracovními silami ve výrobním procesu. Zemní práce jsou průřezovým komplexem pozemního a podzemního stavitelství. Jsou významnou složkou vodních a vodohospodářských děl, silničních a železničních staveb, výstavby letišť, stavby obytných, komunálních a průmyslových objektů, zemědělských staveb aj. Při stavbě jednoho kilometru dálnice je například nutno vytěžit, přepravit a uložit asi 55 000 m³ zeminy v rovinatém terénu, v pahorkotitém terénu 110 000 m³ rozrušeného kamene a zeminy 10 000 m³ rostlého kamene. Podíl jednotlivých zemních strojů při provádění zemních prací ukazuje tab.1.1.

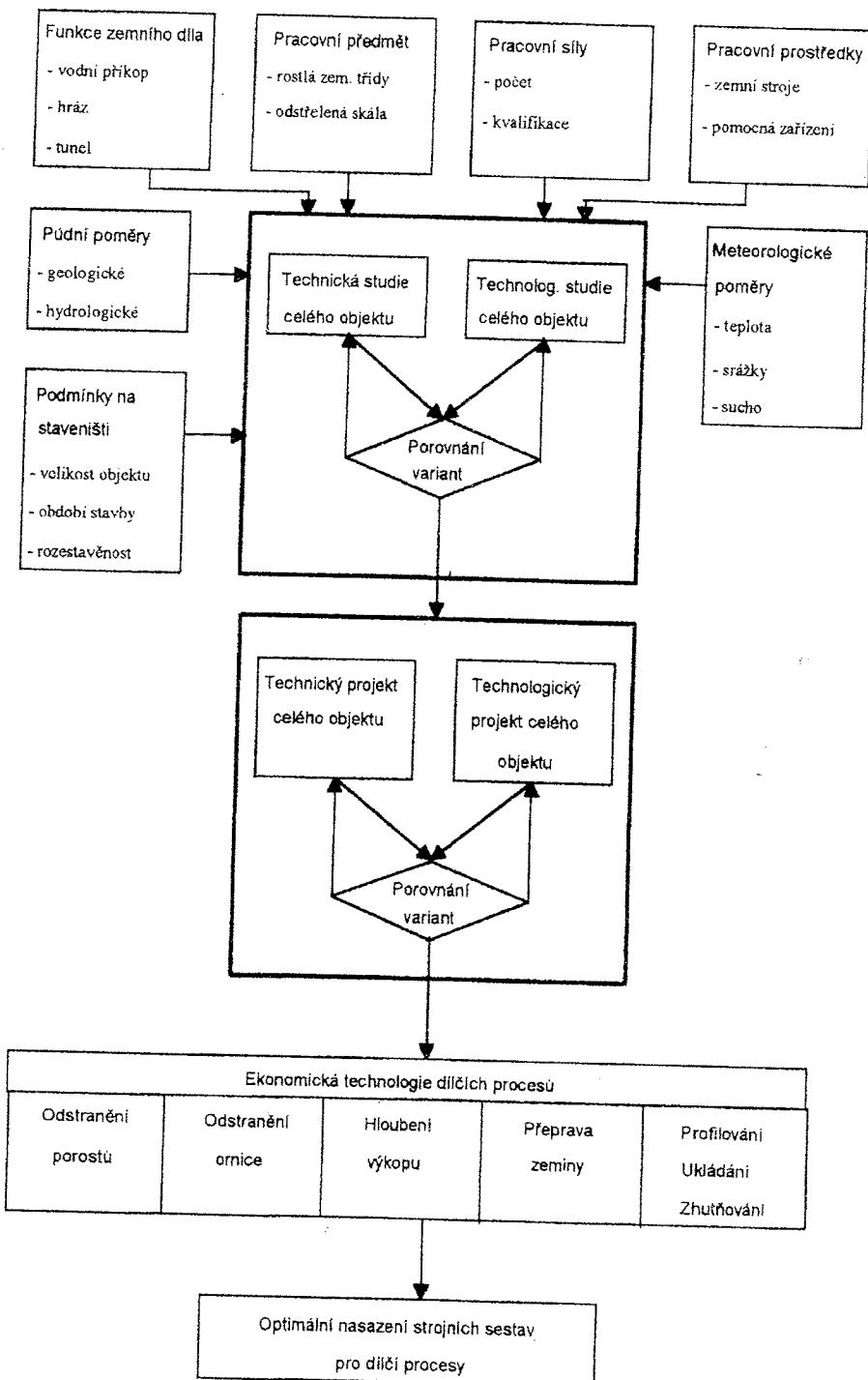
Tab. 1.1 Podíl strojů na provádění zemních prací

Podíl strojů na provádění zemních prací v %						Zhutňování zeminy v %
lopatová rýpadla	dozery	skrejpy	lopatové nakladače	ostatní	ruční práce	
39,16	35,16	2	19,5	2,22	1,96	23,7

Přičteme-li k těmto zemním pracím ve stavebnictví zemní práce související s těžbou dalších nutných užitkových surovin, jako např. kamene, písku, cihlářských hlín, kaolinu, sádrovce, lupy apod. lomovým způsobem, tak se dostáváme do další oblasti nutného nasazení zemních strojů.

Třetí oblast tvoří tzv. zemní práce velkého rozsahu při lomové těžbě většiny surovin pro energetiku, teplárenství a hutnictví, tj. především hnědé uhlí a železné rudy. I zde zemní stroje tvoří jak centrální, tak pomocnou a doprovodnou technologii.

Stroje pro zemní práce

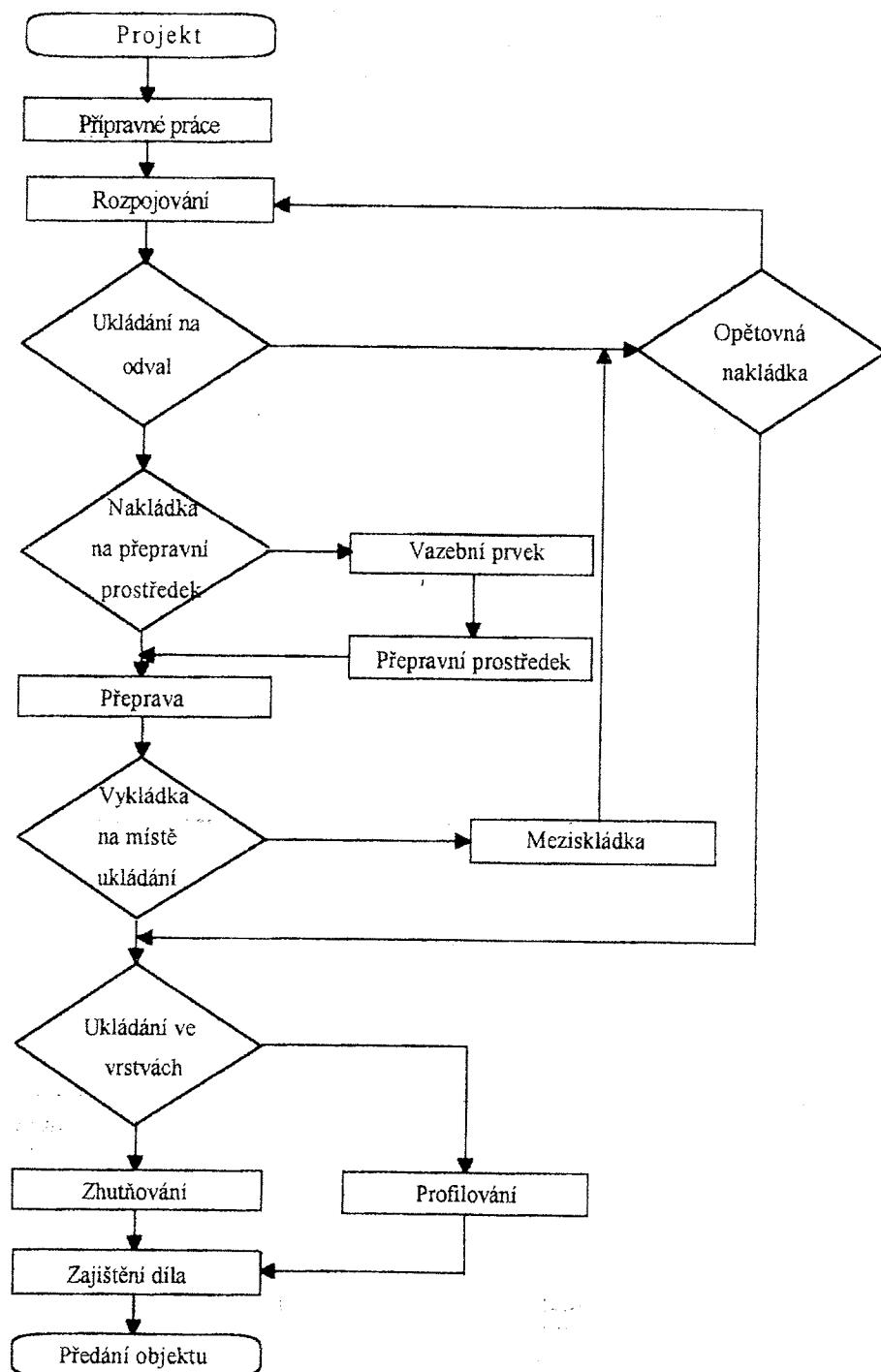


Obr.1.1 - Vznik zemního díla

Můžeme pokračovat přes oblast těžby sypkých a zrnitých materiálů z vody, do oblasti zemních prací při skládkování téhoto materiálů (deponizace a redeponizace), zemní práce na homogenizačních skládkách atd. atd.

Nedílnou součástí každé těžby je skrývání ornice a úrodyschopné zeminy a následná rekultivace po skončení těžebních prací, což vše má svůj základ v zemních pracích.

Nasazení zemních prací je nutné při čištění a prohlubování koryt řek, mořských přístavů, tedy v lodní dopravě a celé řadě dalších prací v různých odvětvích hospodářství. Za všechny jmenujeme alespoň zemědělství.



Obr. 1.2 - Vývojový diagram vzniku zemního díla

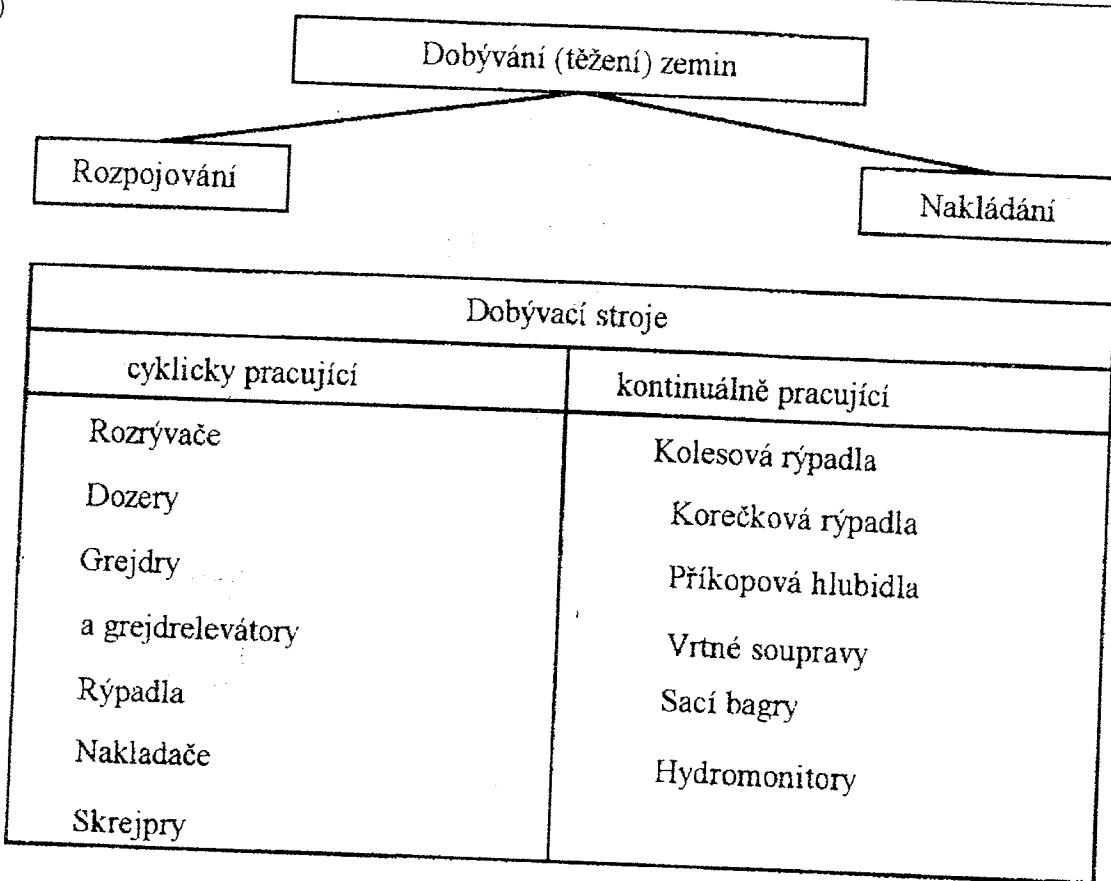
1.2 Projekt zemního díla a zemní práce jako proces

Vzniku zemního díla předchází jeho projekt. Obrázek 1.1 znázorňuje schematicky, v systémovém pojetí, vznik projektu a faktory, které jej ovlivňují (na jedné straně) a na straně druhé faktory, projektem ovlivňované. Realizací projektu vznikne zemní dílo. Proces vzniku zemního díla je znázorněn vývojovým diagramem na obr.1.2.

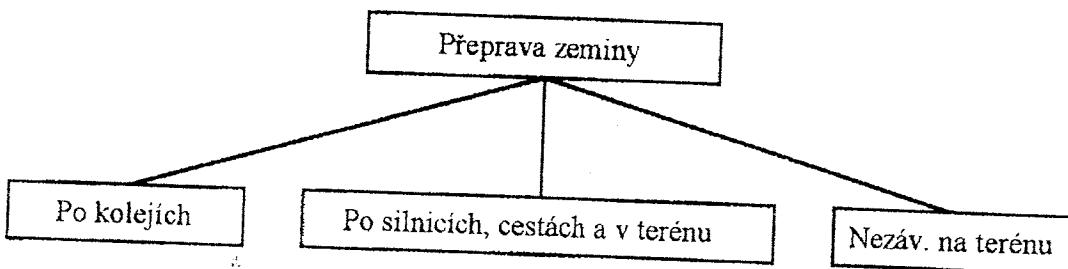
Z uvedených přehledných znázornění je zřejmá úloha strojů v zemních pracích jako výrobním procesu, jehož produktem je zemní dílo. Součástí tohoto procesu jsou tři významné dílčí procesy, které se výrazně

Stroje pro zemní práce

a)

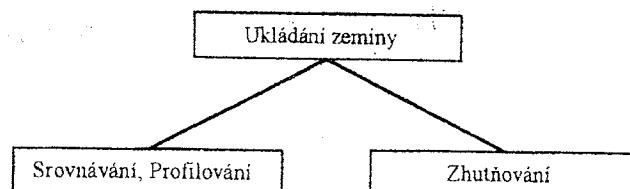


b)



Kolejové prostředky	Silniční a terénní prostředky	Ostatní prostředky
Úzkorozchodné vozíky	Vlečná a samohybnná vozidla	Pásové dopravníky
Železniční vozy	Dumpty	Potrubí
Tažné prostředky	Samovýsypné vozy	Lodě
Elektrické lokomotivy	Sklápěcky	
Diesel a dieseletelektrické lokomotivy	Skrejpy	
	Nakladače	

c)



Rozprostírací a dokončovací stroje	Zhutňovací stroje		
	statické	s ráz. účinkem	vibrační
Skrejpy	Hladké válce	Výbušné pěchy	Vibrační deskы
Grejdry			
Dozery	Ježkové válce		Vibrační válce
Universální dokončovací stroje	Pneumatické válce		

Obr.1.3 - Základní druhy zemních prací s přiřazením zemních strojů
 a) těžení zemin, b) transport zemin, c) ukládání zemin

odrážejí nejen v rozdelení, ale i v konstrukci strojů pro zemní práce. Celý proces můžeme rozdělit na těžbu zeminy, její přepravu a ukládání.

Těžbou (dobýváním) rozumíme oddělování zeminy od masívu. Proces těžby realizujeme těmito operacemi :

- rozrušením rostlé zeminy,
- jejím nabráním do pracovního nástroje a
- předáním zeminy na návazný prostředek.

Přepravou (transportem) rozumíme změnu místa, kterou provádíme operacemi :

- přemístěním (uložením) zeminy na přepravní prostředek,
- pohybem přepravního prostředku a
- vyprázdněním přepravního prostředku.

Ukládání (zakládání) zeminy je její připojení k masívu na určeném místě. Toho docílíme:

- vysypáním zeminy (hromada, odval, výsypka atd.),
- jejím rozprostřením a
- případným zhutněním.

1.3 Druhy zemních děl a zemních prací s přiřazením strojů

Se zemními díly se setkáváme ve všech oblastech hospodářství. V průmyslovém stavitelství je nutné hloubení výkopů pro základy budov a jiných objektů, hloubení výkopů pro ukládání inženýrských sítí, úprava terénu pro skladovací a manipulační plochy aj. Významnou roli má skrývka na povrchových hnědouhelných dolech a lomová těžba užitkových surovin a následná rekultivace. Ve vodním hospodářství jsou budovány vodní nádrže, koryta vodních toků, hráze, meliorační kanály a další díla. V dopravě se staví silniční, dálniční a železniční tělesa, letiště, plochy, kanály a hráze pro vodní cesty apod. V zemědělství je nejčastější rekultivace ploch, hloubení jam pro různé stavby a účely, budování cest atd. Pro stavebnictví v oblasti občanské výstavby se nejčastěji provádí hloubení základových jam, úprava terénu, hloubení výkopů pro inženýrské sítě, úprava zelených ploch, hřišť a stadionů apod.

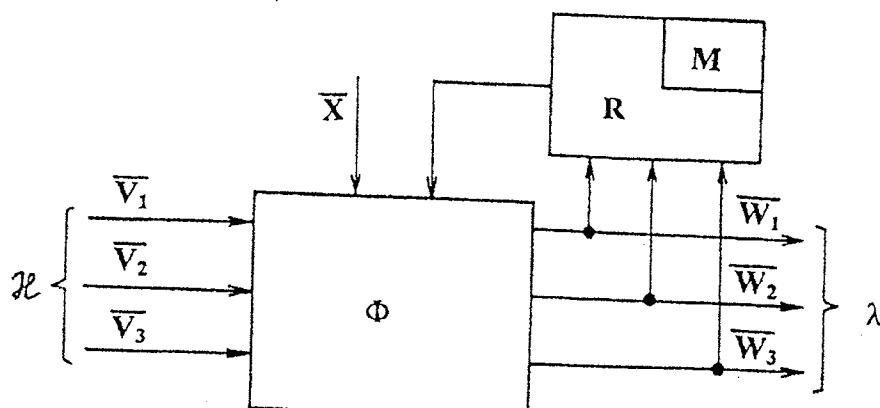
Přehled základního členění zemních prací s přiřazením strojů podává obr.1.3.

2. OBECNÉ TECHNOLOGIE ZEMNÍCH PRACÍ A KONCEPCE STAVBY STROJE PRO ZEMNÍ PRÁCE

2.1 Technologie zemních prací

Ekonomiku zemních prací ovlivňuje vedle plánování a projektu díla výraznou měrou také technologie. Efektivnost stavebních procesů je ve stále se zvyšující míře ovlivňována na proces orientovaný ke sjednocení konstrukce zemního díla a technologie jeho výroby. O efektivnosti díla se rozhoduje již při jeho přípravě, v období zpracování jeho technického a technologického projektu. Důležitými činiteli v procesu výroby zemního díla budou zejména:

- geologické a hydrologické poměry,
- konstrukce stavby umožňující využití mechanizace,
- sladění dílčích procesů,
- výběr vhodných strojních sestav,
- přehledné znázornění průběhu stavby,
- zajištění kooperace,
- předvídaní komplikací aj.



Obr. 2.1 - Zemní práce jako kybernetický systém

Technologie zemních prací je nauka o použití a uplatnění znalostí z přírodních a technických věd, organizace a řízení k utváření materiálně technické stránky zemních prací.

Jestliže proces "zemní práce", tj. těžbu, přepravu a ukládání chápeme jako kybernetický systém, pak můžeme technologii zemních prací, v souladu s obr. 2.1, vyjádřit rovnicí

$$\lambda = \Phi(\chi) \quad (2.1)$$

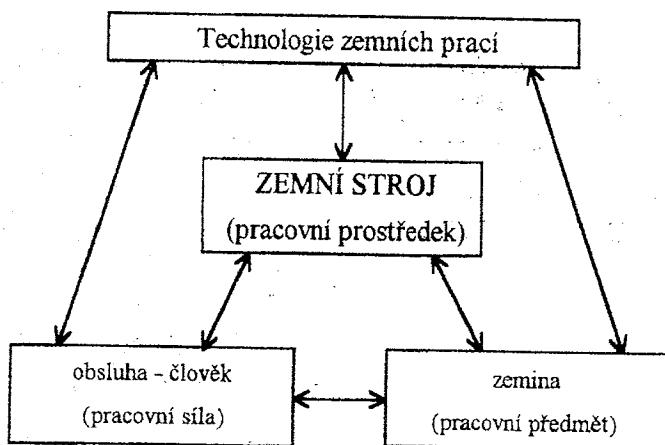
V této rovnici značí:

- χ - vstupní vektory,
- V_1 - pracovní síly,
- V_2 - pracovní předmět (zemina),
- V_3 - pracovní prostředek (stroje pro zemní práce),
- R - regulační článek,
- M - model řídících veličin,
- X - rušivé vlivy,
- λ - množina výstupních vektorů,

- W_1 - výrobek (zemní dílo),
- W_2 - fondy prosté a rozšířené reprodukce,
- W_3 - osobní kvalifikaci,
- λ - množina výstupních vektorů

2. Obecné technologie zemních prací a koncepce stavby stroje pro zemní práce

Souvislost technologie zemních prací se základními články výrobního procesu znázorňuje obr.2.2. Konkretizace technologie zemních prací souvisí úzce s použitými stroji, proto budou probírány v příslušných statích věnovaných jednotlivým strojům.



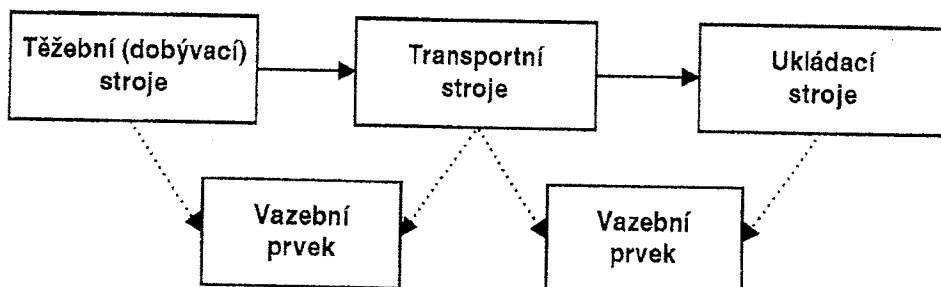
Obr. 2.2 - Souvislost technologie zemních prací se základními články výrobního procesu

2.2 Základní typy strojů pro zemní práce, jejich použití a parametry z hlediska technologie zemních prací

Z hlediska technologie zemních prací rozdělujeme, ve smyslu základního členění zemních prací, provedeného ve stati 1.3, stroje na:

- těžební (dobývací),
- stroje určené pro přepravu zemin a
- stroje pro ukládání zemin (zakladače).

Často jsou v řetězci těchto strojů, znázorněném na obr.2.3, vřazeny z technologických důvodů další stroje, vazební prvky - např. nakladače.



Obr. 2.3 - Základní druhy zemních strojů, vytvářející technologický řetězec

Podle charakteru pracovního rytmu rozlišujeme:

- cyklicky (přetržitě) a
- kontinuálně (nepřetržitě) pracující stroje.

Do kategorie cyklicky pracujících strojů pro těžbu zemin patří zejména univerzální lopatová rýpadla lanová i hydraulická, lopatové nakladače, dragline (rýpadla s vlečným korečkem), stroje pro plošnou těžbu (dozery, skrejpy, grejdry, rozrývače), vrtné soupravy a stroje víceúčelové a speciální.

Ke skupině nepřetržitě pracujících strojů náleží rýpadla kolesová, korečková, frézovací příkopová hlubidla, sací rýpadla. I tuto skupinu můžeme doplnit stroji speciálními.

Podobně jako těžební stroje můžeme rozdělit i stroje pro přepravu a stroje pro ukládání zemin. Z hlediska volby technologie zemních prací je důležitá znalost některých vlastností a parametrů strojů. Jejich přiřazení k jednotlivým strojům je na obr.2.4.

Stroje pro zemní práce

STROJE PRO PLOŠNOU TĚŽBU	1	2	3	4	5	6	7
	[m]	[Pa]	[%]		mota střední velká	hladký vnitří pahorkatý značně nerov	[m]
1	3 30 300 3000	3 30 300 3000	10 50 100	1,2,3,4,5	mota střední velká	hladký vnitří pahorkatý značně nerov	5 10 15
2	1						
3	1						
4	1						
5	1						
6	1						
7	1						
8	1						
9	1						

STROJE PRO NAKLÁDÁNÍ ZEMÍN	2	8	7
	[Pa]	Lehká zemina měkká zemina tvrdá zemina odstřelené skály	[m]
10	0,05 0,1 0,15 0,2 0,25 0,3 0,35 0,4		
11			
12			
13			

STROJE PRO TRANSPORT ZEMÍN	1	2	3	6
	[m]	[Pa]	[%]	hladký vnitří pahorkatý
14	3 30 300 3000	0,05 0,1 0,15 0,2 0,25 0,3 0,35 0,4	10 50 100	
15	1			
16	1			

Obr. 2.4 - Přehled strojů pro zemní práce s přiřazením relevantních charakteristik z hlediska technologie

2. Obecné technologie zemních prací a koncepce stavby stroje pro zemní práce

Stroje uvedené v jednotlivých řádcích jsou:

Těžební stroje:

- 1 - buldozer s pásovým podvozkem
- 2 - angledozer s pásovým podvozkem
- 3 - buldozer s kolovým podvozkem
- 4 - jednomotorový skrejpr
- 5 - jednomotorový skrejpr s postrkovým strojem
- 6 - dvoumotorový skrejpr s dvousým tahačem
- 7 - autogrejdr
- 8 - skrejprdozer
- 9 - autogrejdr.

Stroje pro nakládání zemin:

- 10 - lopatový nakladač na pásovém podvozku
- 11 - kontinuálně pracující nakladač na pásovém podvozku
- 12 - kontinuálně pracující nakladač na kolovém podvozku
- 13 - lopatový nakladač na kolovém podvozku.

Stroje pro transport zemin:

- 14 - nákladní automobil-sklápěč
- 15 - terénní vůz s kolovým tahačem (dumpr)
- 16 - terénní vůz s pásovým podvozkem a pásovým tahačem.

Jak je z obr. 2.4 patrnó, rozdelení je provedeno pouze pro některé těžební a transportní stroje.

V jednotlivých sloupcích jsou uvedeny:

- 1 - přepravní vzdálenost (m)
- 2 - minimální požadovaná únosnost terénu (Pa)
- 3 - maximální možná stoupavost (%)
- 4 - přípustná třída rozpojitelnosti zemin
- 5 - citlivost na povětrnostní podmínky
- 6 - povrch jízdní dráhy
- 7 - minimální šířka stavební plochy (m).

Vedle uvedených dělení je účelné ještě rozdelení strojů na zemní práce podle vzájemného pohybu stroje a pracovního nástroje. Z tohoto hlediska je můžeme rozdělit na:

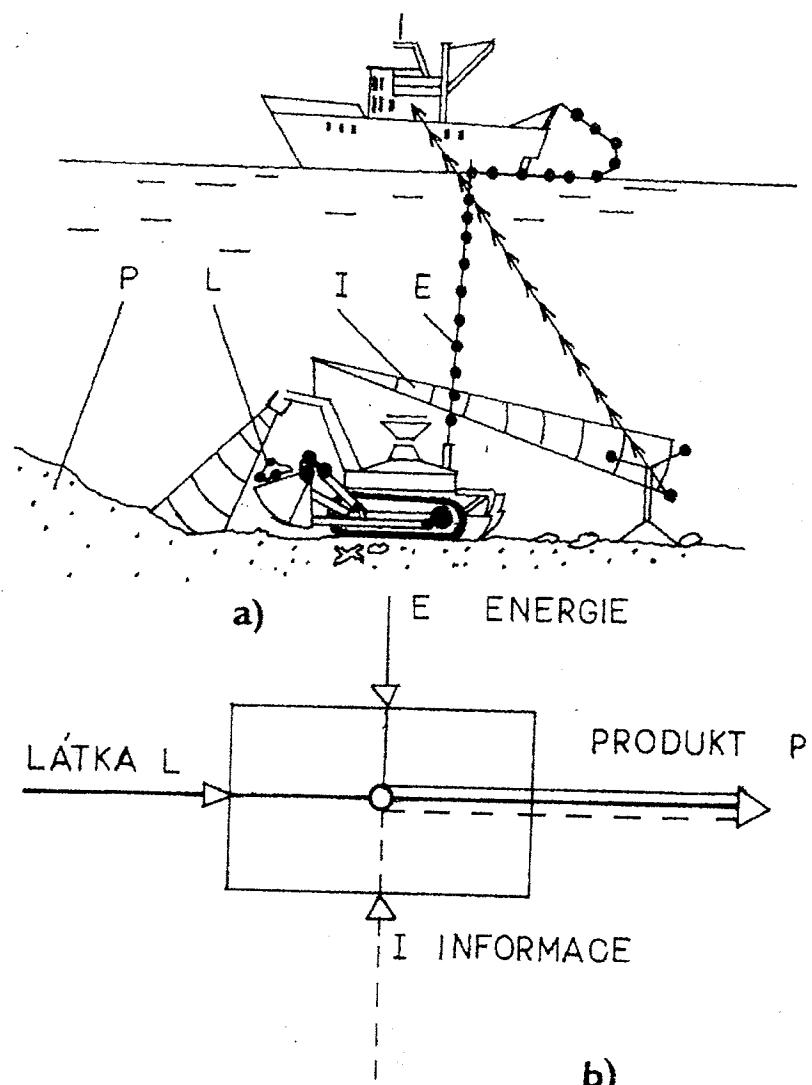
- Stroje těžící pohybem nástroje. Podvozková část stroje se nepohybuje (např. lopatová rýpadla). Těžební proces je závislý na pohybových a výkonových charakteristikách subsystémů ovládání nástroje. Maximální rypná síla je omezena podmínkami stability stroje.
- Stroje těžící pohybem podvozku stroje. V tomto případě předává nástroji rypnou sílu i rychlosť podvozku stroje. Práceschopnost a výkonnost strojů pracujících pohybem podvozku závisí na jízdních vlastnostech a adhezních poměrech v daných půdních podmínkách. Stroje tohoto typu jsou používány hlavně pro plošnou těžbu. Maximální rypná síla je omezena přilnavostí aktivních částí podvozku k půdě, proto jsou měrné rypné síly nižší než u strojů předchozí skupiny.
- Stroje těžící pohybem stroje i nástroje. Pracovní pohyb nástroje je závislý na pohonu pracovního zařízení i na pohonu podvozku nebo horní otočné stavby. Představiteli těchto strojů jsou lopatové nakladače, korečková a příkopová rýpadla a speciální stroje.

2.3 Koncepce konstrukční stavby strojů pro zemní práce

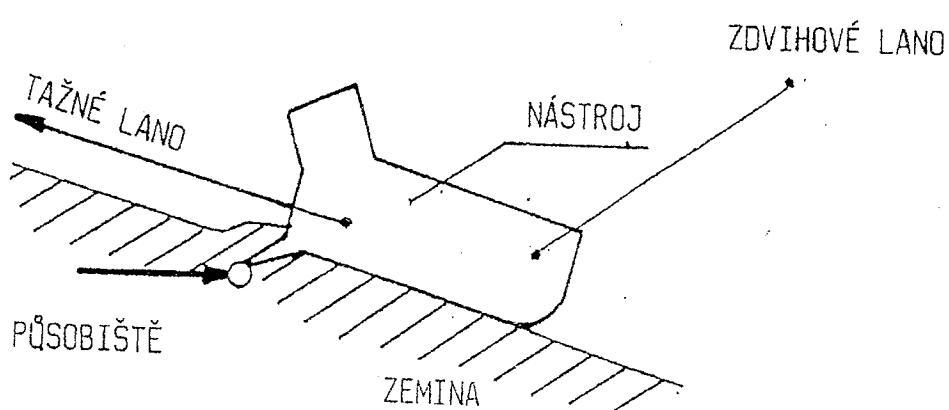
Stroje pro zemní práce jako pracovní prostředky svým působením na zeminu - pracovní předmět - tuto přetvářejí, tj. mění její vlastnosti (polohu, stav) podle představ a potřeb člověka. Ve složitém procesu za vzájemného působení látek, energie a informací vzniká produkt výrobního procesu - zemní dílo obr. 2.5. Primárním místem, v němž dochází k působení pracovního prostředku na pracovní předmět, je být nástroje pro zemní práce - obr. 2.6. Nástroj spolu se zeminou jsou hlavními činiteli procesu rozpojování. Vedle nich se na procesu mohou podílet ještě další dvojice, např. u lopatového nakladače hnací kola a terén - obr. 2.7a. Spolehlivý přenos energie z hnacích kol na terén je nutnou podmínkou pro úspěšnou realizaci

Stroje pro zemní práce

procesu plnění lopaty. Model na obr.2.7b daný systém zobrazuje, přičemž představuje L₁- nabíraný materiál, L₂, L₃ - pojezdovou plochu, E₁ - energii přiváděnou pracovnímu nástroji cestou pojízděcího ústrojí, E₂-energií přiváděnou pracovnímu nástroji prostřednictvím hydraulického systému, E₃, E₄-energií přenašenou koly do terénu, I₁ - údaje o tlaku oleje v hydraulickém obvodu pracovního zařízení, I₂, I₃ - údaje o prokluzu kol a přenosu výkonu na kola.

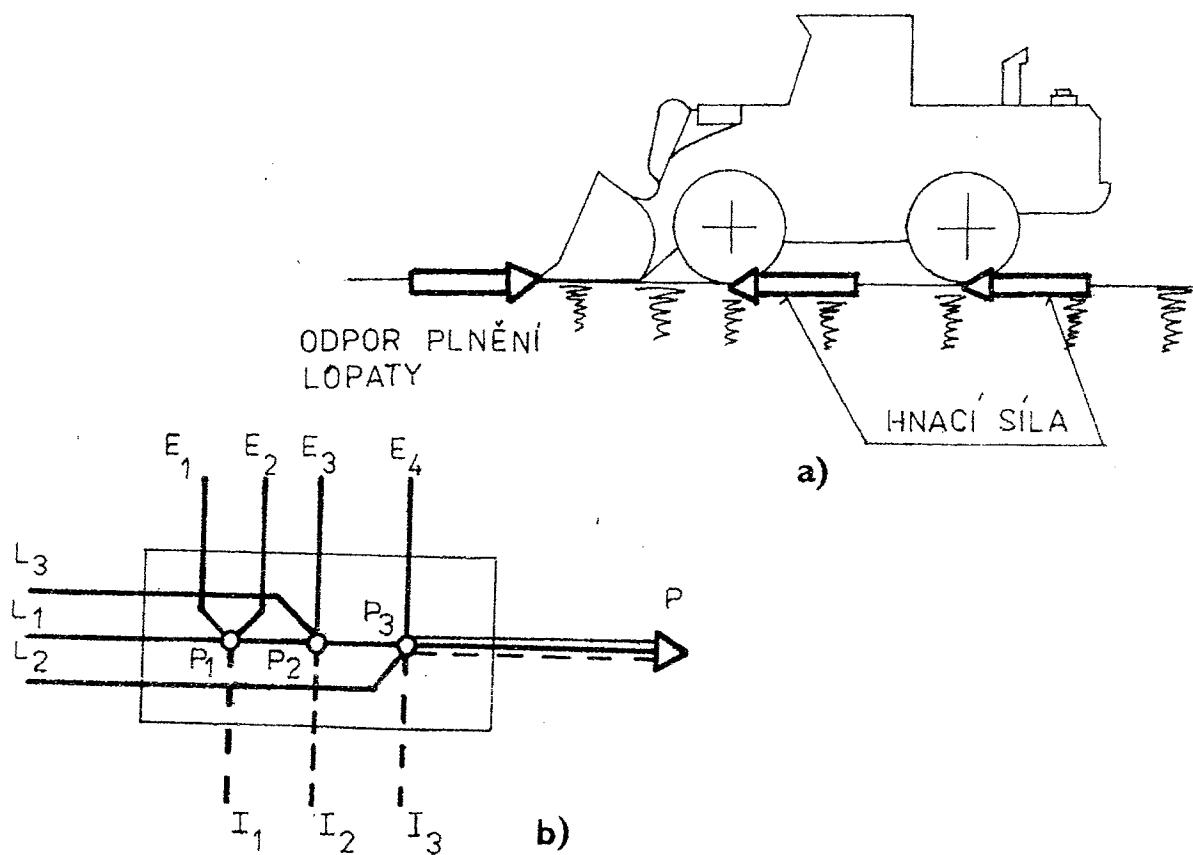


Obr. 2.5 - Vznik zemního díla - a) reálný systém, b) model

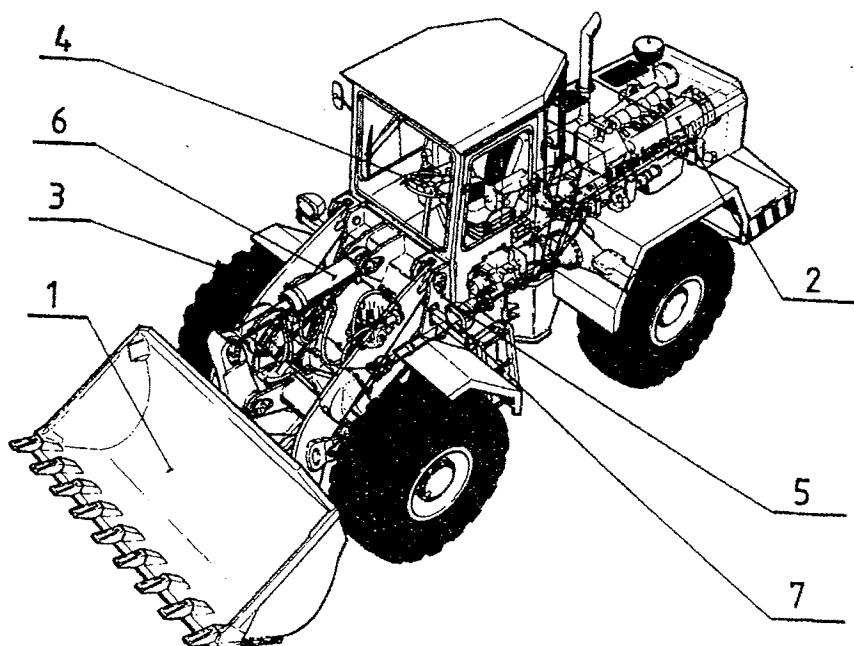


Obr. 2.6 - Primární činitelé procesu rozpojování zeminy

2. Obecně technologie zemních prací a koncepce stavby stroje pro zemní práce



Obr. 2.7 - Relevantní činitelé pracovního procesu nabírání zeminy nakladačem a jeho kybernetický model



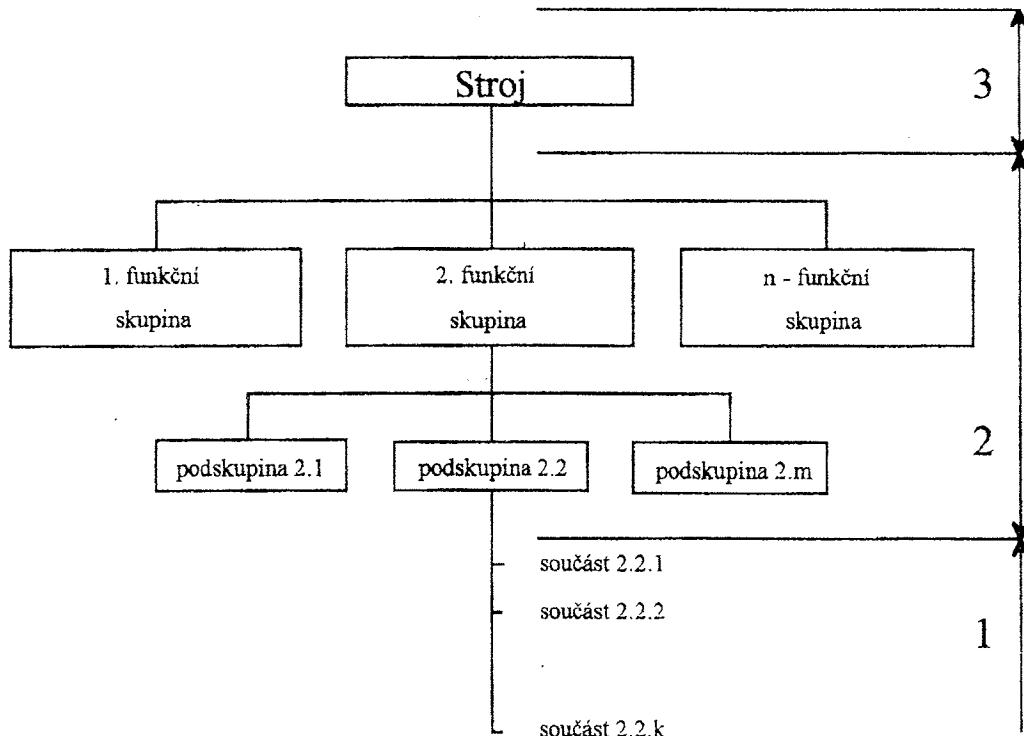
Obr. 2.8 - Základní funkční skupiny zemního stroje

Stroje pro zemní práce

Z hlediska funkcí, které jednotlivé části stroje plní, budeme rozlišovat (obr.2.8):

- 1 - pracovní zařízení
- 2 - poháněcí ústrojí
- 3 - ústrojí pojízdící (podvozek)
- 4 - řízení
- 5 - nosné části konstrukce
- 6 - hydraulickou soustavu
- 7 - elektrickou soustavu

Tato ústrojí plní funkce pracovních orgánů (1, popř. 3), energetických zdrojů a transformátorů energie (2, 6), nosných orgánů (5) aj.



Obr. 2.9 - Konstrukční skupiny zemního stroje

Z hlediska konstrukční stavby je možno stroj rozdělit na konstrukční skupiny (uzly), podskupiny a prvky (elementy, detaily) tak, jak ukazuje obr.2.9. Skupiny se často ztotožňují s funkčními celky stroje.

3. Pracovní nástroje těžebních strojů a jejich vzájemné účinky se zeminou

3. PRACOVNÍ NÁSTROJE TĚŽEBNÍCH STROJŮ A JEJICH VZÁJEMNÉ ÚČINKY SE ZEMINOU

3.1 Způsoby rozpojování zemin a jejich energetická náročnost

V současné době je pro rozpojování zemin možné použít několik způsobů:

Mechanické rozpojování, při němž se těžená zemina odděluje od masivu klíny, noži nebo nádobami, které jsou pracovními nástroji dobývacího stroje. Při mechanickém rozpojování zemin, kdy k oddělení části zeminy od masivu dochází bezprostředně působením pracovního nástroje, je porušení soudržnosti zeminy způsobeno překročením mezních napětí. Při analýzách procesu rozpojování je obvykle využívána hypotéza největších smykových napětí, která jsou určována z Coulombova vztahu

$$\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \phi \quad (3.1)$$

kde σ je normálné napětí v ploše porušení,

ϕ - úhel vnitřního tření zeminy,

c - soudržnost (koheze) zeminy.

Hydraulický způsob (hydrodobyvání) využívá k rozrušování zeminy kinetické energie vodního proudu.

Explozivní způsob (tzv. střelné práce) využívá k rozrušení horniny přetlaku plynu vzniklého explozivním hořením výbušných látek.

Další způsoby jako fyzikální, chemický, nekonvenční rozpojování REDSOD, rozpojování zeminy laserem apod. jsou ve stadiu zkoušek a jejich praktické využití je tč. minimální.

Při zemních pracích je významným hlediskem spotřeba energie, kterou vztahujeme zpravidla na 1m^3 vytěžené zeminy. Z hlediska této měrné spotřeby energie je nejvýhodnější způsob mechanický s je také nejrozšířenější. Způsob hydraulický, pracující s tlaky 0,6 až 1,0 MPa má spotřebu energie 0,2 až 2,0 kWh. $\cdot\text{m}^{-3}$ u zemin lehkých a středních. U zemin těžkých, bez předchozího nakypření, je nutno použít výšších pracovních tlaků a spotřeba energie vzroste na 3,0 až 4,0 kWh. $\cdot\text{m}^{-3}$. Spotřeba energie k nakypření 1 m^3 zeminy explozivním způsobem je 0,8 až 1,1 kWh. $\cdot\text{m}^{-3}$.

Mechanickým způsobem se těží 80 až 85 % zemin, podíl hydraulické těžby je 7 až 8 %, podíl explozivního těžení je 1 až 3 %.

3.2 Základní tvary a geometrie nástrojů

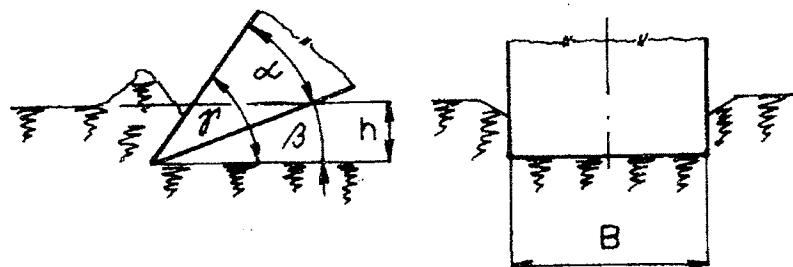
Pracovním nástrojem nazýváme tu část těžícího stroje, která bezprostředně působí na zeminu a tuto svým účinkem rozpojuje. Základním požadavkem na konstrukci pracovních nástrojů je dosažení minimální spotřeby energie na rozpojování a maximální životnosti nástrojů. Tvar nástrojů je závislý na koncepcii strojů a jejich provozním určení. Nástroje mívají tvar zubů, přímého nebo tvarovaného nože, radlice, lopaty, korečku, korby apod.

Elementárními nástroji pro rozpojování zemin jsou vodorovný a svislý hladký nůž. Při vhodném pohybu těchto nožů dochází k oddělování části zeminy (trásky) od masivu - k rozpojování zeminy.

Řezný proces vodorovného nože je charakterizován plochým tvarem odebírané trásky, která vzniká oddělením části materiálu od rostlého celku v důsledku překročení soudržných sil. Řezání zeminy vodorovným hladkým nožem je znázorněno na obr. 3.1. Břit nástroje má tvar klínu o šířce B a úhel břitu α jehož velikost bývá v rozmezí 20° až 30° z důvodů požadované tuhosti nástroje. Úhel řezu γ ovlivňuje

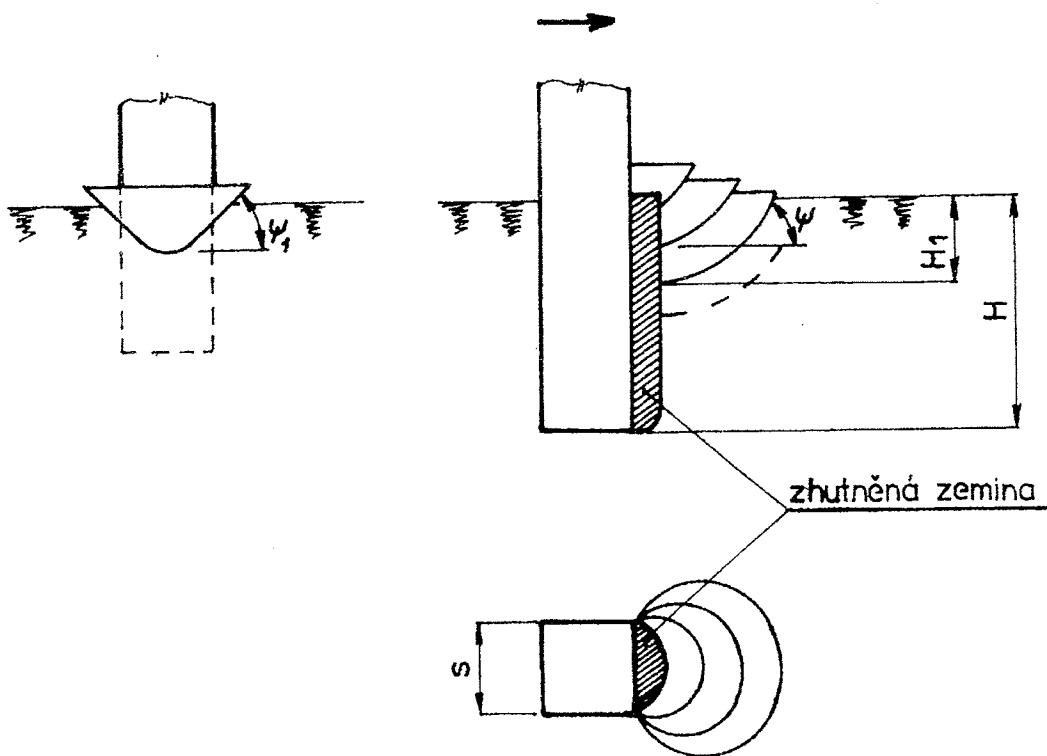
Stroje pro zemní práce

významnou měrou spotřebu energie na rozpojování a proto je vhodné jej volit co nejmenší. Úhel hřbetu β zabraňuje tření zadní (nečinné) plochy nože o zeminu, ke kterému by docházelo vlivem pružné deformace zeminy. Velikost úhlu hřbetu bývá 3° až 8° .



Obr. 3.1 - Řezání zeminy vodorovným hladkým nožem

Řezný proces svislého nože je charakterizován tím, že před jeho čelní plochou vzniká prosurový stav napjatosti závisející především na šířce nože s . Napjatost vyvolaná pohybem nože v zemině není schopna přivodit usmyknutí třísky v celé hloubce záběru H , ale pouze do určité tzv. kritické hloubky H_1 (obr.3.2). V této oblasti nastává oddělování zeminy směrem k volnému povrchu v důsledku překročení její snykové pevnosti, v dolní části dochází ke vtlačování zeminy z oblasti nože do okolního masivu. Z uvedených důvodů jsou pracovní odpory svislých nožů podstatně vyšší než pracovní odpory nožů vodorovných.

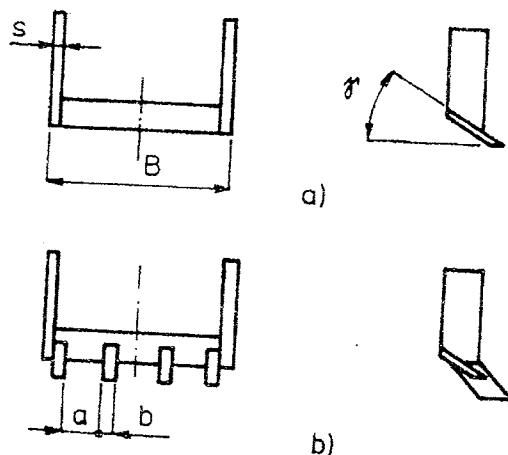


Obr. 3.2 - Řezný proces svislého nože

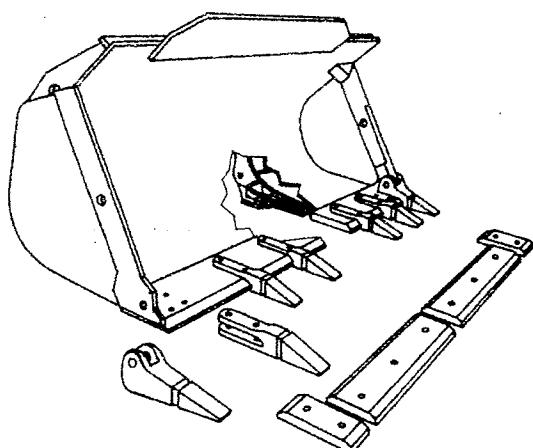
Rozložením nožů vodorovných a nožů svislých, případně jejich úpravou na dobývacím nástroji, vznikne řezný obvod - obr. 3.3. (hladký nebo se zuby), který je základem řady dalších nástrojů: Korečků, lopat rýpadel a nakladačů (obr.3.4), korby skrejprů aj. Pokud se týká korečků kolesových rýpadel, tak zmínku najdete přímo v kap. 10.1.2, a korečků korečkových rýpadel v kap. 10.2.2.

3. Pracovní nástroje těžebních strojů a jejich vzájemné účinky se zeminou

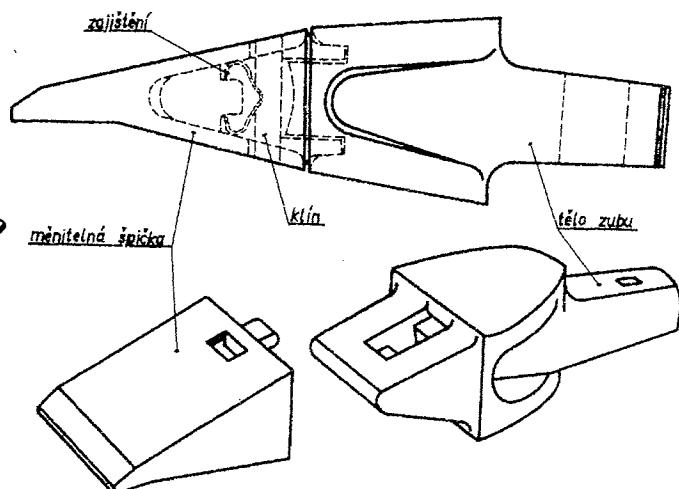
Velmi důležitým prvkem nástrojů pro rozpojování zemin jsou zuby. Jsou vystaveny vysokému mechanickému namáhání a opotřebení. Použitím vhodných materiálů zubů a jejich účelným tepelným zpracováním se dosahuje optimální tvrdosti a houževnatosti jednotlivých partií zuba (špička zuba má vysokou tvrdost, střední a zadní jsou pevné a houževnaté). Zmínka o zubech kolesových a korečkových rýpadel najdete v již citovaných kapitolách.



Obr. 3.3 - Řezný obvod, a) hladký, b) se zuby



Obr. 3.4 - Lopata rýpadla



Obr. 3.5 - Zub s výmennou špičkou

S rostoucím opotřebením zubů se zvětšuje řezný odpor a klesá výkonnost zemního stroje. Proto věnujeme určení popř. výběru správného tvaru a materiálu zubů včetně způsobu upevnění zubů na nástroji, které by umožňovalo snadnou výměnu zubů, případně výměnu špičky zuba. Výměnné části břitů otěrem hřbetní části, což je podmíněno vhodnou volbou materiálu, návaru břitů, atd.

3.3 Silové účinky mezi nástrojem a zeminou

Znalost silových účinků působících v procesu rýpnání mezi zeminou a nástrojem zemního stroje je nutná z hlediska optimálního řešení tvaru nástroje a dimenzování jednotlivých částí stroje i stroje celého včetně průkazu jeho stability proti převržení. Tyto vzájemné silové účinky budou závislé na celé řadě faktorů. Časově proměnná rypná síla bude funkcí druhu a stavu zeminy, druhu, tvaru a pohybu nástroje, hloubky, šířky a způsobu odběru třísky, rychlosti rozpojování a dalších veličin. Můžeme ji vyjádřit zápisem

$$F(t) = f(Z, N, T, G, v) \quad (3.2)$$

v němž představují symboly

Z - charakteristiky zeminy,
N - parametry nástroje,
T - parametry třísky,

G - účinky okolí,
v - rychlosť rozpojování.

Stroje pro zemní práce

Jednotlivé symboly je nutno chápat jako funkce dalších veličin

$$Z = f(\phi, c, \rho, w), \quad (3.3)$$

$$N = f(n, \gamma, z, o), \quad (3.4)$$

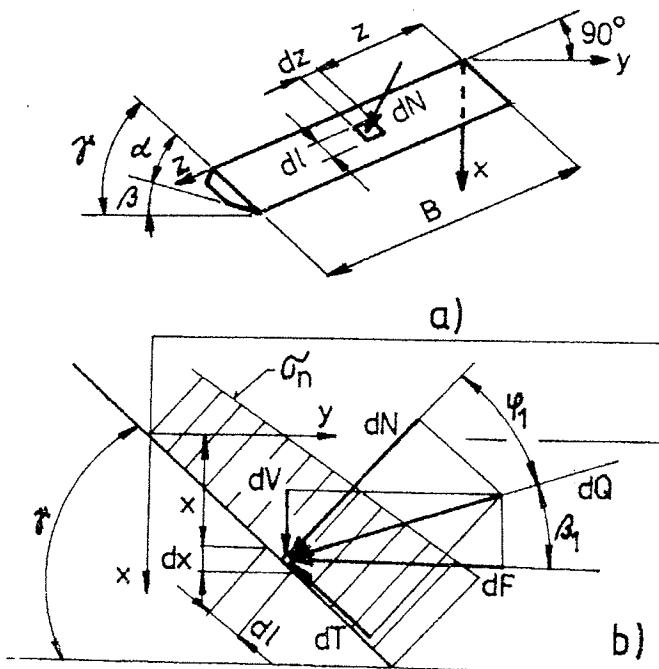
$$T = f(h, b, s, S), \quad (3.5)$$

kde značí

- ϕ - úhel vnitřního tření zeminy,
- c - soudržnost zeminy,
- ρ - objemovou hmotnost zeminy,
- w - vlhkost zeminy,
- n - tvar nástroje,
- γ - úhel řezu,
- z - počet zubů,
- o - otupení nástroje,
- h - tloušťku třísky,
- b - šířku třísky,
- s - počet a druh bočních břitů,
- S - průřez třísky.

V případě řezání zeminy jednoduchým, ostrým, hladkým nožem podle obr. 3.6 bude horizontální složka řezného odporu působící na břit nástroje

$$F_h = \iint dF(d, z) \quad (3.6)$$



Obr. 3.6 - Silové účinky mezi nožem a zeminou

3. Pracovní nástroje těžebních strojů a jejich vzájemné účinky se zeminou

Na elementární plošku $dl \cdot dz$ působící normálná tlaková síla bude

$$dN = \sigma_n \cdot dl \cdot dz \quad (3.7)$$

a odpovídající tečná síla

$$dT = dN \cdot \tan \varphi_1 \quad (3.8)$$

bude-li úhel tření zeminy o nůž φ_1 .

Výslednice těchto elementárních sil je

$$dQ = \frac{dN}{\cos \varphi_1} \quad (3.9)$$

a její vodorovný průměr

$$dF_h = dQ \cdot \cos \beta_1 \quad (3.10)$$

kde

$$\beta_1 = 90^\circ - (\gamma + \varphi_1) \quad (3.11)$$

Po dosazení za

$$dl = \frac{dx}{\sin \gamma} \quad (3.12)$$

a

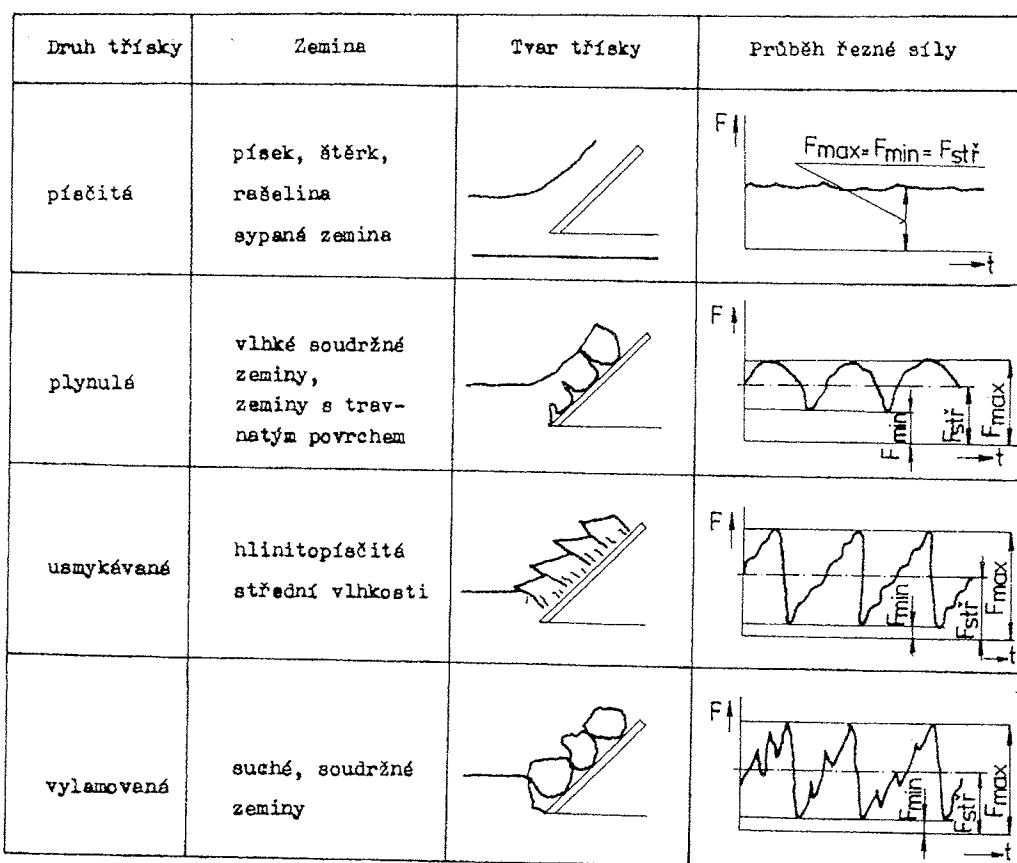
$$\cos \beta_1 = \sin (\gamma + \beta_1) \quad (3.13)$$

získáme

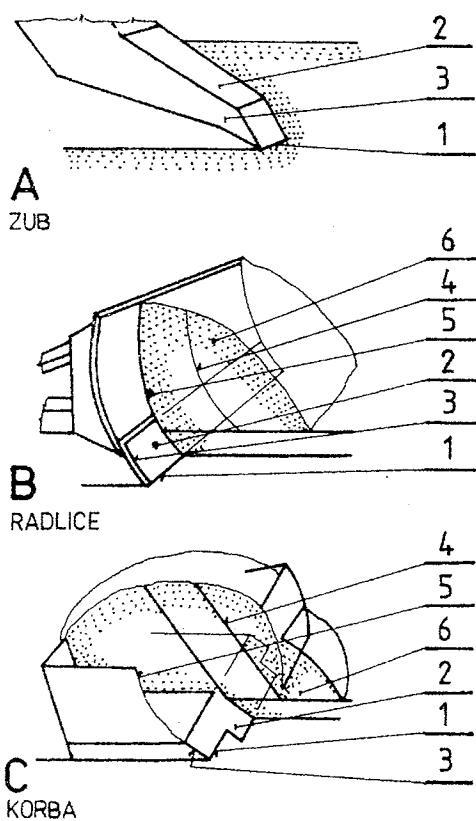
$$dF = \frac{\cos \beta_1}{\sin \gamma \cdot \cos \varphi_1} \sigma_n \cdot dx \cdot dz = (1 + c^0 \cdot \tan \varphi_1) \sigma_n \cdot dx \cdot dz \quad (3.14)$$

Řezná síla je v čase proměnná a její průběh je závislý na charakteru trásky odebírané zeminy. Základní druhy třísek typických pro různé druhy a vlastnosti zemin a jím odpovídající charakteristické průběhy řezných sil jsou na obr.3.7. Mezi periodicky nebo stochasticky po sobě následujícími lomy třísek a maximálními hodnotami řezných sil je přímá souvislost. Čím tvrdší a křehčí je zemina, tím větší je amplituda silové funkce. Následně potom rozlišujeme řezný odpor - přímo na řezném nástroji a rypný odpor - řezný odpor zvětšený o tření materiálu na pracovním (v pracovním) nástroji a další složky.

Vzájemné účinky pracovního nástroje zemního stroje a zeminy jsme ukázali jen na nejjednodušším nástroji, aby byla zřejmá podstata vzájemného působení. U složitějších nástrojů jsou samozřejmě komplikovanější i účinky mezi nástroji a zeminou. Na obr.3.8 jsou znázorněny tři odlišné typy nástrojů v procesu rozpojování zeminy : Zub, radlice a korba skrejpru. Na nástroje s rozpojovanou zeminou pohlížíme jako na systém s určitou strukturou tj. množinu prvků s množinou vzájemných vazeb.



Obr. 3.7 - Časové průběhy řezných sil základních typů třísek



Elementy systému "pracovní nástroj - zemina" jsou:

- 1 - břít,
- 2 - čelní plocha nástroje,
- 3 - boční strany nástroje,
- 4 - smyková plocha oddělené zeminy,
- 5 - smyková plocha nástroje,
- 6 - hranol hrnuté zeminy.

Důsledkem vazeb jsou, mimo jiné, dílčí složky odporu, který klade zemina vnikání nástroje, tzn. rypného odporu. Jako nejvýznamnější složky rypného odporu můžeme označit:

- F₁ - odpor vnikání břitu do zeminy (řezný odpor),
- F₂ - odpor čelní plochy nástroje,
- F₃ - odpor tření bočních stran nástroje o zeminu,
- F₄ - odpor tření oddělované vrstvy zeminy o zeminu hrnutou před nástrojem, (v nástroji) apod.
- F₅ - odpor tření oddělené zeminy o nástroj,
- F₆ - odpor tření hrnutého hranolu zeminy.

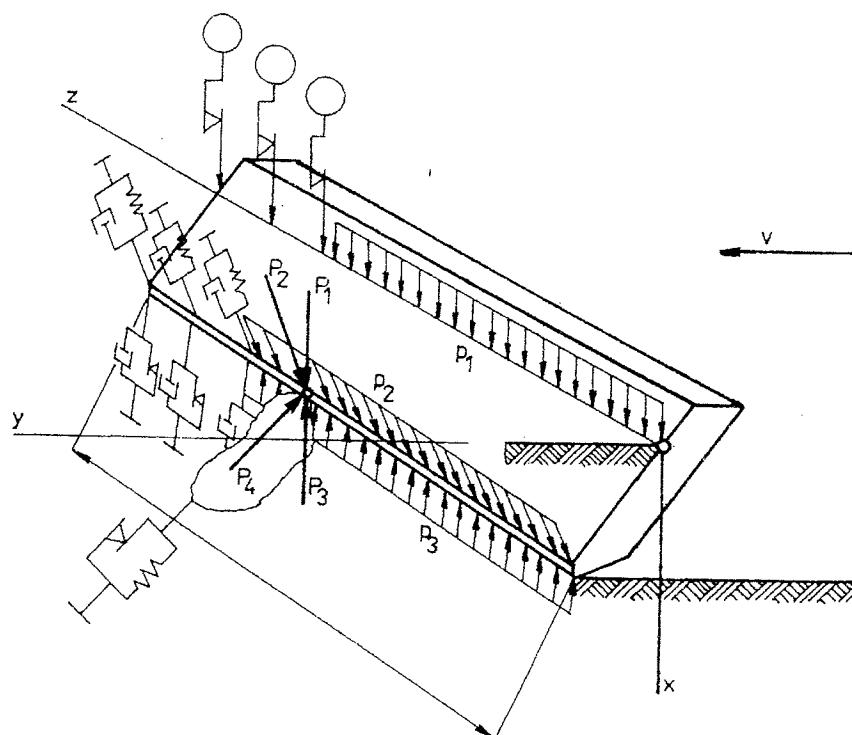
Obr. 3.8 - Základní typy nástrojů v procesu rozpojování zemin

3. Pracovní nástroje těžebních strojů a jejich vzájemné účinky se zeminou

Celkový odpor působící na pracovní nástroj zemního stroje při práci je dán vektorovým součtem jednotlivých složek

$$\mathbf{F} = \sum \mathbf{F}_i \quad (3.15)$$

Představu o charakteru vzájemných účinků mezi nástrojem a rozpojovanou zeminou si můžeme upřesnit pomocí reologického modelu systému "pracovní nástroj - rozpojovaná zemina". Modely tohoto typu - tzv. jednoduchý vidíme na obr. 3.9 - příhlíží k elasticitním, plastickým i viskózním vlastnostem systému (reologie - nauka o tokových vlastnostech).



Obr. 3.9 - Reologický model procesu rozpojování zeminy

4. POHONY STROJŮ PRO ZEMNÍ PRÁCE

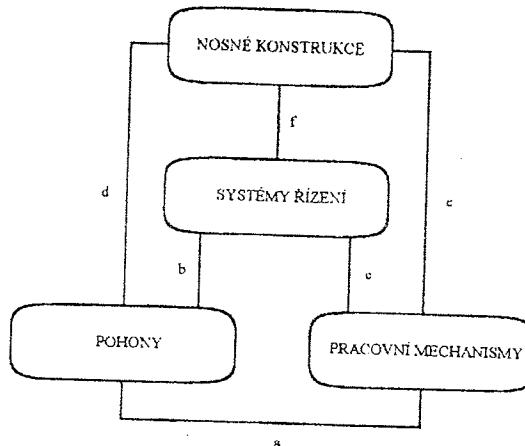
4.1 Vnější charakteristiky pracovních mechanismů a charakteristiky zdrojů energie

Stroje pro zemní práce jsou účelové systémy skládající se z mechanismů plňících požadované pracovní funkce, z pohonů zabezpečujících potřebné pohyby pracovních mechanismů, ze systémů řízení a z nosné konstrukce. Grafický model stroje pro zemní práce v tomto systémovém pojetí je na obr.4.1. Vzájemné vazby mezi jednotlivými prvky jsou označeny písmeny a až f.

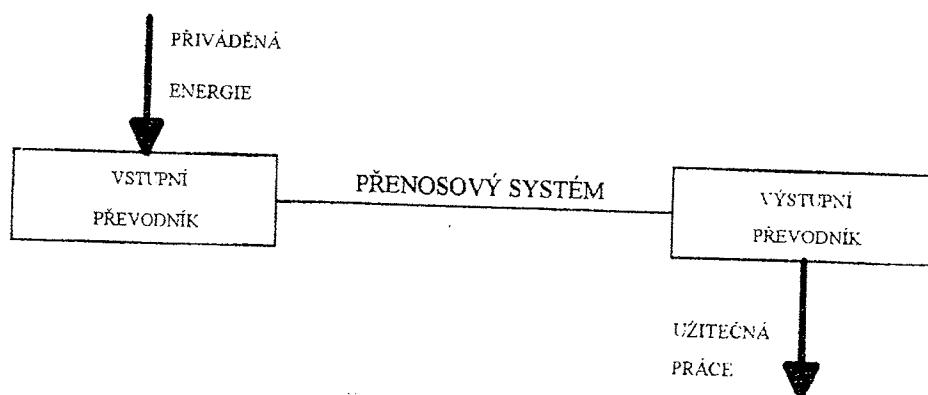
Pohony plní funkce transformace a přenosu energie přiváděné stroji nejčastěji ve formě paliva (nafty), elektrické energie, stlačeného vzduchu nebo kapaliny, na formu vhodnou pro realizaci potřebných pohybů pracovních mechanismů. Přenosovým médiem může být fáze tuhá, kapalná nebo plynná v případě mechanických převodů, hydrostatických, popřípadě hydrodynamických pohonů nebo pneumatických pohonů. Z hlediska přenosu energie můžeme pohon znázornit modelem na obr.4.2.

Technologie zemních prací určuje nároky na vlastnosti pohonu stroje jako celku i jeho subsystémů. Z tohoto hlediska jsou důležité vnější charakteristiky pracovních mechanismů. Některé významné

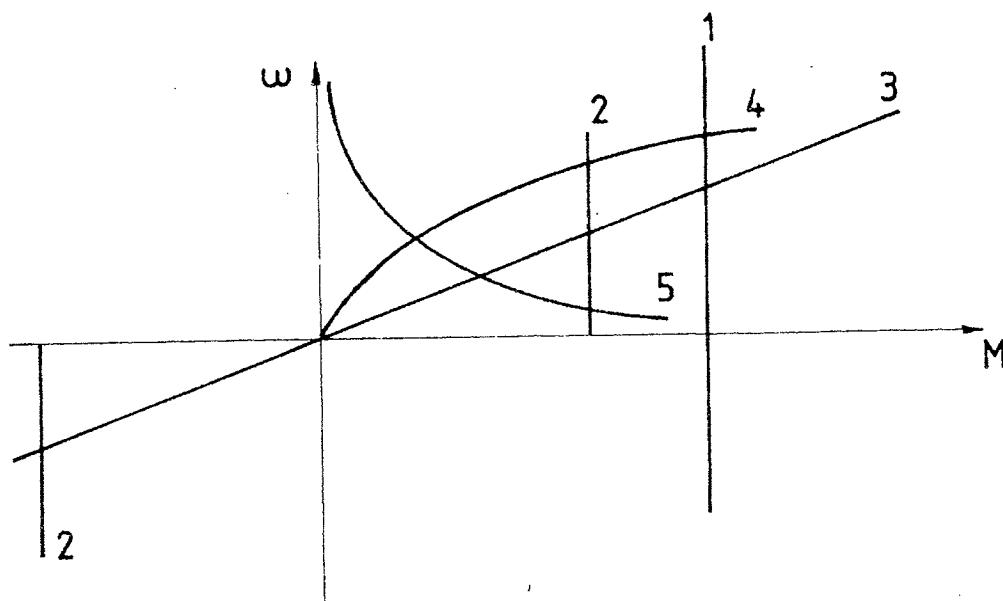
1. $M = \text{konst.}$ představuje ústrojí zdvihající břemeno stálé hmotnosti,
2. $M = k \cdot \text{sign } \omega$ je charakteristika mechanismu s konstantními pasivními odpory působícími proti pohybu,
3. $M = k \cdot \omega$ charakterizuje stroj s odpory proti pohybu, které jsou úměrné rychlosti,
4. $M = k \cdot \omega^2$ je charakteristika odstředivého čerpadla,
5. $M = k \cdot \omega^{-1}$ je mechanismus s hyperbolickou charakteristikou.



Obr. 4.1 - Grafický model zemního stroje v systémovém pojetí



Obr. 4.2 - Energetický model pohonu zemního stroje



Obr. 4.3 - Vnější charakteristiky pracovních mechanismů
M - zátěžový moment, ω - úhlová rychlosť

Teoretické charakteristiky ústrojí strojů pro zemní práce mají většinou podobu charakteristik typu 1 (zdvihová ústrojí) nebo 2 (pojezdová ústrojí). Zatížení strojů pro zemní práce je však převážně proměnlivé a má velmi často stochastický charakter.

Představu o charakteru režimu práce stroje pro zemní práce můžeme vytvořit pomocí chronografu na obr.4.4. Pohon stroje musí zabezpečit přísun potřebného množství energie pro jednotlivá ústrojí v potřebné době. Například pracovní zařízení lopatového nakladače při plnění lopaty vyvazuje velké síly k překonání odporů, které klade materiál při vnikání lopaty, zatím co pracovní rychlosť nástroje je v této době malá (obr.4.5). Poklesnou-li odpory při plnění lopaty, zvýší se pracovní rychlosť a poklesnou-li na nulu, je pracovní rychlosť největší. Požadovaných efektů se dosahuje hydrostatickým systémem s výkonovou regulací. Podobně u pojízděcího ústrojí lopatového nakladače s kolovým podvozkem je žádoucí, aby se hnací síla a jízdní rychlosť přizpůsobovaly okamžitým hodnotám jízdního odporu a odporu plnění lopaty. Hydraulický převod automaticky zabezpečuje vysoké pojízděcí rychlosti při nezatíženém pracovním zařízení a velké hnací síly při zatlačování lopaty do materiálu, jak ukazuje obr.4.6. Přechod mezi jednotlivými režimy je přitom plynulý.

Pro pohony většiny strojů pro zemní práce se používá nejčastěji spalovacích motorů a to převážně vznětových (naftových), které mění chemickou energii v palivu přes energii tepelnou na energii mechanickou. Vedle nich je používáno pohonů elektrických, hlavně s trojfázovými asynchronními motory, které mění energii elektrickou na potřebnou mechanickou energii.

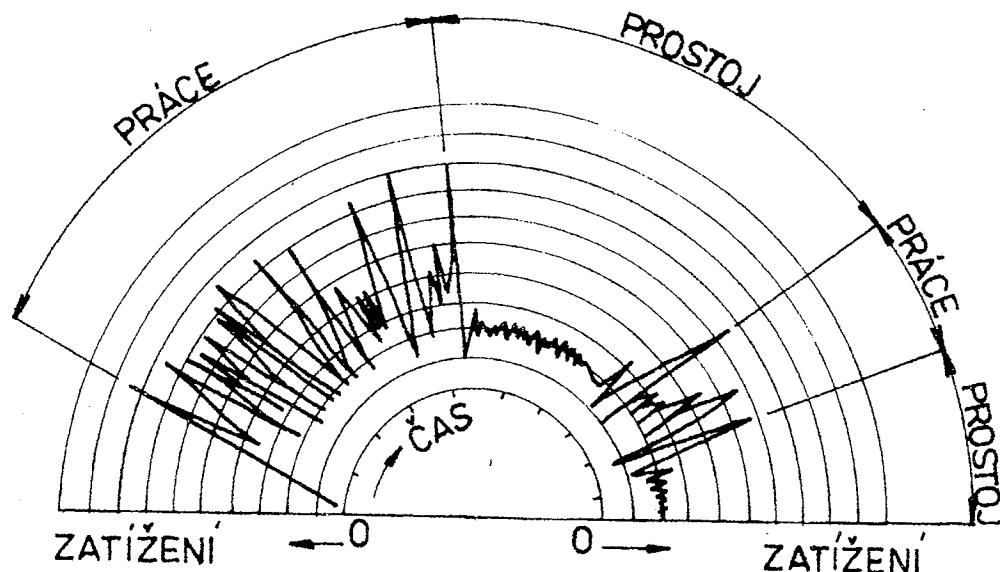
Charakteristiky naftového motoru jsou na obr.4.7, vlevo nepřeplňovaného, vpravo s přeplňováním. Spalovací motory, určené pro stroje s proměnlivým zatížením procházejí vývojovým obdobím, které lze charakterizovat:

- zvýšením výkonu motoru vztaženého na jeden litr obsahu válců až na 22 kW.l^{-1} (dosahovaného přeplňováním),
- zvýšením termické účinnosti motorů až na 45% na základě dokonalejšího spalovacího procesu,
- snížením obsahu škodlivých látek ve výfukových plynech pod hranici 5 g.kWh^{-1} ,
- snížením měrné spotřeby paliva na 210 až 175 g.kWh^{-1} ,
- snížením hlučnosti motorů až k hranici 70 dB,
- snížením prostorové robustnosti a hmotnosti motorů na 4.5 až 3.5 kg.kW^{-1} ,
- zvýšení životnosti a provozní spolehlivosti zlepšením provozního režimu motorů.

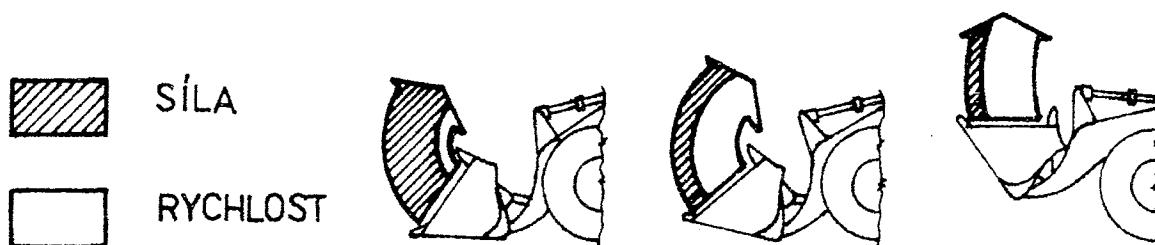
4. Pohony strojů pro zemní práce

Důležitým parametrem motoru z hlediska pohonu zemního stroje je jeho regulovatelnost. Průběh točivého momentu M při plném a 50-ti %- ním otevření regulačního orgánu ukazuje obr.4.8.

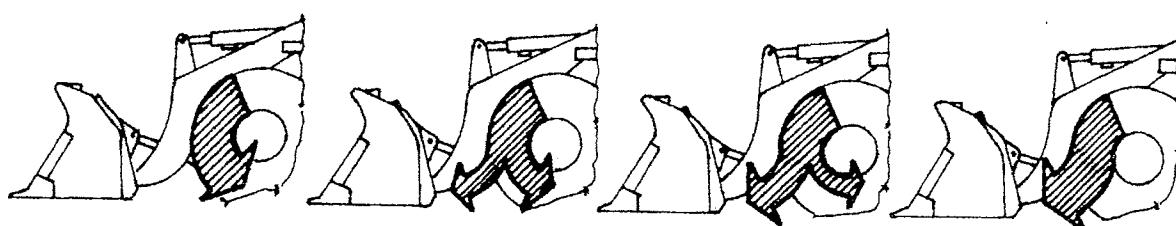
Úhel α je měřítkem samoregulovatelnosti.



Obr.4.4 - Průběh zatížení mechanismu zemního stroje v závislosti na čase

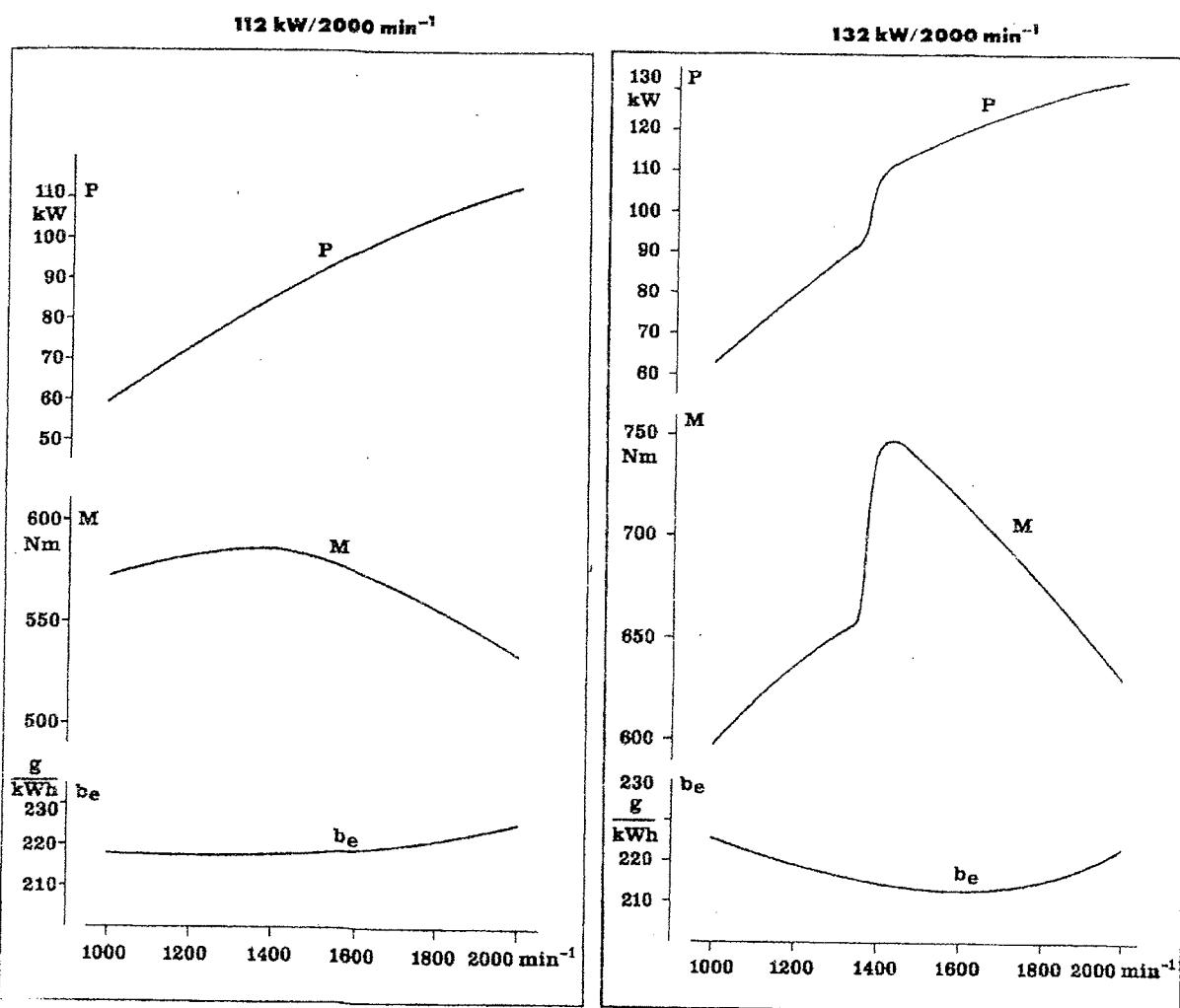


Obr. 4.5 - Funkční vlastnosti hydrostatického pohonu pracovního zařízení lopatového nakladače

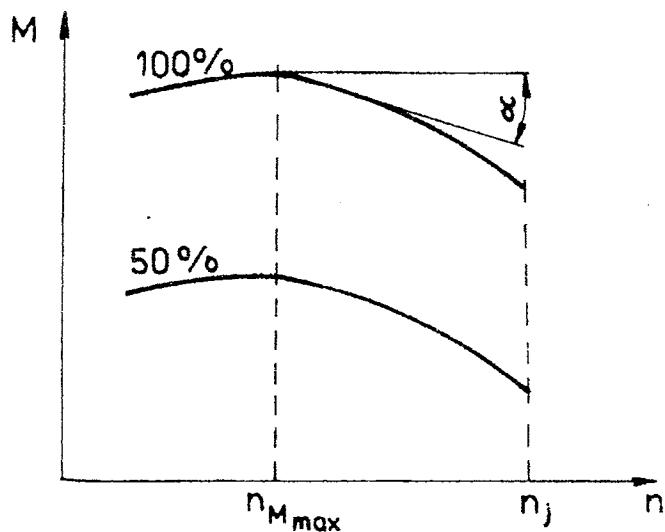


Obr.4.6 - Činnost pojízděcího ústrojí nakladače s hydrodynamickým převodem

Průběh točivého momentu spalovacích motorů během jednoho pracovního cyklu je značně proměnlivý. Velikost pulsující složky dosahuje 12 až 15-ti násobku střední hodnoty točivého momentu u jednoválcových motorů a klesá s rostoucím počtem válců na cca 4-násobek středního točivého momentu u šestiválcového motoru.



Obr.4.7 - Charakteristiky vznětového motoru,
P - výkon, M - točivý moment, b_e - měrná spotřeba paliva



Obr.4.8 - Regulace vznětového motoru

4. Pohony strojů pro zemní práce

Střední točivý moment spalovacího motoru

$$M_{ks} \approx V_z \cdot z \cdot p_e \quad [N \cdot m] \quad (4.1)$$

a užitečný výkon

$$P_e = M_{ks} \cdot \omega \quad [kW] \quad (4.2)$$

Vé vztazích značí:

V_z - zdvihový objem	[m^3]
z - počet válců	[1]
p_e - střední užitečný tlak	[MPa]

Trojfázové asynchronní motory, zvlášť s kotvou nakrátko, jsou nejlevnějšími motory. Statorové vinutí rozložené po obvodu statoru vytváří při napájení trojfázovým proudem točivé magnetické pole, v rotoru se indikuje napětí, které protlačí rotorovým vinutím proud. Ten v záběru s magnetickým polem vytváří točivý moment. Otáčky pole jsou

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad [\min^{-1}] \quad (4.3)$$

p - počet dvojpólů
 f - frekvence el. sítě

Těchto tzv. synchronních otáček nedosáhne motor ani v chodu naprázdno (nezatížen vnějším momentem), neboť je brzděn momentem na krytí vlastních mechanických ztrát. Otáčky hřídele motoru budou

$$n = n_s (1 - s) \quad [\min] \quad (4.4)$$

kde pro skluz s platí

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad [1] \quad (4.5)$$

Jestliže se na hřídele motorů přivede moment, dostane se stroj ze stavu motorického přes ideální chod naprázdno $s = 0$ až do stavu generátorického. Zabrzdíme-li rotor (což odpovídá krátkodobě stavu v okamžiku zapnutí), indukuje se v rotoru největší napětí U_{20} . Po rozbehnutí motoru se toto napětí zmenšuje se skluzem podle vztahu

$$U_2 = s \cdot U_{20} \quad [V] \quad (4.6)$$

a je tedy nulové pro ideální chod naprázdno. Moment motoru je dán vztahem

$$M = C_M \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 \quad [\text{Nm}] \quad (4.7)$$

kde I_2 je rotorový proud a $\cos \varphi_2$ je účinek rotorového obvodu, který je v okolí jmenovitého výkonu přibližně stálý a blízký 1.

Při $n = 0$ zabírá motor momentem M_Z , v době rozběhu vzrůstá moment až do bodu zvratu (při $s_m = 20$ až 30%) a pak klesá až k 0 při $s = 0$. Plynule přechází do záporných hodnot v oblasti nadynchronního generátorického brzdění až do bodu zvratu. V motorickém chodu se ustálí rychlosť při rovnováze momentů na hodnotě odpovídající jmenovitému skluzu. Podmínkou stabilního chodu motoru je

$$\frac{dM}{dn} < 0 \quad (4.8)$$

Tato podmínka je u asynchronního motoru dodržena ve větví charakteristiky od bodu naprázdně do bodu zvratu. Zbývající větve za momentem zvratu v motorickém a v generatorickém chodu jsou nestabilní. Při záběru dosahuje proud odpovídající záběrnému momentu přibližně 5-ti až 8-mi násobku jmenovitého proudu. Při protisměrném brzdění moment pasivních odporů pomáhá brzdit a přičítá se tedy k motorickému momentu. Proto je brzdění rychlejší než rozběh. Průměrné hodnoty momentové přetížitelnosti, tj. poměru momentu zvratu k momentu jmenovitému, bývají 1.7 až 2 u normálních provedení a 2.2 až 3.2 u motorů pro speciální účely.

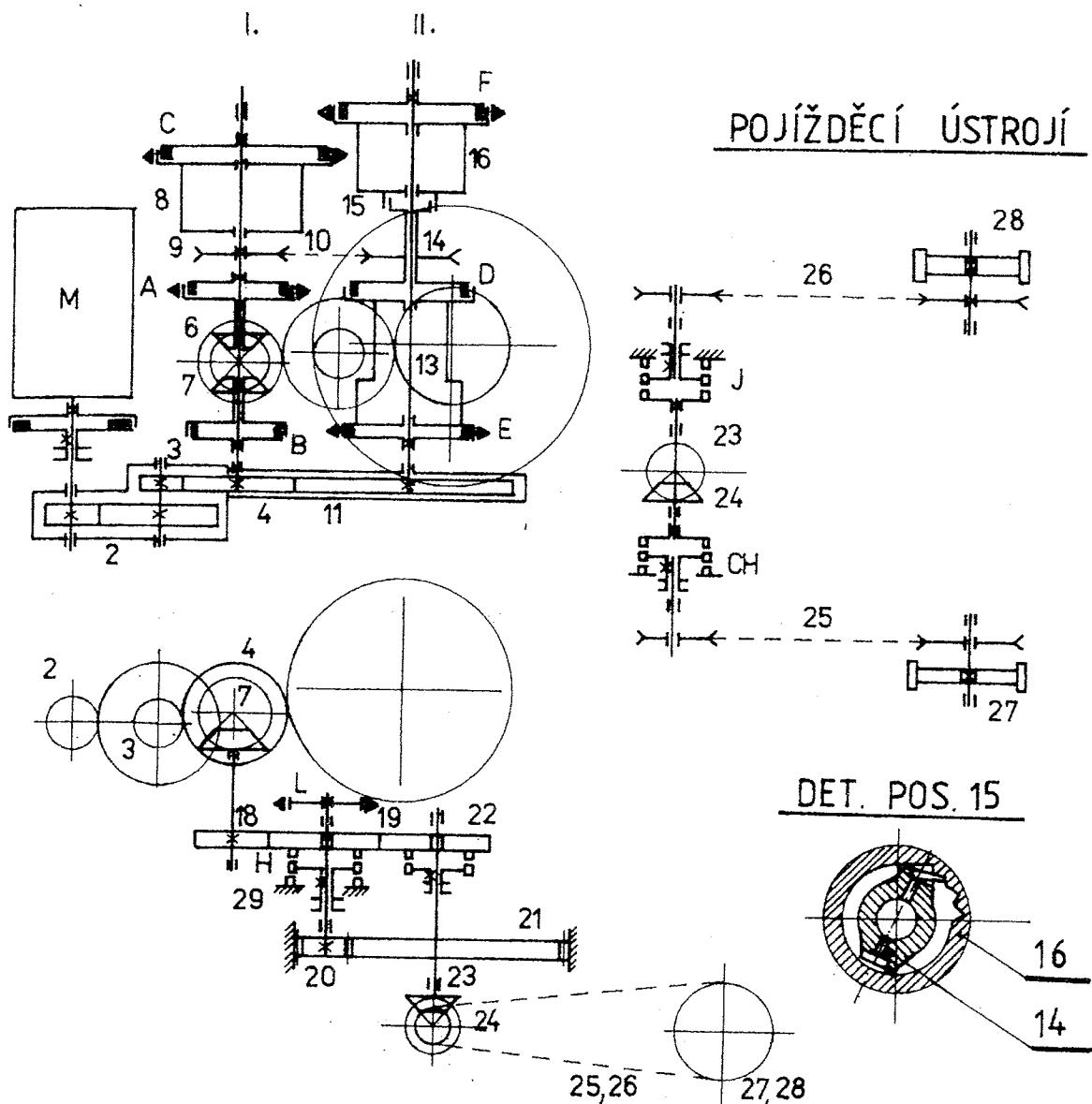
Pokud má napájecí síť dostatečnou rezervu výkonu (minimálně 10-ti násobek výkonu motoru), nepůsobí rozběh nakrátko obtíže, je-li krátký. Rozběhové poměry se dají zlepšit přepínáním Y/Δ, použitím autotransformátoru nebo tlumivky, případně použitím rozběhové spojky.

Trojfázové asynchronní motory s kroužkovou kotvou umožňují řízení záběrného momentu i proudu spouštěcích odporníků. Nemá-li rotorový proud přesáhnout q-násobek proudu jmenovitého, je třeba volit spouštěcí odporník podle vztahu

$$R_s = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} \cdot q \cdot I_{20}} - R_2 \quad [\Omega] \quad (4.9)$$

kde U_{20} je rotorové napětí napětí mezi kroužky stojícího motoru ($s=1$). Vrazením odporu R_s vzroste q-krát i záběrný moment. Vrazením odporu přiměřené velikosti lze dosáhnout záběru motoru jmenovitým momentem při odběru jmenovitého proudu ($R_s = 4$ až 6 R_2). Je-li vřazovaný odporník dimenzován na trvalý provoz, lze jím regulovat rychlosť. Další možnosti řízení rychlosti asynchronních motorů jsou změnou frekvence, změnou skluzu nebo změnou počtu pólů (stupňovitě), jak vyplývá ze vztahu

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot R_2 \quad [\text{min}^{-1}] \quad (4.10)$$



Obr.4.9 - Kinematické schéma rýpadla s centrálním pohonem

4.2 Druhy pohonů a jejich použití

K pohonu strojů pro zemní práce se využívá převážně energie akumulované v naftě nebo elektrické energie. Pohony spalovacími motory jsou používány nejčastěji, elektrické pohony nacházejí použití u rýpadel, která vzhledem k technologii těžby nekladou tak vysoké nároky na pohyblivost a kabel pro přívod elektrické energie zde nepřekáží v práci stroje.

Je-li pro pohon všech mechanismů stroje použito ve vstupním převodníku jednoho zdroje mechanické energie, má stroj centrální pohon, mají-li mechanismy stroje samostatné pohony, hovoříme o individuálních pohonech. Podle charakteru použitých převodníků rozlišujeme převody mechanické, hydrostatické nebo hydrodynamické a elektrické.

4.2.1 Pohony s mechanickým přenosem energie

Mechanická ústrojí pro přenos energie tvoří účelové systémy strojních součástí - hřídele, ozubená kola, řetězy, lana, spojky, brzdy, ložiska, spojovací součásti aj. Demonstrujme si systém tohoto typu na příkladu.

Na obr. 4.9 je kinematické schéma univerzálního lopatového rýpadla s lanovým ovládáním pracovního mechanismu. Naftový motor pohání přes převodovku 2 ozubený pastorek 3, terý točí ozubeným kolem 4, a tím také předlohouvým hřídelem I. a II. Daný obrázek je svým způsobem historii, ale každopádně ukazuje složitost mechanického přenosu energie.

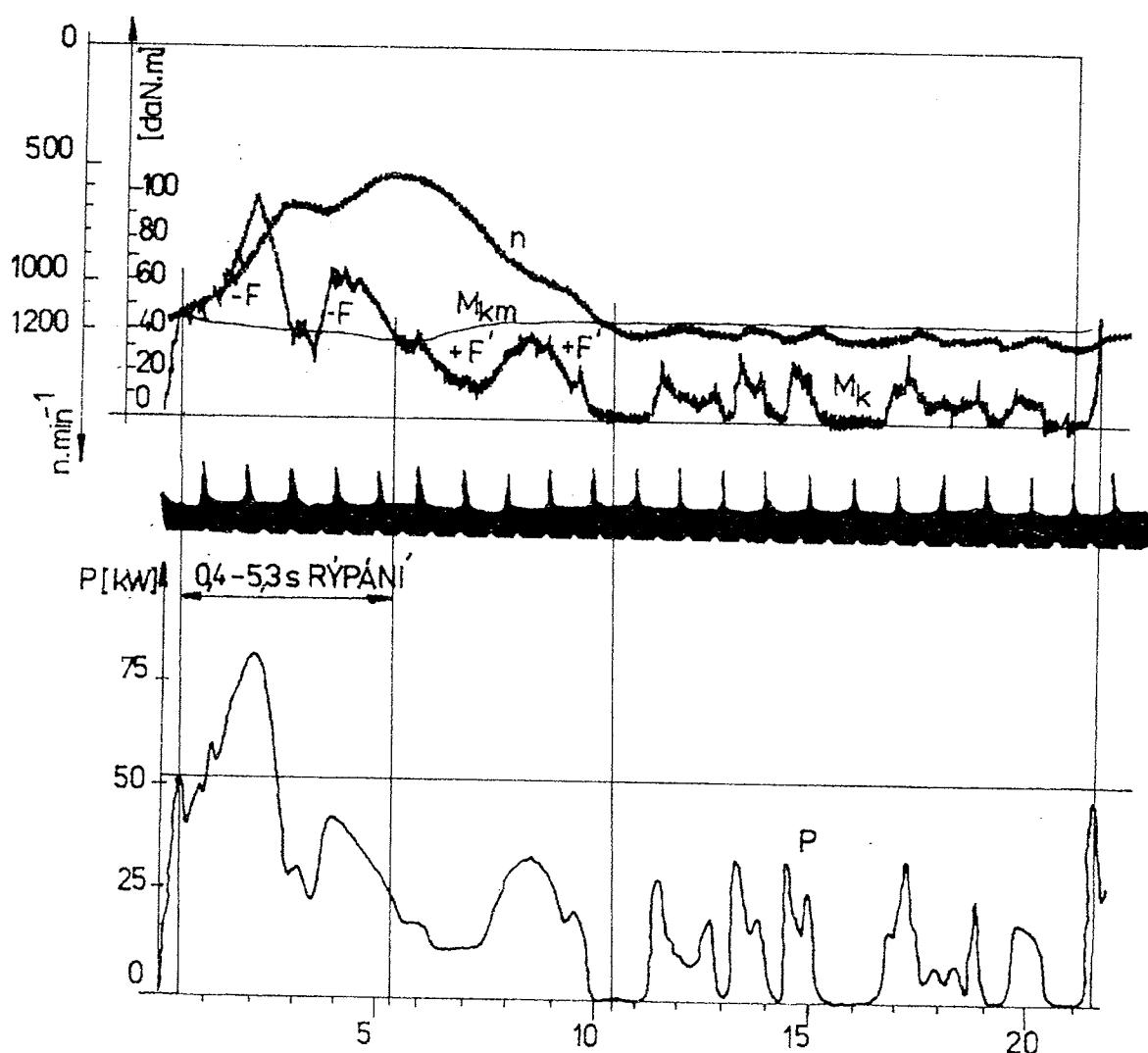
Pro dimenzování jednotlivých součástí mechanismů stroje je nutná znalost jejich zatížení. Charakter zatížení je zřejmý z oscilografického záznamu pracovního cyklu rýpadla, který je na obr. 4.10. Na obrázku značí:

M_k - průběh točivého momentu potřebného pro pohon rýpadla měřený na I. předloze (obr. 4.9),
 n - otáčky motoru,

M_{km} - průběh točivého momentu motoru, odpovídající okamžitým otáčkám, sestrojený z charakteristiky motoru

P - průběh výkonu sestrojený z otáček n a momentu M_k

Z průběhu křivky výkonu P je zřejmé, že v době rýpání maximální výkon motoru nestačí ke krytí potřeby. Využívá se k němu energie akumulované v rotujících hmotách soustavy, zejména na hřídeli motoru (setrvačník, spojka).



Obr. 4.10 - Oscilografický záznam pracovního cyklu rýpadla

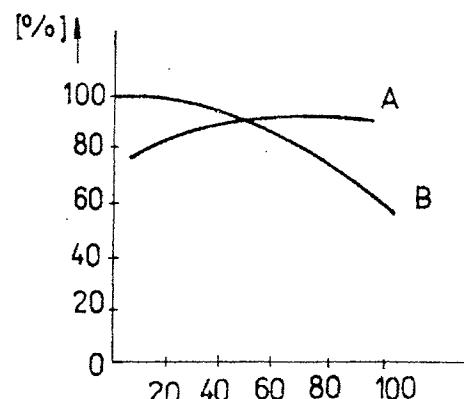
4.2.2 Pohony s hydrostatickým přenosem energie

Fyzikálně technické možnosti, které skýtá hydrostatika, se dají u zemních strojů příznivě využít. O které možnosti se jedná? Jsou to zejména:

- Jednoduchý přenos energie
 - Výkon hnacího spalovacího motoru, předaný hydrogenerátorem (čerpadlem) nebo soustavou hydrogenerátorů tlakovému oleji je možné zavést na libovolné místo stroje trubkami a hadicemi a tam plně využít. Jako pracovních agregátů bývá použito převážně robustních přímočarých hydromotorů (hydraulických válců). Pro rotační pohyby používáme rotačních hydromotorů.
- Snadné dělení výkonu
 - Další důležitá výhoda hydrostatického pohonu spočívá v možnosti libovolného větvění výkonového toku od hydrogenerátoru. Této výhody využíváme při paralelní práci hydraulických válců. Tři hydraulické válce mohou být prostřednictvím rozvaděčů zapojeny na čerpadlo buď současně nebo jednotlivě. Při práci jednoho hydraulického válce bude síla na jeho pístnici F a pístnice bude vysouvána rychlostí v. Zapojíme-li na čerpadlo všechny tři válce, bude (za předpokladu stejných rozměrů válců a stejného jejich zatížení) síla na pístnici každého válce F, ale pístnice se budou pohybovat jen rychlostí $1/3 v$. V praxi však jsme zpravidla nutni odebírat třísku určitého tvaru a pracujeme s válci jednotlivě. U drapáku, jehož čelisti jsou ovládány samostatnými hydraulickými válci, které zásobuje jedno čerpadlo, bude se vždy vysouvat pístnice nejméně zatíženého válce a zuby drapáku by se pohybovaly po cestě minimálního rypného odporu

Někdy se skutečnost, o které zde hovoříme jako o výhodě, stává nevýhodou. Například u housenicového (pásového) podvozku se samostatnými hydromotory pro každý pás dochází při stoupnutí odporů na jednom pásu ke zvýšené dodávce tlakového oleje do méně zatíženého hydromotoru (oba motory jsou napájeny jedním čerpadlem) a tím k nežádoucí změně směru pohybu stroje, kterou je nutno korigovat řízením. Rovnoměrné dělení proudu nebo dělení proudu v určitém poměru umožňuje dělič proudu zapojený do okruhu.

- Libovolný smysl sil
 - Hydraulické válce mohou vyvíjet tah i tlak. Umožňují působit na nástroj vnikající do zeminy přídavnou silou a případně využít i hmotnosti stroje (využití při práci hydraulického rýpadla s drapákem)
- Vysoká účinnost v důležitých pracovních oblastech
 - Účinnost hydrostatických soustav má příznivý průběh pro stroje pro zemní práce. Na obr.4.11 je znázorněn průběh účinnosti při hydrostatickém přenosu sil s výkonovou regulací u pojízdějícího ústrojí (křivka B) a pohonu s mechanickými převody s kluznými ložisky (křivka A), v závislosti na rychlosti jízdy. Vzrůstají-li jízdní odporu, zmenšuje se rychlosť jízdy - to znamená, že rychlosť proudu oleje v potrubích a odpory v trubkách, hadicích, rozvaděčích a ventilech jsou stále menší. Zmenšují se ztráty, účinnost se zlepšuje. Pro hydromotory je k dispozici stále vyšší tlak, který se s klesající rychlosťí blíží k maximálnímu výstupnímu tlaku čerpadel. Dojde-li k poklesu odporu, vzroste opět rychlosť jízdy.



Obr.4.11 - Porovnání účinnosti hydrodynamického a mechanického převodu

Při vysokých pracovních rychlostech účinnost systému rychle klesá, to však tak dalece nevadí, neboť v případech, kdy toto nastává (jízda rovnomořnou rychlosťí po rovině, vracení prázdné lopaty do výchozí pracovní polohy apod.), je pro pohon třeba jen části instalovaného výkonu.

Stroje pro zemní práce

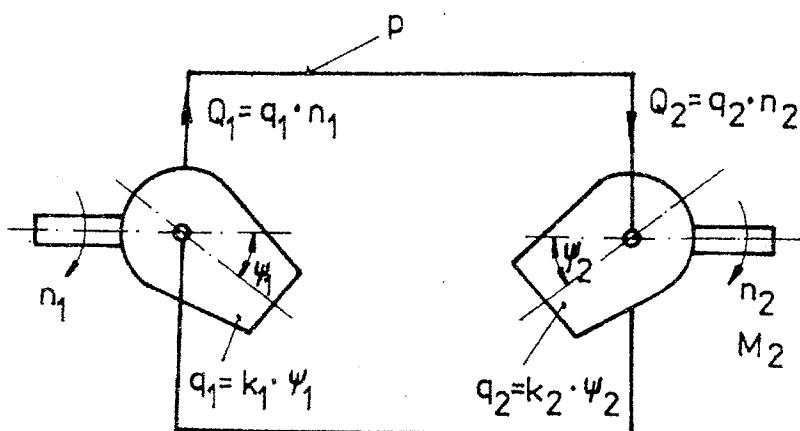
Naproti tomu mechanická převodová ústrojí opatřená zčástí nebo úplně kluznými ložisky mají nejpříznivější účinnost při vysokých rychlostech. Při rozbehu z klidu nebo tehdy, kdy vlivem stoupnutí jízdních odporů v těžkém terénu dochází téměř k zastavení stroje, účinnost převodu klesá (viz křivka A).

- Robustnost a odolnost vůči nepříznivým provozním podmínkám
 - Správně udržovaný hydraulický systém je odolný vůči nečistotám. Samozřejmě je třeba dbát úzkostlivě na čistotu při montáži. Je-li však zařízení v provozu, pak pracují jednotlivé elementy za technicky ideálních podmínek - úplně uzavřené, utěsněné a v olejové lázni dokonale chráněné proti nečistotám.

Ani nejjemnější částice prachu, který ničí ložiska a pohyblivé části strojů v lomech, pískovnách, cementárnách apod., nemohou ohrozit prvky hydraulického systému, neboť proti přetlaku 10 až 45 MPa nemohou nečistoty pronikat. Při nedostatečné filtrace mohl by prach vniknout odvětráním do olejových nádrží a do okruhu. Tomuto nebezpečí lze čelit přetlakovou nádrží.

- Provozní charakteristiky hydrostatického převodu
 - Kombinací čerpadel a hydromotorů s konstantním nebo regulovaným průtokem můžeme získat různé provozní charakteristiky hydrostatického převodu. Pro další úvahy označme symboly:
- q₁ - geometrický objem čerpadla (hydrogenerátoru)
 n₁ - otáčky čerpadla (předpokládáme n₁ = konst.)
 q₂ - geometrický objem hydromotoru
 n₂ - otáčky hydromotoru

Pro všechny druhy objemových hydromotorů a čerpadel platí (viz též obr. 4.12)



Obr. 4.12 - Schéma hydrostatického převodu

$$Q_1 = q_1 \cdot n_1 \cdot \eta_1 \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (4.11)$$

$$Q_2 = q_2 \cdot n_2 \cdot \frac{1}{\eta_2} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (4.12)$$

Při použití stejného typu čerpadel a motorů (což je obvyklé) můžeme předpokládat, že jejich objemová účinnost je stejná, tj. že

4. Pohony strojů pro zemní práce

$$\eta_1 = \eta_2 = \eta$$

Za předpokladu těsnosti potrubí mezi čerpadlem a motorem bude platit

$$Q_1 = Q_2$$

tj.

$$q_1 \cdot n_1 \cdot \eta_1 = q_2 \cdot n_2 \cdot \frac{1}{\eta_2} \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (4.13)$$

Pro převod otáček bude platit

$$i_n = \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{q_2}{q_1} \cdot \frac{1}{\eta^2} \quad [1] \quad (4.14)$$

Pro převod točivého momentu

$$i_M = \frac{M_{K1}}{M_{K2}} = \frac{q_2}{q_1} \cdot \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} \cdot \frac{1}{\eta^2} \quad [1] \quad (4.15)$$

V dalších příkladech nebudeme pro jednoduchost dbát účinností.

Hydraulický hřídel

Hydraulický hřídel je charakterizován vztahem

$$q_1 = q_2 = \text{konst} \quad [m^3] \quad (4.16)$$

převod podmínkou

$$i_n = \frac{q_2}{q_1} = \frac{n_1}{n_2} = 1 \quad [1] \quad (4.17)$$

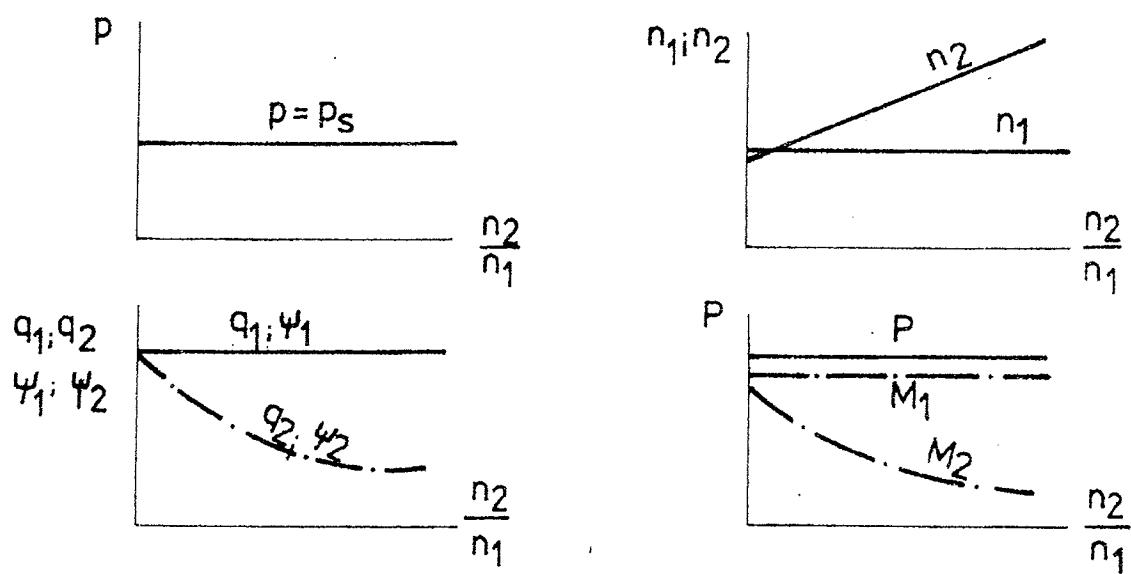
Regulace otáček n_2 není možná, ledaže bychom část tlakového oleje dodávaného čerpadlem vedli zpět do sání čerpadla nebo do nádrže. To však je ztrátová regulace. Hydraulický hřídel, podobně jako mechanický hřídel, slouží jen k přenosu energie z jednoho místa na druhé. Výhodou je, že čerpadlo a hydromotor mohou mít vzájemně libovolnou polohu v prostoru.

Tlak oleje se přizpůsobí při daných specifických množstvích přenášenému kroutícímu momentu, přičemž samozřejmě nesmí překročit povolené hodnoty pro čerpadlo, resp. hydromotor. Pojistný ventil jistí pohon proti přetížení.

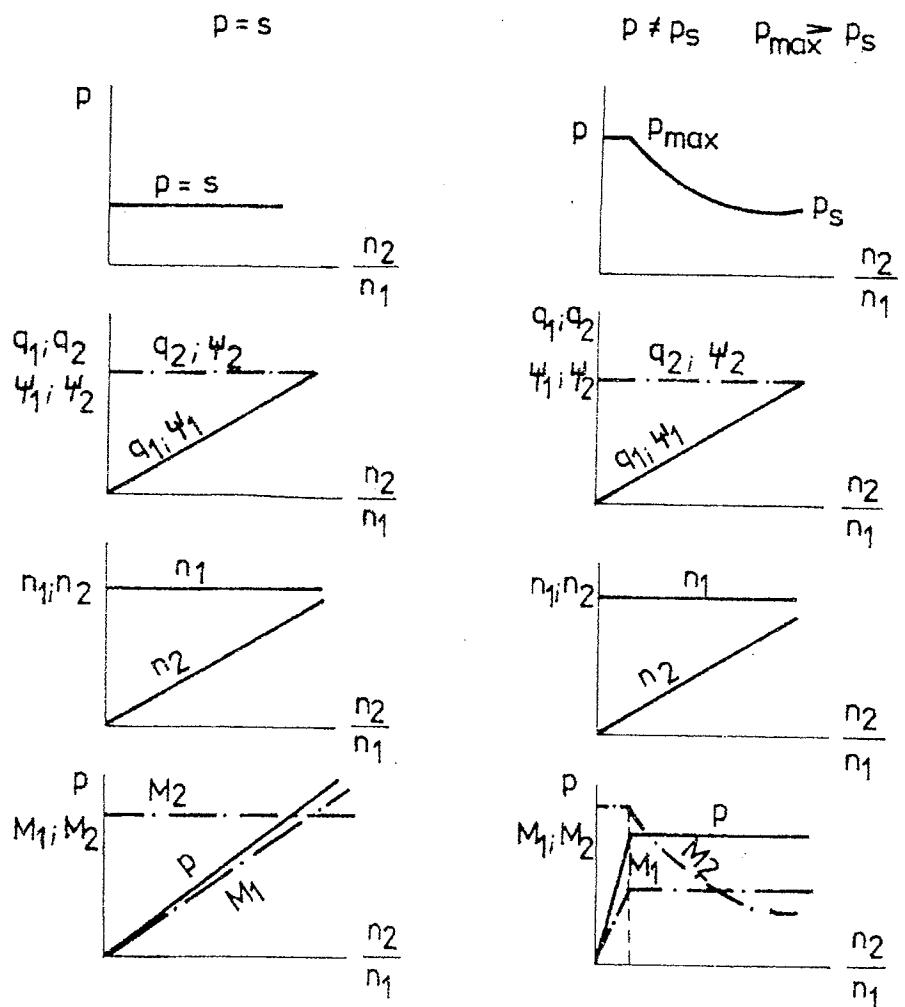
Reverzace je možná jen změnou smyslu točení čerpadla nebo pomocí rozváděče.

Stroje pro zemní práce

Sekundární regulace a primární regulace (obr.4.13 a 4.14)



Obr.4.13 - Sekundární regulace



Obr.4.14 - Primární regulace

4. Pohony strojů pro zemní práce

Dává-li čerpadlo konstantní množství a hydromotor je regulační, tj. $q_1 = q_{1\max} = \text{konst.}$, q_2 je proměnné mezi $q_{2\min}$ a $q_{2\max}$

$$n_2 = n_1 \cdot \frac{q_{1\max}}{q_2} = \frac{q_{1\max}}{K_2} \cdot \frac{n_1}{\psi_2} \Rightarrow \psi_2 = \frac{q_{1\max}}{K_2} \cdot \frac{n_1}{n_2} \quad [\text{s}^{-1}] \quad [\text{rad}] \quad (4.18)$$

kde $K_2 (\text{m}^3 \cdot \text{rad}^{-1})$ je konstanta pro daný hydromotor a ψ_2 je úhel sklonu opěrné desky (úhel vychýlení rotoru).

Krouticí moment

$$M_1 = \frac{P}{\omega_1} = \frac{p \cdot d_{1\max}}{2\pi} = \text{konst.} \quad [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (4.19)$$

$$M_2 = M_1 \cdot \frac{q_2}{q_{1\max}} = M_1 \cdot \frac{K_2 \cdot \psi_2}{q_{1\max}} = M_1 \cdot \frac{n_1}{n_2} [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (4.20)$$

$$P = M_2 \cdot n_2 = \text{konst.} \quad [\text{W}] \quad (4.21)$$

Tato kombinace dává pohon, který přenáší v celém regulačním rozsahu konstantní výkon. Regulace až do klidu motoru ($n_2 = 0$) není možná.

Poměr momentů

$$\frac{M_{2\max}}{M_{2\min}} = \frac{q_{2\max}}{q_{1\min}} \cdot \frac{n_{2\max}}{n_{1\min}} \quad [1] \quad (4.22)$$

je omezen přípustnými otáčkami hydromotoru $n_{2\min}$ a $n_{2\max}$.

Primární regulace (obr.4.13 a obr.4.14b)

Hydromotor bude mít konstantní tlak, tj. $q_2 = q_{2\max} = \text{konst.}$, specifické průtočné množství čerpadla bude proměnné v mezích 0 až $q_{1\max}$.

$$n_2 = n_1 \cdot \frac{q_1}{q_{2\max}} = \frac{K_1 \cdot \psi_1 \cdot n_1}{q_{2\max}} \quad [\text{s}^{-1}] \quad (4.23)$$

kde K_1 je konstanta pro dané čerpadlo $[\text{m}^3 \cdot \text{rad}^{-1}]$,

ψ_1 - úhel sklonu opěrné desky (úhel vychýlení rotoru v rad).

$$\psi_1 = \frac{q_{2\max}}{K_1} \cdot \frac{n_2}{n_1} ; \quad d_1 = q_{2\max} \cdot \frac{n_2}{n_1} \quad [\text{m}^3] \quad (4.24)$$

$$M_1 = \frac{p \cdot q_1}{2 \cdot \pi} = \frac{p \cdot K_1 \cdot \psi_1}{2\pi} = \frac{p \cdot q_{2\max} \cdot n_2}{2\pi \cdot n_1} \quad [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (4.25)$$

$$M_2 = M_1 \frac{q_{2\max}}{q_1} = \frac{p \cdot q_{2\max}}{2\pi} \quad [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (4.26)$$

Moment M_2 bude konstantní, pokud bude $p = \text{konst.}$ Jsou možné dva případy:

1. $p = p_s = \text{konst.}$ (obr.4.14b)

$$M_1 = \frac{p \cdot q_{2\max}}{2\pi} \frac{n_2}{n_1} = K \cdot \frac{n_2}{n_1} \quad [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (4.27)$$

$$M_2 = \frac{p - q_{2\max}}{2\pi} = K \quad [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (4.28)$$

$$P = M_1 \cdot n_1 = K \cdot \frac{n_2}{n_1} \cdot n_1 \quad [\text{W}] \quad (4.29)$$

2. $p = \text{konst.}; p_{\max} > p_s$

$$P = M_2 \cdot n_2 = \frac{p \cdot q_{2\max} \cdot n_1}{2\pi} \frac{n_2}{n_1} \quad [\text{W}] \quad (4.30)$$

$$p_{\max} = \frac{P}{q_{2\max} \cdot n_1 \left(\frac{n_2}{n_{1\min}} \right)} \quad [\text{Pa}] \quad (4.31)$$

$$p_{\min} = \frac{P}{q_{2\max} \cdot n_1 \left(\frac{n_2}{n_{1\max}} \right)} \quad [\text{Pa}] \quad (4.32)$$

$$M_1 = K' \cdot p \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (4.33)$$

$$M_2 = K' \cdot p \quad [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (4.34)$$

$$P = K' \cdot p \left(\frac{n_2}{n_1} \right) n_2 \quad [\text{W}] \quad (4.35)$$

$$K' = \frac{q_{2\max} \cdot n_1}{2\pi} \quad [\text{m}^3 \text{s}^{-1}] \quad (4.36)$$

Toto uspořádání pohonu umožňuje regulaci otáček hydromotoru (a to v obou smyslech otáčení) od nuly do maxima při konstantním kroutícím momentu motoru, když bude konstantní tlak a při konstantním výkonu v převážné části regulačního rozsahu, když připustíme vzestup tlaku v okruhu až na hodnotu p_{\max} .

4. Pohony strojů pro zemní práce

Výkonnost strojů pro zemní práce není určována jen výkonem instalované poháněcí jednotky. Je ve značné míře ovlivňována také hydraulickými prvky tvořícími vazbu mezi hnacím motorem a pracovním orgánem.

Hydraulický výkon čerpadla stanovíme z rovnice

$$P = p \cdot Q_c \quad [W] \quad (4.37)$$

kde p je pracovní tlak [Pa]

Q_c je čerpadlem dodávané množství oleje [$m^3 \cdot s^{-1}$].

Potřebný výkon hnacího motoru musí být větší s ohledem na celkovou účinnost čerpadla včetně jeho náhonu. Předimenzovanému hnacímu motoru nemůže hydraulická část odebírat víc výkonu než je dáno rovnicí (4.37). Pracovní tlak v hydraulické soustavě podléhá neustálým změnám, neboť se stále přizpůsobuje pracovním odporům. Jeho maximální hodnota, vyplývající z parametrů prvků použitých v hydraulické soustavě, je dáná nastavením pojíšťovacího ventilu.

Množství oleje dodávané čerpadlem může být konstantní nebo proměnlivé. Je také možno použít jednoho nebo dvou čerpadel a to buď bez vzájemné vazby nebo vzájemně vázaných.

V dalším bude rozebráno několik způsobů pohonu užívaných zejména pro hydraulická lopatová rýpadla.

a) Rýpadlo s čerpadlem dávajícím konstantní množství

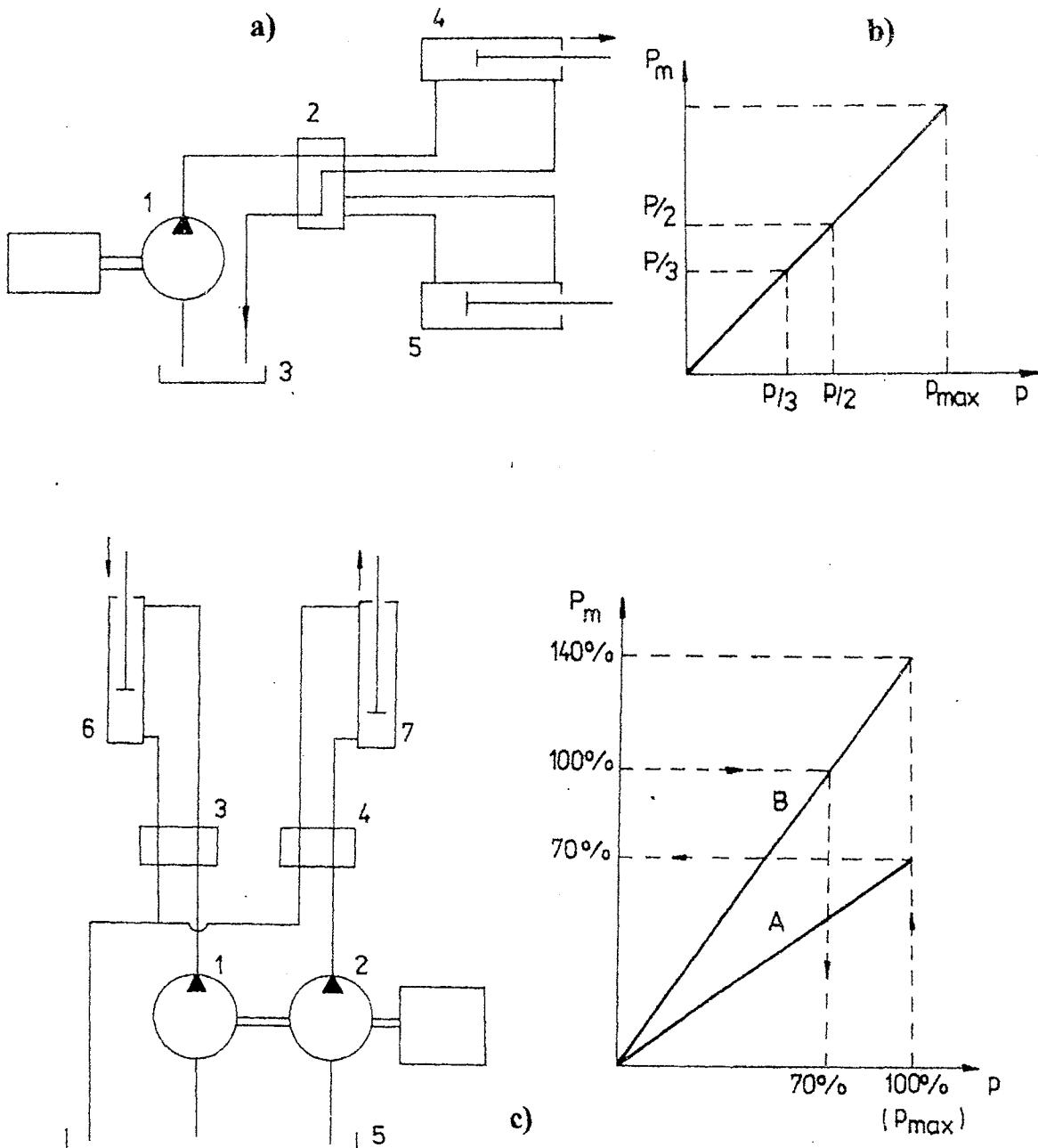
Pracovní zařízení a otáčecí ústrojí rýpadla jsou v tomto případě poháněny jedním čerpadlem. V případě hydrostatického pohonu pojížděcího ústrojí je pro pojezd určeno další čerpadlo.

Obrázek 4.15a znázorňuje nejjednodušší uspořádání. Olej dodávaný hydrogenerátorem 1 přes rozvaděč 2 je přiváděn do pracovního válce 4. Olej vytlačovaný z druhé strany válce je bez tlaku (tlak na překonávání odporů v potrubí je zanedbatelný ve srovnání s pracovním tlakem) odváděn zpět do nádrže 3. Na výstupu čerpadla a v hydraulickém válci 4 je stejný tlak (tlakové ztráty zanedbáváme).

b) Rýpadlo se dvěma generátory o konstantním dodávaném množství

U tohoto systému mohou jednotlivá čerpadla zásobovat tlakovým olejem dvě různá pracovní místa, která jsou jim rozvaděči přiřazena (obr. 4.15c).

Čerpadla dimenzujeme nikoliv na 50 %, ale asi na 70 % výkonu hnacího motoru. Olej vytlačovaný z válců se již nevyužívá a vede se zpět do nádrže. Práce systému je znázorněna v pracovním diagramu. Přímkou A znázorňuje případ, kdy pracuje pouze hydromotor 6 zásobovaný jedním - prvním - čerpadlem. Tlak v soustavě je omezen pojíšťovacím ventilem nastaveným na hodnotu p_{max} . Vzhledem k tomu, že čerpadlo je dimenzováno na 70 % výkonu hnacího motoru P_m , je instalovaného výkonu využito jen zčásti a při nižších silách na pracovním válci využití ještě poklesne. Zlepšení nastane, je-li současně využíváno i hydromotoru 7, zásobovaného druhým čerpadlem. Případ je znázorněn přímkou B. Pak je možno využít výkonu hnacího motoru na 100 %. Nevyužijeme však tlakových možností (pouze cca na 70 %), jak je z obrázku zřejmé.



Obr.4.15 - Převod s konstantním průtokem,
a) schéma, b) charakteristika, c) převod se dvěma generátory o konstantním průtoku

c) Rýpadlo s regulačním čerpadlem s výkonovou regulací

Při práci rýpadla v těžkých zeminách je nutno vyvinout na pracovním nástroji značné síly, zatímco při rýpaní lehce rozpojitelných zemin požadujeme větší narýpané množství - tedy větší pracovní rychlosti. Splnění těchto požadavků umožňuje výkonová regulace. Na obr.4.16a je schématicky znázorněno regulační axiální čerpadlo s výkonovou regulací. Zařízení pracuje takto : Výstupní potrubí generátoru je spojeno s regulátorem a provozní tlak působící na měrný pístek M tohoto regulátoru tlačí pístek proti svazku pružin. Tento svazek se skládá z několika pružin v sérii. Charakteristické přímky těchto pružin dávají přibližně regulační hyperbolu. Naklápací těleso čerpadla je spojeno mechanicky s pístkem

4. Pohony strojů pro zemní práce

regulátoru a na kolísání tlaku v hydraulickém systému zásobovaném čerpadlem reaguje pak čerpadlo změnou úhlu vychýlení rotoru. Při největším úhlu vychýlení je zdvih pístků čerpadla největší H a čerpadlo dodává největší množství oleje. Při zmenšování úhlu vychýlení rotoru se dodávané množství postupně zmenšuje. Přitom se svazek pružin regulátoru postupně stlačuje z délky F o délku R . Charakteristiky generátoru regulovaného na konstantní výkon jsou na obr. 4.16b. Je-li v hydraulickém systému tlak p_{min} , dodává čerpadlo maximální množství Q_{max} . Stoupne-li tlak na hodnotu p_{max} , klesne dodávané množství na Q_{min} .

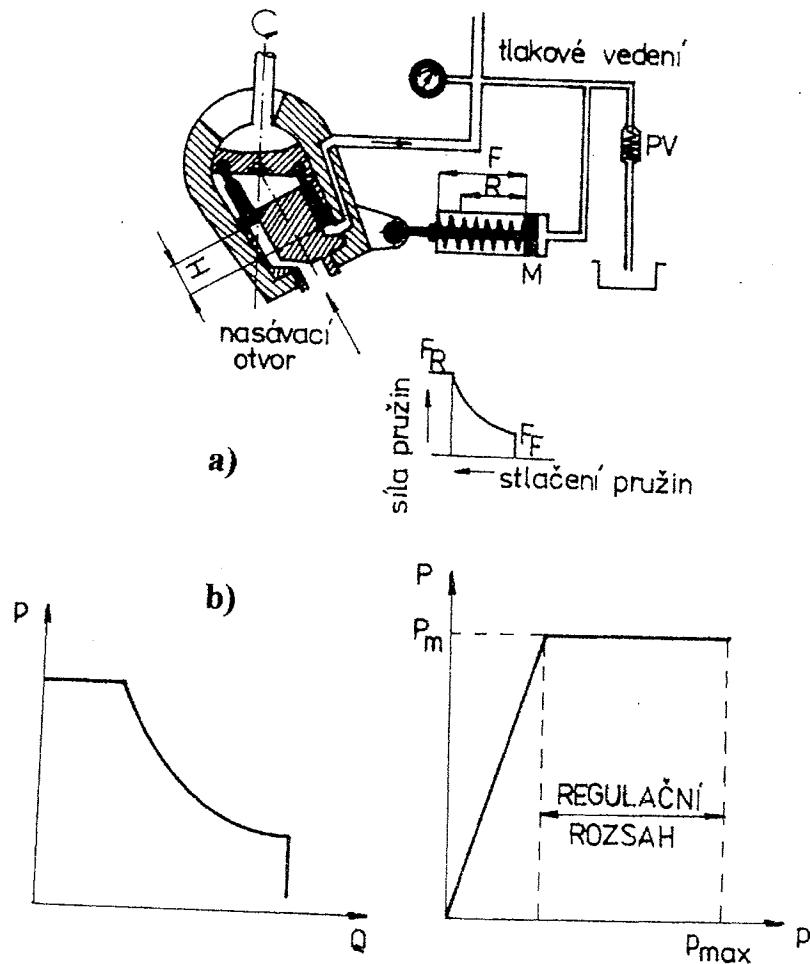
Platí

$$p_{max} \cdot Q_{min} = p_{min} \cdot Q_{max} = p_x \cdot Q_x = \text{konst.} \quad (4.38)$$

Poměr

$$R = \frac{p_{max}}{p_{min}} = \frac{Q_{min}}{Q_{max}} \quad (4.39)$$

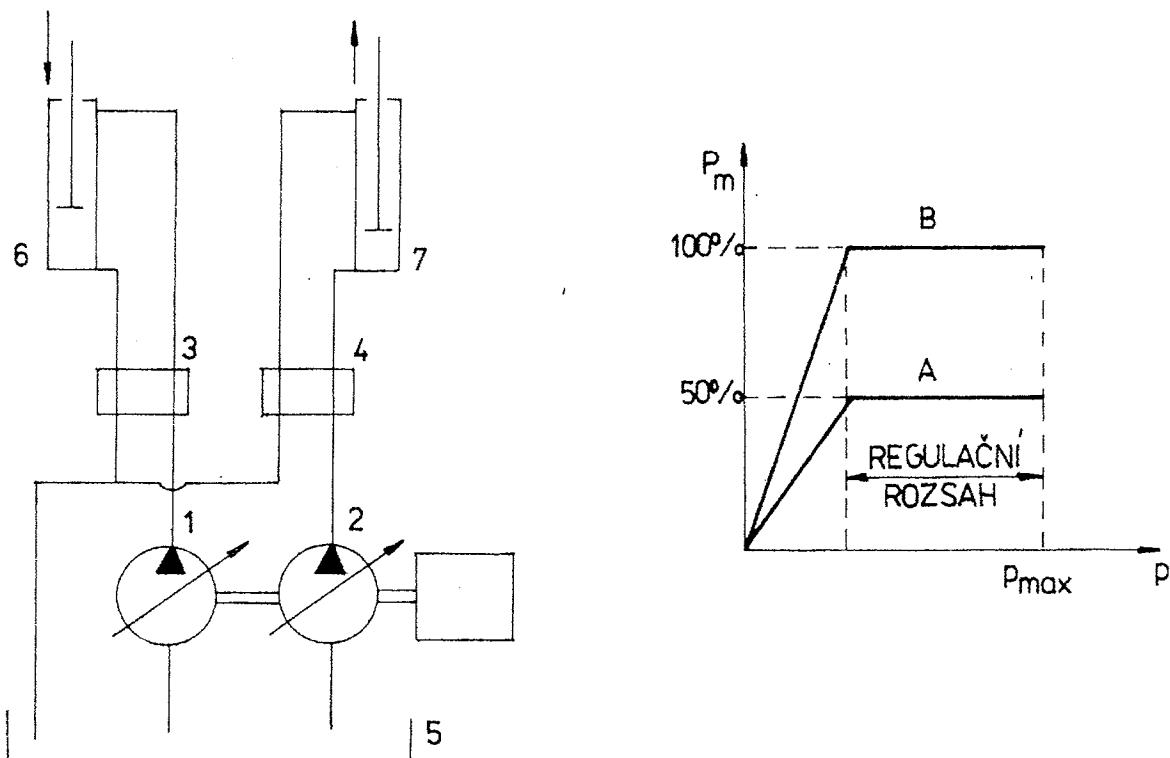
je regulační poměr.



Obr. 4.16 - a) Schéma výkonové regulace, b) Charakteristiky hydrostatického systému s regulací na konstantní výkon

d) Rýpadlo se dvěma regulačními čerpadly

Případ je znázorněn na obr.4.17, který názorně ukazuje, jak je využíváno výkonu hnacího motoru. Pracují-li oba pracovní válce 1 a 2, pak je v oblasti regulačního rozsahu využíváno výkonu hnacího motoru na 100 % (průběh B). Při práci za nižších tlaků, kdy čerpadla pracují v oblasti konstantního dodávaného množství, není výkonu hnacího motoru plně využíváno. Využití tohoto výkonu je neúplné také v případě, že jeden z hydraulických válců nebude pracovat (průběh A). Rovněž u tohoto převodu je výhodné použití sériového zapojení hydromotorů.



Obr. 4.17 - Hydrostatický převod se dvěma regulačními generátory
a) schéma, b) charakteristika P (p)

e) Rýpadlo se dvěma regulačními generátory se součtovou výkonovou regulací

Funkční schéma stroje se součtovou regulací je na obr.4.18. Naklápací části regulačních čerpadel jsou spojeny tuhou vazbou a ovládány regulátorem, jehož pružina má charakteristiku pro výkonovou regulaci a je dimenzována pro vyvážení součtu tlaků. Místo tuhé vazby mohou čerpadla být ovládána samostatnými regulátory s hydraulickou vazbou. Pružinový systém regulátorů je vystaven součtu obou tlaků p_1 a p_2 jednotlivých obvodů. Vzhledem k vzájemné vazbě jsou čerpadla dodávána množství Q_c stejná, takže čerpadla odevzdávají rozdílný výkon. Součet výkonu obou čerpadel je v regulačním rozsahu roven výkonu hnacího motoru

$$P_m = p_1 \cdot Q_c + p_2 \cdot Q_c = P_1 + P_2 \quad [W] \quad (4.40)$$

$$Q_c = \frac{P_m}{p_1 + p_2} \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (4.41)$$

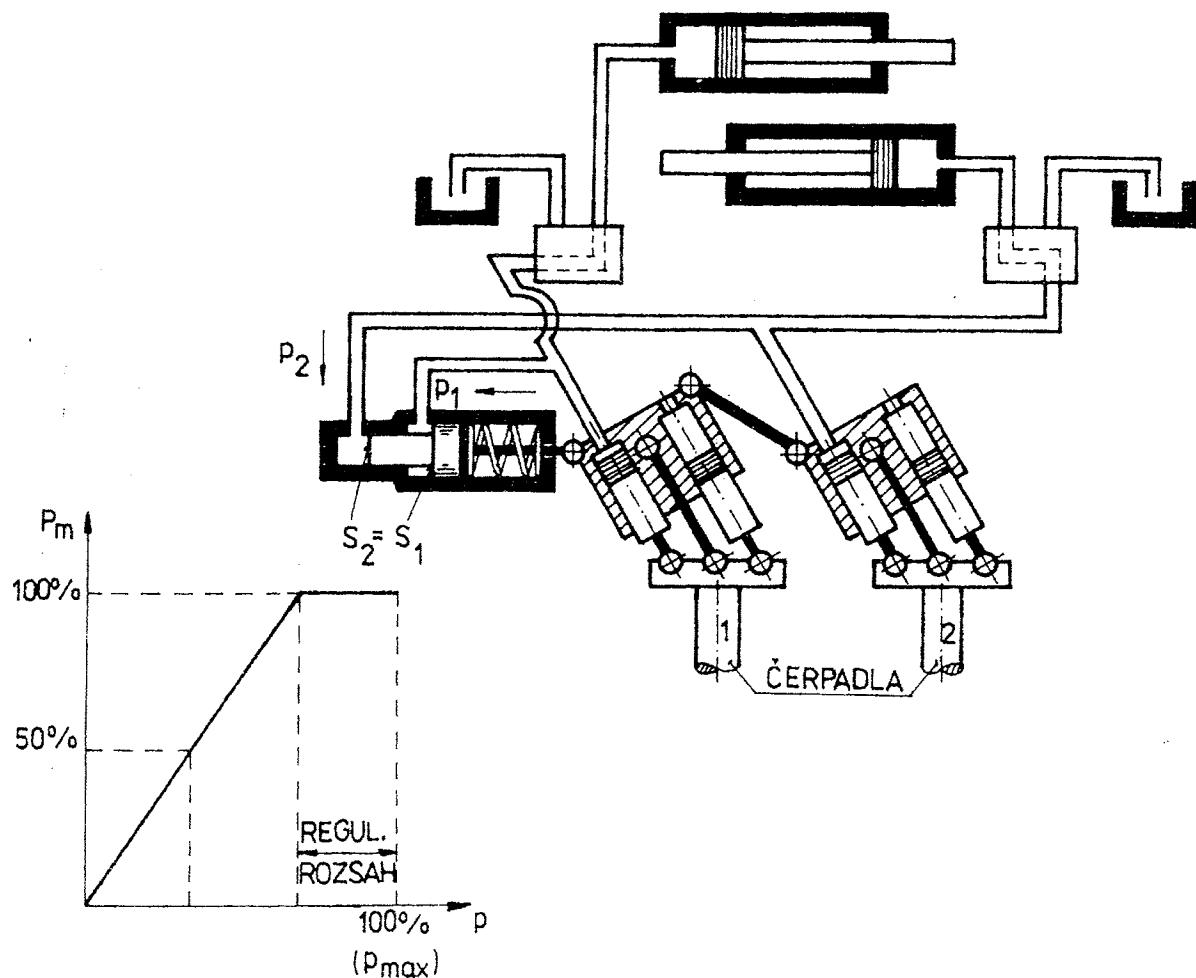
4. Pohony strojů pro zemní práce

Praktickou aplikací regulačních převodníků s hydrostatickým přenosem energie u lopatového nakladače vidíme na obr.4.19, který zobrazuje hydraulické schéma mechanismu pojíždějícího ústrojí univerzálního nakladače UNC 060 řízeného prokluzem kol.

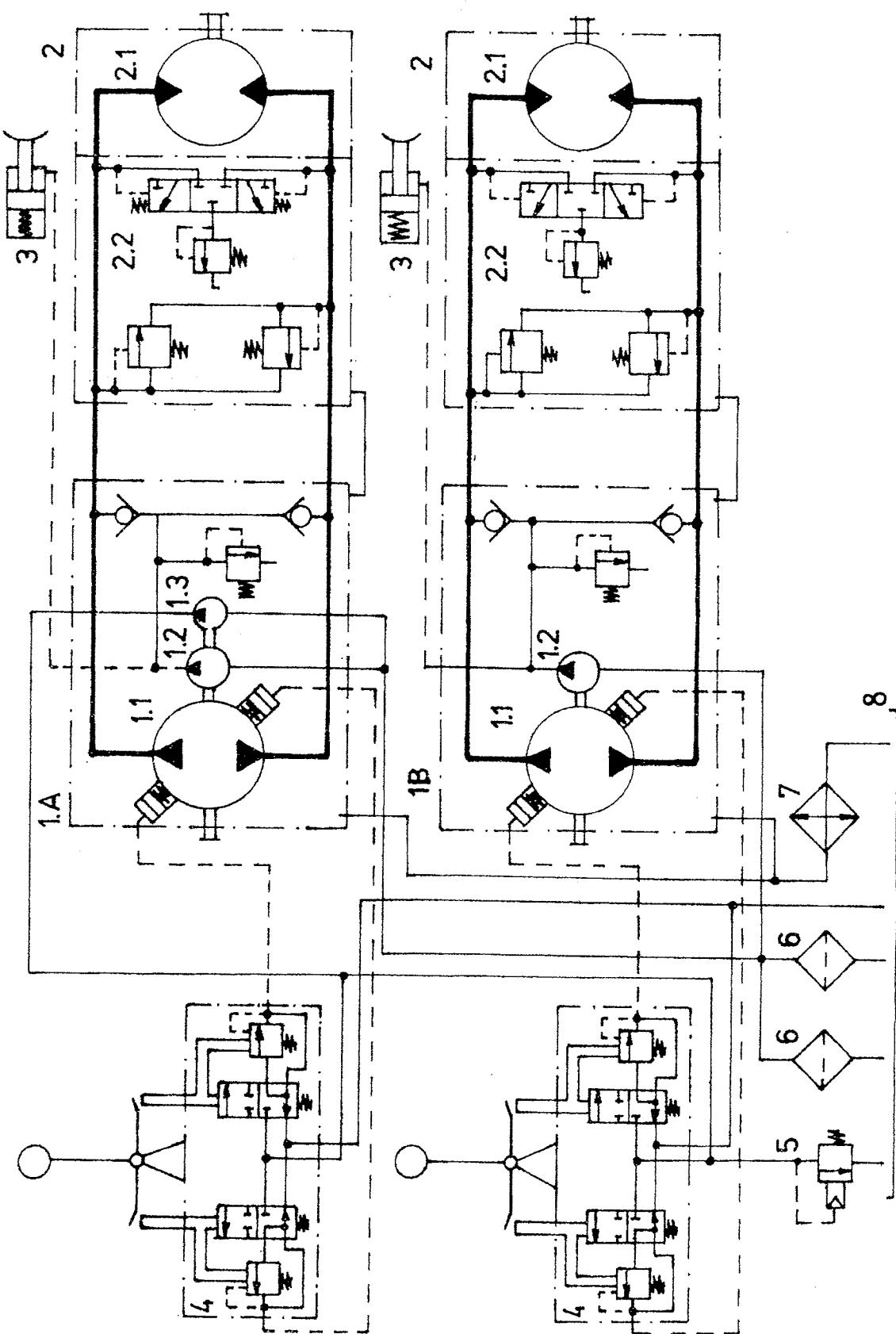
Hydrostatické převodové systémy strojů pro zemní práce procházejí intenzivním vývojovým obdobím, které je mimo jiné charakterizováno použitím elektroniky. Elektroniky je využíváno nejen ke kontrole funkcí, ale i k řízení hydraulických prvků, automatizaci a optimalizaci pohybů, funkcí a procesů.

4.2.3 Hydrodynamické převody

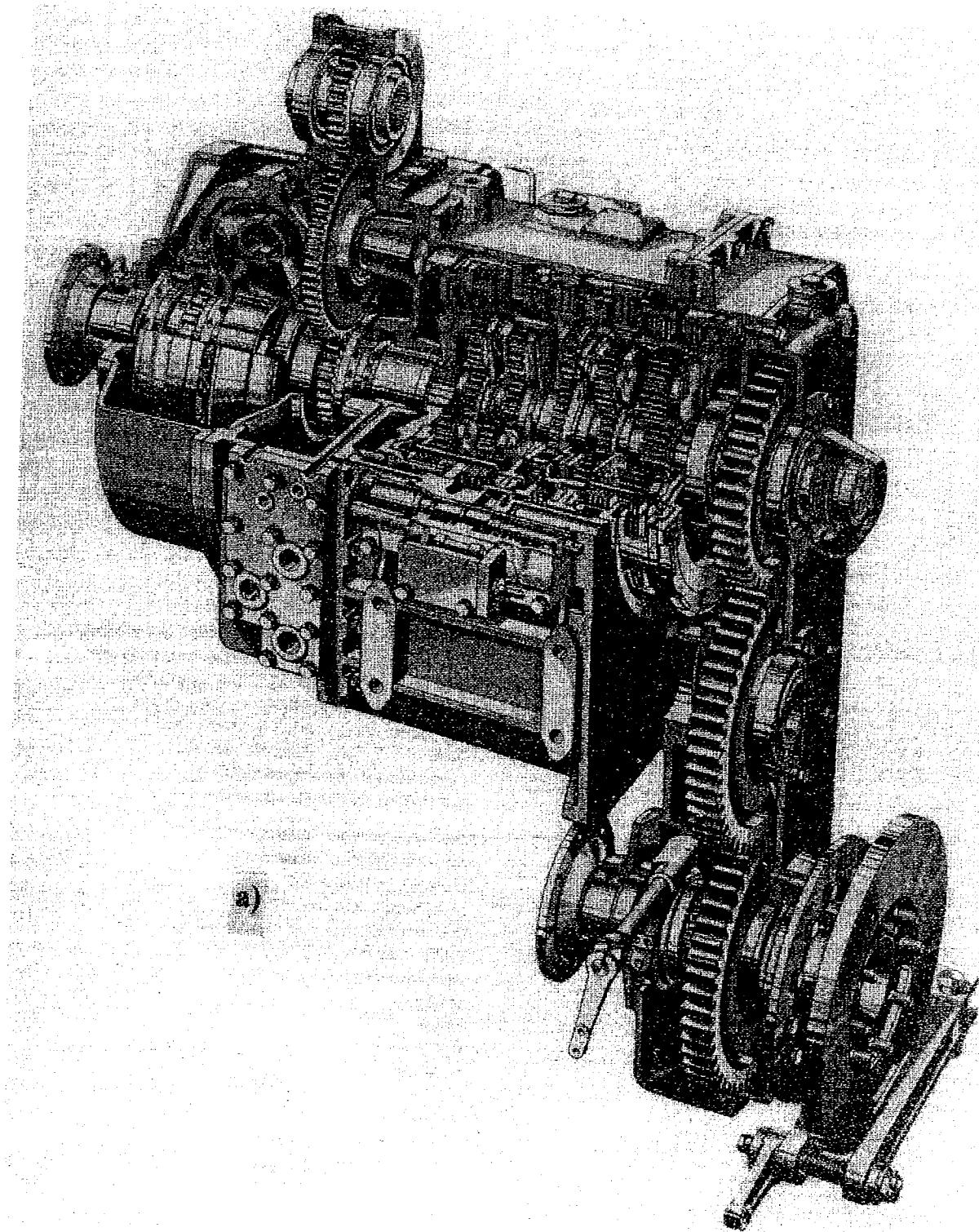
Základem hydrodynamického převodu je uzavřený hydraulický okruh sestávající z čerpadlové a turbínové lopatkové mříže. Okruh je konstruován tak, aby kapalina přenášející energii vykonávala co nejkratší dráhu. Mechanická energie přiváděná poháněcím motorem je v čerpadlové lopatkové mříži přeměněna na kinetickou energii hydraulickou a poté v turbínové lopatkové mříži je tato kinetická energie pracovní kapaliny transformována zpět na energii mechanickou. Hovoříme zde pouze o kinetické energii hydraulické kapaliny proto, že tvoří dominantní složku. Polohová a tlaková energie jsou ve srovnání s kinetickou zanedbatelné. Pracovní prvky hydrodynamického převodu nemají vzájemnou mechanickou vazbu a také kapalina protéká lopatkovými mřížemi volně, což vytváří předpoklady pro plynulý rozbreh, přinášejí poněkud zhoršenou účinnost oproti mechanickému převodu.



Obr. 4.18 - Převod se součtovou výkonovou regulací,
a) funkční schéma, b) charakteristika $P(p)$

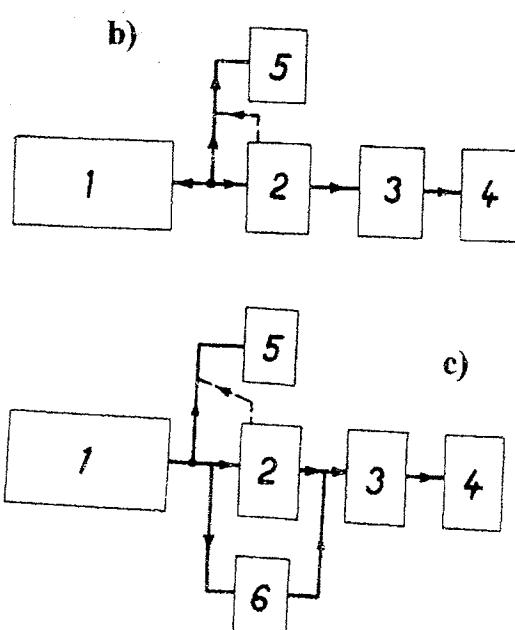
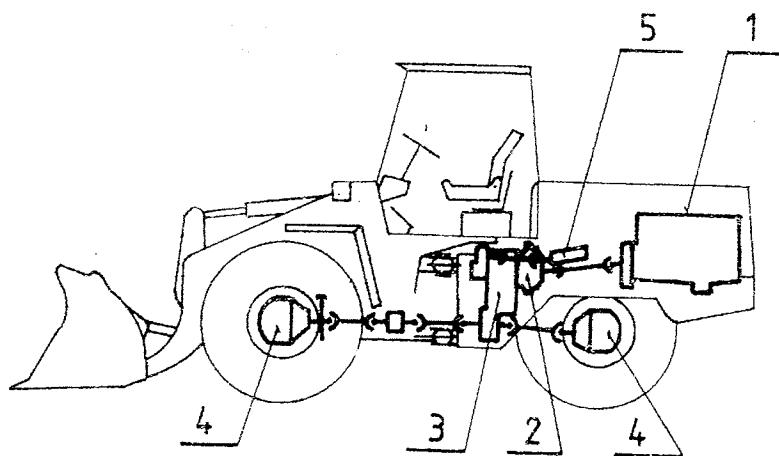


Obr. 4.19 - Hydraulické schéma pojezdu UNC 060

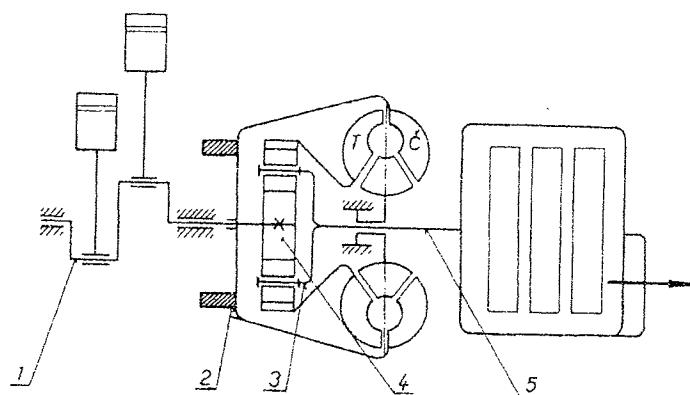


Obr. 4.20.a

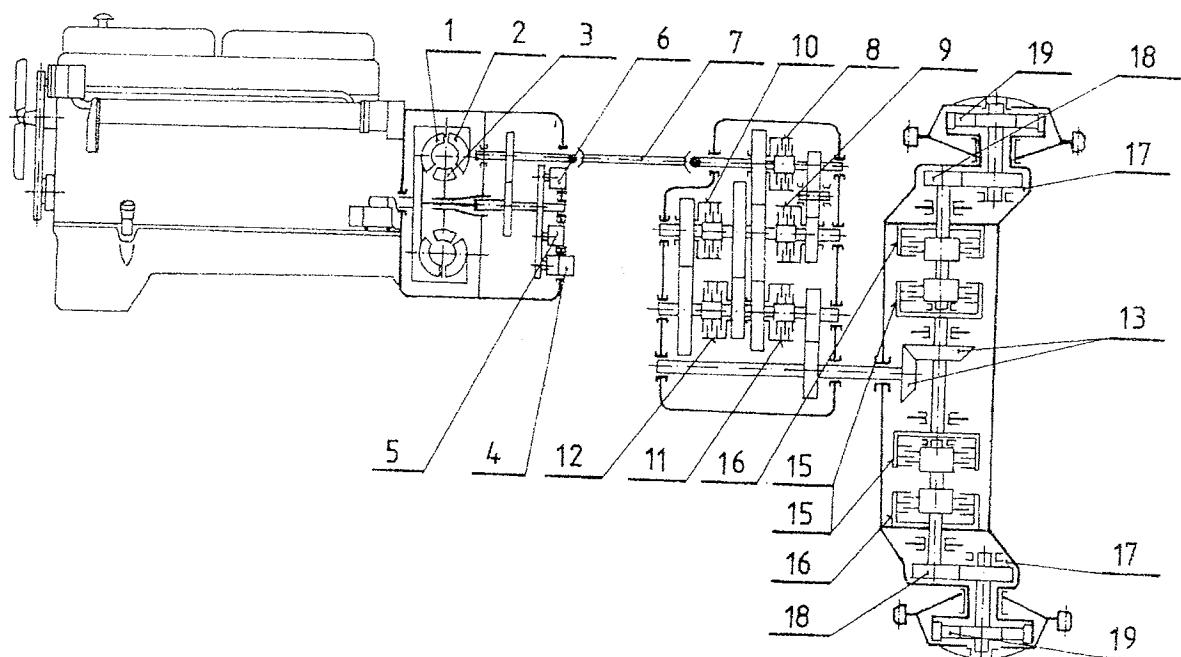
Hydrodynamický převod je zpravidla součástí převodového řetězce, v němž jsou další, zejména mechanické převody. Složení hydromechanické skupiny je vidět na obr. 4.20. Mezi motor 1 a poháněné nápravy 4 stroje je včleněn hydrodynamický měnič momentu 2 s mechanickou převodovkou 3. Měnič s převodovkou jsou v řezu zobrazeny na obr. 4.20a. Převodovka má ozubená kola ve stálém záběru, přičemž řazení jednotlivých převodových stupňů se děje třecími spojkami a to i při plném zatížení. Varianta znázorněná na blokovém schématu na obr. 4.20b se vyznačuje tím, že energie pro pohon náprav 4 prochází plně přes hydrodynamický měnič 2. Varianta na obr. 4.20c představuje větvený hydromechanický momentu 6. Dělič momentu (obr. 4.21) tvoří planetový převod, jehož jeden člen (např. korunové kolo 2) je pevně spojen s turbínovým kolem T měniče, zatímco další člen (např. centrální kolo 4) je spojen přímo s motorem 1. Nosič satelitů 3 je pak v tomto případě pevně spojen s výstupním hřídelem 5 měniče. Točivý moment se přenáší z části mechanicky přes centrální kolo a nosič satelitů na výstupní hřídel, zatímco zbývající část prochází hydrodynamickým měničem přes korunové kolo na nosič satelitů a tím také na výstupní hřídel. Výhodou větvených převodů je, že přenos té části energie, která prochází jen mechanickou částí, se děje s vysokou účinností.



Obr. 4.20 - Pohon pojazdového ústrojí lopatového nakladače hydromechanickým systémem přenosu energie



Obr. 4.21 - Dělič momentu



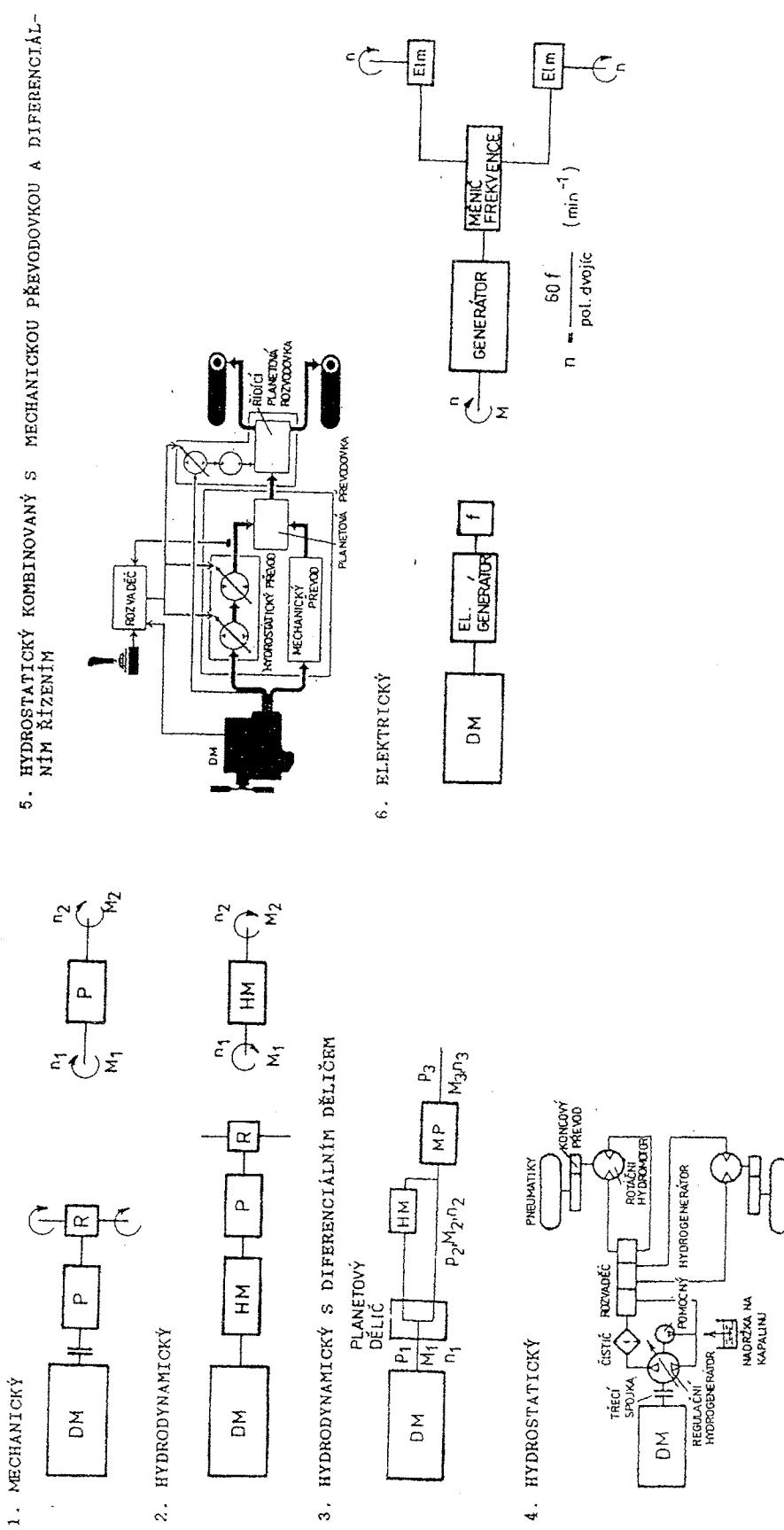
Obr. 4.22 - Schéma pohonu zemního stroje s pásovým podvozkem

Na obr.4.22 je kinematické schéma pohonu stroje pro zemní práce s pásovým podvozkem. Pozice v obrázku značí:

- 1, 2 a 3 - čerpadlové kolo, turbínové kolo a reakční člen měničové skupiny,
- 4 - měničové čerpadlo,
- 5 - čerpadlo okruhu řízení,
- 6 - čerpadlo obvodu pracovního zařízení,
- 7 - kloubový hřídel,
- 8,9 - spojky a soukolí pro jízdu vpřed popř. vzad,
- 10,11,12 - spojky a soukolí převodových stupňů 1 až 3,
- 13 - rozvodovku,
- 15,16 - spojky a brzdy systému řízení směru,
- 17,18 - stranový převod pohonu turasu,
- 19 - turas.

Důležitou součástí návrhu hydraulických převodových systémů je sladění spolupráce hydraulických částí se spalovacím motorem.

Na závěr statě si udělejme pomocí přehledu pohonů pojízděcích ústrojí na obr.4.23 rekapitulaci pohonů.



Obr. 4.23 - Přehled pohonů pojízděcích ústrojí

5. SYSTÉMY ŘÍZENÍ A OVLÁDÁNÍ STROJŮ

5.1 Přehled a rozdělení systémů řízení a ovládání strojů

Systémy řízení a ovládání strojů slouží jednak k docílení požadované změny směru jízdy strojů, nebo k ovládání pracovních nástrojů popř. celých pracovních zařízení. Vedle těchto hlavních funkcí však je nutné zabezpečovat řídícími a ovládacími systémy celou řadu funkcí vedlejších jako např. ovládání brzd, spojek, převodovek, motorů apod. Vzhledem k velkým pracovním odporům, velké hmotnosti a značným výkonům strojů je velmi často používáno servořízení.

Rychle se rozvíjející elektronika pronikla i do zemních strojů a je využívána nejen v jejich diagnostických systémech, ale ve stále větší míře i v systémech řízení a ovládání těchto strojů (např. elektronický řídící systém MAESTRO používaný na rýpadlech CATERPILLAR 312, ovládací systém STIC též firmy, systémy PEMC - Pump and Engine Mutual Control System a EOLSS - Electronic Open-centre Load Sensing System firmy KOMATSU, dálkové ovládání strojů aj.), dokonce i k řízení a optimalizaci technologického procesu (např. využití rychlosti seismických vln ke stanovení technologických parametrů rozrývání nebo elektronické sledování procesu zhutňování zeminy a stanovení optimálního počtu přejezdů zhutňovacího válce, využití laserové techniky k řízení zemních strojů a pod.).

Z uvedeného je patrné, že je tedy možné rozdělit systémy řízení a ovládání zemních strojů podle různých hledisek a kritérií.

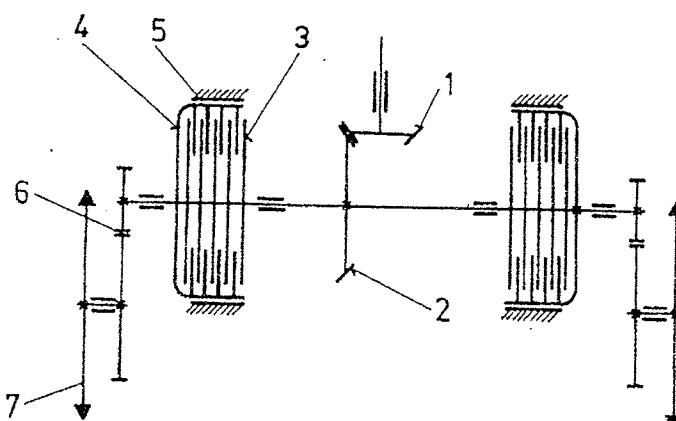
Pro naše účely rozdělíme systémy řízení a ovládání zemních strojů podle následujícího přehledu:

- A. Systémy řízení směru jízdy strojů:
 - s pásovým podvozkem,
 - s kolovým podvozkem.
- B. Servořízení.
- C. Nivelační zařízení pro vedení pracovních orgánů.
- D. Řízení na principu laserové techniky.

5.2 Systémy řízení směru jízdy

5.2.1 Stroje s pásovým podvozkem

Zjednodušené schéma pohonu a řízení stroje s pásovým podvozkem je na obr. 5.1, ve kterém označují pozice 1-pastorek, 2-talířové kolo, 3-lamelovou spojku s vnějším brzdovým bubnem 4, 5-pásovou brzdu, 6-koncový převod a 7-turasové kolo. Funkce řízení spočívá v tom, že se levá nebo pravá stranová spojka rozpojí čímž se přeruší přenos kroutícího momentu na turasové kolo a dosáhne se mírného zatáčení stroje. Zabrdzěním brzdového bubnu 4 brzdou 5 se zatáčení zvýrazní. Je nutno si uvědomit, že po vypnutí stranové spojky musí stroj překonat silový moment potřebný k prokluzu obou housenic, proto je zpravidla nutné zabrdzění bubnu 4 brzdou 5.

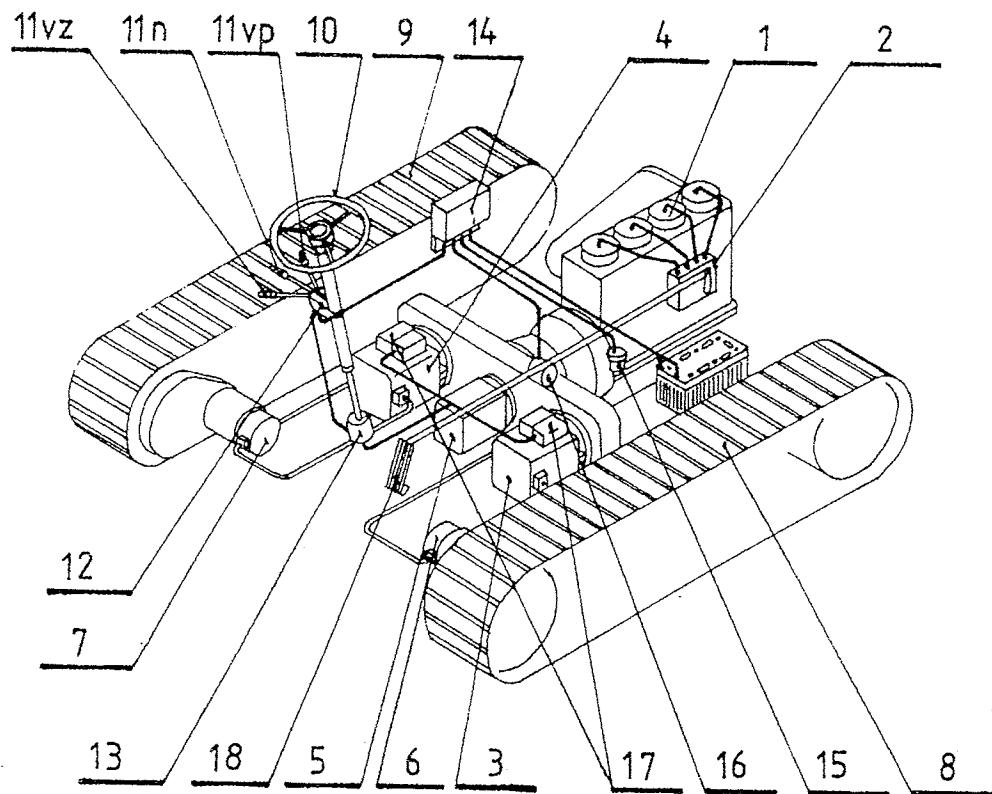


Obr. 5.1 - Schéma pohonu a řízení stroje s pásovým podvozkem

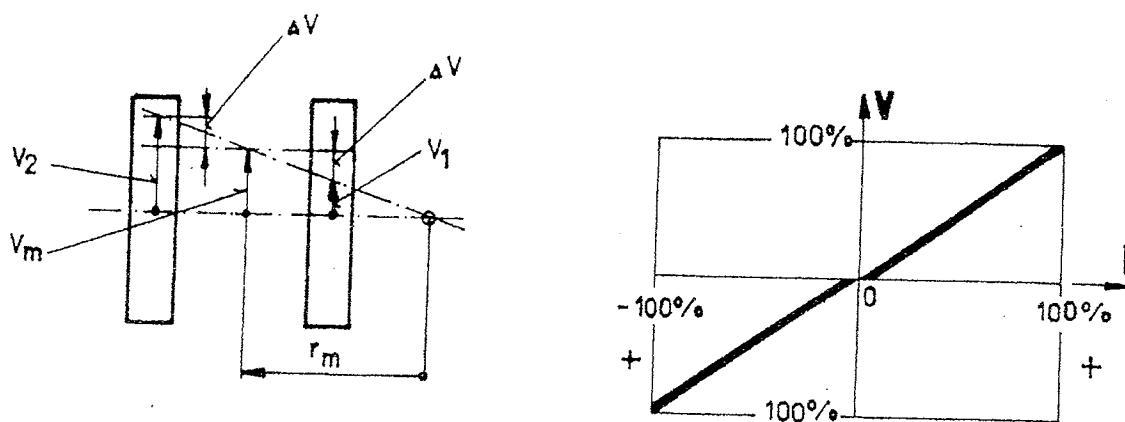
5. Systémy řízení a ovládání strojů

Moderní koncepce pohonů a řízení strojů s pásovými podvozky využívají hydrostatických přenosů energie a elektronických obvodů. Na obr. 5.2 je schématicky znázorněn systém elektronického ovládání pásového podvozku stroje s pohonem jednotlivých pásov samostatnými hydromotory. Na obrázku značí: 1-spalovací motor, 2-vstřikovací čerpadlo, 3 a 4-regulační hydrogenerátory pojedou, 5-hydrogenerátor pracovního zařízení, 6 a 7-hydromotory pojedou, 8 a 9-článkové pásy, 10-natáčení řídícího člena, 11-páku voliče směru jízdy (n-v neutrální poloze, vp-v poloze pro jízdu vpřed, vz-v poloze pro jízdu vzad), 12-volič směru jízdy, 13-řídící člen, 14-regulátor, 15-snímač otáček motoru, 16-volič otáček motoru, 17-ovládání generátorů, 18-pedál ovládání vstřikovacího čerpadla.

Pohon článkových pásů 8 a 9 zajišťují dva samostatné hydrostatické systémy s hydrogenerátory 3 a 4 a hydromotory 6 a 7. Každý z převodníků 3 až 6 a 4 až 7 má primární regulaci otáček plynulou v celém regulačním rozsahu.



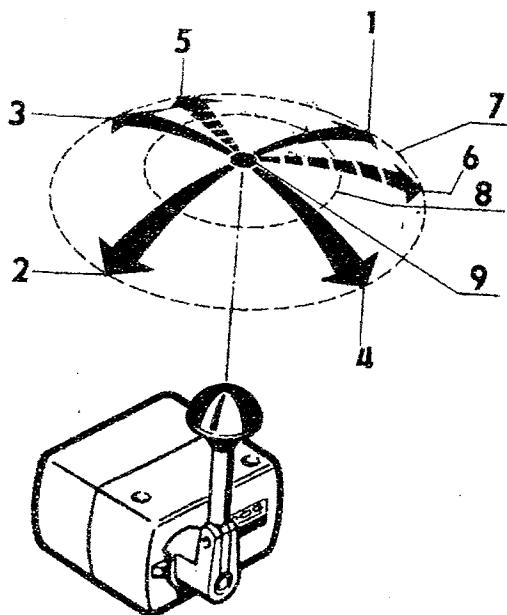
Obr. 5.2 - Elektronické řízení pásového podvozku s hydrostatickým pohonem



Obr. 5.3 - Charakteristika řídícího systému a rychlostní poměry při zatáčení, I - řídící proud, V - zdvihový objem hydrogenerátoru, r_m - poloměr zatáčení stroje, v_m - střední rychlos, v_1 - rychlos vnitřního pásu, v_2 - rychlos vnějšího pásu, $\Delta v = v_2 - v_m = v_m - v_1$

Elektrohydraulické ovládání generátorů nastavuje, úměrně velikosti řídícího proudu I , zdvihový objem generátoru V , jak ukazuje obr. 5.3. Je-li řídící proud $I = 0$, je zdvihový objem generátoru $V = 0$, při jmenovité řídícím proudu je zdvihový objem generátoru maximální. Při změně polarity v elektrické části se změní směr průtoku oleje generátorem a tím smysl otáčení hydromotoru. Při neutrální poloze a postavení páky voliče směru jízdy vpřed nebo vzad, pohybuje se stroj v přímém směru dopředu nebo dozadu rychlostí, která odpovídá postavení pedálu ovládání vstřikovacího čerpadla. Je-li páka voliče v neutrální poloze, je vozidlo v klidu i při libovolně vysokých otáčkách hnacího motoru.

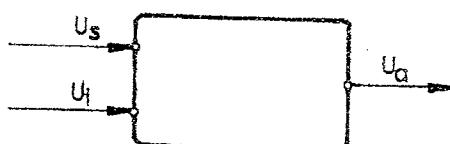
Poznámka: Tímto elektronickým řídícím systémem je možno ovládat pásový podvozek také jediným pákovým ovladačem, jak ukazuje obr. 5.4. Jednotlivé polohy ovladače jsou: 1, 2 - pro přímou jízdu vpřed nebo vzad, 3, 4 - otáčení na místě vlevo, vpravo, 5 - zatáčení vlevo malým poloměrem, 6 - zatáčení vpravo velkým poloměrem, 7 - maximální rychlosť, 8 - střední rychlosť, 9 - nulová rychlosť.



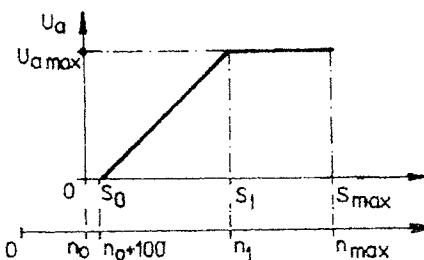
Obr. 5.4 - Ovládací jednotka

Regulátor 14 zabezpečuje dvě funkce: Jedná umožňuje plynulý rozjezd a zpomalení jízdy a za druhé brání přetížení hnacího motoru. Rychlosť jízdy stroje je úměrná zdvihovému objemu generátorů a otáčkám hnacího motoru. Zdvihový objem generátorů je nastavován úměrně výstupnímu napětí regulátoru U_a a toto napětí je závislé na vstupních napětích U_s a U_t (viz obr. 5.5), vycházejících ze snímače otáček motoru 15 a voliče otáček motoru 16. V charakteristice na obr. 5.6 je znázorněna závislost výstupního napětí regulátoru U_a na zdvihu pedálu ovládání vstřikovacího čerpadla s a na otáčkách motoru n. Napětí $U_a = 0$ při zdvihu pedálu v intervalu od 0 do s_0 . V intervalu s_0 až s_1 narůstá napětí U_a až na hodnotu $U_{a\ max}$, odpovídající zdvihi pedálu s_1 až s_{max} . Odpovídající otáčky hnacího motoru jsou n_0 (minimální) až n_{max} . Vzrůst napětí mezi zdvihy pedálu s_0 a s_1 umožňuje citlivý rozjezd, případně jemné hydraulické brzdění změnou polohy pedálu (obr. 5.7).

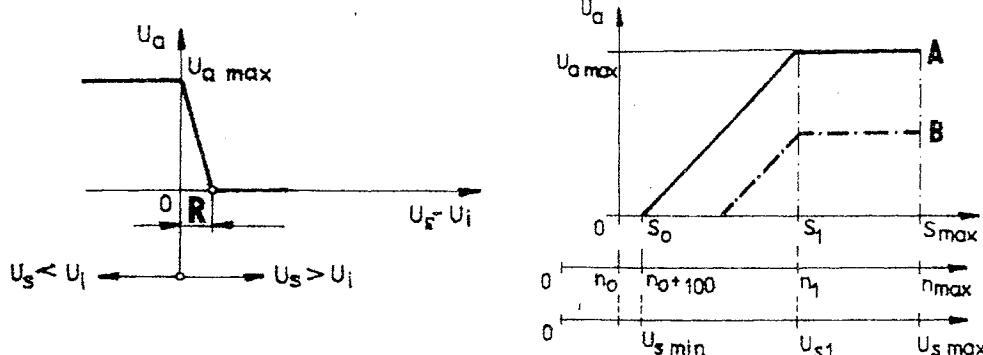
Z porovnání stupnic dráhy pedálu s a otáček motoru n je zřejmá další výhoda systému: Dosáhne-li se maximálního zdvihového objemu generátoru již při otáčkách n_1 , odpovídajících zdvihi pedálu s_1 , bude vyšší rychlosť stroje dosaženo při nižších otáčkách hnacího agregátu. To se projeví menší spotřebou paliva, delší životností hnacího agregátu a tichým chodem stroje.



Obr. 5.5 - Napěťové poměry na regulátoru



Obr. 5.6 - Charakteristika systému ovládání pásového podvozku



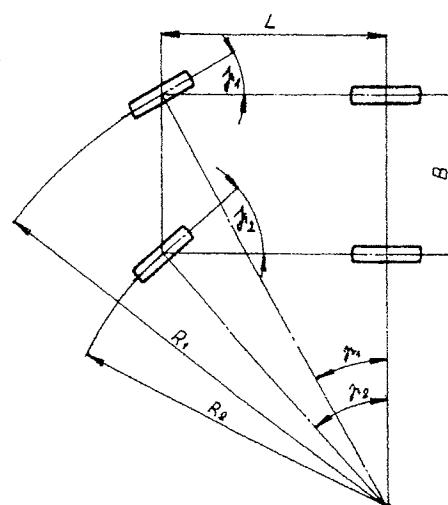
Obr. 5.7 - Napěťové charakteristiky systému ovládání pásového podvozku při činnosti regulátoru zatížení, A - charakteristika bez regulace, B - charakteristika s regulací, R - regulační rozsah

5.2.2 Stroje s kolovým podvozkem

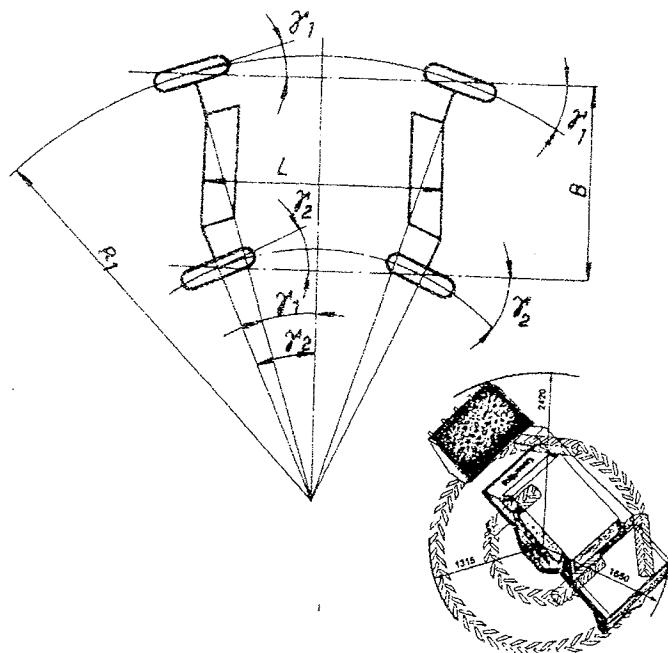
Stroje s kolovým podvozkem můžeme řídit jedním z těchto způsobů:

- 1) Řízením kol jedné nápravy (obr. 5.8), reprezentované např. lopatovým rýpadlem DH 112,
- 2) řízením kol obou náprav (obr. 5.9), představitelem může být kompaktní lopatový nakladač KRAMER Allrad 314,
- 3) děleným (kloubovým) uspořádáním podvozku (obr. 5.10) jaký je použit u lopatového nakladače CATERPILLAR 966F,
- 4) prokluzem kol, který je použitý u nakladače UNC 060.

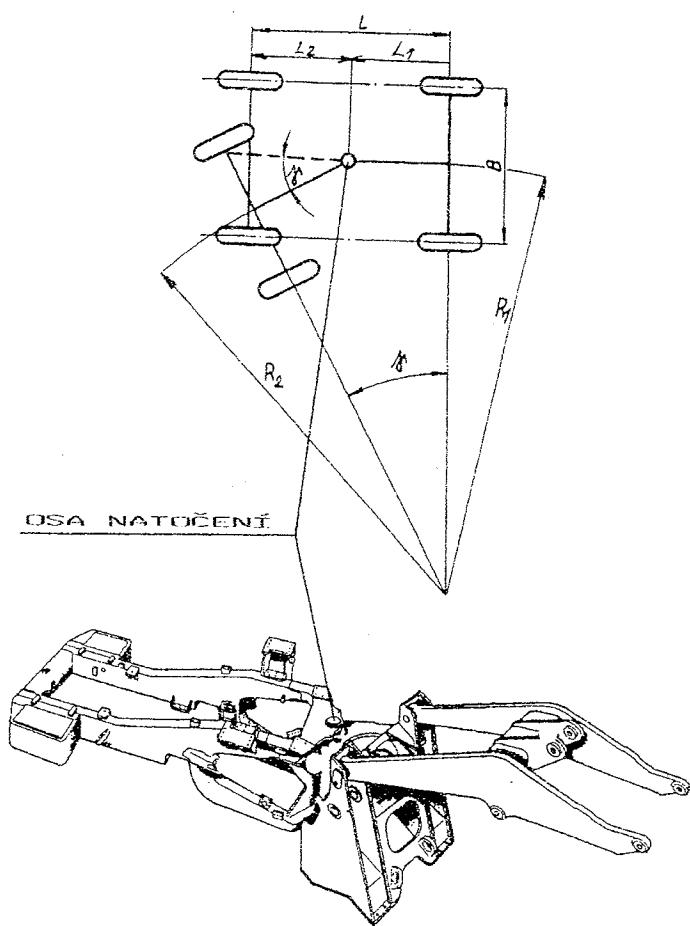
Nemá-li docházet při zatáčení stroje ke smýkání kol, musí být koła při projíždění zatáček správně natočena tzn., že normály k dráze kol (jinak též prodloužené osy kol) se musí protínat v jednom bodě. Pro úhly natočení kol pak platí podmínky uvedené na obr. 5.8, přičemž maximální úhly natočení kol jsou u běžných strojů 38 až 45 stupňů, lze však dosáhnout hodnoty až 180 stupňů jak dokazuje stroj KRAMER Allrad 314.



Obr. 5.8 - Řízení zemního stroje koly jedné nápravy



Obr. 5.9 - Řízení zemního stroje ovládáním všech kol

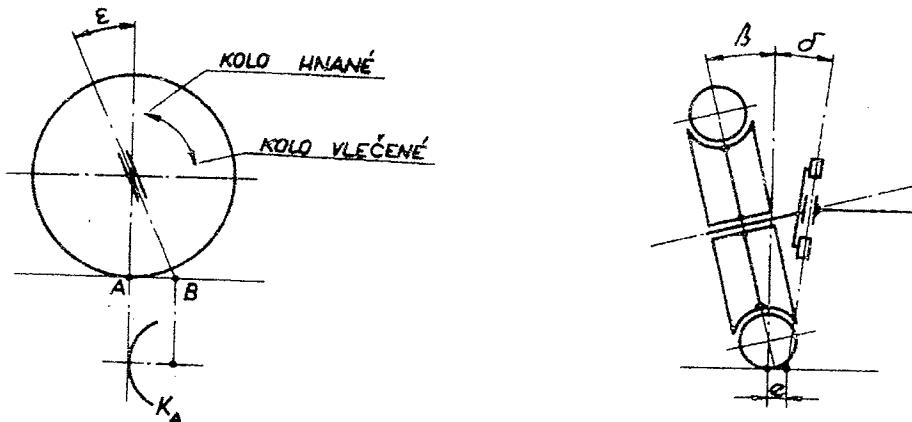


Obr. 5.10 - Zemní stroj s kloubovým rámem

Závislost mezi úhlem natočení kol a úhlem natočení volantu je převod řízení. Ten může být konstantní nebo bývá funkcí natočení kol.

Uložení řízených kol musí splňovat podmínky geometrie řízení.

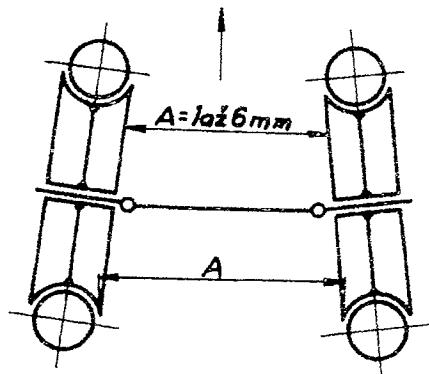
Záklon rejdrového čepu (obr. 5.11) zaručuje stabilizaci kola v neutrální poloze. Stopa k_A musí být mimo průsečík prodloužené osy rejdrového čepu s rovinou pojezdu. Pak tečná reakce půdy vyvodí vzhledem k ose rejdrového čepu moment, který kolo vrací do přímého směru.



Obr. 5.11 - Záklon rejdrového čepu

Obr. 5.12 - Příklon rejdrového čepu a odklon kola

Příklon rejdrového čepu a odklon kola (viz obr. 5.12) zmenšují rameno vyložení kola a přispívají tak ke snížení momentu potřebného pro natáčení kol. Sbíhavost kol (obr. 5.13) zajíšťuje vymezení vůl v kloubech mechanismu řízení.



Obr. 5.13 - Sbíhavost kol

Zemní stroje svou velikostí, hmotností a pracovním nasazením kladou na řízení značné nároky. Těmto nárokům mohou řízení s přímým tj. mechanickým přenosem sil jen ztěží vyhovět a tak je u většiny strojů pro zemní práce, stavbu a údržbu komunikací a dalších strojů používaných ve stavebnictví použito servořízení.

5.3 Servořízení

Servořízení (servomechanismus) je zařízení, kde se slabý vstupní signál mění ve výstupní signál k zaujetí určité polohy, provedení pohybu nebo silového působení. Přitom úroveň signálu, která odpovídá své velikosti hodnotě měřené veličiny, zůstává stejná a zvyšuje se výstupní výkon z převodníku. Navíc servosystém vedle požadované řídící operace zabezpečuje i zpětnou vazbu do řídícího prvku. Používá se v zásadě elektrický, hydraulický, pneumatický a kombinovaný způsob přenášení signálu.

Základní jednotkou servosystému je tzv. servomotor, který je zařazen mezi ústřední člen regulátoru a regulační orgán. Vstupní člen servomotoru odpovídá výstupnímu signálu ústředního členu a

výstupní člen odpovídá regulačnímu orgánu. Pohon servomotoru je shodný s odpovídajícím regulačním systémem, t.j. může být buď elektrický, pneumatický nebo hydraulický.

a) Elektrické servosystémy

Tyto systémy používají nepřímý přenos energie buď spojité nebo nespojité a umožňují řízení i na větší vzdálenost. Jako elektrické pohony - servomotory se používají elektrické motory vybavené vhodnými převody a elektromagnety (solenoidy). Tyto pohony jsou přímočaré, pákové nebo otočné. Výhodou elektrických servosystémů je jejich samosvornost, která je u jiných druhů servomotorů obtížně dosažitelná a možnost přímého řízení výpočetní technikou popř. ještě dostupnost energie z veřejné elektrické sítě. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady a dále to, že při výpadku sítě přestanou tyto systémy, resp. servomotory pracovat. Ve stavebnictví nacházejí uplatnění především u stacionárních zařízení jako např. u obalovacích souprav, betonáren apod.

b) Hydraulické servosystémy

Tyto systémy pracují jen s nepřímým přenosem energie jako jedno nebo vícestupňové zesilovače. Pokud se nepožaduje pouze dvoupolohové ovládání, musí být součástí servořízení i pevná zpětná vazba. Tyto systémy jsou nejvíce rozšířeny u mobilních strojů, protože se v plně míří uplatňují velké přestavné síly a rychlosti servomotorů. Z hlediska druhu rozvodu pracovní tekutiny se používá buď šoupátkový nebo tryskový rozvod. Dnes se však používají především kombinované systémy, které vedle hydraulického okruhu používají i jiné druhy řízení.

c) Pneumatické systémy

Základní výhodou těchto systémů je jejich konstrukční a výrobní jednoduchost a možnost jejich použití ve výbušném prostředí. Nevýhodou je, že servomotory pneumatických systémů nejsou samosvorné a při výpadku napájecího vzduchu se přestavují do krajní polohy, ať už do otevřené nebo do zavřené. Pneumatické servomotory se nejčastěji vyrábějí jako membránové nebo pístové, které se používají převážně pro dvoupolohové ovládání. Pro spojité řízení musí být opět opatřeny pevnou zpětnou vazbou a rozvodem.

d) Kombinované systémy

Tyto servosystémy se u zemních strojů používají nejčastěji. Pracují velmi přesně, se značným zesílením a jsou vhodné pro použití na střední i větší vzdálenost. Především se používají elektrohydraulické, pneumohydraulické, optickohydraulické a mechanickohydraulické systémy. Vzhledem k možnému značnému zesílení potřebují řídící členy kombinovaných sledovacích systémů nepatrné vstupní síly; výstupní hydraulické členy mají malé setrvačné hmoty a velké silové převody. Výhodou je, že u strojů s hydraulickým ovládáním pracovních pohybů lze využít jejich hydraulického okruhu, přičemž hydraulické zařízení musí být doplněno blokem ventilů s regulátorem množství.

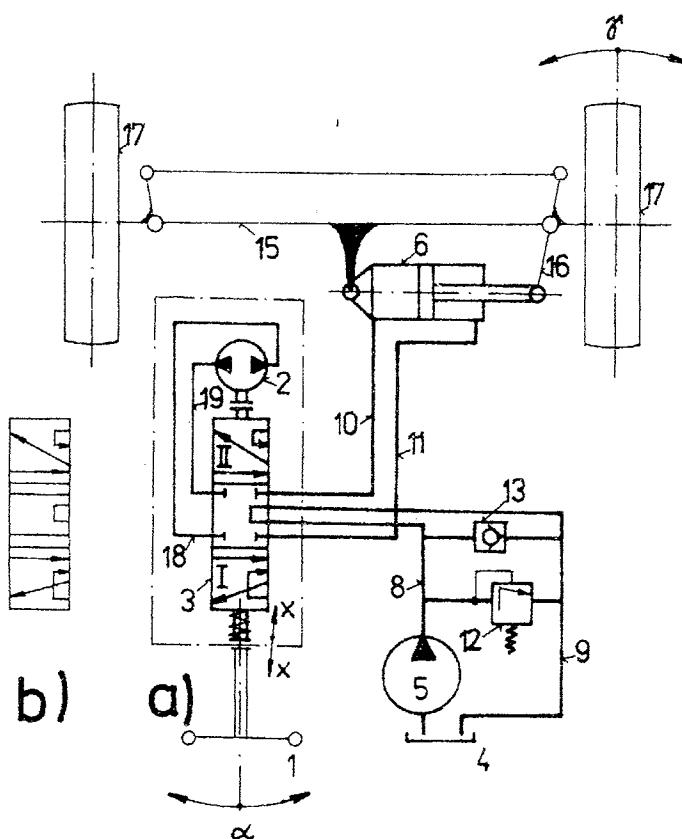
Jako příklad hydraulického servořízení si uvedeme servořízení s odměrným čerpadlem a rozvaděčem v jednom bloku znázorněné na obr. 5.14. Volant 1 je spojen s blokem obsahujícím odměrné čerpadlo 2 a rozvaděč 3. Rozvaděč 3 je spojen výtlacným potrubím 8 s motoricky poháněným čerpadlem 5, potrubím 9 s nádrží 4 a potrubím 10, 11 s válcem řízení 6, upevněným kloubově mezi rámem 15 a řídící mechanismus 16. Mezi výtlacným potrubím 8 a odpadním potrubím 9 bývá obvykle zařazen pojistný ventil 12 a zpětný ventil 13. Jeden nebo oba tyto ventily tvoří někdy součást společného bloku s odměrným čerpadlem 2 a rozvaděčem 3, takže celé servořízení tvoří tři kompaktní jednotky spojené navzájem čtyřmi potrubími nebo hadicemi. Rozvaděč 3 může být proveden s uzavřeným středem (obr. 5.14a) nebo otevřeným středem (obr. 5.14b). Více rozšířeno je provedení s uzavřeným středem, proto je podrobněji popsána jeho funkce.

Je-li dosaženo shody mezi postavením volantu 1 a postavením řízených kol 17, uzavírá rozvaděč 3 potrubí 10, 11 k válci 6 a propojuje výtlacné potrubí 8 s odpadním potrubím 9, takže čerpadlo 5 pracuje odlehčené. Pootočí-li se volantem 1, uzavírá rozvaděč 3 již při malém natočení volantu

cca 4 až 8⁰ volný průtok kapaliny a kapalina z čerpadla 5 se vede přes odměrné čerpadlo 2 do válce 6. Například při natáčení volantu 1 doprava se rozvaděč 3 přestavuje do postavení I a kapalina, přicházející potrubím 8 z čerpadla 5 do rozvaděče 3, protéká kanálem 18, přes odměrné čerpadlo 2, kanálem 19, potrubím 10 do válce 6. Kapalina vytlačovaná pístem válce 6 odtéká potrubím 11 přes rozvaděč 3 a z něj potrubím 9 do nádrže 4.

Při natáčení volantu 1 doleva je činnost servořízení obdobná - rozvaděč 3 se přitom přestavuje do polohy II.

V případě selhání motoru nebo motoricky poháněného čerpadla 5 umožňuje systém nouzové řízení tak, že odměrné čerpadlo 2 přebírá funkci manuálně poháněného čerpadla a nasává kapalinu z nádrže 4 přes zpětný ventil 13 a dopravuje ji v požadovaném směru do válce 6, podle smyslu otáčení volantu 1. Při nouzovém řízení zůstává převod mezi volantem a řízenými koly zachován. Při jiné poruše, např. při poruše protribí 10, 11 mezi rozvaděčem 3 a válcem 6 je stroj neřiditelný.



Obr.5.14 - Servořízení s odměrným čerpadlem a rozvaděčem v jednom bloku

5.4 Nivelační zařízení pro vedení pracovních nástrojů

Úkolem nivelačního zařízení je udržení pracovních nástrojů stroje v požadované výšce i směru při dodržení tolerancí od ideálního stavu vytyčeného pomocí referenční linie. U většiny automatů se používá elektrický nebo elektrohydraulický spojitý i nespojitý přenos signálů. Odchylky se snímají pomocí kontaktních nebo bezkontaktních snímačů.

Základní princip nivlace je u všech strojů stejný: Stroj sleduje referenční linii umístěnou mimo základní konstrukci stroje a regulační orgány nastavují podle výchylky pracovních nástrojů od referenční linie správnou hodnotu polohy pracovních nástrojů. Odchylky od referenční linie snímá čidlo, přeměňuje je v impulsy a tyto impulsy předává ústřednímu členu. Tento člen po úpravě signálu dává pokyn regulačnímu členu ke změně polohy.