

Počítačové sítě, v. 3.0



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



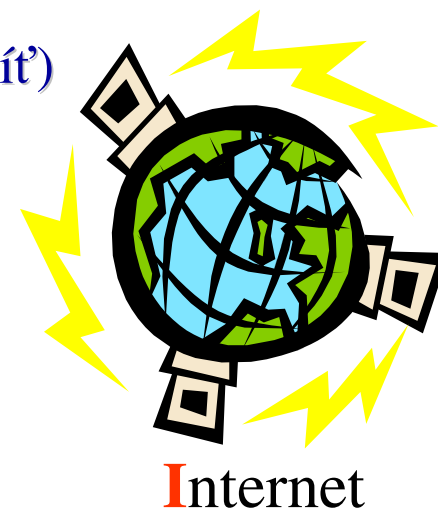
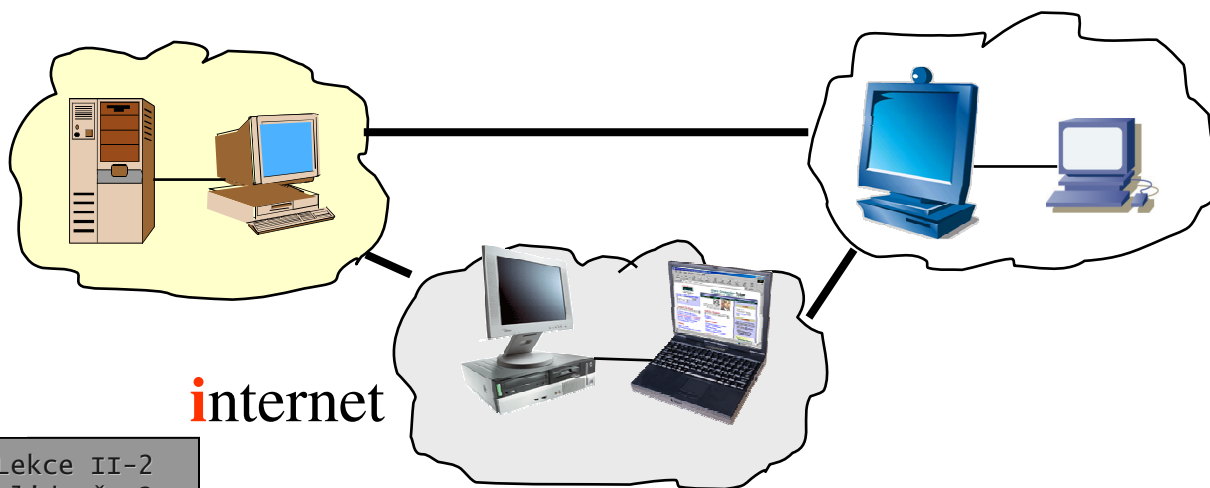
Lekce 2: internetworking

J. Peterka, 2005

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, serverům Gopher, 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



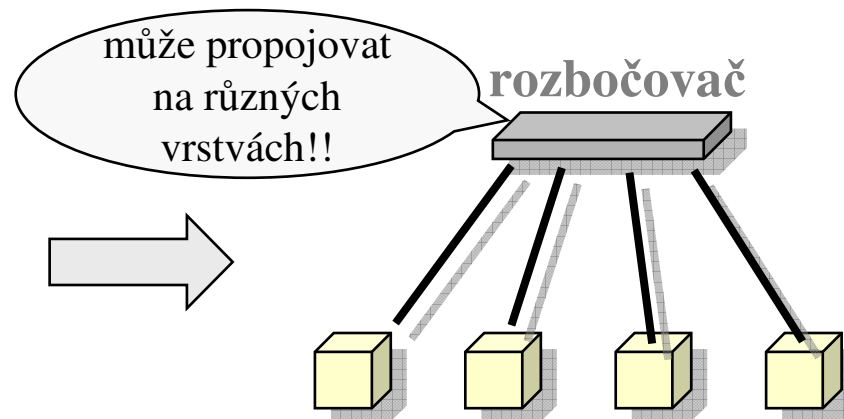
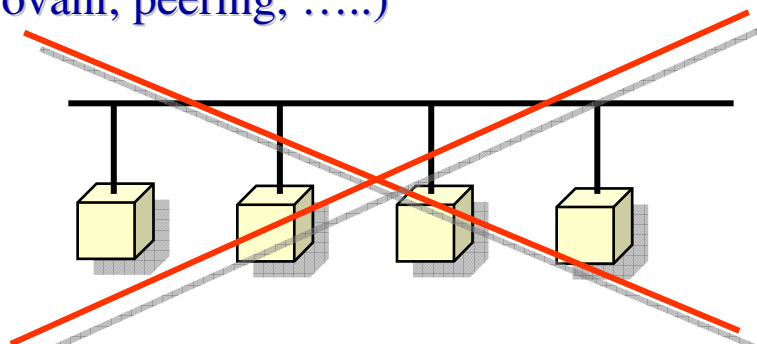
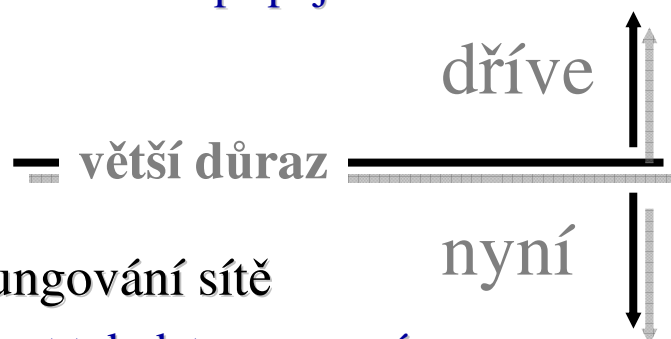
Důvody pro internetworking

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

- Optimalizace fungování sítě
 - snaha regulovat tok dat, zamezení zbytečného šíření provozu,
 - implementace nejrůznějších strategií a opatření (oprávnění k přístupu, správné směrování, peering,

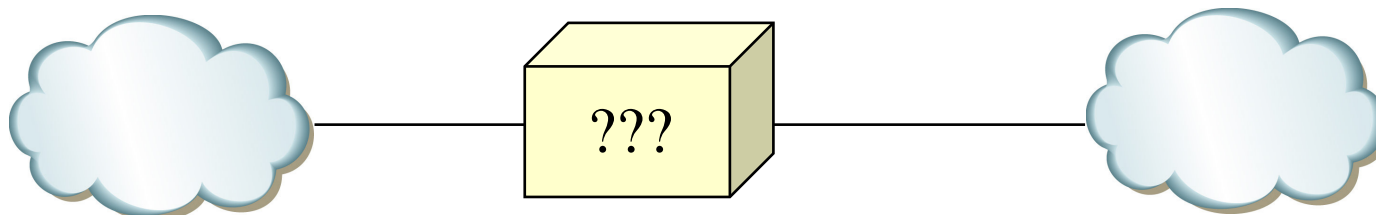
- fyzikální podstata některých druhů kabeláže

- 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



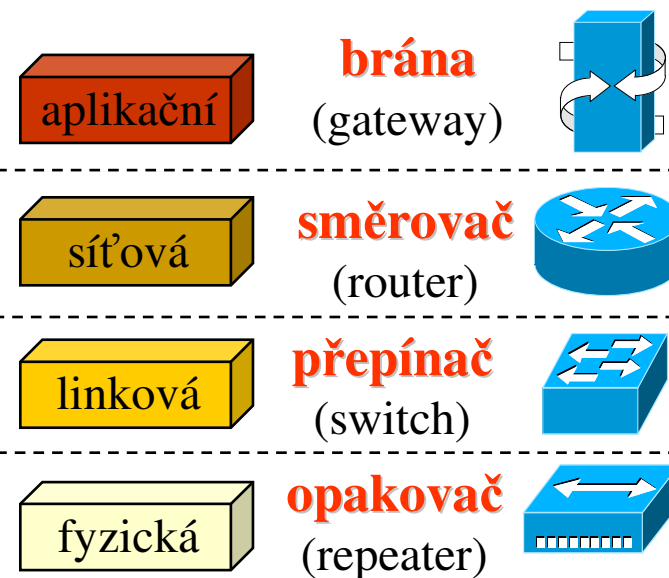
- rozdíl je v tom, jakým způsobem propojovací zařízení pracuje

- na jaké vrstvě

- možnosti: od fyzické až po aplikační
- podle toho, na jaké vrstvě pracuje, se zařízení i pojmenovává
 - opakovač, přepínač, směrovač, brána

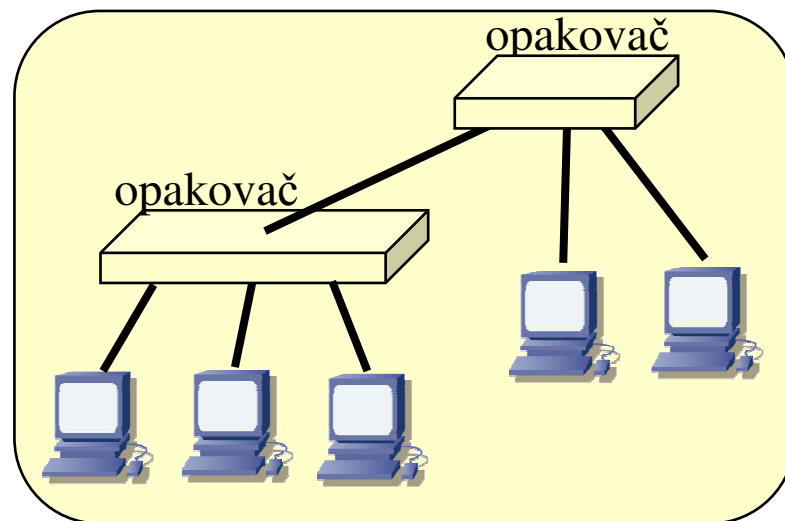
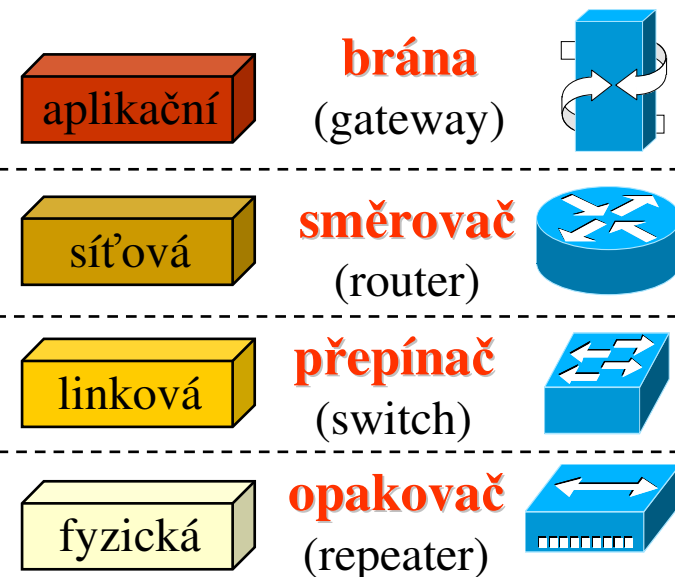
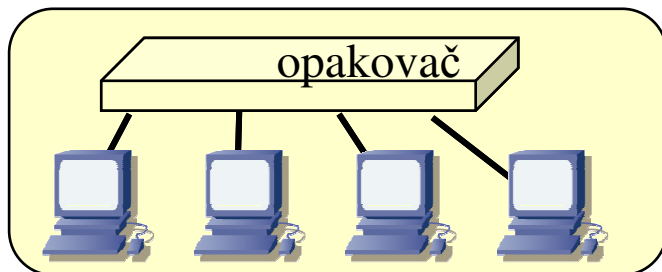
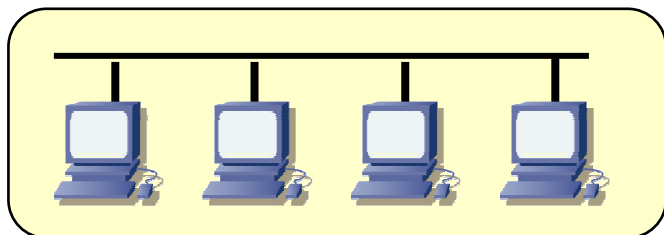
- jakým způsobem

- jaká vytváří omezení, co povoluje, jak kontroluje, ...
- pojmenování je i podle funkce
 - rozbočovač, firewall, proxy brána



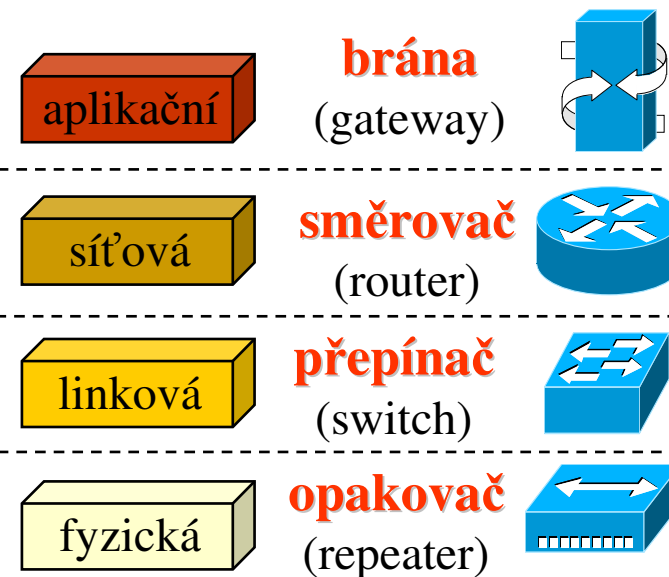
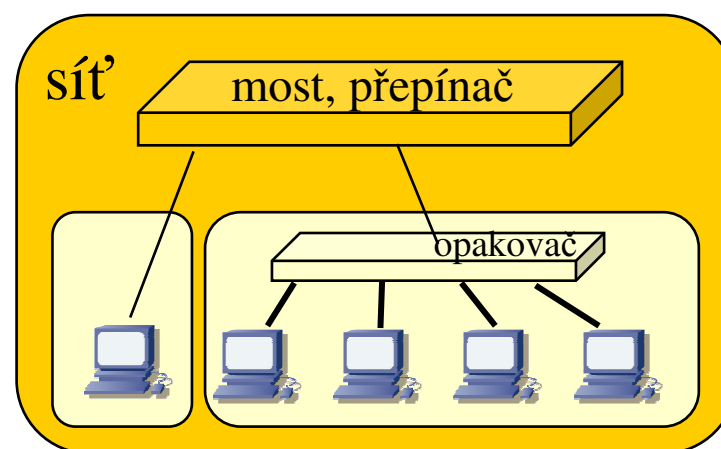
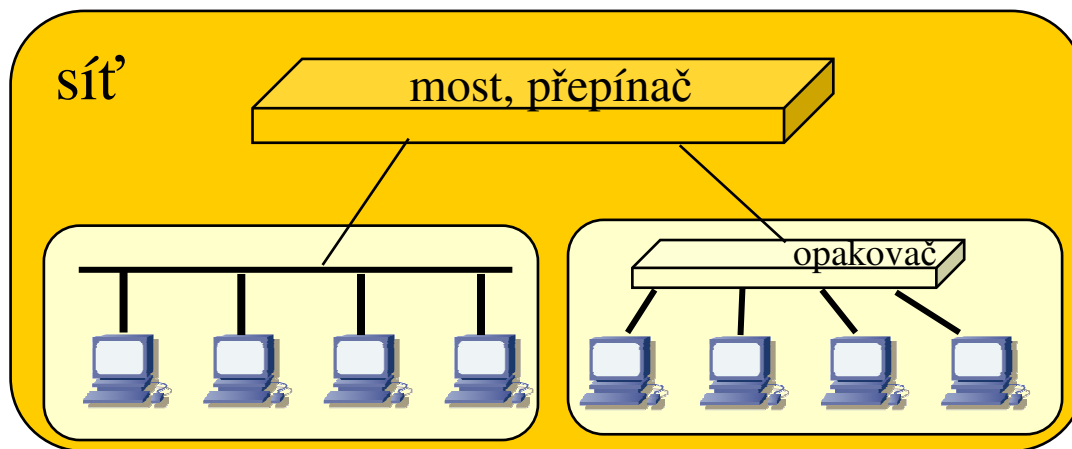
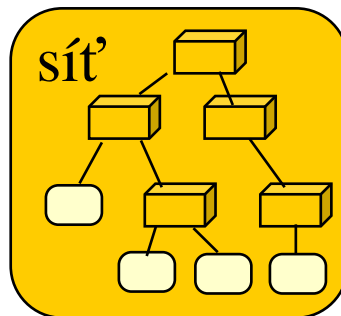
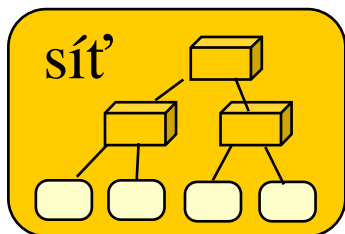
Představa - segment

- 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 vysílá, slyší všechny ostatní uzly



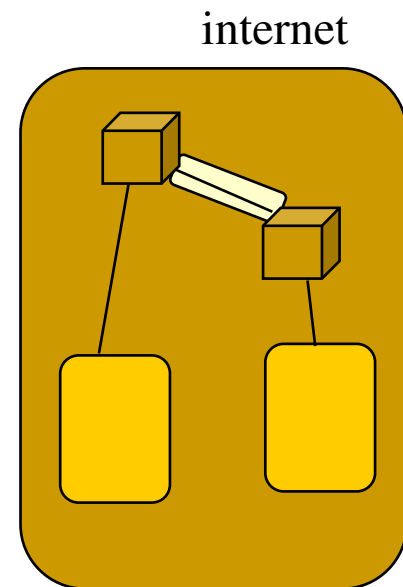
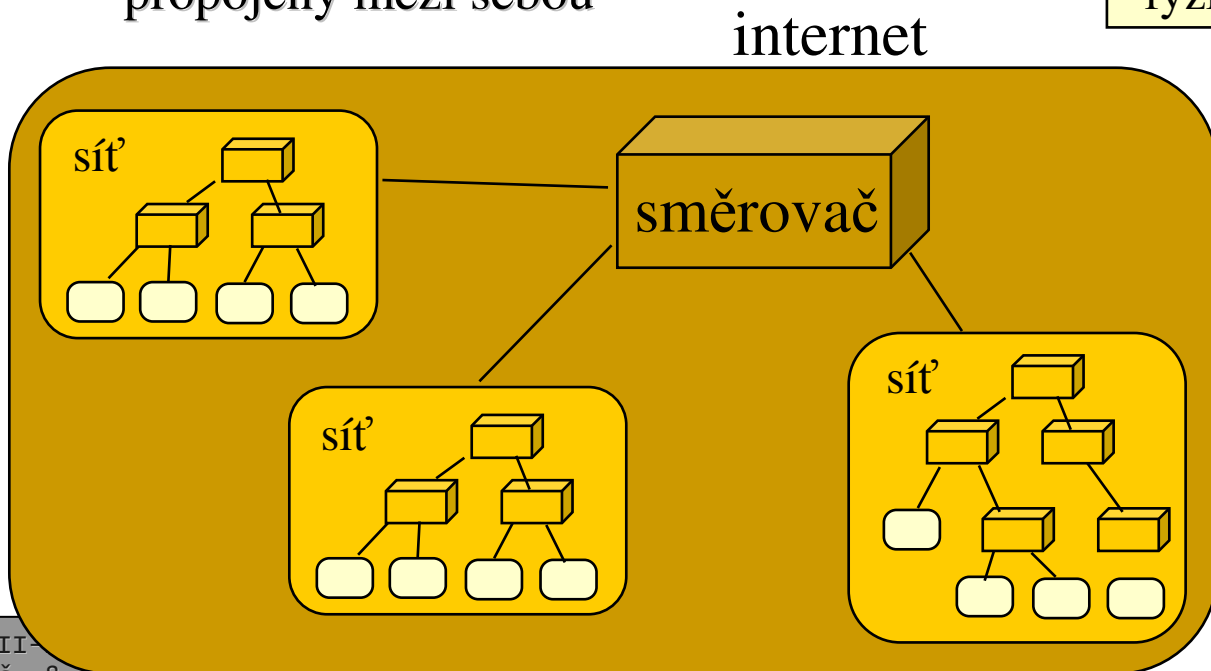
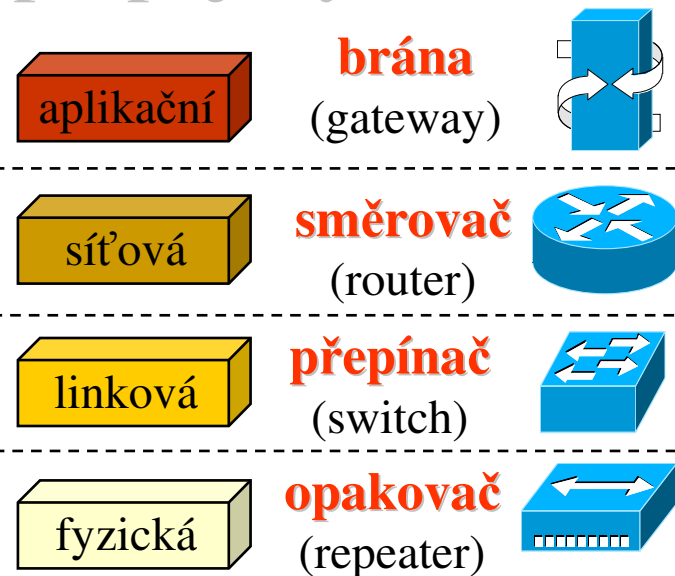
Představa: síť

- 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

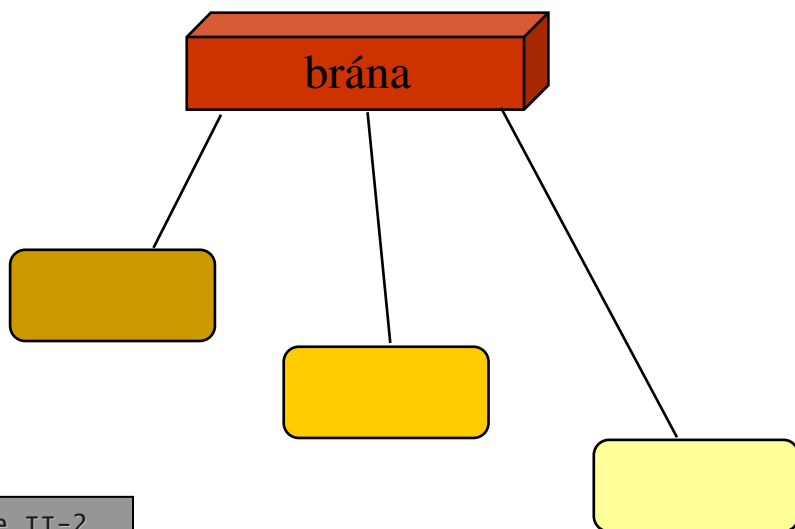
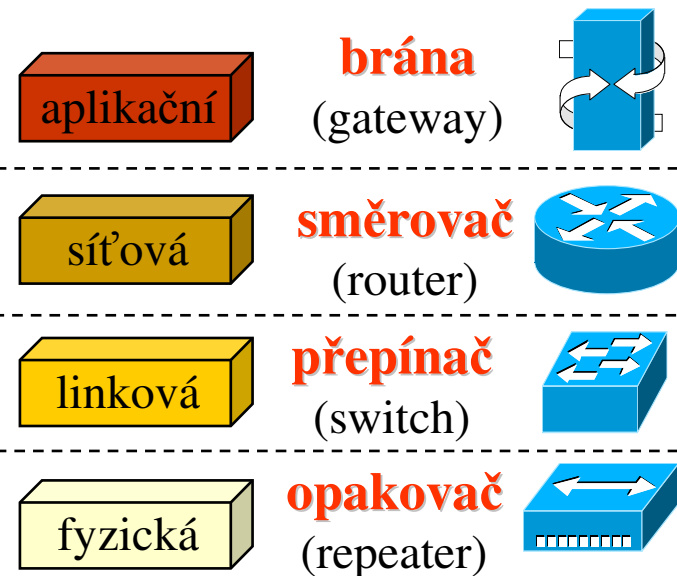


Layer 4 switch, brána

- propojení na úrovni transportní vrstvy realizuje zařízení, označované jako

- **Layer 4 switch**

- rozhoduje se jak podle síťových adres (IP adres)
- tak podle transportních adres (čísels portů)



- propojení na úrovni aplikační vrstvy realizuje zařízení, označované jako

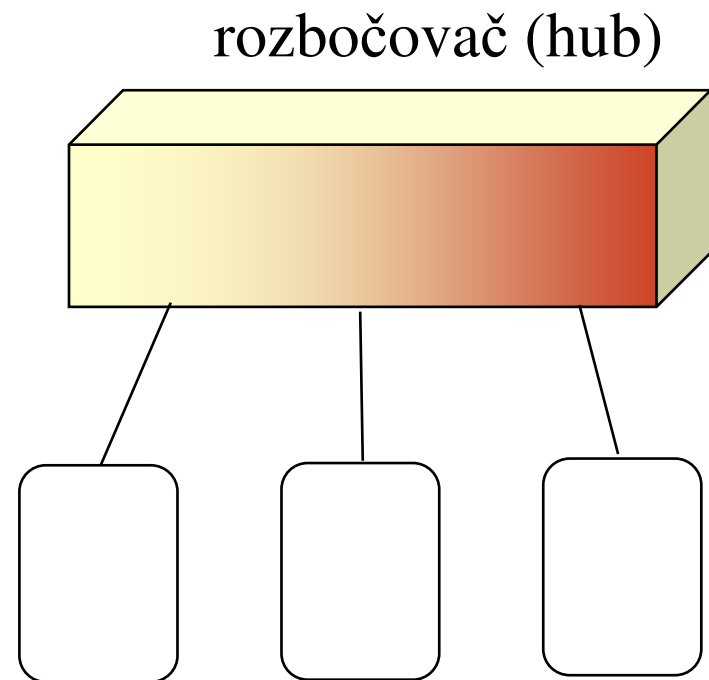
- **brána (gateway)**

- **někdy též: Layer 7 switch**

- rozhoduje se podle obsahu přenášených dat!!!

Rozbočovač (hub)

- rozbočovač
 - je obecně aktivně fungující propojovací zařízení, bez apriorního určení úrovně 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

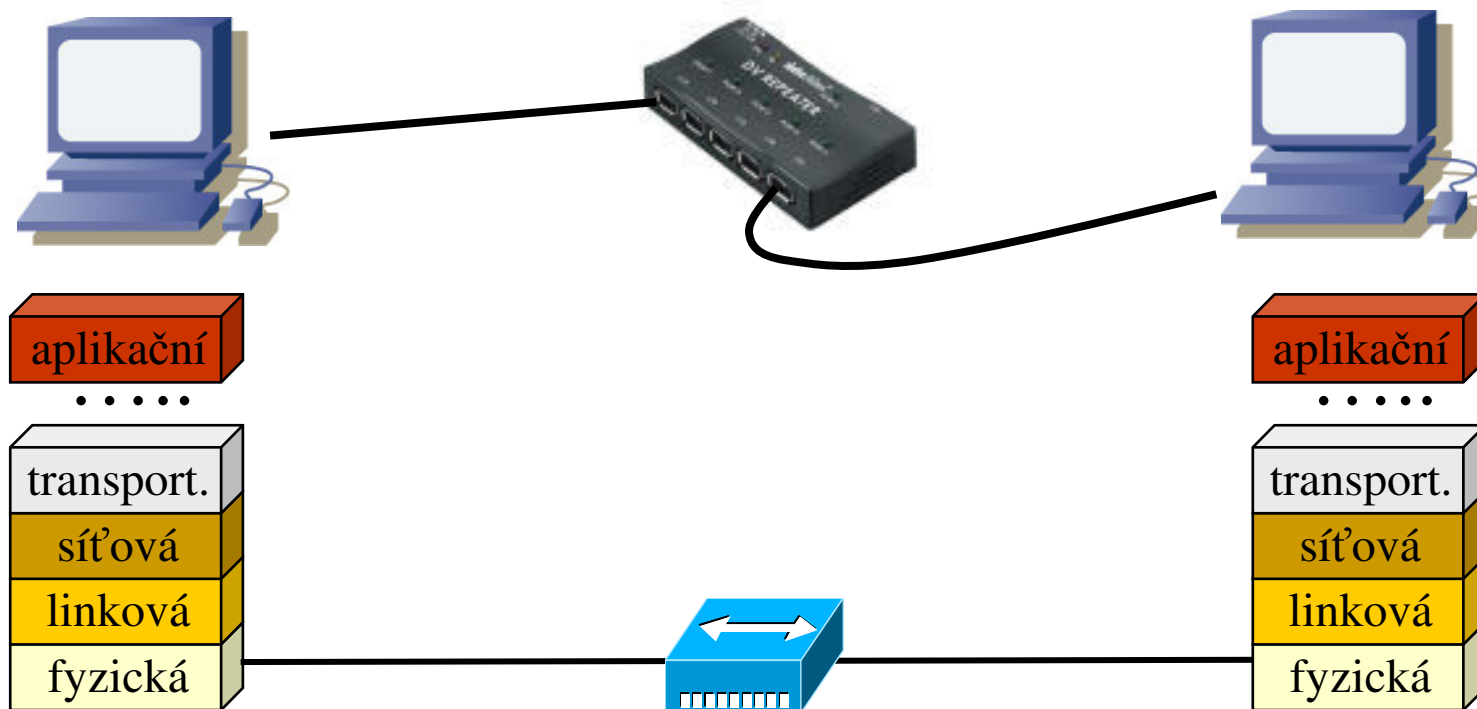


terminologická praxe:

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

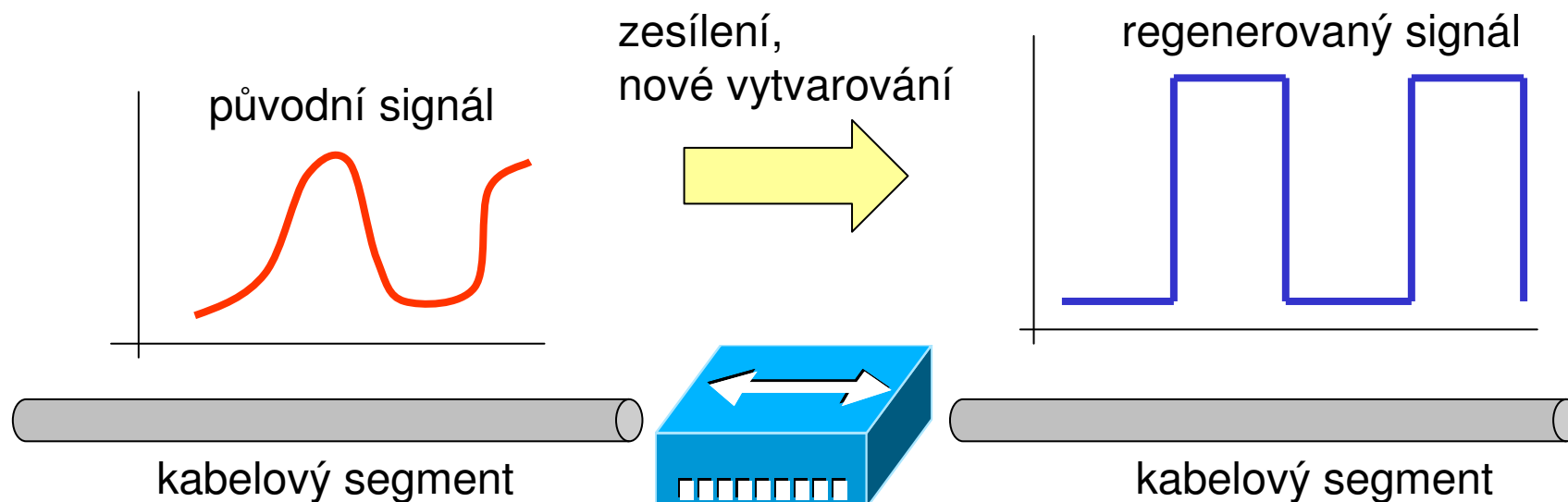
Opakovač (repeater)

- zajišťuje propojení na fyzické vrstvě
 - propojuje kabelové segmenty
 - např. z kroucené dvoulinky, koaxiálního kabelu, optických vláken, ...



Propojení na úrovni fyzické vrstvy

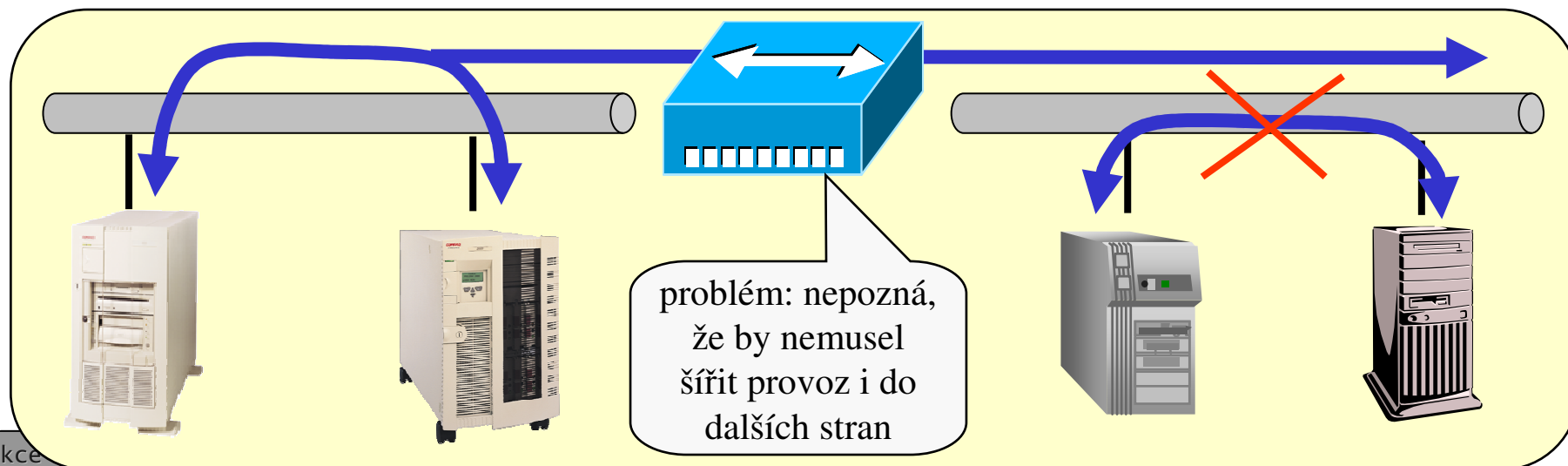
- znamená, že propojovací zařízení (tzv. opakovač) si všímá pouze jednotlivých bitů
 - toho, co je přenášeno na úrovni fyzické vrstvy
- opakovač je pouze digitální zesilovač, který zesiluje a znovu tvaruje přenášený signál
 - kompenzuje zkreslení, útlum a další vlivy reálných obvodových vlastností přenosových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



Propojení na úrovni fyzické vrstvy

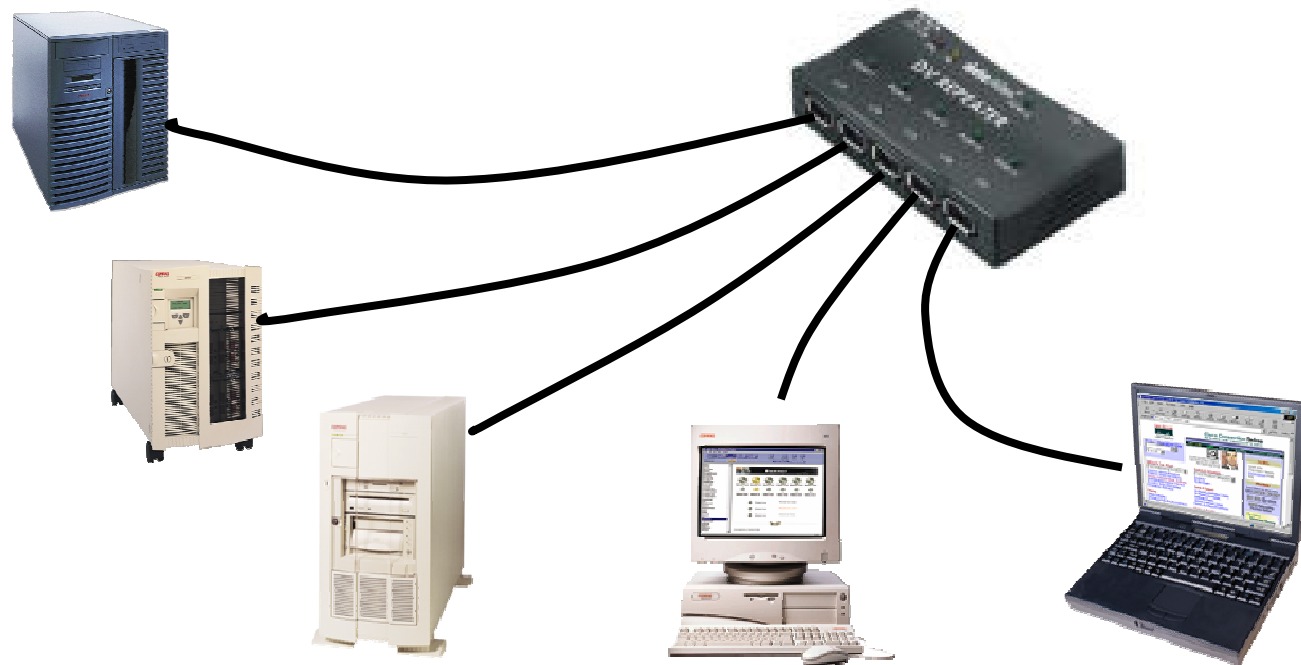
- opakovač „nevnímá“, že určité skupiny bitů patří k sobě a tvoří přenosový rámec
 - nedokáže rozpoznat ani adresu odesílatele a příjemce dat (rámce)
 - nemá k dispozici informace, které by mu umožnily měnit svoje chování podle toho, jaká data skrz něj prochází
- všechna data rozesílá („opakuje“) do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

Ke všem datům (bitům) se musí chovat stejně!



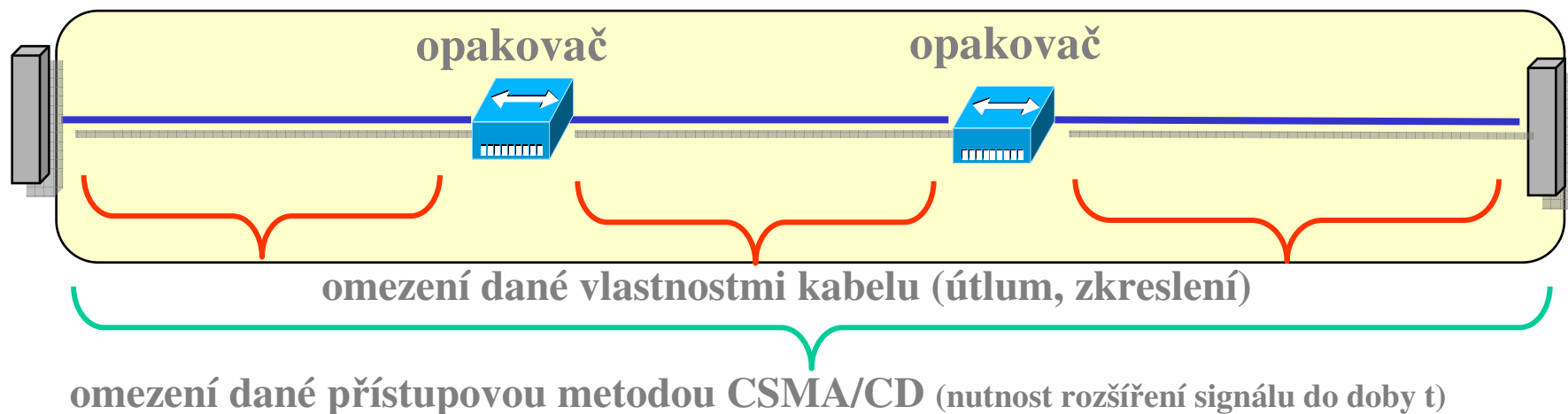
Vlastnosti opakovače

- počet segmentů, které opakovač propojuje, není apriorně omezen
 - velký bývá u tzv. hub-ů (rozbočovačů), 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



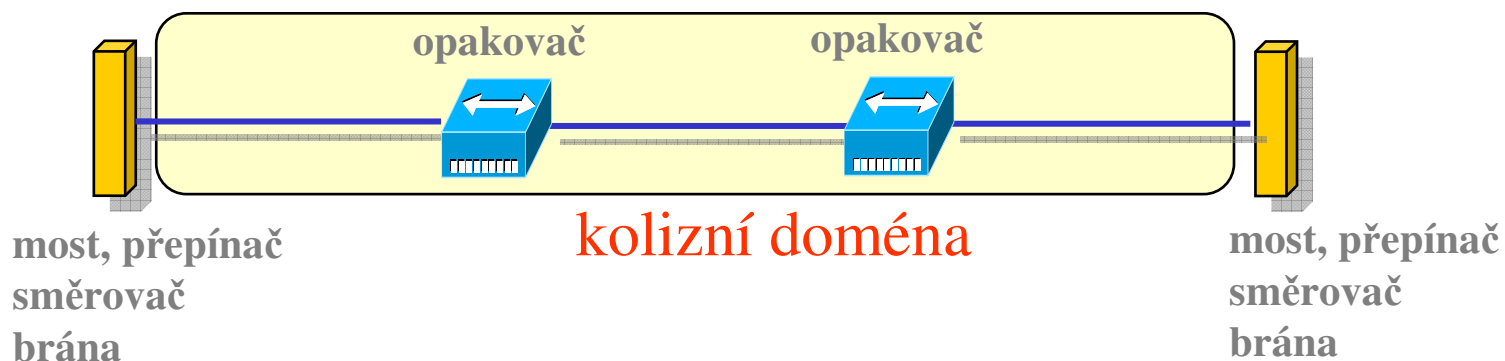
Opakovač v Ethernetu

- 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 vrstvy
 - existují např. opakovače pro Ethernet
- v Ethernetu nesmí být opakovačů příliš mnoho!!!!
 - Důvodem je fungování Ethernetu (metoda CSMA/CD, která vyžaduje aby se kolize rozšířila „z jednoho konce na druhý konec“ nejdéle do pevně dané doby $t = 51,2 \mu s$)
 - z toho plyne omezení na max. počet opakovačů
 - v sérii za sebou



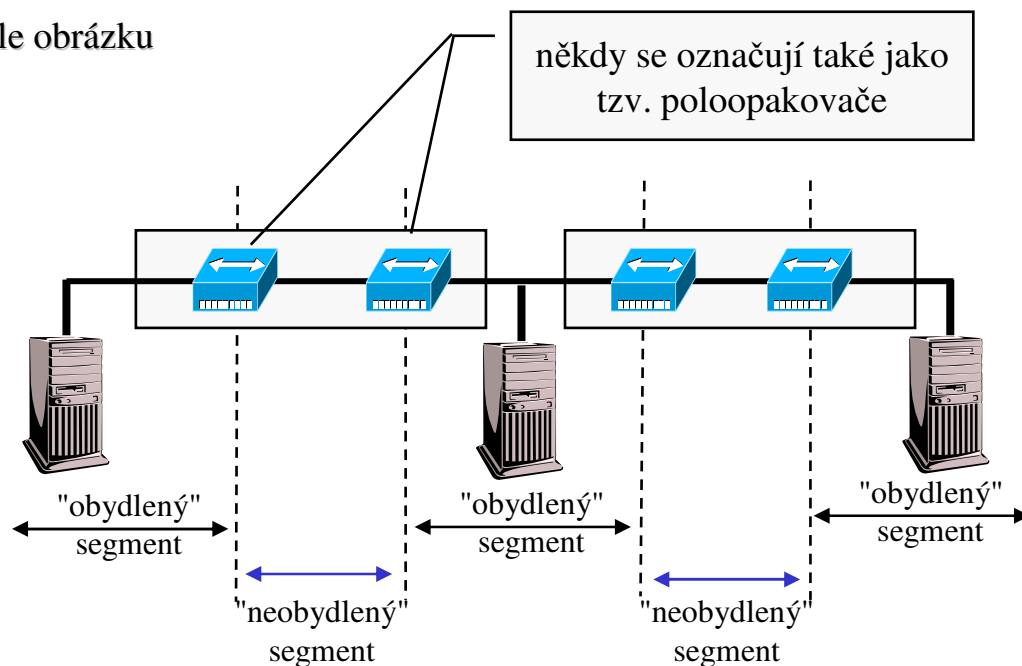
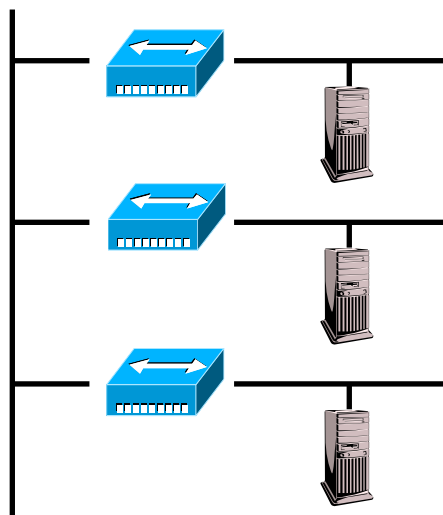
Kolizní doména v Ethernetu

- 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



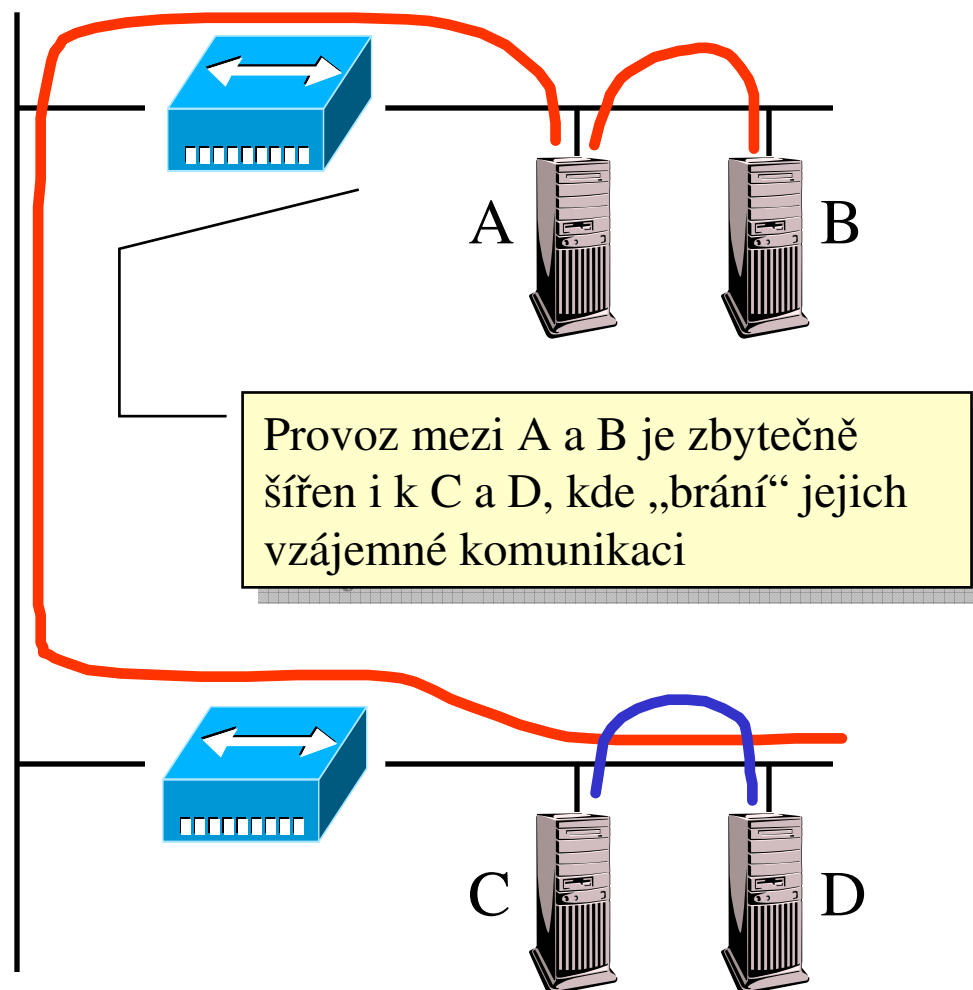
Počet opakovačů v Ethernetu

- 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

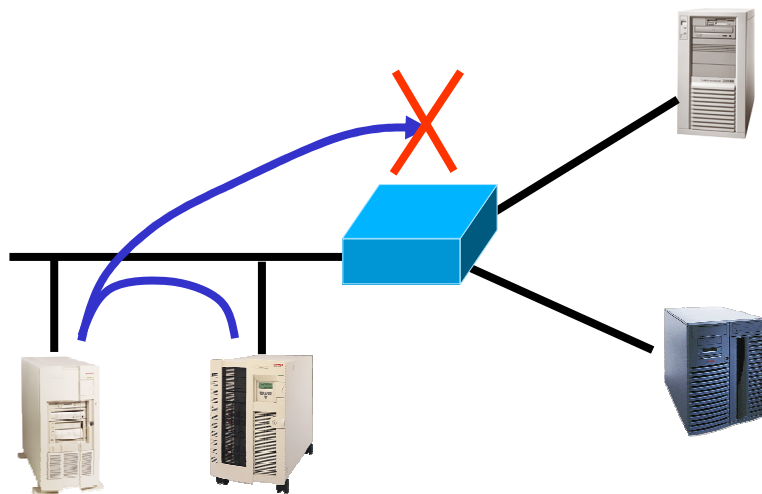
- jsou to „hloupá“ zařízení, šíří do ostatních segmentů i to, co by mohlo zůstat někde lokální
 - plýtvají dostupnou přenosovou kapacitou
 - musí tak činit proto, že nerozpoznají co by již nemusely šířit !!
- řešení:
 - dodat propojovacím zařízením dostatečnou inteligenci
 - nestačí – neměly by se podle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



Čeho se chce dosáhnout?

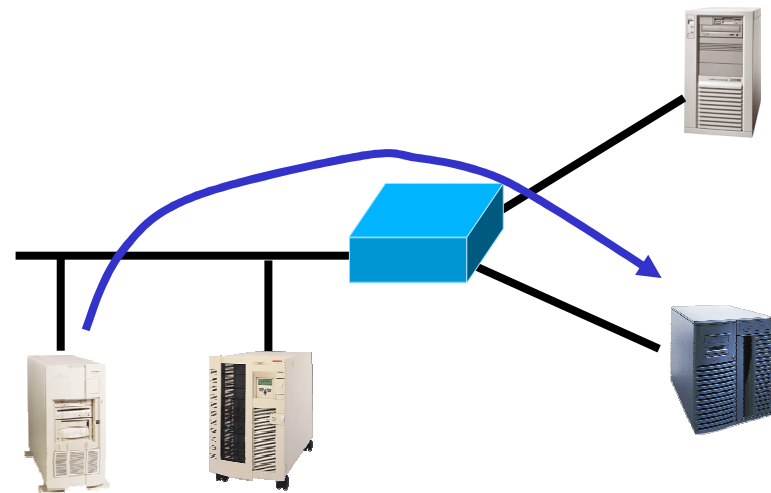
- **Filtering** (filtrování)

- 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

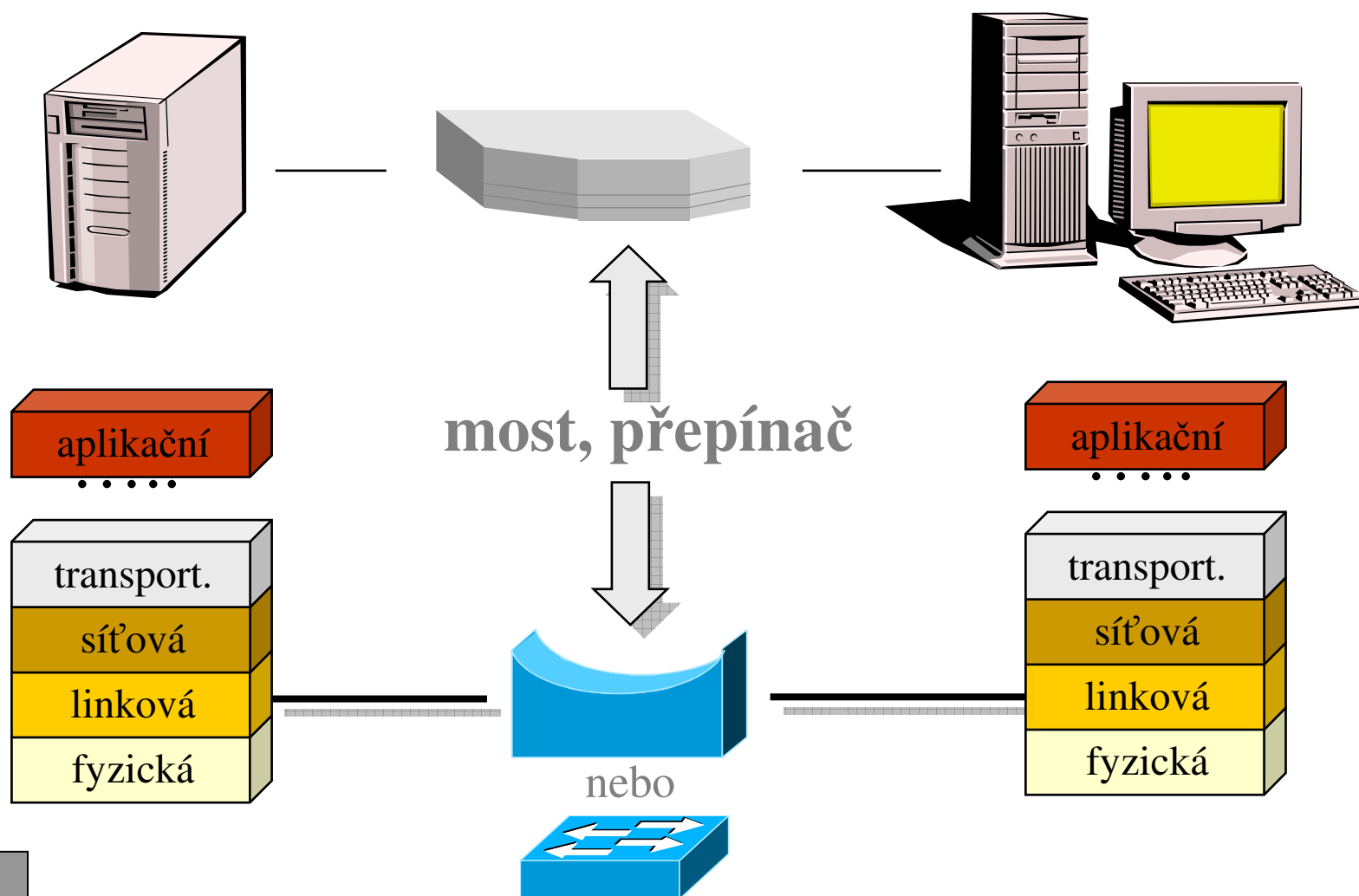


Možné řešení

- aby se propojovací uzel mohl chovat inteligentně, musí alespoň trochu rozumět přenášeným datům
 - potřebuje znát adresu příjemce a adresu odesílatele
 - tu může poznat z hlavičky rámce (nebo paketu, datagramu, zprávy)
- propojovací uzel pak musí sám fungovat **alespoň na úrovni linkové vrstvy**
 - musí znát přenosové protokoly příslušné vrstvy,
 - rozumět formátu datových bloků na příslušné úrovni
 - chápat význam informací, které jsou s přenosem spojeny (hlavně adresy)
- 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 zná jen své přímé sousedy
 - do nejbližšího směrovače
- otázka:
 - jak tyto informace získá:
 - možnosti:
 - statická konfigurace
 - dynamické získávání informací
 - jinak

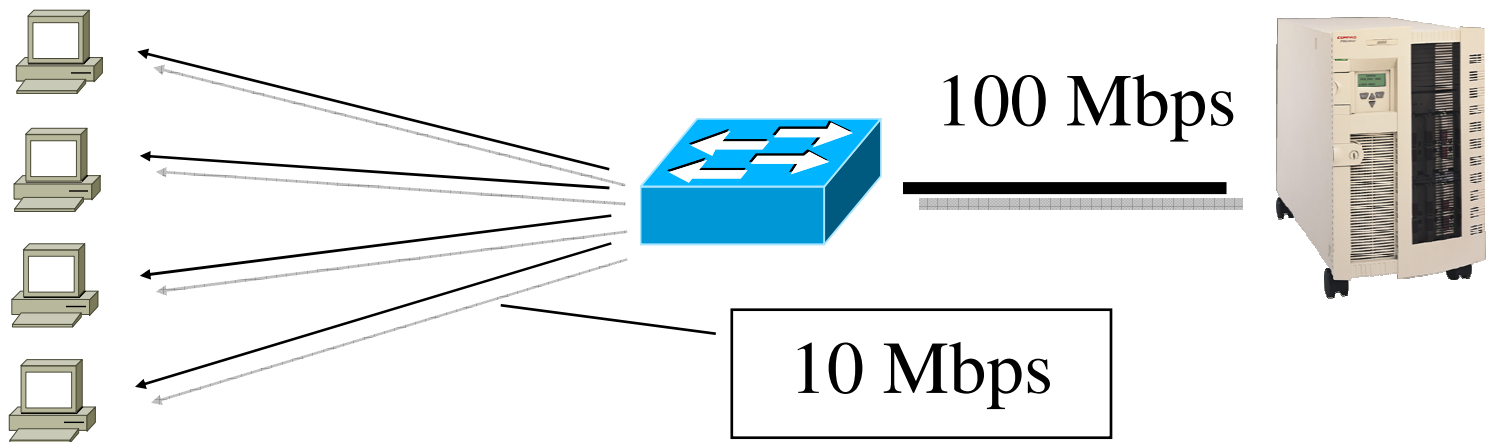
Most (bridge)

propojení na linkové vrstvě



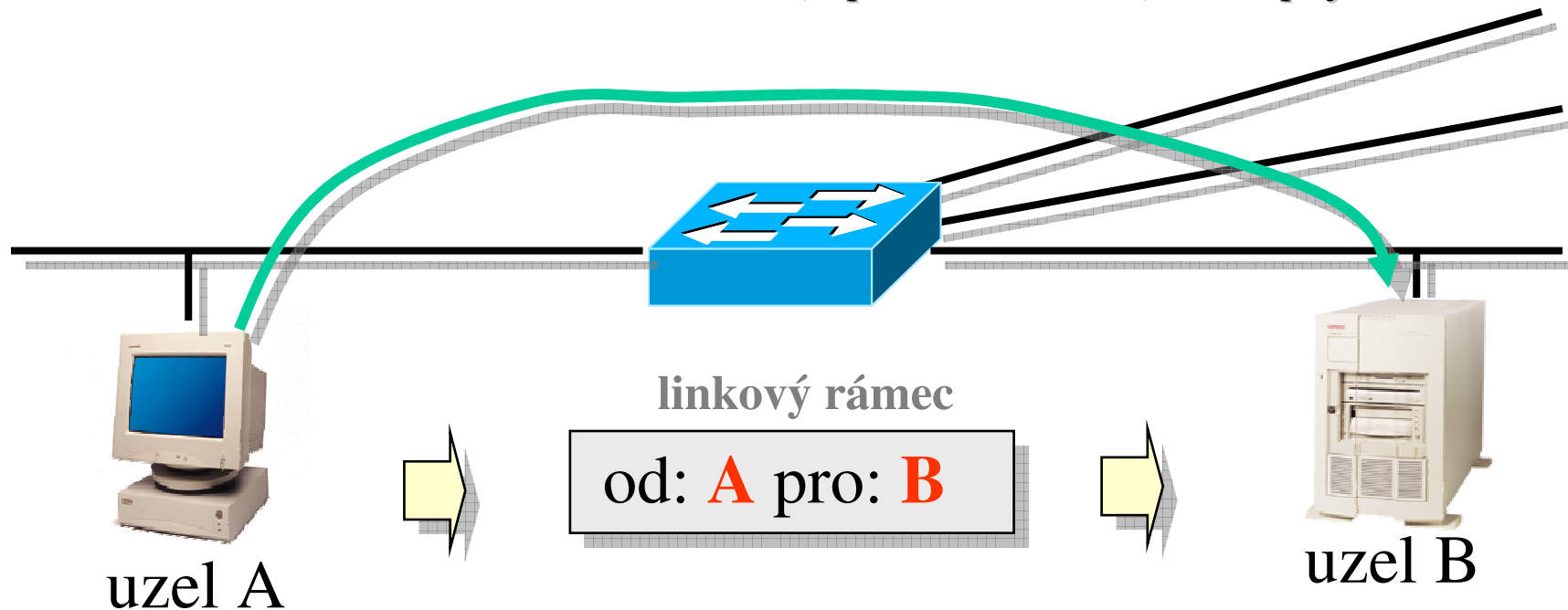
Důsledek

- 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 jsou poznat adresy
 - díky bufferování může propojovat segmenty s různými přenosovými rychlostmi
 - může být např. Ethernetový přepínač 100Mbps/10Mbps



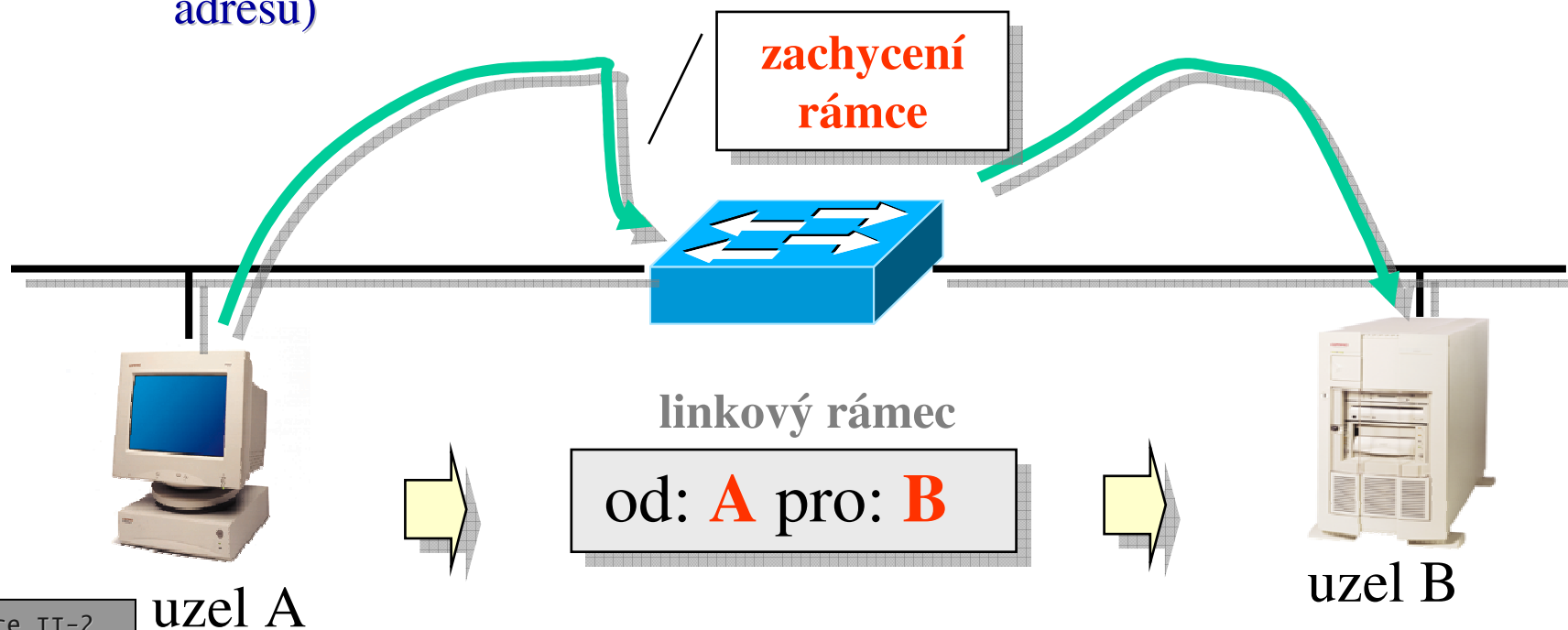
Viditelnost propojovacích uzlů

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



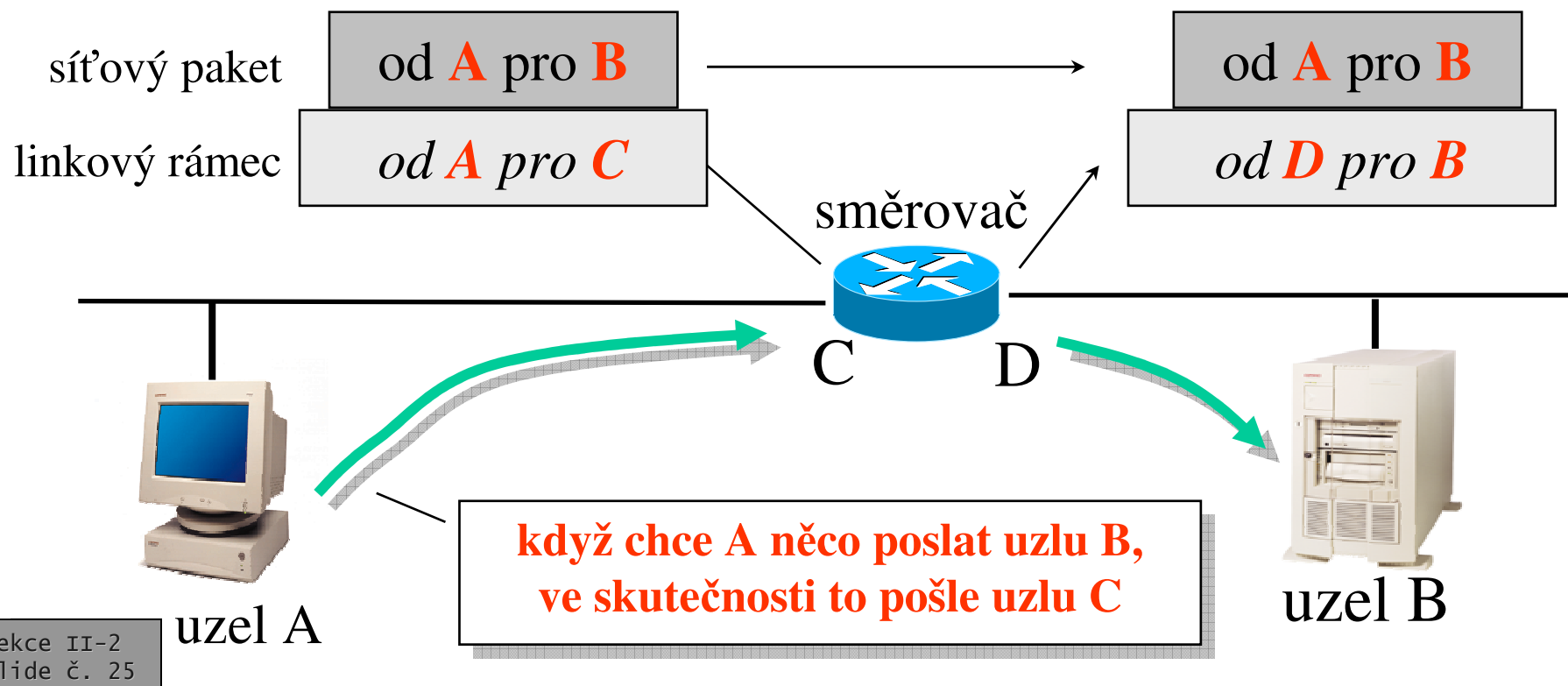
Viditelnost propojovacích uzlů

- na úrovni linkové vrstvy:
 - propojovací uzel funguje v tzv. **promiskuitním režimu**, a 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)



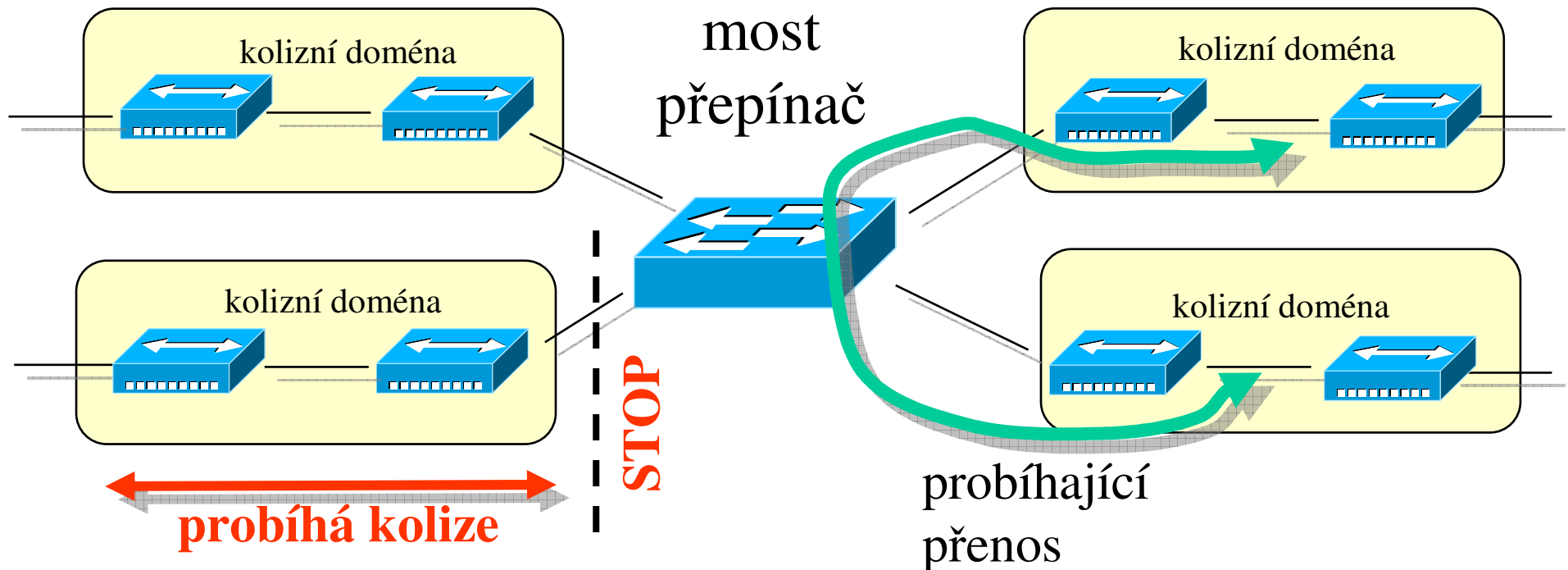
Viditelnost propojovacích uzlů

- 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



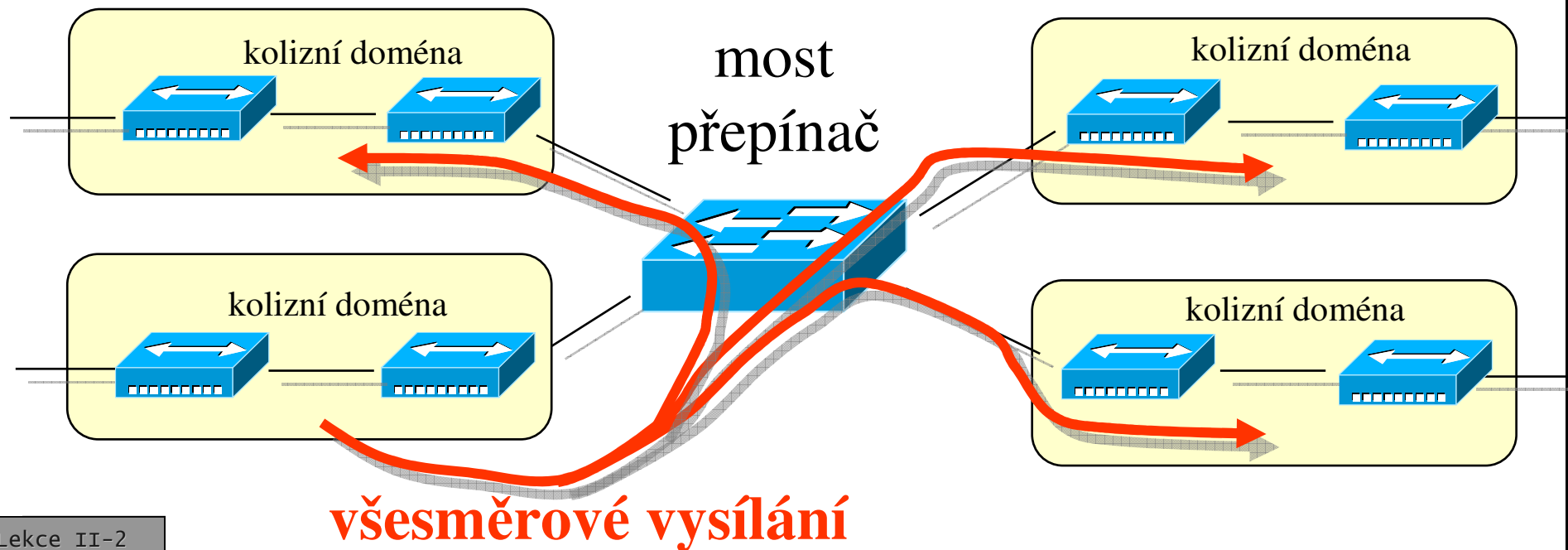
Chování propojovacího uzlu na úrovni linkové vrstvy

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



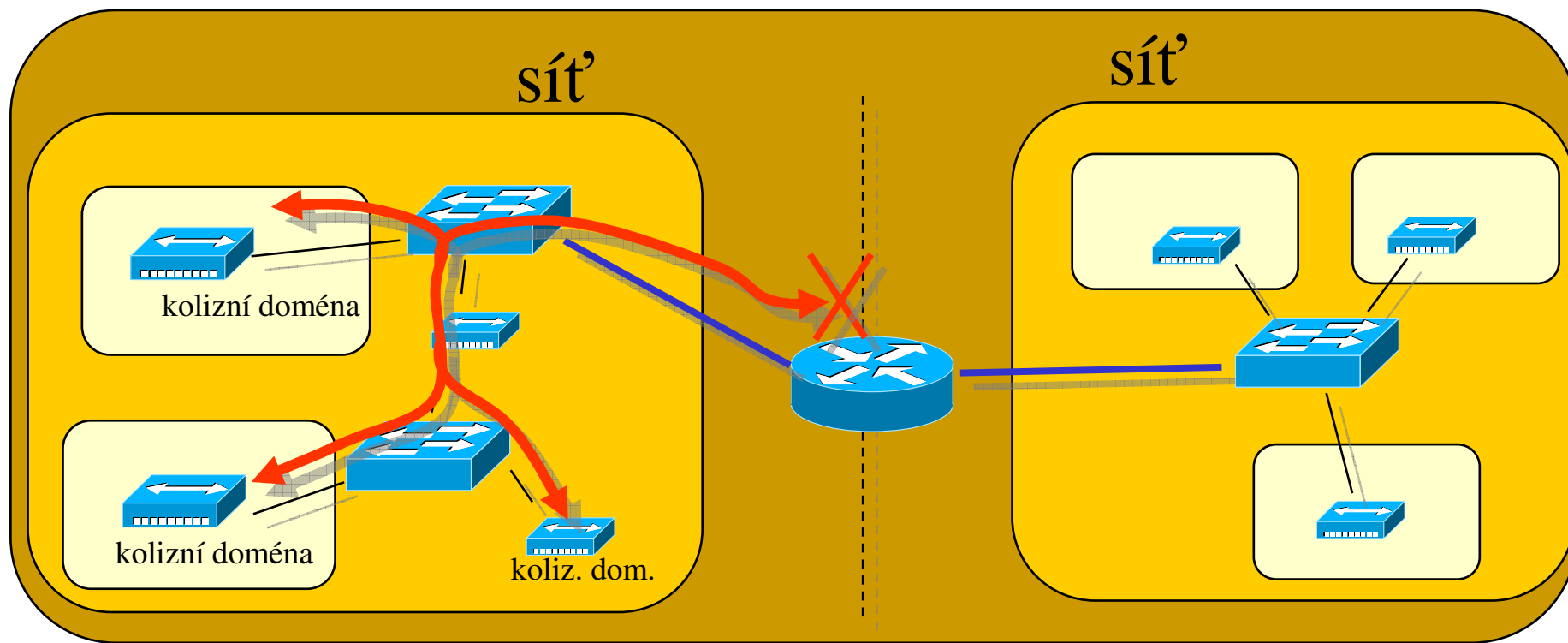
Chování propojovacího uzlu na úrovni **linkové** vrstvy

- vůči všesměrovému vysílání (broadcasting-u):
 - na úrovni linkové vrstvy: musí se propouštět a šířit do všech segmentů
 - na úrovni síťové vrstvy: nemusí se propouštět



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)

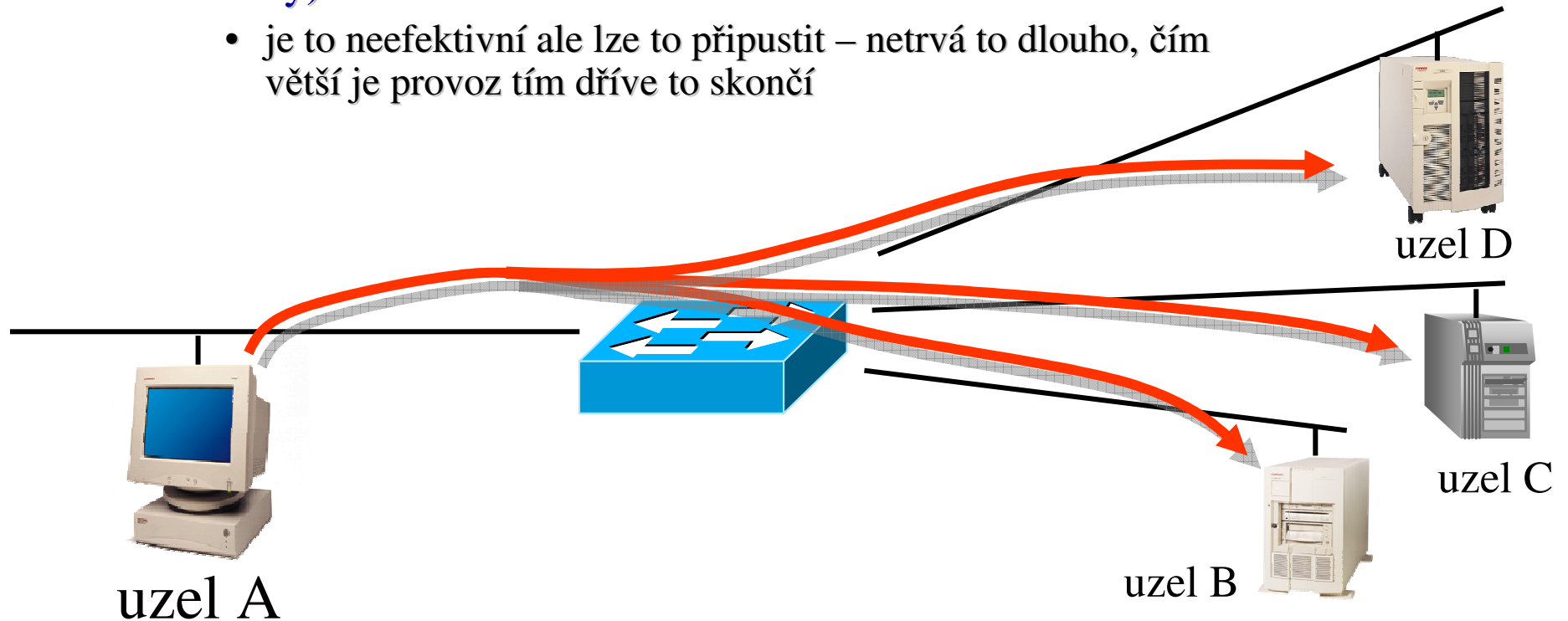


Co musí znát propojovací uzly?

- 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

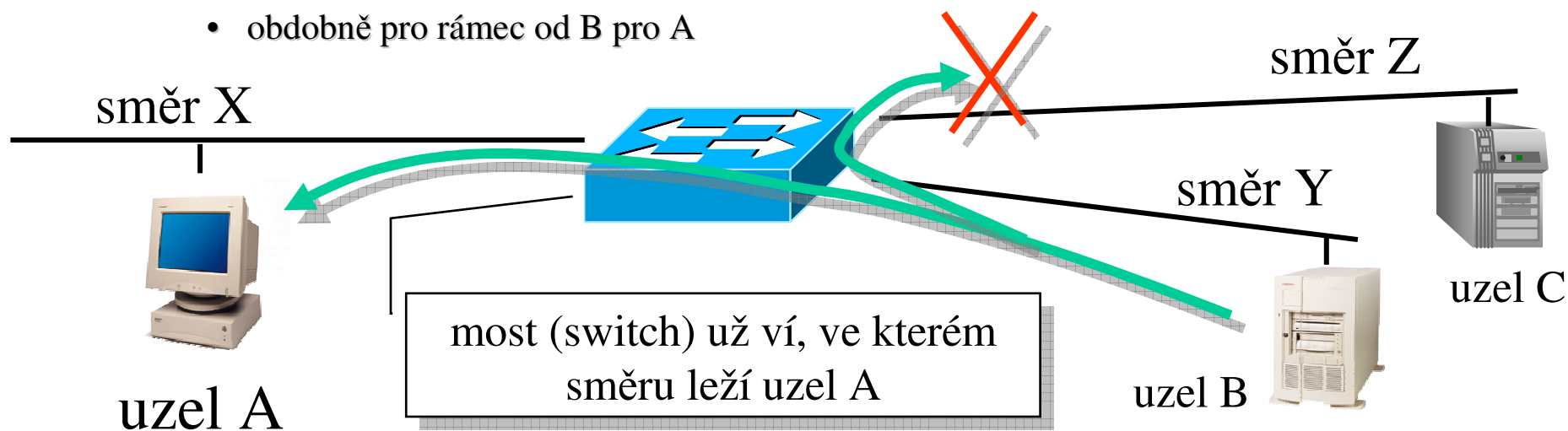
Princip zpětného učení (používaný v Ethernetu)

- 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



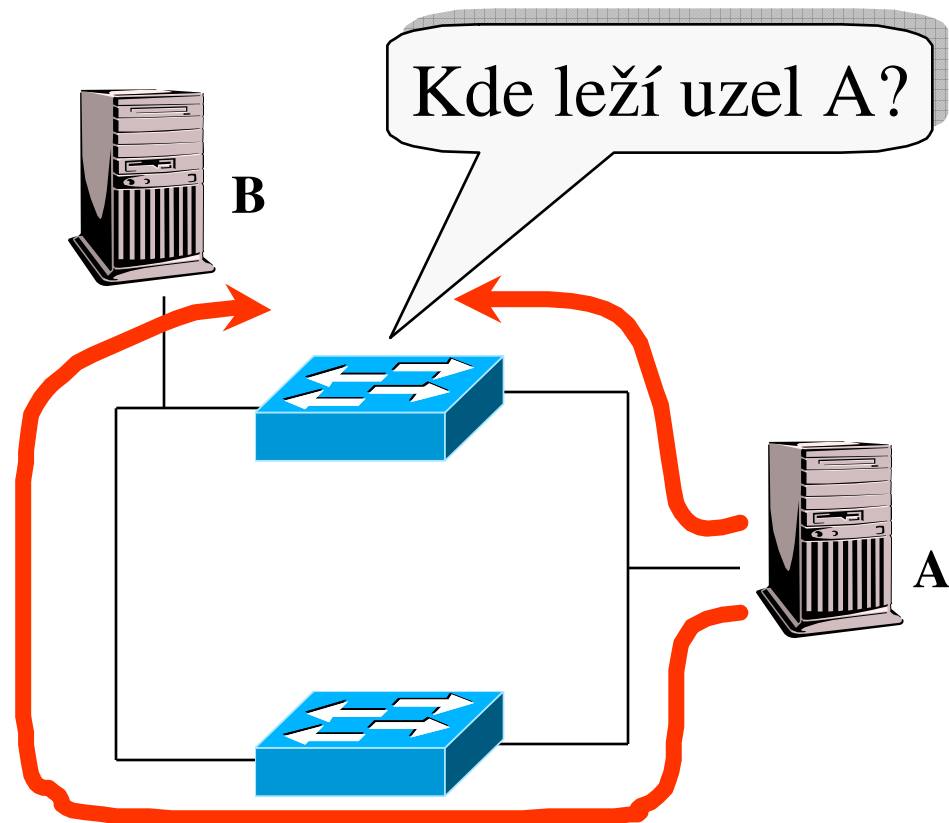
Princip zpětného učení

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



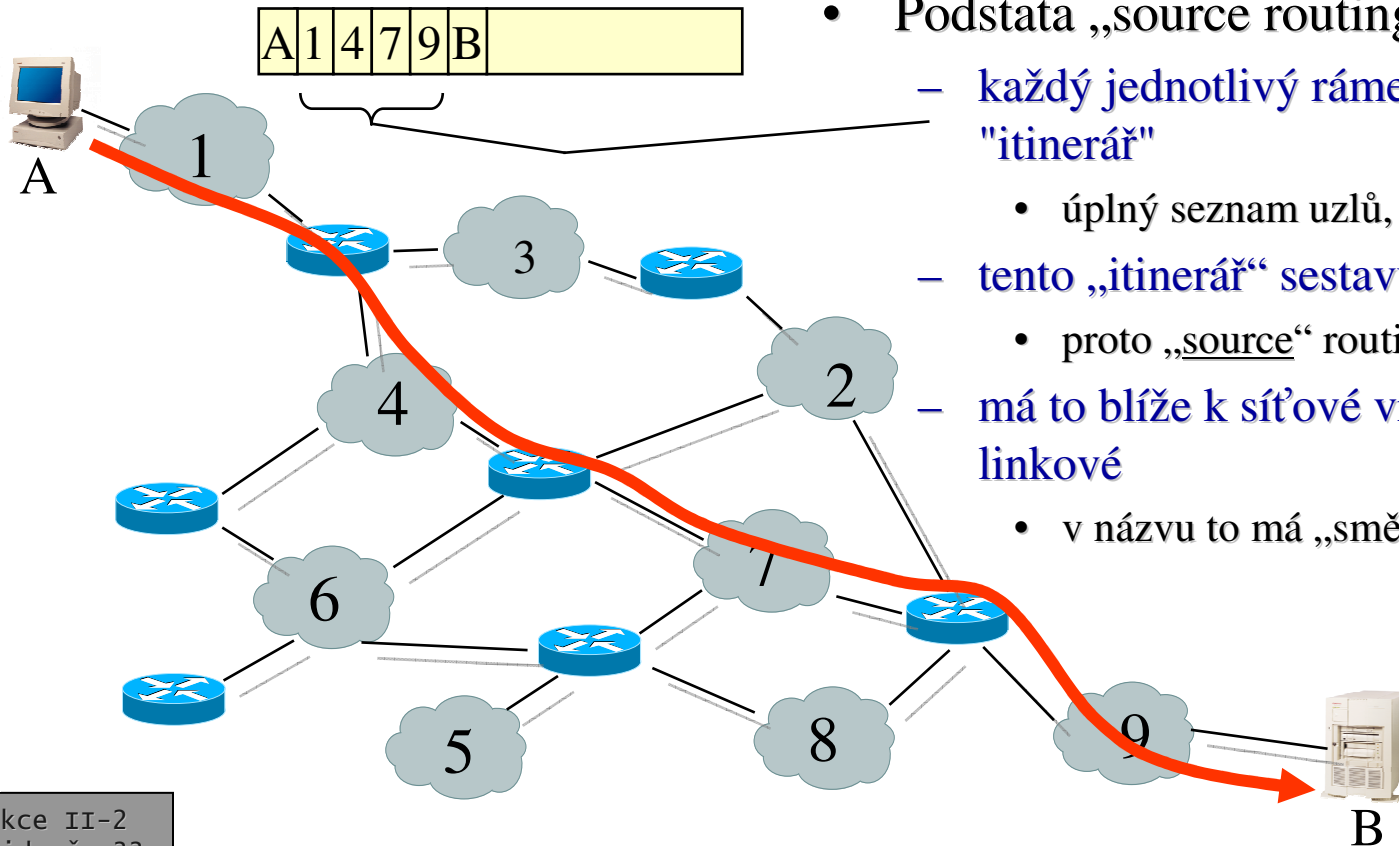
Překážka pro „samoučení“ - cykly

- 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



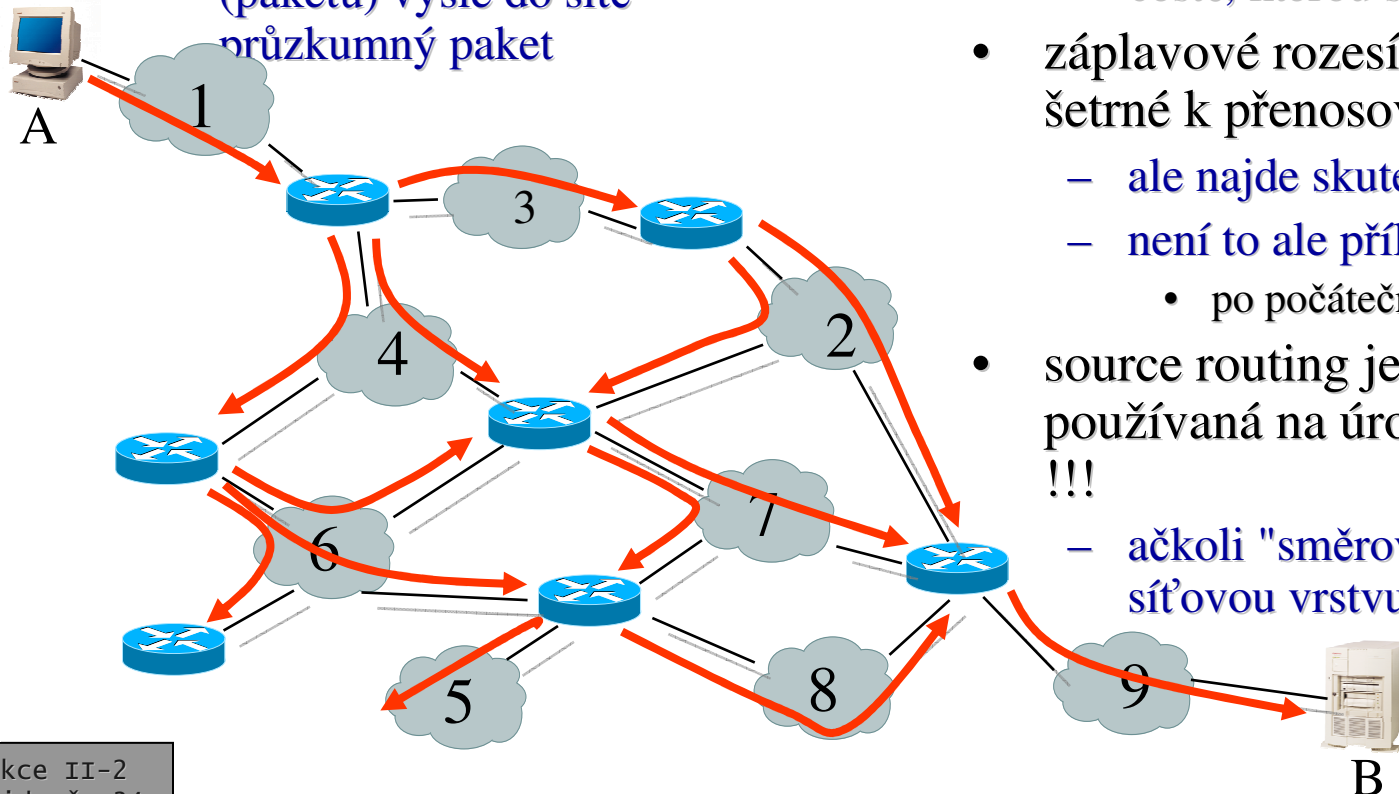
Source Routing

- v sítích Ethernet:
 - používají se výhradně samoučící se mosty (přepínače)
 - jiné prakticky vůbec ne
- v sítích Token Ring:
 - používají se mosty fungující na principu „source routing“
 - doslova: zdrojové směrování, směrování prováděné zdrojem
- Podstata „source routing“:
 - 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
 - most/switch: linkových adres
 - směrovač: síťových adres
 - brána: (aplikačního) obsahu
- ale také:
 - Layer 3 switch: dle síťových adres
 - layer 4 switch: dle síťových adres a čísel portů
 - layer 7 switch (content switch): i dle aplikačních dat
-