

Artykuł jubileuszowy: Marek Gajdowicz, Voith Turbo sp. z o.o.

„60 lat przekładni automatycznej Voith-DIWABUS D200”

1. Wstęp

W dniach między 19 a 29 marca 1953 uważny obserwator nowinek w technice samochodowej miał okazję w ramach 36 międzynarodowej wystawy pojazdów we Frankfurcie na Menem (IAA) zetknąć się po raz pierwszy z wystawioną przez firmę J.M.Voith automatyczną przekładnią do pojazdów użytkowych („do autobusów szynowych i drogowych”) znaną potem jako *DIWABUS 200*.



Rys.1. Ogłoszenie o targach IAA'53, [15], zaproszenie na stoisko Voith, prospekt *Diwabus*

Była to już druga edycja IAA we Frankfurcie po przeniesieniu jej do Kaiserdammhalle w Berlinie. W owym czasie wystawa przedstawiała całość dokonań w branży motoryzacyjnej; obok pojazdów użytkowych prezentowała również najnowsze pojazdy osobowe. W natłoku nowych produktów i idei Voith doczekał się nielicznych wzmianek. W branży motoryzacyjnej był debiutantem, choć jego doświadczenia związane z napędami sięgały lat trzydziestych; był znany z produkcji przekładni trakcyjnych dla lokomotyw i wagonów spalinowych. Na ich bazie w 1932 roku zaadaptował przekładnię hydrodynamiczną typu ABL do napędu ciągnika artyleryjskiego dla firmy Steyr oraz podjął próbę zbudowania oryginalnej przekładni trakcyjnej do autobusu miejskiego (London-Getriebe).

Można się domyślać, że uwaga zwiedzających skupiła się głównie na prezentowanych w hali obok nowych modelach *BMW 501* (premiera 1951 roku) *Hansa 1800* czy *DKW Meisterklasse* i licznych wówczas, dziś już zapomnianych pojazdach mini: *Gutbrot 700*, *Champion 400* czy *Lloyd LT 400*.



Rys.2. Pojazdy osobowe prezentowane na wystawie IAA'53

Nie zabrakło na wystawie marek już uznanych, jak Mercedes czy VW.

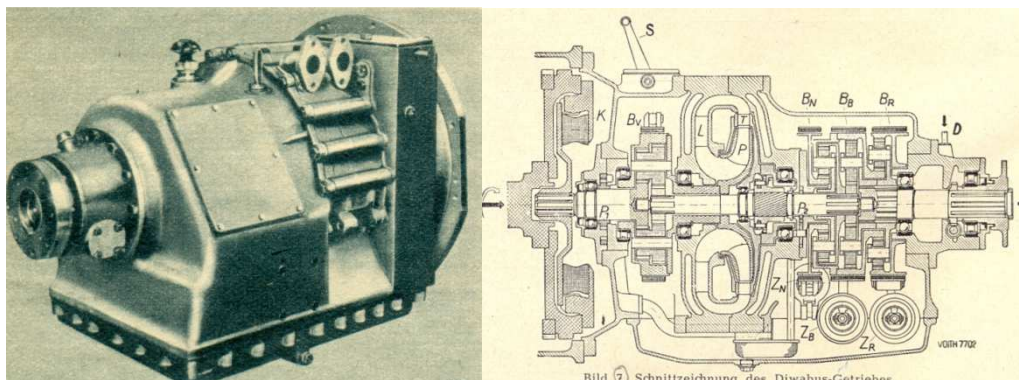
Pojazdy użytkowe, szczególnie autobusy reprezentowane były zarówno przez marki dziś popularne jak i nam prawie nie znane: *Büssing, Kraus-Maffai, MAN, Mercedes* czy *Ford*. W układzie napędowym autobusów *Büssing, Kraus-Maffai* zainstalowano przekładnię *Diwabus*.



Rys 3. Autobusy prezentowane na wystawie IAA'53

Popularna prasa techniczna tego czasu (*Auto-Motor und Sport, Commercial Motor, ADAC* czy *Automobil Revue* wspomina nieliczne interesujące podzespoły. Spośród przekładni wymienia się wystawianą na stoisku ZF przekładnię *Media*, wielobiegową przeznaczoną dla pojazdów użytkowych opisywaną przez producenta jako „ułatwiająca” przełączanie biegów, dzięki zastosowaniu wielopłytkowych sprzęgieł ciernych sterowanych mechanizmem krzywkowym, przekładnie *Hytrag* (hydrostatyczną) i *DABO* (bezstopniową, cierną) [17]. Przekładni Voith *DIWABUS* czasopismo *Auto-Motor und Sport* [15] poświęca niewielką wzmiankę:

„Wirtemberska firma znana z turbin wodnych i maszyn papierniczych, od 20 lat produkująca przekładnie hydrodynamiczne (przekładnie Föttingera, turbo) dla lokomotyw spalinowych i wagonów motorowych, pokazuje po raz pierwszy na IAA niewielką przekładnię hydromechaniczną oznaczoną jako *Voith-Diwabus* dla autobusów o mocy do 200 KM”. Tekst zilustrowany jest zdjęciem przekładni pokazanym na stoisku targowym.

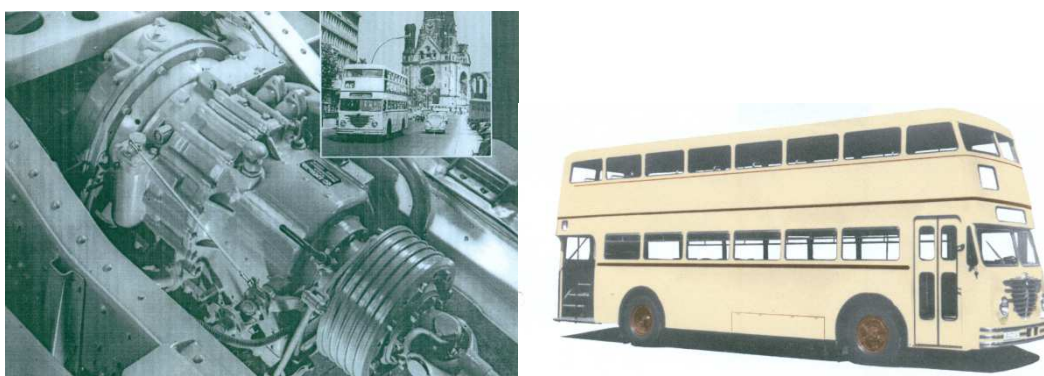


Rys.4. Ilustracje z anonsów prasowych dotyczących przekładni *Diwabus*, [15]

W poważnej prasie technicznej roku 1953 w okresie poprzedzającym IAA ukazały się artykuły przybliżające publiczności idee przekładni *Diwabus*. Jeden z poważniejszych tekstów pióra twórcy idei, austriackiego inżyniera Wilhelma Gschinga opublikowany został w numerze 3 (marzec) *ATZ (Automobiltechnische Zeitschrift)* [6]. Zawiera on gruntowną analizę przyjętej koncepcji, opis działania, charakterystyki i uzyskane z dotychczasowej eksploatacji doświadczenia. W odróżnieniu od niektórych premierowych produktów pokazywanych na wystawie, Voith miał już za sobą badania trakcyjne prowadzone wspólnie z producentami autobusów takimi jak *Büssing* czy *Krauss-Mafai*.



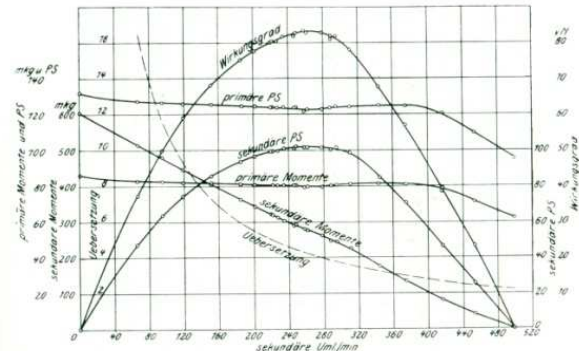
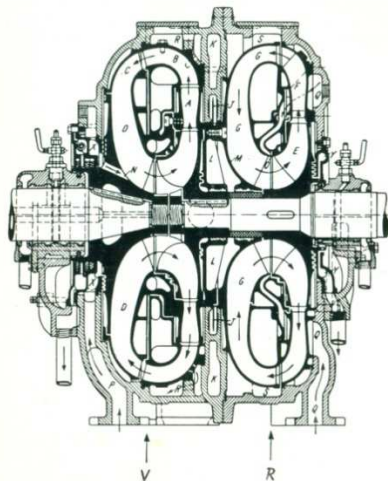
Rys.5. Autobus *Büssing 6500* z przekładnią Voith *Diwabus* na ulicach Berlina [4]



Rys.6. Zabudowa przekładni *Diwabus* w ramie autobusu *Büssing 6500T* dla BVG Berlin

2. Ekonomiczne i techniczne przesłanki pojawienia się przekładni automatycznej w pojazdach użytkowych w Europie.

Początki idei automatycznej przekładni trakcyjnej są równie stare jak samochód napędzany silnikiem spalinowym. Eksploatowane z powodzeniem do lat 20 autobusy z napędem elektrycznym, bateryjnym i silnikiem parowym obchodziły się bez przekładni mechanicznych wielobiegowych. Z istoty swej oferowały automatyczną zmianę prędkości sterowaną tylko pedałem „gazu”. Pierwsze idee przekładni automatycznej mechanicznej bazowały na przekładniach ciernych (stożkowych, walcowych). Poważny impuls do rozwoju nowej technologii związany był z patentem *Hermana Föttingera* na przekładnię hydrodynamiczną, będącą mechanicznym analogiem silnika asynchronicznego.



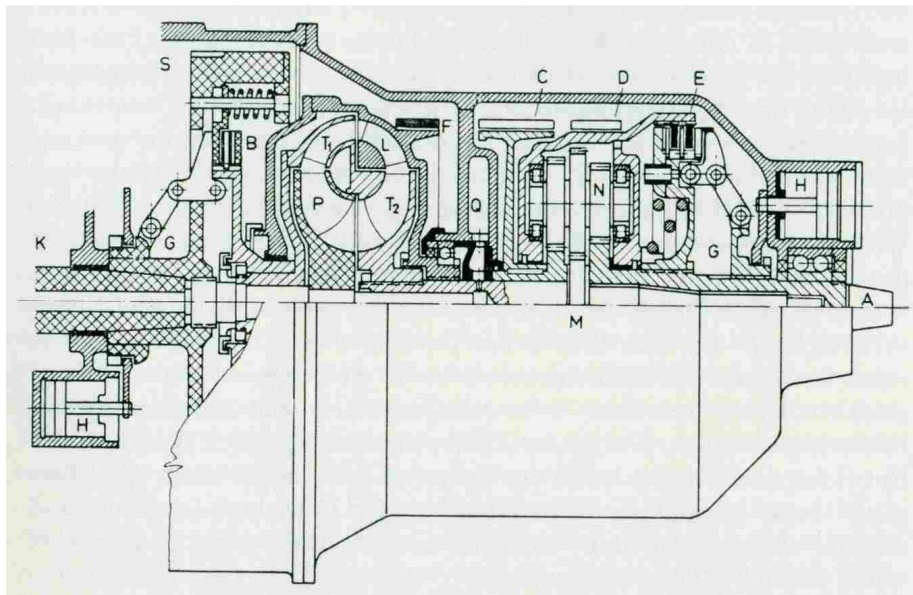
Rys.7. Pierwsza hydrodynamiczna przekładnia *Föttingera* i jej charakterystyka [3]

Aczkolwiek pierwsze zastosowania tych przekładni w układach napędowych statków (linia wału) miały za zadanie prostą redukcję prędkości wału turbiny parowej do akceptowalnej prędkości śruby okrętowej, to już w drugiej połowie lat 30 (1928) pojawia się patent na przekładnię typu *Trilok*¹, łączącą w jednej obudowie przekładnię i sprzęgło hydrokinetyczne, idealne rozwiązanie do napędu pojazdu wyposażonego w silnik spalinowy. Rozwiązanie to pozwalało zrealizować wszystkie cele układu napędowego: ruszanie z miejsca bez użycia sprzęgła ciernego (bez pedału sprzęgła), osiągnięcie znacznego wzmocnienia momentu silnika i wreszcie pracę sprzęgłową, przy wyższych prędkościach z wysokimi sprawnościami. Naturalną konsekwencją pojawienia się przekładni *Trilok* był rozwój przekładni wielofazowych i wielostopniowych, poszerzających zakres korzystnej sprawności. Dobrym przykładem takiej przekładni pozostaje zmiennik *Polyphase* z przekładni *Dynaflow* (lata 40-te XX wieku). Ta linia jest konsekwentnie rozwijana w przekładniach amerykańskich aż do osiągnięcia kresu możliwości przekładni hydrodynamicznej (zakres przełożeń i prędkości). W efekcie tego niedoboru pojawiają się przekładnie hydro-mechaniczne, w których dominującą rolę zaczyna odgrywać wielostopniowy reduktor mechaniczny.

W roku 1926 pojawia się w Niemczech projekt i patent przekładni typu *Riesler*. Według ówczesnej opinii stanowił on wzorzec przekładni hydromechanicznej.

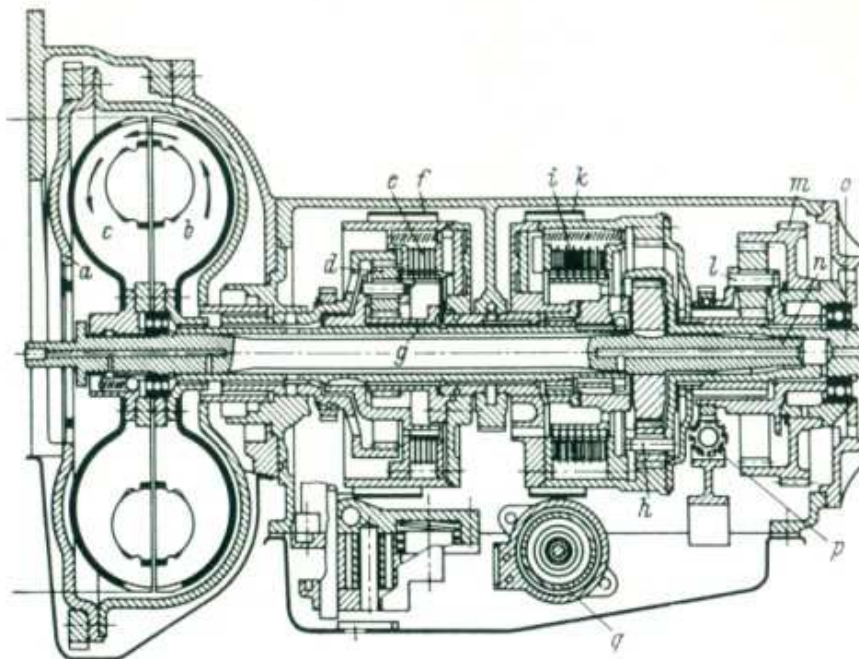
Przekładnia *Rieslera*, byłego współpracownika *Föttingera*, bazuje na sprawdzonym zmienniku Typ 1 (*Trilok* jeszcze nie istnieje), a ponadto wykorzystuje rozbudowany reduktor planetarny umożliwiający uzyskanie łącznie 4 przełożeń w tym dwóch ostatnich na drodze czysto mechanicznej. Przekładnia ta stanowi prawdziwą zapowiedź tego co nastąpi. Zawiera wszystkie typowe dla przyszłych przekładni automatycznych elementy: sprzęgła jednokierunkowe, hamulce taśmowe i sprzęgła wielopłytkowe, elementy wspomagające. Zbudowana w końcu roku 1925, badana w pojazdach Mercedesa, w istocie spełniła stawiane jej wymagania. Podzieliła jednak los wielu wynalazków, które pojawiły się zbyt wcześnie.

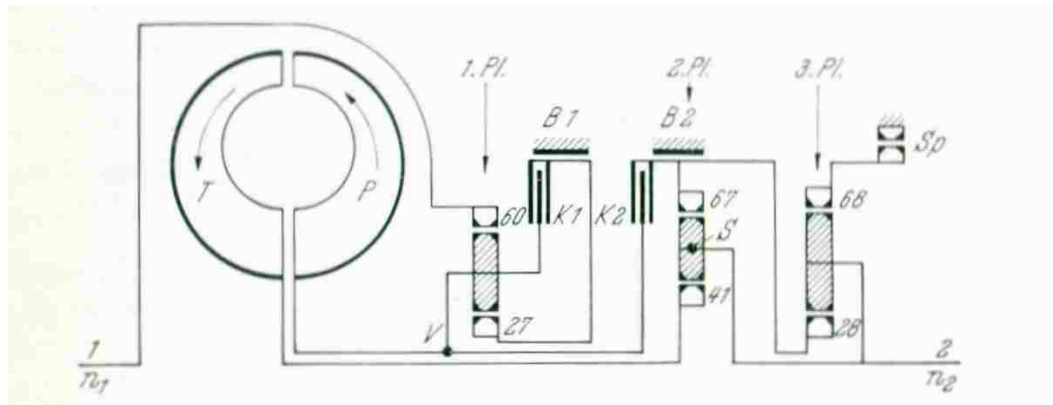
¹ Trilok – nazwa własna, anagram słów trzy i lokomotywa; patent zespołu trzech badaczy i naukowców Technicznego Uniwersytetu w Karlsruhe, Spannhake, Kluge i van Sanden. Łączy działanie przekładni i sprzęgła hydrodynamicznego w jednej obudowie poprzez umieszczenie wirnika kierownicy na wolnym kole. Po przekroczeniu tzw. Punktu sprzęgnięcia kierownica obraca się swobodnie (moment reakcyjny równa się 0), a układ przechodzi do pracy sprzęgłowej.



Rys.8. Przekładnia *Riesler'a* – protoplasta przekładni hydromechanicznych 1926, [2]

Föttinger już w 1938 roku przedstawił pogląd, że walory przekładni hydrodynamicznej można dodatkowo poprawić poprzez wykorzystanie procesu rozdziału mocy. Przekładnia hydrodynamiczna pracuje wówczas tylko w jednej z gałęzi równoległego przepływu mocy; druga gałąź przenosi moc na drodze czysto mechanicznej. Proces ten podwyższa sprawność przeniesienia napędu od 5 do 10% i pozwala na zmniejszenie wymiarów zmiennika, choć jednocześnie zmniejsza maksymalne przełożenie dynamiczne układu. Idea ta znalazła początkowo ograniczone zastosowanie w przekładniach amerykańskich np. w znanej przekładni *Hydramatic*.





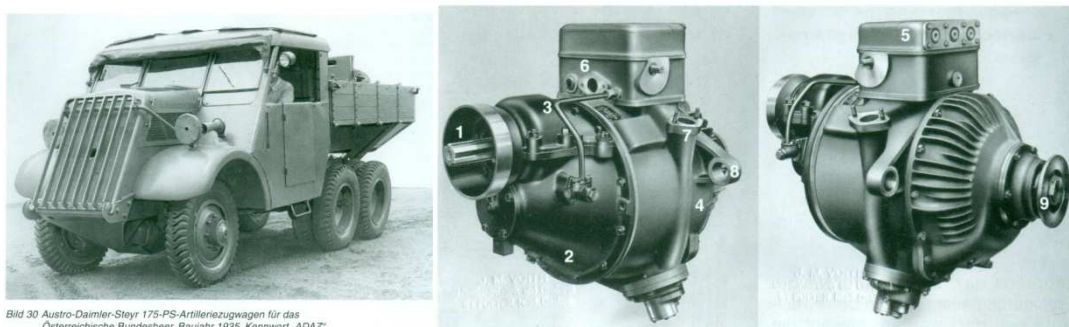
Rys.9. Przekładnia *Hydramatic* z równoległym przepływem mocy i jej schemat, [2]

Szerokie zastosowanie znajdzie idea równoległego przepływu mocy w latach późniejszych, między innymi w przekładni Voith 200S *Diwabus*.

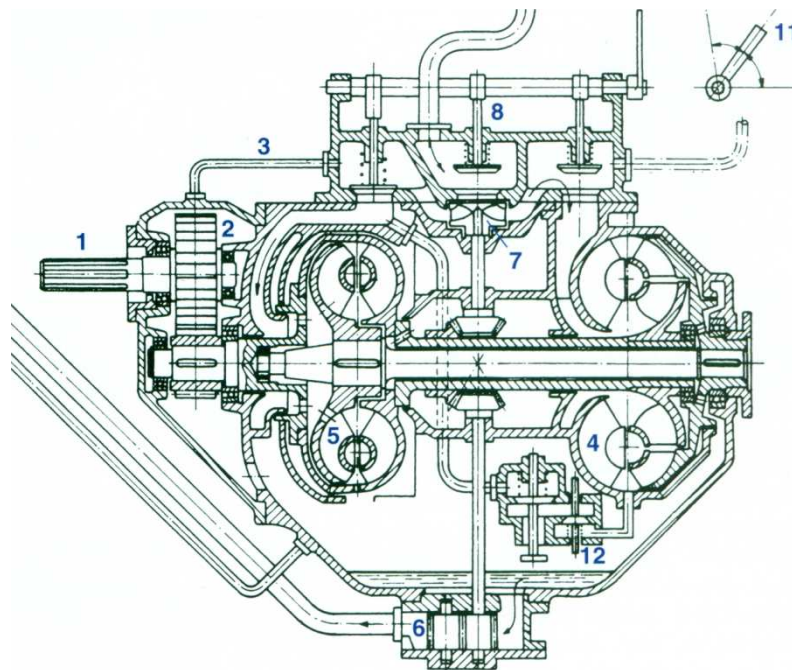
3. Przekładnie automatyczne kolejowe i specjalne

Od początku lat 30-tych trwa intensywny rozwój technologiczny i konstrukcyjny przekładni trakcyjnych kolejowych, co wynikało z pojawieniem się silników wysokoprężnych wysokich mocy i stanowiło atrakcyjny substytut dla napędu parowego (sprawność w szczycie rozwoju zaledwie 10%). Przekładnie trakcyjne bazowały na wieloelementowych przekładniach „hydraulicznych”, zawierających przekładnię hydrodynamiczną służącą do rozruchu oraz zespół 2 lub 3 sprzęgieł hydrodynamicznych zapewniających osiąganie wysokich sprawności na poszczególnych zakresach prędkości. Człony hydrodynamiczne łączyło poprzez ich napełnienie olejem roboczym. Ta linia rozwojowa przekładni automatycznych skutecznie konkuruje do dziś z napędami elektrycznymi.

Próby przeniesienia tych samych rozwiązań do napędu pojazdów drogowych nie okazały się zbyt udane. Jedną z nich było zastosowanie przekładni kolejowej Voith typu *JCL 5,4 m2* (nota bene zastosowanej do napędu tak zwanej *Lux-torpedy* (wagon motorowy SAx) kursującej na trasie Kraków-Zakopane) do ciągnika artyleryjskiego ADAZ produkcji Austro-Daimler.



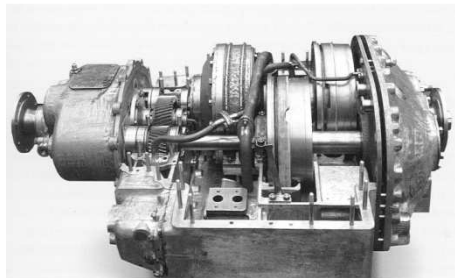
Rys.10. Przekładnia *JCL* zastosowana w ciągniku artyleryjskim ADAZ, [5]



Rys.11. Typowa wieloelementowa przekładnia trakcyjna (przekładnia + sprzęgło hydrodynamiczne), [5]

Praktyka pokazała, że zmiana biegu (tu: uruchomienie kolejnego członu hydrodynamicznego) jest zbyt wolna; oznacza to, że pojazd podczas zmiany „biegu” znacząco traci na prędkości i konieczny jest powrót na „bieg” niższy.

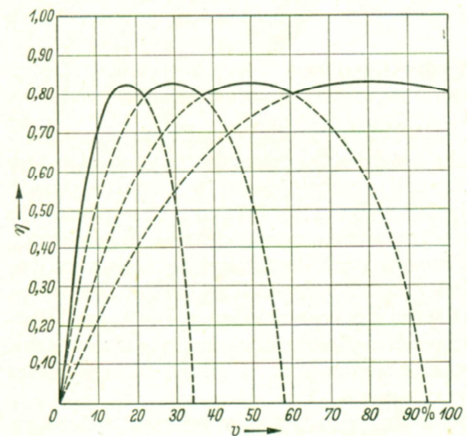
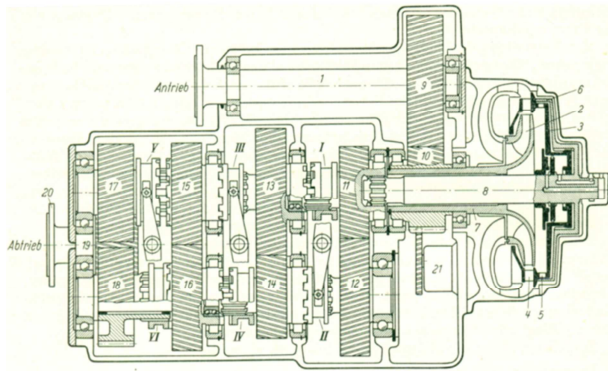
Drugą ze znanych prób jest projekt przekładni autobusowej, którą Voith skonstruował dla przewoźnika angielskiego (*London-Getriebe*).



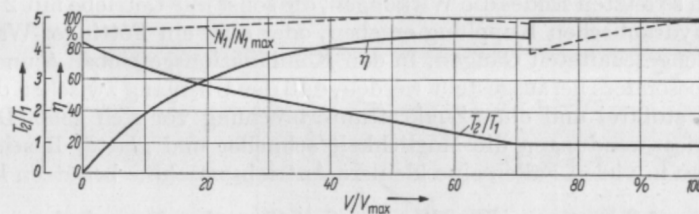
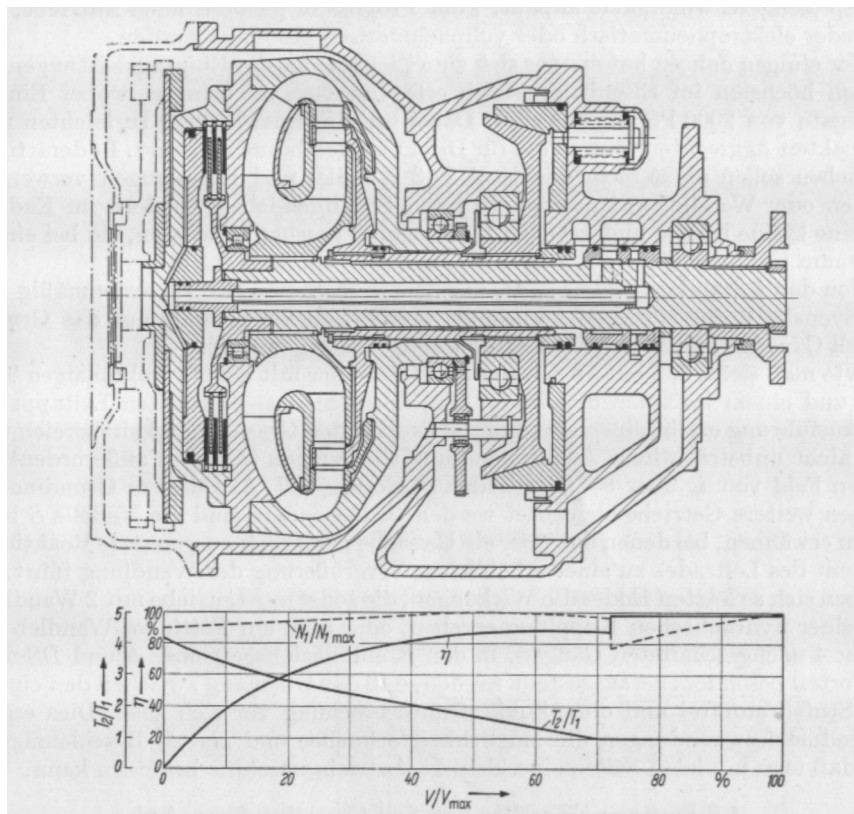
Rys.12. Przekładnia Voith skonstruowana dla londyńskiego przewoźnika, [4]

Specjalna, zwarta konstrukcja trzywałowa zawierała przekładnię hydrodynamiczną i dwa sprzęgła o różnych charakterystykach. Próby jezdne wykazały zbyt wolną zmianę charakterystyki trakcyjnej. To ostatecznie pogrzebało ideę przeniesienia przekładni trakcyjnych kolejowych do pojazdów drogowych.

Innym rozwiązaniem tego samego problemu były przekładnie typu *Lysholm – Smith*, (późniejsze *SRM – Svenska Rotor Maskiner*) i *Mykedro* znana także z zastosowań w produkowanych w Zakładach Cegielskiego wagonach motorowych. Wieloelementowe, wielozakresowe lub wielobiegowe przekładnie hydrodynamiczne, osiągające wysokie sprawności w szerokim zakresie przełożeń kinematycznych były powszechnie stosowane w napędach kolejowych, od lat trzydziestych XX wieku.



Rys.13. Przekładnia *Mykedro* – wielostopniowy mechaniczny reduktor poprzedzony przekładnią hydrodynamiczną i jej charakterystyka, [1]



Rys.14. Przekładnia SRM (*Lysholm-Smith*) z wielostopniową turbiną, [1]

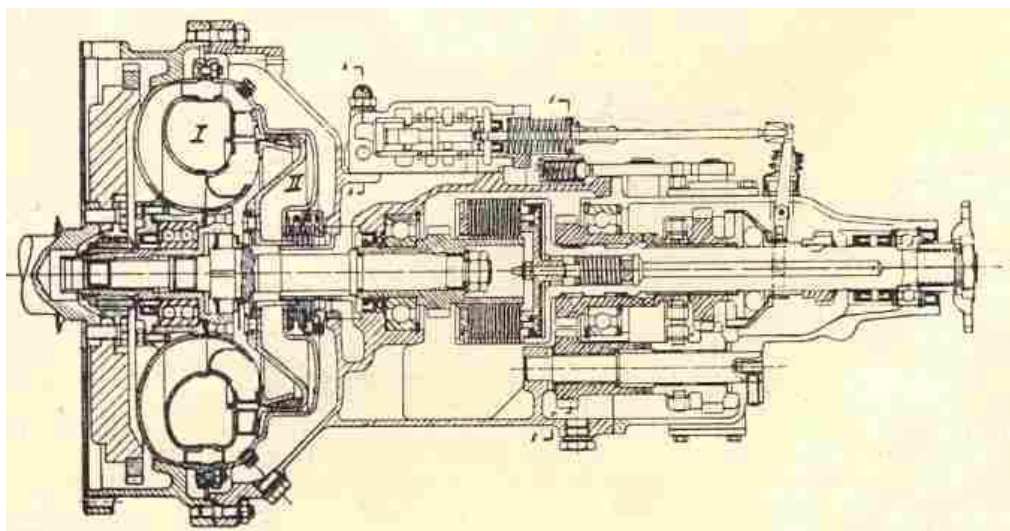
4. Przekładnie automatyczne pojazdów drogowych

Przekładnie hydrokinetyczne w zastosowaniach pojazdów drogowych ewoluowały stopniowo w stronę przekładni hydro-mechanicznych, w których istotnym elementem staje się wielobiegowy reduktor planetarny. Proces ten jest najlepiej widoczny w rozwoju przekładni amerykańskich od 1939 roku. Temat ten będzie przedmiotem odrębnego artykułu.

Rynek dla przekładni automatycznych w Europie zamarł na lata drugiej wojny światowej. W pierwszych powojennych latach nie było lepiej. W 1953 roku sformułowane zostały warunki, których spełnienie miało rzekomo ożywić i upowszechnić ideę napędów automatycznych w pojazdach osobowych [2]:

1. Przeciętny poziom życia powinien być na tyle wysoki, by komfort zawiązany ze stosowaniem przekładni automatycznych w pojazdach stał się istotnym kryterium ich wyboru.
2. Ten standard musi być na tyle upowszechniony, by umożliwić masową produkcję i związaną z tym obniżkę kosztów.
3. Musi być dostępny kapitał dla uruchomienia badań, rozwoju i specjalistycznej produkcji.
4. Nadmiar mocy silników stosowanych w pojazdach powinien rekompensować straty związane z mniejszą sprawnością napędu, zapewniając stosowne osiągi.
5. Paliwo musi być na tyle dostępne i tanie, by wobec zwiększonego zużycia nie stanowiło punktu krytycznego. Zwiększenie sprawności silników powinno zrekompensować ten mankament.
6. W końcu zaś pojazd powinien być na tyle duży, by powiększony ciężar napędu automatycznego i dodatkowe zapotrzebowanie na miejsce nie stanowiło problemu.

Zdaniem ekspertów na początku lat 50-tych warunki te w Europie w większości nie były spełnione. Pokazany na targach IAA '53 samochód Hansa 2400 wyposażony był jedynie opcjonalnie w przekładnię hydromechaniczną *Borgward*.



Rys.15. Przekładnia *Borgward* do samochodu osobowego – pierwsza europejska powojenna przekładni hydromechaniczna, [8]

Ta prosta przekładnia automatyczna wyposażona w przekładnię hydrodynamiczną Föttingera i reduktor mechaniczny o osiach stałych umożliwia jazdę na biegu pierwszym hydrodynamicznym i biegu bezpośrednim – mechanicznym. Ponadto pozwalała załączyć tzw. bieg górski (bieg 1. o zwiększonym przełożeniu). To typowa konfiguracja. Automatyzacja tego procesu jest dość prosta.

W przeciwieństwie do pojazdów osobowych, pojazdy użytkowe, głównie autobusy miały do dyspozycji większy wybór przekładni.

5. Przekładnie automatyczne pojazdów użytkowych.

Jak wyglądał rynek pojazdów użytkowych na początku lat 50-tych?. Zaczniemy od potencjału rynku pojazdów użytkowych tj. samochodów ciężarowych i autobusów. Sytuację tę ilustrują dane opublikowane w prasie technicznej [9].

4. Omnibusse				
Vidal Matador	72	—	—	142
M 1000	—	1	2	3
1—2 t Ford	40	50	—	135
1,4 t Vidal M 1400	—	1	3	17
1,5 t Hanomag	104	3	—	54
2 t Borgward	1	5	4	74
3 t Opel	237	—	—	—
3,5 t Daimler-Benz	890	84	134	1 116
Magirus	555	24	11	349
4 t Borgward	15	3	6	96
Krauss-Maffei	—	7	—	50
3—5 t Ford V 8	562	—	—	258
Diesel	—	10	8	315
selbsttrag. Diesel	—	—	—	11
selbsttrag.	—	—	—	52
5 t Büssing	698	—	—	268
Krauss-Maffei	362	7	12	96
6 t Büssing	—	65	85	449
MAN	290	1	6	127
Heckbus	9	3	6	53
6,5 t Henschel	42	2	5	41
Magirus	—	1	5	9
Südwerke	23	2	1	50
6,6 t Daimler-Benz	239	34	39	330
8 t Faun	69	14	8	84
Südwerke	15	—	—	12
12 t Büssing	—	1	—	41
Rathgeber RO 4000	3	1	—	22
Kässbohrer Setra	—	—	76	76
	4 226	319	411	4 330

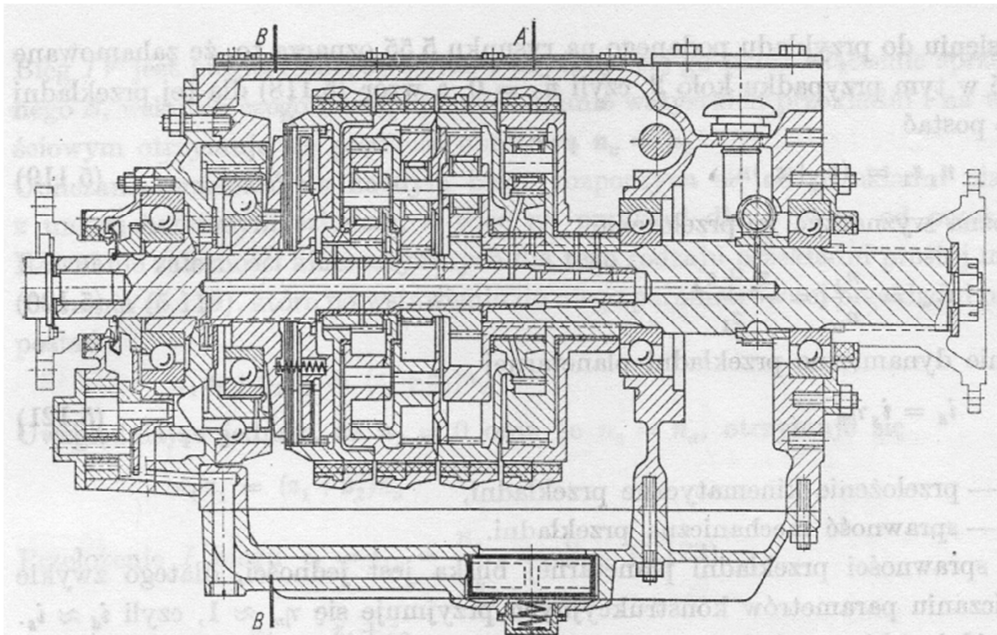
Rys 16. Statystyka sprzedaży autobusów w Niemczech w 1952 roku (ostatnia kolumna), [9]

Łączna ilość autobusów sprzedanych na rynku niemieckim w 1952 roku osiągnęła dość znaczną liczbę 4330 sztuk, jednak z naszego punktu widzenia interesujące są tylko autobusy cięższe, stosowane do komunikacji miejskiej (np. Büssing 6000 BVG) lub wyposażone w odpowiednio duży silnik (> 100 KM). Takich autobusów (>12 t) było tylko 139.

Przeglądając ofertę producentów skrzyń biegów tego okresu (w tym katalog wystawy IAA'53) można zauważyć próby wejścia na rynek z tak egzotycznymi produktami jak przekładnia hydrostatyczna *Hytrag* czy cierna *Dabo*. Jednak naprawdę poważne propozycje pojawiły się ze strony dużych graczy.

Zaczniemy nasz przegląd od przekładni znanej powszechnie jako *Wilson* (od 1919 roku), choć produkowanej przez liczne firmy na licencji i stosowanej zarówno w luksusowych samochodach osobowych lat 20-tych jak i w pojazdach użytkowych. Przekładnia ta wykonana jako planetarna wielorzędowa, sterowana hamulcami i

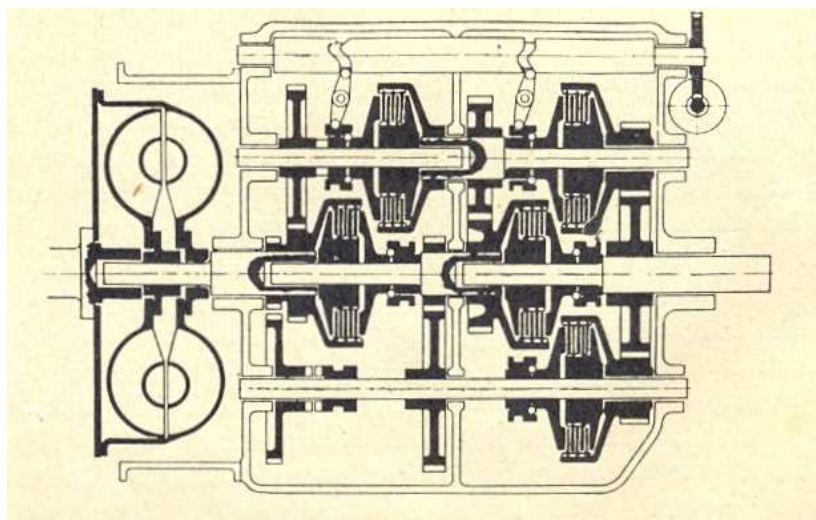
sprzęgłami załączanymi hydraulicznie, pozwalała na uzyskanie 4-ch biegów jazdy do przodu i biegu wstecznego.



Rys.17. Typowe rozwiązanie przekładni *Wilson* w wykonaniu firmy Leyland, [21]

Zaletą tej przekładni, poza jej rozpowszechnieniem (Leyland, Pont de Mouson, AEG), była łatwość automatyzacji. Przekładnię *Wilson* wyposażano w sprzęgło lub przekładnię hydrodynamiczną, co pozwalało zautomatyzować proces ruszania; przełączanie biegów odbywało się przy pomocy joysticka.

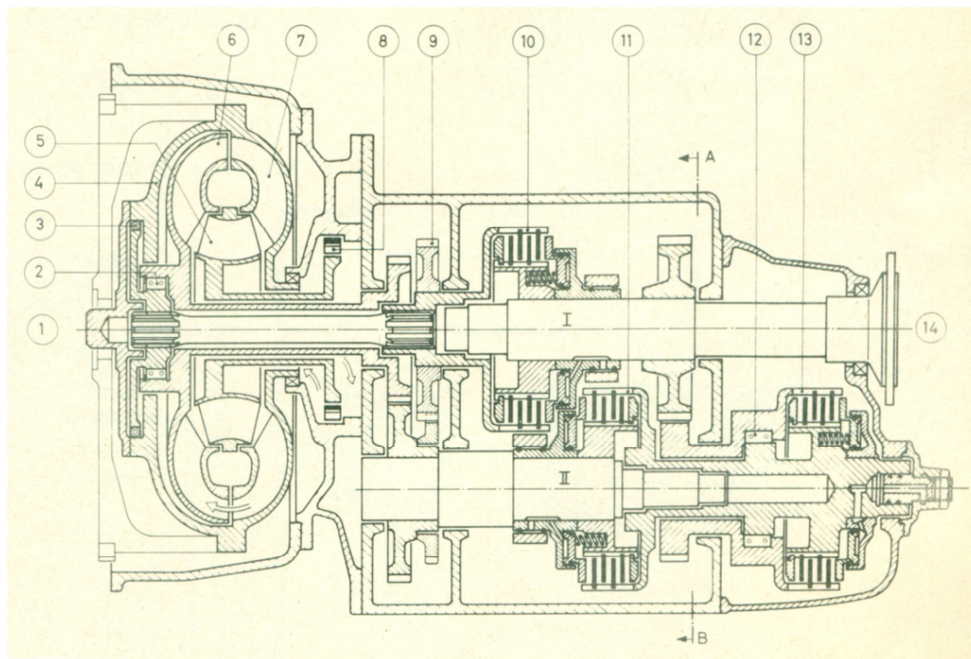
Interesujący jest pogląd głównego gracza na rynku przekładni mechanicznych, firmy ZF, która poświęcała sporo energii na wylansowanie swojej przekładni *Media*, w której proces załączania biegów (konwencjonalna przekładnia o osiach stałych, nie planetarnej) przebiegał przy pomocy sprzęgieł wielopłytkowych. Proces ten nazywano „ułatwieniem zmiany biegów” i wydaje się, że miał on na celu stworzenie substytutu nieistniejącej jeszcze w programie firmy przekładni automatycznej.



Rys.18. Przekładnia *ZF-Media* – przedstawiana jako „przyjazna w przełączaniu”, [7]

Poprzez proste dodanie sprzęgła hydrodynamicznego automatyzowano proces ruszania, jednak bez możliwości uzyskania biegów czysto mechanicznych (brak blokady sprzęgła).

Prawdopodobnie kompletacja pokazana powyżej była rozważana czysto teoretycznie, bowiem w prasie omawia się już inną koncepcję przekładni (nie pokazanej na IAA'53), w której przekładnia hydrodynamiczna jest zintegrowana z reduktorem mechanicznym i może być na biegu mechanicznym omijana. Reduktor pozostał w istocie bez zmian. To klasyczna konstrukcja o wałkach stałych, zajmująca stosunkowo dużo miejsca i mająca istotne ograniczenia ze względu na wielkość przenoszonego momentu w stosunku do przekładni planetarnych. Przekładnia ta znana jest pod nazwą *Hydromedia* i występowała w różnych wykonaniach. Poniżej pokazano wersję *2HM 70D* stosowaną w układach napędowych autobusów.



Rys.19. Przekładnia *Hydromedia 2HM 70D* z reduktorem mechanicznym o osiach stałych i odłączanym zmiennikiem, [12]

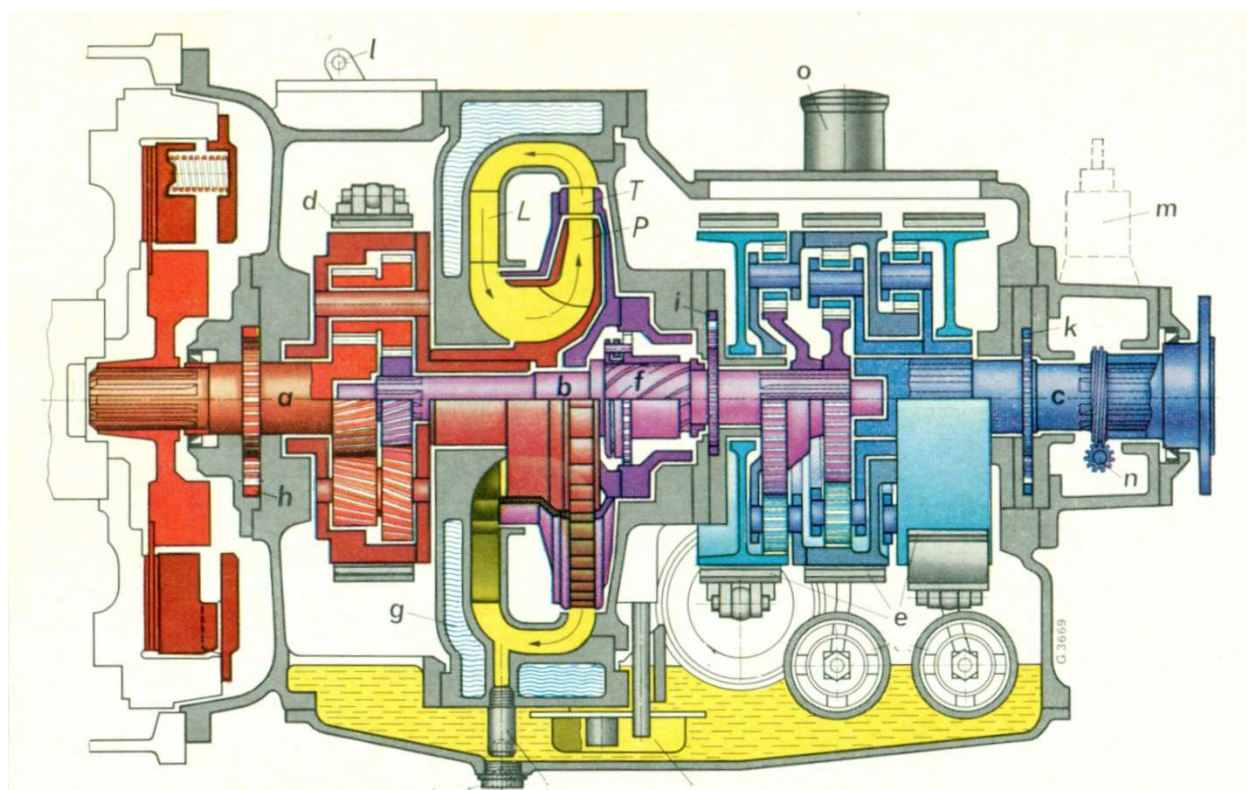
Była to przekładnia dwubiegowa, w której pierwszy bieg uzyskiwano na drodze hydrodynamicznej z udziałem reduktora, bieg drugi zaś był czysto mechaniczny. Przekładnia ta nawiązywała do tradycji europejskiej, w której przekładnia hydrodynamiczna stanowiła w istocie dodatek do reduktora mechanicznego.

Na tym tle pojawienie się na wystawie IAA produktu zupełnie nieznanego na rynku pojazdów użytkowych firmy Voith z Wirtembergii („znany producent maszyn papierniczych i turbin wodnych”), przekładni *Diwabus* stanowiło prawdziwą niespodziankę. Świadczy o tym między innymi bezradność relacji z wystawy, w których poświęcono uwagę zupełnie egzotycznym produktom (przekładnia cierna), pomijając zdarzenie, które miało decydujący wpływ na losy branży przekładni automatycznej na następne dziesięciolecie. Dla uważnego obserwatora nie było to jednak zaskakujące. W numerze ATZ, prestiżowego pisma branży motoryzacyjnej z marca 1953 roku (w dniach poprzedzających IAA) ukazał się obszerny i bardzo wyczerpujący artykuł W. Gschinga, który uważany jest za twórcę przekładni *Diwabus*, w którym opisano szczegółowo budowę i działanie, a także wyniki bardzo pozytywnych doświadczeń z miesięcy i lat poprzedzających oficjalną premierę na IAA.

6. Przekładnia Voith-Diwabus na wystawie IAA

Czym wyróżniała się przekładnia *Diwabus* na tle istniejących konstrukcji europejskich i amerykańskich tego czasu. Po pierwsze, konstrukcja powstała od podstaw, bez kompromisów typowych dla adaptacji; realizowała postawiony jej cel, adresowana była do stosunkowo wąskiej grupy odbiorców i w związku z tym nie miała wad ubocznych.

Oparta była na schemacie przekładni hydrodynamicznej Föttingera z nieruchomą kierownicą oraz promieniowymi wirnikami pompy i turbiny (przekładnia jednozakresowa, bez pracy sprzęgłowej), i reduktorze umożliwiającym osiągnięcie dwóch biegów jazdy do przodu (normalnego i górskiego). Ten sposób definiowania biegów miał również miejsce w przekładni *Borgward* i *Media*. Przełączanie między tymi biegami następowało preselekcyjnie na postoju (choć sterowane było hamulcami taśmowymi). Rewolucyjne było zastosowanie równoległego przepływu mocy: drogą hydrauliczną przez zmiennik momentu i drogą mechaniczną, dzięki czemu bieg pierwszy miał charakter mieszany hydrauliczno-mechaniczny. Dawało to całą gamę zalet, począwszy od znacznie wyższych średnich sprawności tego biegu, poprzez rozszerzenie prędkości jego stosowania, wreszcie prostą możliwość przejścia na bieg mechaniczny (drugi) poprzez zablokowanie pompy przekładni hydrodynamicznej. Schemat ten stosowany jest w przekładniach Voith-*DIWA* do dnia dzisiejszego chociaż z licznymi modyfikacjami.



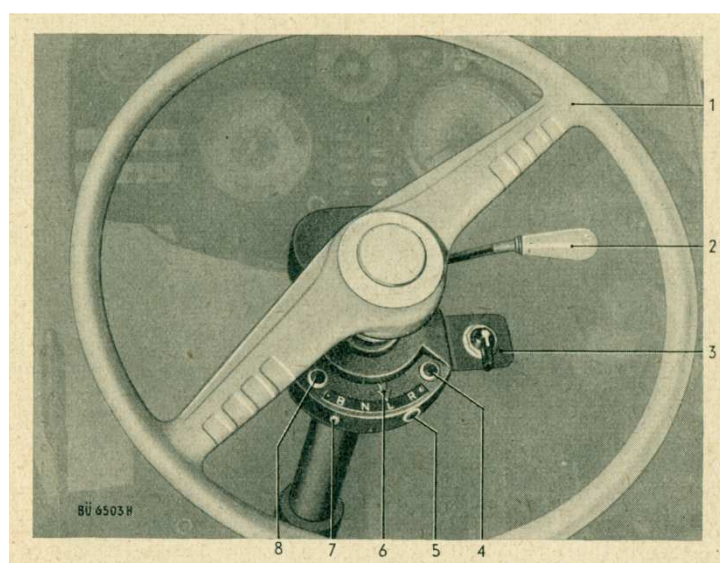
Rys.20. Przekrój przekładni *Diwabus 200S* w wykonaniu JSR, [22]

Przekładnia pokazana na IAA nosiła oznaczenie 200 S, co podkreślało seryjny (stabilny) charakter tej konstrukcji. Do sterowania pewnymi funkcjami przekładni 200S potrzeby był czynnik zewnętrzny - sprężone powietrze czerpane z układu hamulcowego. Czynnik ten zasiliał siłowniki pneumatyczne umieszczone w misce olejowej przekładni. Przekładnia hydrodynamiczna umieszczona była w nieruchomej obudowie (podobnie jak w niektórych przekładniach kolejowych), co pozwalało wprowadzić czynnik chłodzący (woda chłodząca silnik) do przestrzeni otaczającej przekładnię hydrodynamiczną. Ciepło powstające podczas

procesu rozruchu odprowadzane było do układu chłodzenia utrzymując olej przekładni w stosownej temperaturze.

Było to o tyle istotne, że przekładnia 200D na biegach mechanicznych (normalnym i górskim) mogła pracować jako retarder czyli zwalniacz, wykorzystując wirnik turbiny sprzężony z kołami jezdnyymi jako hamulec hydrodynamiczny. Jego skuteczność była gwarantowana przez wysokie obroty turbiny przyspieszanej przez przekładnię biegu mechanicznego, przy jednocześnie zablokowanych wirnikach pompy i kierownicy. To pierwsze znane zastosowanie retardera w przekładni automatycznej, tym istotniejsze, że przekładnia ta była przeznaczona do napędu autobusów drogowych i szynowych, w których procesy hamowania występują często i trwają długo, doprowadzając do przegrzewania się hamulców mechanicznych i utraty ich skuteczności.

Przed ruszeniem kierowca wybierał na ręcznym wybieraku żądany bieg (V, R lub N), przy czym, w zależności od topografii miasta mógł wybierać między biegiem jazdy do przodu, normalnym lub górskim. Zgodnie z instrukcją obsługi, na biegu normalnym pojazd mógł pokonywać wzniesienia do 10%, co w przeciętnych warunkach było całkowicie wystarczające.



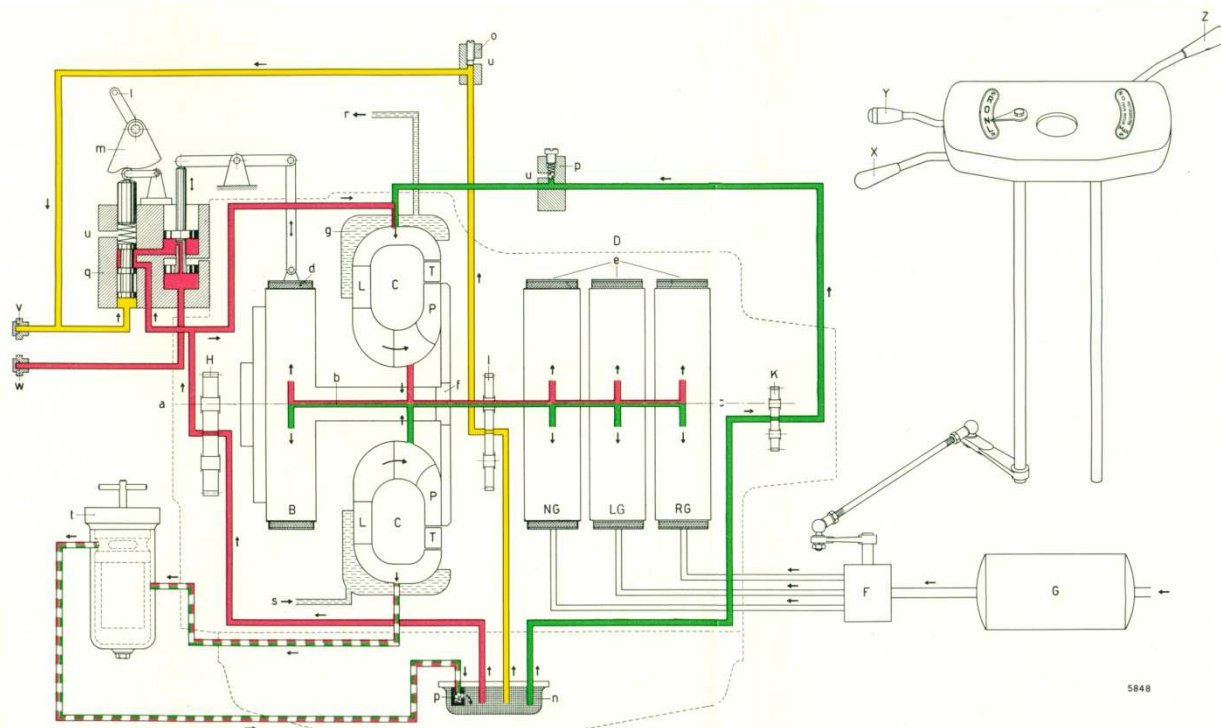
Rys. 21. Panel sterujący autobusu Büssing, [23]

Dźwignia przełączająca zakresy pracy przekładni Diwabus pokazana na rysunku 21 oznaczona jest cyfrą 2, pozycja 6 pokazuje wybrany zakres: B- „Berg” – bieg górski, N „Normal” - bieg normalny, L - „Leer” bieg neutralny i R – bieg wsteczny. Wybranie N powodowało zaciśnięcie jednego z hamulców „e” (rysunek 20), co powodowało połączenie wału silnika z kołami, przy czym przepływ mocy zgodnie z tym, co już zostało powiedziane, był równoległy. W miarę wzrostu prędkości jazdy i obrotów wału wyjściowego skrzyni rosła moc przenoszona drogą mechaniczną a malała moc przenoszona przez przekładnię hydrodynamiczną. Proces ten zapewniał wzrost sprawności w trakcie rozpędzania. Po osiągnięciu prędkości jazdy od 45 do 60% V_{max} (w zależności od położenia pedału gazu) następowało automatyczne przełączenie skrzyni na bieg mechaniczny poprzez zaciśnięcie siłownikiem hydraulicznym hamulca „d”. Czynnikiem roboczym o ciśnieniu proporcjonalnym do prędkości jazdy, zapewniała zębata pompa sterująca oznaczona na rys. 20 literą „i”. Turbina przekładni hydrodynamicznej połączona była z wałem przejściowym poprzez wolne koło, co powodowało automatyczne jej odłączenie po przejściu na bieg mechaniczny. Przełożenie biegu mechanicznego (drugiego) wynikało z przełożenia wewnętrznego mechanizmu różnicowego rozdzielającego i przełożenia mechanizmu planetarnego biegu pierwszego.

Dla osiągnięcia efektu hamowania hydrodynamicznego na biegach mechanicznych należało przymusowo połączyć turbinę z wałem przejściowym. Wykonywano to pneumatycznym siłownikiem, który przesuwiał tuleję wolnego koła „f” powodując zazębienie turbiny z wałem.

Przekładnia wyposażona była w trzy pompy olejowe zębate służące kolejno do: podtrzymania ciśnienia w przekładni hydrodynamicznej (zapobiegało kawitacji) i smarowania przy napędzie – pompa „h”, podawania ciśnienia sterującego proporcjonalnego do prędkości wału wyjściowego - pompa „i” i smarowania podczas jazdy wybiegiem i holowania pojazdu – pompa „k”.

Schemat sterowania przekładni *Diwabus* z instrukcji obsługi autobusu *Berna* pokazano poniżej.



Rys.22. Schemat sterowania przekładni *Diwabus* [24]

Wybór biegu przez kierowcę powodował zasilenie sprężonym powietrzem jednego z trzech siłowników pneumatycznych: tu NG oznacza „Normal-Gang” – bieg podstawowy, LG – „Langsam-Gang” – górski (powyżej 10% nachylenia) i RG – bieg wsteczny.

Po osiągnięciu zadanej prędkości jazdy, ciśnienie w pompie sterującej „i” osiągało wystarczającą wartość by pokonać opór sprężyny w zaworze sterującym „q”. Napięcie sprężyny rośnie wraz ze wzrostem napełnienia silnika (położenia pedału gazu), zatem punkt przełączenia przesuwa się w kierunku większych prędkości jazdy przy zwiększonym nacisku na pedał (aż do 65% V_{max}). Zaciśnięcie hamulca taśmowego „d” pod wpływem siłownika hydraulicznego (część zaworu „q”) powoduje zatrzymanie pompy „P” przekładni hydrodynamicznej i przejście na bieg mechaniczny. Przełożenia mechaniczne były różne w zależności od wykonania. Dla wariantu miejskiego JSR wynosiło:

- dla biegu normalnego – 0,83
- dla biegu górskiego (miejskiego) – 1,37
- dla biegu wstecznego – 0,94.

Dziwić może niewielkie mechaniczne przełożenie biegu drugiego. Pamiętać jednak należy, że bieg ten załączał się przy stosunkowo dużej prędkości: dla autobusu Büssing 6000T w wykonaniu dla BVG maksymalna prędkość wnosila 77 km/h, co daje prędkość przełączenia na bieg drugi w granicach od 35 do 46 km/h. Dla tej prędkości jazdy przełożenie mechaniczne skrzyni rzędu 2, przy odpowiednim przełożeniu mostu napędowego jest całkowicie wystarczające.

Uderzająca dla tego projektu jest prostota i celowość, a także wielofunkcyjność poszczególnych zespołów. Kompensuje to komplikację jaką wnosi ze sobą dodatkowy mechanizm rozdziału mocy. W *Diwabus* pełni on jednocześnie rolę przekładni biegu mechanicznego. Przyjęcie schematu z rozdziałem mocy rozwiązuje również problem wyłączenia przekładni hydrodynamicznej z obiegu mocy na biegach mechanicznych. Zablokowanie pompy i rozłączenie turbiny powoduje, że na biegu mechanicznym przekładnia hydrodynamiczna nie generuje żadnych strat, nawet wentylacyjnych.

Możliwość chłodzenia obudowy przekładni hydrodynamicznej pozwalała utrzymywać temperaturę oleju w zadanych granicach ograniczając proces starzenia i pogarszanie własności smarnych. Do zasilania przekładni hydrodynamicznej używano wówczas oleju silnikowego, który smarował również wszystkie elementy mechaniczne. Zalecano wymianę oleju co 5000 km (sic!), choć dopuszczano ponowne użycie, jeśli organoleptycznie stwierdzono zadowalający stan oleju. W ramach koniecznych czynności obsługowych instrukcja wymienia również konieczność regulacji hamulców taśmowych (ze względu na zużycie) oraz możliwość nastawiania prędkości przełączania na bieg mechaniczny (przez regulację napięcia sprężyny reakcyjnej w zaworze sterującym).

7. Dalsze losy przekładni *Diwabus*

Pokazana na wystawie IAA wersja przekładni 200D była konstrukcją gotową do produkcji seryjnej, która zgodnie z zapowiedziami miała rozpocząć się w roku 1954. Pod nazwą 200S (od **Seria**) pojawiła się w wielu autobusach miejskich, do których zgodnie z założeniami konstrukcyjnymi i zapowiedzią w materiałach promocyjnych była przeznaczona.

Jej rozpowszechnienie, wbrew ogólnym przekonaniom (cytowanym w niniejszym tekście) było możliwe dzięki sprzyjającym okolicznościom zachodzącym także w technice budowy autobusów. Umieszczenie leżącego silnika z tyłu pojazdu wywoływało problemy techniczne związane ze skutecznym sterowaniem sprzęgłem ciernym i biegami w skrzyni mechanicznej. Na to wyzwanie odpowiadały przekładnie częściowo automatyzowane takie jak Wilson czy ZF-Media oraz użycie sprzęgła hydrokinetycznego. Jednak już podczas wystawy IAA komentator pisma *Automobil Revue* [19] zauważył, że konstrukcjom tym wyrósł silny konkurent w postaci przekładni *Diwabus*. Jak wspomniano powyżej przekładnia *Diwabus* dedykowana była dla autobusów miejskich. Zastosowany w niej układ 2 biegów, z pierwszym biegiem hydromechanicznym obejmującym prędkość do ok. 30 km/h był zupełnie wystarczający w ruchu miejskim. Dane z roku 1958 dla Berlina pokazują, że w ścisłym centrum średnia prędkość wynosiła 21 km/h zaś dla peryferii rosła do 27 km/h.

Voith nawiązał kontakty z wieloma producentami autobusów. Poza wspomnianymi już *Büssing* i *Kraus-Maffai* związał się ściśle z dwoma firmami szwajcarskimi *Saurer* i *Berna*. Przekładnia *Diwabus* figuruje jako opcja w obu markach, dla autobusów miejskich solo i przegubowych z silnikiem 160 KM². W 1958 roku ukazała się informacja, że sprzedana dotychczas w ilości ponad 1000 sztuk przekładnia *Diwabus* będzie produkowana w ramach licencji przez firmę *Berna*. Ciekawą ilustracją tego faktu jest luksusowo wydana instrukcja obsługi przekładni sygnowana przez tę firmę.

² Berna typ 3VUR i 2VUX, 12 ton, Saurer typ 3DUR, DUX, 12 ton I 5DUK – 17,5 tony, 5DUB – 16ton.



Rys.23. Instrukcja obsługi przekładni *Diwabus* sygnowana przez producenta autobusów *BERNA* [24]

Przełomowym rokiem okazał się rok 1958. W numerze z 28 marca 1958 roku czasopismo branżowe *Commercial Motor* [20] zamieszcza obszerny artykuł o podjęciu przez berlińskiego przewoźnika miejskiego BVG decyzji o wyposażeniu wszystkich 675 autobusów, w większości piętrowych Büssing 6500 T w przekładnię *Diwabus*. Decyzja ta poprzedzona była kilkuletnimi badaniami polowymi. Zdaniem autora tekstu, była to pierwsza w Europie w tej skali decyzja o zastosowaniu przekładni automatycznej w autobusach miejskich.

W ciągu dziesięciolecia następującego po premierze roku 1953 przekładnia *Diwabus* znalazła zastosowanie w wielu europejskich autobusach.

Rok 1963 - koniec pierwszej dekady istnienia *Diwabus*, jest istotny jeszcze z jednego powodu. Wtedy to oficjalnie zainaugurowano seryjną produkcję konkurencyjnej przekładni firmy ZF 2HP 45 *Busmatic* [25], [[26]. Przekładnia ta w bezpośredni sposób nawiązywała do standardu wprowadzonego przez *Diwabus* do napędów autobusów miejskich. Wyprzedzenie konkurenta o 10 lat może stanowić istotny powód do dumy.

Łącznie do końca lat 70-tych wyprodukowano ponad 22 tysiące przekładni 200, D501 i D506, które były w prostej linii potomkami *Diwabus*.

Schemat równoległego przepływu mocy stosowany jest z sukcesem w przekładniach Voith-*DIWA* do dnia dzisiejszego.

Literatura:

- [1] E. Kickbusch, Föttinger-Kupplungen und Föttinger-Getriebe, Springer-Verlag, 1963.
- [2] J. Stüper, Automatische Automobilgetriebe, Springer-Verlag, 1965.
- [3] M.Wolf, Strömungskupplungen und Strömungsgetriebe, Springer-Verlag, 1962.
- [4] H.Schweikert, Voith Antriebstechnik. 100 Jahre Föttinger-Prinzip, Springer, 2005
- [5] W. Petzold, Voith-Turbogetriebe 1930-1985, 2. Triebwagen, Voith Turbo.
- [6] W. Gsching, Das Voith-Diwabus-Getriebe, ATZ, Nr 3, März, 1953.
- [7] K.Kühner, Der neuzeitliche Getriebebau und das ZF-Media-Getriebe, ATZ, Nr 3, März, 1953.
- [8] R.Stolle, Das Borgward-Strömungs-Getriebe, ATZ, Nr 3, März, 1953.
- [9] Buchman, Die 36. Internationale Automobil-Ausstellung in Frankfurt 1953, ATZ, Nr 3, März, 1953.
- [10] F.Kugel, Föttinger-Kupplungen für Strassenfahrzeuge, ATZ, Nr 3, März, 1953.
- [11] F.Kugel, Strömungskupplungen zum Antrieb von Kraftfahrzeugen, ATZ, Nr 3, März, 1951.
- [12] K.Kühner, ZF-Hydro-Media-Getriebe, ATZ, Nr 4, April, 1954.
- [13] Der deutsche Bus, ADAC, Nr 4, 1953.
- [14] Das war Frankfurt, ADAC, Nr 4, 1953.
- [15] Voith-Diwabus-Getriebe für Strassen- und Schienenbusse, Auto-Motor und Sport, Nr 5, 1953.
- [16] Der deutsche Nutzfahrzeug an der Schwelle der IAA 1953, Auto-Motor und Sport, Nr 6, 1953.
- [17] Nutzfahrzeug-Neuigkeiten der IAA 1953, Auto-Motor und Sport, Nr 7, 1953.
- [18] Das Diwabus-Getriebe von Voith, Automobil Revue, Nr 47, 1955.
- [19] Vollautomatisches Getriebe für Stadtnibusse, Automobil Revue, Nr 3, 1958.
- [20] Fully Automatic Gears for All Berlin Busses, Commercial Motor, 28 March, 1958.
- [21] K. Studziński, Budowa samochodów,

- [22] Materiały informacyjne firmy Voith
- [23] Handbuch für das Voith-DIWABUS-Getriebe Typ 200D im Büssing Trambus 6000T, Ausgabe Juli 1954,
- [24] Betriebsvorschrift für das Voith-Diwabus-Getriebe, BERNA, Ausgabe 1958
- [25] Rückschau auf die Frankfurter Automobilausstellung, Automobil Revue, Nr 42, 1963
- [26] O.Schwab, ZF-Hydromedia-Getriebe2 HP-45 (Busmatic) für Stadtomnibusse, ATZ, Nr 2, 1965.

Linki:

Muzeum Automatycznych Przekładni Autobusowych MAPA: <http://muzeumapa.pl/witamy-w-mapa/>