

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta
(Katedra zemědělských strojů)

**Možnosti sledování výkonových parametrů hydraulického
systému ovládání třibodového závěsu traktoru**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Petr Heřmánek Ph.D.

Autor práce: Pavel Svoboda

PRAHA 2009

Vysoká škola: Česká zemědělská univerzita v Praze	Fakulta: technická
Katedra: zemědělských strojů	Akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant: **Pavel Svoboda**

Studijní obor: Zemědělská technika

Studijní zaměření:

Název práce: Možnosti sledování výkonových parametrů hydraulického systému ovládání tříbodového závěsu traktoru

Zásady pro vypracování:

Cíl práce: Výběr vhodných čidel a jejich umístění v hydraulické soustavě včetně návrhu metodiky měření.

Osnova práce:

1. Úvod
2. Možnosti sledování výkonových parametrů v hydraulických systémech
3. Analýza hydraulického ovládání tříbodového závěsu u traktoru
4. Výběr vhodných čidel
5. Metodika měření
6. Diskuze
7. Závěr

Metodika práce: Student prostuduje převážně zahraniční literaturu týkající se této problematiky. Udělá výběr čidel pro zjišťování výkonových parametrů (tlak a průtok) hydraulického systému pro ovládání tříbodového závěsu traktoru. Vytipuje umístění těchto čidel v obvodu, navrhne metodiku měření pro snímání parametrů tlaku a průtoku na traktoru.

Rozsah práce: 50 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Seznam doporučené odborné literatury:

1. PIVOŇKA, J., A KOL.: Tekutinové mechanismy. SNTL, Praha, 1987, 623 s.
2. KUČÍK, P., STRÁŽOVEC, I., KRIŠŠÁK, P.: Hydraulický prenos energie. Žilinská univerzita, Žilina, 2000, 384 s. ISBN 80-7100-725-0.
3. NOACK, S.: Hydraulics in Mobile Equipment. Omegon, Ditzingen, 2001, 2002 s.
4. MAIER, U.: Anwendungszentrum Traktoren. In: Mobile 2003 Internationale Fachung für Mobilhydraulik. Bosch Rexroth AG, Elchingen, 2003, s. 146-161.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Heřmánek, Ph.D.

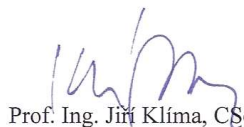
Datum zadání diplomové práce: 7.12.2007

Termín odevzdání diplomové práce: 30.4.2009



Doc. Ing. Adolf Rybka, CSc.

vedoucí katedry



Prof. Ing. Jiří Klíma, CSc.

děkan

V Praze dne 7.12.2007

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením ing. Petra Heřmánka Ph.D. a použil jen pramenů citovaných v příložené bibliografii.

V Benešově 24.4. 2009

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu této práce ing. Petru Heřmánkovi Ph.D. za cenné rady a náměty.

Abstrakt

Cílem této práce je seznámení se s ovládáním třibodového závěsu traktoru a popis jednotlivých komponentů. Popis je především zaměřen na traktory střední a vyšší výkonové třídy. V kapitole „Možnosti sledování výkonových parametrů v hydraulických systémech“ jsou popsány funkční principy snímačů, které lze při měření aplikovat. Kapitola „Metodika měření“ popisuje různé možnosti měření pomocí externích snímačů či využití CAN sběrnice s integrovanými čidly apod. Pro svoji perspektivu se návrh měření především zaměřil na práci s CAN sběrnici. Práce je ukončena diskuzí, která se zabývá aplikací měřených dat do servisní či laboratorní praxe. Také je zde uvedena možnost využití naměřených parametrů třibodového závěsu spolu s GPS mapováním pozemků do oblasti precizního zemědělství.

Klíčová slova: CAN - BUS, tlak, průtok, precizní zemědělství, GPS

Possibilities of hydraulic power parameters monitoring on hydraulically controlled three point hitch

Summary

The aim of this work is to become familiar with the hydraulically controlled three point hitch a tractor and a description of individual components. The description is mainly focused on tractors of medium and high class performance. In the chapter „Options monitoring performance parameters in the hydraulic systems“ are described the operating principles of sensors, which can be applied in the measurement. Chapter „Measurement methodology“ describes the different possibilities of measurement by external sensors or the use of CAN bus with integrated sensors, etc. For a measurement perspective, the proposal focused mainly on work with CAN bus. Work is a discussion that deals with the application of measured data to the service and laboratory practice. It is also here the possibility of using the measured parameters three point hitch along with GPS mapping of land within the area of precision agriculture.

Key words: CAN - BUS, pressure, flow, precision agriculture, GPS

1. ÚVOD	1
2. MOŽNOSTI SLEDOVÁNÍ VÝKONOVÝCH PARAMETRŮ V HYDRAULICKÝCH SYSTÉMECH	3
2.1 Snímače tlaku.....	3
2.1.1 Deformační tlakoměr	3
2.1.2 Tlakový snímač se silovým účinkem.....	5
2.1.3 Tenzometrický tlakoměr.....	5
2.1.4 Piezoelektrický tlakoměr	7
2.2 Průtokové snímače.....	7
2.2.1 Rychlostní průtokoměr.....	8
2.2.2 Nezatížený rotační hydromotor.....	9
2.2.3 Ultrazvukový průtokoměr	9
2.2.4 Indukční průtokoměr	11
2.2.5 Rotametr.....	12
2.2.6 Průtokoměr s obtékaným diskem	13
2.2.7 Žárový anemometr	14
3. ANALÝZA HYDRAULICKÉHO OVLÁDÁNÍ TŘÍBODOVÉHO ZÁVĚSU TRAKTORU	15
3.1 Popis a konstrukce hydraulického ovládání TBZ u traktorů.....	15
3.2 Jednotlivé prvky obvodu používané v dnešní době i v minulosti	16
3.2.1 Radiální pístová čerpadla.....	16
3.2.2 Zubová čerpadla	17
3.2.3 Regulační čerpadla	18
3.2.4 Rozvaděče s mechanickým přenosem signálu	19
3.2.5 Rozvaděče s elektrickým a hydraulickým přenosem signálu.....	19
3.2.5.1 EHR 4	20
3.2.5.2 EHR 5	21
3.2.5.3 EHR 23 OC	22
3.2.5.4 EHR 23 LS	23
3.2.6 Snímače	24
3.3 Regulace tříbodového závěsu traktoru.....	29
3.3.1 Mechanicko - hydraulická regulace (MHR).....	29
3.3.2 Elektro - hydraulická regulace (EHR)	30

3.4	Load Sensing (LS).....	37
4.	VÝBĚR VHODNÝCH ČIDEL	41
4.1	Výběr snímače tlaku	41
4.2	Výběr snímače průtoku	41
4.3	Zaznamenávací zařízení	42
5.	METODIKA MĚŘENÍ.....	43
5.1	Využití externích snímačů	43
5.2	Využití sběrnice CAN s integrovanými snímači	43
5.3	Způsoby měření jednotlivých veličin	45
5.4	Návrh metodiky měření s využitím externích snímačů	49
5.5	Návrh metodiky měření s využitím CAN sběrnice	50
6.	DISKUZE	53
7.	ZÁVĚR	57
8.	POUŽITÁ LITERATURA.....	58
9.	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A ZKRATEK	59

1. ÚVOD

Traktory jsou velmi důležitým prvkem v zemědělské prvovýrobě. Tyto stroje jsou ve své podstatě univerzálními tahači či nosiči nářadí. Zemědělské tažné prostředky jsou, vedle klasických jednobodových závěsů atd., ještě vybaveny nedílnou a neméně používanou součástí, tříbodovým závěsem.

Historický vývoj traktorů je velmi zajímavý a je propletený velmi pokrokovými událostmi. Zpočátku bylo nářadí pouze taženo v klasickém závěsu. Zahlubování a vyhlubování se muselo provádět ručně mechanicky (např. staré historické vyorávače brambor nebo prstové žací lišty měli sedadlo pro obsluhu), nebo se tato operace prováděla pomocí lanových navijáků a nebo změnou směru jízdy (např. samojízdný pluh Excelsior). Ve 20-letech 20. století předvedla firma Massey Ferguson tříbodový závěs ovládaný hydraulicky. To však, z důvodu náročnosti agregovaného nářadí, nestačilo a tato firma přišla roku 1950 s tříbodovým závěsem, ale však doplněným o polohovou, silovou a smíšenou regulaci [Bauer a kol., 2006]. Ani firma Zetor v té době nezaostávala a vybavoval traktory 25, 35 a 50 Super tříbodovým závěsem. Zetory Super byly vybaveny polohovou regulací a tzv. „protikluzným zařízením“, které snižovalo prokluz díky nadlehčování agregovaného stroje nízkým tlakem v hydraulickém obvodu, působícím na píst přímočarého hydromotoru tříbodového závěsu (TBZ). Tento tlak se nastavil ručně regulačním tlakovým ventilem. Tím se přenesla část hmotnosti stroje na zadní nápravu traktoru. Dlouho na sebe nenechaly čekat traktory doplněné o regulaci silovou a smíšenou, přenos signálu polohy a tahové síly byl proveden mechanicky. Z důvodu konstrukční složitosti, nemožnosti kombinace jednotlivých regulačních systémů, byl tento systém nahrazen elektro - hydraulickým regulačním systémem. Dalším zlomem je zavedení Load sensingu. Tato regulace zaručuje nižší energetickou náročnost díky tomu, že systém pracuje s průtokem oleje z čerpadla, který je právě v daný okamžik optimálně požadován. Dříve pracovali čerpadla s průtokem závislým pouze na otáčkách motoru traktoru. Při malém odběru oleje vnitřním či vnějším hydraulickým okruhem docházelo k obtoku nadbytečného oleje přes vratnou větev, což činilo ztráty a zahřívání oleje. Z toho je patrné, že se snížilo ohřívání oleje, ale i spotřeba pohonných hmot, což je velmi znatelné u traktorů střední a vyšší výkonové třídy.

Vývoj hydraulických systémů traktorů jde pořád kupředu. Jsou k dispozici nové materiály, tím se zvyšuje životnost jednotlivých komponentů, filtrace olejů je několikasupňová, oleje odolávají lépe vyšším teplotám a tlakům a v neposlední řadě nelze opomenout elektrické snímače, čidla, řídicí jednotky, ale i samotná kabeláž, která je podrobována neustálému zdokonalování.

Správná činnost vnitřního hydraulického obvodu traktoru není závislá jen na samotném systému, ale velmi důležitou roli zde hraje obsluha, která musí sladit traktor jako celek s používaným nářadím. Důležité je dotížení náprav traktoru jak závažími, tak i např. tlakovou regulací.

Cíl práce

Cílem této práce je analýza celého systému zadního TBZ, návrh způsobu měření průtoků a tlaků tlakové kapaliny, popřípadě dalších parametrů, umístění snímačů v hydraulickém okruhu a zpracování naměřených dat. Nelze opomenout možnost využití CAN sběrnice, která využívá snímačů na traktoru již pevně nainstalovaných. Tím by se měření zjednodušilo, jak po stránce časové, tak po stránce ekonomické. Návrh metodiky je určen zejména pro traktory středních a vyšších výkonových tříd. Tato problematika je v práci také zohledněna i pro traktory nižší výkonové třídy. Z analýzy a výsledků měření by se mělo usoudit, co by se mohlo do budoucna zdokonalit. Zejména se to bude týkat energetické náročnosti a zvyšování účinnosti a životnosti, protože moderní trendy nás nutí k maximálnímu využití při minimální spotřebě pohonných hmot. Aby tříbodový závěs jako celek dobře plnil svoji funkci, je třeba toto zařízení pořád vyvíjet a zdokonalovat. Určité využití se naskýtá pro záznam dat ze snímačů TBZ do GPS map pozemků, kdy lze dostat určitý přehled o půdním profilu pozemku.

2. MOŽNOSTI SLEDOVÁNÍ VÝKONOVÝCH PARAMETRŮ V HYDRAULICKÝCH SYSTÉMECH

Mezi výkonové parametry hydraulických systémů patří tlak a průtok. Díky těmto údajům lze jednoduše zjistit okamžitý výkon systému:

$$P = Q \cdot p \text{ [W]} \quad (1)$$

Kde: Q průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
p tlak [Pa].

V praxi jsou používány tyto jednotky P [kW], Q [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], p [MPa].

2.1 Snímače tlaku

Tlak je definován jako síla působící na plochu. Z toho pak vyplývá nejčastěji používaná jednotka $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2} = \text{MPa}$. V technické praxi se nejčastěji měří tlak nazývaný přetlakem nebo podtlakem, což je rozdíl tlaku námi měřeného a atmosférického tlaku. [Janalík, 1995]

Tlak lze měřit pomocí snímačů staticky nebo dynamicky, což je měření tlaku v čase. Rozdělení tlakových snímačů:

- Statické snímače: deformační,
tlakové snímače se silovým účinkem.
- Dynamické snímače: tenzometrické,
piezoelektrické.

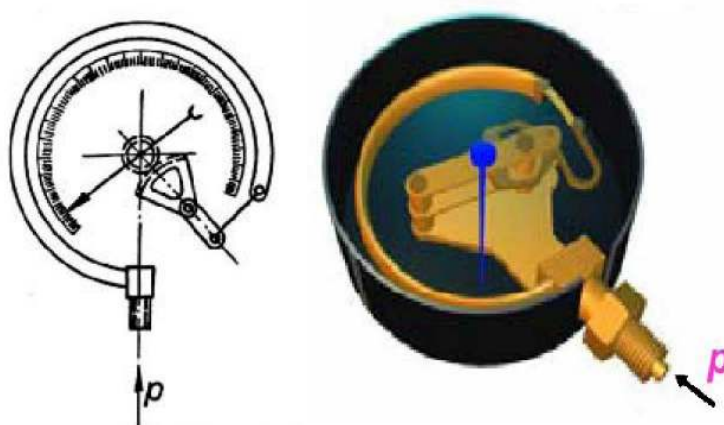
2.1.1 Deformační tlakoměr

Měření spočívá v deformaci měřícího tělesa a odtud se mechanicky převádí změna polohy na ukazatel tlakoměru nebo na potenciometr či tenzometr. Elastické členy jsou namáhány pouze v mezích pružné deformace, tudíž při poklesu tlaku se opět vrací do původní polohy. Některé tyto tlakoměry však dokáží měřit i dynamicky.

Nejpoužívanějším elastickým členem v těchto tlakoměrech je Burdonova trubice (obr.1), která je konstrukčně nejlépe propracovaná. Trubice bývá stočena do oblouku, spirály či šroubovice. Se zvyšujícím se tlakem má trubice tendenci se

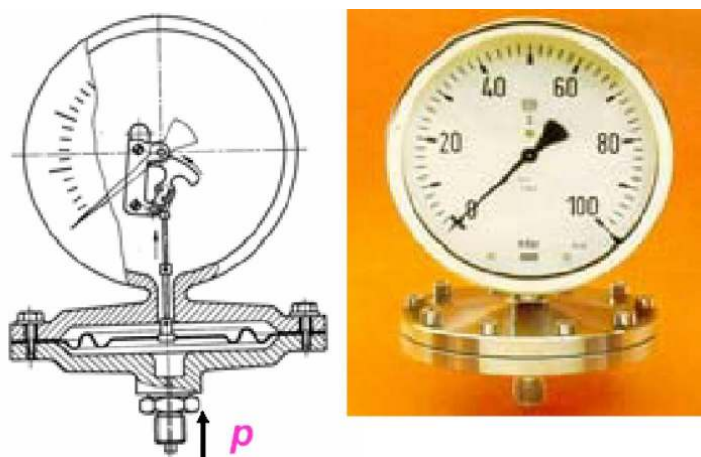
narovnávat a tím dochází ke změně polohy volného konce. Průřez trubice má eliptický tvar. Jeden konec je připojen k tlakovému rozvodu a je pevně ukotven, druhý je zaslepen a je uložen volně v prostoru. K tomuto konci je připojeno nejčastěji táhlo, které se se změnou tlaku vychyluje a pomocí mechanických převodů se hodnota tlaku převádí na ukazatel tlakoměru a na stupnici lze odčítat danou hodnotu. [Janalík, 1995]

Obr. 1 Deformační tlakoměr s Burdonovou trubicí [Janalík, 1995], [Bohuslávek, 2009]



Dalším nejvíce používaným elastickým členem je membrána. Tyto tlakoměry (obr. 2) lze odlišit od předchozího na první pohled díky válcové komoře umístěné pod kruhovou stupnicí. Membrána je kruhová, nejčastěji na spodní straně působí měřený tlak, ten se snaží membránu prohnout a tato změna průhybu se opět mechanicky převádí na ukazatel tlakoměru. Membrány se používají zvlněné nebo prohnuté pro snížení tuhosti a zachování pevnosti. [Janalík, 1995]

Obr. 2 Membránový deformační tlakoměr [Bohuslávek, 2009]



2.1.2 Tlakový snímač se silovým účinkem

Pístový tlakoměr

Tyto tlakoměry měří tlak staticky s vysokou přesností. Tlak kapaliny či plynu je převeden na sílu pomocí válce a pístu. Díky pákovému mechanismu se síly vyrovnávají posouváním závaží na páce až do té doby, kdy jsou ukazatele proti sobě. Pístový tlakoměr se používá zejména pro statické cejchování jiných tlakoměrů. [Janalík, 1995]

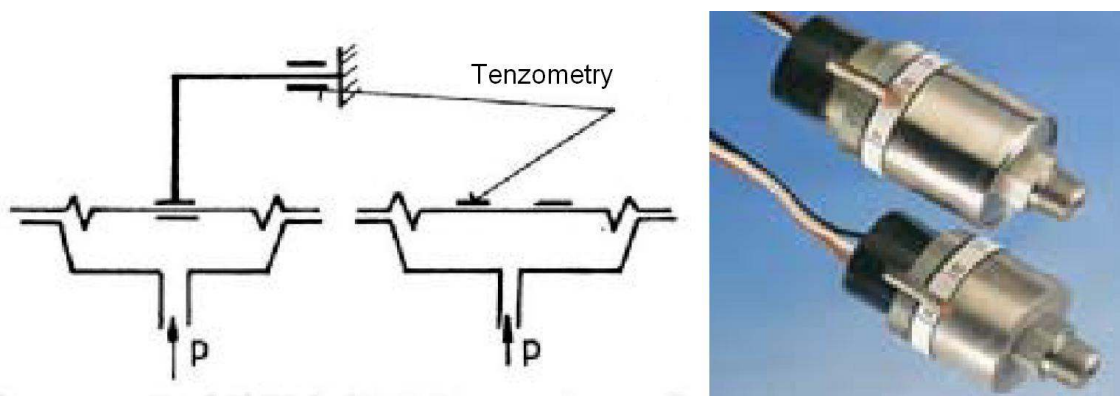
Prstencový tlakoměr

Je tvořen dutým prstencem nejčastěji kruhového nebo obdélníkového průřezu. Prstenec je částečně naplněn kapalinou, která tvoří při měření protizávaží závažímu připevněnému v dolní části prstence. Dutina prstence je rozdělena na dvě poloviny, v horní části je přepážka. Rozsah přístroje lze jednoduše měnit záměnou závaží. [Janalík, 1995]

2.1.3 Tenzometrický tlakoměr

Tyto tlakoměry se vyznačují možností měřit a zaznamenávat tlak dynamicky v čase. Jsou vhodné pro laboratorní měření, vývojové dílny, aj. Lze s nimi měřit a zaznamenávat tlak při hydraulických rázech, kolísavém zatížení, např. v praxi při testování hydraulických systémů.

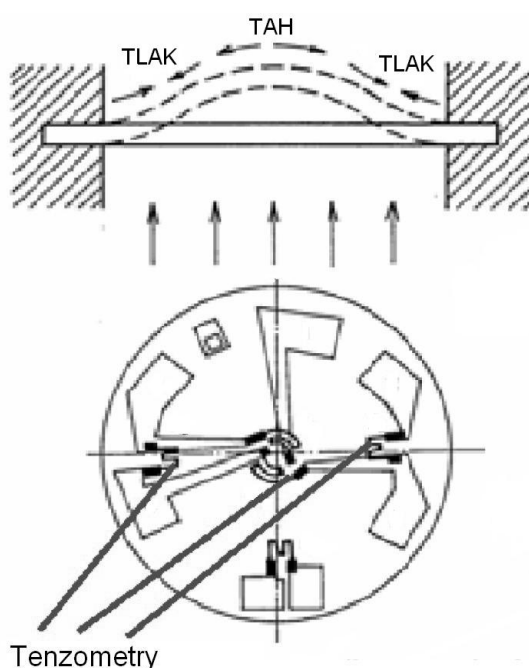
Obr. 3 Schéma uspořádání tenzometrů v tlakoměru (vlevo) [Janalík, 1995], skutečné provedení (vpravo) [Bohuslávka, 2009]



Tenzometrické snímače se vyrábějí v různých rozsazích pro různé tlaky. Vyznačují se dobrou citlivostí a linearitou. V odporových tenzometrech se využívá piezorezistivního jevu, kdy při mechanickém namáhání v oblasti pružných deformací dochází ke změně odporu. Pro dokonalou přesnost měření je nutností však statické cejchování před měřením. Tlaková změna se převádí na tenzometrický snímač pomocí deformace pružného členu (obr. 3 vlevo), změna deformace je úměrná změně tlaku. Nejčastěji se používají deformační členy kruhové desky, které jsou na koncích pevně ukotvené. Pro zpřesnění měření, zejména pro teplotní kompenzaci, je vhodné použití dvou tenzometrů, jeden je namáhaný na tlak, druhý na tah (obr. 3 zcela vlevo). Tomu však musí být snímač konstrukčně uzpůsoben. Pro zvýšení citlivosti a ještě dokonalejší tepelnou kompenzaci je možné použití fóliového tenzometru, který se skládá ze čtyř odporů zapojených do můstku. Snímače s vysokou citlivostí mají též velmi tenkou desku membrány, na které při zvyšujícím se tlaku převažují tahová napětí. V tomto případě se nejčastěji používají spirálové tenzometry. [Janalík, 1995]

Pro měření tlaku s ještě vyšší citlivostí lze použít snímače s polovodičovými tenzometry, které jsou buď nalepené na desce membrány nebo se jako pružný prvek místo desky membrány použije křemíková membrána (obr. 4). [Janalík, 1995]

Obr. 4 Schéma průběhu deformačních napětí (nahore), uložení polovodičových tenzometrů s křemíkovou membránou (dole) [Bohuslávek, 2009]



Tab. 1 Parametry tenzometrických tlakoměrů [Janalík, 1995]

Kompenzovaný rozsah teploty okolí	-10...+80	°C
Vstupní a výstupní odpor snímače	120 nebo 350	Ω
Max. teplotní chyba	±0,1	%

2.1.4 Piezoelektrický tlakoměr

Tyto snímače pracují na základě piezoelektrického jevu. Tento jev nastává při deformaci krystalů snímače a tím vzniká elektrický náboj, který je přímo úměrný velikosti mechanického napětí, jenž je vyvoláno tlakem v hydraulickém obvodu. Elektrický náboj je však slabý a proto se musí zesílit pomocí elektrického obvodu. Použitý zesilovač musí mít však vysoký vstupní odpor, aby se snímač mohl dobře staticky cejchovat. Piezoelektrické snímače se nejčastěji vyrábějí z krystalů křemene. Tato čidla lze použít v malých a špatně přístupných prostorách, protože jejich rozměry jsou malé. Opět se tyto snímače vyrábějí pro široké spektrum tlaků, vyznačují se dobrou linearitou a stabilitou. Pro přesnost se musí před samotným měřením cejchovat statickým tlakem, stejně jako snímače tenzometrické. [Janalík, 1995]

2.2 Průtokové snímače

Měření průtoku je nedílnou součástí technické praxe. Snímače průtoků se stále zdokonalují. Dříve používané měření průtoku vážením či odměřováním v odměrných nádobách je nahrazováno moderními snímači např. ultrazvukovými, indukčními apod.

Rozdělení průtokových snímačů nejčastěji používaných je následující:

- rychlostní průtokoměr,
- nezatížený rotační hydromotor,
- ultrazvukový průtokoměr,
- indukční průtokoměr,
- rotametr,
- průtokoměr s obtékaným diskem,
- žárový anemometr.

2.2.1 Rychlostní průtokoměr

U tohoto průtokoměru je turbinka, lopatka nebo šroubové kolo uváděno do otáčivého pohybu díky silovému účinku proudící kapaliny. Podle konstrukce lze tyto snímače rozdělit na průtokoměry s axiálním či tangenciálním vtokem. Měřidlo s axiálním vtokem – Woltmanův průtokoměr je znázorněn na obr. 5. Tento přístroj se instaluje převážně v horizontální poloze, vyžaduje pro přesné měření tzv. uklidňovací přímé potrubí nejméně 15 - násobku světlosti před a 5 - násobku za měřidlem.

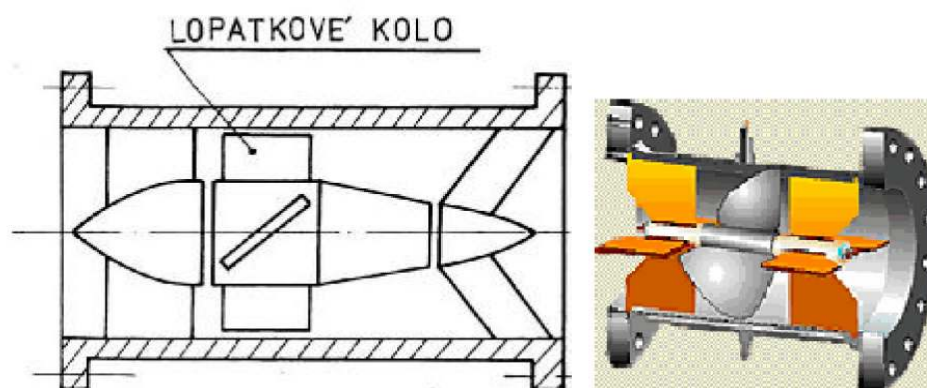
Objemový průtok lze vyjádřit vztahem: $Q = k_1 \cdot n + k_2$ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] (2)

Kde: k_1 konstanta určená cejchováním (respektovány hydraulické ztráty, ztráty v uložení rotoru, apod.) [m^3],
 k_2 konstanta, která respektuje necitlivost přístroje, udává minimální průtok, při němž se lopatkové kolo přestane otáčet [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
 n počet otáček [s^{-1}].

V praxi jsou používány tyto jednotky Q [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], k_1 [dm^3], k_2 [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], n [s^{-1}].

Konstanta k_1 má stálou hodnotu pouze v omezeném rozsahu otáček lopatkového kola. Kolo má určitý skluz oproti teoreticky ideálním podmínkám. Skluz se zvyšuje s klesající rychlostí kapaliny, tedy s klesajícím průtokem, tím se zvyšuje chyba měření. Tato chyba je velmi výrazná u kapalin s měnící se viskozitou se změnou teploty.

Obr. 5 Řez lopatkovým průtokoměrem [Janalík, 1995], [Bohuslávka, 2009]



Snímání otáček může být mechanické nebo, pro přesnější aplikace, bezdotykové pomocí snímačů indukčních, elektromagnetických nebo fotoelektrických.

[Janalík, 1995]

2.2.2 Nezatížený rotační hydromotor

Tento způsob měření průtoku je často používán u hydraulických mechanismů, díky své jednoduchosti a spolehlivosti. Počet otáček se snímá pomocí tachodynamu nebo fotosnímače s čítačem.

Pro objemový průtok platí rovnice: $Q = n \cdot V_g [m^3 \cdot s^{-1}]$ (3)

Kde: n počet otáček [s^{-1}],

V_g geometrický objem hydromotoru [m^3].

V praxi jsou používány tyto jednotky Q [$dm^3 \cdot s^{-1}$], n [s^{-1}], V_g [dm^3].

Toto měřidlo je vhodné jak pro statická tak pro dynamická měření. Přesnost měření se pohybuje do 1% a není závislá na viskozitě kapaliny.

[Janalík, 1995]

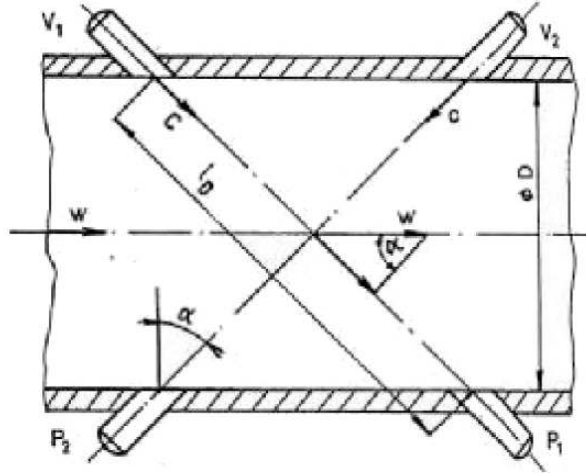
2.2.3 Ultrazvukový průtokoměr

Tato měřidla využívají, k měření rychlosti proudění, rozdíl rychlostí šíření ultrazvukových vln ve směru a proti směru proudění. V praxi se však využívá šikmého postavení vysílačů a přijímačů, z důvodu jednoduchosti a minimálního ovlivnění proudění kapaliny nebo jsou přijímač s vysílačem na stejné straně opět skloněné, ale využívají odrazu ultrazvuku od protější stěny potrubí (obr.7 vpravo). Na schématu (obr. 6) je možno vidět umístění vysílačů V a přijímačů P.

[Janalík, 1995]

Obr. 6 Schéma ultrazvukového průtokoměru v řezu [Janalík, 1995]

V_1 a V_2 – vysílače, P_1 a P_2 – přijímače, $\varnothing D$ - světlost potrubí, c – rychlost ultrazvukové vlny za klidu, w – rychlost proudění kapaliny, α - úhel mezi šířením signálu a osou proudění kapaliny, l_D - vzdálenost vysílače V a přijímače P



Pro rychlost ultrazvukové vlny platí rovnice:

$$V_1 \rightarrow P_1 \quad w_1 = c + w \cdot \sin \alpha \quad (4)$$

$$V_2 \rightarrow P_2 \quad w_2 = c - w \cdot \sin \alpha \quad (5)$$

- Kde: w_1 rychlost šíření ultrazvukové vlny mezi $V_1 \rightarrow P_1$ [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],
 w_2 rychlost šíření ultrazvukové vlny mezi $V_2 \rightarrow P_2$ [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],
 c rychlost ultrazvukové vlny za klidu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],
 w rychlost proudění kapaliny [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],
 α úhel mezi šířením signálu a osou proudění kapaliny [$^\circ$]. [Janalík, 1995]

S těmito hodnotami pracuje směšovač, kde se získává rozdíl frekvencí [Janalík, 1995]:

$$\Delta f = f_1 - f_2 = \frac{w_1 - w_2}{l_D} = 2 \left(\frac{w}{l_D} \right) \sin \alpha \quad (6)$$

$$w = \frac{l_D}{2 \sin \alpha} \Delta f \quad (7)$$

- Kde: l_D vzdálenost vysílače V a přijímače P [m],
 α úhel mezi šířením signálu a osou proudění kapaliny [$^\circ$],
 Δf rozdíl frekvencí [Hz]. [Janalík, 1995]

Obr. 7 Schéma ultrazvukového průtokoměru s vysílačem a přijímačem uloženými napříč (vlevo) a průtokoměr využívající odrazu od protější strany potrubí (vpravo) [Bohuslávek, 2009]



2.2.4 Indukční průtokoměr

Indukční průtokoměry jsou výhradně určeny pro měření průtoků elektricky vodivých kapalin. Využívá se zde Faradayova zákona, kdy pohybující se vodič v magnetickém poli představuje proudící kapalina. Napětí indukované proudem kapaliny se snímá z protilehlých elektrod umístěných izolovaně v plášti trubky. Umístění elektrod je situováno tak, aby mezi nimi procházel magnetický tok kolmo na siločáry (obr. 8 vlevo).

Indukované napětí lze vyjádřit: $U = B \cdot I_0 \cdot v$ [V] (8)

Kde: B magnetická indukce [T],
 v rychlost fiktivního vodiče [$m \cdot s^{-1}$],
 I_0 vzdálenost elektrod [m].

Protože se kapalina pohybuje v celém průřezu trubky různou rychlostí, tj. dáno třením kapaliny o stěny a viskozitou, je měření komplikováno. Za daných podmínek je indukované napětí úměrné střední rychlosti v_s kapaliny. Z teoretických výpočtů bylo dokázáno, že indukované napětí při laminárním proudění je větší než při proudění turbulentním při stejné rychlosti proudění kapaliny. U laminárního proudění je průběh rychlostí v celkovém průřezu potrubí parabolický. U stěn potrubí, kde jsou rychlosti minimální dochází ke spojení nakrátko a umožňují vzniku vířivých proudů, které pak kompenzují rozdíl indukovaného napětí při obou druzích proudění.

Kvalita snímání není závislá na teplotě, hustotě, čistotě kapaliny, ale musí být splněna podmínka maximální hodnoty měrného odporu, která může být

nejvýše $10^5 \Omega \cdot \text{mm}$. Vnější magnetické pole může být buzeno pomocí magnetu nebo stejnosměrně napájeného elektromagnetu a nebo střídavě či impulsově.

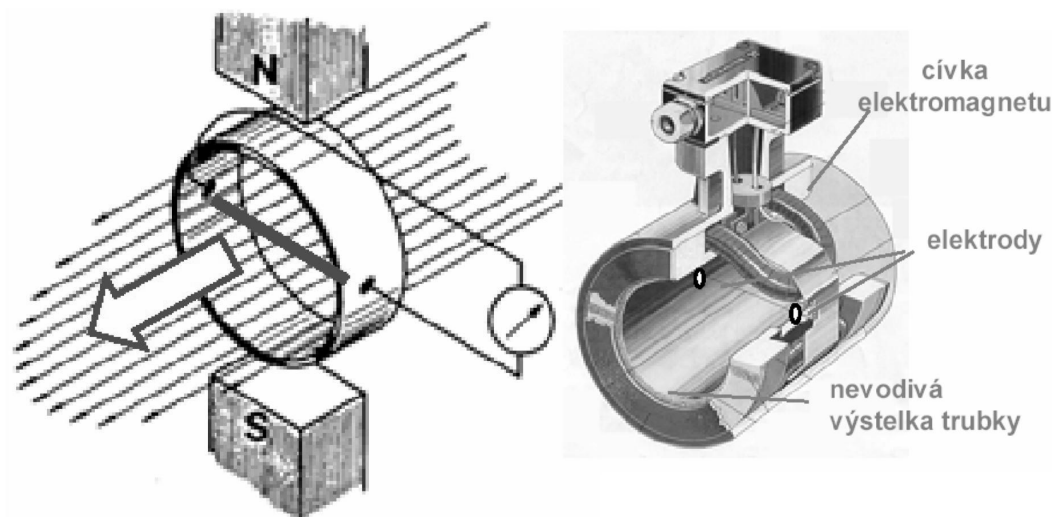
V praxi se nejčastěji používá buzení střídavé, protože při buzení stejnosměrném se na výstupu obtížně zpracovává polarizační napětí na elektrodách. Napětí má nepravidelný charakter a nelze jej téměř kompenzovat. Dalším negativem je působení parazitního termoelektrického napětí. Naopak při střídavém buzení se zjednoduší zpracování výstupního signálu, ale vzniknou zde potíže způsobené elektromagnetickou indukcí.

Snímač musí být řádně uzemněn a odstíněn. Umístění elektrod může být prakticky libovolné v průřezu potrubí. Pokud je vzdálenost elektrod pouze 1 až 2 mm, lze touto metodou měřit turbulentní fluktuace, avšak musí být použito stejnosměrné napětí.

[Janalík, 1995]

Obr. 8 Schéma (vlevo) a řez indukčním průtokoměrem (vpravo) [Bohuslávek, 2009]

N – severní pól magnetu, S – jižní pól magnetu



2.2.5 Rotametr

Měření průtoku je založeno na změně průtočné plochy, což je docíleno díky kuželové trubce ze skla nebo průhledného plastu. Uvnitř je umístěn kuželový plovák, který se vznáší v proudu kapaliny. Na obvodě plováku jsou umístěny lopatky, aby docházelo k rotaci a tím rovnoměrnějšímu pohybu v trubce. Tato měřidla se používají

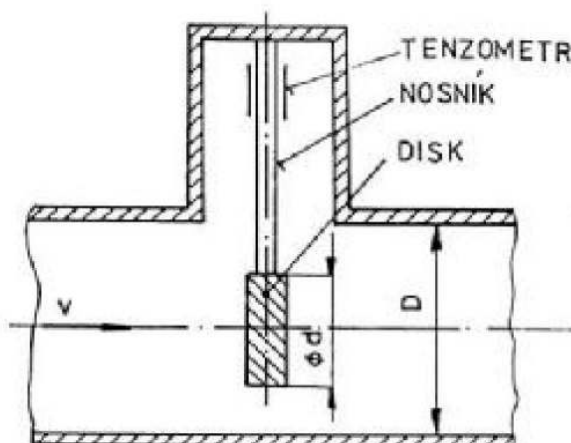
pro měření malých průtočných množství plynů i kapalin. Stupnice je vyryta nebo natištěna na kuželové trubce. Měřidlo se cejchuje přímo pro danou kapalinu či plyn v jednotkách objemového, ale i hmotnostního průtoku. Odčítání polohy plováku může být vizuální podle již zmiňované stupnice a nebo pomocí indukčního snímače a hodnoty se mohou zaznamenávat v čase bez přítomnosti obsluhy. [Janalík, 1995]

2.2.6 Průtokoměr s obtékaným diskem

Na obr. 9 lze vidět konstrukci průtokoměru s obtékaným diskem. Uprostřed potrubí je umístěn těleso ve tvaru kruhového terče a je spojeno pevně pomocí vetknutého nosníku s konstrukcí snímače. Ohybový moment, vyvolaný proudem kapaliny, je převáděn na tenzometr uložený v horní části na vetknutém nosníku. Velikost momentu je přímo úměrná rychlosti proudění kapaliny. Lineární průběh je však od jisté hodnoty Reinoldsova čísla. Vhodnou volbou tuhosti vetknutého nosníku může být dosaženo optimální vlastní úhlové frekvence snímače a tím pádem může být použito i pro dynamická měření do max. frekvence 50 Hz. [Janalík, 1995]

Obr. 9 Řez průtokoměrem s obtékaným diskem [Janalík, 1995]

D - světlost potrubí, d - průměr disku, v - rychlost proudění kapaliny



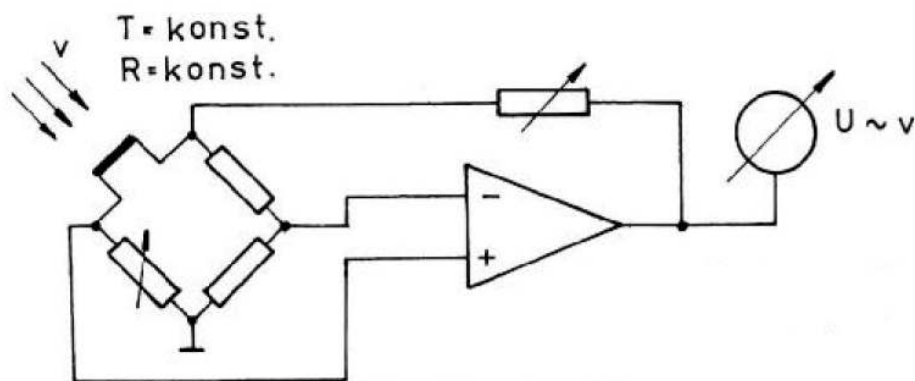
2.2.7 Žárový anemometr

Při protékající kapalině je z elektricky žhaveného drátku nebo folie odebíráno teplo. Čím větší je průtok, tím více se tepla odebírá. Pro měření v plynných a kapalných elektricky nevodivých látkách lze použít sondu bez povrchové izolace, v opačném případě je izolace nutná, nejčastěji je použita tenká vrstvička křemene o tloušťce přibližně 3 μm . Výhodou drátkových sond oproti foliovým je skutečnost, že mají velmi malou tepelnou setrvačnost a můžou se uplatnit při měření pulzací.

Teplo odvedené z drátku do proudící kapaliny konvekcí je v rovnováze s teplem, které je přivedeno do drátku pomocí elektrického proudu.

Obr. 10 Schéma zapojení žárového anemometru [Janalík, 1995]

T – teplota, R – elektrický odpor, U – elektrické napětí, v – rychlost proudění



Existuje dvojí způsob měření. Při prvním způsobu se volí konstantní proud, rychlost proudění je v tomto případě úměrná změně odporu drátku. Nebo se volí konstantní teplota a měřítkem rychlosti je pak proud protékající čidlem nebo napětí, tento druhý způsob lze vidět na obr. 10. Teplota drátku či folie je udržována na stálé hodnotě pomocí zesilovače se zpětnou vazbou. Anemometr se stálou teplotou čidla je více používán z důvodu lepších dynamických vlastností. V některých případech může docházet k nestabilitě zesilovače, ale to lze vyřešit vhodným zesílením zesilovače.

[Janalík, 1995]

3. ANALÝZA HYDRAULICKÉHO OVLÁDÁNÍ TŘÍBODOVÉHO ZÁVĚSU TRAKTORU

Konstrukce a regulační schopnosti tříbodového závěsu mají velmi zásadní vliv na ekonomiku provozu a proto se tato práce tímto zabývá. Zaměřuje se především pouze na zadní tříbodový závěs (TBZ) pro jeho nepostradatelnost při většině prací v zemědělské výrobě.

Rozdělení traktorů podle výkonu motoru:

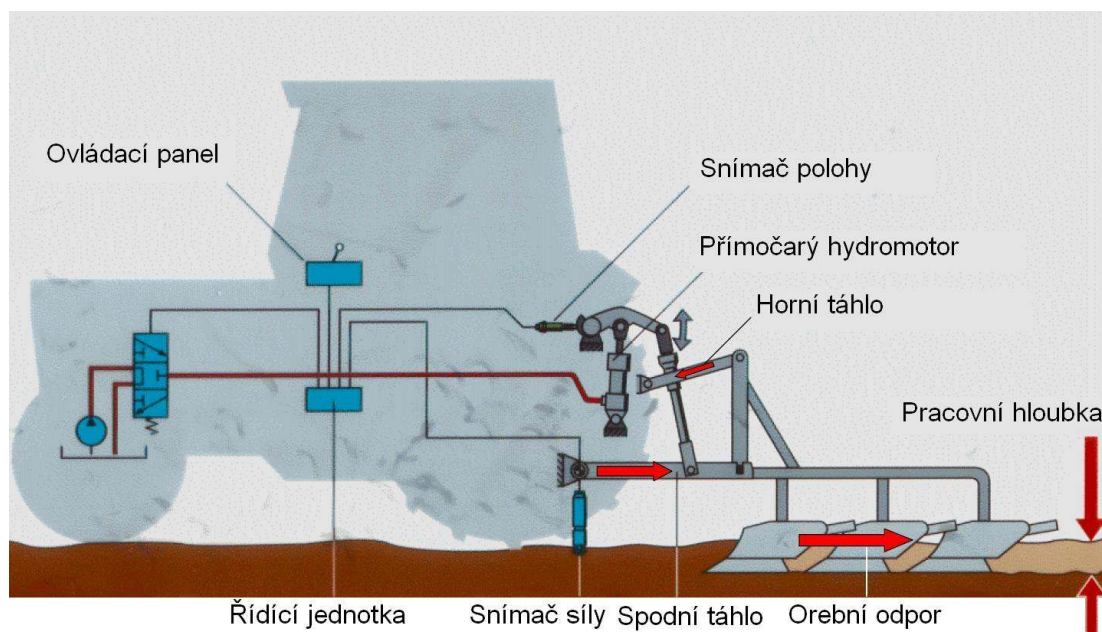
- nižší výkonová třída (0 až 90 kW),
- střední výkonová třída (90 až 160 kW),
- vyšší výkonová třída (160 až 400 kW).

3.1 Popis a konstrukce hydraulického ovládání TBZ u traktorů

Traktory se v dnešní době využívají nejen jako tažné prostředky pro zemědělské nářadí, ale musí zabezpečit i rozvod energie jak mechanické z vývodového hřídele (PTO), tak z hydraulického systému traktoru. Část hydraulické energie je spotřebovávána ve vnitřním a část ve vnějším hydraulickém obvodu traktoru. V některých případech musí být oba systémy velmi pečlivě zkombinovány, např. při zahlubování, vyhlubování, ale i při samotné práci zejména s velkými návěsnými pluhy, kdy je vhodné, aby se pluh při nastavené regulaci přizvedával současně v TBZ a zároveň na zadním opěrném kole pluhu. Tento způsob využívá např. firma Massey Ferguson pod názvem Dual Control [Stehno, 6/2005].

Tažné prostředky středních a vyšších výkonových tříd jsou vybavovány, v maximálním měřítku, regulačními axiálními čerpadly s elektro - hydraulickým řízením systému. U nižších výkonových tříd můžeme ještě vidět čerpadla s konstantním průtokem a mechanicky ovládanými rozvaděči, tyto stroje jsou nižších výkonů a pracují zejména v živočišné výrobě, kde případné ztráty v hydraulických systémech nejsou ekonomicky tak rozhodující jako ztráty u velkých polních strojů.

Obr. 11 Hydraulické ovládání TBZ [Hesse, 1999]



Při překonávání různorodých půdních podmínek docházelo u traktorů s pluhem k prokluzu kol a proto byla položena základní idea firmou Ferguson roku 1950, kdy se zavedla polohová, silová a smíšená regulace. [Bauer a kol., 2006] Na obr. 11 je znázorněno schéma regulace soudobého traktoru agregovaného s pluhem. Výšková poloha TBZ je snímána snímačem polohy, tahová síla snímačem síly. Přes ovládací panel se navolí druh regulace a další parametry. Řídící jednotka signály ze snímačů i ovládacího panelu zpracovává a přes hydraulický rozvaděč reguluje pracovní hloubku.

3.2 Jednotlivé prvky obvodu používané v dnešní době i v minulosti

3.2.1 Radiální pístová čerpadla

Radiální pístová čerpadla se v dnešní době u traktorů nepoužívají, ale dříve, kdy vývoj TBZ byl v počátku, to byl jeden z nejpoužívanějších zdrojů tlakové energie. Zetor tato čerpadla používal až do počátku 60. let u strojů Zetor 50 Super, z důvodu jejich spolehlivosti a bezproblémovému chodu i v náročných polních podmínkách. U nové řady traktorů byla tato čerpadla nahrazena zubovými, z důvodu nových přípojných strojů, které s postupem času vyžadovali náročnější zásobování mechanismů tlakovým olejem.

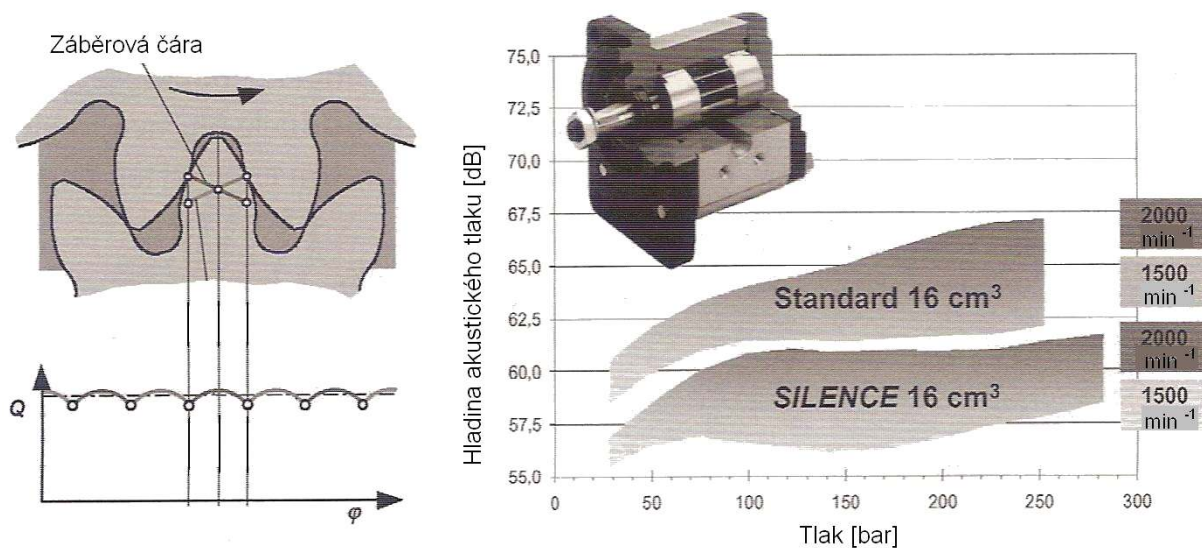
Uspořádání pístů čerpadla bylo v řadě. Pohon obstarával výstředníkový hřídel, nevýhodou byla složitější konstrukce a nutnost menších otáček hřídele z důvodu dokonalého plnění válců. Pracovní tlak se pohyboval max. do 12 MPa. [Kolektiv, 1964]

3.2.2 Zubová čerpadla

Tato čerpadla byla do nedávné doby nejpoužívanějšími zdroji tlakového oleje pro hydraulické systémy traktorů. Zprvu se provozní tlaky čerpadel pohybovali do 12 MPa, dnes je možno vidět čerpadla s 20 MPa i více. V roce 1998 bylo vyvinuto čerpadlo s minimální boční vůlí v ozubení firmou Bosch Rexroth (obr. 12), to má za následek snížení pulzací v obvodu a tím plynulejší chod. Také bylo docíleno zlepšení objemové účinnosti. [Maier, 2003], [Kolektiv, 1988]

Obr. 12 Zubové čerpadlo se sníženou pulzací, tzv. SILENCE [Maier, 2003]

Q – průtok, φ – úhel natočení ozubeného kola čerpadla



Na obr. 12 vlevo je znázorněn řez SILENCE čerpadlem, kde je vidět kontakt pěti zubů na obou ozubených kolech, tím došlo ke snížení pulzací, což je vyobrazeno dole. Vpravo na obr. 12 je zobrazena závislost tlaku na hladině akustického tlaku u standardního a tzv. SILENCE čerpadla při otáčkách hřídele 1500 a 2000 min⁻¹. Z průběhů lze pozorovat skutečnost, že hladina akustického tlaku (tuto hodnotu si lze

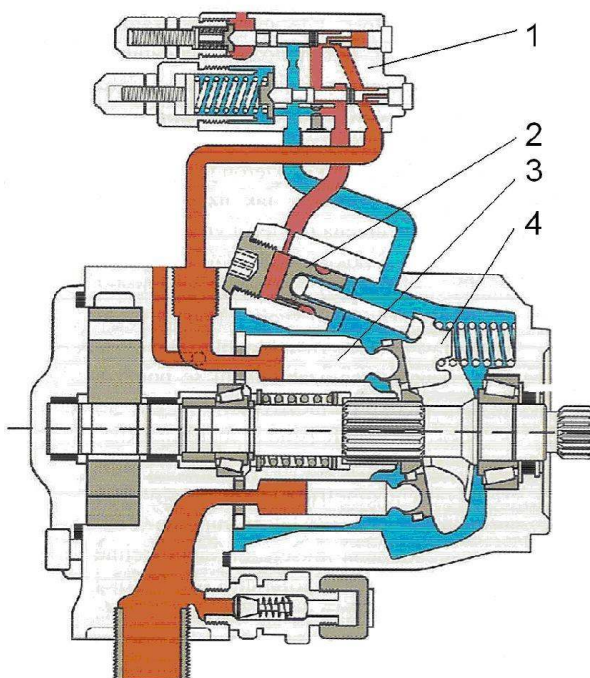
představit zjednodušeně jako tlakové rázy v hydraulickém systému) u SILENCE je mnohem nižší, čímž došlo ke zvýšení účinnosti a menšímu dynamickému namáhání všech komponentů hydraulického obvodu. [Maier, 2003]

3.2.3 Regulační čerpadla

S potřebou zvyšujícího se výkonu hydraulických systémů, se začala vyvíjet čerpadla s regulací průtoku z důvodu snižování energetické náročnosti. Nejvhodnějším konstrukčním řešením pro regulaci jsou čerpadla axiální s nakloněným blokem nebo s nakloněnou deskou (obr. 13). Vývoj těchto zdrojů tlakového oleje zaznamenal rozmach již v 50-letech 20. století. Dnešní čerpadla pro ovládání TBZ oproti těm prvním jsou mnohem menší, pracují s přibližně dvojnásobnými tlaky do 35 MPa a přenášejí tím pádem vyšší výkony při stejném průtoku. Nelze zanedbat hmotnost čerpadla připadající na jednotku výkonu, která se pohybuje v dnešní době okolo hodnoty $0,35 \text{ kg.kW}^{-1}$. Do skříně čerpadla jsou integrovány další prvky jako tlakové ventily, přípoje filtrů, různé obtoky atd. a proto je lze použít do stísněných prostor. Tato čerpadla se především používají u traktorů středních a vyšších výkonových tříd. [Maier, 2003]

Obr. 13 Řez regulačním čerpadlem s nakloněnou deskou [Stehno, 9/2005]

1 - LS regulace, 2 - servoventil, 3 - píst čerpadla, 4 - nakloněná deska



3.2.4 Rozvaděče s mechanickým přenosem signálu

Mechanicky ovládané rozvaděče se používají dodnes u některých traktorů nižších výkonových tříd, pro přídatná zařízení – ovládání příkopových mulčovačů, závodních pluhů atd. V roce 1953 již vyvinula firma Bosch stavebnicovou konstrukci rozvaděčů, kdy se různé typy sekcí rozvaděčů k sobě připojili podle podmínek a požadavků pro daný traktor nebo stroj. Tím byla zaručena unifikace. Rozvaděče mohou být vybaveny volnými obtoky a tlakovými ventily. Rozvaděče musí zabezpečovat dokonalou těsnost, aby nedocházelo k úniku oleje do prostředí. Nesmí být opomíjena vnitřní těsnost, aby byla zabezpečena stálá poloha např. přímočarého hydromotoru bez ohledu na zatížení tzv. blokováná poloha. Při pozvolném přesunutí rozvaděče by se měl průtok co nejpozvolněji zvyšovat, aby nedocházelo k tlakovým rázům v celém obvodu a nadměrnému zatěžování především čerpadla a tlakového vedení. [Maier, 2003]

3.2.5 Rozvaděče s elektrickým a hydraulickým přenosem signálu

Se zvyšujícími se požadavky na traktor a nároky na komfort obsluhy, minimalizaci času jak při práci, tak při otáčení se na souvratí apod., bylo nutné zkonstruovat takové rozvaděče, které se snadno ovládají a mají ve spojení s elektronikou dobré regulační schopnosti. Ovládání rozvaděčů je zabezpečeno elektromagnety, zpětný pohyb většinou pomocí pružiny. Jsou to prvky proporcionální, tzn. se změnou polohy šoupátka rozvaděče se mění plynule průtok. Díky elektronickým systémům lze jednoduše regulovat napětí na cívkách, čímž lze dosáhnout pozvolných náběhů, regulace průtoků, ale také velmi přesné regulace přípojného nářadí, která se může libovolně kombinovat z jednotlivých regulačních systémů, což je u mechanické regulace prakticky nemožné.

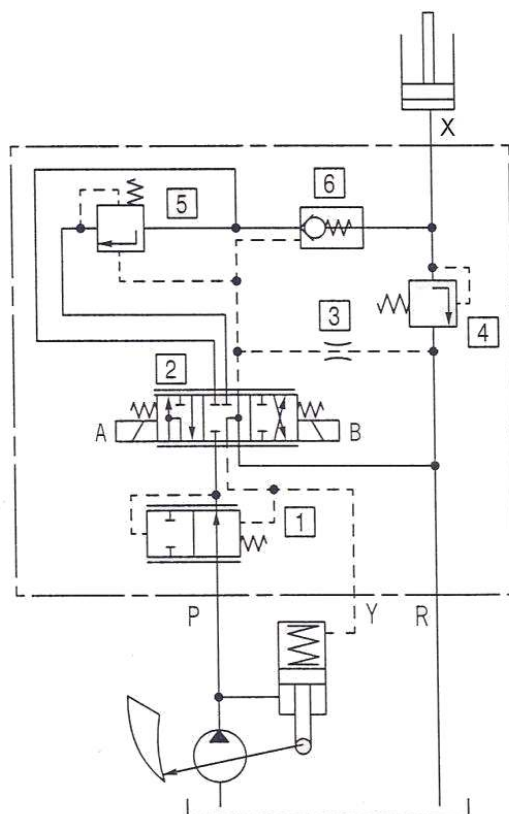
Rozdělení obvodů s EHR: EHR 4,
 EHR 5,
 EHR 23 OC,
 EHR 23 LS. [Noack, 2001]

3.2.5.1 EHR 4

Rozvaděč (obr. 14) je rozdělen do 3 úrovní. První úroveň obsahuje hydraulicky ovládaný rozvaděč 1, který zajišťuje dodávku tlakového oleje do přímočarého hydromotoru větví X nebo při nepotřebě tlakového oleje zajišťuje odpojení vývodu z čerpadla. V druhé úrovni je obsažen samotný rozvaděč 2 ovládaný elektromagnety A a B. Zpětný pohyb do základní polohy je zajištěn pružinami. Toto uspořádání dovoluje díky regulaci napětí na cívkách škrtit průtok, tedy pozvolné zvedání či spouštění nářadí připojeného do TBZ. V třetí úrovni je obsažen ovládaný zpětný ventil 6, který má za úkol udržovat stálou polohu spodních táhel TBZ nebo spouštění ramen. Aby nedošlo k překročení max. tlaku, je v této úrovni zařazen tlakový ventil 4. Pro zajištění dostatečného tlaku na ovládání zpětného ventilu 6 a tlakového ventilu 5 je na výstupu z této větve zařazen škrťací ventil 3. EHR 4 může být zařazen i v obvodu s čerpadlem bez regulace průtoku. [Noack, 2001]

Obr. 14 Schéma EHR 4 s proměnným průtokem čerpadla [Noack, 2001]

- 1 - hydraulicky ovládaný rozvaděč, 2 - elektromagneticky ovládaný rozvaděč, 3 - škrťací ventil,
4 - tlakový pojistný ventil, 5 - ovládaný tlakový ventil, 6 - ovládaný zpětný ventil,
A a B - elektromagnety, P - přívod tlakového oleje od čerpadla, R - odtok oleje zpět do nádrže,
X - vývod k přímočarému hydromotoru, Y - ovládací větev čerpadla



Tab. 2 Parametry EHR 4 [Noack, 2001]

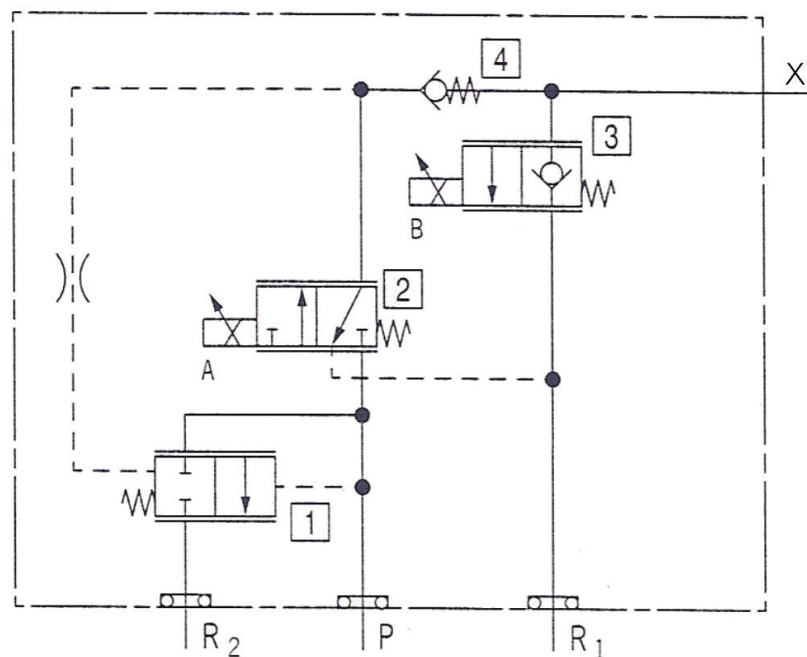
Jmenovitý průtok	80 dm ³ .min ⁻¹
Max. tlak	25 MPa

3.2.5.2 EHR 5

Opět i tento rozvaděč (obr. 15) je rozdělen do tří úrovní. Jako první je rozvaděč tlakové regulace 1 se stejnou funkcí jako u EHR 4. Rozvaděč 2 má funkci zdvihání, je ovládán elektromagnetem A z řídicí jednotky. Třetí rozvaděč 3 je opět ovládán elektromagnetem B a má funkci spouštění. Zpětný ventil 4 zajišťuje stálou polohu TBZ. [Noack, 2001]

Obr. 15 Schéma EHR 5 [Noack, 2001]

1 - hydraulicky ovládaný rozvaděč, 2 - elektromagneticky ovládaný rozvaděč zdvihání,
 3 - elektromagneticky ovládaný rozvaděč spouštění, 4 - zpětný ventil, A a B – elektromagnety,
 P - přívod tlakového oleje od čerpadla, R₁ a R₂ - odtok oleje zpět do nádrže, X - vývod k přímočarému
 hydromotoru



Tab. 3 Parametry EHR 5 [Noack, 2001]

Jmenovitý průtok	Zdvihání	40/60 dm ³ .min ⁻¹
	Spouštění	90 dm ³ .min ⁻¹
Max. tlak	22 MPa	

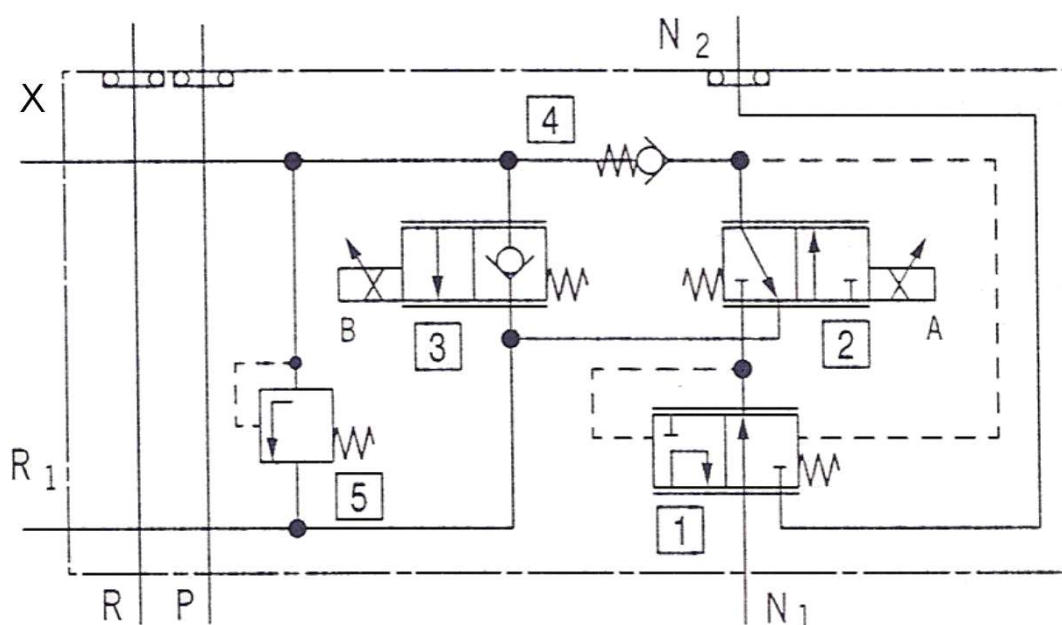
3.2.5.3 EHR 23 OC

EHR 23 OC (obr. 16) je určen především pro traktory střední a vyšší výkonové třídy. Jedná se o stavebnicovou konstrukci, kterou lze sestavit podle požadavků zákazníka. Opět se tento rozvaděč dělí do tří úrovní. Tento systém se používá pro čerpadla s konstantním průtokem. [Noack, 2001]

Přívod tlakového oleje je veden větví N_1 . Rozvaděč 1 zajišťuje tlakovou regulaci stejně jako u předchozích systémů. Zvedání TBZ zajišťuje rozvaděč 2, stálou polohu ramen zpětný ventil 4, spouštění zajišťuje rozvaděč 3. Proti přetížení je do obvodu zařazen tlakový ventil 5.

Obr. 16 Schéma EHR 23 OC [Noack, 2001]

1 - hydraulicky ovládaný rozvaděč (regulace tlaku), 2 - elektromagneticky ovládaný rozvaděč zdvihání, 3 - elektromagneticky ovládaný rozvaděč spouštění, 4 - zpětný ventil, 5 - tlakový ventil, N_1 - přívod tlakového oleje od čerpadla, N_2 - vývod k dalšímu bloku rozvaděčů A a B - elektromagnety, R - odtok oleje zpět do nádrže pro ostatní rozvaděče, R_1 - odtok oleje zpět do nádrže, P - přívod tlakového oleje od čerpadla pro ostatní rozvaděče, X - vývod k přímočarému hydromotoru



Tab. 4 Parametry EHR 23 OC [Noack, 2001]

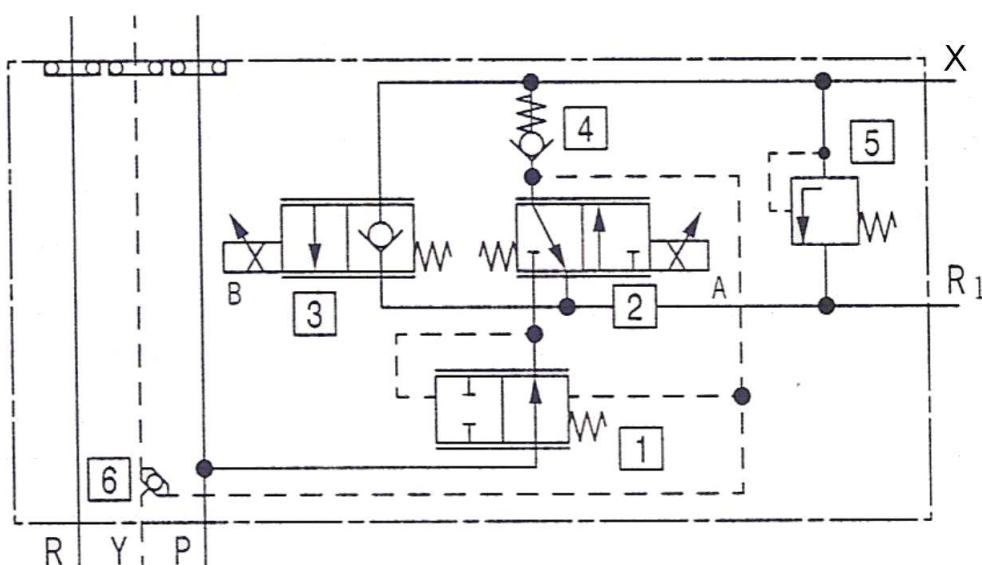
Jmenovitý průtok	80 dm ³ .min ⁻¹
Max. tlak	25 MPa

3.2.5.4 EHR 23 LS

Opět se jedná o stavebnicovou konstrukci s třemi úrovněmi. EHR 23 LS (obr. 17) se v praxi zapojuje s regulačními čerpadly. Ovládání průtoku čerpadla je zajištěno větví Y. První rozvaděč 1 má funkci tlakové regulace, kdy při potřebě tlakového oleje otevře přívod nebo při nepotřebě zavře. Požadovaná potřeba oleje se nastavuje pomocí rozvaděče 2, který je ovládán elektromagnetem A, ten zajišťuje zvedání nářadí. Zpětný ventil 4 zajišťuje stálou polohu TBZ, spouštění je ovládáno opět elektromagneticky B rozvaděčem 3. Aby nedošlo k překročení max. tlaku, je zařazen do obvodu tlakový ventil 5. Klopný ventil 6 upřednostňuje takový obvod z celkové stavebnice, který vyžaduje nejvyšší tlak a tím tento vybraný obvod nastavuje průtok regulačního čerpadla. [Noack, 2001]

Obr. 17 Schéma 23 LS [Noack, 2001]

1 - hydraulicky ovládaný rozvaděč (regulace tlaku), 2 - elektromagneticky ovládaný rozvaděč zdvihání, 3 - elektromagneticky ovládaný rozvaděč spouštění, 4 - zpětný ventil, 5 - tlakový ventil, 6 - klopný ventil, A a B - elektromagnety, P - přívod tlakového oleje od čerpadla, R - odtok oleje zpět do nádrže pro ostatní rozvaděče, R₁ - odtok oleje zpět do nádrže, Y - ovládací větev čerpadla, X - vývod k přímočarému hydromotoru



Tab. 5 Parametry EHR 23 LS [Noack, 2001]

Jmenovitý průtok	80 dm ³ ·min ⁻¹
Max. tlak	25 MPa

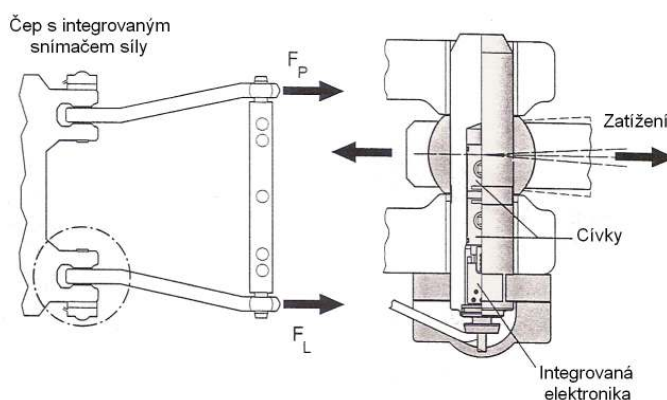
3.2.6 Snímače

Snímač tahové síly

Samotné snímače jsou uloženy v hlavních čepch spodních táhel. Součástí čepů je i elektronické zařízení. Vše je velmi pečlivě utěsněno proti vniku vody. Princip snímání síly je založen na změně magnetického toku při změně namáhání čepu. Primární cívka vytváří v čepu pulzující magnetické pole, které je přes pružně deformující se obal čepu snímáno sekundárním vinutím. Pokud je čep nezatížen, je magnetické pole souměrné. Pokud dojde k zatížení čepu, tzn. na jedné straně k tahu a na druhé k tlaku v obalu čepu, stane se pole nesymetrické. [Noack, 2001]

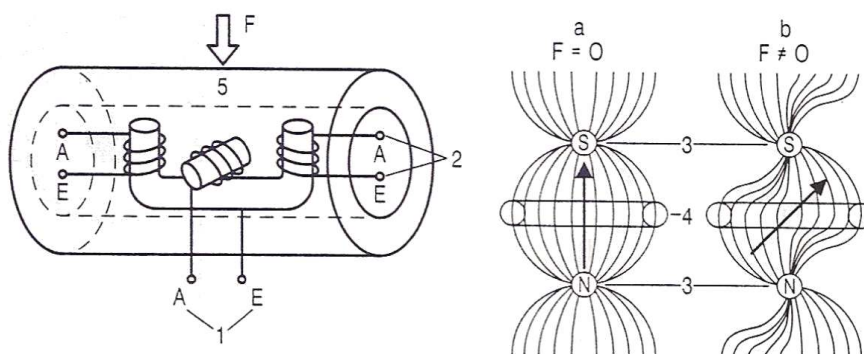
Obr. 18 Uložení na traktoru (vlevo) a řez snímače tahové síly (vpravo) [Noack, 2001]

F_P, F_L - tahové síly ve spodních táhlech TBZ traktoru



Obr. 19 Funkční schéma (vlevo) a deformace siločar při zatížení snímače tahové síly (vpravo) [Noack, 2001]

F – tahová síla, 1 – vývody primární cívky A a E, 2 – vývody sekundární cívky A a E, 3 – póly primární cívky S a N, 4 – sekundární cívka, 5 – obal snímače, a – magnetické pole bez zatížení, b - magnetické pole při zatížení



Na obr. 18 vlevo je znázorněno uložení čepů ve spodních táhlech TBZ a vpravo řez samotným čepem s uloženými cívkami. Na obr. 19 vlevo je naznačeno schéma uložení primární cívký 1 a sekundární cívký 2. Na obr. 19 vpravo mezi póly primární cívký 3 probíhají siločáry, které jsou díky zatížení silou F deformovány. Sekundární cívký je znázorněna pod číslem 4.

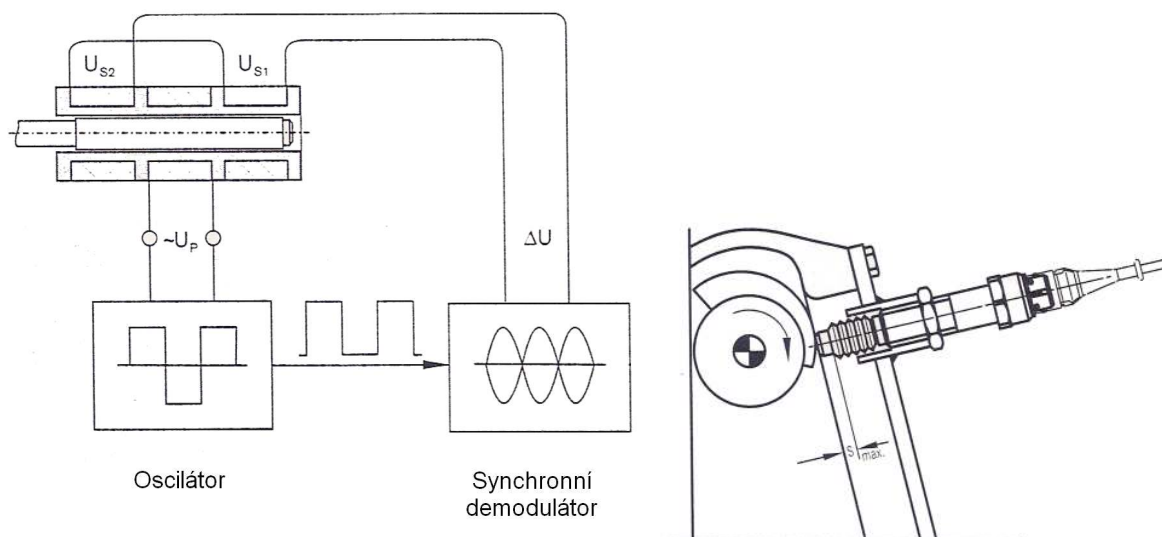
Indukční snímač polohy

Tyto snímače se používají pro zjišťování polohy spodních táhel TBZ. Samotné měření se provádí změnou polohy jádra snímače přes vačku většinou umístěnou na čepu ramena zvedacího ústrojí. Jádro je feritové. Posouváním tohoto jádra do snímače, dochází ke změně magnetického toku. Tato změna je snímána z cívký, dále zpracována v elektronickém obvodu samotného snímače a poté je vedena do řídicí jednotky TBZ traktoru. Zpětný pohyb snímače je zajištěn pomocí pružiny. Elektronický obvod snímače je vybaven, pro větší citlivost, tepelnou kompenzací. [Noack, 2001]

Obr. 20 Elektrické zapojení indukčního snímače polohy (vlevo) a uložení na stroji (vpravo)

[Noack, 2001]

$\approx U_P$ - střídavé napětí generované oscilátorem, U_{S1} a U_{S2} - naindukovaná napětí na sekundárních cívkách, ΔU - rozdílové napětí, s_{max} - maximální vysunutí jádra snímače



Na schématu elektrického zapojení indukčního snímače (obr. 20 vlevo) je zobrazen princip činnosti, kdy se do primární cívký generuje střídavé napětí U_P

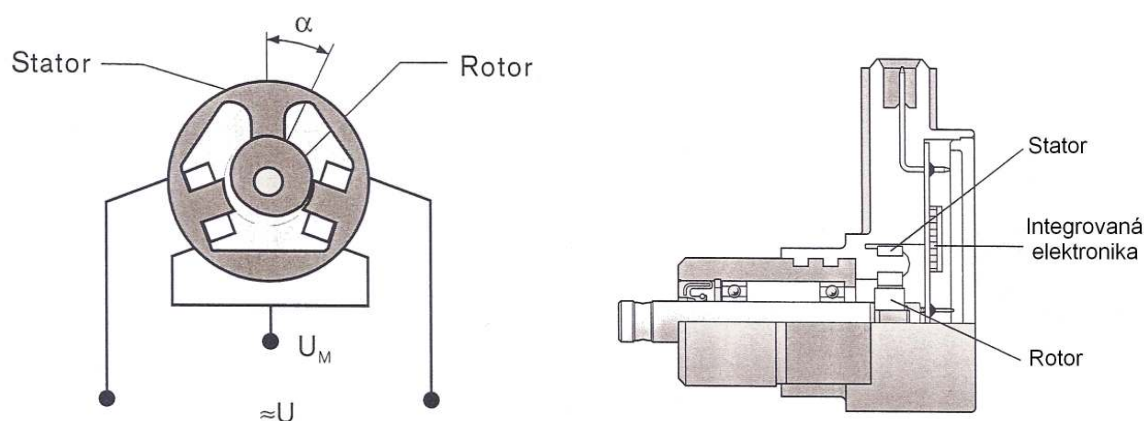
z oscilátoru. Ze sekundárních cívek, na kterých se indukuje napětí U_{S1} a U_{S2} , se snímá rozdílové napětí ΔU a podle tohoto rozdílu se usuzuje na polohu feritového jádra. Na obr. 20 vpravo je vidět princip činnosti snímání natočení hřídele přes vačkový hřídel.

Indukční snímač úhlu

Indukční snímače úhlu se též používají pro stanovení polohy spodních táhel. Stejně jako předchozí pracuje na principu indukčního děliče napětí. Změna magnetického toku je iniciována natočením rotoru snímače z magneticky měkkého materiálu. Aby došlo ke změnám magnetického toku, je rotor vyroben ve tvaru výstředníku. Snímač je rovněž vybaven tepelnou kompenzací. [Noack, 2001]

Obr. 21 Princip činnosti indukčního snímače úhlu (vlevo) a jeho řez (vpravo) [Noack, 2001]

$\approx U$ - generované střídavé napětí, U_M - rozdílové napětí, α - úhel natočení jádra



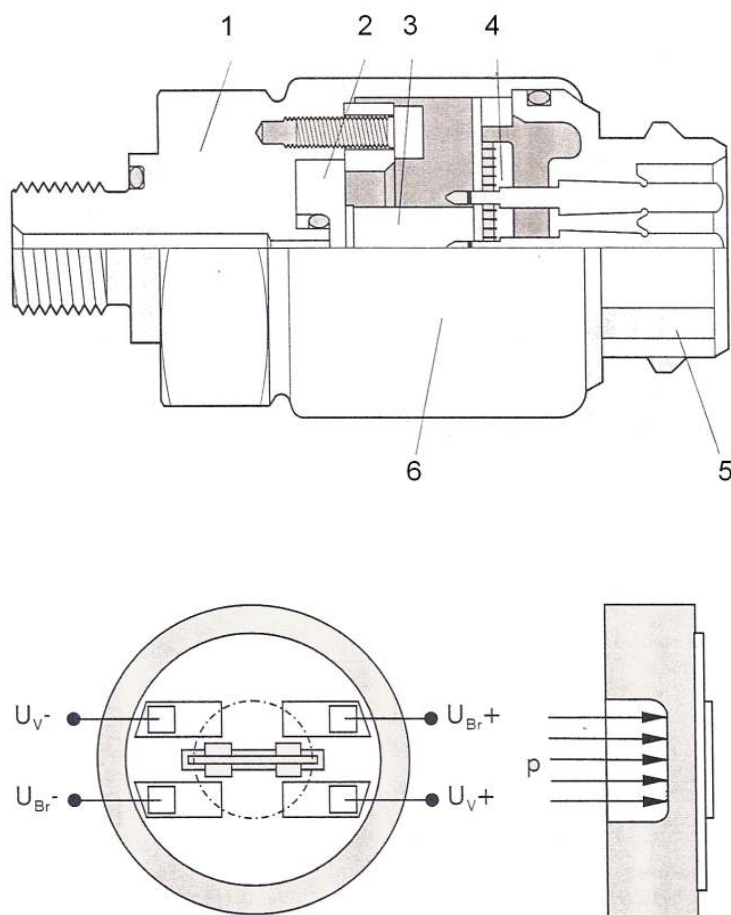
Obr. 21 vlevo popisuje funkci indukčního snímače úhlu. Na rozdíl od předchozího je tento snímač uložen přímo na čepu. Opět zde musí být generováno střídavé napětí $\approx U$, jako výsledek je rozdíl jednotlivých napětí U_M na dvou proti sobě mírně šikmo uložených cívkách. V řezu snímače (obr. 21 vpravo) jsou znázorněny všechny komponenty včetně elektroniky a konektoru, který je uložen v horní části.

Snímač tlaku

Tlak oleje se u EHR snímá pomocí tenzometrických tlakoměrů. Jádro snímače je tvořeno ocelovou membránou, na které jsou umístěny tenzometrická čidla. Při působení tlaku oleje v hydraulickém obvodu, dochází na povrchu membrány k tahovým napětím, která jsou zaznamenávána právě pomocí tenzometrů. Tato konstrukce zaručuje vysokou přesnost a stabilitu v širokém rozsahu tlaků. [Noack, 2001]

Obr. 22 Řez (nahore) a uspořádání tenzometrů snímače tlaku (dole) [Noack, 2001]

- 1 - tlakový obal snímače se šroubením, 2 - ocelová membrána, 3 - pružná hmota, 4 - elektronický obvod, 5 - elektrický konektor, 6 - obal snímače, p - tlak oleje působící na membránu, U_{V-} a U_{V+} napětí na první dvojici tenzometrů, U_{Br-} a U_{Br+} napětí na druhé dvojici tenzometrů



V řezu tlakovým snímačem (obr. 22 nahore) je zobrazen tlakový obal se šroubením 1, ocelová membrána 2, jež se při zvyšujícím se tlaku deformuje, pružná hmota 3 vyplňuje prázdný prostor nad membránou, elektronický obvod 4, elektrický

konektor 5 a obal samotného snímače 6. Na obr. 22 dole je znázorněno umístění tenzometrů a řez ocelovou membránou, na které se snímají na vnějšku tahová napětí.

Měření rychlosti – radar

Radar slouží pro snímání skutečné rychlosti soupravy. Princip spočívá v měření času od vyslání po přijetí signálu od podložky. Snímač je schopen vyslat 130 impulzů na 1 m cesty.

Tab. 6 Parametry radaru [Noack, 2001]

rozsah rychlosti	0,4...70 km.h ⁻¹
přesnost měření	±1 %
výstupní signál	36,6 Hz.(km.h ⁻¹) ⁻¹

Indukční snímač otáček zadního kola

Tímto snímačem se měří otáčky zadních kol traktoru, z tohoto údaje a průměru kola se vypočítává teoretická rychlost. Ve spojení s radarem se měří prokluz, který se zobrazuje na monitoru obsluhy a u prokluzové regulace se pomocí tohoto upravuje poloha TBZ, aby nedošlo k nadměrnému prokluzu a tím pádem ke snížení tahové účinnosti.

Základem snímače je jádro z magneticky měkké oceli, na kterém je navinuta cívka. Jádro je připojeno k permanentnímu magnetu. Na hřídeli zadního kola traktoru je pevně připevněno kolo s ozubením. Protínáním magnetického pole snímače ozubeným kolem dojde k naindukování střídavého napětí na cívce.

[Noack, 2001]

3.3 Regulace třibodového závěsu traktoru

Pro moderní traktory nepostačuje funkce zvedání a spouštění nářadí, ale hydraulický systém třibodového závěsu musí zabezpečovat regulované ovládání připojených strojů. Regulační hydraulický systém velmi významným způsobem ovlivňuje tahové vlastnosti traktoru.

Samotná činnost těchto regulací může být zabezpečena mechanicky, to jsou traktory nižších výkonových tříd (např. Zetomatic) nebo elektro - hydraulicky, což se používá u tahačů středních a vyšších výkonových tříd. Nastavení regulace je velmi důležitou činností řidiče, protože ovlivňuje kvalitu prováděné práce, prokluz, tahovou účinnost a tím ovlivňuje spotřebu pohonných hmot. [Bauer a kol., 2006]

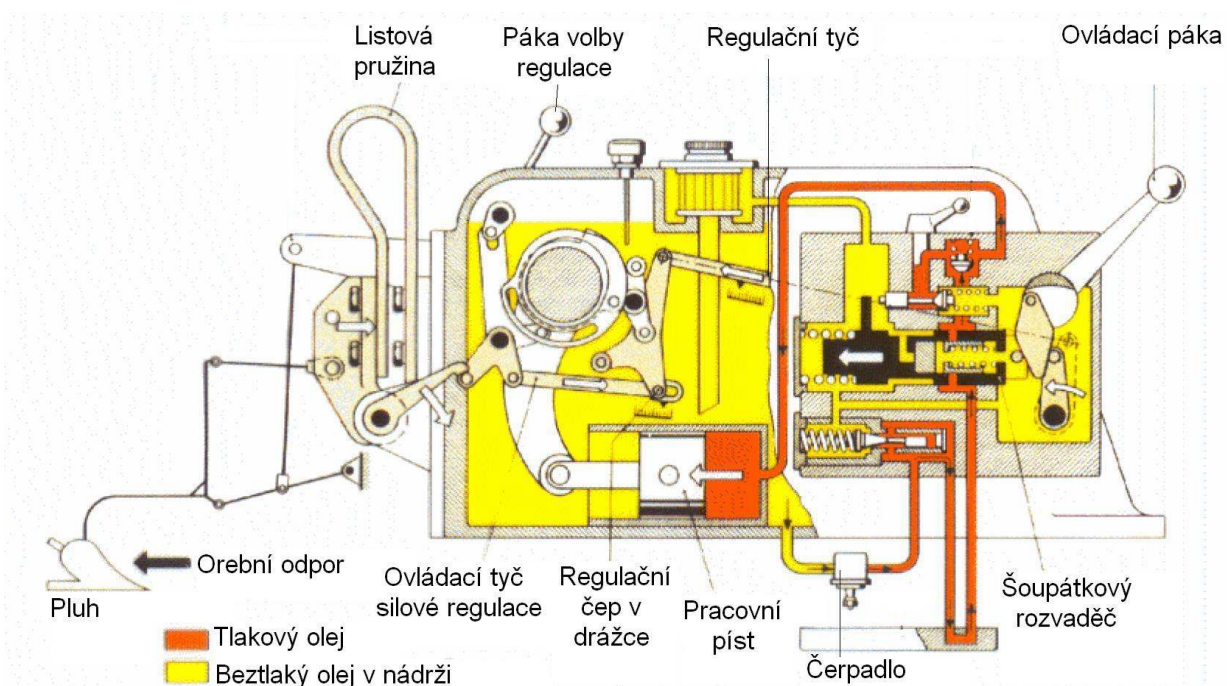
3.3.1 Mechanicko - hydraulická regulace (MHR)

Tento systém je již velmi dlouho známý. Jedná se o regulaci pomocí pákových převodů, které ovládají šoupátkový rozvaděč vnitřního okruhu, jenž zabezpečuje zvedání či spouštění připojeného nářadí. Vstupním signálem pro celý systém je poloha ovládací páky, poloha táhel a poloha pákového mechanismu, který snímá tahovou sílu. V dnešní době lze říci, že k základní výbavě traktorů neodmyslitelně patří regulace:

- polohová,
- silová,
- smíšená.

Tahovou sílu lze měřit na spodních ramenech třibodového závěsu (traktory střední a vyšší výkonové třídy) nebo na horním táhle (traktory nižších výkonových tříd). Při měření tahové síly ve spodních ramenech je zaznamenán tah, naopak je tomu u snímání síly v horním táhle. Tam dochází se zvětšující se tahovou silou k tlaku v horním táhle. Citlivost tohoto systému lze ve většině případů nastavit pomocí přestavění horního táhla výškově do jiné polohy. [Bauer a kol., 2006]

Obr. 23 Regulace s mechanickým přenosem signálu TBZ Bosch [Hesse, 1999]



Na obr. 23 je znázorněn princip činnosti MHR od firmy Bosch pro nižší výkonové třídy traktorů. Je zde znázorněna smíšená regulace. Čerpadlo ve spodní části obrázku nasává olej ze skříně, poté je olej veden přes rozvaděč, tlakový a regulační ventil do válce přímočarého hydromotoru. Pohyb spodních táhel se zabezpečuje ovládací pákou ramen, která přesouvá šoupátkový rozvaděč, polohu ramen též ovlivňuje regulační tyč, která při regulaci reguluje polohu spodních táhel. Volba regulace se nastavuje pákou volby regulace, tím dojde k upřednostnění snímání polohy nebo snímání síly v horním táhle. Poloha se snímá pomocí vačkového mechanismu, tahová síla se měří díky tlakové síle v horním táhle, která natáčí celé uchycení horního táhla přes listovou pružinu směrem k traktoru. Výhodně je zde řešeno celkové potopení všech regulačních komponentů v oleji, tudíž nemůže dojít při případné kondenzaci vody ke korozi jednotlivých součástí, což bylo v minulosti problémem některých traktorových regulačních systémů. [Hesse, 1999]

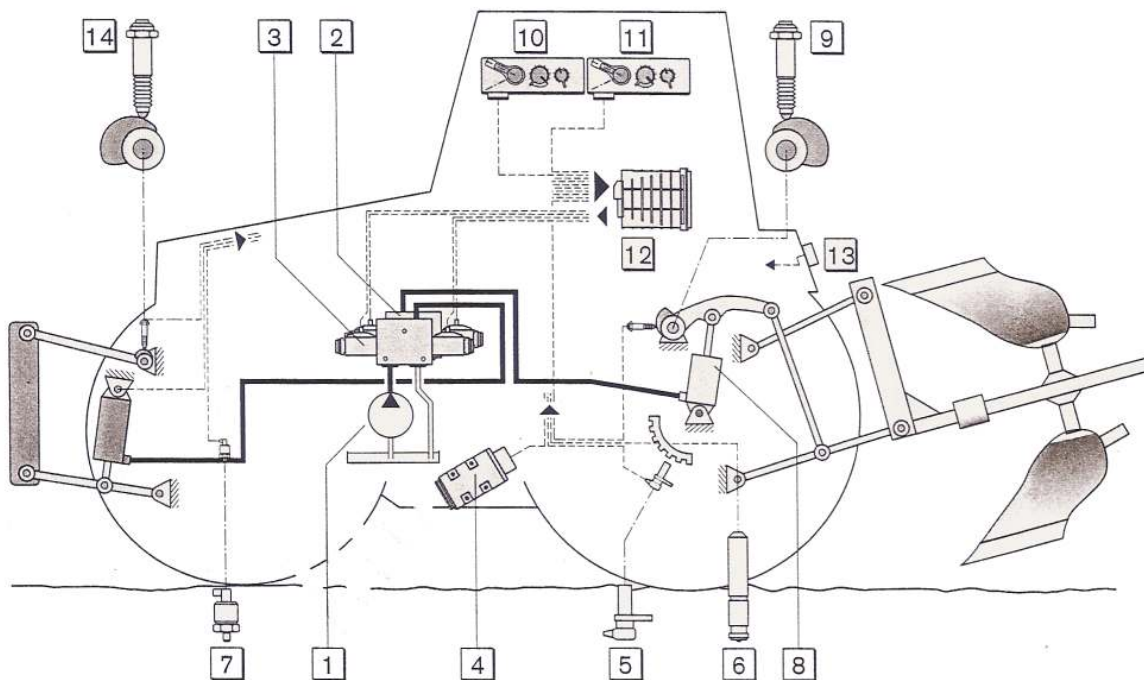
3.3.2 Elektro - hydraulická regulace (EHR)

S první generací elektronického analogového systému přišla firma Bosch již roku 1979 pod označením EHR 2. Tato regulace přinesla velmi důležitý posun v traktorové technice. Od té doby zaznamenal vývoj veliký posun. Dnešní traktory jsou vybavovány systémem EHR - D, který již nepracuje analogově nýbrž digitálně.

Tím se docílilo propojení snímačů, ovladačů a akčních členů pomocí sběrnice CAN. [Noack, 2001] Lze jednoduše nastavovat citlivost jednotlivých čidel, smíšená regulace se může nastavit velmi přesně pomocí potenciometru. Pomocí potenciometrů lze nastavit spodní i horní polohu ramen, tím nedochází k zvedání nářadí na souvrati do maximální polohy, ale do polohy nezbytně nutné, šetří se čas a energetická náročnost. Při dojetí k souvrati stačí jen posunout ovládací páku a nemusí se sledovat výška, do které se nářadí zvedne. To samé platí i při spouštění např. hloubka orby je stále stejná a závisí na potenciometru spodní polohy ramen, tu lze však během jízdy regulovat. Můžeme nastavit rychlost zvedání a spouštění nářadí, což se musí provádět s ohledem na minimální časy strávené na souvrati, ale zároveň s ohledem na to, aby bylo nářadí spuštěno na podložku co nejšetrněji. Tyto systému umožňují dotěžování zadní nápravy traktoru, aniž by došlo ke zhoršení kvality práce, tím se zvyšuje tahová účinnost.

Obr. 24 Schéma elektro - hydraulického ovládání TBZ u traktoru (EHR) [Noack, 2001]

1 - hydraulické čerpadlo, 2 a 3 – elektro - hydraulický rozvaděč, 4 - radar, 5 - snímač otáček, 6 - snímač tahové síly, 7 - snímač tlaku, 8 - přímočarý hydromotor, 9 - snímač polohy, 10 - ovládací panel 1, 11 - ovládací panel 2, 12 – řídicí jednotka, 13 – dálkový ovladač TBZ, 14 - snímač polohy



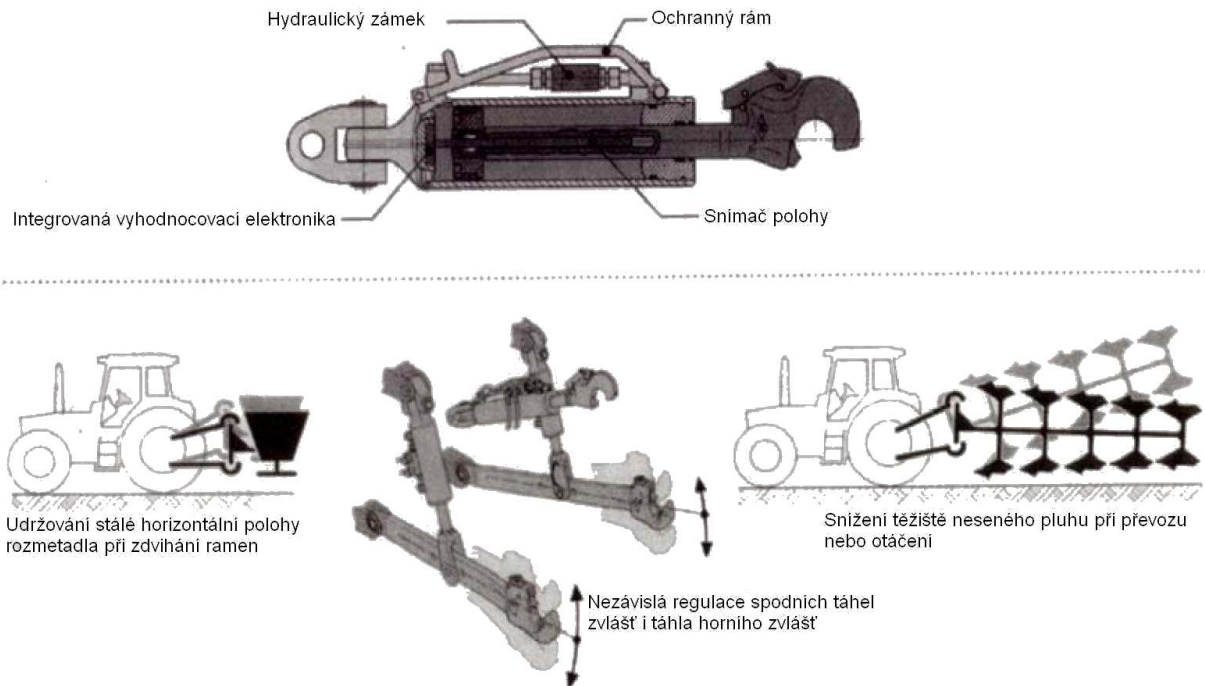
Na obr. 24 je zřetelný princip činnosti ovládní zadního i předního TBZ. Hydraulické čerpadlo 1 dodává tlakový olej do elektro - hydraulického rozvaděče 2 a 3 pro zadní a přední TBZ, který ovládá zvedání a spouštění ramen pomocí přímočarých hydromotorů 8. Vše řídí elektronická řídicí jednotka 12 přes ovládací panely obsluhy 10 a 11. Jednotka též zpracovává signály ze snímačů tahové síly ve spodních ramenech 6, snímače polohy ramen 9 vzadu a 14 vpředu, radaru 4, snímače tlaku 7 a snímače otáček zadního kola 5. Podle přednastaveného programu, který si obsluha navolí (regulace polohová, silová, atd.) se údaje ze senzorů zpracují a výsledkem je změna polohy ramen TBZ. Pro připojování nářadí za traktor je možnost polohového ovládní ramen vzadu na blatníku zadního kola traktoru pomocí ovladače 13. [Noack, 2001]

Traktor lze při agregaci s nářadím jednoduše dotížit udržováním tlaku, který ještě zaručuje zahloubení nářadí, v přímočarých hydromotorech spodních táhel, což je tlaková regulace. To lze použít u strojů s opěrnými koly např. předset'ové kombinátory. Nebo lze použít přímočarého hydromotoru (regulačního horního táhla) (obr. 25 nahoře) místo pevného horního táhla třibodového závěsu. V přímočarém hydromotoru je opět udržován nastavený tlak a část hmotnosti např. neseného pluhu se přenáší na zadní nápravu traktoru. Toto horní táhlo lze velmi dobře využít pro snadnou a pohodlnou regulaci jakéhokoli do TBZ připojeného nářadí. Zejména je to výhodné při nakládce průmyslových hnojiv do rozmetadla, udržování horizontální polohy rozmetadla v různých polohách spodních táhel (obr. 25 vlevo), pro práci s paletizačními vidlemi, lopatou, při otáčení těžkých nesených oboustranných pluhů, kdy si lze jednoduše snížit těžiště a eliminovat možné převrácení traktoru (obr. 25 vpravo) nebo při zahlubování či vyhlubování nářadí, apod.

Regulační horní táhlo lze výhodně použít i u MHR. Ovládní je nejčastěji řešeno pomocí mechanických rozvaděčů a ovládaných tlakových ventilů. Nastavení tlaku provádí obsluha ručně.

[Hesse, 1999]

Obr. 25 Řez regulačním horním táhlem (nahore), jeho využití (vlevo a vpravo) a nezávislá regulace každého táhla zvlášť (uprostřed dole) [Hesse, 1999]



EHR umožňuje nastavit tyto regulační systémy:

- polohová regulace,
- silová regulace,
- smíšená regulace,
- prokluzová regulace,
- tlaková regulace,
- volná poloha. [Bauer a kol., 2006], [Maier, 2003]

Dalšími možnostmi využití EHR jsou:

- tlumení kmitání připojeného nářadí,
- možnost vážení,
- příčné vyrovnávání neseného nářadí. [Hesse, 1999], [Bauer a kol., 2006]

Polohová regulace

Tato poloha se nastaví na potenciometru např. na polohu 100% polohová regulace nebo na symbol k tomu určený. V tomto nastavení pracuje jen snímač polohy spodních ramen. Před samotnou prací se seřídí pracovní výška nářadí a ta je pořád udržována bez ohledu na tahovou sílu či prokluz. Pokud dojde k poklesu

nářadí např. netěsnostmi v hydraulickém systému, snímač polohy ramen toto zaznamená a dá pokyn pro rozvaděč, aby se nářadí přizvedlo. Tato regulace se používá u rozmetadel průmyslových hnojiv, u žacích lišt pro pícniny či drtičů slámy apod. [Noack, 2001]

Silová regulace

Na potenciometru se nastaví 100% silová regulace. Při silové regulaci pracuje pouze snímač tahové síly, tedy jedná se o regulaci na konstantní tahovou sílu. Tato regulace byla vyvinuta z důvodu, že půda v různých částech pole má různé fyzikální vlastnosti a proto se musí regulovat pracovní hloubka nářadí, aby traktor dosahoval konstantní tahové síly a tím dobré tahové účinnosti. Např. této regulace lze využít při práci s pluhem nebo kypřičem apod. Jestliže je struktura půdy homogenní tak k regulaci nedochází. Pokud se však objeví hutnější či jílovitá část pole, snímač zaznamená vyšší tahovou sílu, nářadí přizvedne a začne zpracovávat půdu do menší hloubky a tahová síla se sníží. Druhým efektem při tomto nadzvednutí je skutečnost, že dojde ke krátkodobému dotížení zadní nápravy traktoru, čímž se sníží i prokluz. Problémy mohou nastat při zpracování velmi různorodé nebo kamenité půdy, kdy může dojít k velmi znatelnému vyhloubení, což není vhodné zejména z důvodu agrotechnických požadavků. [Bauer a kol., 2006]

Smíšená regulace

Protože při čistě silové regulaci může dojít k velkým výkyvům pracovní hloubky nářadí, byla vyvinuta regulace smíšená. U moderních traktorů můžeme libovolně nastavit vliv silové a polohové regulace. Např. při orbě se nastaví 30% silová a 70% polohová s ohledem na agrotechnické požadavky a především na dobré tahové vlastnosti traktoru. Princip činnosti je kombinací obou předchozích regulací. Např. při práci se hloubkový kypřič dostane do jílovité půdy, tahová síla se zvýší a tím dojde k přizvednutí TBZ. Aby přizvednutí nebylo nad agrotechnické požadavky, tak regulace polohová nedovolí tak markantní vyhloubení. Vždy se musí volit kompromis. Smíšená regulace je s polohovou v praxi nejpoužívanější. [Bauer a kol., 2006]

Prokluzová regulace

Prokluzová regulace zabezpečuje dobrou tahovou účinnost, protože při nadměrném prokluzu klesá pojezdová rychlost. Při agregaci traktoru např. s kypřičem může dojít vlivem zvýšené místní vlhkosti půdy k zvýšenému prokluzu aniž by se změnila tahová síla, což nemůže vyřešit silová či smíšená regulace, z tohoto důvodu byl tento systém vyvinut. Jako mezní hodnoty prokluzu lze považovat 25 až 30%. Díky této regulaci dojde ke snížení spotřeby pohonných hmot a potřebného času na obdělání jednotky plochy. Půda je zpracována s maximální péčí, řidič nemusí při prokluzu kol regulovat hloubku ručně a nedochází ve velké míře k bočnímu ujíždění soupravy v kopcovitém terénu při práci po vrstevnici. [Noack, 2001]

Základním vstupním signálem je skutečná rychlost soupravy, která se měří pomocí radarového snímače. K vyhodnocení prokluzu je třeba snímat otáčky zadního hnacího kola, z kterých lze vypočítat teoretickou rychlost. V praxi si obsluha nastaví pomocí potenciometru mezní hodnotu prokluzu. V té bude kypřič pracovat do požadované hloubky. Pokud dojde ke zvýšení hodnoty, kypřič se přizvedne na takovou hloubku zpracování, aby bylo zajištěno nepřekročení mezního prokluzu. Při přizvednutí dojde k dotížení zadní nápravy traktoru, což má pozitivní vliv na snížení prokluzu. Tuto regulaci je možno výhodně kombinovat s ostatními, zejména polohovou, smíšenou atd. [Bauer a kol., 2006], [Noack, 2001]

Tlaková regulace

Tuto regulaci lze použít u nářadí, které má opěrná kola, to mohou být hloubkové kypřiče, vířivé kypřiče, rotavátory, staré dvojradličné pluh s opěrným kolem uprostřed apod. Při činnosti regulace se udržuje v přímočarých hydromotorech třibodového závěsu nastavený tlak, který zaručuje dotížení traktoru, ale i dostatečné zahloubení nářadí. Proto se musí tlak nastavit pro každé nářadí s různou hmotností a těžištěm zvlášť. Pokud traktor, bez tlakové regulace, potáhne pluh vybavený opěrným kolem uprostřed rámu, musí mít nastavenou volnou polohu třibodového závěsu. Tímto na zadní nápravu působí jen část hmotnosti traktoru na tuto nápravu připadající. Pokud se zavede tlaková regulace, dojde k přenosu části hmotnosti pluhu i síly, která pluh zahlubuje, na zadní nápravu traktoru. Pak dojde k dotížení a zvýšení

tahového výkonu traktoru. Touto regulací v 50. letech 20. století byl již ve standardu vybavován Zetor 50 Super pod názvem „protikluzné zařízení“.

[Noack, 2001]

Volná poloha

Volná poloha se používá pro stroje s opěrným kolem, především secí stroje, plečky apod. V tomto případě je zaručeno dokonalé kopírování terénu, kdy jsou spodní ramena v celém svém zdvihu ve volné neboli plovoucí poloze.

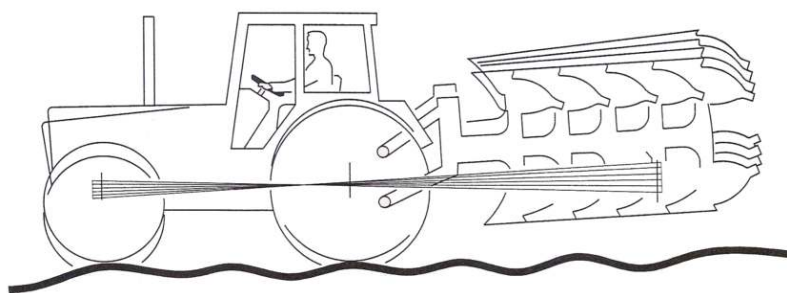
[Bauer a kol., 2006]

Tlumení kmitání připojeného nářadí

Při transportu, překonávání nerovností a při vyšších rychlostech dochází k rozkmitání celé soupravy, což vede k destabilizaci traktoru a tím ke zhoršení říditelnosti. To je způsobeno odlehčováním kol přední nápravy. Cílem regulace je udržení připojeného nářadí v požadované výšce a přitom tlumit dynamické rázy na přední nápravě. Při aktivaci této regulace je nářadí při transportu zdviženo před horní polohu. Za jízdy kolem této polohy hydraulický mechanismus regulovaně přizvedává či spouští nesený stroj. Snímání kmitů, díky vzniku dynamických sil, je zabezpečeno pomocí snímačů síly ve spodních táhlech TBZ. Signál je opět veden do řídicí jednotky, která upravuje polohu TBZ traktoru. Na obr. 26 je znázorněno rozkmitání soupravy okolo těžiště před zadní nápravou. [Noack, 2001]

Za výhody tlumení kmitání lze považovat zvýšenou bezpečnost jízdy, vyšší pojezdovou rychlost, vyšší pohodlí řidiče, nižší dynamické namáhání celé soupravy a stabilizaci výšky připojeného nářadí nad zemí. [Bauer a kol., 2006]

Obr. 26 Schéma rozkmitání traktorové soupravy [Noack, 2001]



Měření hmotnosti nákladu

Při aplikaci průmyslových hnojiv pomocí neseného rozmetadla připojeného do TBZ musí být zabezpečeny agrotechnické požadavky a proto je nutné zabezpečit přesné navážení hnojiv. Toto lze jednoduše provést pomocí TBZ, bez použití jakýchkoli tenzometrických snímačů, kterými mohou být rozmetadla vybavena. Pro zjištění hmotnosti nákladu je zapotřebí snímat tlak ve vnitřním hydraulickém okruhu traktoru a sklon soupravy. Před samotným měřením je třeba systém ocejchovat z důvodu různých konstrukcí a hmotností rozmetadel. [Noack, 2001]

Příčné vyrovnávání neseného nářadí

Tento systém je zatím ve vývoji, v praxi není ještě zaveden. Myšlenka spočívá v tom, že výšková poloha každého ze spodních táhel bude regulována samostatně. Při klasických aplikacích jako je orba, podmítání apod. by byl systém vyřazen a ovládání TBZ by fungovalo v klasickém pojetí. Ale při aplikaci postřiků pomocí nesených postřikovačů by se tímto způsobem dal velmi jednoduše přizpůsobovat náklon ramen postřikovače v daném terénu. Tím by došlo k zjednodušení konstrukce postřikovačů, které by byly vybaveny pouze výkyvným mechanismem jako je tomu u dnešních levných strojů. Další možností použití je aplikace průmyslových hnojiv zejména pomocí pneumatických rozmetadel, které jsou také vybaveny aplikačními rameny. [Hesse, 1999]

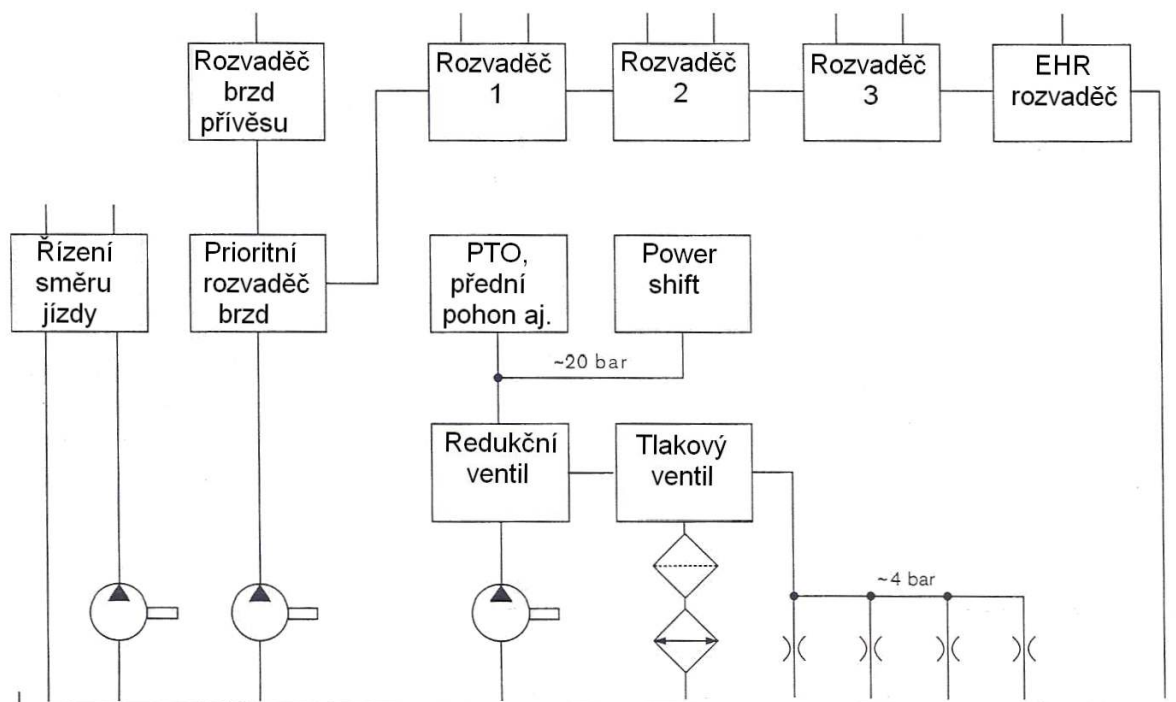
3.4 Load Sensing (LS)

Protože klasické systémy měli vysokou energetickou náročnost, hledali se cesty jak tuto negativní vlastnost minimalizovat. Pokud není traktor vybaven LS systémem, dochází k nadměrnému zatěžování celého systému vysokým tlakem, např. pokud je přímočarý hydromotor vysunut na maximální hodnotu, je v systému tlak určen nastavením tlakového ventilu i když by postačoval tlak mnohem nižší. Tím dochází k nadměrným ztrátám, to má za následek nadměrné ohřívání oleje. U LS systému, v tomto případě, dojde při maximálním tlaku k automatickému snížení průtoku na minimum. [Bauer a kol., 2006]

Rozdělení: OC LS systém - s konstantním průtokem čerpadla,
CC LS systém - s proměnným průtokem čerpadla. [Noack, 2001]

Oba systémy pracují na podobném principu. OC LS systém pracuje s konstantním průtokem čerpadla. Regulaci zabezpečuje rozvaděč, který přepouští přebytečný olej volnou větví zpět do nádrže. U CC LS systému dochází k regulaci naklápěním desky čerpadla a tím čerpadlo pracuje s průtokem, jenž je v požadovaný okamžik právě nutný.

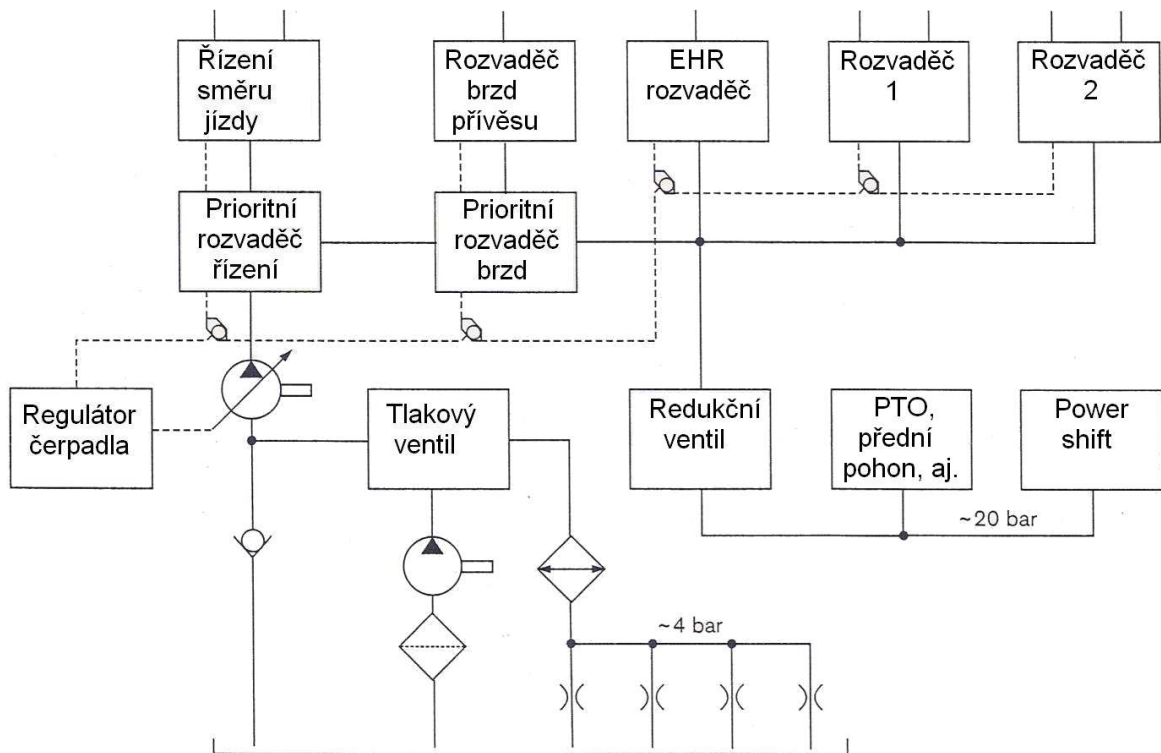
Obr. 27 Schéma OC LS systému [Noack, 2001]



Na obr. 27 je znázorněno schéma OC LS, kde jsou umístěna tři hydraulická čerpadla. První čerpadlo slouží pro hydrostatické řízení směru jízdy, druhé pro vnitřní, vnější hydraulický okruh a případně brzdy a třetí čerpadlo zásobuje tlakovým olejem spojku vývodového hřídele, uzávěrek diferenciálu, spojku pohonu přední nápravy a v neposlední řadě lamelové spojky řazení pod zatížením. Je zde i vývod pro mazání funkčních částí traktoru.

[Noack, 2001]

Obr. 28 Schéma CC LS systému [Noack, 2001]



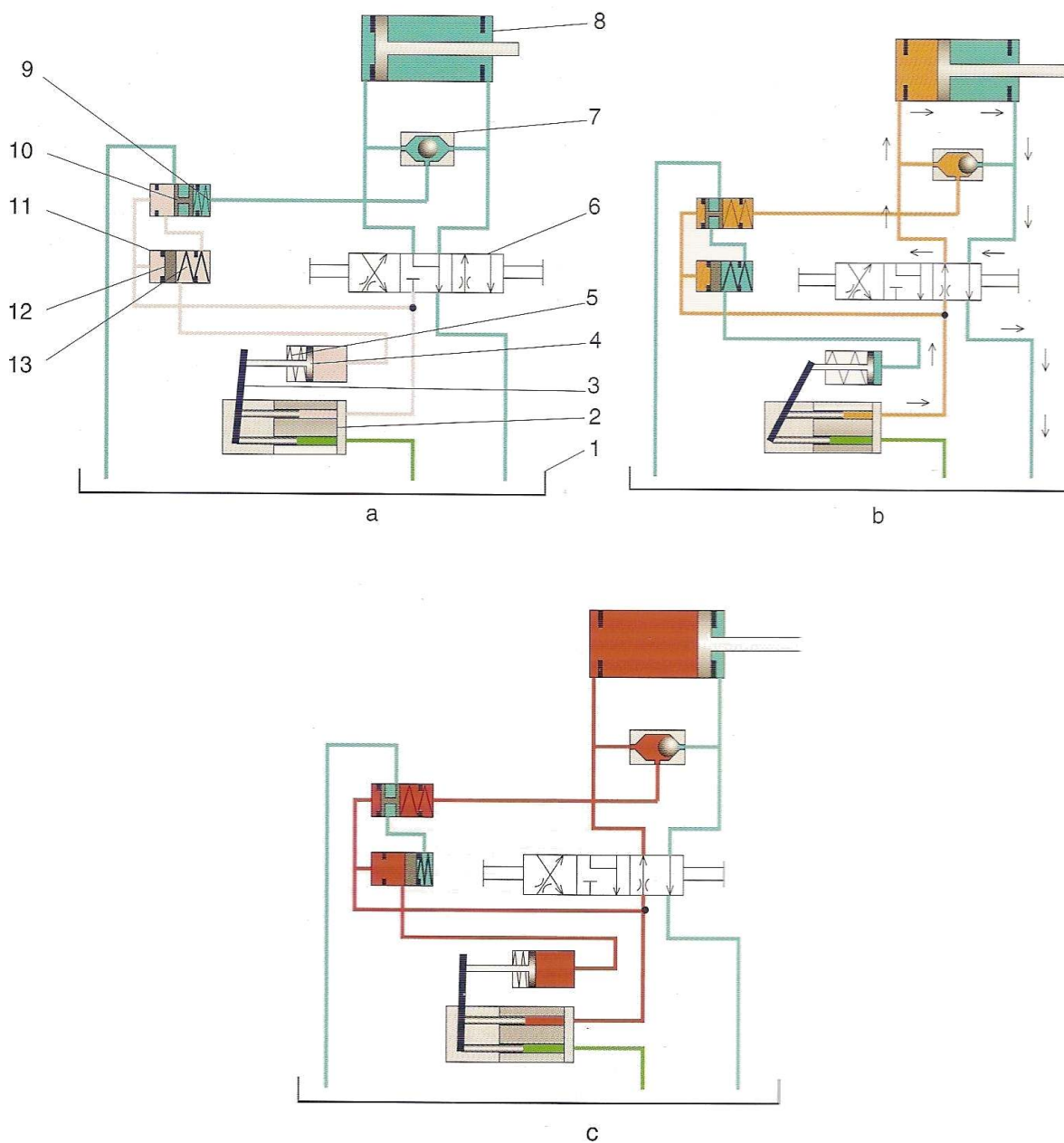
U systému CC LS (obr. 28) jsou všechny obvody zásobovány tlakovým olejem pomocí jednoho čerpadla s proměnným průtokem. Regulace čerpadla je odvozena od aktuální potřeby systému, díky vestavěným klopným ventilům.

Na obr. 29 je zobrazena činnost CC LS systému. Na pozici (a) je rozvaděč v neutrální poloze. Tlak oleje přetlačí píst 10 do pravé krajní polohy, píst 12 zůstává stále vlevo, protože na obou stranách působí stejný tlak. Průtok je minimální a slouží pro mazání některých funkčních částí traktoru. Na pozici (b) dochází ke zdvihání nářadí. Zde se píst 10 dostává přes pružinu doleva, protože tlaky na obou stranách jsou shodné. Píst 12 zůstává ve stejné poloze a olej z ovládací větve může odtékat a naklonění desky čerpadla je maximální. Na obr. 29 (c) se píst přímočarého hydromotoru posunul do krajní polohy. Píst 12 se díky vysokému tlaku v levé komoře posunul doprava a vpustil tlakový olej do ovládací větve čerpadla, tím se regulační deska naklonila do polohy, kdy čerpadlo dodává nulovou dávku oleje.

[Bauer a kol., 2006]

Obr. 29 Funkční schéma činnosti CC LS systému [Bauer a kol., 2006]

1 - nádrž, 2 - čerpadlo s nakloněnou deskou, 3 - nekloněná deska, 4 - píst, 5 - pružina, 6 - šoupátko, 7 - klopný ventil, 8 - přímočarý hydromotor, 9 - pružina, 10 - šoupátko, 11 - hydraulická váha, 12 - píst, 13 - pružina, a – rozvaděč ve výchozí (neutrální) poloze, b – zvedání nářadí připojeného do TBZ, c - píst přímočarého hydromotoru v krajní poloze



4. VÝBĚR VHODNÝCH ČIDEL

Pro měření na samotném traktoru musí být zohledněn prostor, do kterého by se měl snímač umístit, přesnost měřidla a nutnost dalšího vybavení. Při měření na pevném stanovišti není třeba mobilního měřícího zařízení, ale při zkoušce v terénu musí být snímače a vyhodnocovací jednotka umístěna pevně na vhodném místě a je nutno vzít v úvahu napájení elektrickým proudem těchto komponentů, nejvýhodněji z elektrického rozvodu traktoru.

4.1 Výběr snímače tlaku

Pro svoji přesnost a jednoduchou možnost připojení k výpočetní technice jsou, pro tento účel, nejvhodnější tlakoměry tenzometrické nebo piezoelektrické. Jejich nespornou předností je i malý zástavbový prostor, tudíž je lze použít do špatně přístupných míst. Připojení čidla k obvodu traktoru lze provést pomocí, již z výroby připravených míst, která jsou v běžném provozu zaslepena. Jestliže je třeba snímač připojit na místo, kde tato možnost není, může se použít redukce tvaru T, jenž se vloží mezi šroubení a potrubí či hadici atd. Rozsah tlaku snímače by měl být minimálně 0 až 25 MPa. Pokud bude výhodnější využít CAN sběrnice traktoru, využijí se snímače v hydraulickém systému již integrované.

4.2 Výběr snímače průtoku

U snímačů průtoků je více možností. Lze použít rychlostní turbínkový průtokoměr, ultrazvukový či indukční. Opět zde hraje velkou úlohu zástavbový prostor, proto byl velmi přesný snímač v podobě nezatíženého hydromotoru vyloučen. Pro měření průtoku se však bude muset, v místě měření, hydraulický obvod rozpojit a pomocí vhodných redukcí, zakomponovat vybrané čidlo. Rozsah průtoku čidla je navržen na hodnotu přibližně od 0 do 200 dm³.min⁻¹. Tento rozsah by měl vyhovovat i vyšší výkonové třídě traktorů, i když tyto stroje mohou být vybaveny výkonnějšími čerpadly, ale přímočaré hydromotory dokáží přijmout jen část průtoku, zbytek připadá na vnější hydraulické okruhy.

4.3 Zaznamenávací zařízení

Snímač tlaku i průtoku se musí připojit k vyhodnocovací jednotce, která bude zaznamenávat jednotlivé hodnoty po určitých velmi krátkých časových intervalech. Hodnoty se budou zaznamenávat v celém rozsahu zvedání či spouštění TBZ nebo při požadované regulaci.

K přenosu dat lze využít sběrnici CAN, avšak v případě, že se budou při měření užívat pouze snímače na traktoru integrované. Data z vybraných snímačů se zaznamenávají do paměti přenosného počítače přes diagnostickou zásuvku traktoru.

5. METODIKA MĚŘENÍ

Měření se bude provádět při zdvihání a spouštění TBZ s připojeným strojem o známé hmotnosti a poté bez zatížení. Vnější hydraulický okruh, hydraulický obvod natáčení předních kol a ostatní hydraulické systémy budou bez jakéhokoli odběru tlakového oleje.

5.1 Využití externích snímačů

Z důvodu přístupnosti by bylo vhodné snímače umístit přímo u vstupu tlakového oleje do přímočarého hydromotoru TBZ. Hydromotory jsou ve většině případů dva a jsou pevně mechanicky spojeny, tudíž by stačilo snímat hodnoty jen z jednoho. V případě, že by bylo umístění průtokoměru nemožné nebo velmi komplikované, lze průtok dopočítat díky změně vysunutí přímočarého hydromotoru v čase. Změna vysunutí by se musela však zaznamenávat pomocí např. odporového snímače upevněného na obou částech přímočarého hydromotoru. K tomuto by bylo nutností znát plochu pístu hydromotoru. Toto platí především pro traktory středních a vyšších výkonových tříd.

U některých traktorů, zejména nižší výkonové třídy, by byl s tímto problémem z důvodu umístění přímočarého hydromotoru přímo ve skříni převodovky. Pokud by traktor nebyl vybaven měřícími body, muselo by se hydraulické vedení vyvést ven ze skříně, kde by se umístila čidla. Jestliže by byl traktor vybaven jedním nebo dvěma pomocnými přímočarými hydromotory, mohly by se snímače umístit přímo k těmto hydromotorům. Avšak průtok by se musel měřit ještě na hlavním přímočarém hydromotoru s již zmiňovanými problémy nebo ho lze dopočítávat v jednotlivých polohách TBZ na základě geometrických rozměrů celého TBZ a naměřených průtoků na pomocných přímočarých hydromotorech.

5.2 Využití sběrnice CAN s integrovanými snímači

Z důvodu rozšiřování elektronického řízení motorů, převodovek, odpružení náprav, hydraulických systémů atd. se zavedla jednotná datová sběrnice, která propojuje jednotlivé řídicí jednotky, čidla, ovládací panely a akční členy (obr. 30). CAN - BUS systémy mají vyšší spolehlivost s nižšími náklady na elektrickou

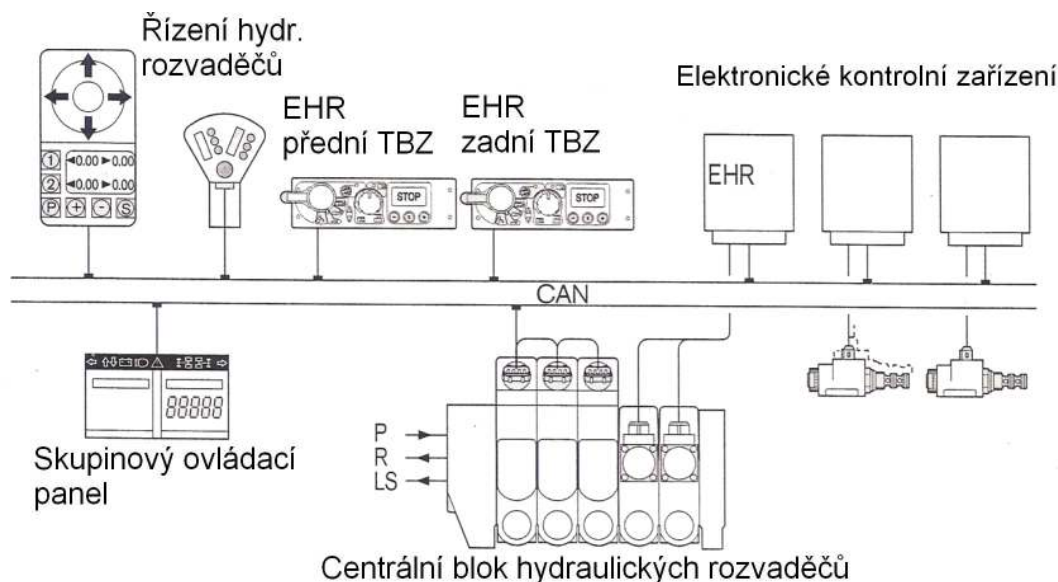
soustavu. Jedno čidlo může být vstupním údajem pro jakoukoli řídicí jednotku. Sběrnici CAN tvoří pouze dva vodiče, přenos dat je digitální. Každá informace na síti má svůj identifikační kód (ID kód) podle něhož ho ostatní prvky, na sběrnici připojené, přijmou nebo, pokud není určen jim, tak informaci ignorují. [Bauer a kol., 2006]

Pro zjednodušení a zrychlení měření lze využít systému diagnostických zásuvek (obr. 32). V našem případě bychom využili tyto zásuvky pro propojení řídicích jednotek traktoru k osobnímu počítači.

Při měření s pomocí CAN sběrnici by se využily snímače na traktoru již umístěné, které slouží jako vstupy pro řídicí jednotku traktoru. Pro měření by se využila čidla především pro tahovou sílu, polohu TBZ, snímače odebíraného kroutícího momentu přes hřídel pohonu PTO nebo naklonění desky hydraulického čerpadla.

Obr. 30 Schéma CAN sběrnice [Noack, 2001]

P - přívod tlakového oleje od hydraulického čerpadla, R – odtok oleje zpět do nádrže, LS – ovládací větev LS regulace, CAN – datová sběrnice traktoru, EHR – elektro – hydraulická regulace TBZ



Pokud by nastal problém se snímáním dat, mohlo by se využít na traktoru umístěných snímačů a napojit se přímo na čidla externě. Avšak při této variantě musíme znát přesně cejchovací hodnoty nebo si snímače mimo traktor ocejchovat. Pro měření průtoku by byla možnost využití snímače polohy TBZ, ale je nutno znát rozměry TBZ, plochu pístu přímočarého hydromotoru a v neposlední řadě by se

musely jednotlivé průtoky v jednotlivých okamžicích dopočítat. Možná by nastaly problémy s přesností naměřených hodnot díky možným vlivům a nepřesnostem snímače polohy.

5.3 Způsoby měření jednotlivých veličin

Jednotlivé způsoby měření jsou navrženy podle skutečnosti do jaké míry a co vlastně je třeba v daný okamžik měřit. V některých případech pro zjištění činnosti TBZ bude postačovat měřit tlak a průtok u vstupu do přímočarých hydromotorů TBZ, ale pro zjištění energetické náročnosti a účinnosti celého vnitřního hydraulického obvodu by bylo vhodné zaznamenávat i odebíraný výkon hlavního hydraulického čerpadla. Navrhované způsoby se budou týkat především traktorů střední a vyšší výkonové třídy. Měření je navrhováno především pro stojící traktor, který zdvihá a spouští nesené nářadí, což je vhodné pro porovnání jednotlivých traktorů, zjištění opotřebení a energetické náročnosti. K přiblížení se praktickým podmínkám by bylo velmi zajímavé provádět měření přímo na obdělávaném poli, čímž by se mohl celý systém analyzovat v podmínkách, pro které je traktor určen.

Měření tlaku a průtoku

Pro zjištění výkonu zadního TBZ lze využít pouze jednoho snímače tlaku a jednoho snímače průtoku. Čidlo tlaku lze umístit libovolně v blízkosti přímočarých hydromotorů. Pro snímač průtoku jsou dvě možnosti. První možností je umístění přímo u vstupu do jednoho z hydromotorů, ale pro další zpracování dat by se tato hodnota musela násobit dvěma, protože hydromotory jsou dva. Druhou možností je umístění snímače před rozdvojením hydraulického vedení do jednotlivých hydromotorů. Tato hodnota by byla přímo dále zpracovatelná. Obě možnosti jsou možné a pro každý traktor je vhodné využít variantu, jež je méně náročná.

Pokud by bylo třeba zjišťovat ztráty ve vedení mezi hlavním hydraulickým čerpadlem a přímočarými hydromotory TBZ, bylo by možné ještě umístit tlakoměr a průtokoměr přímo za čerpadlo. Avšak tato realizace by byla u některých traktorů velmi náročná díky absenci měřících bodů a nepřístupnosti daného hydraulického vedení. Tímto způsobem lze měřit ztráty ve vedení, rozvaděčích a dalších hydraulických komponentech. Možné by bylo i sledovat reakci LS regulace na spouštění či zastavení zdvihání neseného nářadí pomocí snímání náklonu desky

čerpadla nebo snímání ovládacího tlaku servoventilu čerpadla s využitím CAN sběrnice.

Měření příkonu hlavního hydraulického čerpadla

Měření příkonu by bylo možné pomocí snímače, který měří točivý moment na vývodovém hřídeli a ve většině případů i odebíraný moment hydraulického čerpadla. Některé traktory střední a vyšší výkonové třídy jsou vybaveny navyšováním výkonu motoru tzv. Power Boost. Každý výrobce má spouštění navyšování výkonu trochu odlišné, ale v základu lze říci, že u většiny traktorů, které jsou tímto systémem vybaveny, dochází k aktivaci navýšení při odběru výkonu přes vývodový hřídel (PTO). Aby řídicí jednotka věděla, že je výkon odebírán, musí se snímat kroutící moment na hřídeli, který pohání právě PTO. Princip spočívá v měření nakroucení hřídele pomocí dvou snímačů. Jeden je umístěn přímo na setrvačniku motoru, druhý se nachází na konci měřicí hřídele. [Stehno, 3/2009] Řídicí jednotka měří časové zpoždění mezi oběma signály, z čehož se dopočítá úhel zkroucení:

$$\Phi = 2\pi \cdot n \cdot (t - t_0) \text{ [rad]} \quad (9)$$

Kde: n otáčky [s^{-1}],

t časový úsek mezi signály při odběru výkonu [s],

t_0 časový úsek mezi signály při nulovém odběru výkonu [s].

Točivý moment odvozený ze základní deformační podmínky:

$$M_K = \frac{\Phi \cdot I_P \cdot G}{l} \quad \text{[N.m]} \quad (10)$$

Kde: Φ úhel zkroucení [rad],

I_P polární moment průřezu [m^4],

G modul pružnosti [Pa],

l délka měřicího hřídele [m].

Protože je pohon hydraulického čerpadla odvozen ve většině případů od pohonu vývodového hřídele, je navyšování výkonu závislé také na odběru tlakového oleje z hydraulického obvodu. Tzn. že lze u těchto traktorů velmi jednoduše měřit točivý moment odebíraný na náhonovém hřídeli hydraulického čerpadla. Data by se

opět snímala z CAN sběrnice. Z naměřených hodnot točivého momentu odebíraného čerpadlem a jeho otáček lze dopočítat příkon čerpadla. S kombinací měření tlaku a průtoku na přímočarých hydromotorech TBZ, je možno dopočítat celkovou účinnost celého vnitřního hydraulického obvodu traktoru.

Příkon čerpadla lze vypočítat:
$$P_P = M_K \cdot \omega = M_K \cdot 2\pi n \text{ [W]} \quad (11)$$

Kde: M_K točivý moment odebíraný čerpadlem [N.m],

ω úhlová rychlost [rad.s⁻¹],

n otáčky [s⁻¹].

Výkon přímočarých hydromotorů na základě naměřených průtoků a tlaků na snímačích umístěných u vstupu tlakového oleje do hydromotorů:

$$P_H = Q \cdot p \text{ [W]} \quad (12)$$

Kde: Q průtok [m³.s⁻¹],

p tlak [Pa].

Celkový ztrátový výkon vnitřního hydraulického obvodu:

$$P_{CZ} = P_P - P_H \text{ [W]} \quad (13)$$

Účinnost vnitřního hydraulického obvodu:

$$\eta = \frac{P_H}{P_P} \quad [-] \quad (14)$$

Měření průtoku hydraulického čerpadla na základě náklonu regulační desky

Protože jsou některé traktory vybaveny snímačem náklonu regulační desky, lze průtok čerpadla přes tuto hodnotu dopočítat. Řez čerpadla je zřejmý na obr. 13. Pro výpočet musíme však znát kompletní parametry čerpadla. U starších strojů může nastat u tohoto měření problém s těsností pístů a naměřená hodnota může být tímto zkreslena. Průtok lze vypočítat:
$$Q = S \cdot h \cdot z \cdot n \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (15)$$

Kde: S plocha pístu [m²],

h zdvih pístu [m],

z počet pístů [-],

n otáčky hřídele čerpadla [s⁻¹].

$$\text{Zdvih pístu: } h = 2r \cdot \text{tg}\alpha \quad [\text{m}] \quad (16)$$

Kde: r poloměr pracovní kružnice pístů [m],

α sklon desky od svislé osy [°].

V praxi jsou používány tyto jednotky Q [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], S [mm^2], h [mm], n [s^{-1}], r [mm].

[Heřmánek, 2009]

Měření spotřeby pohonných hmot

Zajímavou možností by bylo měření spotřeby pohonných hmot pro několik cyklů zdvihání neseného nářadí za určitý časový úsek. Tato metodika je vhodná pouze pro stojící traktor, na rozdíl od předchozích způsobů. Před samotným měřením se nastaví smluvní otáčky motoru. Změří se spotřeba za předem určený časový úsek. Poté se, při stejných otáčkách motoru, za stejný časový interval zvedne a spustí nesené nářadí o známé hmotnosti v několika cyklech. Opět se měří spotřeba pohonných hmot. Rozdíl obou spotřeb je hodnota, která je nutná právě na daný cyklus zdvihání. Výsledek je dán v litrech spotřebované nafty.

Tato metoda je zde uvedena jen okrajově, protože neudává žádné výkony či účinnosti. Měření spotřeby lze provádět za účelem porovnání traktorů či různých nastavení apod. Měření je spjato velmi s činností motoru a především regulací dávkování paliva. Proto je traktor měřen jako celek, což je praktickým podmínkám nejbližší. Např. pokud bude velmi dobrý hydraulický systém a činnost výkonnostní regulace motoru bude pracovat nesprávně, tím může nastat vyšší spotřeba a traktor nemusí vyhovovat moderním trendům, které nás nutí k minimalizaci nákladů. To samé platí, pokud bude v traktoru pracovat správně fungující spalovací motor s nízkou měrnou spotřebou spolu s velmi opotřebovaným hydraulickým systémem, jež má tímto sníženou účinnost.

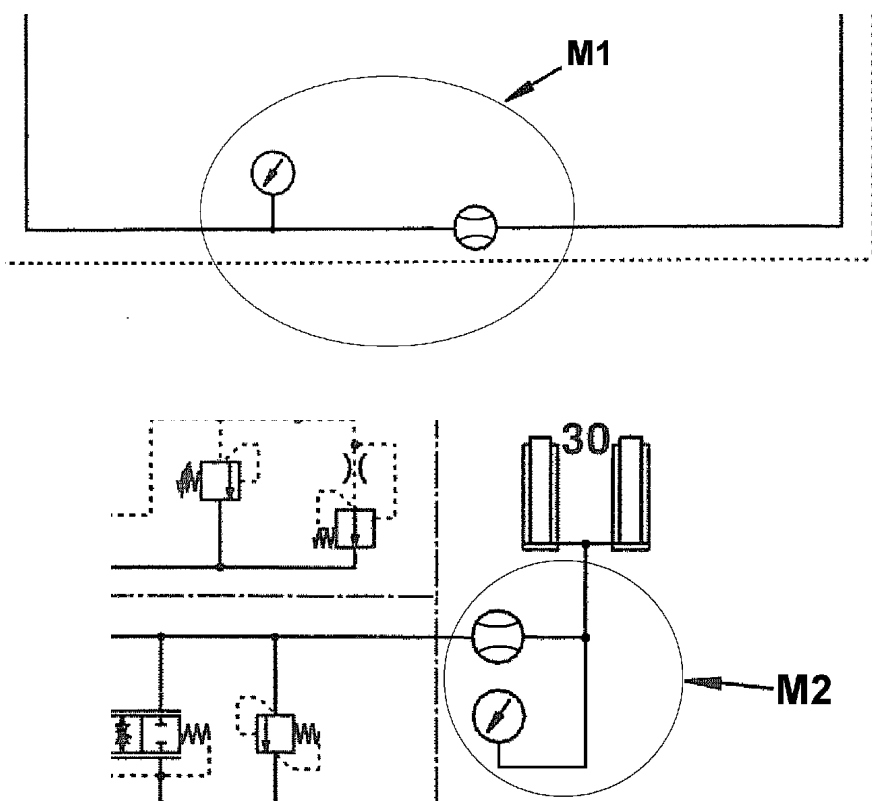
Pro objektivnost by se měli předem nastavit časy zdvihání a spouštění nářadí na ovládacím panelu traktoru, aby tyto hodnoty byly při každém měření přibližně stejné, zejména z důvodu rovných podmínek mezi jednotlivými stroji. U traktorů se vstřikováním Common Rail, by problém neměl být, protože regulace je zajištěna elektronicky a otáčky jsou udržovány velmi přesně. Avšak u traktorů s mechanickým výkonnostním regulátorem by mohl nastat problém s menší citlivostí regulace. Pokud by došlo k zvedání nářadí, otáčky mohou díky necitlivosti poklesnout a zvýšení dávky

paliva nemusí být tak znatelné a čas na zdvihnutí by se prodloužil. Tím by mohlo dojít ke zkreslení měření, ale to by však ukázala praktická zkouška.

5.4 Návrh metodiky měření s využitím externích snímačů

Metodika je navrhována pro hydraulický systém traktoru John Deer řady 7000 (příloha 1), kde se budou měřit průtoky a tlaky oleje přímo za hlavním hydraulickým čerpadlem (obr. 31 – M1 nahoře) a zároveň v těsné blízkosti přímočarých hydromotorů zadního TBZ (obr. 31 – M2 dole). Po ukončení měření se výsledky z obou měřících míst porovnají a lze tímto zjistit ztráty ve vedení nebo špatná činnost rozvaděčů apod. Největší problém bude s umístěním snímačů na místě M1 z důvodu obtížné přístupnosti. Proto existuje možnost snímání průtoku hydraulického čerpadla pomocí snímání úhlu nekloněné desky čerpadla. K tomu však musí být k dispozici parametry čerpadla. Náklon desky lze sledovat díky snímači náklonu, pokud je jím však traktor vybaven nebo snímáním ovládacího tlaku, tato možnost by byla s největší pravděpodobností méně přesná, protože zpětný pohyb ovládacího pístu servoventilu zabezpečuje pružina a ta podléhá únavě.

Obr. 31 Měřící místo M1 (nahore) za čerpadlem a měřící místo M2 (dole) před přímočarými hydromotory TBZ



Postup měření:

1. připojení neseného nářadí o známé hmotnosti do zadního TBZ ,
2. instalace snímačů, zkouška zvedání a spuštění TBZ,
3. kontrola správné komunikace snímačů s počítačem nebo vyhodnocovacím zařízením,
4. měření - zvednutí neseného nářadí do horní krajní polohy a po chvíli spuštění, pro zpřesnění měření je nutné tuto operaci opakovat (min. 3x),
5. odpojení nářadí,
6. měření - zvednutí a po chvíli spuštění spodních táhel TBZ bez zatížení, pro zpřesnění je opět vhodné měření opakovat (min. 3x),
7. vypnutí motoru, analýza a zpracování dat do grafických závislostí.

Nejprve je vhodné měřit se zatížením z důvodu, že se olej dříve ohřeje na provozní teplotu při zkoušení TBZ před samotným měřením.

5.5 Návrh metodiky měření s využitím CAN sběrnice

Návrh metodiky byl prováděn na traktoru Fendt 936. Základní parametry hydraulické soustavy jsou uvedeny v příloze 2. Tento traktor je vybaven CAN sběrnici a proto je velmi výhodné pro toto měření využít diagnostických zásuvek (obr. 32), které jsou umístěny spolu s pojistkovým panelem v kabině vpravo od řidiče. V celém elektronickém systému pracují čtyři řídicí jednotky - motoru, převodovky, hydraulického systému a jednotka ovládacích panelů v kabině. Každá CPU jednotka má svoji diagnostickou zásuvku a proto je velmi jednoduché se na ni napojit a zaznamenávat data, jenž se týkají daného systému. V našem případě vnitřního a vnějšího hydraulického obvodu, tzn. V - BUS zásuvka. Podle toho jaké snímače právě chceme zaznamenávat, tak je lze vyfiltrovat.

Při tomto měření je možno jednoduše snímat data i z jiných částí traktoru, např. lze velmi jednoduše měřit spotřebu pohonných hmot na několik zdvihů TBZ s připojeným nářadím bez použití externích snímačů.

Obr. 32 Umístění diagnostických zásuvek



Data se zaznamenávají v určitých časových intervalech daných výrobcem elektroniky traktoru. Aby bylo možné rozeznat jednotlivé hodnoty od sebe, má každý snímač svůj ID kód, podle kterého je v systému identifikován. Za ID kódem je zobrazena naměřená hodnota – Data, doba trvání této hodnoty - Period a počet záznamů - Count (obr. 33).

Obr. 33 Výpis hodnot jednotlivých snímačů

Receive						
ID	DLC	Data	Period	Count	Comment (click to change)	
18E51F00	8	34 00 00 00 00 00 00 00	54	664		
18EBFF00	8	03 DB 10 45 9A 01 44 06	54	28		
18ECFF00	8	20 1C 00 04 FF E3 FE 00	5008	7		
18FEDF00	8	82 50 00 00 FF FF FF FF	219	132		
18FEE000	8	3C FF FF FF FF FF FF FF	999	33		
18FEEF00	8	00 FF FF 00 FF FF FF FA	546	66		
18FEF100	8	F3 00 00 0C FF 00 00 CF	54	331		
18FEF200	8	00 00 00 FE FF FF FF FF	54	331		
18FEF500	8	C6 FF FF C0 26 FF FF FF	998	33		
18FEF600	8	FF 31 3E FF 00 FF FF FF	436	66		
18FEF700	8	FF FF FF FF FF FF F8 00	999	33		
18FF001D	8	07 07 01 04 00 03 01 FF	218	165		
18FF0203	8	00 00 00 00 00 00 00 00	27	1032		
18FF0400	8	02 00 00 31 00 3C 00 01	109	330		
18FF0A00	8	03 10 FF 64 64 FF 00 00	999	33		
18FF0B00	8	05 00 00 00 05 63 04 01	999	33		
18FF1200	8	05 80 48 01 00 00 00 00	109	330		
18FF1300	8	64 13 80 48 FF FF 00 00	109	330		
18FF1400	8	04 EC 00 FF C0 FF F3 E3	109	331		
18FF1900	8	1F 00 27 FF FF FF FF FF	109	331		

Transmit						
ID	DLC	Data	Period	Count	Comment	
000	8	00 00 00 00 00 00 00 00	off	0		

Připojení přenosného počítače pro zaznamenávání dat bylo provedeno pomocí USB konektoru přes diagnostický převodník (obr. 34), jenž zaručuje komunikaci mezi zásuvkou V - BUS a USB portem počítačem.

Obr. 34 Převodník BUS – USB



Postup měření:

1. připojení neseného nářadí o známé hmotnosti do zadního TBZ,
2. zastavení motoru,
3. připojení přenosného počítače do diagnostické zásuvky pomocí USB přes převodník,
4. spuštění motoru a kontrola správné komunikace mezi traktorem a počítačem, zkouška zvedání a spouštění nářadí,
5. měření - zvednutí neseného nářadí do horní krajní polohy a po chvíli spuštění, pro zpřesnění je vhodné měření opakovat (min. 3x),
6. odpojení neseného nářadí,
7. měření - zvednutí spodních táhel TBZ a po chvíli opět spuštění, opět je vhodné měření opakovat (min. 3x),
8. vypnutí motoru, odpojení počítače,
9. následné zpracování dat, vyfiltrování snímačů, vytvoření grafických závislostí apod.

Tento způsob lze výhodně využít i pro polní měření.

6. DISKUZE

Téma, možnosti sledování výkonových parametrů hydraulických systémů, je velmi široké. Nejprve se musí určit pro jaké účely je měření určeno. Jinak se bude provádět měření parametrů zadního TBZ traktoru na poli při praktických podmínkách např. s pluhem, kde musí být měřicí aparatura přenosná. Jinak se budou parametry měřit pro laboratorní či jiné účely na pevném stanovišti, kde se bude zvedat a spouštět závaží o známé hmotnosti.

Zajímavou záležitostí by bylo měření příkonu hlavního hydraulického čerpadla pomocí snímače odebíraného kroutícího momentu, používaného pro navýšení výkonu traktoru. Tyto hodnoty by byly dobře dostupné z CAN sběrnice. Spolu s měřením průtoku a tlaku na přímočarých hydromotorech TBZ by se mohla dopočítat celková účinnost systému.

Pro laboratorní zkoušky budou vhodné především snímače externí přesně cejchované, především čidla tlaku a průtoku. Ostatní data, především hodnoty polohy spodních táhel, zatížení tahovou silou apod. by bylo výhodné zaznamenávat z diagnostických zásuvek CAN sběrnice.

Pro praktické zkoušky v terénu pro svoji jednoduchost je vhodné využít především dat z CAN sběrnice. Zde může být považováno za nevýhodu absence některých snímačů u traktorů, zejména čidla průtoku. To však je řešitelná záležitost pomocí dat snímače polohy spodních táhel, které se zaznamenávají v daných časových intervalech. Z geometrických rozměrů TBZ, parametrů přímočarých hydromotorů lze tato data průtoku dopočítat. Průtok lze také jednoduše zaznamenávat z CAN sběrnice díky hodnotám naklonění desky regulačního čerpadla. V tomto případě nesmí být tlakový olej odebírán z ostatních systémů traktoru. Musí být však opět k dispozici parametry čerpadla. Porovnáním těchto hodnot průtoku přímo na čerpadle a na přímočarých hydromotorech lze jednoduše zjistit závadu, především opotřeбенé čerpadlo, prasklé vedení, netěsnost, špatná funkce rozvaděčů apod.

Měření pomocí CAN sběrnice

Protože rozvoj elektroniky je nezadržitelný a nevyhýbá se ani zemědělské technice, proto padlo rozhodnutí na sledování výkonových parametrů hydraulického systému ovládání TBZ traktoru na využití datové sběrnice CAN. Záznam hodnot je velmi jednoduchý a rychlý. Připojení bylo provedeno přes převodník z diagnostické zásuvky V - BUS do USB portu počítače. Každý snímač má svůj ID kód a proto ho lze jednoduše identifikovat. Pomocí počítače a databáze lze hodnoty vyfiltrovat a pracovat jen s tím, co právě potřebujeme.

Aby bylo možné traktory jednoduše porovnávat a měřit hodnoty snímačů, bylo by vhodné aby všichni výrobci používali stejné zásuvky, stejné ID kódy a hodnoty z čidel byly ve stejném kódování. Mnoho věcí je již normalizovaných, především ISO - BUS zásuvky pro připojené nářadí. Tato zásuvka je již v dnešní době kompatibilní pro traktory a stroje, jež jsou tímto vybaveny. Z tohoto by se dalo předpokládat, že hodnoty z diagnostických zásuvek K - BUS, V - BUS a G - BUS budou také podléhat určitému pravidlu, protože s daty, která pracují na sběrnici CAN, pracují připojené stroje. To by však ukázalo měření na několika traktorech různých značek, protože hodnoty z ISO - BUS zásuvky pro připojené stroje mohou být před výstupem u každého výrobce jinak upraveny.

Aplikace sledování výkonových parametrů TBZ do praxe

Měření je možné rozdělit do určitých kategorií. Pro diagnostické účely a pro účely praxe s kombinací s GPS systémem. Pro diagnostiku jsou servisy vybaveny zařízením, které dokáže odhalit špatnou činnost čidel, přechodových odporů atd. Více problematické může být diagnostikování technického stavu čerpadla, vedení, rozvaděčů a přímočarých hydromotorů a proto je vhodné naměřit co nejvíce dat, jak integrovanými, tak externími snímači při zatížení systému a poté jednoznačně usoudit co je příčinou závady. Tím se šetří čas a hlavně náklady na opravu.

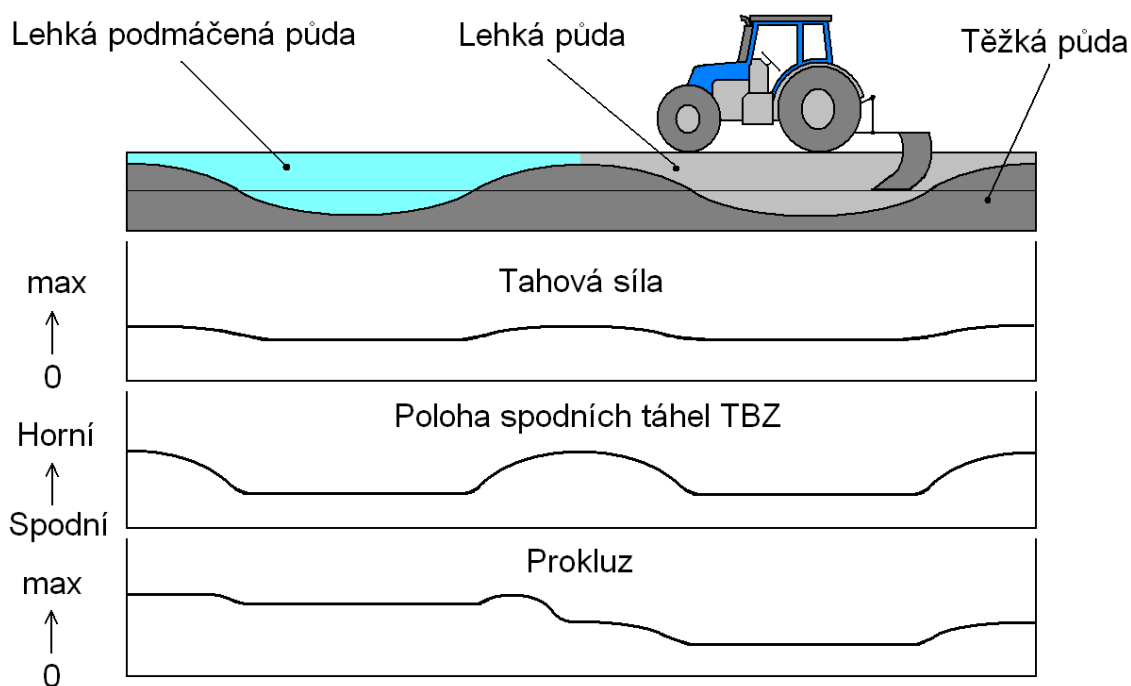
Určitým průkopníkem záznamů dat přímo na pozemku v této oblasti je firma Fendt se systémem MoDaSys. Tento systém je zaměřen především na controlling (spotřeba pohonných hmot, časy operací), dokumentaci (registrace nákladů, historie procesů) a přesné stanovení nákladů, ale méně pro agronomické účely [Bauer a kol., 2006].

Hodnoty ze snímačů nemusí plnit pouze funkci vstupních dat pro regulaci TBZ, ale mohou se využít jako údaje zaznamenávané do map pozemků pomocí GPS. Tím by vznikly mapy, které by mohly doplnit výnosové mapy sklízecích mlátiček či satelitní snímky a agronom by dostal více údajů o struktuře půdního profilu. Lze uvést některé příklady. Nejjednodušší možností je agregace traktoru např. s pluhem s nastavenou polohovou regulací. Tento způsob je možný především u strojů s vyšší rezervou výkonu, v praxi je používán. Pokud traktor narazí na těžší nebo utuženější půdu dojde ke zvýšení tahové síly a tato hodnota se zaznamenává do GPS systému. Již v minulosti byly prováděny pokusy s měřením tahové síly a záznam těchto hodnot do map např. [Kroulík, 2/2005]. Zajímavou možností by bylo využít záznamu dat do map z více snímačů TBZ. Další nejvíce používanou možností je smíšená regulace. V tomto případě by bylo vhodné zaznamenávat jak tahovou sílu tak i polohu spodních táhel, protože tyto hodnoty mají vyšší vypovídací schopnost. Podle polohy spodních táhel lze po přepočtu zaznamenávat přibližně i hloubku zpracování půdního profilu. Menší komplikace se dají očekávat na svažitém terénu, především při jízdách z kopce a do kopce. Zkušený agronom by tento problém však eliminoval, tím že by sledoval výkyvy hodnot při jednotlivých jízdách.

Pole však nejsou homogenní, struktura a vlhkost půdy je v různých částech pozemků odlišná. Určitou možností je zaznamenávání prokluzu. Pro jednoduchost např. opět traktor vybavený radarem s pluhem a nastavenou smíšenou regulací. Traktor se dostane na část pole s utuženějším povrchem, zvýší se tahová síla, pluh se přizvedne a s nějakým menším zakolísáním prokluzu souprava pokračuje dále. Jiná situace nastane pokud souprava vjede na vlhkou a těžkou půdu. Opět je nastavena silová regulace, tahová síla se však nezvýší, protože traktor má omezené možnosti přenosu tahového výkonu na podmáčenou podložku, zvýší se prokluz a stroj pokračuje dále. V tomto případě agronom okamžitě pozná na mapě ze zvýšeného prokluzu, že např. je pozemek v této oblasti utužen ve spodních vrstvách profilu a pravděpodobně se voda nestačí vsakovat. Pak může za příznivějších podmínek poslat na tato problémová místa traktor s hloubkovým kypřičem. Tím se šetří náklady a půda se zpracovává v daných částech pozemku do takové míry, jež to právě potřebuje.

Na obr. 35 je znázorněn teoretický model, kdy traktor obdělává pole s různým strukturálním profilem půdy, má nastavenou silovou regulaci a je vybaven radarem, díky kterému spolu se snímačem otáček zadních kol je zaznamenáván prokluz. V grafech jsou zaznamenány teoretické průběhy ze snímačů tahové síly, polohy spodních táhel TBZ a prokluzu. Pokud by se tyto hodnoty nějak zkombinovaly a přenesly v barevném provedení do GPS map pozemků, získal by se velmi zajímavý přehled přínosný zejména pro agronomické účely. Kombinace silové regulace a zaznamenávání prokluzu je zvoleno z důvodu jednoduchosti, lze toto aplikovat do regulace prokluzové atd.

Obr. 35 Teoretický průběh záznamů snímačů na různou půdní strukturu při nastavené smíšené regulaci, traktor je vybaven radarem



V předchozích odstavcích jsou uvedeny jen některé příklady uvedení zaznamenávání dat do map díky GPS systému. Pro ukázkou a názornost jsou zde uvedeny jen základní regulační systémy traktorů. V praxi v moderních podnicích se používají kombinace regulací a tím by se musela zaznamenávat data z více snímačů, především prokluz, tahová síla, poloha spodních ramen apod. Dat by bylo více a proto by se musely zavést algoritmy, které by hodnoty zpracovaly přímo do map. Vše je řešitelné a jen praxe ukáže jestli to či ono má své opodstatnění.

7. ZÁVĚR

V této práci jsou popsány možnosti sledování výkonových parametrů ovládání TBZ traktoru jak pro laboratorní zkoušky, tak pro využití zaznamenaných dat v praxi. Jsou zde popsány funkce nejběžnějších snímačů, především průtokových a tlakových. Proto, aby bylo možné cokoli na TBZ měřit, je zde popsán celý hydraulický systém traktorů používaný u traktorů nižší, tak i střední a vyšší výkonové třídy. Nemohli být opomenuty ani snímače polohy spodních ramen, tahové síly, tlaku, radar či snímače otáček zadních kol. Protože elektronika se rozvíjí ve všech oblastech lidské činnosti, bylo velmi perspektivní využít sběrnice CAN a diagnostických zásuvek.

Měření lze provádět různými způsoby. Lze měřit tlak a průtok externími snímači v různých částech obvodu a poté zjišťovat činnost hydraulického obvodu. Může se využít snímačů na traktoru integrovaných. Nejvhodnějším způsobem je tato data stahovat pomocí přenosného počítače přes diagnostické zásuvky. Tato metoda, je velmi jednoduchá, rychlá a lze jí aplikovat bez větších problémů na traktory různých výrobců. Problémy však mohou nastat s dostupností ID kódů a sjednocením dat mezi výrobci.

Protože trh nutí zemědělce k co nejefektivnější výrobě, rozšiřují se technologie precizního zemědělství. Naskytá se zde velmi zajímavá možnost, např. při orbě nebo kypření, zaznamenávat data z TBZ, především hodnoty tahové síly, polohy spodních ramen, prokluzu atd. do GPS map pozemků. Agronom by měl spolu s výnosovými mapami či družicovými snímky další podklady o vlastnostech půdního profilu. Bylo by možné odhalit utužené oblasti pozemku, utužené podorniční vrstvy apod.

Do budoucna by bylo vhodné se tímto tématem dále zabývat, protože naskytá široké spektrum využití. Pomocí různých způsobů měření lze traktory mezi sebou porovnávat, zjišťovat účinnosti hydraulického systému apod. V servisní praxi lze najít komplexní způsoby diagnostiky, kdy se z naměřených dat přímo vytipuje s vysokou pravděpodobností poškozená součást. Z naměřených dat se mohou hledat slabé stránky systému, podle nichž je možno jednotlivé komponenty vyvíjet a zdokonalovat. V neposlední řadě nelze opomenout aplikaci měření do praxe, především do precizního zemědělství.

8. POUŽITÁ LITERATURA

1. Bauer, F. a kol.: Traktory. 1. vydání. Praha: Profi Press, s.r.o., 2006, 192 s., ISBN 80-86726-15-0
2. Bohuslávek, Z.: Přednáškové prezentace předmětu Automatizace [online]. Publikováno 1.3. 2009 [cit. 1.3. 2009]
Dostupné z https://student.czu.cz/popup.php?id_menu=2&id_subject=2563
3. Heřmánek, P.: Přednáškové prezentace předmětu Tekutinové mechanismy [online]. Publikováno 1.3. 2009 [cit. 1.3. 2009]
Dostupné z https://student.czu.cz/popup.php?id_menu=2&id_subject=3578
4. Hesse, H.: Tractor Hitch-Control – History and Future, Ingenieurbüro für Hydraulik, Stuttgart, 1999
5. Janalík, J.: Měření tekutinových mechanismů. 1. vydání. Ostrava, 1995
6. Kolektiv: Návod k obsluze traktorů Zetor 5211, 5245, 6211, 6245, 7211, 7245, 7245 Horal, 7711, 7745. Brno: Agrozet Zetor, k.p., 1988, 272 s.
7. Kolektiv: Návod k obsluze traktoru Zetor 50 Super. Brno: DPS – ZJŠ, 1964, 74 s.
8. Kroulík, M.: Měření tahové síly jako nástroj precizního zemědělství, Mechanizace zemědělství. Praha: Profi Press, s.r.o., 2/2005, ISSN 0373-6776
9. Maier, U.: Anwendungszentrum Traktoren. In: Mobile 2003 Internationale Fachtagung für Mobilhydraulik. Bosch Rexroth AG, Elchingen, 2003, s. 146-161
10. Noack, S.: Hydraulics in Mobile Equipment. Omegon. Ditzingen, 2001, 202 s., ISBN 3-933698-16-12
11. Stehno, L.: Den s traktorem Massey Ferguson 8470, Mechanizace zemědělství. Praha: Profi Press, s.r.o., 6/2005, ISSN 0373-6776
12. Stehno, L.: Detailní pohled na Case IH MXU Maxxum – hydraulika, Mechanizace zemědělství. Praha: Profi Press, s.r.o., 9/2005, ISSN 0373-6776
13. Stehno, L.: Puma s novými funkcemi, Mechanizace zemědělství. Praha: Profi Press, s.r.o., 3/2009, ISSN 0373-6776
14. Traktory 2008, Mechanizace zemědělství, tabulkový přehled (příloha časopisu Mechanizace zemědělství). Praha: Profi Press, s.r.o., 2008
15. Prospekt RCG – Agromex, zemědělská technika, Fendt 900 Vario, 2008

9. SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A ZKRATEK

Obrázky

Obr. 1 Deformační tlakoměr s Burdonovou trubicí [Janalík, 1995], [Bohuslávek, 2009]

Obr. 2 Membránový deformační tlakoměr [Bohuslávek, 2009]

Obr. 3 Schéma uspořádání tenzometrů v tlakoměru (vlevo) [Janalík, 1995], skutečné provedení (vpravo) [Bohuslávek, 2009]

Obr. 4 Schéma průběhu deformačních napětí (nahore), uložení polovodičových tenzometrů s křemíkovou membránou (dole) [Bohuslávek, 2009]

Obr. 5 Řez lopatkovým průtokoměrem [Janalík, 1995], [Bohuslávek, 2009]

Obr. 6 Schéma ultrazvukového průtokoměru v řezu [Janalík, 1995]

Obr. 7 Schéma ultrazvukového průtokoměru s vysílačem a přijímačem uloženými napříč (vlevo) a průtokoměr využívající odrazu od protější strany potrubí (vpravo) [Bohuslávek, 2009]

Obr. 8 Schéma (vlevo) a řez indukčním průtokoměrem (vpravo) [Bohuslávek, 2009]

Obr. 9 Řez průtokoměrem s obtékaným diskem [Janalík, 1995]

Obr. 10 Schéma zapojení žárového anemometru [Janalík, 1995]

Obr. 11 Hydraulické ovládání TBZ [Hesse, 1999]

Obr. 12 Zubové čerpadlo se sníženou pulzací, tzv. SILENCE [Maier, 2003]

Obr. 13 Řez regulačním čerpadlem s nakloněnou deskou [Stehno, 9/2005]

Obr. 14 Schéma EHR 4 s proměnným průtokem čerpadla [Noack, 2001]

Obr. 15 Schéma EHR 5 [Noack, 2001]

Obr. 16 Schéma EHR 23 OC [Noack, 2001]

Obr. 17 Schéma 23 LS [Noack, 2001]

Obr. 18 Uložení na traktoru (vlevo) a řez snímače tahové síly (vpravo) [Noack, 2001]

Obr. 19 Funkční schéma (vlevo) a deformace siločar při zatížení snímače tahové síly (vpravo) [Noack, 2001]

Obr. 20 Elektrické zapojení indukčního snímače polohy (vlevo) a uložení na stroji (vpravo) [Noack, 2001]

Obr. 21 Princip činnosti indukčního snímače úhlu (vlevo) a jeho řez (vpravo) [Noack, 2001]

Obr. 22 Řez (nahore) a uspořádání tenzometrů snímače tlaku (dole) [Noack, 2001]

Obr. 23 Regulace s mechanickým přenosem signálu TBZ Bosch [Hesse, 1999]

- Obr. 24 Schéma elektro - hydraulického ovládání TBZ u traktoru (EHR) [Noack, 2001]
- Obr. 25 Řez regulačním horním táhlem (nahore), jeho využití (vlevo a vpravo) a nezávislá regulace každého táhla zvlášť (uprostřed dole) [Hesse, 1999]
- Obr. 26 Schéma rozkmitání traktorové soupravy [Noack, 2001]
- Obr. 27 Schéma OC LS systému [Noack, 2001]
- Obr. 28 Schéma CC LS systému [Noack, 2001]
- Obr. 29 Funkční schéma činnosti CC LS systému [Bauer a kol., 2006]
- Obr. 30 Schéma CAN sběrnice [Noack, 2001]
- Obr. 31 Měřicí místo M1 (nahore) za čerpadlem a měřicí místo M2 (dole) před přímočarými hydromotory TBZ
- Obr. 32 Umístění diagnostických zásuvek
- Obr. 33 Výpis hodnot jednotlivých snímačů
- Obr. 34 Převodník BUS – USB
- Obr. 35 Teoretický průběh záznamů snímačů na různou půdní strukturu při nastavené smíšené regulaci, traktor je vybaven radarem

Tabulky

- Tab. 1 Parametry tenzometrických tlakoměrů [Janalík, 1995]
- Tab. 2 Parametry EHR 4 [Noack, 2001]
- Tab. 3 Parametry EHR 5 [Noack, 2001]
- Tab. 4 Parametry EHR 23 OC [Noack, 2001]
- Tab. 5 Parametry EHR 23 LS [Noack, 2001]
- Tab. 6 Parametry radaru [Noack, 2001]

Zkratky

CAN - BUS	datová sběrnice traktoru,
EHR	elektro - hydraulická regulace,
G - BUS, K - BUS, V - BUS	diagnostické zásuvky traktoru,
GPS	satelitní navigační systém,
ID	identifikační kód prvku v systému CAN-BUS,
ISO - BUS	normalizovaná zásuvka pro komunikaci mezi traktorem a připojeným strojem,
LS	Load sensing (regulace čerpadla),
OC LS	LS – rozvaděč s otevřeným středem (open center),
CC LS	LS – rozvaděč s uzavřeným středem (closed center),
MHR	mechanicko - hydraulická regulace,
MoDaSys	Modulares Datenerfassung System,
PTO	vývodový hřídel traktoru,
TBZ	tříbodový závěs traktoru,
USB	univerzální sériová sběrnice počítače.

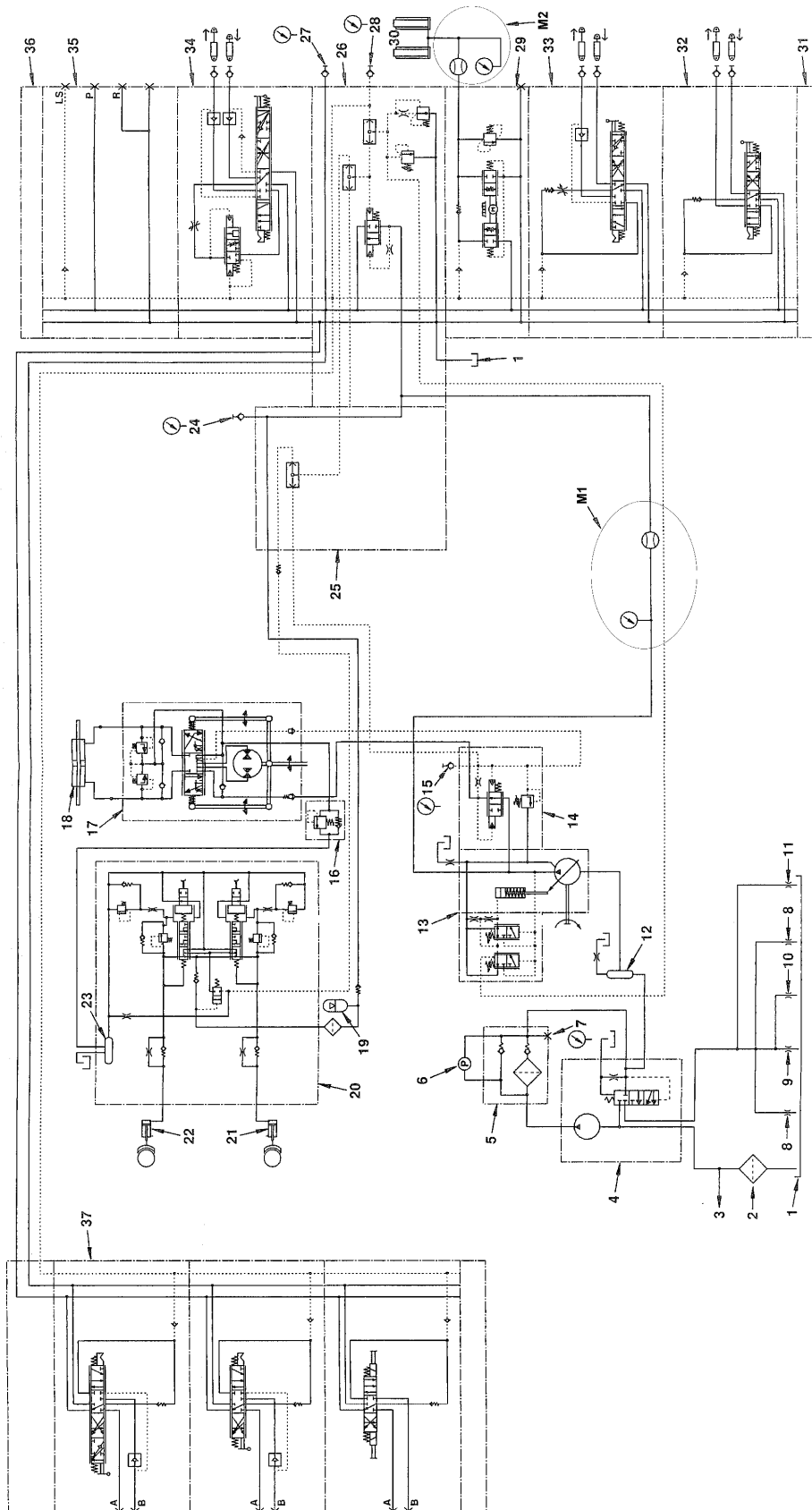
Příloha

Příloha 1: Hydraulické schéma traktoru John Deer řady 7000 s vyznačenými měřenými místy

Legenda:

- | | |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | olejová nádrž, |
| 2 | primární olejový filtr, |
| 3 | hydraulické vedení, |
| 4 | předřazené (podávací) hydraulické čerpadlo, |
| 5 | olejový filtr, |
| 6 | diferenční (rozdílový) tlakový snímač (B111), |
| 7 | měřící místo, |
| 8 | mazání funkčních ploch, |
| 9 | diferenční mazání funkčních ploch, |
| 10 | diferenční mazání funkčních ploch, |
| 11 | mazání PTO, |
| 12 | vyrovnávací olejová nádrž, |
| 13 | hydraulické čerpadlo s tlakovou a průtokovou regulací, |
| 14 | kontrolní blok s prioritou 1, |
| 15 | měřící místo pro LS regulaci, |
| 16 | redukční ventil, |
| 17 | hydraulický obvod řízení směru jízdy, |
| 18 | přímočarý hydromotor řízení směru jízdy, |
| 19 | akumulátor, |
| 20 | hydraulický obvod brzd, |
| 21 | přímočarý hydromotor levé zadní brzdy, |
| 22 | přímočarý hydromotor pravé zadní brzdy, |
| 23 | olejová nádrž brzdového obvodu, |
| 24 | měřící místo pro systémový tlak, |
| 25 | kontrolní blok s prioritou 2, |
| 26 | kontrolní blok s prioritou 3, |
| 27 | měřící místo (prioritní obvod 3– tlak oleje), |
| 28 | měřící místo (prioritní obvod 3- LS tlak oleje), |
| 29 | připojovací ventil, |
| 30 | přímočaré hydromotory zadního TBZ, |
| 31 | místo pro připojení dalšího bloku, |
| 32 | M-SCV 100 (pozice 1), |
| 33 | M-SCV 200 (pozice 2), |
| 34 | M-SCV 300 (pozice 3), |
| 35 | místo pro napojení (P, LS, R) pro externí ovládání hydraulického systému traktoru (pozice 4), |
| 36 | místo pro připojení dalšího bloku, |
| 37 | M-ICV. |
| M1 | první místo pro měření výkonových parametrů hydraulického systému, |
| M2 | druhé místo pro měření výkonových parametrů zadního TBZ. |

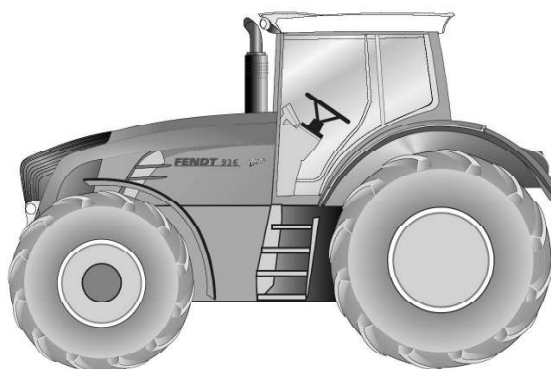
Hydraulické schéma John Deer [LX1043238]



Příloha 2: Základní data hydraulické soustavy traktoru Fendt 936 Vario Profi

Hydraulická soustava:

Druh	Load - Sensing
Průtok hydraulického čerpadla [$\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$]	160 (na přání 216)
Pracovní tlak [MPa]	20
Regulace TBZ	EHR – polohová, silová, smíšená, prokluzová
Max. počet okruhů	4 vnější okruhy, regulace – čas, průtok
Umístění snímačů tahové síly	spodní táhla TBZ
Max. zdvihová síla zadních ramen [kN]	118
Max. zdvihová síla předních ramen [kN]	55,5
Max. odebírané množství oleje z vnějšího hydraulického okruhu [dm^3]	87



EHR zadních ramen je vybavena:

- tlumením kmitů,
- rychlozdvihem,
- omezovačem výšky zdvihu,
- omezovačem klesání,
- externím ovládním.

[Traktory 2008, 2008], [Prospekt RCG – Agromex, 2008]