Počítačové sítě, v. 3.5

Katedra softwarového inženýrství,
Matematicko-fyzikální fakulta,
Univerzita Karlova, Praha

Lekce 1: internetworking

J. Peterka, 2011

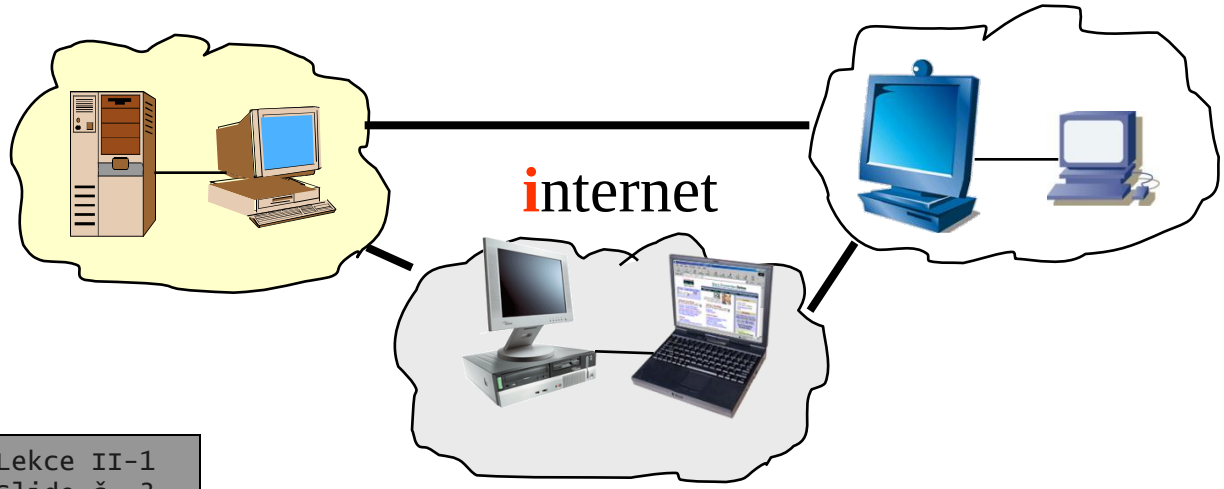
o čem bude druhá část přednášky?

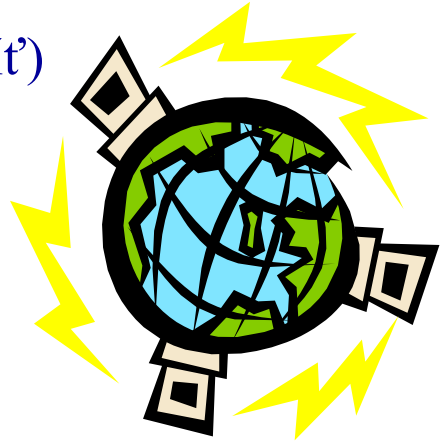
- internetworking
  - aneb: vzájemné propojování … segmentů, sítí atd., na různých úrovních
- Ethernet
  - od 10 Mbit/s po 10 Gbit/s
- sítě WLAN (IEEE 802.11)
- technologie ATM, X.25, MPLS
- telefonní sítě
  - POTS, ISDN, xDSL
- mobilní komunikace
  - sítě GSM a datové komunikace
- *broadband*
  - *fixní a mobilní broadband (metropolitní Ethernet, kabelové sítě, FTTx, BWA, WiMAX, 3G/UMTS ...)*

co je internetworking?

vzájemné propojování celých sítí i jednotlivých kabelových segmentů

- terminologie:
  - propojením sítí vzniká tzv. internetwork, zkráceně internet
  - s malým „i“ je to obecně jakékoli propojení dvou či více částí
  - s velkým „I“ je to jméno jedné konkrétní sítě („toho“ celosvětového Internetu)
- www.pravidla.cz:
  - **internet**, -u **m.** (propojené počítačové sítě);
  - Internet vl. jm. (celosvětová informační a komunikační síť)





důvody pro internetworking

- zpřístupnění vzdálených zdrojů
  - např. přístup ke vzdáleným FTP archivům, WWW serverům, …
  - využití výpočetní kapacity vzdálených uzlů (vzdálené přihlašování)
- zvětšení dosahu poskytovaných služeb
  - užitná hodnota některých služeb je tím větší, čím větší je její potenciální dosah (např. elektronická pošta, internetové telefonování, služby pro skupinovou diskusi, …)
- regulace "přístupnosti"
  - kdo se smí kam dostat, kdy a za jakých podmínek
- ochrana
  - před neoprávněným přístupem
  - před viry, útoky,
  - ….

tzv. síťový efekt

- Metcalfův zákon
  - formuloval Robert Metcalfe, otec Ethernetu, podnikatel, novinář ….
  - týká se síťového efektu
- říká:
  - užitek sítě roste se čtvercem počtu jeho uživatelů

důvody pro internetworking

- překonání technických omezení/překážek
  - např. dosah kabelových segmentů je omezený (10Base2: 185 metrů), omezený je i počet uzlů které lze připojit ke kabelu

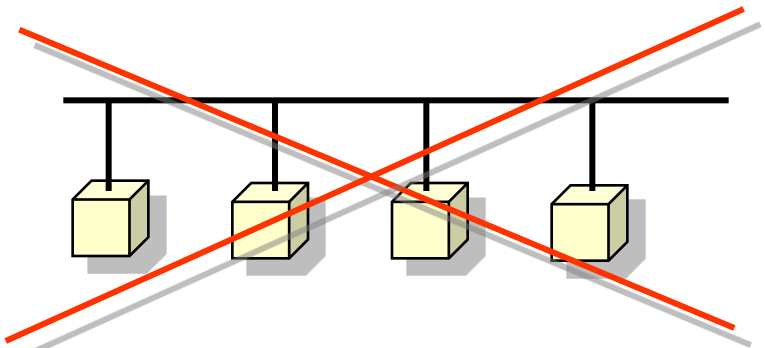
dříve

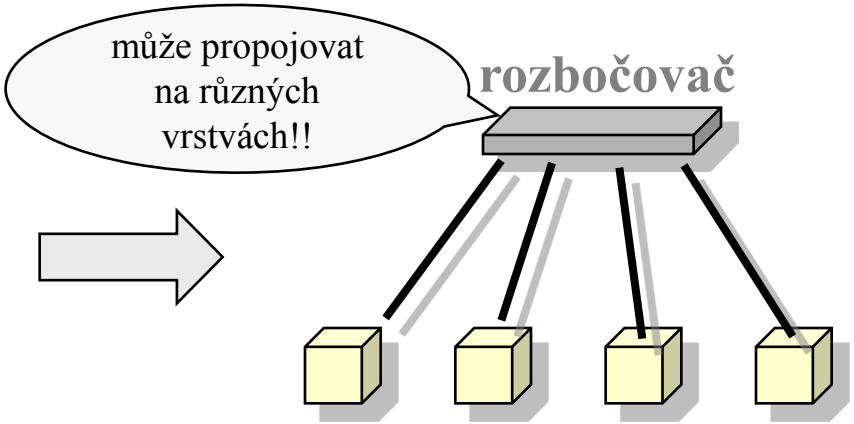
větší důraz

nyní

- optimalizace fungování sítě
  - snaha regulovat tok dat, zamezení zbytečného šíření provozu, ….
  - implementace nejrůznějších strategií a opatření (správné směrování, peering, …..)

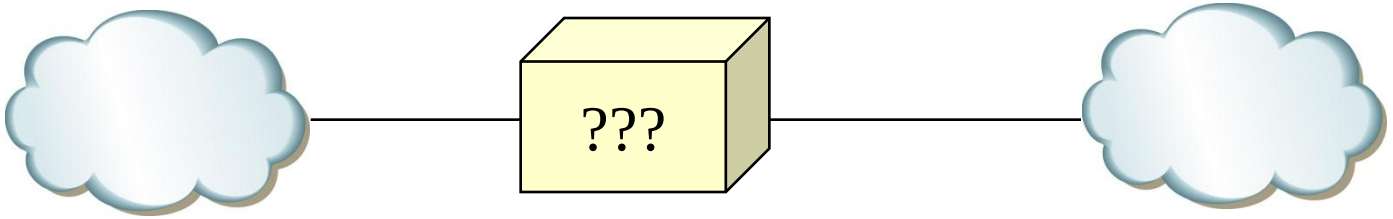
- fyzikální podstata některých druhů kabeláže
  - hlavně kroucené dvoulinky a optických vláken
    - lze je použít jen jako dvoubodové spoje, někdy dokonce pouze jednocestné
  - nelze na nich dělat odbočky, „rozbočení“ musí být realizováno elektronickou cestou, prostřednictvím propojovacích prvků



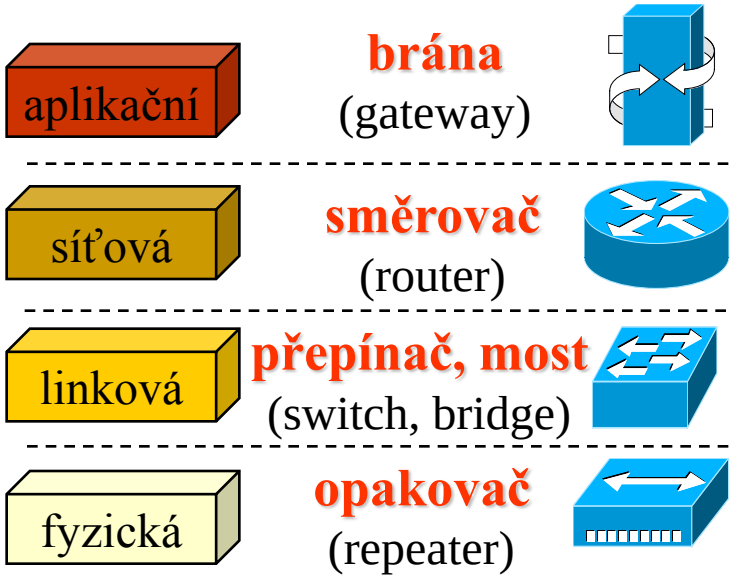


obecná podstata internetworkingu

- dvě či více částí (sítě, segmenty) se propojí pomocí vhodného propojovacího zařízení

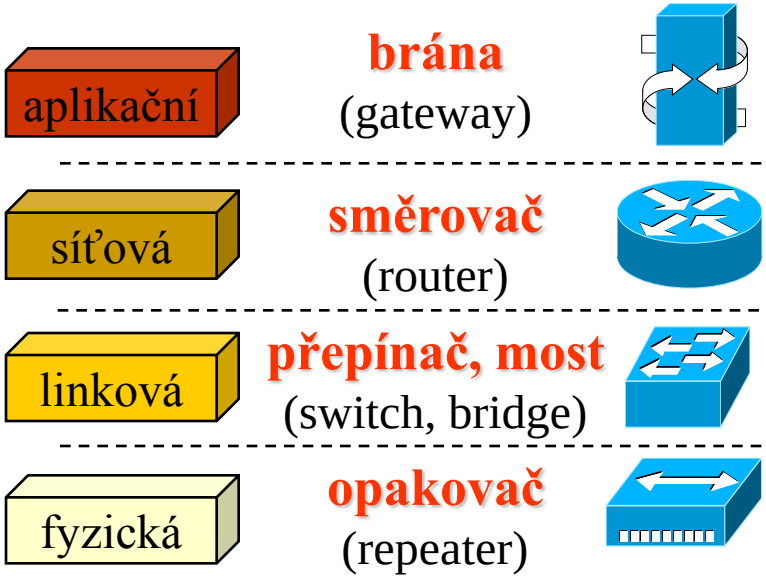


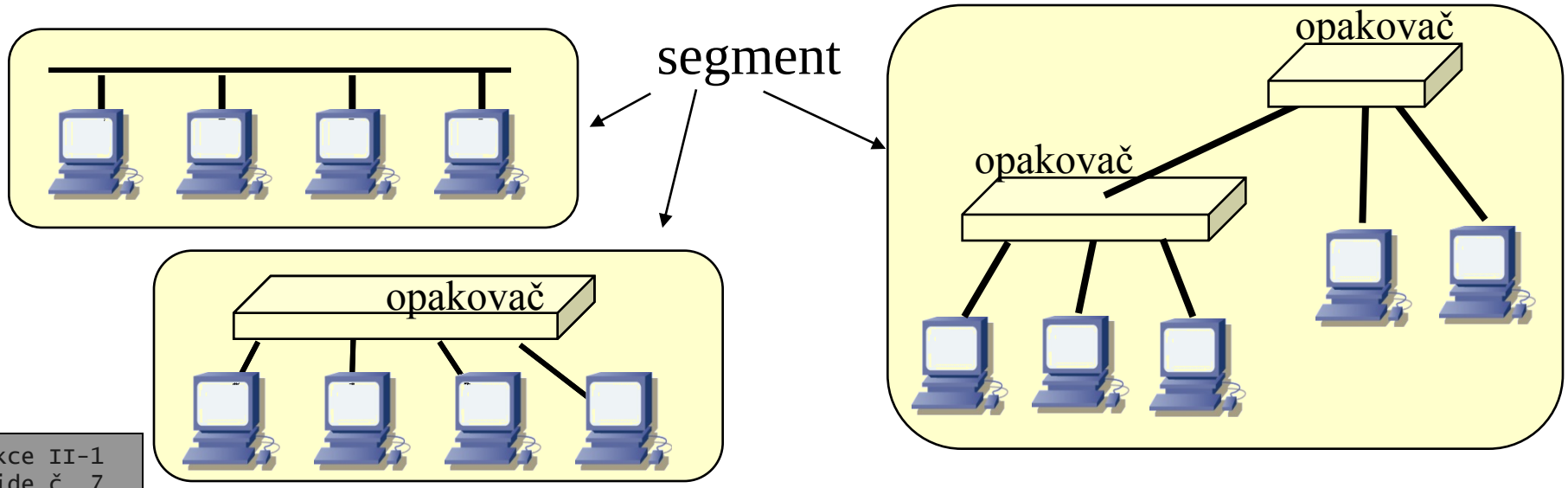
- rozdíl je v tom, jakým způsobem propojovací zařízení pracuje
  - na jaké vrstvě
    - možnosti: od fyzické až po aplikační
    - podle toho, na jaké vrstvě pracuje, se zařízení i pojmenovává
      - **opakovač, přepínač/most, směrovač, brána** ….
  - jakým způsobem
    - jaká vytváří omezení, co povoluje, jak kontroluje, …
    - pojmenování je i podle funkce
      - **rozbočovač, firewall, proxy brána ….**



představa - segment

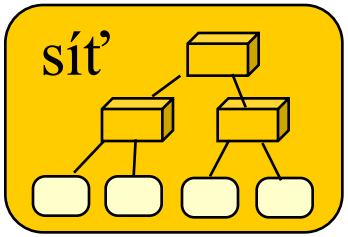
- to, co je propojeno na úrovni fyzické vrstvy, tj. pomocí **opakovačů** (repeater-ů) tvoří:
  - v Ethernetu: tzv. **kolizní doménu**
  - obecně: **segment**
- propojovací funkce opakovače může být realizována i "drátem"
  - zapojením "do sběrnice", logicky se chová jako opakovač
    - jeden uzel vysílá, slyší všechny ostatní uzly

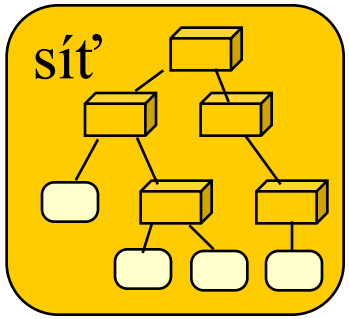


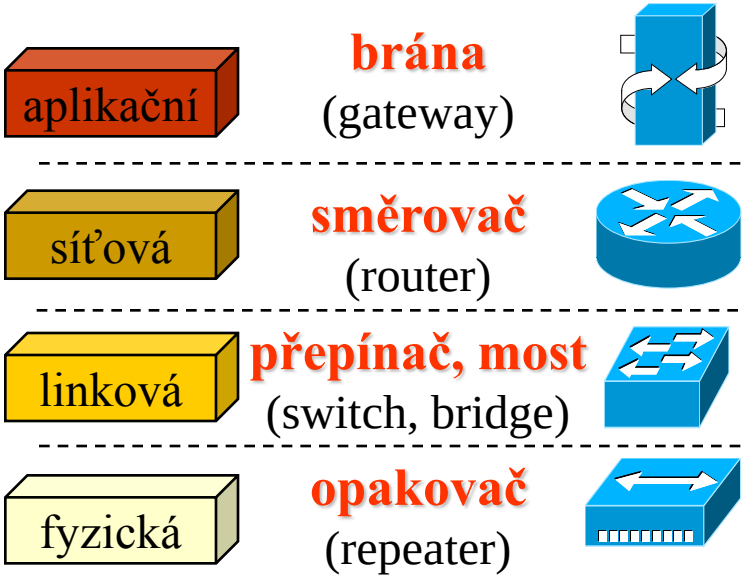


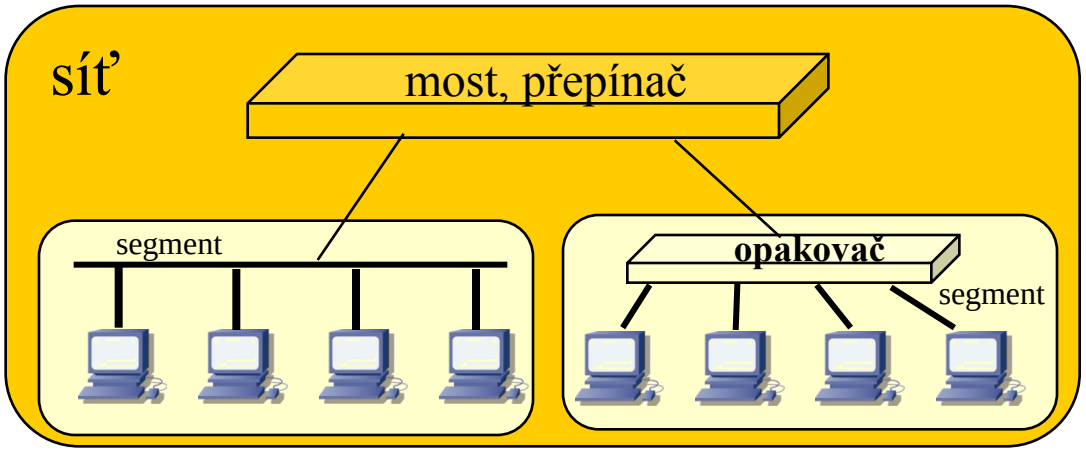
představa: síť

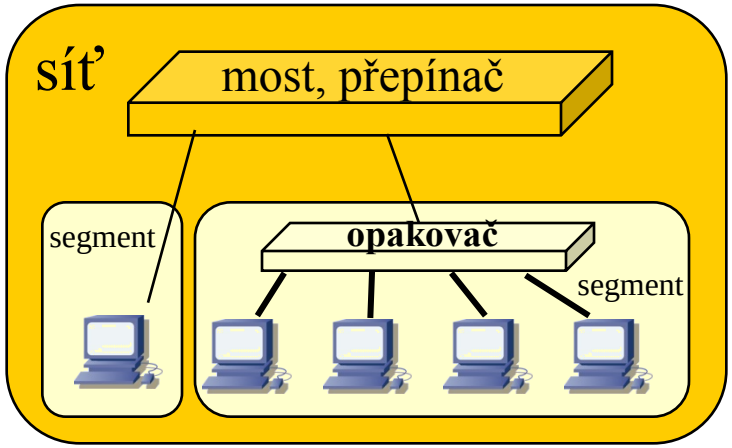
- co je propojeno na úrovni linkové vrstvy, tj. pomocí mostů nebo přepínačů, tvoří **síť**
  - jednotlivé mosty/přepínače mohou být propojeny mezi sebou





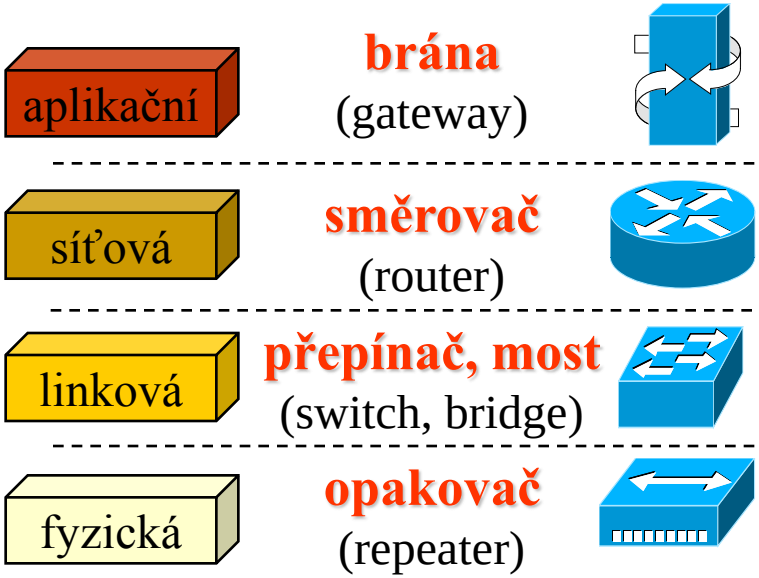


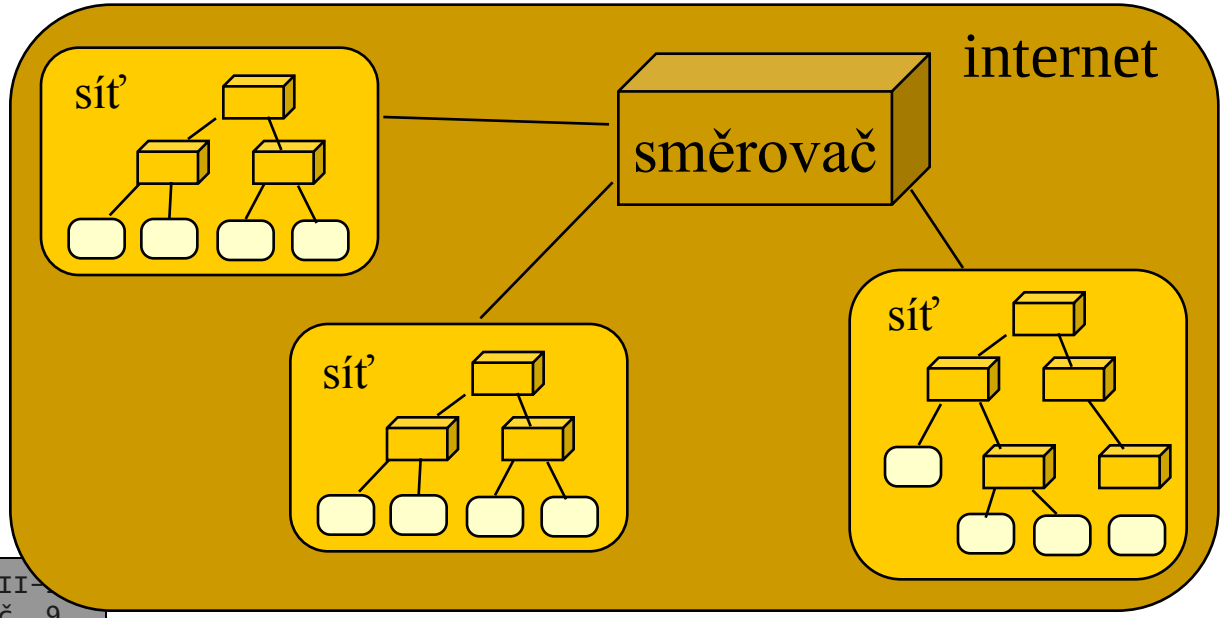


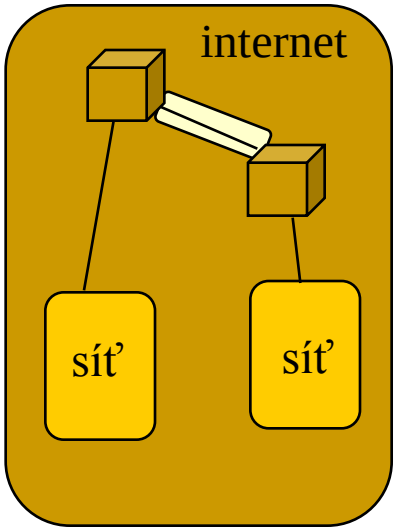


představa: internetwork, internet (soustava vzájemně propojených sítí)

- co je propojeno na úrovni síťové vrstvy, tj. pomocí směrovačů (routerů), tvoří soustavu vzájemně propojených sítí (internetwork, internet)
  - jednotlivé směrovače mohou být propojeny mezi sebou

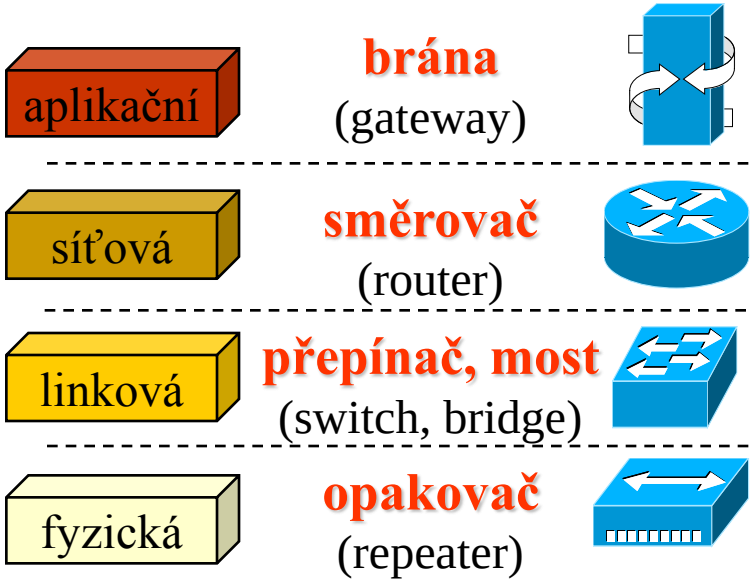


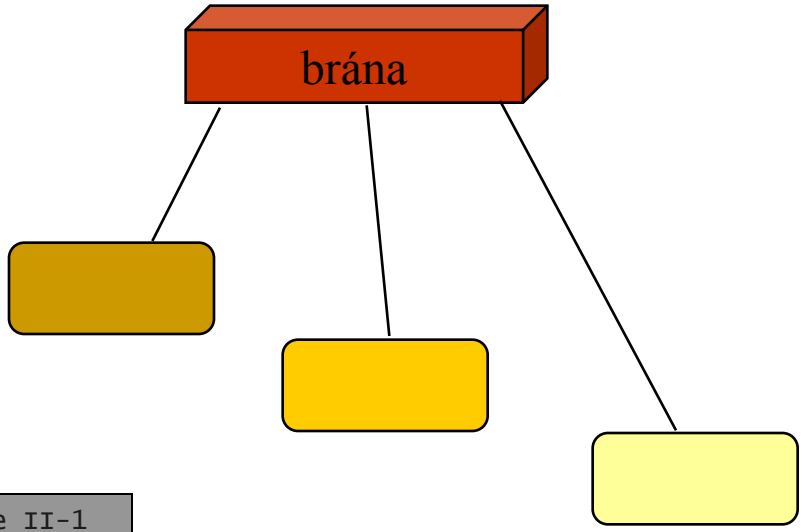




L4 switch, L7 switch / brána

- propojení na úrovni transportní vrstvy realizuje zařízení, označované jako
  - **Layer 4 switch**
    - rozhoduje se jak podle síťových adres (IP adres)
    - tak i podle transportních adres (čísel portů)



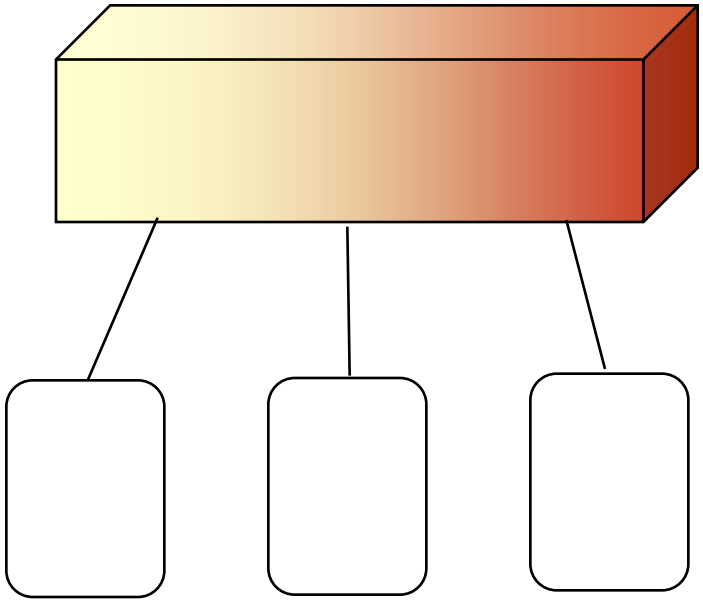


- propojení na úrovni aplikační vrstvy realizuje zařízení, označované jako
  - **brána (gateway)**
  - **někdy též: Layer 7 switch**
    - rozhoduje se podle obsahu přenášených dat!!!

rozbočovač (angl.: hub)

- rozbočovač
  - jde obecně o aktivně fungující propojovací zařízení, bez apriorního určení úrovně (vrstvy), na které pracuje
  - může fungovat jako opakovač, jako most i jako směrovač
- představa: jde o prázdné "šasi"
  - jeho funkce záleží na tom, jaké moduly se pořídí a instalují do šasi

rozbočovač (hub)

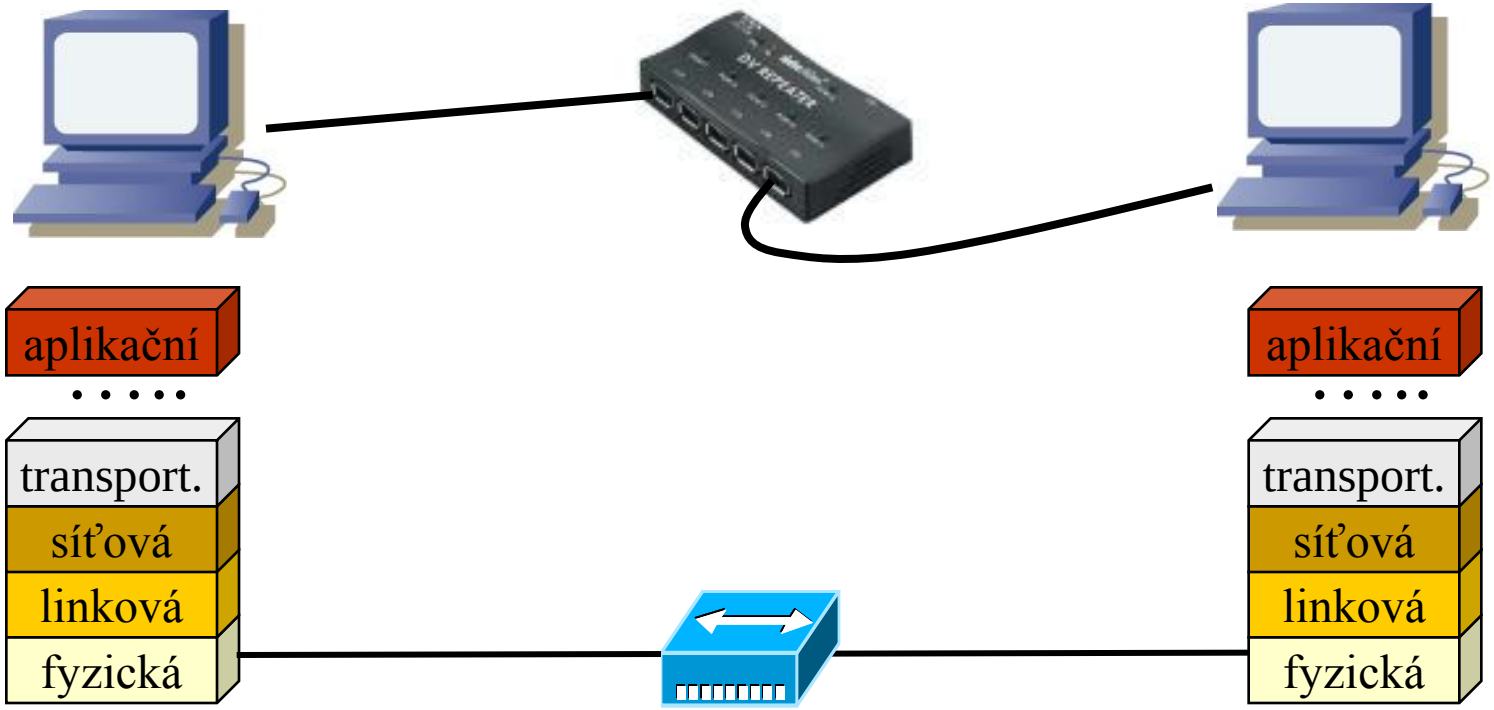


terminologická praxe:

když se řekne "hub" (rozbočovač),
míní se tím (ethernetový) opakovač !!!

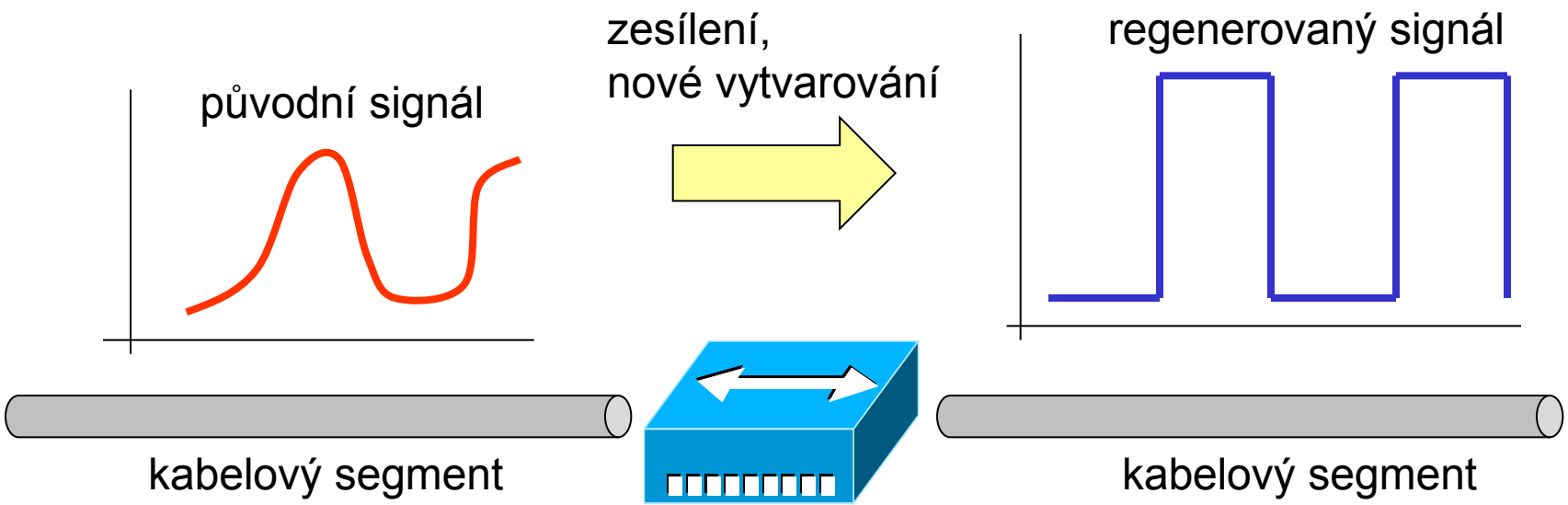
opakovač (repeater)

- zajišťuje propojení na fyzické vrstvě
  - propojuje úseky kabelů (kabelové segmenty)
    - např. z kroucené dvoulinky, koaxiálního kabelu, optických vláken, …



propojení na úrovni fyzické vrstvy

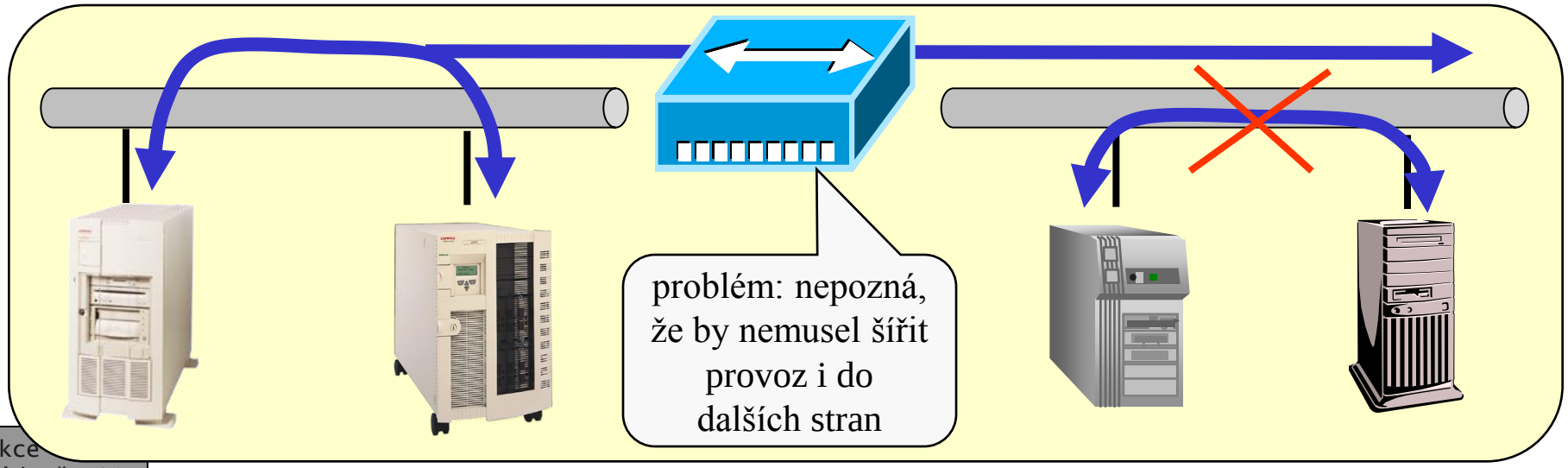
- znamená, že propojovací zařízení (tzv. opakovač) si všímá pouze jednotlivých bitů
  - toho, co je přenášeno na úrovni fyzické vrstvy
- opakovač je pouze digitální zesilovač, který zesiluje a znovu tvaruje přenášený signál
  - kompenzuje zkreslení, útlum a další vlivy reálných obvodových vlastností přenosových cest
- nezesiluje šum!!!



propojení na úrovni fyzické vrstvy

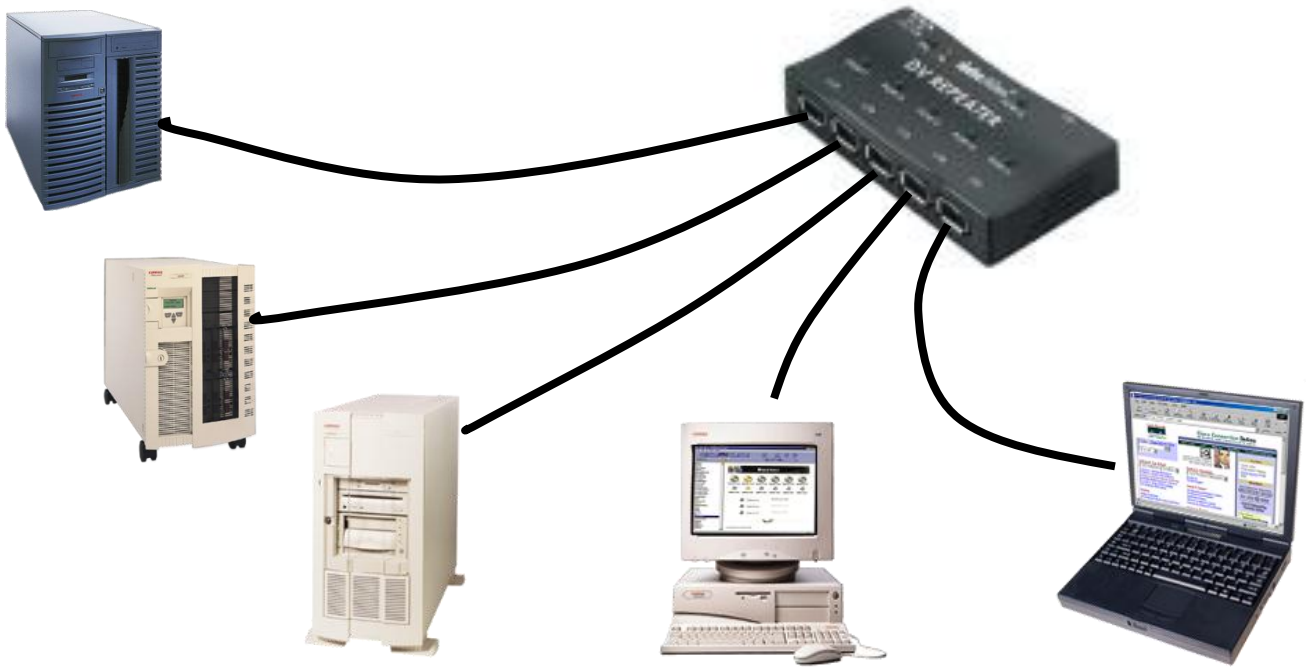
- opakovač „nevnímá“, že určité skupiny bitů patří k sobě a tvoří přenosový rámec
  - nedokáže rozpoznat ani adresu odesilatele a příjemce dat (rámce)
  - nemá k dispozici informace, které by mu umožnily měnit chování podle toho, jaká data skrz něj prochází
- všechna data rozesílá („*opakuje*“) do všech stran (segmentů), ke kterým je připojen
  - neví, co by mohl zastavit a nemusel šířit dál
- odsud také jeho označení
  - "opakovač" (anglicky: repeater)

ke všem datům (bitům) se musí chovat stejně!



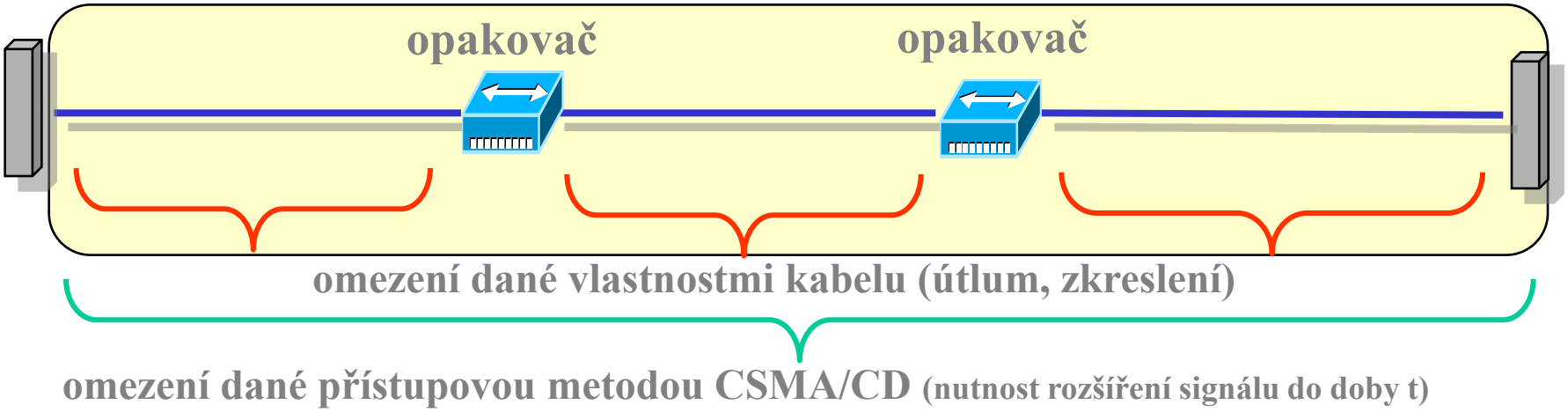
vlastnosti opakovače

- počet segmentů, které opakovač propojuje, není apriorně omezen
  - velký bývá u rozbočovačů (tzv. hub-ů), které fungují jako opakovače
- funguje v reálném čase
  - až na malé epsilon, dané zpožděním na svých vnitřních obvodech
  - nemá žádnou vnitřní paměť pro bufferování dat
  - může propojovat jen segmenty se stejnou přenosovou rychlostí



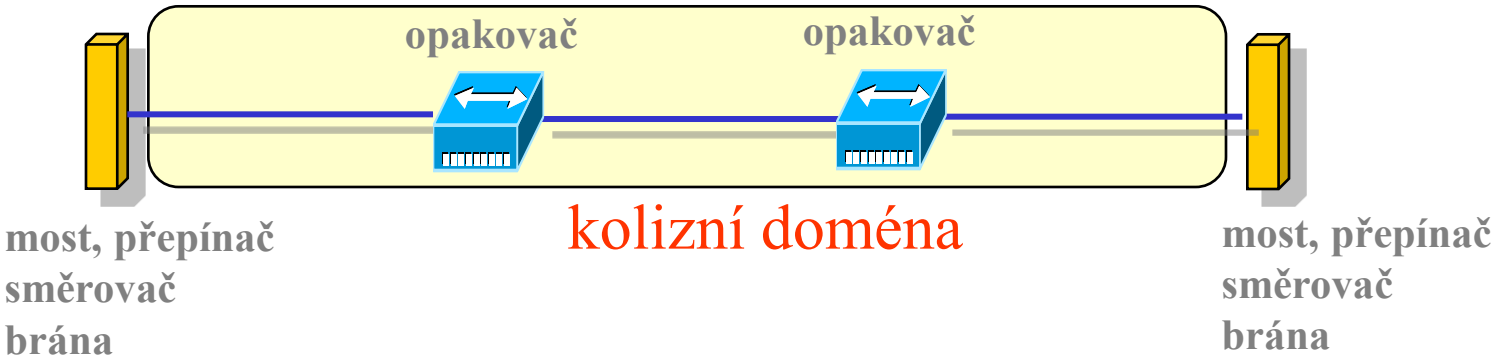
opakovač v Ethernetu

- opakovač je obecně nezávislý na protokolech linkové vrstvy
  - když funguje na fyzické vrstvě
- ale je závislý na specifikacích fyzické vrstvy, které typicky úzce souvisí s protokoly linkové vrstvě
  - existují např. "opakovače pro Ethernet"
- v Ethernetu nesmí být opakovačů příliš mnoho!!!!
  - důvodem je fungování Ethernetu
    - (metoda CSMA/CD, která u 10 Mbit/s vyžaduje aby se kolize rozšířila „*z jednoho konce na druhý konec*“ nejdéle do pevně dané doby t = 51,2 μs)
  - z toho plyne omezení na max. počet opakovačů
    - v sérii za sebou



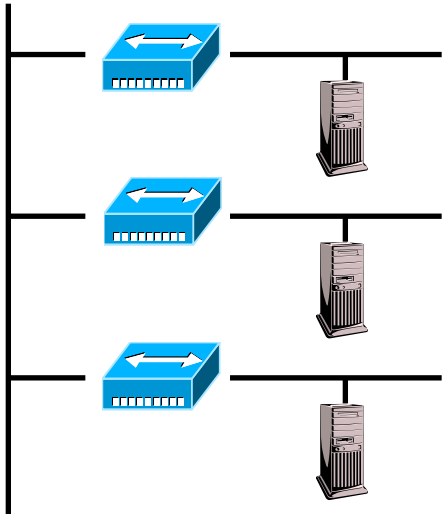
kolizní doména v Ethernetu

- v Ethernetu je možné aby více uzlů vysílalo současně
  - není to žádoucí
  - vysílají do společně sdíleného média, které k tomu není určené
- tím dochází k tzv. kolizi
  - kolize je nežádoucí stav
  - přístupová metoda CSMA/CD Ethernetu nevylučuje kolize, ale reaguje na ně alespoň ex-post
- opakovač v Ethernetu musí šířit i kolize!!!!
  - aby i uzly v jiných segmentech poznaly, že k ní došlo
- všechny segmenty, propojené opakovačem (opakovači), tvoří tzv. kolizní doménu
  - ta končí až na nejbližším mostu, přepínači nebo směrovači
    - obecně na propojovacím zařízení, které funguje výše než na fyzické vrstvě – a již bufferuje data

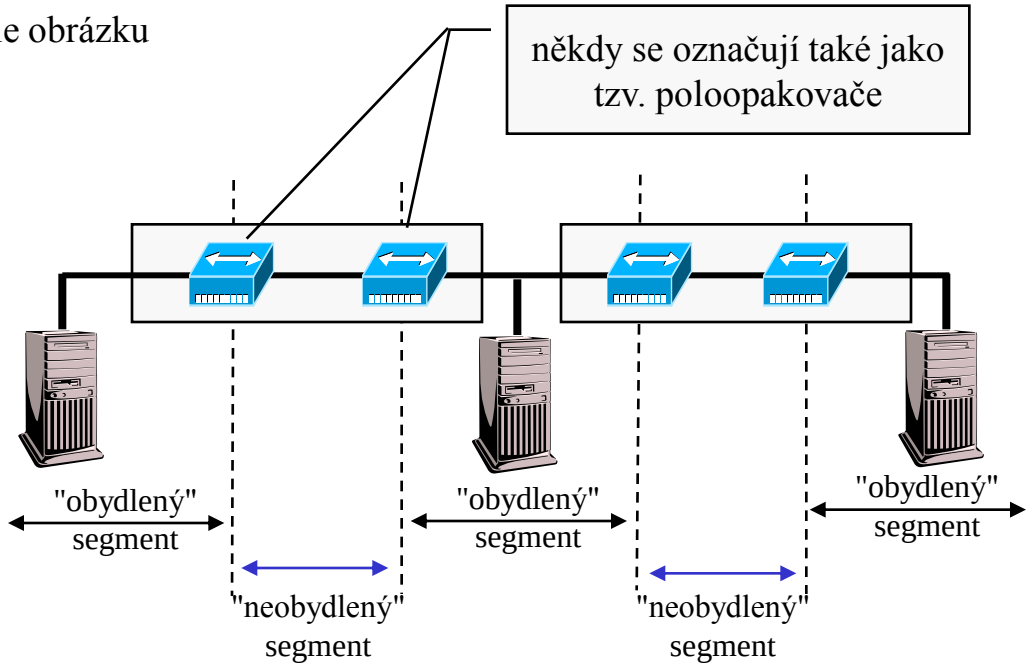


počet opakovačů v Ethernetu

- kvůli korektnímu fungování přístupové metody CSMA/CD musí být velikost kolizní domény omezena
  - hlavně musí být omezen počet opakovačů fungujících v sérii
- jak zní konkrétní pravidlo?
  - jednodušší formulace:
    - **mezi žádnými dvěma uzly nesmí být více jak dva opakovače**
    - umožňuje to budovat „páteřní“ sítě dle obrázku

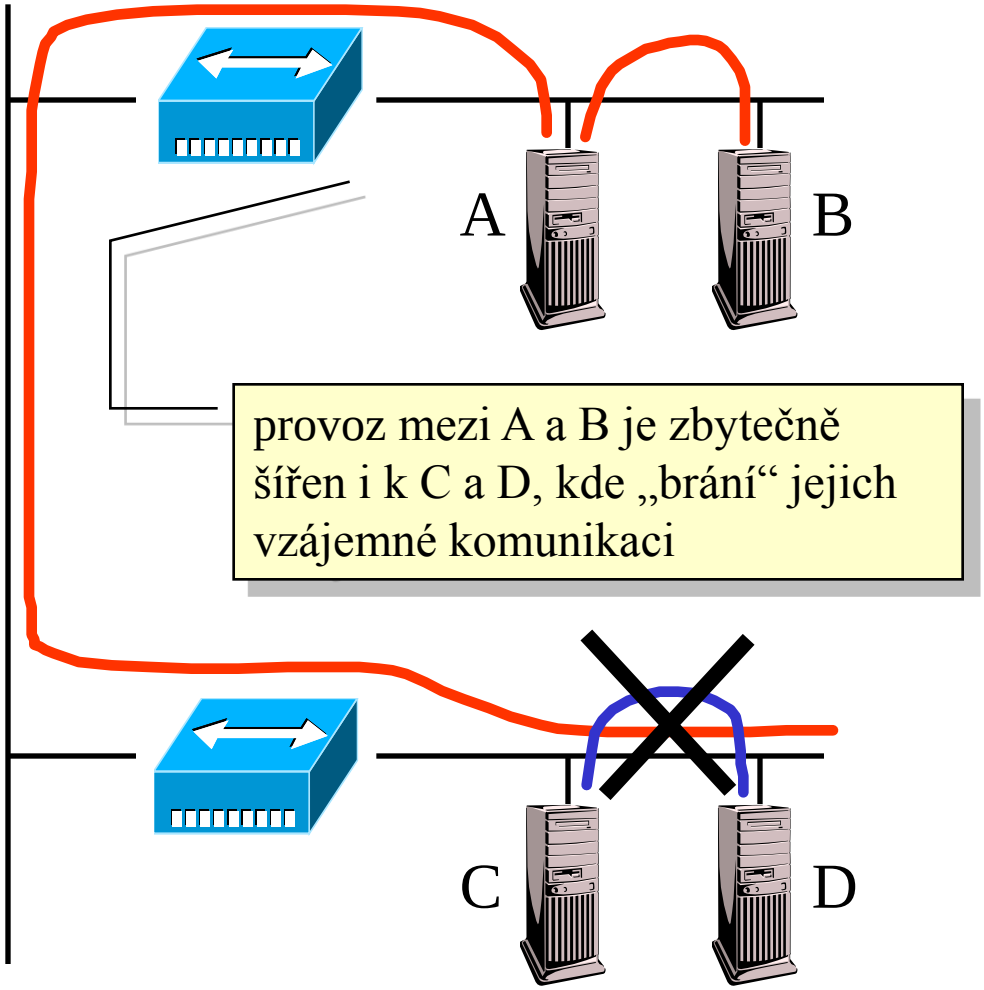


- exaktní formulace pravidla: (pravidlo 5-4-3)
  - max. 5 segmentů
  - max. 4 opakovače
  - max. 3 „obydlené“ segmenty
    - ostatní jsou pouze propojovací, např. optické, a není k nim nic připojováno



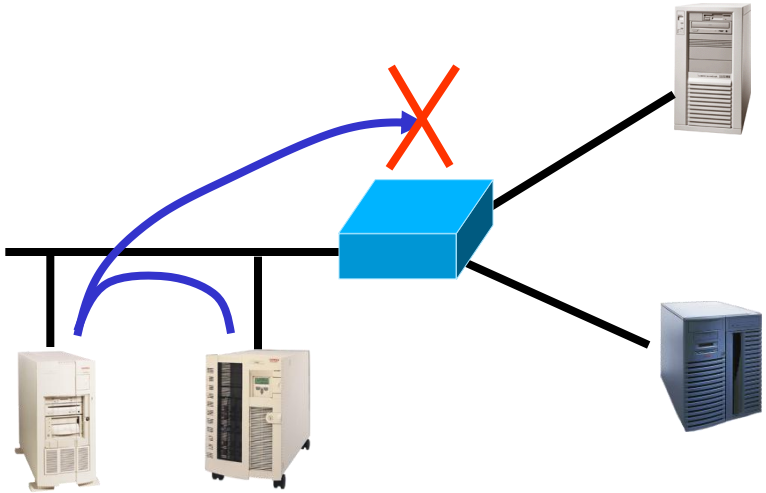
nevýhody opakovačů

- jsou to „hloupá“ zařízení, šíří do ostatních segmentů i to, co by mohlo zůstat někde lokální
  - plýtvají dostupnou přenosovou kapacitou
  - musí tak činit proto, že nerozpoznají, co by již nemusely šířit !!
- řešení:
  - dodat propojovacím zařízením dostatečnou inteligenci
    - nestačí – neměly by se podle čeho rozhodovat
  - přejít na vyšší vrstvu, alespoň linkovou
    - zde již jsou k dispozici potřebné údaje (v hlavičkách linkových rámců)

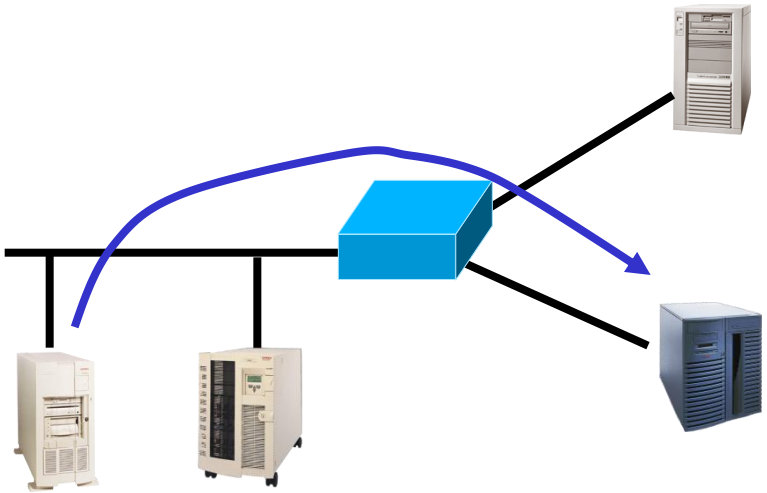


čeho se chce dosáhnout?

- **Filtering** (filtrování)
  - aby propojovací uzel dokázal poznat, co nemusí být šířeno dále
    - a také to dále nešířil
- díky schopnosti filtrování lze významnou měrou „lokalizovat“ provoz



- **Forwarding** (cílené předávání)
  - aby propojovací uzel dokázal rozpoznat, co musí poslat někam dál
  - …. a dělal to cíleně !!!
    - tj. posílal to jen tam, kam to má být šířeno,
    - …. a neposílal to jinam

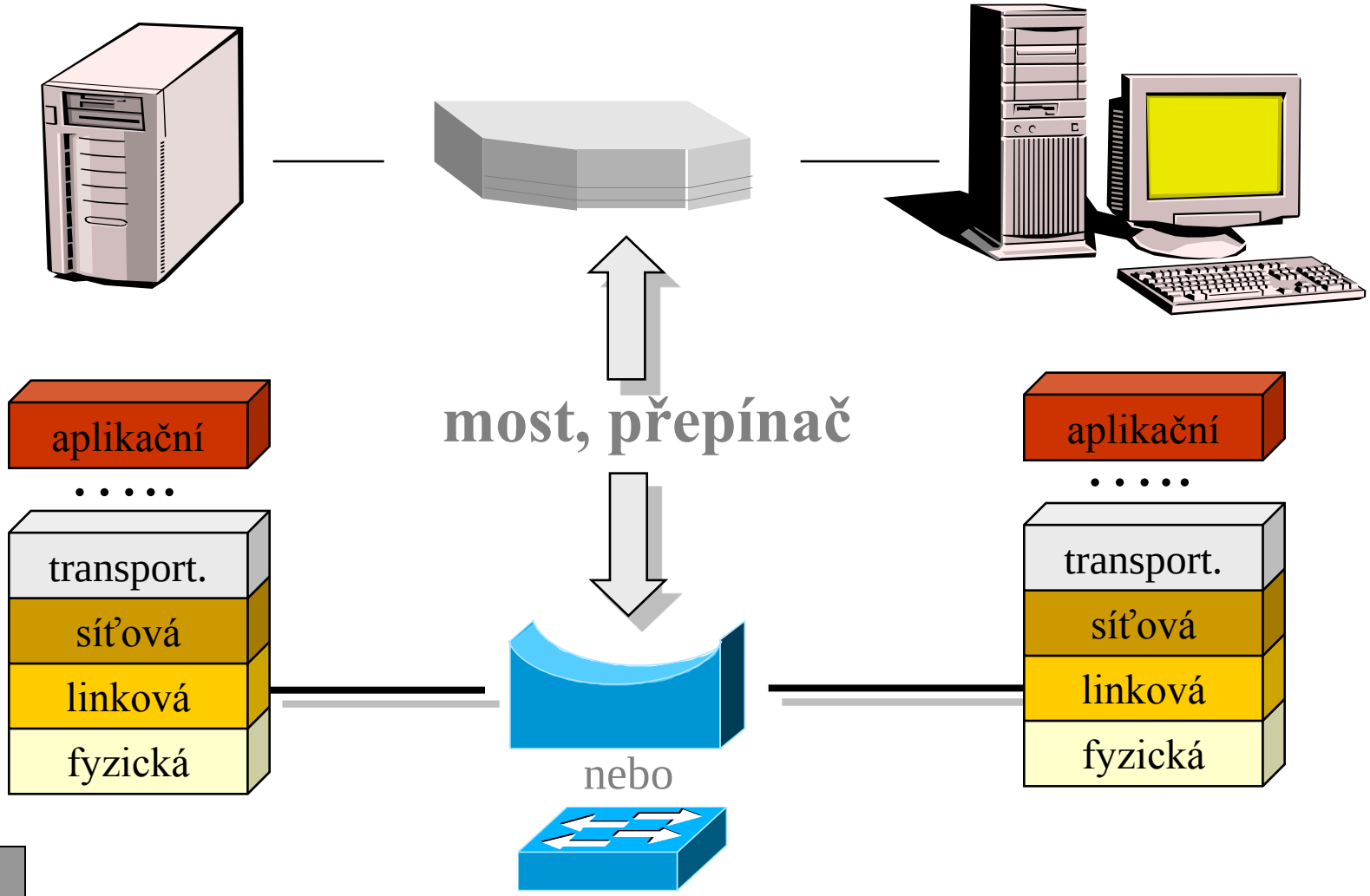


možné řešení

- aby se propojovací uzel mohl chovat inteligentně, musí alespoň trochu rozumět přenášeným datům
  - potřebuje znát adresu příjemce a adresu odesilatele
  - tu může poznat z hlavičky rámce (nebo paketu, datagramu, buňky)
- propojovací uzel pak musí sám fungovat alespoň na úrovni linkové vrstvy
  - musí znát přenosové protokoly příslušné vrstvy,
  - musí rozumět formátu datových bloků na příslušné úrovni
  - musí chápat význam informací, které jsou s přenosem spojeny (hlavně význam adres)
- musí to být alespoň
  - **most** (bridge) – na linkové vrstvě
  - **přepínač** (switch) – na linkové vrstvě
- propojovací uzel musí také "znát své okolí"
  - musí vědět, kde (ve kterém segmentu) se nachází konkrétní uzly
    - má-li jim předávat data cíleně
  - mostu a přepínači (na linkové vrstvě) stačí znát jen své přímé sousedy
    - do nejbližšího směrovače
- otázka:
  - *jak tyto informace získá?*
  - možnosti:
    - statická konfigurace
    - dynamické získávání informací
    - jinak

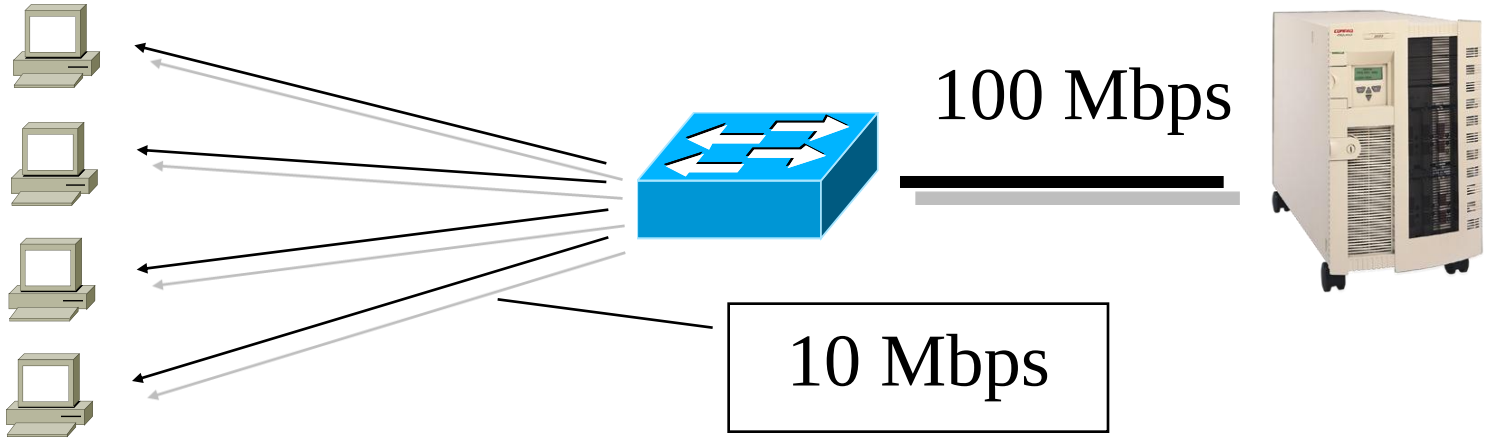
most (bridge)

propojení na linkové vrstvě



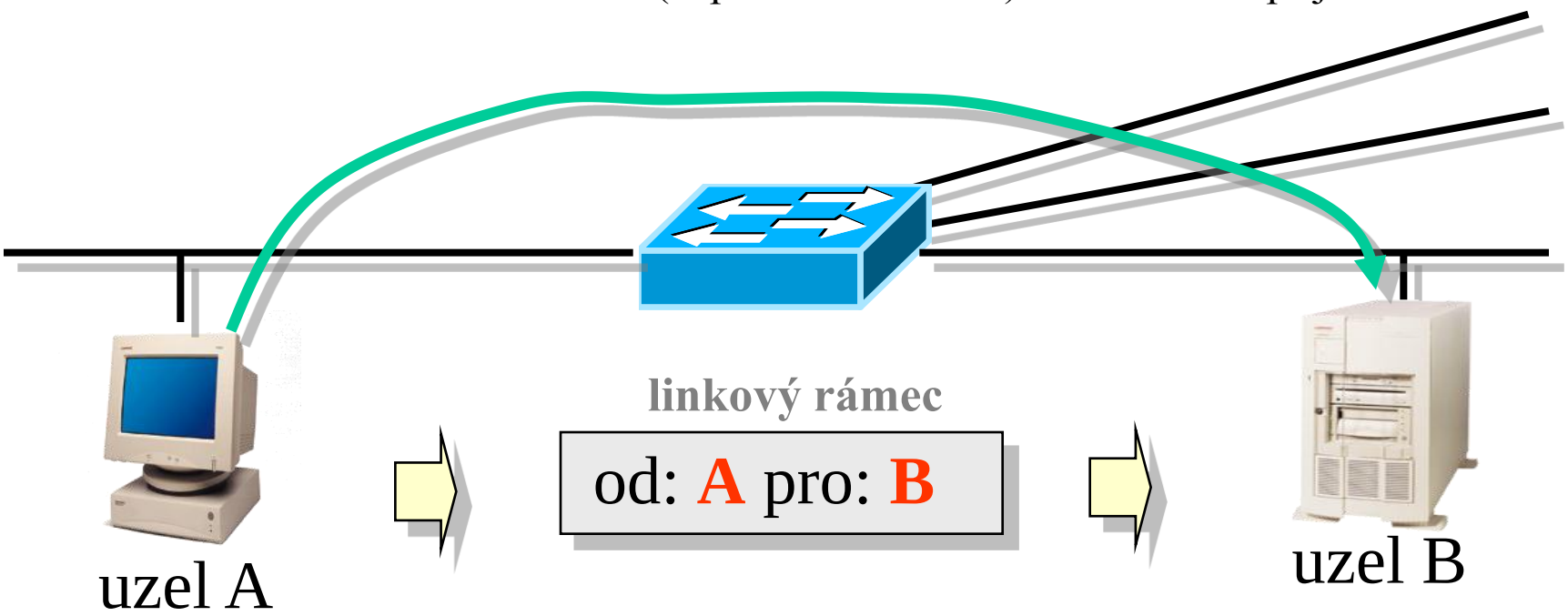
důsledek

- aby propojovací uzel dokázal reagovat na adresy příjemce a odesilatele, nemůže už fungovat v reálném čase!!!
  - musí nějakým způsobem bufferovat data
    - celé datové bloky nebo alespoň jejich části
      - takové, ze kterých lze vyčíst adresu příjemce (a odesilatele)
  - díky bufferování může propojovat segmenty s různými přenosovými rychlostmi
    - může to být např. Ethernetový přepínač 10Mbps/100Mbps



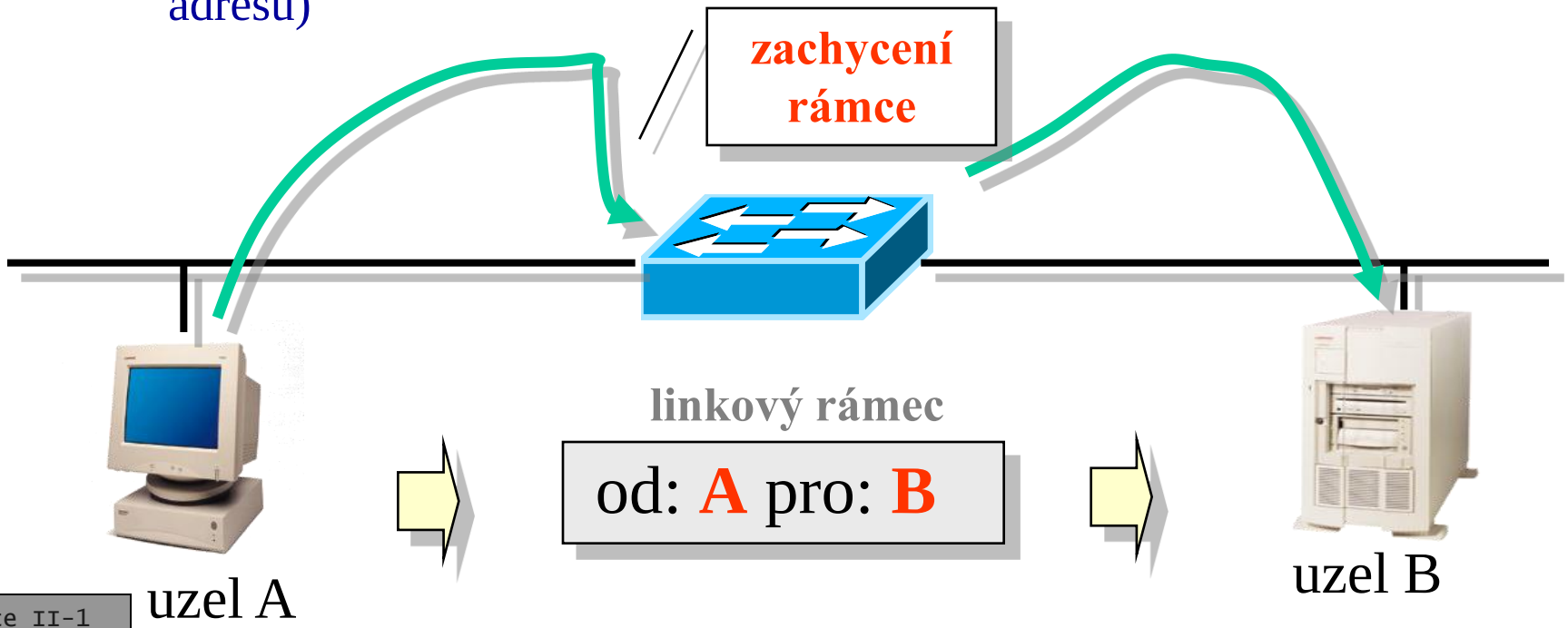
viditelnost propojovacích uzlů

- na úrovni linkové vrstvy:
  - propojovací uzel není pro ostatní uzly viditelný
  - odesilatel neví o propojovacím uzlu, odesílaný rámec adresuje koncovému příjemci (v dané síti)
    - rámec nese linkovou (např. Ethernetovou) adresu svého příjemce



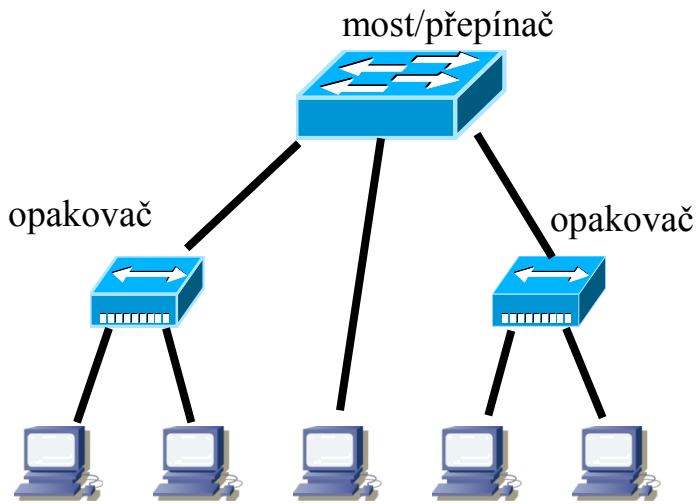
viditelnost propojovacích uzlů

- na úrovni linkové vrstvy:
  - propojovací uzel funguje v tzv. promiskuitním režimu, kdy zachytává všechny datové rámce
    - i takové, které mu nejsou adresovány
    - za normálních okolností by mu neměly být přímo adresovány žádné rámce
  - propojovací uzel nemá vlastní adresu na úrovni síťové vrstvy (např. IP adresu)

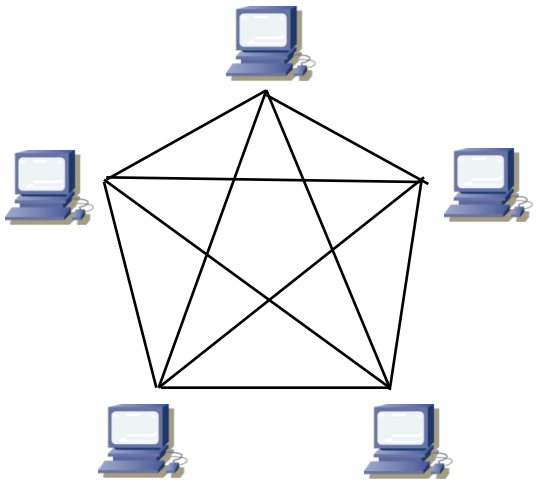


důsledek

skutečnost
(skutečné zapojení)



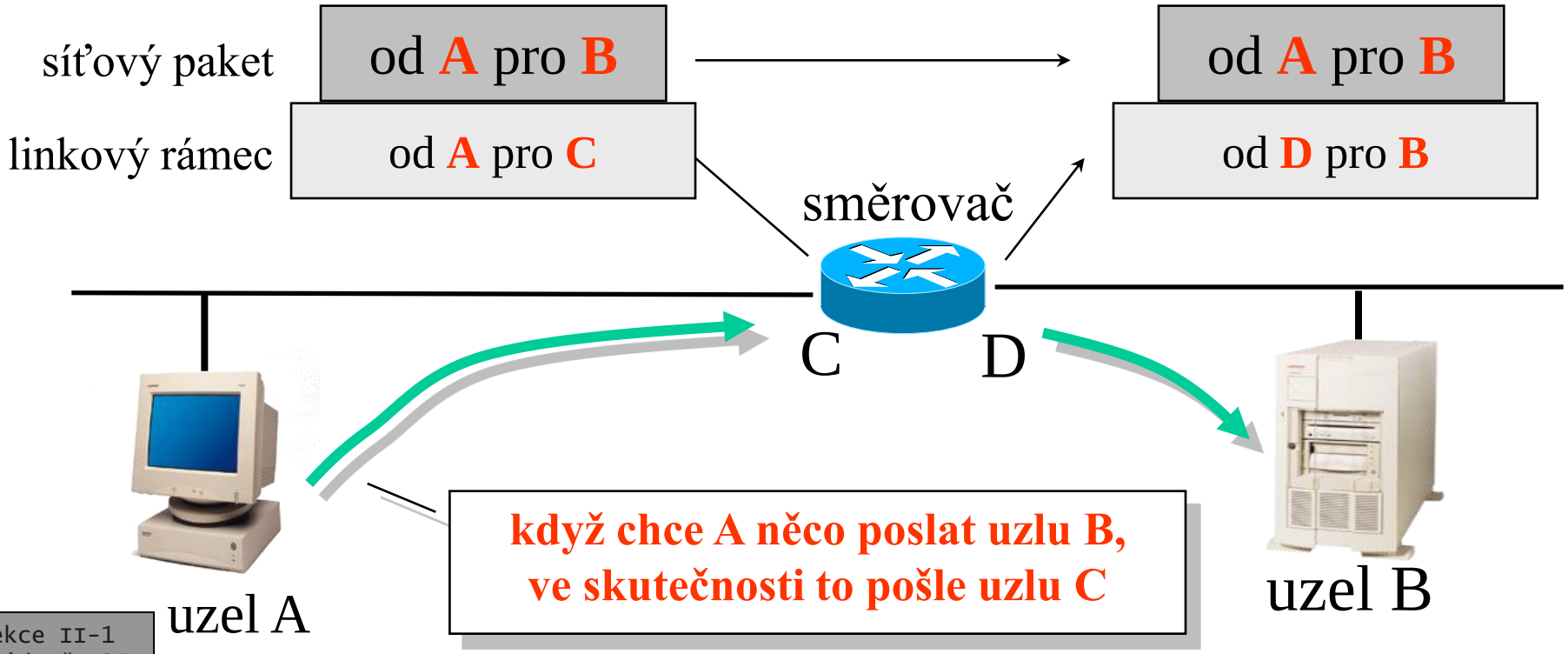
představa
(chování při přenosu na úrovni linkové vrstvy)



- uzly, které jsou propojeny na úrovni linkové vrstvy (nachází se v jedné síti) si mohou myslet, že jsou propojeny mezi sebou přímo, stylem "každý s každým"

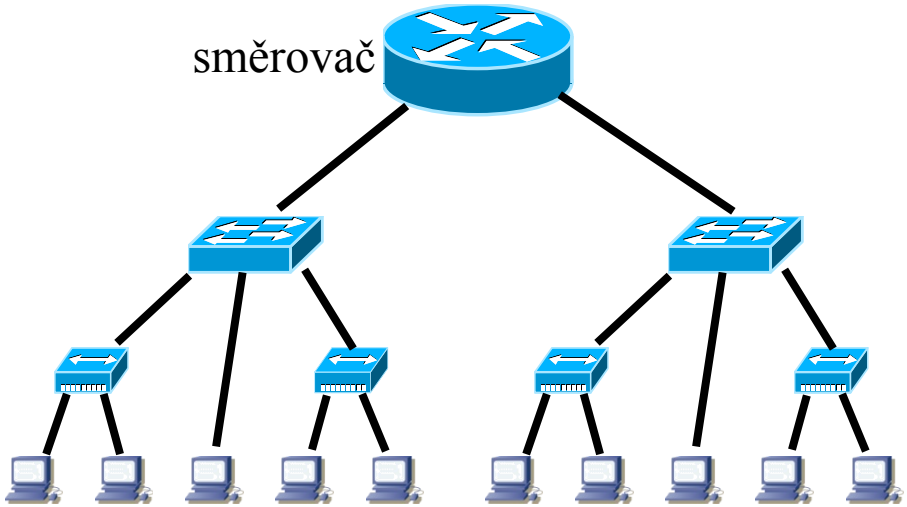
viditelnost propojovacích uzlů

- na úrovni síťové vrstvy:
  - propojovací uzel je viditelný pro ostatní uzly, tyto si uvědomují jeho existenci a počítají s ní
  - přenášené pakety nesou v sobě síťovou adresu koncového příjemce, ale jsou odesílány na linkovou adresu propojovacího uzlu

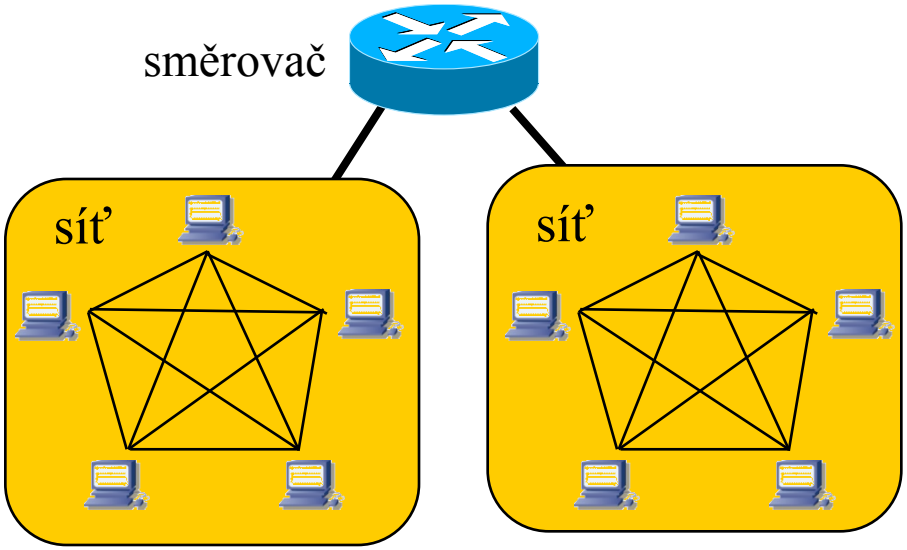


důsledek

skutečnost
(skutečné zapojení)



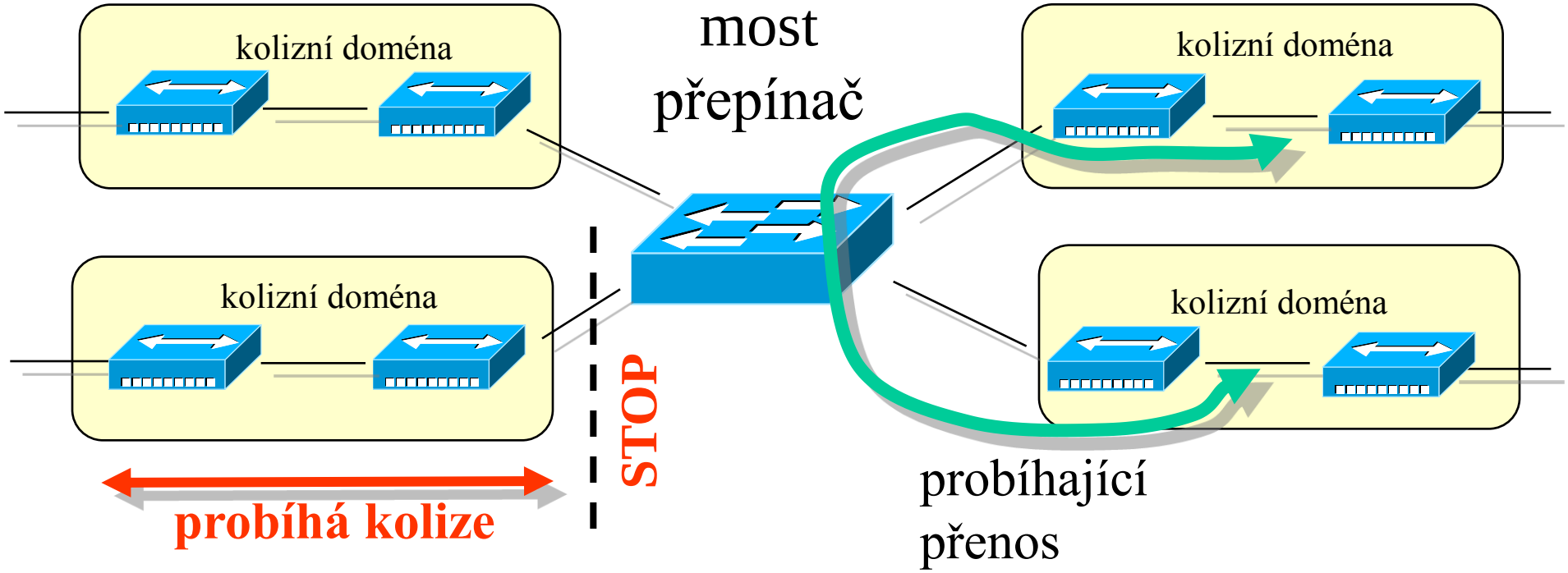
představa
(chování při přenosu na úrovni síťové vrstvy)



- na úrovni síťové vrstvy si uzly uvědomují, že patří do různých sítí
- pokud chtějí komunikovat s uzlem v jiné síti, musí:
  - najít vhodný směrovač, přes který vede cesta do cílové sítě
  - svá data posílat tomuto směrovači, který zajistí jejich "přeposlání dál" ;

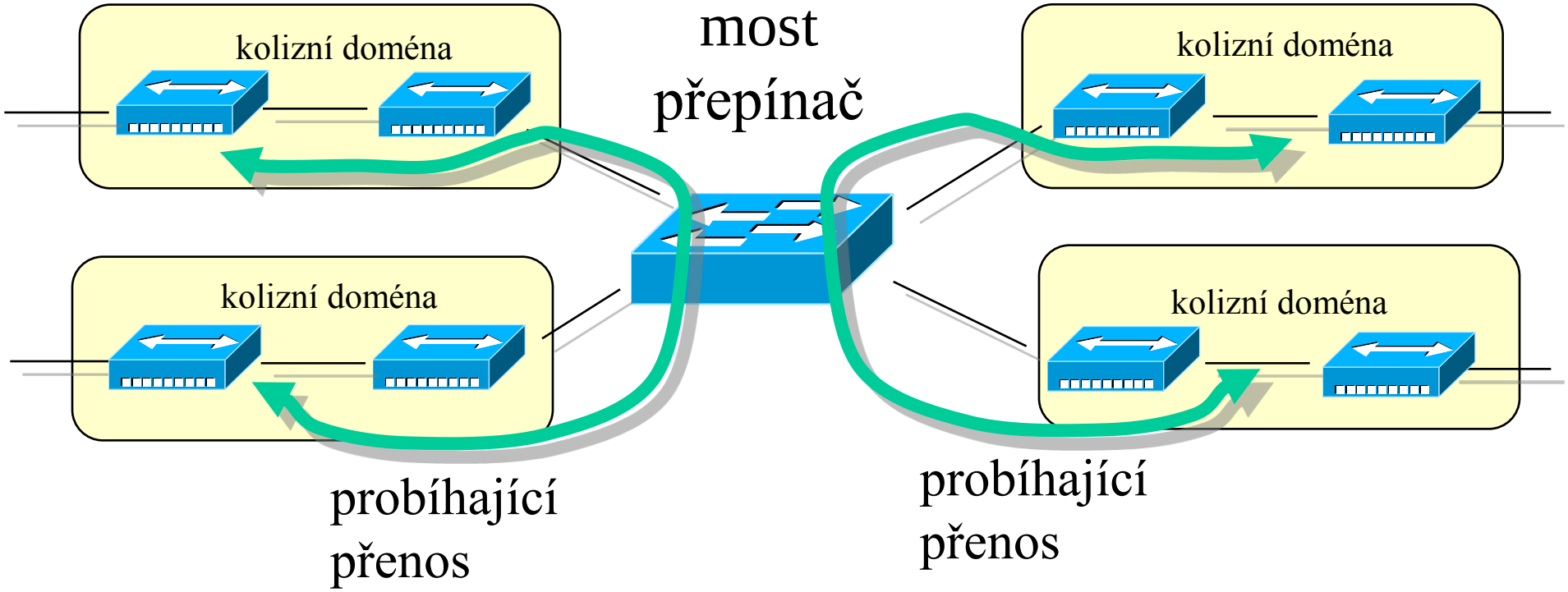
chování propojovacího uzlu na úrovni linkové vrstvy

- vůči kolizím (v Ethernetu):
  - díky bufferování není nutné kolize propagovat
  - pravidlo o max. počtu opakovačů se „zastavuje“ na nejbližším mostu, přepínači či směrovači



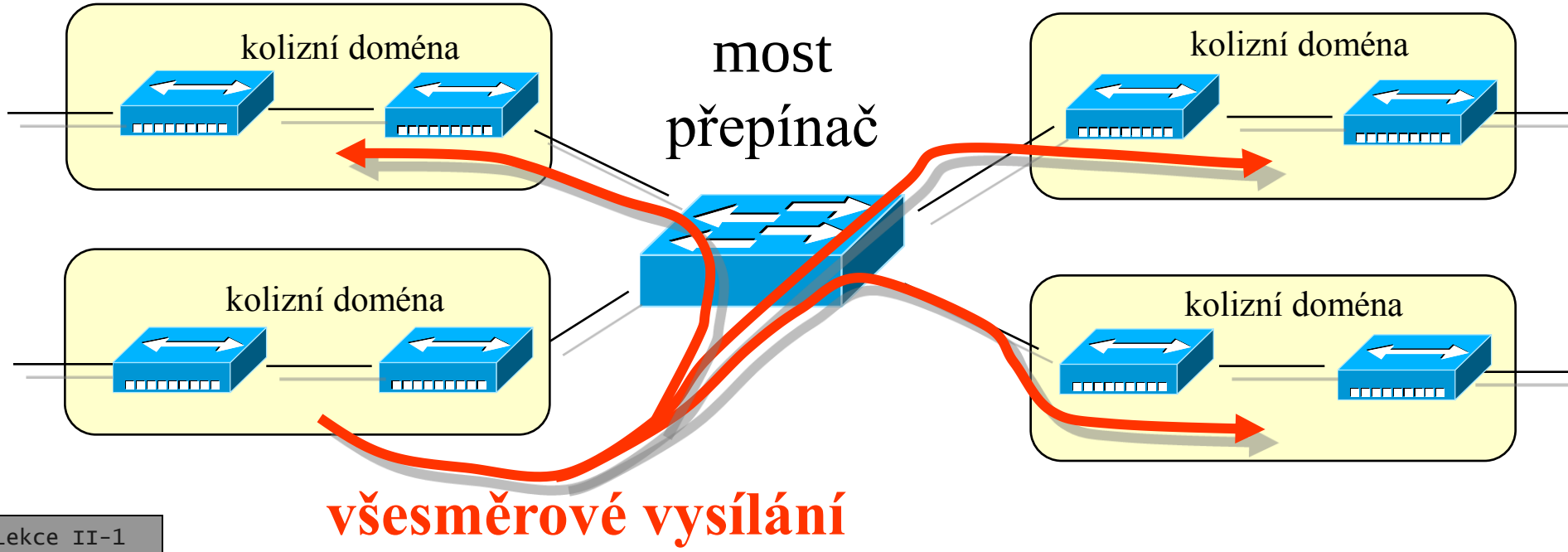
chování propojovacího uzlu na úrovni linkové vrstvy

- vůči "souběžným" přenosům:
  - pokud (vnitřní přepojovací) kapacita uzlu stačí, a
  - pokud jde o přenosy, které se nijak "nekříží" ….
  - … pak mohou probíhat souběžně (a neovlivňovat se navzájem)



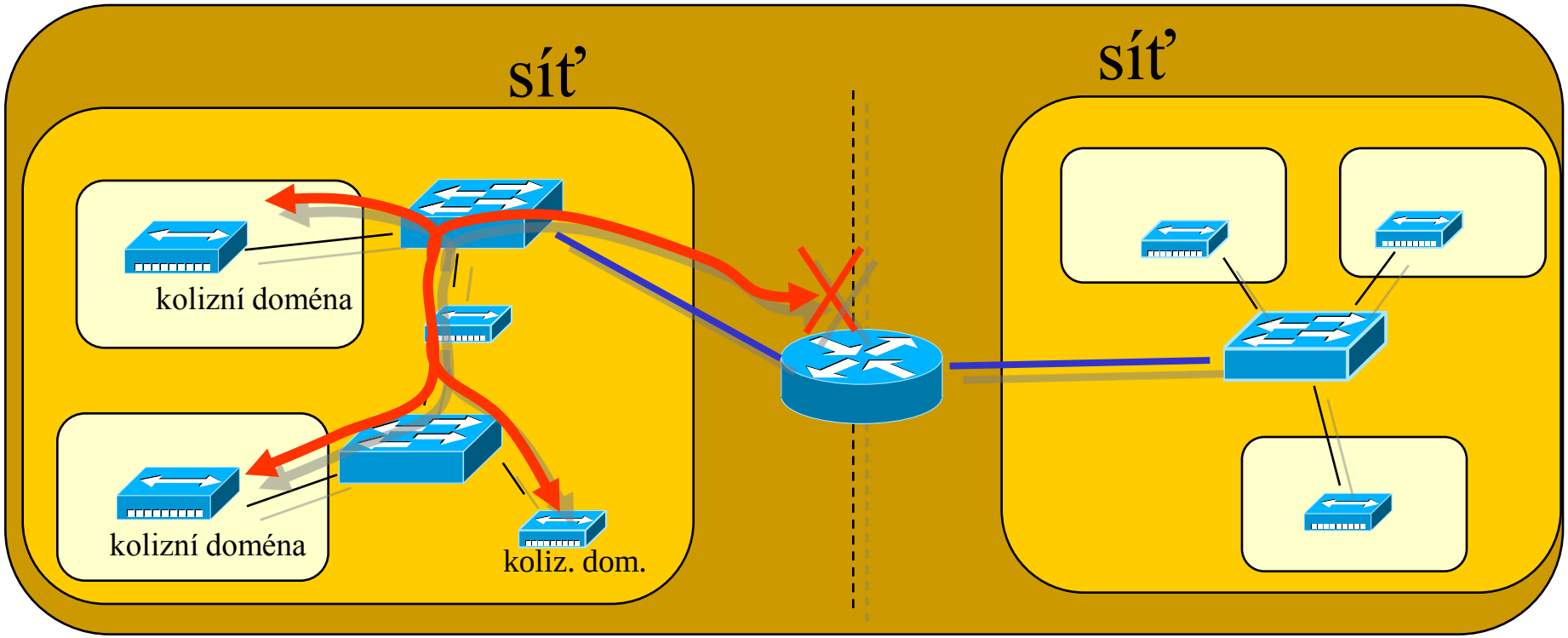
chování propojovacího uzlu na úrovni linkové vrstvy

- vůči všesměrovému vysílání (broadcasting-u):
  - na úrovni linkové vrstvy: musí se propouštět a šířit do všech segmentů
    - na úrovni síťové vrstvy: nemusí se propouštět
      - dokonce nesmí, jinak by se jednalo o "lavinu" (záplavu)



chování propojovacího uzlu na úrovni síťové vrstvy

- vůči všesměrovému vysílání (broadcasting-u):
  - na úrovni síťové vrstvy: nemusí se propouštět a šířit do ostatních segmentů
    - dokonce nesmí – byla by to lavina (záplava)

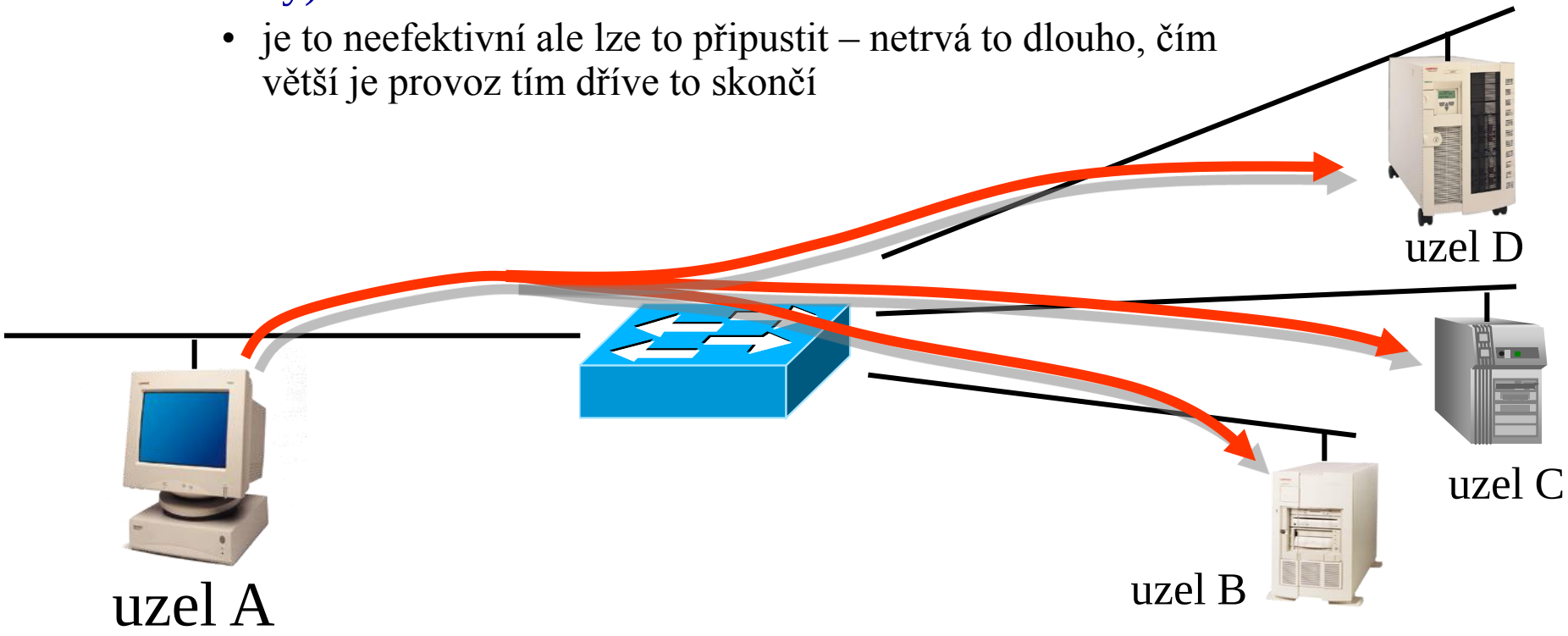


co musí znát propojovací uzly?

- propojovací uzel musí mít dostatečné informace o skutečné topologii sítě:
  - na úrovni linkové vrstvy (most, přepínač) o svém nejbližším okolí
    - v dosahu přímého spojení, k nejbližším směrovačům
  - na úrovni síťové vrstvy (směrovač) o skutečné topologii sítě
  - na úrovni aplikační vrstvy (brána) musí rozumět přenášeným datům
- pozorování (most, přepínač):
  - rozsah informací, které potřebuje, je relativně malý
    - týká se jen nejbližšího okolí
  - most i přepínač je schopen (nějak) fungovat i tehdy, když tyto informace nebude mít k dispozici !!!!
    - bude fungovat jako opakovač, a rozešle všechno na všechny strany
    - nebude to efektivní, ale na krátkou dobu to lze připustit
- důsledek:
  - lze připustit, aby si most sám získával potřebné informace ze svého okolí (učil se)
    - a do doby, než se „naučí“, fungoval neefektivně
    - tato neefektivnost nepředstavuje příliš velkou zátěž
  - ethernetové mosty a přepínače to tak dělají
    - používají metodu tzv. zpětného učení
- výhoda:
  - propojovací uzly, fungující na linkové vrstvě (mosty, přepínače) mohou být zařízení typu „plug & play”
    - není nutné je konfigurovat
  - pro propojovací uzly na síťové vrstvě to už neplatí
    - zde by "postupné učení" trvalo neúnosně dlouho
    - neefektivní chování během učení by způsobovalo významnou zátěž

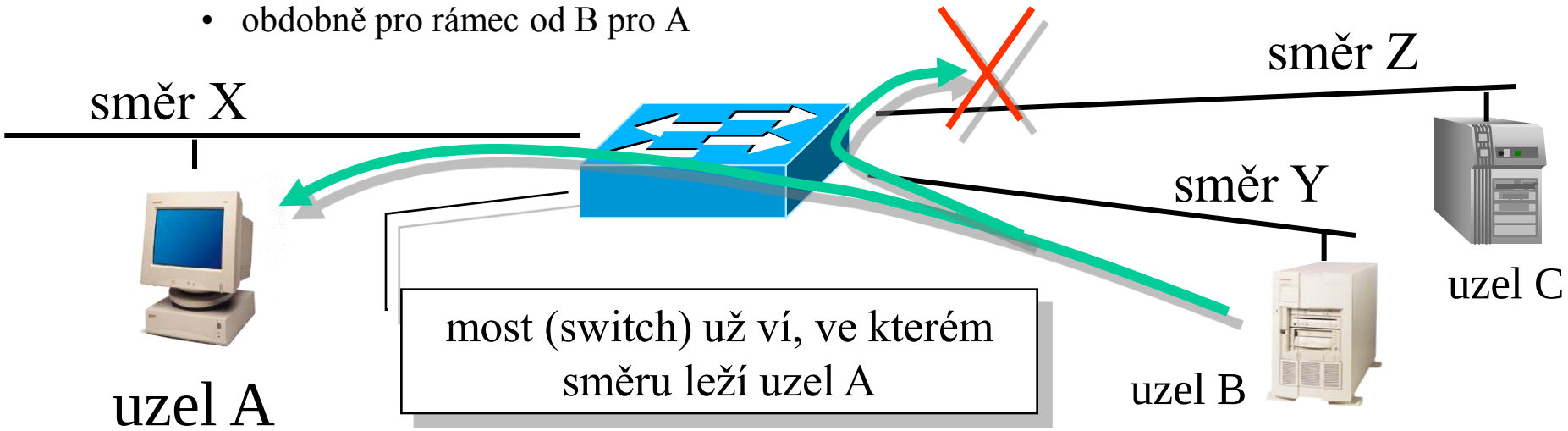
princip zpětného učení (používaný v Ethernetu)

- most (přepínač) začíná fungovat jako „tabula rasa“
  - nemá žádné informace o topologii svého okolí
  - v tomto stavu se chová jako opakovač (na úrovni linkové vrstvy)
    - je to neefektivní ale lze to připustit – netrvá to dlouho, čím větší je provoz tím dříve to skončí



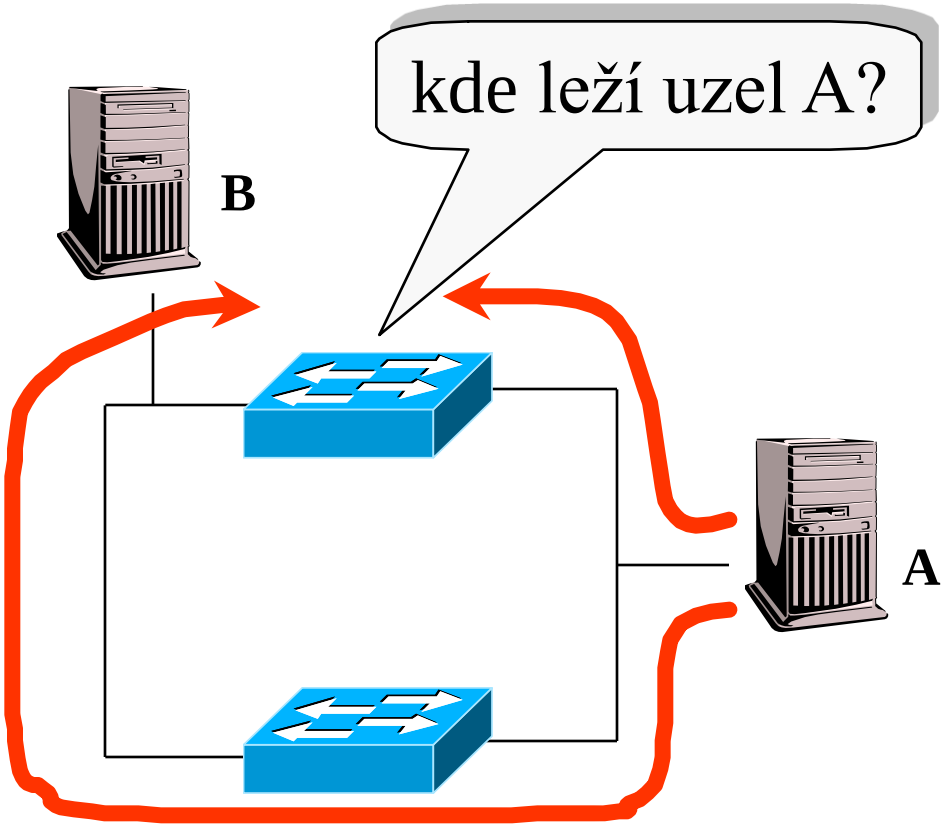
princip zpětného učení

- most (přepínač) průběžně sleduje z jakých adres mu přichází jednotlivé rámce
  - když dostane rámec od uzlu A pro uzel B ze směru X, odvodí si že „**A leží ve směru X**“
    - rámec rozešle do všech směrů (kromě X)
  - z případné odpovědi se „dozví“ umístění uzlu B
    - "**B leží ve směru Y**"
  - příští rámec od A pro B již pošle cíleně jen do směru Y, ve kterém se B skutečně nachází
    - obdobně pro rámec od B pro A



překážka pro „samoučení“ - cykly

- proces samoučení nebude fungovat, když v síti budou cykly (smyčky)
  - pak most (přepínač) přijme jeden rámec z více různých směrů
  - a nebude si s tím vědět rady
- inteligentní mosty a přepínače se dokáží vzájemně domluvit a cyklus přerušit
  - aplikují algoritmus STA (Spanning Tree Alg.) a vytvoří kostru grafu
  - rozpojí ty spoje, které způsobily zacyklení

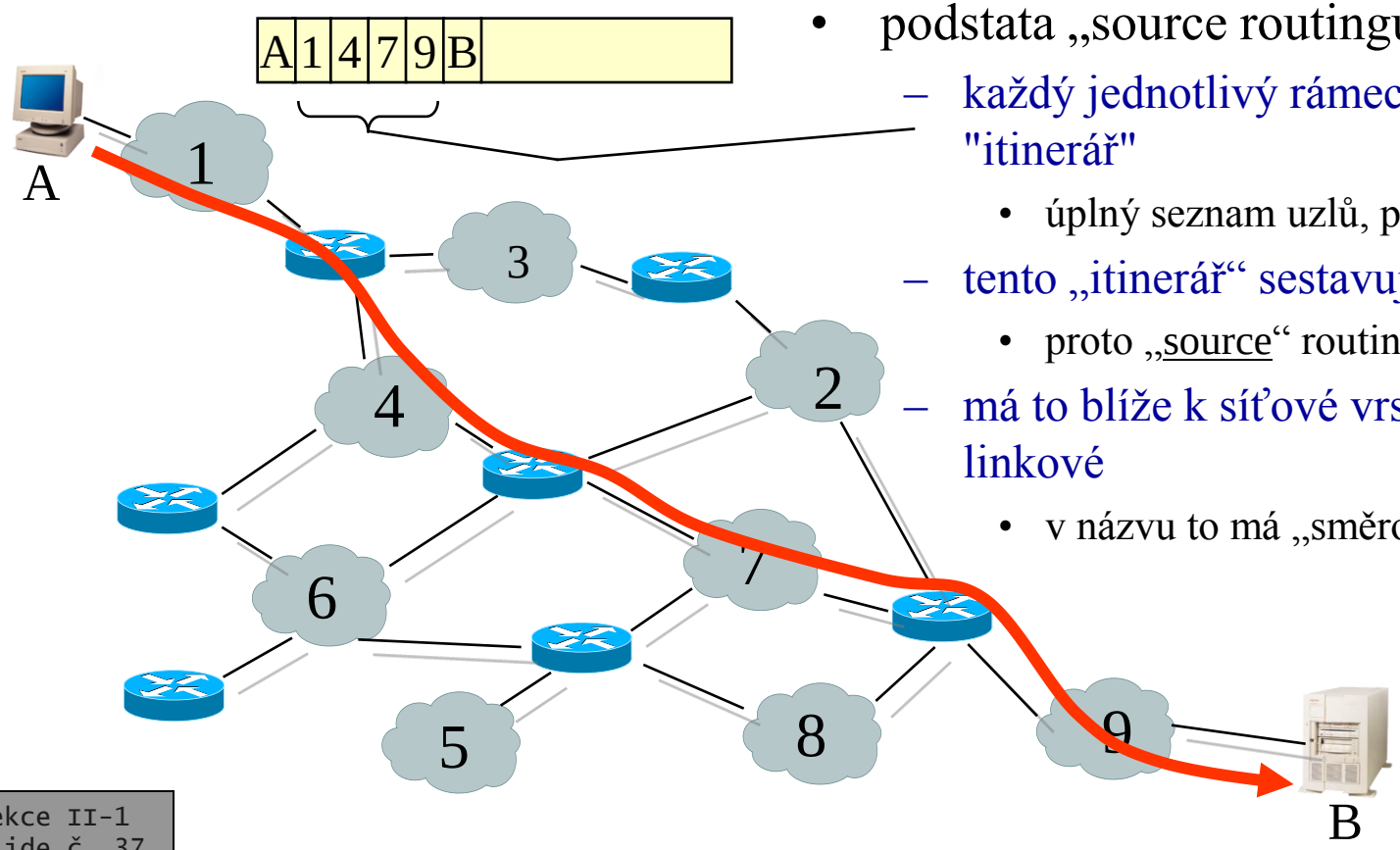


Source Routing

- v sítích Ethernet:
  - používají se výhradně samoučící se mosty (přepínače)

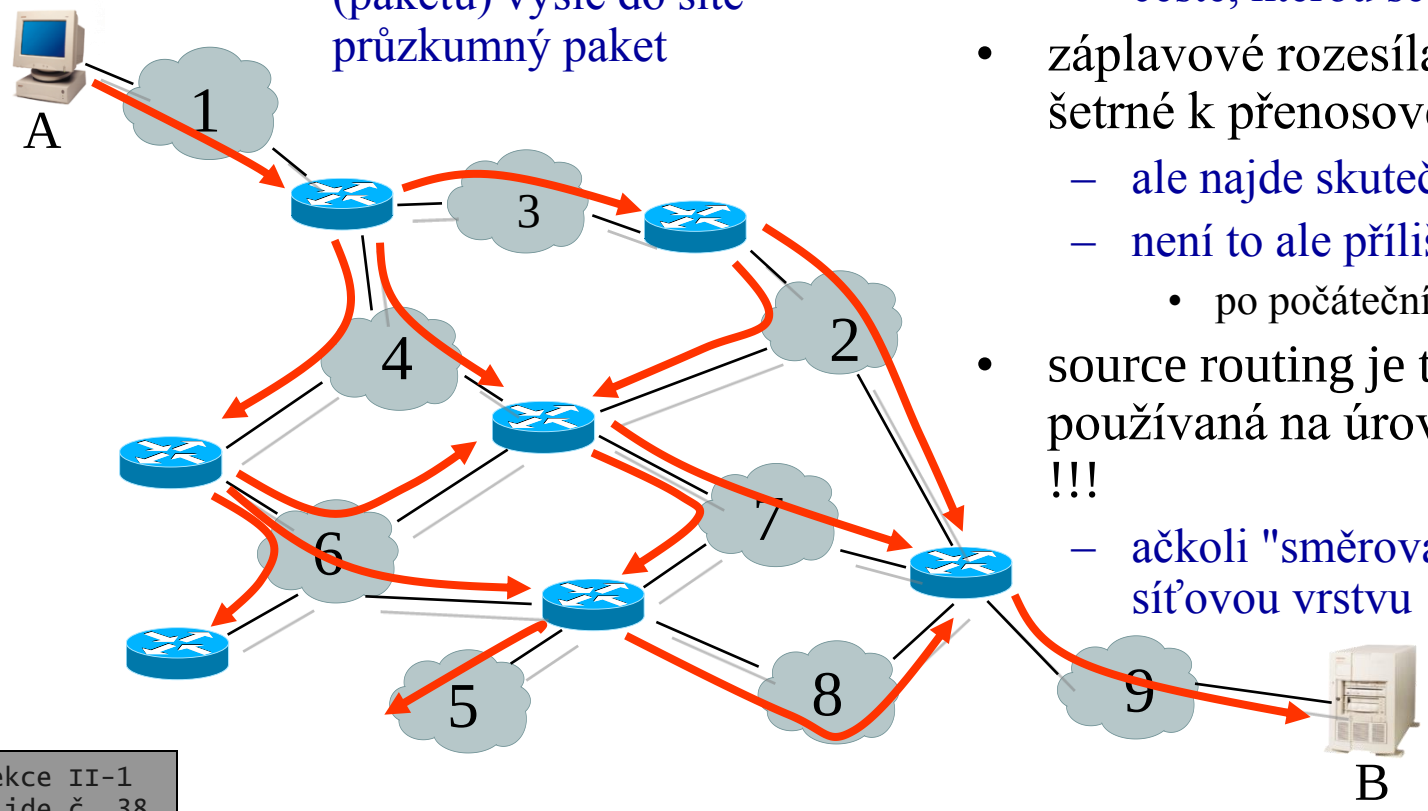
- v sítích Token Ring:
  - používají se mosty fungující na principu „source routing“
    - doslova: zdrojové směrování., směrování prováděné zdrojem

- podstata „source routingu“:
  - každý jednotlivý rámec si v sobě nese úplný "itinerář"
    - úplný seznam uzlů, přes které má projít
  - tento „itinerář“ sestavuje odesílající uzel
    - proto „source“ routing
  - má to blíže k síťové vrstvě než k vrstvě linkové
    - v názvu to má „směrování“ (routing)



Source Routing

- kde vezme odesílající uzel znalost o topologii sítě, na základě které sestaví úplný itinerář?
  - před odesláním paketu (paketů) vyšle do sítě průzkumný paket



- průzkumný paket (spíše rámec) se šíří záplavově (jako lavina), až dorazí ke svému cíli
  - po dosažení cíle se průzkumný paket vrací a nese v sobě údaj o cestě, kterou se k cíli dostal
- záplavové rozesílání není moc šetrné k přenosové kapacitě
  - ale najde skutečně „nejkratší“ cestu
  - není to ale příliš adaptivní
    - po počátečním nalezení cesty
- source routing je technika používaná na úrovni linkové vrstvy !!!
  - ačkoli "směrování" naznačuje síťovou vrstvu

další otázky internetworking-u

- má propojovací uzel vždy nejprve načíst celý datový blok (rámec, paket), a teprve pak se rozhodovat co s ním?
  - ano: princip store&forward
- nebo se má snažit o rozhodnutí (i jeho naplnění) co nejrychleji, jak je to jen možné?
  - ano: princip cut&through
- podle jakých informací se má propojovací uzel rozhodovat?
- obecně:
  - **opakovač**: žádných (nerozhoduje se)
  - **most/přepínač**: podle linkových adres
  - **směrovač**: podle síťových adres
  - **brána**: podle (aplikačního) obsahu
- ale také:
  - **layer 3 switch**: podle síťových adres
  - **layer 4 switch**: podle síťových adres a čísel portů
  - **layer 7 switch (content switch)**: i podle aplikačních dat
- …..