

ZÁKLADY RADIOLOGIE A ZOBRAZOVACÍCH METOD

Hana Malíková a kolektiv

Základy radiologie a zobrazovacích metod

Hana Malíková a kolektiv

Recenzovaly:

doc. MUDr. Andrea Burgetová, Ph.D.

MUDr. Barbora Míková



**Národní
plán
obnovy**



**Financováno
Evropskou unií**
NextGenerationEU



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Publikace byla vydána za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy a Národního plánu obnovy v rámci projektu Transformace pro VŠ na UK (reg. č. NPO_UK_MSMT-16602/2022).

Vydala Univerzita Karlova
Nakladatelství Karolinum
Praha 2022
Sazba DTP Nakladatelství Karolinum
Druhé, aktualizované vydání

© Univerzita Karlova, 2022
© Hana Malíková a kol., 2022

ISBN 978-80-246-5190-3
ISBN 978-80-246-5344-0 (pdf)



Univerzita Karlova
Nakladatelství Karolinum

www.karolinum.cz
ebooks@karolinum.cz

OBSAH

Úvod (<i>Hana Malíková</i>)	7
1. ZÁKLADY OBECNÉ RADIOLOGIE (<i>Hana Malíková, Jiří Weichet, Michal Holešta</i>)	9
1.1 Rentgenové záření	10
1.2 Rentgenový přístroj, princip skiografie, skiaskopie a digitální subtrakční angiografie	15
1.3 Základy výpočetní tomografie	20
1.4 Základy magnetické rezonance	25
1.5 Základy lékařského ultrazvuku	33
1.6 Základy intervenční radiologie	40
1.7 Hybridní metody	42
1.8 Kontrastní látky	43
2. ZÁKLADY SPECIÁLNÍ RADIOLOGIE	50
2.1 Základy zobrazování muskuloskeletálního aparátu (<i>Jiří Weichet</i>)	50
2.2 Základy zobrazování hrudníku (<i>Václav Janík, Hana Malíková, Michal Holešta</i>)	62
2.3 Základy vyšetření trávicího systému (<i>David Girsá</i>)	79
2.4 Úvod do uroradiologie (<i>David Girsá</i>)	94
2.5 Úvod do neuroradiologie (<i>Hana Malíková</i>)	101
2.6 Mamární diagnostika a screening rakoviny prsu (<i>Josef Bárta</i>)	114

ÚVOD

Zobrazovací metody jsou v současné době rozsáhlým oborem, který kromě vyšetření založených na aplikaci ionizujícího, rentgenového záření pracuje i s metodami, které jsou zcela bez radiační zátěže, jako je ultrazvuk a magnetická rezonance. Podkladem pro vlastní obor radiologie byl objev záření X Wilhelmem Konradem Roentgenem (1845–1923) dne 8. 11. 1895. Roentgen za svůj objev v roce 1901 získal Nobelovu cenu za fyziku. V prvních letech po tomto převratném objevu však nebylo vůbec jasné, jaké bude mít praktické využití. V USA vznikaly pojízdné „X-rays“ laboratoře, které nabízely snímky kostry jako pouťovou atrakci. Brzy však našlo rentgenové záření široké uplatnění v medicíně.

V dnešní době jsou radiologie a zobrazovací metody oborem značně rozsáhlým, s řadou specializací a subspecializací. Diagnostická větev svou historii započala výše zmíněným objevem paprsků X a dnes se zabývá neinvazivní diagnostikou ve všech modalitách, od prostého snímku přes výpočetní tomografii a ultrazvuk až po magnetickou rezonanci. Kromě diagnostické větve se čím dál více profiluje větev invazivní a intervenční. Intervenční radiologie se již nezabývá pouze digitální subtrakční angiografií a terapeutickými postupy na ni navázanými, ale rozšířila se o celé spektrum nevaskulárních výkonů prováděných pod kontrolou některé z radiologických metod. Kromě toho se samostatně profiluje i radiologie dětských nemocí, pediatriká radiologie, počíná se formovat podobor zabývající se hybridními metodami a radiologie kardiovaskulární. Celé spektrum oboru je jednoznačně mimo možnost této publikace, která má sloužit studentům lékařských fakult pro základní orientaci v oboru. Učebnice svým rozsahem nedostačuje pro specializační a postgraduální vzdělávání v oboru radiologie a zobrazovací metody.

1 ZÁKLADY OBECNÉ RADIOLOGIE

Na prvním místě je třeba zmínit některé obecně platné principy v radiologii, které by měly být vodítkem každému klinickému lékaři.

Obecné zásady indikace a kontraindikace rentgenových vyšetření:

- Radiologická vyšetření pracující s rentgenovým zářením jsou možná výhradně na základě lékařské indikace (zákon č. 202/2017 Sb.).
- Indikující lékař vystaví žádanku na radiologické vyšetření, kde svůj požadavek definuje a zdůvodní a rovněž uvede potřebné klinické informace.
- Indikující lékař je povinen posoudit všechny informace o zdravotním stavu pacienta tak, aby zabránil zbytečnému ozáření.
- Indikaci musí schválit aplikující odborník (obvykle radiolog; v případě skiagramů radiodiagnostický asistent – vyjma dětských pacientů mladších 3 let a těhotných žen, u kterých musí být všechna radiologická vyšetření schválena lékařem-radiologem), který také odpovídá za posouzení klinické výtěžnosti.
- Jedinou relativní kontraindikací je těhotenství, absolutní kontraindikace není.

Než vypíšete žádanku na vyšetření spojené s radiačním ozářením, odpovězte si na následující otázky:

- Je vyšetření opravdu třeba? Odpoví mi na klinickou otázku?
- Nemá toto vyšetření alternativu (zvláště pak jiné vyšetření bez ozáření pacienta)?
- Nebylo už provedeno jinde?
- Je vhodně načasované?
- Má radiolog k dispozici všechny relevantní informace?
- Vyšetření pouze k ověření diagnózy, která je již známá, by nemělo být indikováno.
- Máte pochyby? Konzultujte svého radiologa!

1.1 RENTGENOVÉ ZÁŘENÍ

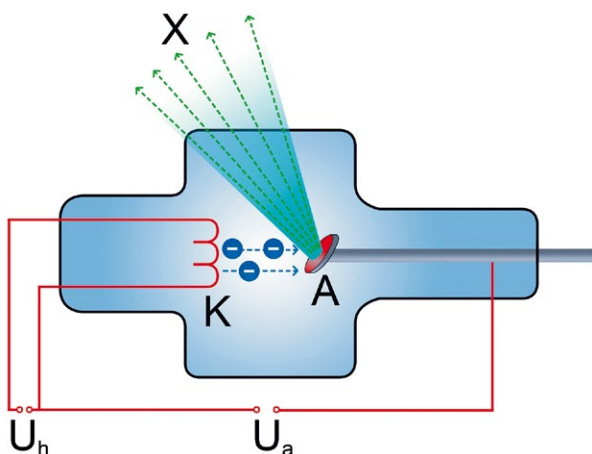
Vznik rentgenového záření, jeho účinky a ochrana před ním

Rentgenové (rtg) záření je elektromagnetické vlnění vlnových délek 10^{-8} – 10^{-12} m, které vzniká při interakci rychle letících elektronů s atomy kovu, kdy se jejich energie přemění na elektromagnetické záření. Mezi zobrazovací metody, které pracují s rentgenovým zářením, patří skiografie, skiaskopie, výpočetní tomografie (CT), digitální subtrakční angiografie (DSA), hybridní metody jako je PET/CT, SPECT/CT a kostní denzitometrie.

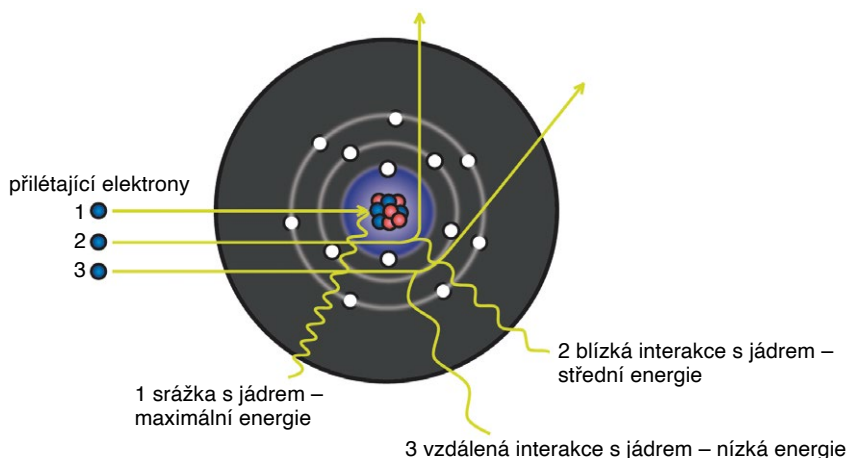
Vznik rentgenového záření

Zdrojem rentgenového záření jsou vakuované elektronky – rentgenky (obr. 1.1). Rentgenka je klasická dioda zapojená v obvodu s vysokým napětím cca 20–200 kV. Ze žhavené katody rentgenky jsou emitovány elektrony, které jsou urychlovány vysokým elektrickým napětím mezi katodou a anodou a dopadají na anodu, která je ve většině případů vyrobena z wolframu. Proud protékající katodou určuje množství emitovaných elektronů a tím i množství produkovaného rentgenového záření (čím vyšší proud, tím více elektronů se z katody uvolní a tím více rentgenového záření vznikne). Na anodě elektrony pronikají vrstvami obalů atomů anody, interagují s nimi a tím ztrácejí svoji kinetickou energii, která se z velké většiny přemění na teplo, pouze asi 1 % jejich energie se přemění na rentgenové záření. Toto záření je dvojího druhu: brzdné a charakteristické.

Brzdné záření (obr. 1.2) vzniká interakcí přilétajícího elektronu s jádrem atomu materiálu anody (většinou vyrobené z wolframu). Kladně nabitě jádro přitahuje elektron, který změní směr letu a zpomalí. Rozdíl kinetické energie je vyzářen ve formě fotonu rtg záření o určité vlnové délce (vlnová délka fotonu je nepřímo úměrná jeho energii, čím kratší je vlnová délka, tím vyšší je vyzářená energie). Vlnová délka, tj. energie vyzářeného fotonu rtg záření, závisí



Obr. 1.1 Schéma jednoduché vodou chlazené rentgenky: K – katoda; A – anoda; U_h – žhavicí katodové napětí; U_a – anodové napětí; X – emitované rentgenové záření.

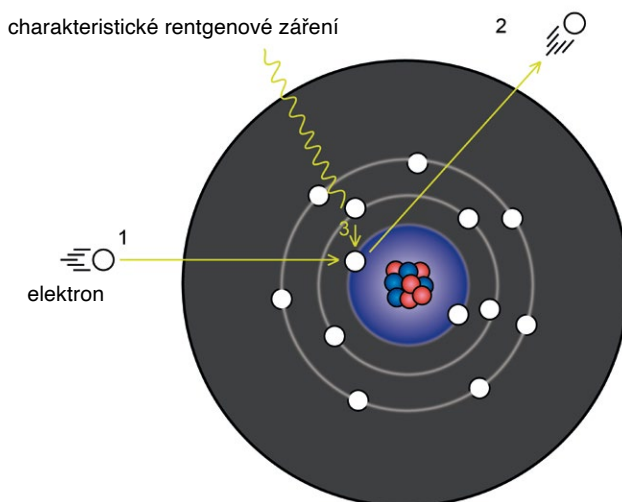


Obr. 1.2 Schematické znázornění vzniku brzdného záření.

na rychlosti dopadajících elektronů, jež je přímo úměrná napětí mezi katodou a anodou; nastavením tohoto napětí tak určujeme tvrdost, penetraci rentgenového záření (čím vyšší anodové napětí, tím tvrdší – pronikavější rentgenové záření). Zároveň energie, vlnová délka vyzářeného fotonu, závisí i na vzdálenosti průletu elektronu od jádra, která je proměnná (čím blíže k jádru elektron proletí, tím více je zabrzděn a tím více energie je předáno vyzářenému fotonu).

Maximální energii vyzářený foton získá při srážce letícího elektronu s jádrem (tj. zabrzdění na nulovou rychlost). Energetické spektrum brzdného záření je tak spojité.

Charakteristické záření (obr. 1.3) vzniká při srážce letícího elektronu s elektronem z obalu atomu na anodě. Interakcí je původní elektron z obalu vyražen, vznikne „díra“, která



Obr. 1.3 Schematické znázornění vzniku charakteristického záření.

je zaplněna elektronem jedné z hladin vzdálenějších od jádra, přičemž se vyzaří foton charakteristického rentgenového záření. Jeho energie je dána rozdílem energií jednotlivých hladin, mezi kterými došlo k přesunu elektronu. Rozdíl energií mezi jednotlivými energetickými hladinami je u daného materiálu stále stejný, je pro něj charakteristický. Čím vyšší protonové číslo anody, tím vyšší energie charakteristického záření. Energetické spektrum charakteristického záření je čárové a závisí na materiálu, ze kterého je vyrobeno ohnisko anody.

Vlastnosti rentgenového záření

Penetrace – znamená pronikavost rentgenového záření: čím je záření „tvrdší“, tj. energeticky bohatší, tím vyšší má penetraci. S touto vlastností souvisí **absorpce** tkáněmi, tedy schopnost různých látek pohlcovat rentgenové paprsky. Tato schopnost závisí především na protonovém čísle prvků absorbující tkáň a tloušťce objektu. Kostí absorbují výrazně, plíce minimálně.

Fotochemické účinky – rentgenové záření způsobuje zčernání fotografického filmu.

Luminiscenční účinky – při dopadu rentgenového záření na některé materiály (luminy) vzniká viditelné záření.

Přímočaré šíření ze zdroje – rentgenové záření se šíří do prostoru na všechny strany a jeho intenzita ubývá se čtvercem vzdálenosti.

Rozptyl záření – při interakci fotonu s hmotou (elektronem) dochází k vychýlení paprsku a snížení jeho energie (zvětší se vlnová délka). Z hlediska diagnostiky je to negativní vlastnost, snižuje kontrast na snímku.

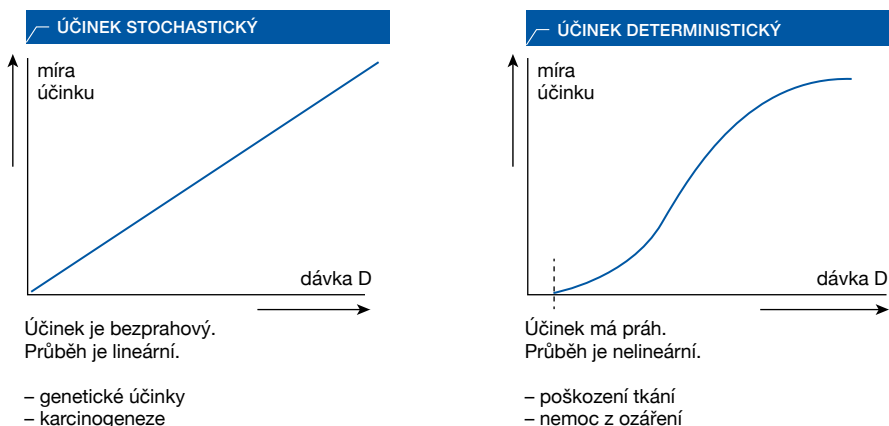
Biologické účinky – rentgenové záření může svými ionizačními účinky poškodit tkáň živých organismů.

Biologické účinky rentgenového záření

Absorpce energie ionizujícího záření má kvantový charakter, energie záření je předávána elektronům v obalech atomů a molekul ozařované hmoty či tkáň, kde dochází k excitacím a ionizacím atomů (vyražení elektronu z obalu atomu). Radiolýzou vody zde vznikají vysoce reaktivní produkty jako např. hydroxylový radikál OH^- , vodíkový radikál H^+ , peroxid vodíku H_2O_2 . Každá biologická tkáň je jinak senzitivní k ionizujícímu záření, nejsenzitivnější jsou tkáň s velkou proliferační aktivitou, tj. kostní dřev, výstelka střev a kůže. Poškození tkáň závisí na dávce záření a na radiosenzitivitě tkáň.

Biologické účinky rentgenového záření lze dělit na deterministické a stochastické. Účinky **deterministické** se projevují na úrovni tkání, mají určitý práh a závisí na absorbované dávce (vyjadřují se v grayích – Gy); pokud je dosaženo prahové hodnoty, pak se vždycky projeví. Účinky **stochastické** spočívají v indukci mutací v jádrech buněk, jsou bezprahové a pravděpodobnost jejich výskytu roste s efektivní dávkou (vyjadřují se v sieverttech – Sv). Nedá se tedy říct, že vůbec nezávisí na dávce. Pro lepší pochopení věnujte pozornost rovněž níže přiloženým grafům (obr. 1.4).

Klinicky dělíme biologické účinky na **časné** a **pozdní**. Z tohoto důvodu je třeba každé ozáření dobře zvážit a použít co nejnižší dávku záření dostačující pro kvalitní zobrazení – princip ALARA (as low as reasonably achievable). Efektivní dávka v radiodiagnostice se udává v milisieverttech (mSv). Pro představu – prostý snímek hrudníku se pohybuje okolo



Obr. 1.4 Grafy biologických účinků ionizujícího záření.

0,02–0,05 mSv, snímek páteře 1–2 mSv. Z přírodních zdrojů je přitom člověk v České republice ozářen dávkou zhruba 3 mSv/rok. Tabulka 1.1 přináší přehled rizika radiační zátěže na lidský plod během těhotenství.

Tab. 1.1 Rizika radiační zátěže na lidský plod během těhotenství

Týden gravidity	Možný typ poruchy	Přirozený výskyt	Zvýšení rizika – dávka 100 mSv	Zvýšení rizika – dávka 1 mSv
0–2	spontánní potrat	25–50 %	0,50 %	zanedbatelné (menší než 1 : 100 000)
4–10	růstová retardace	5,00 %	0,01 %	není
8–25	mentální retardace	5,00 %	0,01 %	není
3–13	karcinogeneze, leukemie	0,05 %	0,02 %	zanedbatelné
13–40	karcinogeneze, leukemie	0,05 %	0,02 %	zanedbatelné
8–40	redukce IQ	1,00 %	0,01 %	není

Příklady biologických účinků ionizujícího záření z praxe

Biologické účinky ionizujícího záření objevili sami na sobě průkopníci radiologie na začátku 20. století. Jelikož nepoužívali žádné ochranné prostředky, často neúměrně dlouho skiaskopovali své pacienty, a navíc zcela běžně vkládali ruce do primárního svazku, řada z nich trpěla radiační dermatitidou, která rychle přecházela v nekrózu měkkých tkání rukou a posléze i osteonekrózu kostí. Mnoho z prvních radiologů přišlo o části horní končetiny nebo končetin, které musely být amputovány. Výše popsané biologické účinky ionizačního záření patří mezi deterministické. Avšak k těmto účinkům se často přidávalo nádorové onemocnění kůže a měkkých tkání, tedy stochastické účinky.

Deterministické účinky

Další deterministické účinky ionizujícího záření jsou smrt či akutní nemoc z ozáření, která postihla přímé účastníky jaderné katastrofy v Černobylu nebo přeživší při jaderném útoku na Hirošimu a Nagasaki za 2. světové války. I dnes je možné se setkat s postiradiační chronickou dermatitidou rukou u seniorních radiologů, kteří si při skiaskopických a angiografických vyšetřeních nechránili dostatečně ruce. Mezi běžné následky radiace patří postiradiační kolitida u pacientů podstupujících radioterapii v oblasti břicha (léčba karcinomu prostaty) nebo postiradiační tuková degenerace kostní dřene po radioterapii v dané oblasti.

Stochastické účinky

Stochastické účinky ionizujícího záření byly poprvé sledovány u průkopníků radiologie v první polovině 20. století v USA. Mezi těmito lékaři byl zjištěn zvýšený výskyt onkologických onemocnění. Jednoznačně zvýšený výskyt leukemie či jiné karcinogeneze byl sledován rovněž u přeživších jaderné katastrofy.

Ochrana před ionizačním zářením

Princip odůvodnění

Vlastní ochrana před ionizujícím zářením začíná již v momentě indikace radiologického vyšetření. Každý indikující lékař by měl pečlivě zvážit, zda je radiologické vyšetření nutné ke stanovení diagnózy, co mu přinese a zda by ke stejnému výsledku nemohl dospět jinými metodami, které s ionizujícím zářením nepracují. Podle národních radiologických standardů jakékoli lékařské ozáření u dětí mladších 3 let a u těhotných žen musí schválit lékař-radiolog, který musí schválit i každé CT, skiaskopické a angiografické vyšetření.

Princip optimalizace

Princip optimalizace ochrany před ionizujícím zářením je obvykle uplatňován ve dvou rovinách, a to v rovině přístrojového vybavení a jeho instalace a v rovině optimalizace pracovního procesu. Radiologické přístroje jsou konstruovány tak, aby paprsek rentgenového záření byl maximálně možným způsobem kolimován a aby docházelo k minimálnímu vzniku sekundárního záření. Na každém pracovišti jsou vypracovány expoziční tabulky pro skiagrafická vyšetření a při všech rentgenových vyšetřeních se používají clony k vymezení primárního svazku záření (blíže bude osvětleno v kapitole 1.2), což výrazně přispívá k redukci dávky záření podobně jako práce s expoziční automatikou.

CT přístroje mají rovněž přednastavené protokoly s maximální snahou o redukci dávky a v některých případech je možné využívat nízkodávkové (low-dose) CT. Nové typy sofistikovaných iterativních rekonstrukcí CT obrazů z nasnímaných dat redukují šum v obrazu, a tak umožňují vyšetřovat s nižší dávkou. Na radiologických odděleních jsou rovněž povinné speciální stavební úpravy, které vycházejí ze zákonných norem, jako např. barytové omítky, olověná skla a dveře. Jsou vymezena sledovaná a kontrolovaná pásma, kde je zvláštní režim s monitorací všech osob vstupujících do místa, kde hrozí ozáření. Radiologičtí pracovníci

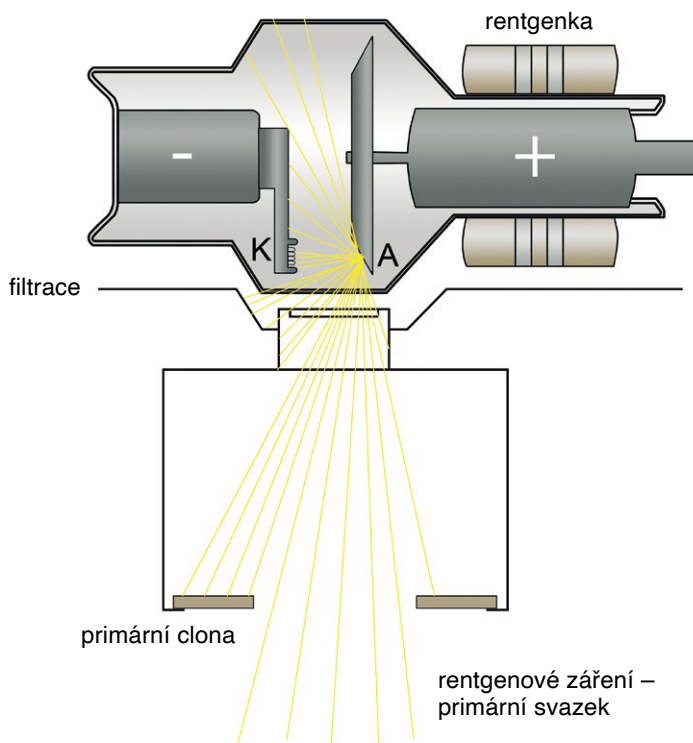
jsou povinni nosit osobní dozimetry k monitoraci obdržené dávky a chránit se olověnými zástěrami a nákrčníky v případě, že pracují přímo v místnosti, kde dochází k produkci ionizujícího záření (skiaskopie, DSA). Pokud se jejich ruce dostávají do blízkosti primárního rentgenového svazku, pak je monitorována i dávka obdržená na ruce prstovým (prstýnkovým) dozimetrem.

1.2 RENTGENOVÝ PŘÍSTROJ, PRINCIP SKIAGRAFIE, SKIASKOPIE A DIGITÁLNÍ SUBTRAKČNÍ ANGIOGRAFIE

Konstrukce rentgenového přístroje

Rentgenové přístroje se skládají z následujících součástí (obr. 1.5):

- rentgenka,
- systém filtrace (filtr),
- kolimační systém – primární clony,
- světelný lokalizační systém,
- sekundární clona (mřížka),
- receptor obrazu (film, detektor).



Obr. 1.5 Zjednodušené schéma rentgenového přístroje: K – katoda; A – anoda.