

P. g. Stanislav H u r n í k , VÚHU , p. g. Pavel S y s e l , VÚHU :

VÝSLEDKY LABORATORNÍHO OVĚŘENÍ NĚKTERÝCH DŮLEŽITÝCH PARAMETRŮ LEPENÝCH FILTRŮ

V r. 1964 uveřejnili autoři teoretickou studii o výpočtu účinné zrnitosti obsypu filtrů pro odvodňovací vrty. S ohledem na vertikální zrnitostní proměnlivost souvrství zvodněných písků v SHR navrhli stanovení zrnitosti obsypového materiálu na základě průměrného d_{50}/l ba mocnosti zvodněného obzoru. Při tom bylo doporučeno jako vyhovující rozmezí podílů d_{50} jednotlivých zrnitostně odlišných vrstev k D_{50} obsypů filtrů 5 - 15. Tímto rozmezím by mělo být podle literárních údajů zamezeno jak proplavování písčitého materiálu, tak ucpávání filtru. Vzhledem k tomu, že návrh byl čistě teoretický a vycházel v podstatě z literárních údajů, bylo provedeno jeho laboratorní ověření. Laboratorní pokusy byly zaměřeny především na ucpávání (kolmataci) a proplavování (sufosi). Mimo to byla laboratorně sledována otázka tloušťky štěrčkové filtrační vrstvy a stanovení optimálního % perforace ocelových pažnic. Všechny tyto práce byly prováděny se štěrčkovými filtry lepenými epoxi-pryskyřicí.

Kolmatace a sufosa filtrů

Laboratorní výzkum proplavování písčitého materiálu a ucpávání filtračního prstence byl prováděn na propustoměru, který byl pro tyto účely příslušně uzpůsoben (viz obr. 1). K pokusům bylo použito tmelených filtrů zhotovených z různě zrnitého křemenného materiálu, lepeného epoxi-pryskyřicí. Písek, který sloužil ke studiu kolmatace a sufosa filtrů, byl před pokusy roztržiděn na určité zrnitostní frakce. Účelem této separace bylo upřesnění znalostí o zrnitostním složení materiálu, procházejícího filtrem. Při použití netříděného písku by totiž nebylo možno získat přesnější údaje o velikosti frakcí, pronikajících filtrem, neboť nad lepeným filtrem by se mohl vytvořit ve zkoumaném písku filtr přirozený. Mimo to lze s velkou pravděpodobností předpokládat, že při pokusech by se proplavilo mnohdy malé množství písčitého materiálu, které by nestačilo na provedení zrnitostní analýzy. Stanovení velikosti proplavené frakce by potom bylo dosti problematické.

Pokusy byly prováděny následujícím způsobem:

Do propustoměru byl vsazen filtr o známém zrnitostním složení a váze a stanoven jeho koeficient filtrace. Na tento filtr byla nasypána určitá zrnitostní frakce písku, která byla předem rovněž zvážena. Po té následovala dlouhodobá cirkulace vody přes písky a filtr, přičemž voda se vypouštěla přes sedimentační nádoby, kde byl zachycován vyplavený materiál. V průběhu pokusů byly sledovány změny vydatnosti. Před skončením se provádělo několikrát nárazové zvyšování vydatnosti, čímž byly alespoň náznakově vytvořeny podmínky odpovídající nárazovému zvyšování vydatnosti odvodňovacích vrtů. Po skončení pokusů byl zkoušený vzorek písku (i proplaveného) vysušen a zvážen. Dále bylo provedeno několikrát stanovení koeficientu filtrace použitého filtru. Tytéž pokusy se prováděly na stejném zrnitostním typu filtru s několika zrnitostními druhy písků. Další série pokusů byly obdobné pouze s tím, že byl použit jiný zrnitostní typ filtru. S ohledem na zrnitost byly použity k pokusům 4 typy filtrů. Z křídového písku od Jestřebí bylo použito štěrčiku s technickým označením VP III o $D_{50} = 3,9$ mm (viz příložený obr. 2, křivka zrnitosti A), dále vytříděného štěrčiku o velikosti 3 - 4 mm, písku o velikosti 1 - 2 mm a 0,5 - 1 mm.

Ze zhodnocení všech sérií pokusů vyplynuly některé obecné závěry, platné pro dané typy štěrčikových filtrů. Na základě změny koeficientu filtrace filtrů a váhy jak filtrů, tak písků byl stanoven vzájemný poměr kolmatace a sufose. Z těchto výsledků byla sestrojena řada grafů, z nichž vyplynul obecný graf kolmatace a sufose pro filtry o zrnitosti 0,5 - 10 mm. V následujícím (obr. 3) uvádíme graf pro filtr z nevytříděného štěrčikového materiálu s technickým označením VP III. V tomto grafu byl na osu x vynášen poměr $\frac{D_{50}}{d_{50}}$, na osu y desetiny váhových % proplaveného a zachyceného písku filtrem. Na tutéž osu byly vyneseny ještě rozdíly hodnoty k filtru před a po pokusu.

Graf ukazuje, že zanášení i proplavování začíná zhruba ve stejném intervalu, tj. při poměru $\frac{D_{50}}{d_{50}} = 8$. Křivka znázorňující kolmataci (2) při zvětšování poměru $\frac{D_{50}}{d_{50}}$ dosti prudce stoupá a maxima dosahuje v rozmezí poměru 10 - 11. Od této hodnoty stupeň kolmatace klesá. Jeho pokles je však pomalejší než předchozí vzestup. Křivka rozdílů hodnoty koeficientu filtrace (1) filtru má konformní průběh s průběhem křivky zanášení filtru, přičemž maxima dosahuje opět při pomě-

ru $\frac{D_{50}}{d_{50}} = 10 - 11$. Křivka proplavování (3) ve srovnání s křivkou kolmatace vzrůstá zpočátku pozvolna. Teprve od poměru $\frac{D_{50}}{d_{50}} \approx 12$ nabývá na strmosti a při hodnotě 15 dochází k úplnému proplavování.

Z toho vyplývá, že maximum kolmatace bezprostředně předchází proplavování. To znamená, že předpoklad sovětské normy Vodgeo (viz L. Jakubský, A. Porubský 1962) o nejvhodnější činnosti filtru při poměru $\frac{D_{50}}{d_{50}} = 7 - 15$ neodpovídá skutečnosti, neboť v tomto intervalu probíhá proces kolmatace a současně s ním nastupuje i sufosa.

Nejlepší filtrační vlastnosti (s ohledem na sufosi a kolmataci) by, podle provedených pokusů, měly mít filtry s $\frac{D_{50}}{d_{50}} \leq 8$. Dále bylo zjištěno, že není nutno požadovat výrobu lepených filtrů z vytríděného materiálu. Z grafu obr. 4, který představuje průběh ucpávání a proplavování u vytríděného materiálu se zrnem 3 - 4 mm totiž vyplývá, že k oběma nežádoucím jevům dochází v tomto případě v širším intervalu. Kolmatace začíná již při necelém pětinasobku středního zrna téhož zvodněného písku a proplavování (i když méně výrazné) při sedminásobku. Lze tedy konstatovat, že skelet z nevytríděného materiálu (s podstatně větším rozsahem velikosti zrn) má v tomto směru poněkud příznivější vlastnosti, neboť do určité míry snižuje zrnitostní skok mezi zvodněným materiálem a filtrem.

V souvislosti s výše uvedenými výsledky je nutno pozměnit metodu stanovení účinné zrnitosti obsypu, navrženou autory v r. 1964. Pro posouzení možnosti výraznějšího proplavování písčitého materiálu filtrem sice tato metoda plně vyhovuje, ovšem s ohledem na kolmataci filtru je nutno místo osminásobku ϕd_{50} použít pouze čtyřnásobku. Tato hodnota v podstatě koresponduje s názory německých praktiků, kteří doporučují pětinasobek d_{50} zvodněného horizontu.

Tloušťka filtračního prstence

Právě tak jako na předchozí otázky (kolmatace, sufosa), jsou v literatuře různé názory na tloušťku obsypu či lepené štěrkovité filtrační vrstvy. Jelikož z technicko-ekonomického hlediska je nutno požadovat co nejslabší filtrační prstence (při zachování optimálních hydraulických vlastností), přikročili jsme k laboratornímu ověření této otázky. Vzhledem k tomu, že v současné době se vyrábějí lepené filtry (ZKZ Brasy) výhradně z jestřebského šterčku s technickým

označením WP II (obr. 2, křivka zrnitosti B) a VP III, bylo použito při pokusech pouze těchto dvou druhů materiálu. Pokusy byly prováděny v propustoměru, který byl upraven tak, že bylo možno měřit koeficient filtrace i v průběhu pokusů. Vlastní pokusy byly rozděleny do dvou částí. V první byly sledovány hydraulické vlastnosti samotných filtrů v závislosti na jejich tloušťce, v druhé hydraulické vlastnosti různých silných filtrů při pracovním zatížení (filtry byly přesypány nevytříděným pískem). Změny hydraulických vlastností filtrů byly sledovány výhradně na základě změn hodnoty koeficientu filtrace. Zkoušeny byly filtry o tloušťce 1 - 5 cm.

Podle dosažených výsledků je zřejmé, že hodnota koeficientu filtrace zkoušených zrnitostních typů není nikterak markantně závislá na tloušťce filtračního prstence. To znamená, že u lepených filtrů nikterak podstatně neovlivňuje hydraulické vlastnosti filtrů. Lze jen pozorovat nepříliš výraznou tendenci snižování hodnoty k směrem k jednocentimetrové tloušťce filtru. Nutno ovšem poznamenat, že rozptyl naměřených hodnot nebyl zákonitý a lze jej zdůvodnit tím, že ke každému pokusu bylo použito nově vyrobeného filtru. U filtrů se štěrčkem WP II se pohybovala hodnota k v rozmezí 200 - 300 m/24 hod., u filtrů ze štěrčku WP III mezi 550 - 950 m/24 hod.

Při pracovním zatížení filtru (průtokem vody k filtru přes nevytříděný písek) byly získány obdobné výsledky. Na počátku pokusů poklesl koeficient filtrace zhruba na polovinu, v dalším průběhu se postupně zvyšoval a většinou se ustálil kolem původní hodnoty.

Závěrem možno poznamenat, že pro důkladnější zhodnocení této otázky by bylo vhodné provést více sérií těchto pokusů s jejich statistickým vyhodnocením. Domníváme se však, že výsledky by byly obdobné.

Lze tedy shrnout, že k výrobě lepených filtrů by mohla být postačující tloušťka filtrační vrstvy u zkoušených zrnitostních druhů 1,5 cm. Tyto výsledky byly ověřeny též poloprovozně v DBI ve Freibergu v laboratoři prof. dr. H. Matschaka (ing. Walde), kde byly zkoušeny filtry s mocností filtrační vrstvy 2,5 cm a 1,5 cm s obdobnými výsledky.

Efektivní procento perforace pažnic

V hydrogeologické literatuře se vesměs setkáme s názorem, že % perforace pažnic má být pokud možno největší (bez ohledu na to, zda se jedná o korozivní materiál či nikoliv). V současné době se u nás doporučuje minimálně 15 %

perforace, přičemž se uvádí, že z hydraulického hlediska je postačujících 7 %. V PIR se dokonce běžně používá 30 % perforace. Vzhledem k tomu, že na ceně lepených filtrů, používaných v SHR se podílí vrtání 15-ti % perforace zhruba polovinou celkové částky, pokusili jsme si nutnost výše % perforace laboratorně ověřit.

Pokusy se prováděly jednak s holou perforovanou ocelovou pažnicí, jednak s pažnicí s nalepeným štěrčikovým prstencem. Prstenec byl dvojího typu. V prvním případě byl zhotoven z křídového štěrčiku s technickým označením VP II, ve druhém byl dvouvrstevný, přičemž vnitřní vrstva byla tvořena štěrčikem o zrnitosti 5 - 10 mm, vnější opět štěrčikem VP II. Dvouvrstevného štěrčikového prstence bylo použito proto, že se často předpokládají jeho lepší hydraulické vlastnosti s ohledem na potřebné % perforace pažnic. Pokusy přinesly překvapující výsledky. Bylo zjištěno, že za max. účelnou perforaci pažnice bez obsypu lze považovat 6 %. Ze sestavených grafů závislosti vydatnosti na % perforace při určitém snížení však vyplývá, že i maximálně 1 % perforace je z praktického hlediska postačující. Podle těchto grafů např. obr. 5 při snížení hladiny o 1 cm vykazuje pažnice s 5-ti % perforací (0,5 m dlouhý segment, Ø 305 mm) již takové vydatnosti, které v rámci odvodňování písků v SHR nepřicházejí vůbec v úvahu.

Pokusy s jedno i dvouvrstevným lepeným filtrem na perforované pažnicové kostře vykázaly zhruba stejné výsledky. U jednovrstevného filtru se štěrčikem VP II se zhruba ustálila max. vydatnost při 12 % perforace (viz obr. 6). Při dalším zvětšování perforace se již vydatnost téměř neměnila. Lze tedy předpokládat, že nalepením štěrčikového prstence na perforovanou pažnici se zmenší původní % perforace (v důsledku ucpání děr štěrčikovými zrny) zhruba o 50 %. Od pokusů s dvouvrstevným filtrem se očekávalo, že dojde ke zvýšení vydatnosti při nižším % perforace pažnic oproti jednovrstevnému filtru. Skutečnost však byla taková, že dvouvrstevný filtr vykazoval zhruba stejné vydatnosti jako jednovrstevný. Vysvětlit tuto shodu je možné tím, že i hrubozrnější štěrčík snižuje původní % perforace pažnic zhruba o 50 %. Pro porovnání uvádíme výsledky v grafu na obr. 7. Určitý rozdíl lze spatřovat jedině v tom, že u tohoto filtru je pozorovatelný poněkud rychlejší růst vydatnosti již od 1 % perforace, ovšem v posledních fázích je vesměs o něco nižší než u jednovrstevného.

Lze tedy shrnout, že maximální účelné % perforace u perforované ocelové pažnice bez obsypu by mělo činit 6 %, u pažnic s lepeným filtrem 12 %. Z prak-

tického hlediska však nutno považovat i tyto hodnoty zbytečně vysoké, neboť teoreticky lze při nich dosáhnout (při sníženích jaká se dosahují v praxi) vydatností přesahujících 1 000/l/min. S ohledem na v praxi dosahované vydatnosti by bylo možno např. u perforované pažnice bez obsypu uvažovat dokonce jen s max. 1 %, u lepených filtrů s 1 %, max. několika procenty. Uvedené výsledky se vztahují na vrtanou perforaci o $\varnothing$ děr 1 cm. Vliv tvaru perforace nebyl sledován. Jelikož pokusy (na nichž spolupracoval inž. Z. Formánek) byly prováděny pouze s pažnicemi o $\varnothing$ 305 mm, je diskutovatelná platnost vyslovených názorů pro pažnice s menšími průměry. Podle teoretických výpočtů lze však ještě u pažnic o $\varnothing$ 100 mm při 1 % perforace očekávat kritickou rychlost při mnohem vyšší vydatnosti, než jakou lze dosáhnout ze zvodněných písků v SHR. Rovněž nutno poznamenat, že při vyslovených názorech nebylo přihlíženo k účinkům vody na pažnice (zarůstání otvorů). To znamená, že u sond určených pro dlouhodobou exploataci by bylo zapotřebí přiměřeně perforaci zvětšit.

Závěrem lze uvést, že výsledky studia kolmatace a sufose byly ověřeny v praxi na řadě odvodňovacích vrtů v SHR a tloušťka orientačně v poloprovozních podmínkách v DŠI ve Freibergu (NDR). Ověření účinného % perforace pažnic v praxi prozatím nebylo provedeno.

S h r n u t í

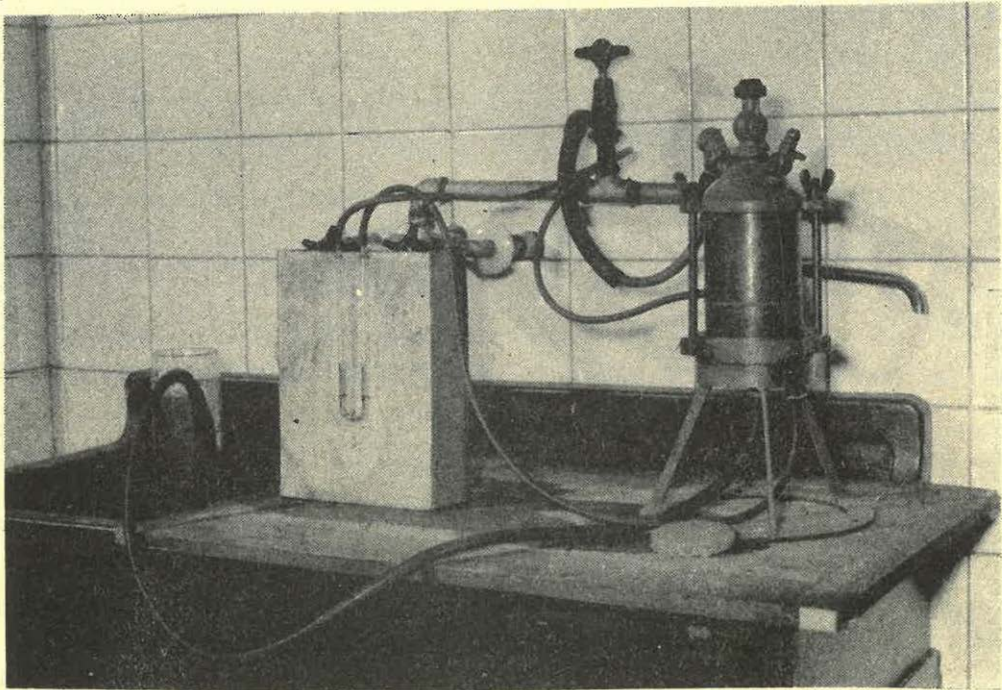
VÝSLEDKY LABORATORNÍHO OVĚŘENÍ NĚKTERÝCH DŮLEŽITÝCH PARAMETRŮ LEPENÝCH FILTRŮ

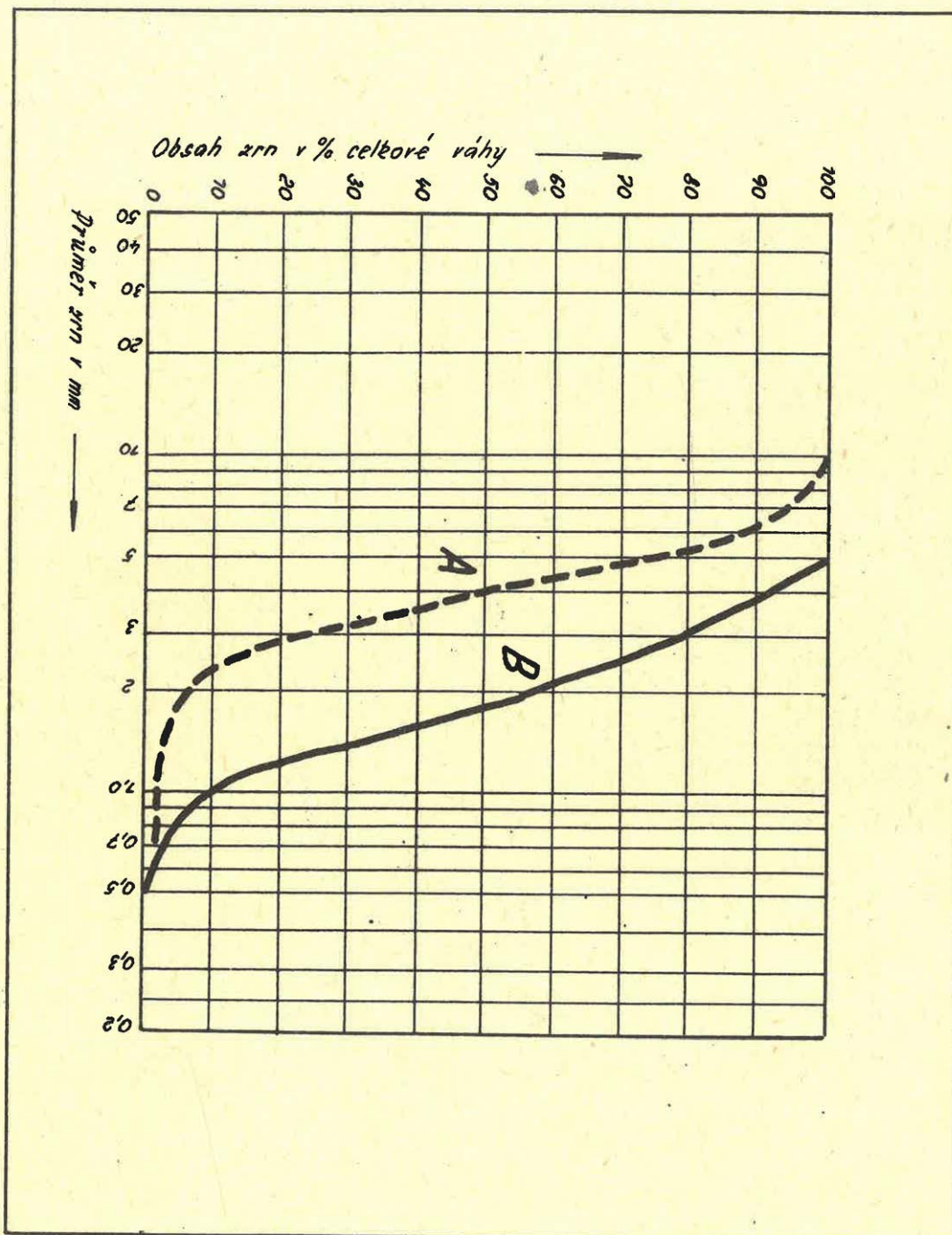
V práci jsou shrnuty výsledky laboratorních výzkumů filtrů se zaměřením na štěrčkové filtry lepené epoxy-pryskyřicí. Sledována byla kolmatace a sufosa, tloušťka štěrčkové filtrační vrstvy a stanovení optimálního % perforace ocelových pažnic bez a se štěrčkovou filtrační vrstvou.

Р е з ю м е

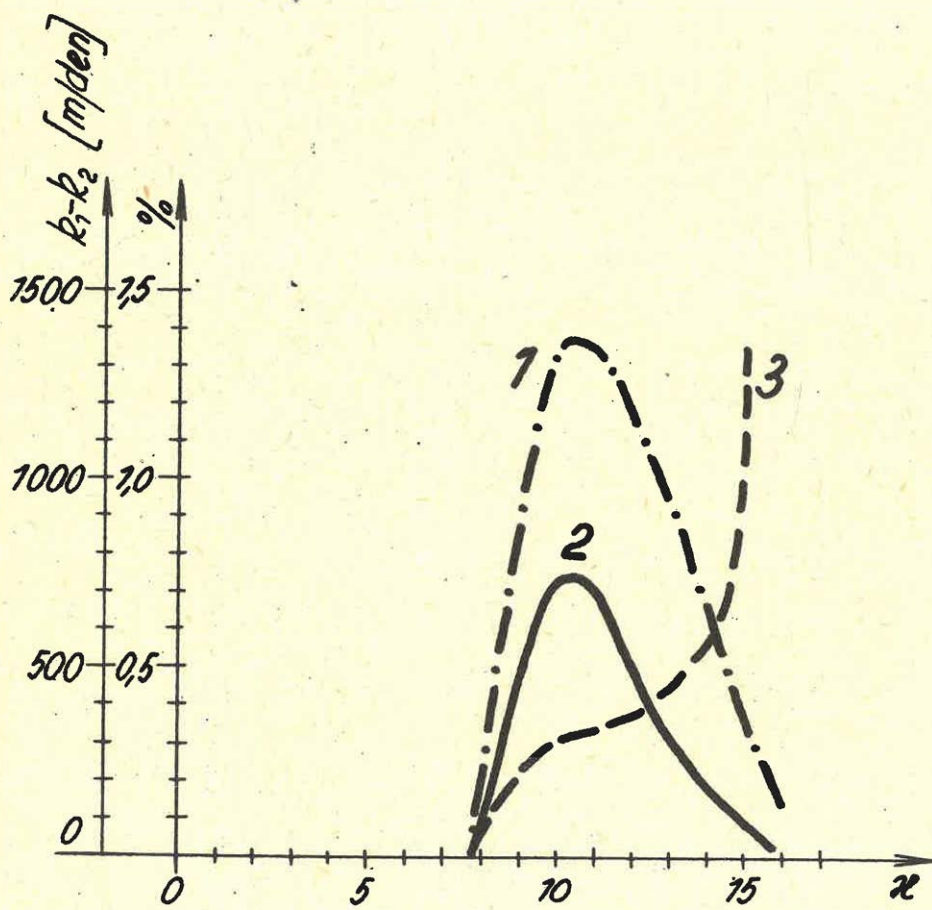
РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНОГО УДОСТОВЕРЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ВАЖНЫХ ПАРАМЕТРОВ КЛЕЕВЫХ ФИЛЬТРОВ

В работе подведены итоги лабораторного исследования фильтров именно гравийные фильтры клеенные эпоксидной смолой. Исследована кольматаж и суффозия, толщина гравийного фильтровального слоя и уста-

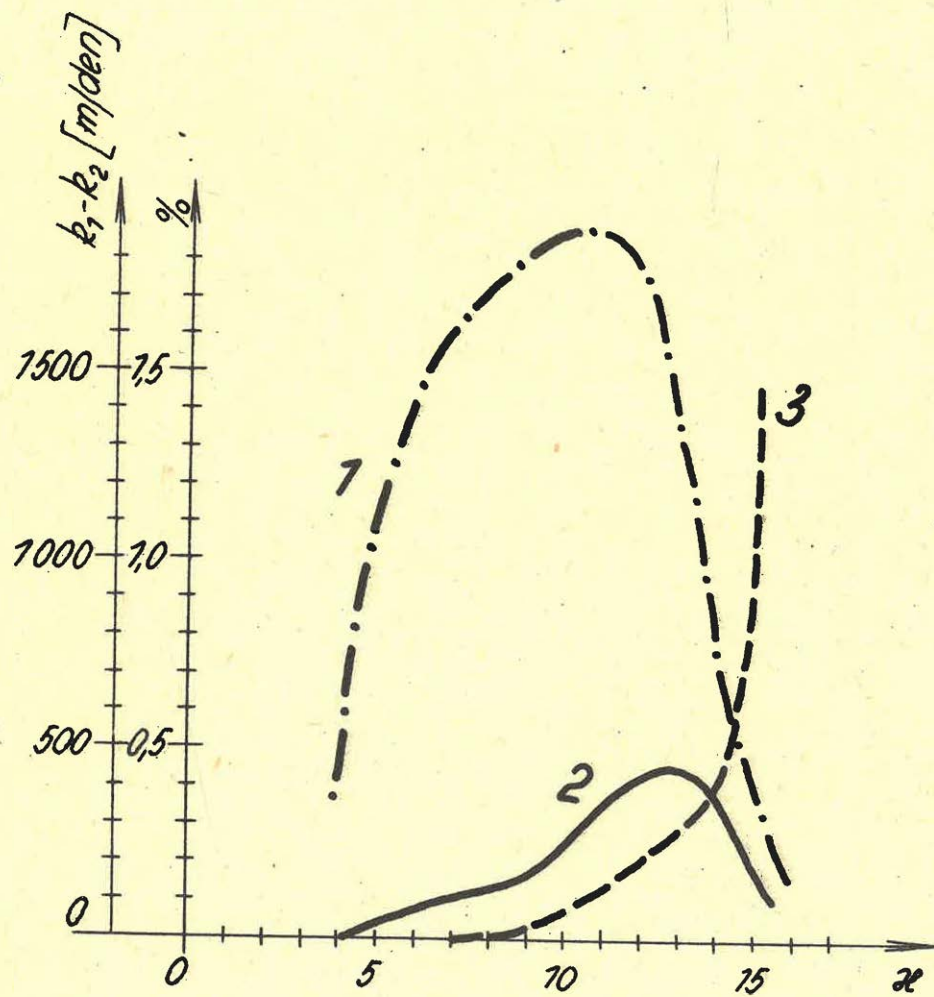




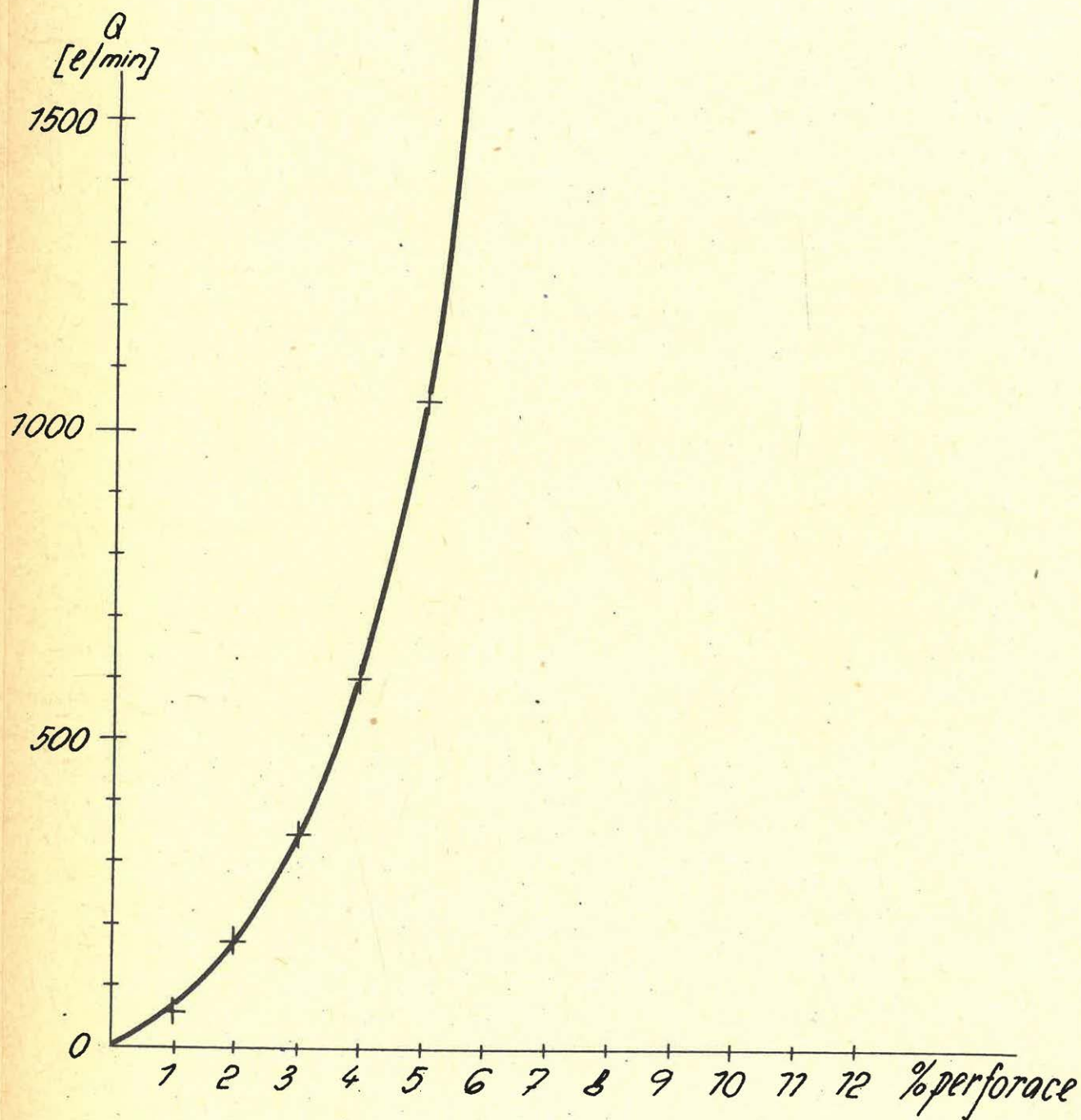
Obr. 2

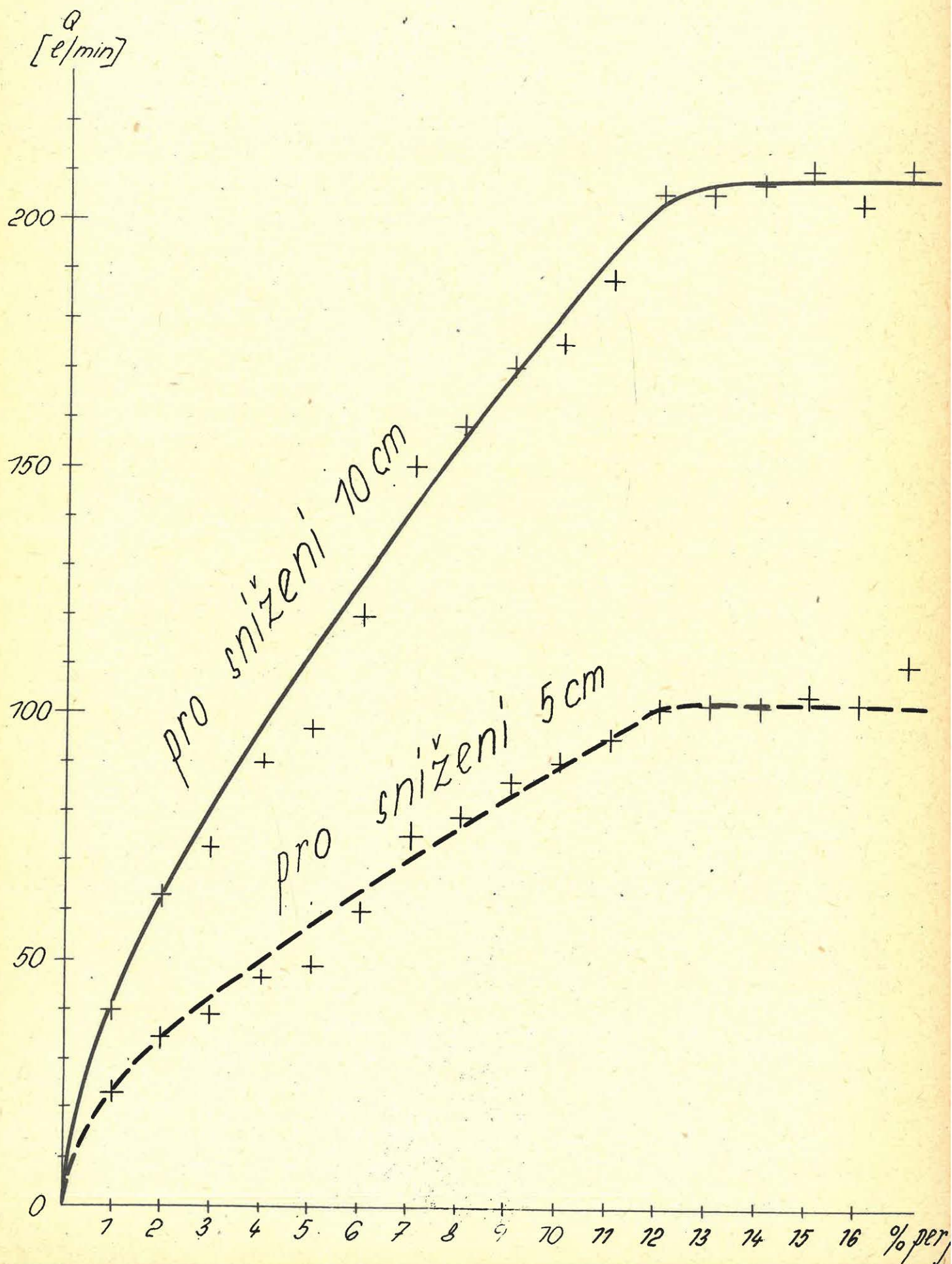


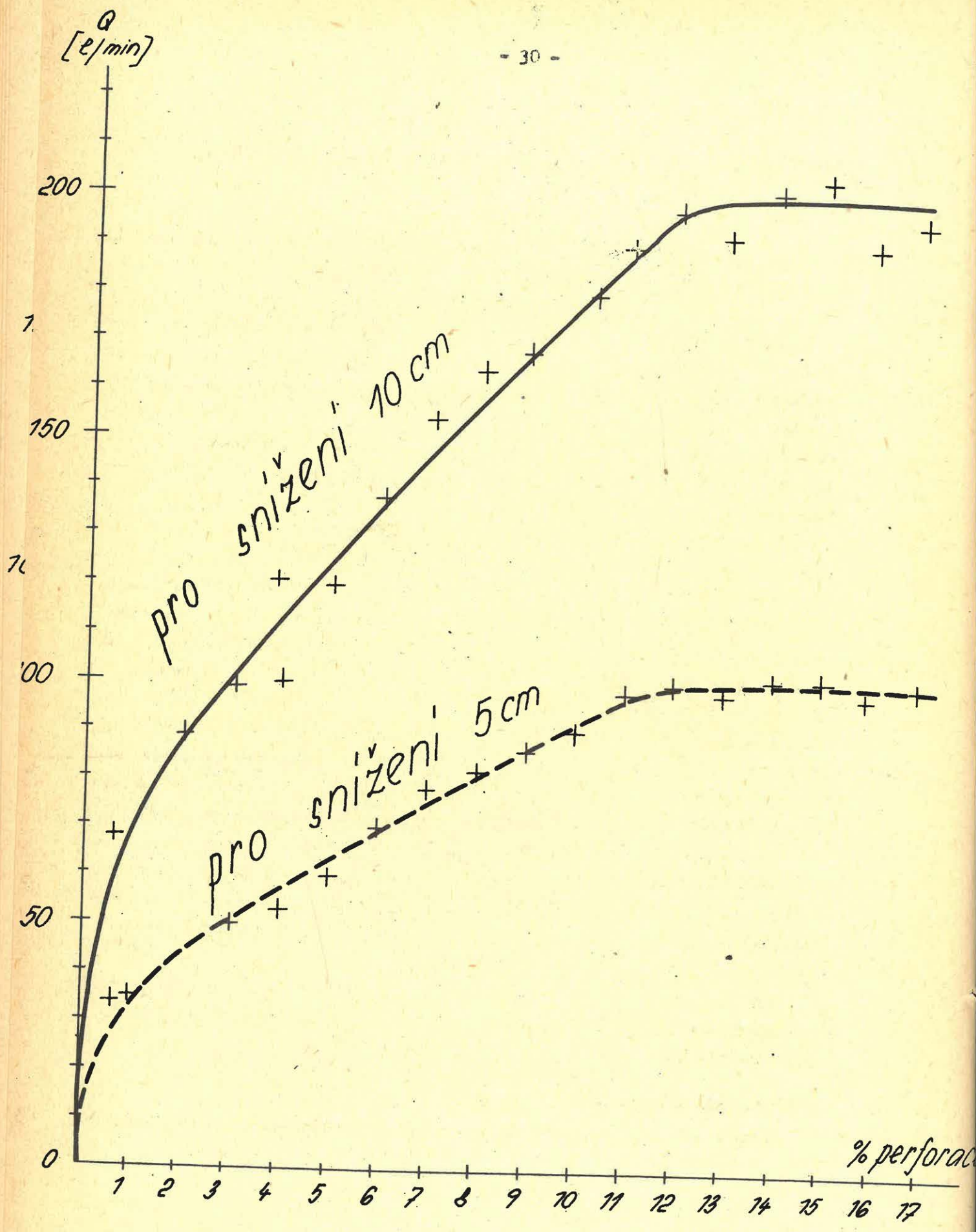
Обр. 3



Obr. 4







Obr. 7