

# Mechanika v 7. triede

Osvedčila sa výstavba vyučovania mechaniky podľa rozčlenenia od R. STEINERA (1919):

„A až odtiaľ prejdete k dôležitejším mechanickým základným pojmom, teda k páke, kolese na páke, ku kladke, kladkostroju, naklonenej rovine, k valcu, závitovke, skrutke atď.“

Zo štyroch, možno aj piatich týždňov (lepšie tri plus dva), ktoré sú venované fyzike v tomto školskom roku, smie jeden nanajvýš ešte niečo z druhého sa využiť na mechaniku. Len na samotnej páke a jej využití môžeme pracovať týždeň. Ak pozrieme na Steinerom daný program, hneď vidíme, že mnohé možno zažiť len vo veľkých zážitkoch, nie však v presných vzorcoch či vôbec výpočtoch precvičovať. Medzi uvedenými prístrojmi, zvyšujúcimi silu, takzvanými jednoduchými strojmi, ktoré však vždy ešte sú poháňané silou tela, je aj potom len jeden, ktorý už v rozšírenom každodennom používaní môže byť použitý len pri poznaní najpresnejších čísel: váhy. Ak musia predsa poskytovať správne váženie, napríklad ako zlatnícke váhy. Pri ostatných ručných zariadeniach záleží viac na približnom zhodnotení zrnitosti sily, to najdôležitejšie je, že vôbec dochádza k uľahčeniu. Práve tak chceme pristúpiť aj ku páke a najskôr sa zamerať len na vzostup sily, bez toho, že by sme hneď do toho primiešali čísla.

## 1. Páka

Páka môže byť aj so sochorom uvedená ako zariadenie, ktoré prináša zdvíhací výkon. - Nemecké Hebel - páka - pochádza z Heben - dvíhanie (**K1**). Deti zažijú, ako sa človek približuje k ťažkým, nadol ťahajúcim silám sveta; ako si človek z oblasti dreva - ktoré sa povznáša voči tiaži - berie pákové brvno, aby niečo iné zdvihol, vzpáčil; to ide aj keď človek s dreveným uhlím redukované železo, ktoré teda tiež je zrodené so zbytkami života (Lebensresten), prepracuje na silné nosné tyče, ktoré privádzajú ešte neodolateľnejšie to, čo ťahá nadol, tiaž, do pohybu. - Žiaci čoskoro zistia, že záleží na dĺžke páky. Tyč musí byť nasadená nejako tak, že ľudská ruka zažíva akoby akési predĺženie. To potvrdzuje pokus s dlhým brvnom (**K2**). Na rovnako dlhé ramená páky pôsobia sily hmotnosti - ako už z rovnoramennej hojdačky poznáme - rovnako silno; naproti tomu nie, ak jedna sila sedí „na dlhšej páke“. Formulujeme: Čím dlhšie je rameno páky, tým silnejšie pôsobí sila a naopak, čím kratšie, tým slabšie. Môžno takto silu vystupňovať do nezmerateľna? To by asi vyžadovalo veľmi pevné pákové tyče. A vôbec: Čo sa deje vo vnútri pákovej tyče, ako ona zo seba vytvára zrnitosť sily? Je vo vnútri vystavená vôbec ovnakému napätiu (**K3**)? Trvanlivosť tyče, ktorá je hrubšia uprostred ukazuje, že vôbec nie je najviac zaťažovaná na koncoch, kde pôsobí tiaž, ale na bode otáčania. Aj forma ohnutia tyče, ktorá je všade rovnako hrubá to ukazuje bezprostredne; a súčasne že rameno páky sa pri ohýbaní hore ťahuje, dole stláča: Teda hore je pod ťahovým a dole pod tlakovým napätím.

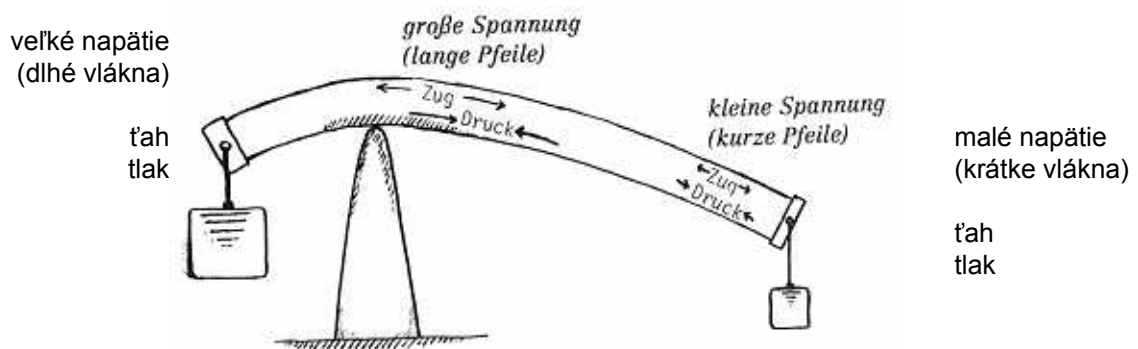


Abb. 55: Der verbogene Hebelbalken

Obr.55: Ohnuté brvno páky

Na veľkosti ohnutia vidíme: ku bodu otáčania tieto ťahové a tlakové napätia vzrastajú, ku koncom klesajú.

Ak napríklad mám so závažím vpravo rovnaké závažie vľavo udržať v rovnakom odstupe, tak by som mohol aj - ako je ukázané - namiesto závažia vľavo ďaleko, použiť oveľa väčšie závažie bližšie otočného bodu bez toho, že by som silu vpravo musel zmeniť. Potom sa na vnútornom stave napätia blízko otočného bodu výmenou závaží vľavo (malé ďaleko voči veľkému viac vnútri) nič nezmení - pretože nezmenené pravé závažie ďalej udržuje váhu. Veľké napätie v brvne páky v blízkosti otočného bodu je teda vždy tam, aj keď sa zavesí vôbec nie veľké závažie, ale len malé ďaleko od neho. Ku stredú stúpajú následne vždy miestne napätia v páke (hore ťah, dole tlak); a práve tak vzrastajú závažia, ktoré by tam človek mohol zavesiť. Od konca pozorované sa teda podobá stúpanie vnútorného napätia možnému, od konca k otočnému bodu stúpajúcemu zrnitosti sily. Vo vzorci vyjadrené, platí:

Záťaž krát rameno záťaže rovná sa sila krát rameno sily.

$$Z \times z = S \times s$$

Pritom záťaž krát rameno záťaže „chce“ pákové rameno otočiť v opačnom smere, ako sila krát rameno sily. Väčšinou sa ale ešte ukážu ďalšie pokusy a - po istom zážitkovom spojení - ešte trochu precvičíme, ako sme to zvládli, aby sme

prebúdzajúce sa intelektuálne sily previazali s pokojnou námahou. Potom môžeme prejsť ku váhe. Tam je vnútorná súvislosť ramena páky konsolidovaná, nevystupujú žiadne veľké napätia - tu záleží už len na tom, čo sa na váhu vešia (**K4**).

Predchádzajúce úvahy nemali byť žiadnou hlbavou prísadou k na sebe a osebe predsa matematicky jasnému zákonu páky, ale vyznačujú vlastný pedagogický cieľ tejto témy. Vyučovanie vzorcov a výpočet číselných hodnôt a vôbec čistá náuka o pohybe (foronómia), vnáša do hry abstrakciu zo spodných zmyslov (miera, číslo, línia). Také niečo škodí od prežívania odrhnutému intelektu. Vcítienie sa do vnútorných napätí skutočných vecí naproti tomu vedie k prepracovaniu konkrétnych zážitkov všetkých zmyslov. Žiak sa pýta: Ako by som sa cítil v tom napätí, ktoré tam vládne, keby som bol materiálom tohto brvna, kde vonku trvalo tlačia tieto sily. S vôľou, prežívanou v tejto sile, sa vyvolávajú ku vnímaniu zmysel pre pohyb, zmysel pre rovnováhu a životný zmysel; pripájajú sa ku horným zmyslom, pretože človek sa i na viditeľnom ohýbaní orientuje podľa počuteľného praskania. Ak sa teraz brvno zaťažá až blízko prasknutia, podnecuje tento proces intenzívne spolucítienie, vcítovanie. Tento pocit môžeme po pokuse charakterizovať a nakoniec pretkať predstavou (napr. miestneho napätia v dreve). Tým príde do hry celý človek. Od chcenia (kladenie dlaní) pokračuje objasnenie cez cítenie až k rozlišujúcemu mysleniu. V druhom sedemročí je vychovávateľsky zamýšľané vzťahnutie pocitu, jeho diferenciacia ku zvecneniu. preto by bolo chybou ponúkať senzačné výsledky so silovými, strhujúcimi veľkolepými pokusmi, aby sme nakoniec čisto vonkajškovo abstrahujúc, to jest foronomicky to zahrnuli vzorcem zákona páky a potom už len počítali. Takéto niečo by znamenalo tiahnuť intelektuálnu vrstvu vo vôli, ktorá sama v sebe smeruje ku chaotizovaniu, značilo by to zábavu a abstrakciu dosadiť na miesto pocitovo vedeného preniknutia. „Keď to neprecítiš, nikdy to neulovíš!“ (Faust I, GOETHE 1808).

Ak sme správne pocitové spojenie s jednotlivými miestami reálneho ramena páky prežili a zaoberali sa nimi, mohli by sme z pedagogiku témy pokojne prerušiť; prípadne by sme mohli ešte sprostredkovať zákon páky číselne a pohovoriť o príkladoch. Je veľa mnohorakých použití páky: Otvárač fliaš (vreckový) je jednoramenná páka s prechodom do sily, práve tak ručný luskáčik orechov, dierkovač, fúrik, často aj páčidlo (**K1**). Pri pouličnom nákupe ovocia, napríklad v Taliansku, sa ešte stretne so starými ručnými váhami (dvojramennými). Niečo takého sa dnes ešte používa ako poľovnícka váha (prasačia váha) a unesie jedného žiaka (**K5**). Čo nás pokus K3 naučí o hrúbke ramena páky, to je pri starých váhach viditeľné ako umelecká forma, napríklad na obraze „Melanchólia“ od Dürera. Pri trámovej váhe, zvlášť podľa pokusu K4 odpadá rozdiel medzi záťažou a silou. Všimneme si, že tento aj inak spočíva len na ľudských zámeroch; ktorú silu totiž chce presadiť, tú nazýva „sila“.

Pri jednoramennej páke človek ťahá v smere želaného pohybu záťaže a otočný bod leží na konci tyče; pri dvojramennej páke tento leží medzi miestami nasadenia záťaže a sily, ktoré tvoria konce tyče; človek ťahá proti smeru želaného pohybu záťaže: tlačí nadol, ak má niečo zdvihnúť. Štípacie kliešte fungujú ako dvojramenná dvojpäka (dve páky v jednom otočnom bode, ktoré pôsobia proti sebe). Rýľ sa používa nielen tak, ale aj tak. Dlhé nožnice na papier sa na začiatku ostria používajú k prestrihnutiu špagátu ako prevod ku sile, pri strihaní papiera ako prevod k rýchlosti (pomalý pohyb prstov, rýchly pohyb strihania), papier sa tým, skôr než sa môže ohnúť, prerazí. Vozík na vrecia (rudle) sa pri zdvihnutí záťaže používa ako dvojramenná, pri prevoze ako jednoramenná páka. Oba razy s prevodom do sily. Veslo vo veslici je dvojramenná páka s prevodom do rýchlosti a preklzujúcim nasadením zaťaženia na liste. Kríživý kľúč na výmenu kolies je jednoramenná dvojpäka, stred skrutky je bod otáčania, jej polomer je rameno zaťaženia; rovnako skrutkovač. S kľučkou na dverách a pedálom bicykla prechádzame k rumpálu, ktorý pevne sedí na otočnej osi. Aj medzi jednoramenným a dvojramenným existuje prechod: uhlová páka (možno ju vidieť na mnohých listových váhach a strojoch). - Zaujímavé je i preskúmanie rôznych bicyklových bŕzd a . veľmi ťažko - vyzuváku.

## 2. Koleso na hriadelí

Ak sa pri páke jedná o sily na takmer voľne pohyblivej tyči, teraz prechádzame k previazanosti takýchto síl na os (hriadel'), ktorý je pevne uložený a môže vykonávať len otáčanie. Ba v tibetskej kultúre sa bolo až do doby pred dvomi desaťročiami koleso úplne odmietané. Zatiaľ čo prednosti pojazďového kolesa voči bežnej lyži, ktorá sa šúcha po pôde (trenie!) sú ľahko prehliadnuteľné, mieru síl, ktoré sa z osi prenášajú na koleso, človek neuchopí tak ľahko. Čo sa odohráva vo vnútri osi, ktorá nejako prináša silu ku kolesu? - K zjednodušeniu najskôr pomyslime na osu s len jednou priečnou pákou na každom konci; os sa stáva na každej strane pákou, pričom ale ešte chýba rukoväť paralelná s osou:

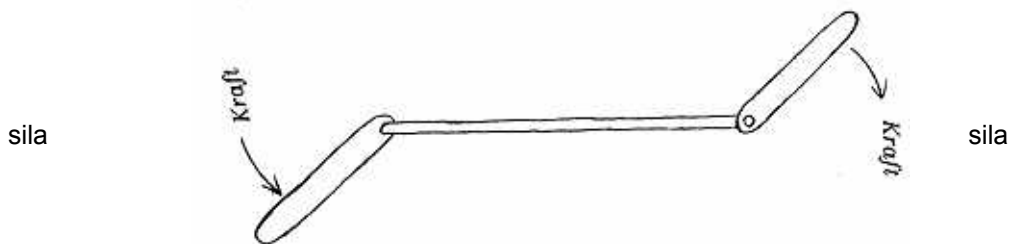


Abb. 57: Wellhebel, mit zwei Armen und Achse

Obr.57: Rumpál, s dvomi ramenami a osou

Hriadel' (os) nášho **rumpálu** je na seba vzťahnutý otočný bod dvoch polovičných pák. Otočné napätie, ktoré takáto os vnútorne uchopuje a vcelku preformováva, vedie užitočnú silu (vnesenú sily páky) od jedného konca k druhému. Os sa stáva v protiklade k pákovej tyči po celej dĺžke rovnako silno napätá (stočená); predsa však nie rovnomerne v jej priereze.

Na jej vonkajšej ploche, v povrchovej vrstve, sa napína najviac tangenciálne (otáčajúc). Ku stredu táto napätosť ubúda, pretože ubúda posuv následkom skrútenia. Preto by sa k úspore materiálu mohla použiť rúra bez toho, že by sa nejako vážne stratila únosnosť. Tak sú silové hnacie hriadele pri automobiloch väčšinou vyrobené z rúr.

Pri našich pokusoch používame rumpál s rôzne dlhými ramenami (**K6**). Na jednej strane mizne napätie cez štvorhran do hriadeľa a znovu vzhádza na druhej strane. Ploché časti blízko hrán štvorhranu sú pritom obzvlášť tlačené. Vidíme: najviac sú napätia v povrchu hriadeľa, nie v jadre. Keď človek sám seba prenesie pocitovo na miesto hriadeľa, pociťuje vnútorné skrútenie - v protiklade k priehybu pri páke. S týmto zážitkom bolo dosiahnuté to, čo je pedagogicky významné na hriadeli; teraz môže nasledovať ešte koleso na hriadeli a nakoniec aj počtové pojednanie (**K7**). Pomyslíme napríklad na studňu. Reťaz vyťahuje centové vedro. Navíja sa na kruhové brvno. Toto otáča drevené koleso, cez ktoré prebieha lano. Za lano ťahá krehká starénka. Ako ona vytiahne vedro nahor? Podľa všetkého platí: Čím väčšie je koleso, tým menšia potrebná sila ťahu, to jest tým väčšia je páka sily. A práve tak: Čím slabšie je brvno ktoré navíja reťaz, tým menšia je páka záťaže, čo opäť znižuje nevyhnutnú silu ťahu. Opäť poznávame v kolese na hriadeli rumpál: Spica kolesa (lat. radius) je rameno páky. V prípade rovnováhy (pokojného stavu) môže si človek totiž špagát na mieste, kde vchádza na koleso, na jeho behúň, myslieť ako nalepený, alebo zaháknutý nejakým hákom. Rameno páky (= rádius) máme potom od háku ku stredu osi. Keď sa špagát obkrúca, putuje síce tento bod po okruhu, ale jeho rameno páky zostáva vždy rovnako dlhé (a keď si myslíme spojenie špagáta s kolesom rozčlenené po celom obvode kolesa alebo viacerých ovinutiach, pretože špagát pevne drží na nejakom bubne adhéznym trením s dlhšou dotykovou dráhou, tak sa sila rozloží po celej tejto oblasti. Ale všade je nasadená s rovnakou pákou, rádiusom. Všetky tieto čiastočné páky spolu dávajú to pákové pôsobenie na os, ktoré sme odvodili pri háku, pretože jednotlivé sily spolu sú rovné s tou, ktorá je pri háku).

### 3. Od pevnej kladky ku kladkostroju

**Pevná kladka** môže byť použitá k porovnávaní medzi dvomi žiakmi, t.j. ako váha. Ak poznáme hmotnosť nejakého žiaka, dávajú nám tu či tam privesené závažia hmotnosť toho druhého (**K8**). Inak sa pevná kladka používa pri stavebníctve a pod krovom. Zabezpečuje, aby sa nejaká záťaž vytiahla zospodu nahor tým, že ťaháme nadol a pritom aby sa dodržal odstup od múrov či lešenia a podobne. Zostáva pritom ťažná sila na lane tak veľká, ako záťaž, len jej smer je obrátený.

Voľná kladka naproti tomu prináša práve uľahčenie, že človek musí udržať len polovicu záťaže:

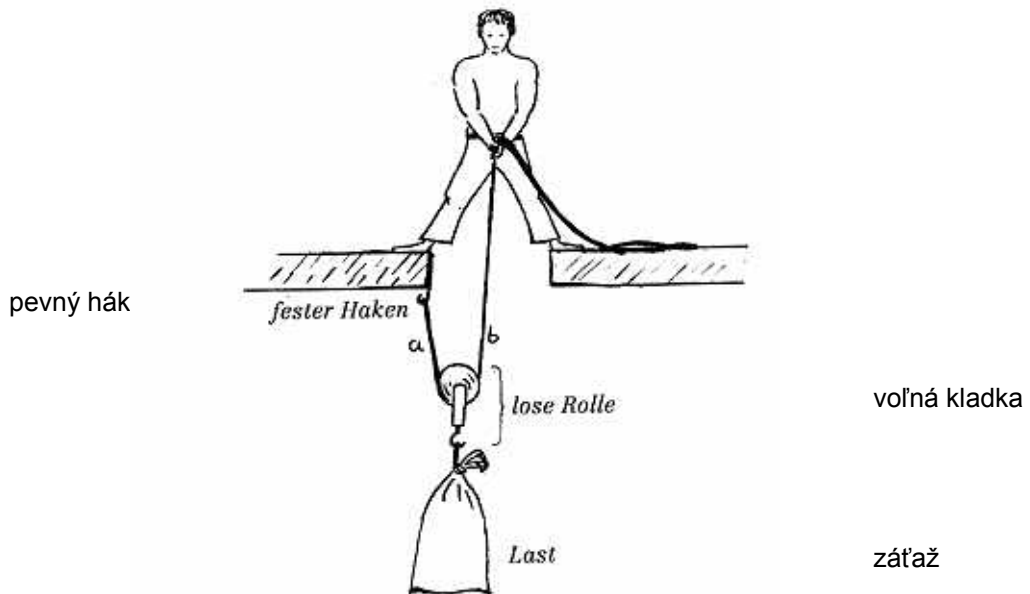


Abb. 58: Kraftzufuhr von der losen Rolle

Obr.58: Prírastok sily na voľnej kladke

To, že kladka sa môže na svojej osi otáčať, sú ťahové napätia v kúskoch lana (a) a (b) (v obr.58) rovnaké. Kúsok lana (a) ťahá teda kladku i so záťažou práve tak nahor, ako kúsok lana (b). Ak by sme pevný hák nahradili človekom, tak by tento musel udržať práve toľko, ako ten druhý. Ale keďže ťahové sily v (a) a (b) spolu práve držia záťaž, tak je každá jednotlivito len polovične veľká ako spätný ťah vreca. Usporiadanie teda prináša - odhliadnuc od vlastnej hmotnosti voľnej kladky - zmenšenie záťaže na polovicu to jest zdvojnásobenie sily. Ako sme už zažili pri páke, zmnoženie sily ide na úkor dráhy: Človek ťahá len napoly tak silno ako bez voľnej kladky a preto ťahá dvakrát tak ďaleko. Musí naťahať dvakrát toľko lana, ako keby ťahal vrece nahor len na *jednom* lane priamo. Musí takpovediac prevziať lano namiesto pevného uchytenia, kde by vlastne bol mal ťahať druhý človek. - Kvôli už tu spomenutej výhode ťahania smerom nadol kladieme koniec lana, za ktorý sa ťahá, ešte cez jednu kladku, ktorá je prichytená na povale, takzvanú pevnú kladku. Teraz si človek môže stať bokom a celkom pohodlne ťahať nadol či šikmo (**K9**).

**Kladkostroj** je len za sebou zoradenie rovnakého počtu pevných a voľných kladiek, každý druh uložený v jednom vlastnom bloku, ktorý sa v nemeckej moreplavbe nazýva „Flasche“ (viď obr.59).

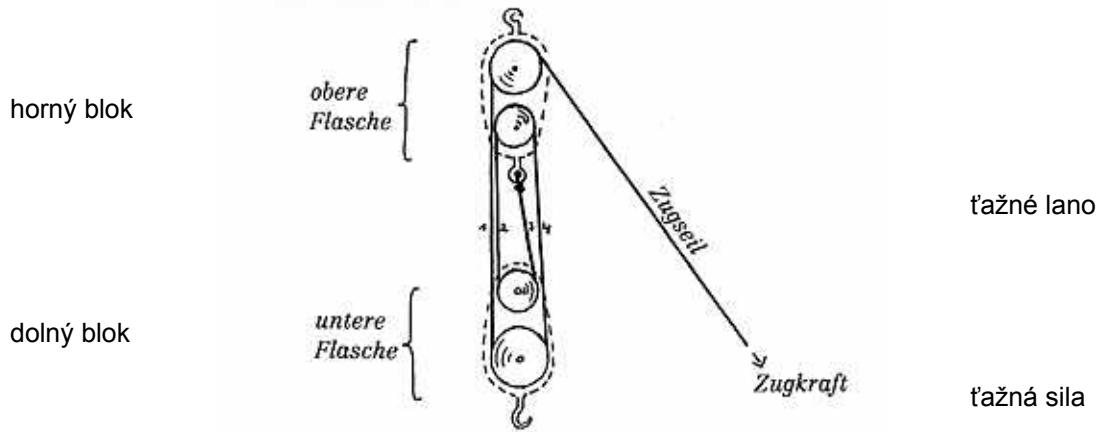


Abb. 59: Ein echter Flaschenzug

Obr.59: Pravý kladkostroj

Horný blok obsahuje pevné kladky, spodný voľné. Medzi horným a spodným blokom napočítame štyri dráhy lana. Sú medzi sebou prepojené pri ťahaní lana len otáčajúcimi sa kladkami. Majú teda rovnaké ťahové napätie. Ťah, ktorý vyvíja človek na koniec lana, pôsobí štvorako na spodný blok; tento teda môže - opäť odhliadnuc od jeho vlastnej hmotnosti - niesť štvorakú záťaž. Prírodzene musí človek pri ťahaní nahor skracovať všetky štyri laná, musí teda stiahnuť štvornásobnú dĺžku lana relatívne voči zdvihu záťaže (**K10**). V stavbárstve sa pri žeriavoch, ktoré napríklad dvíhajú hotové domové dielce, nachádza na nosnom háku takmer vždy kladkostroj s mnohými lanami, pretože tieto sa nie tak ľahko pootočia, ako jedno. Predsa len sa však starý kladkostroj tu - ako dnes väčšinou - pretvára na iný tvar: kladky sedia všetky na jednej spoločnej osi, to jest vedľa seba, nie pod sebou. Vhodnejší pre školu, pretože aj v pohybe lán prehľadnejší, je starý kladkostroj.

S dvomi kladkami teda človek buduje v zosilení dvojčinný (K9), so štyrmi štvorčinný kladkostroj. Koľko kladiek potrebujeme pre trojčinný? Pozri obr.61.

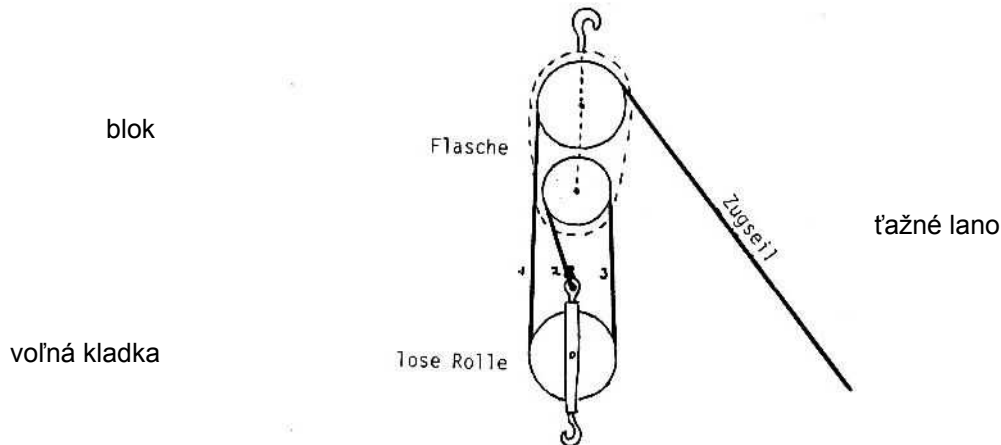


Abb. 61: Der dreifach wirkende Flaschenzug

Obr.61: Trojnásobne pôsobiaci kladkostroj

#### 4. Naklonená rovina, skrutka.

Zatiaľ čo s pákou, rumpálom a lanovou kladkou sme prišli ku číselným zákonom, Pri **šikmej rovine** by to viedlo príďaleko. To príde naspäť v 10.triede. Namiesto toho môže postačiť nechať vytiahnuť veľké závažie umiestnené v malom vozíku po šikmej rovine cez vratnú kladku malým závažím a to pri rôznych nakloneniach. Výsledok: Čím plochšie je sklonená dráha, tým menšie môže byť ťažné závažie (takmer nulové pri beztrecom pohybe po horizontále); tým menej ale aj získa záťaž vo vozíku na výške. Ak sa dráha naproti tomu stáva strmšou až nakoniec stojí kolmo, že ju možno dať preč, záťaž a sila sú rovnako veľké - dráha viac už nenesie nič zo záťaže. Ako príklad pre obrovskú záťaž, ktorá sa môže pohybovať len na jednej šikmej rovine je vyhotovenie krycieho kameňa náhrobku Theodericha pri Ravenne.

Vidíme teda: Čím plochšia je naklonená rovina, tým menšia môže byť sila, ktorá ťahá dopredu, aby prekonala veľkú tiaž, ktorá smeruje kolmo nadol. To si môžeme ujasniť: Záťaž na šikmú rovinu od prírody tlačí kolmo nadol. To uchopuje šikmá

rovina takmer úplne, keď nie je veľmi šikmá. Len malá časť nadol tlačiacej sily sa otáča od roviny do smeru, v ktorom by odtekala napríklad voda. Smer prijatia je teda práve kolmica k rovine, nie kolmica vôbec, v ktorej pôvodná tiaž tlačí. A pretože smer prijatia nesúhlasí so smerom tiaže, sklízne akože časť tiaže a ťahá paralelne k rovine.

A podobne je to i pri **skrutke**. Sila tiaže závažia na šikmej rovine to zodpovedá sile, s ktorou sa špic skrutky prevrtava dopredu poprípade hlavou skrutky na niečo tlačí či niečo udržiava (užitočná sila). Malá ťažná sila na šikmej rovine zodpovedá sile otáčania skrutkovača (vynakladanie sily); pričom je pri zábere skrutkovača od jeho rukoväte ku hranám drážky skrutky činný rumpál s prevodom do sily. Tento rumpál môže byť ešte zväčšený hrubou rúčkou alebo dokonca ešte dodatočným skrutkovým kľúčom. Otáčanie potom dokola posúva šikmú rovinu závitov a k tomu vzniká priečne veľká sila približne v smere pohybu, ktorý špic skrutky ťahuje a na hlavu tlačí. Podľa tohto princípu môže pri tzv. archimedovej skrutke slabá sila otáčania zdvihnúť mnohonásobnú tiaž vody. Ak skrutka nie je na utiahnutie, ale na trvalé ustavenie, potom trenie v závitoch udrží oveľa vyššiu silu v smere osi skrutky. - Zodpovedajúco vystupuje takáto priečna sila aj pri sekere a pri kline.