



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



Lekce 1: internetworking

J. Peterka, 2010

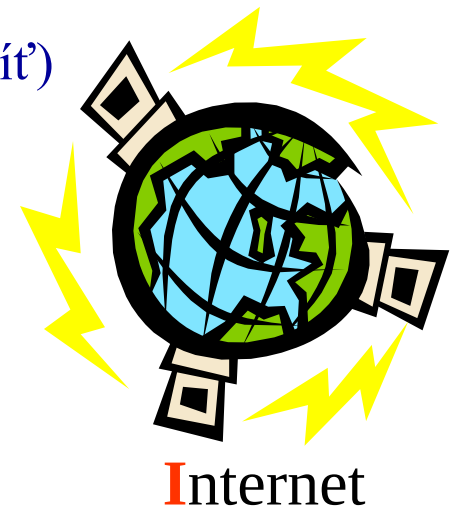
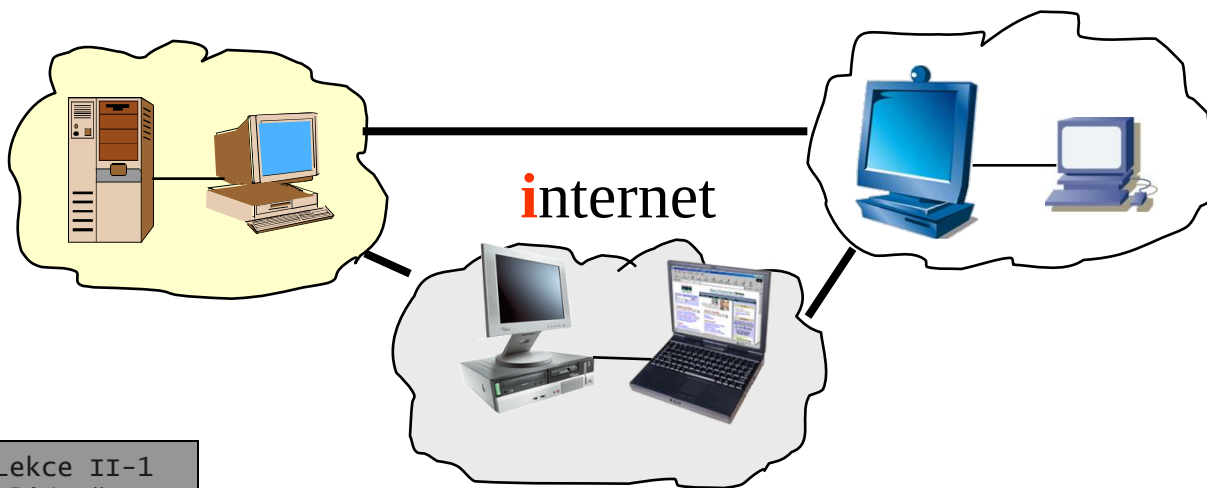
o čem bude druhá část přednášky?

- 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,
 -

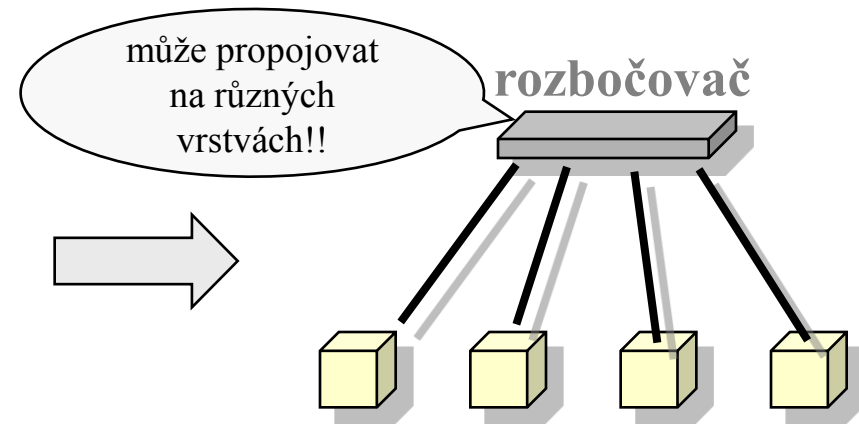
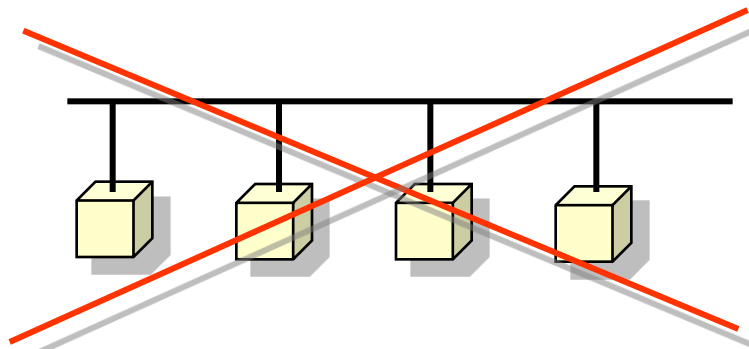
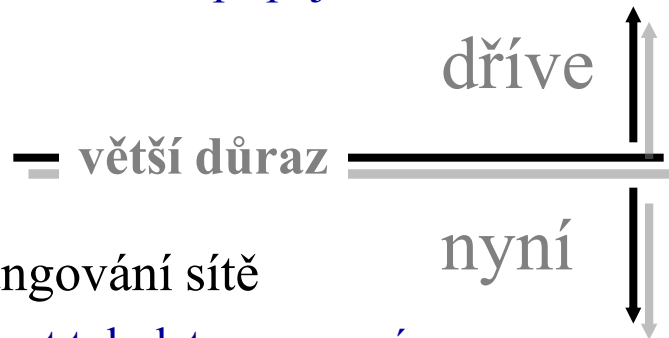
tzv. sít'ový efekt

- Metcalfův zákon
 - formuloval Robert Metcalfe, otec Ethernetu, podnikatel, novinář
 - týká se sít'ového efektu
- říká:
 - užitek sítě roste se čtvercem počtu jeho uživatelů



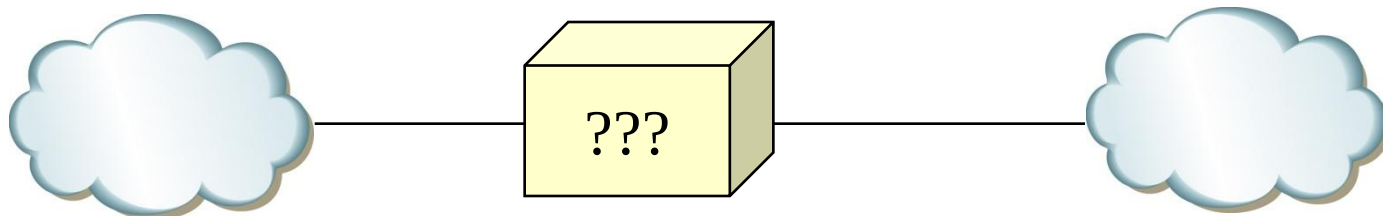
důvody pro internetworking

- 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 (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

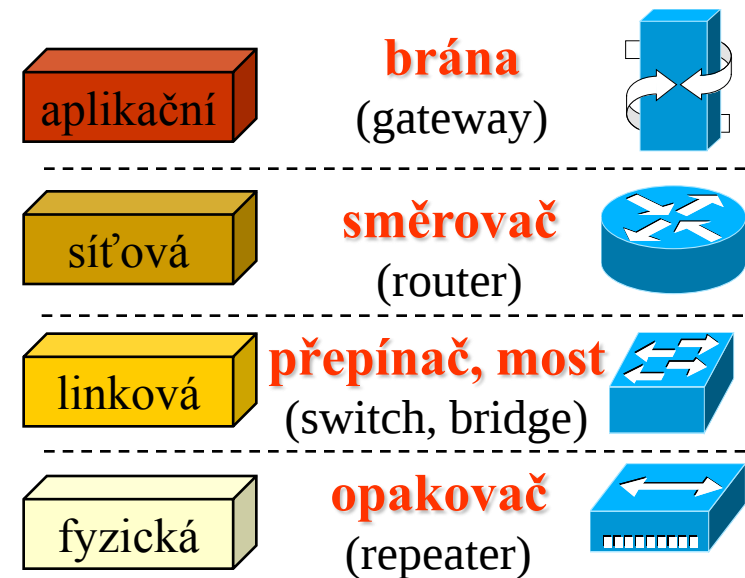


obecná podstata internetworkingu

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

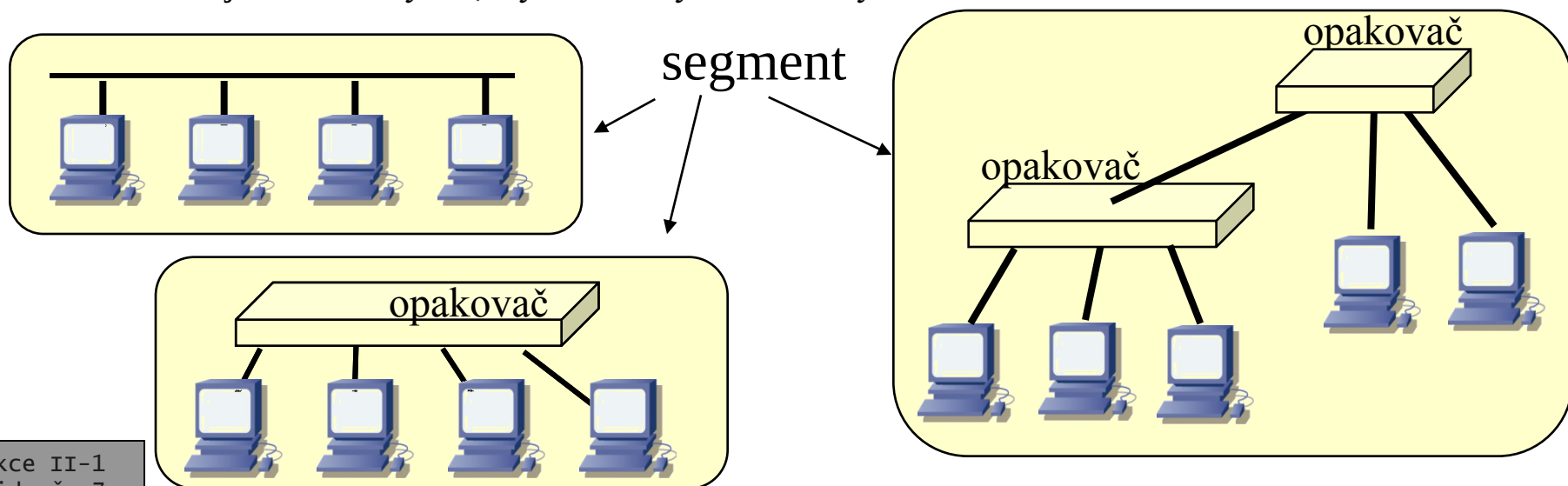
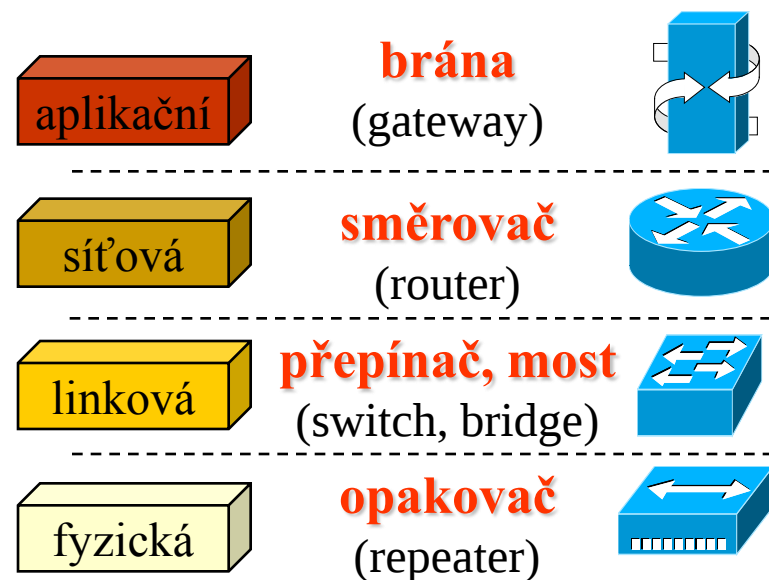


- rozdíl je v tom, jakým způsobem propojovací zařízení pracuje
 - na jaké vrstvě
 - možnosti: od fyzické až po aplikační
 - podle toho, na jaké vrstvě pracuje, se zařízení i pojmenovává
 - opakovač, přepínač/most, směrovač, brána
 - jakým způsobem
 - jaká vytváří omezení, co povoluje, jak kontroluje,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



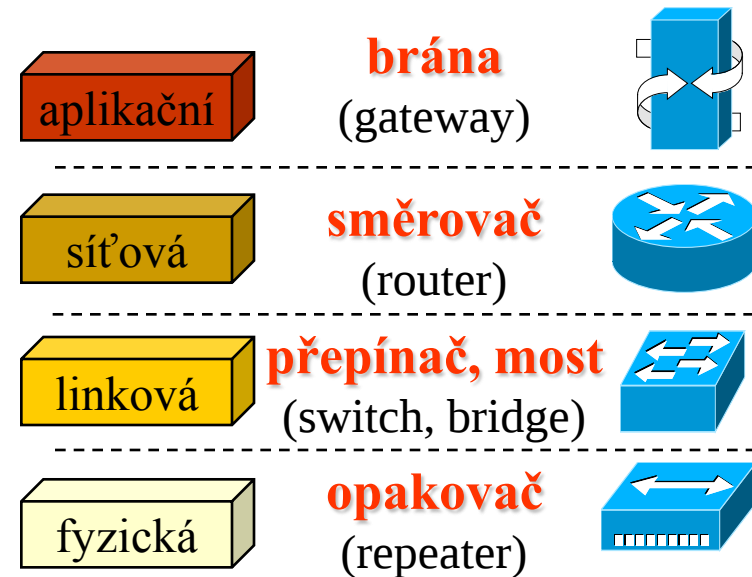
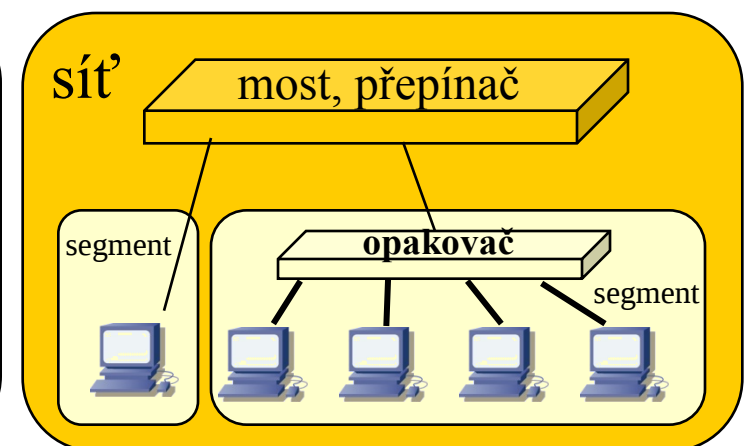
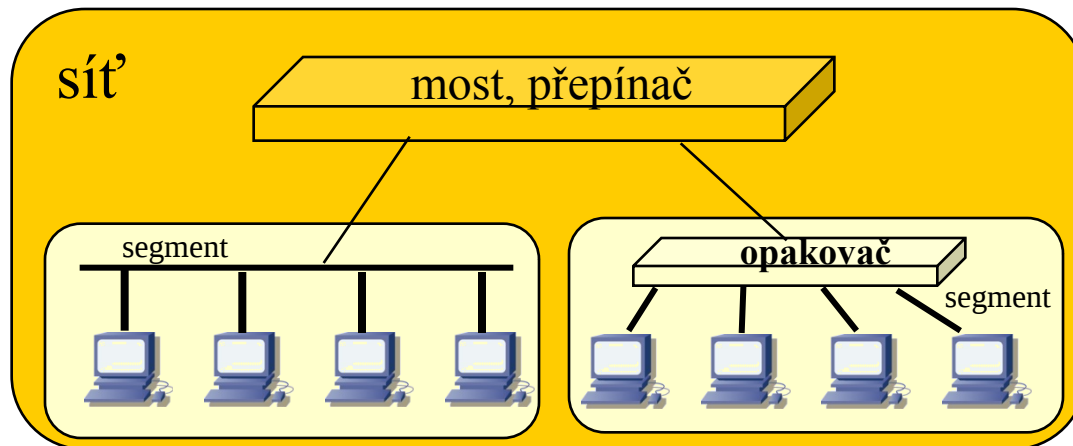
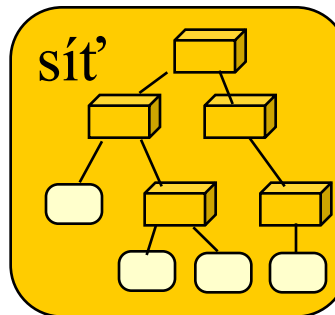
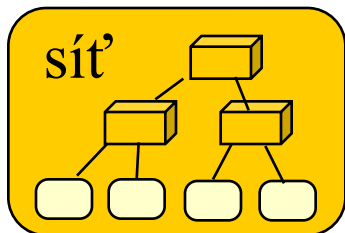
představa - segment

- 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



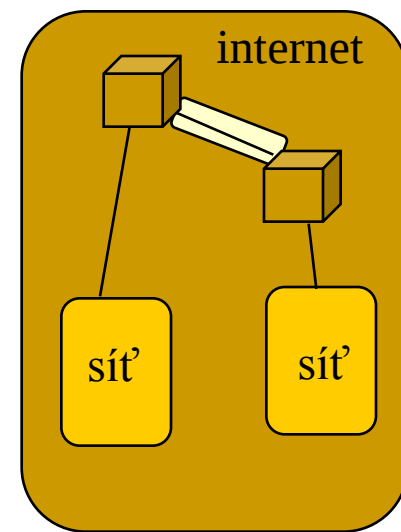
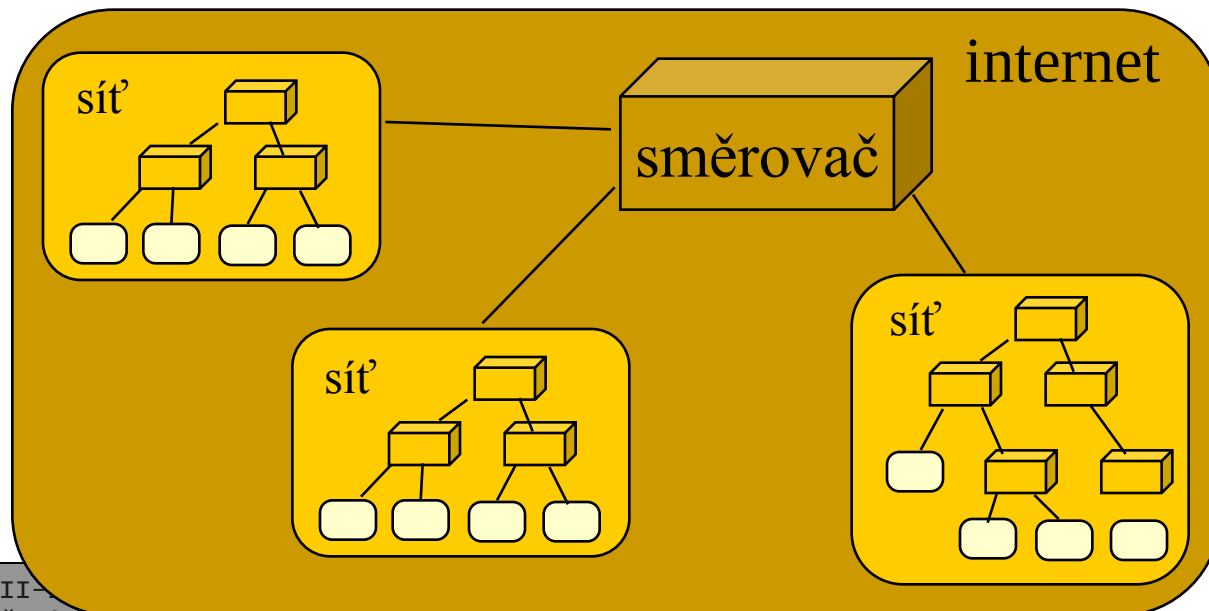
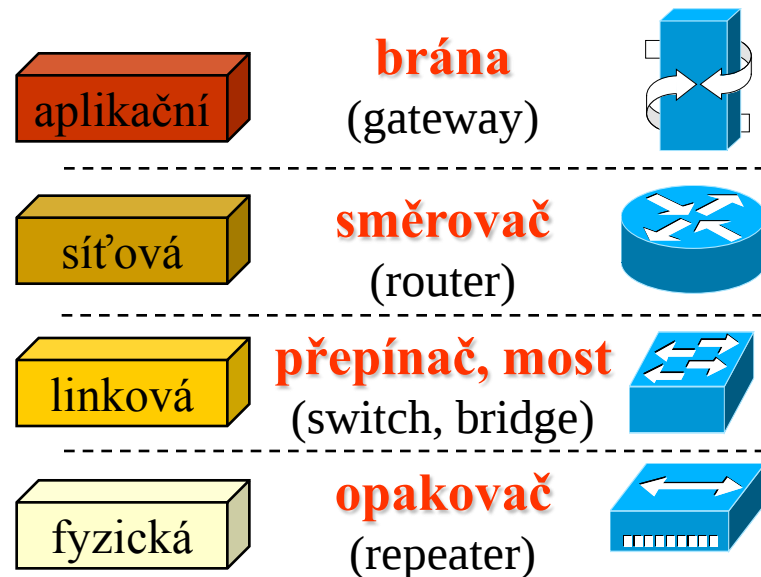
představa: síť

- 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

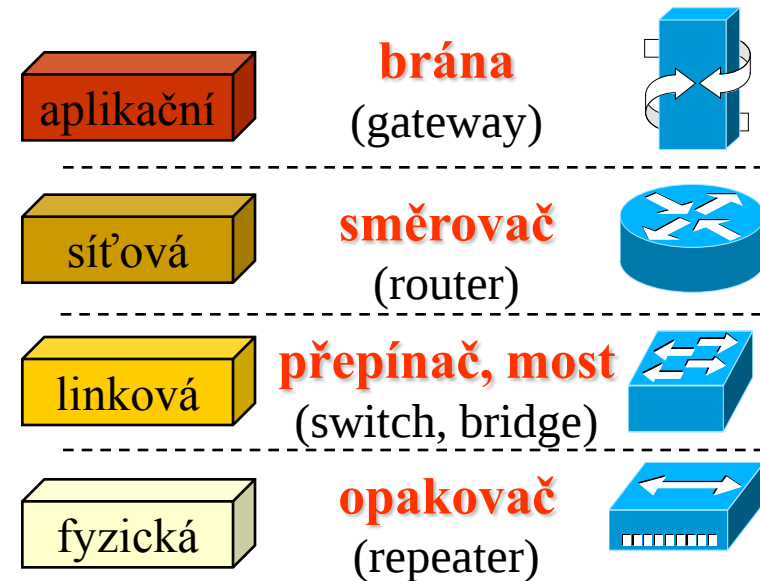
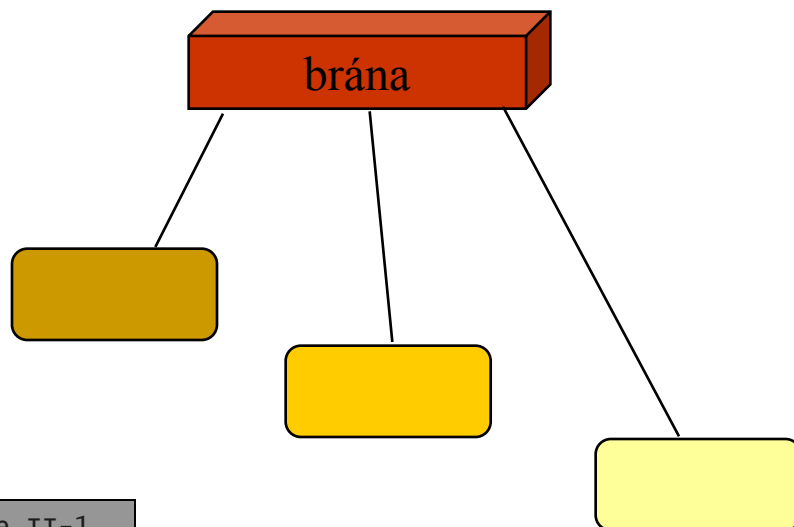


L4 switch, L7 switch / brána

- 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

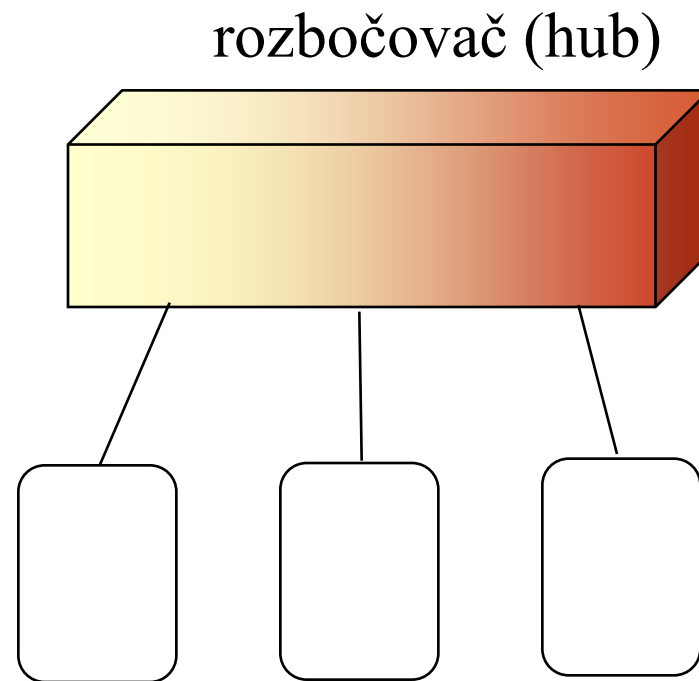
- **brána (gateway)**

- **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 závisí na tom, jaké moduly se pořídí a instalují do šasi

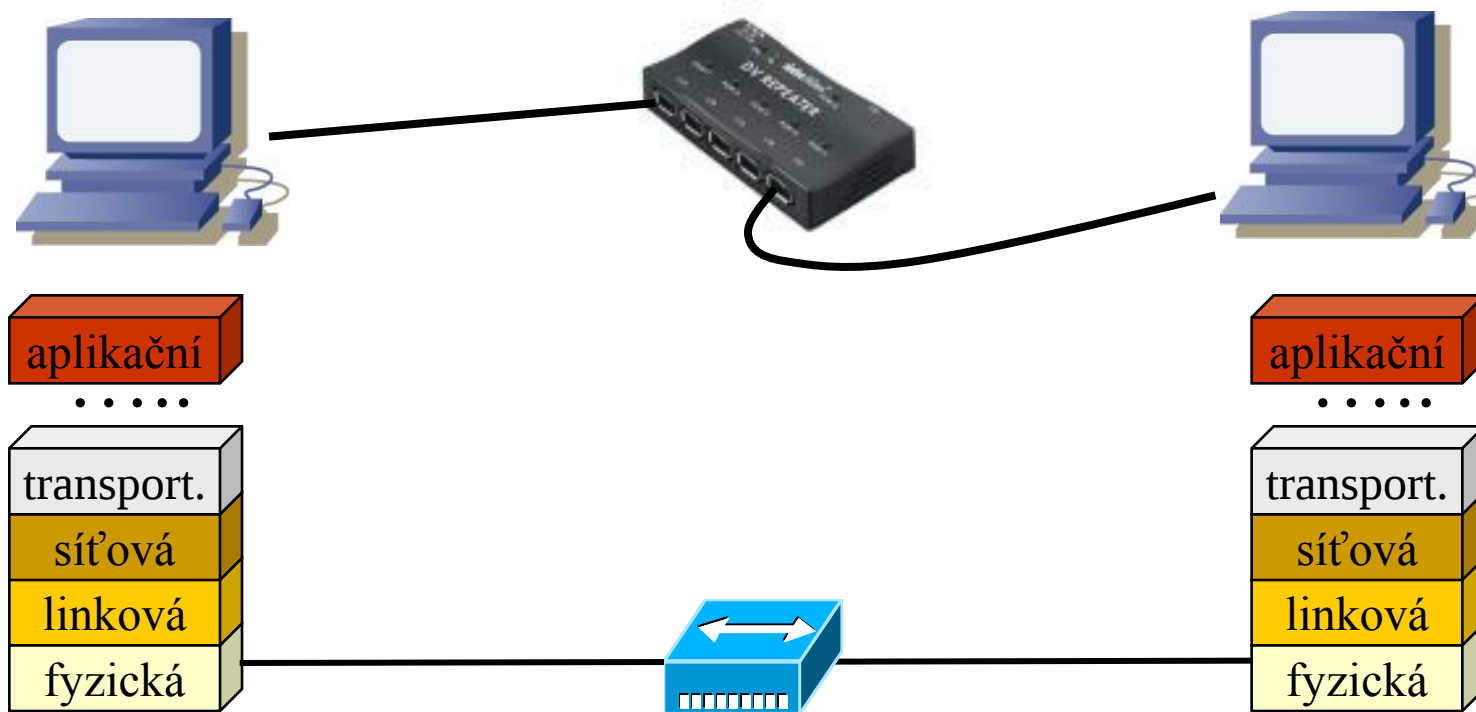


terminologická praxe:

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

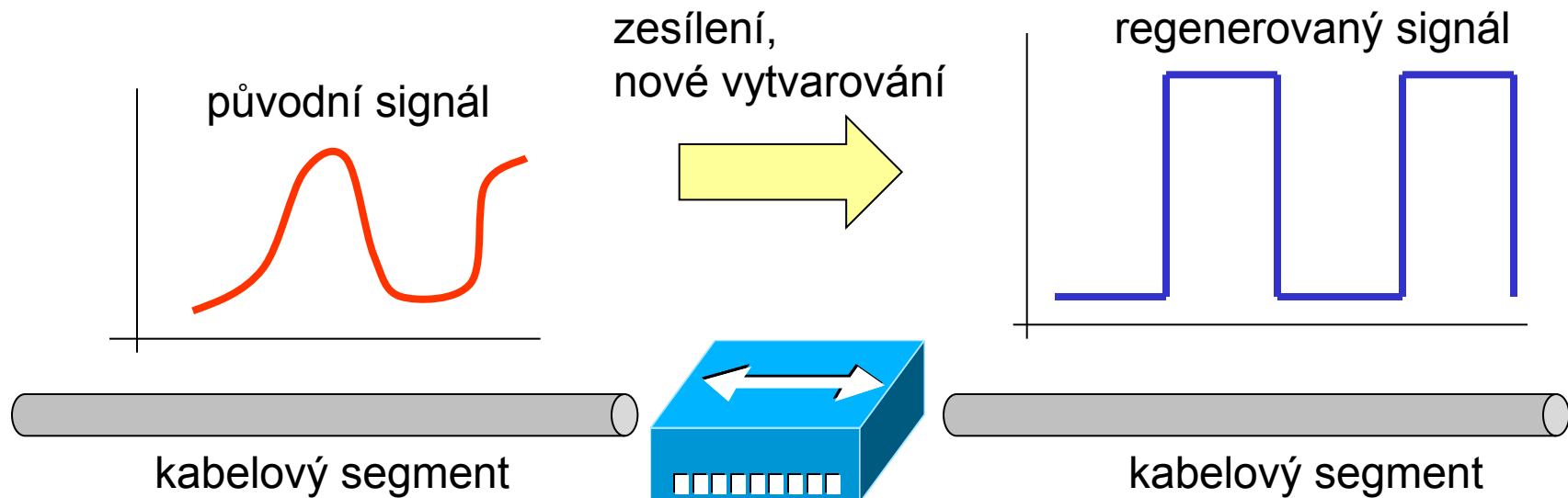
opakovač (repeater)

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



propojení na úrovni fyzické vrstvy

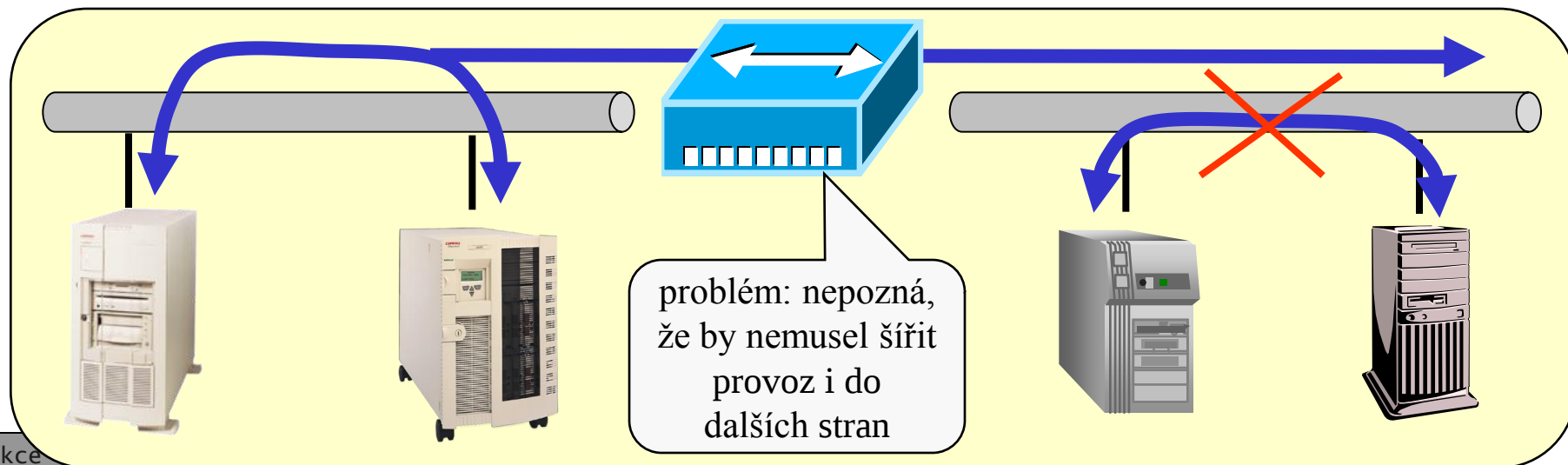
- znamená, že propojovací zařízení (tzv. opakovač) si všímá pouze jednotlivých bitů
 - toho, co je přenášeno na úrovni fyzické vrstvy
- opakovač je pouze digitální zesilovač, který zesiluje a znovu tvaruje přenášený signál
 - kompenzuje zkreslení, útlum a další vlivy reálných obvodových vlastností přenosových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



propojení na úrovni fyzické vrstvy

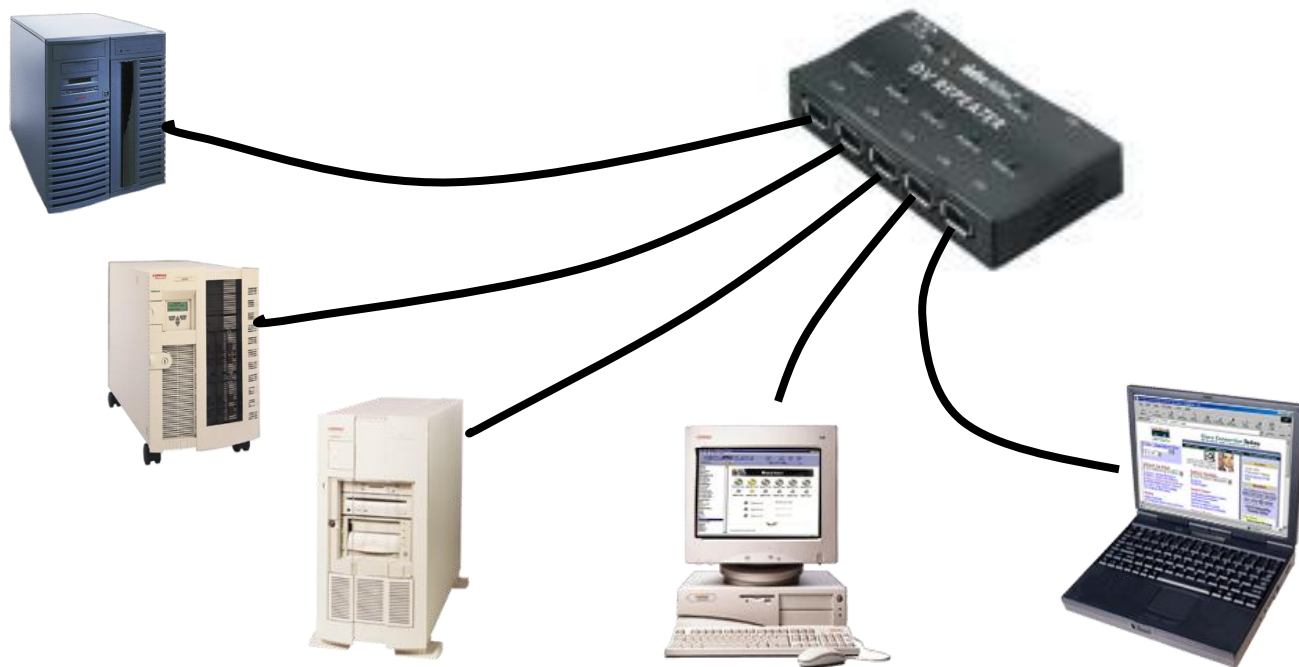
- opakovač „nevnímá“, že určité skupiny bitů patří k sobě a tvoří přenosový rámec
 - nedokáže rozpoznat ani adresu odesílatele a příjemce dat (rámce)
 - nemá k dispozici informace, které by mu umožnily měnit chování podle toho, jaká data skrz něj prochází
- všechna data rozesílá („opakuje“) do všech 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!



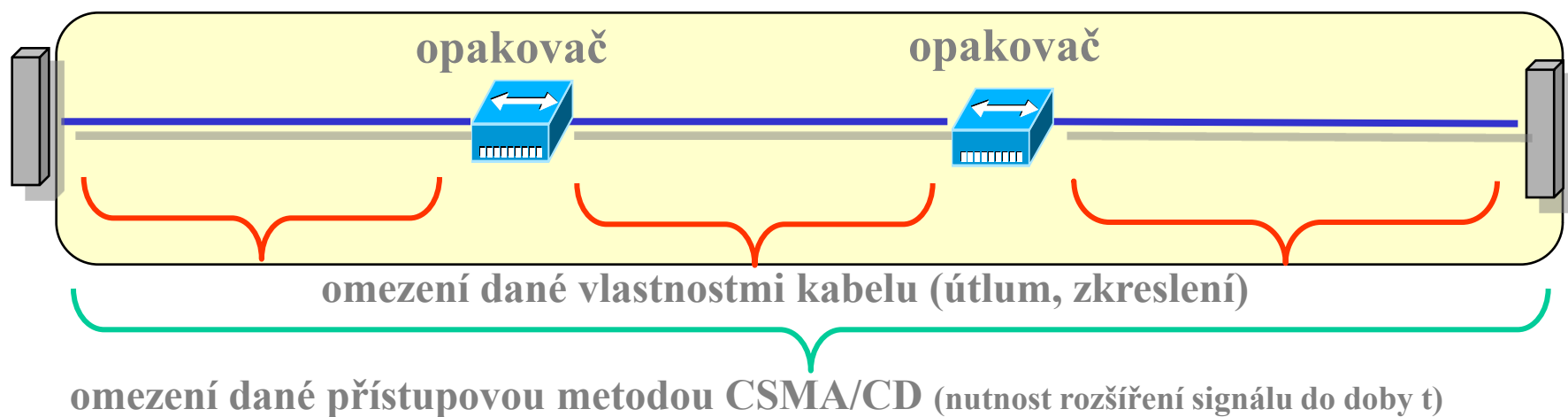
vlastnosti opakovače

- 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



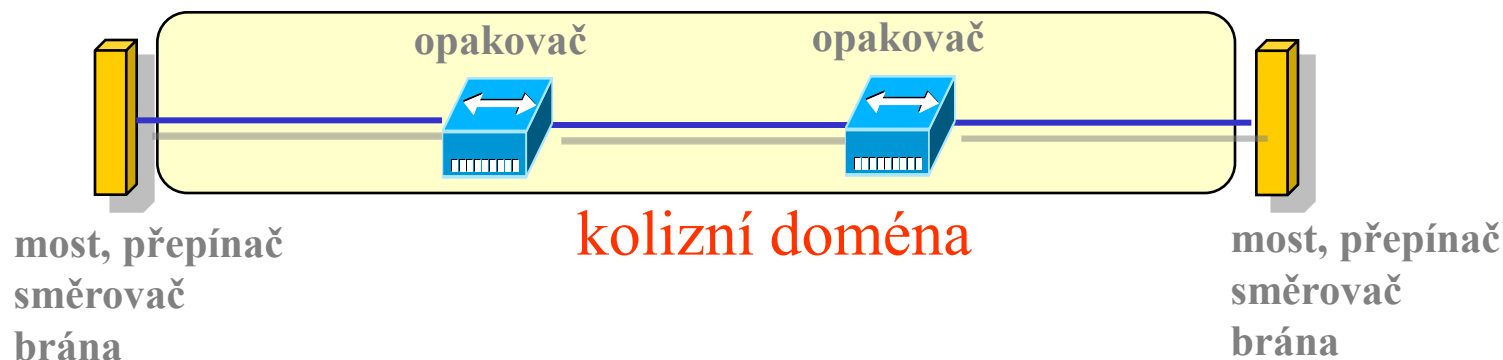
opakovač v Ethernetu

- 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 vrstvy
 - 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 $t = 51,2 \mu\text{s}$)
 - z toho plyne omezení na max. počet opakovačů
 - v sérii za sebou



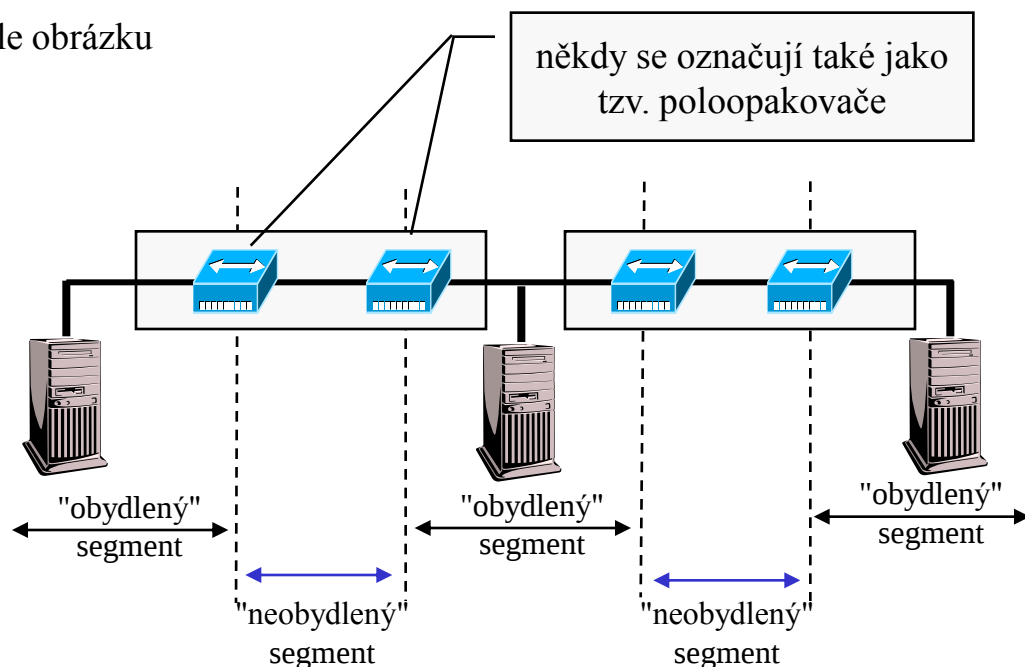
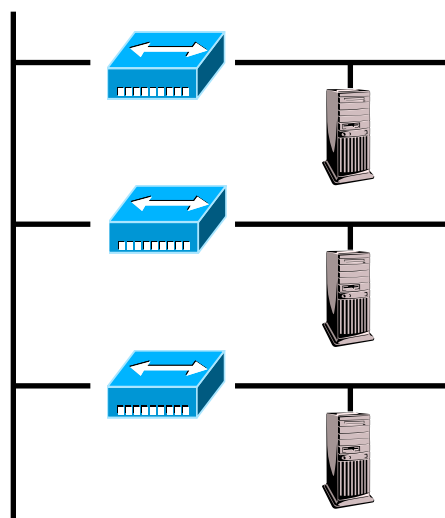
kolizní doména v Ethernetu

- 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



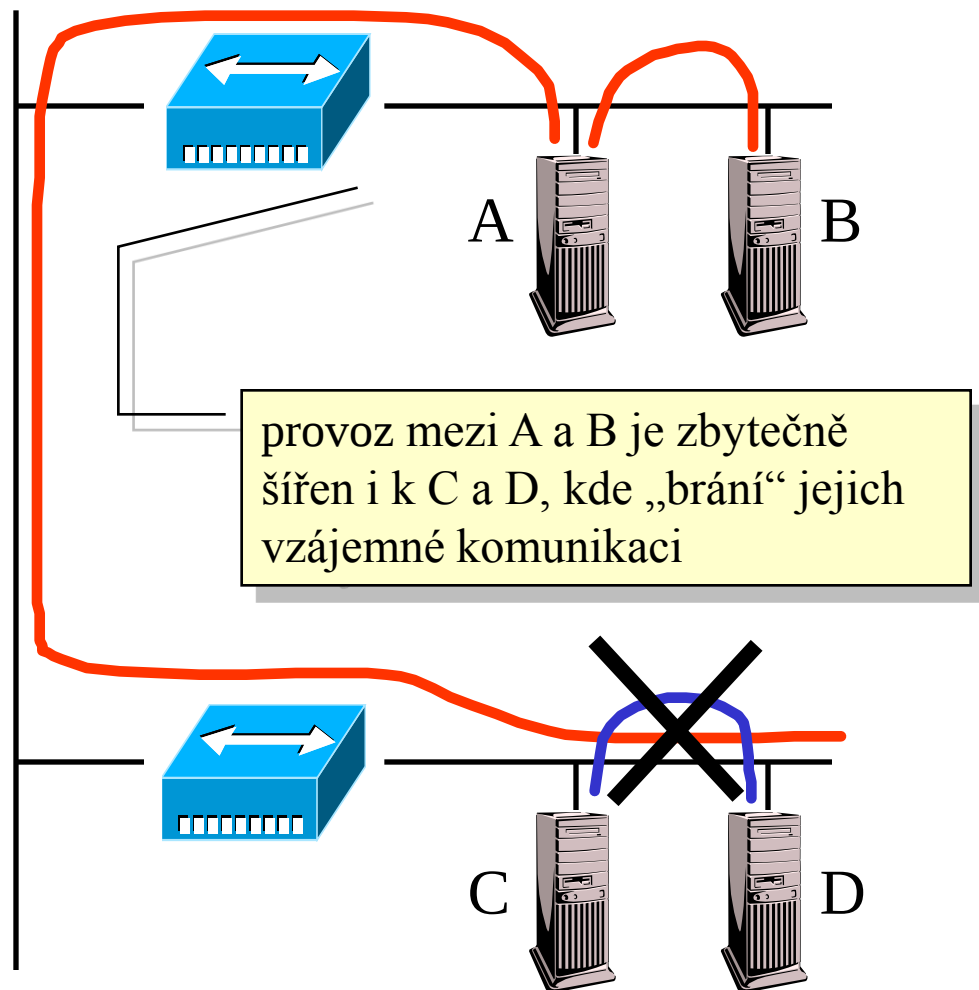
počet opakovačů v Ethernetu

- 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

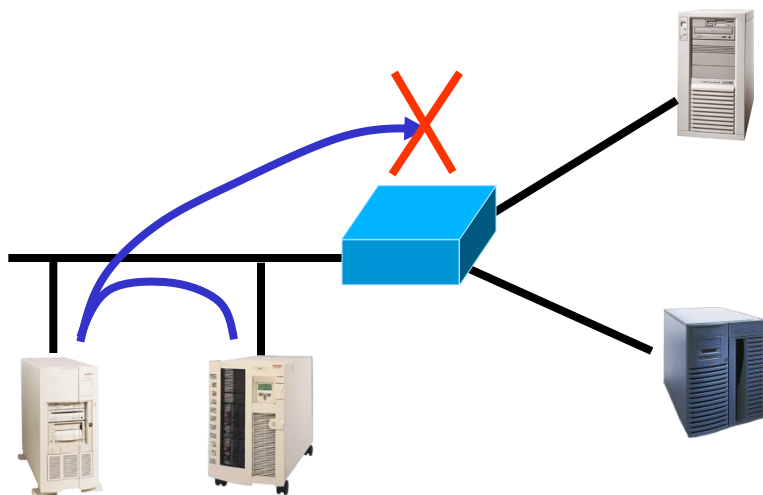
- jsou to „hloupá“ zařízení, šíří do ostatních segmentů i to, co by mohlo zůstat někde lokální
 - plýtvají dostupnou přenosovou kapacitou
 - musí tak činit proto, že nerozpoznají, co by již nemusely šířit !!
- řešení:
 - dodat propojovacím zařízením dostatečnou inteligenci
 - nestačí – neměly by se podle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



čeho se chce dosáhnout?

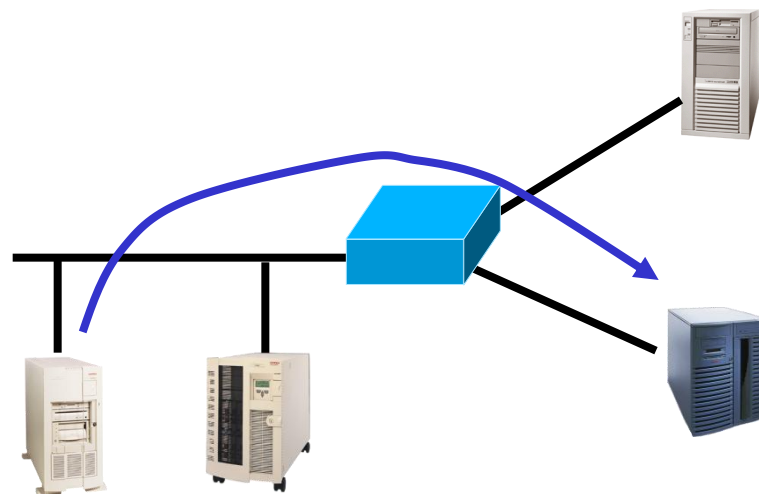
- **Filtering** (filtrování)

- 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

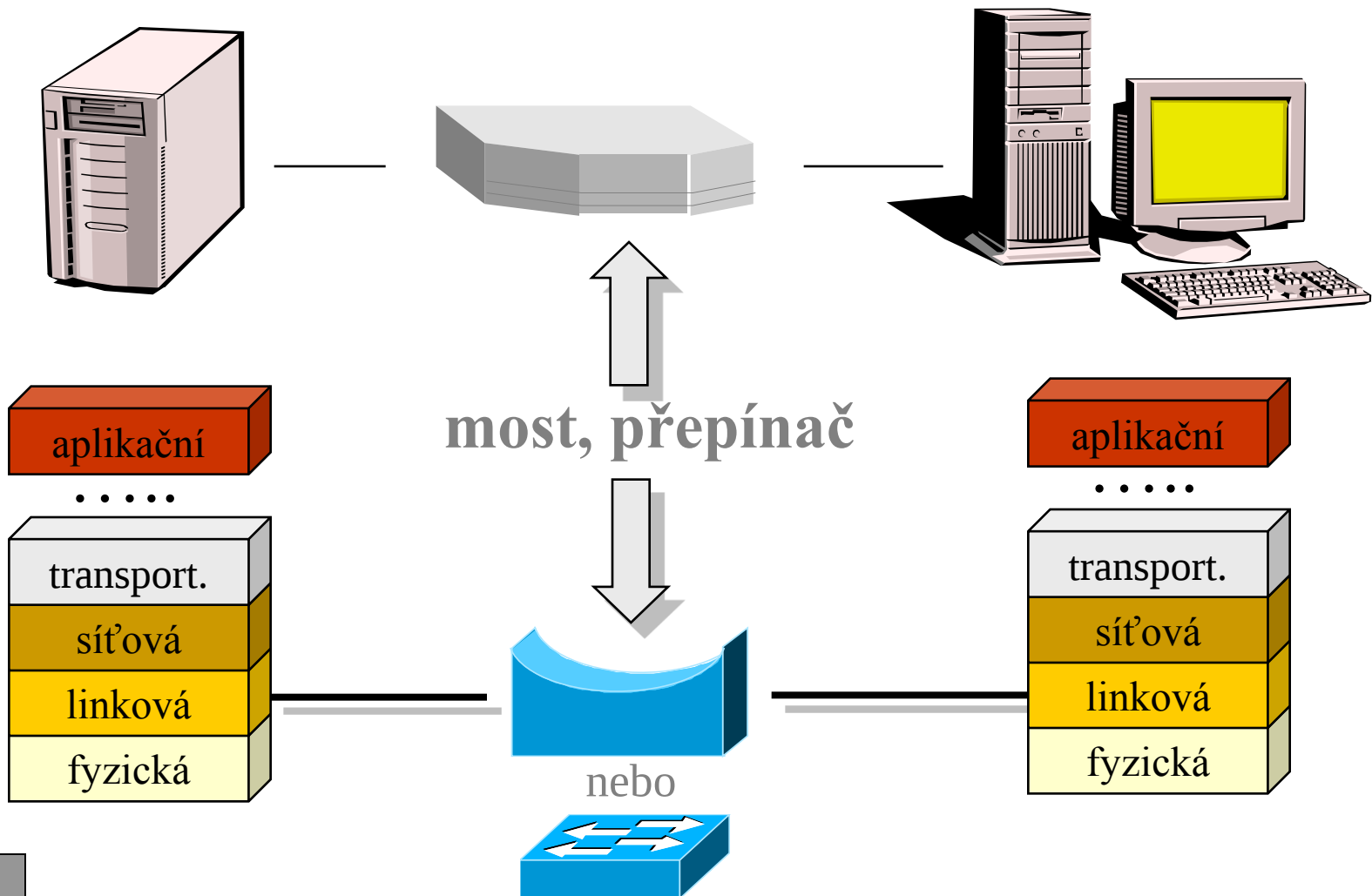


možné řešení

- aby se propojovací uzel mohl chovat inteligentně, musí alespoň trochu rozumět přenášeným datům
 - potřebuje znát adresu příjemce a adresu 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

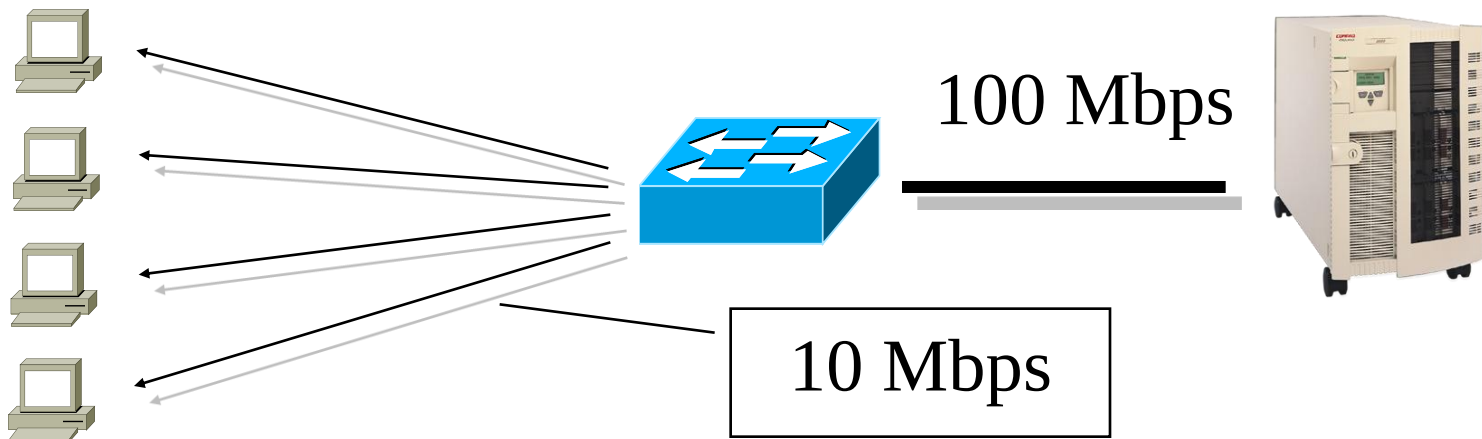
most (bridge)

propojení na linkové vrstvě



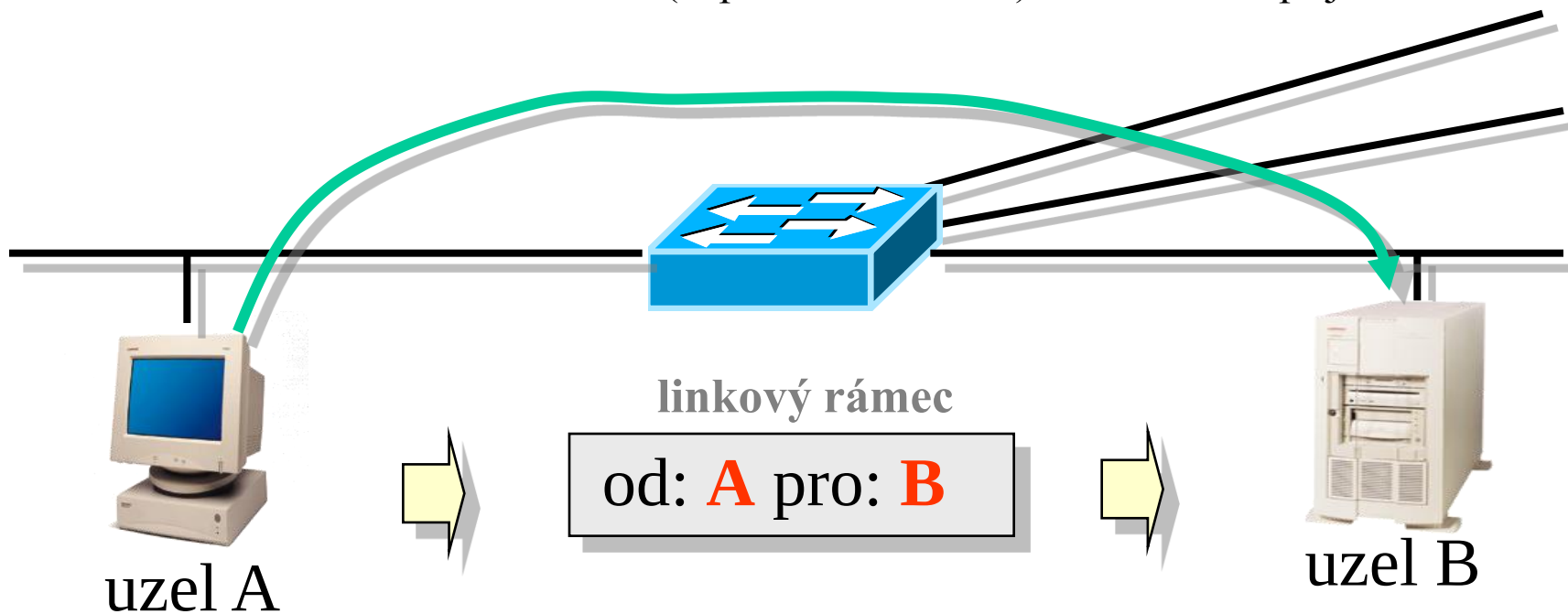
důsledek

- 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



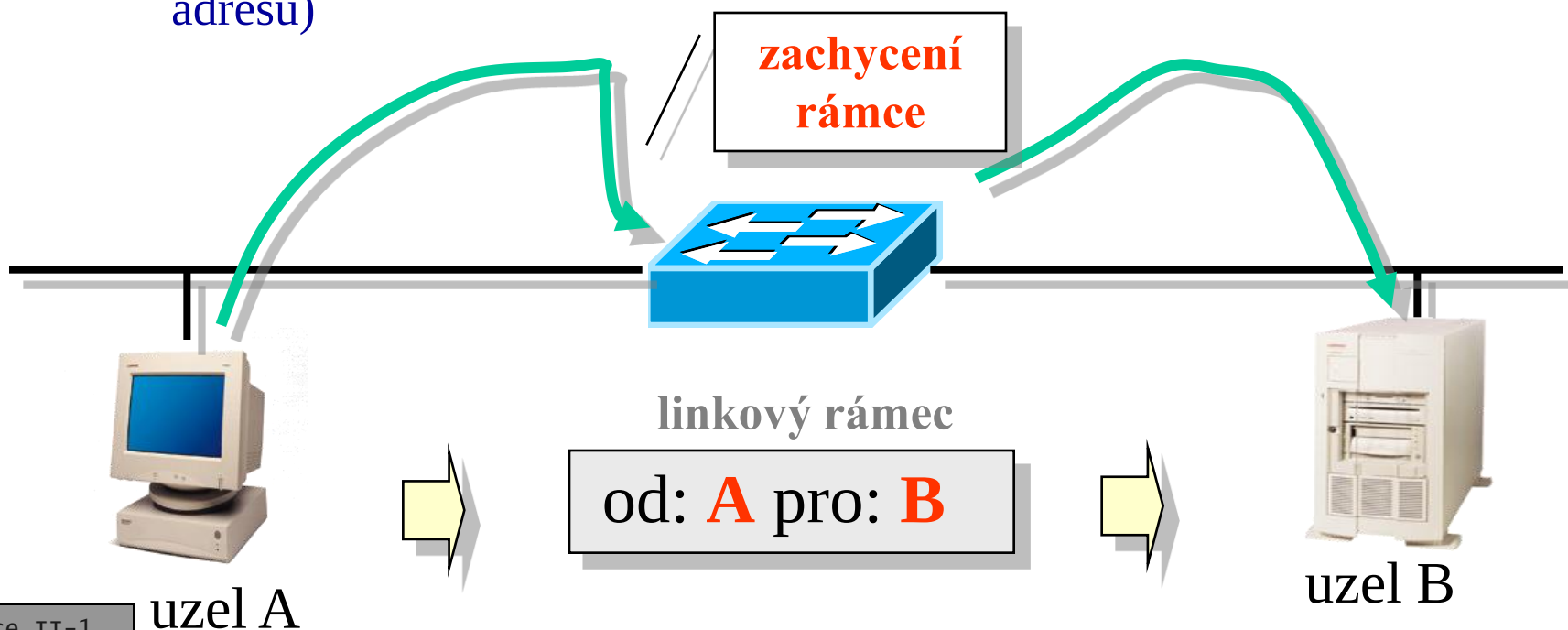
viditelnost propojovacích uzlů

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

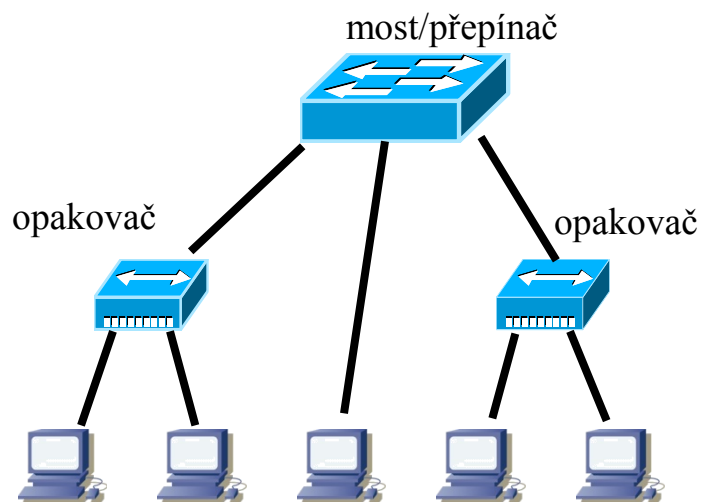


viditelnost propojovacích uzlů

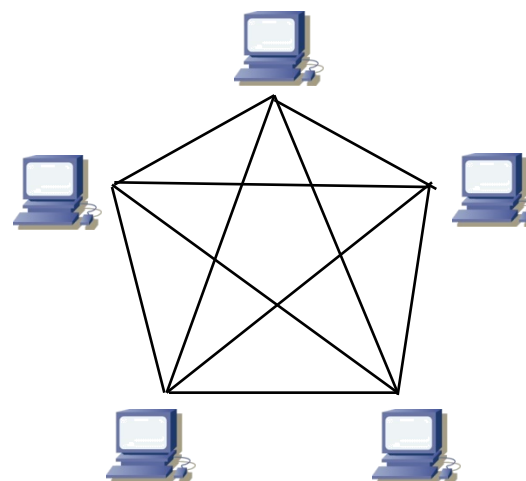
- na úrovni linkové vrstvy:
 - propojovací uzel funguje v tzv. **promiskuitním režimu**, kdy zachytává všechny datové rámce
 - i takové, které mu nejsou adresovány
 - za normálních okolností by mu neměly být přímo adresovány žádné rámce
 - propojovací uzel nemá vlastní adresu na úrovni síťové vrstvy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



skutečnost
(skutečné zapojení)



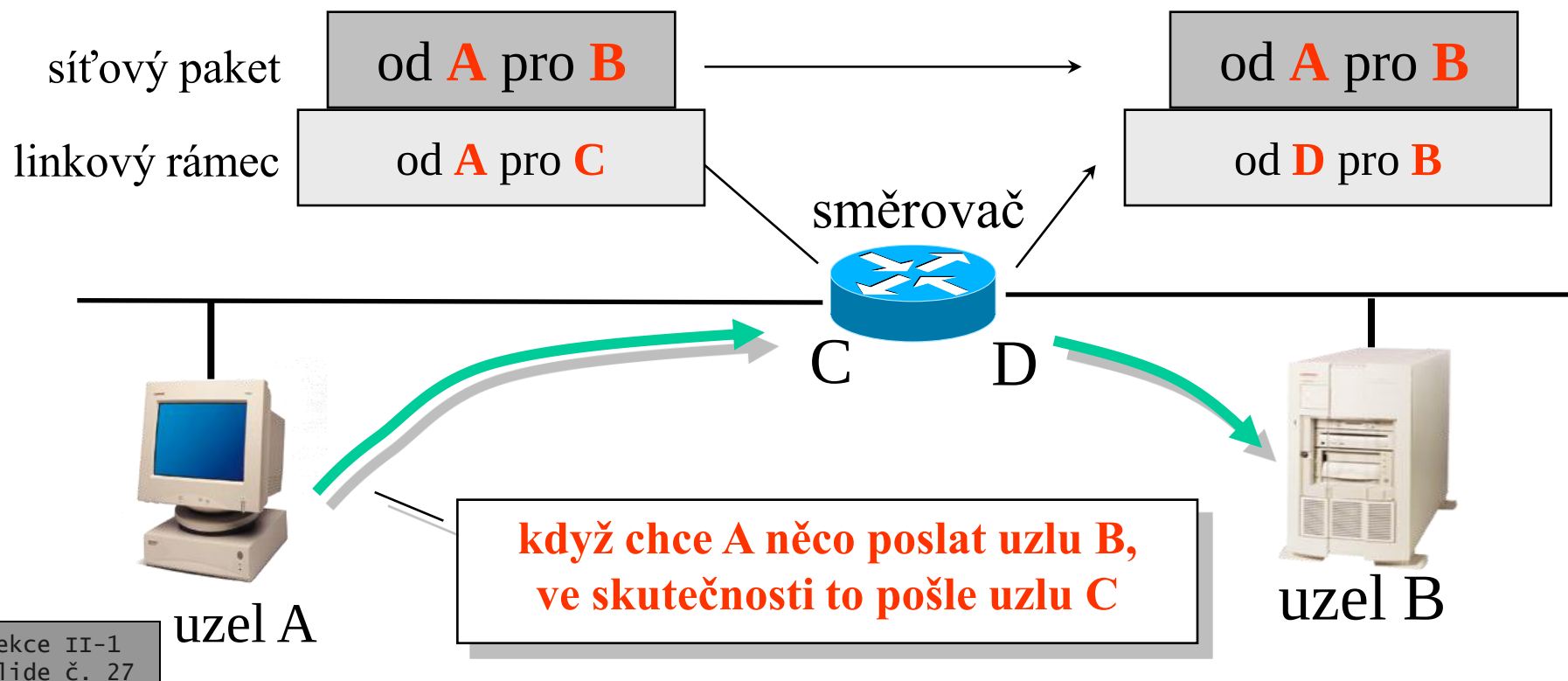
představa
(chování při přenosu na úrovni linkové vrstvy)



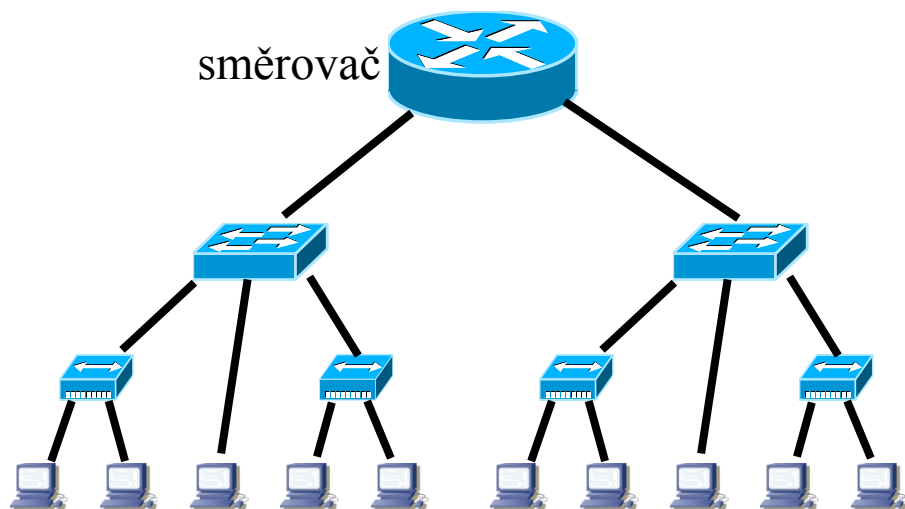
- uzly, které jsou propojeny na úrovni linkové vrstvy (nachází se v jedné síti) si mohou myslet, že jsou propojeny mezi sebou přímo, stylem "každý s každým"

viditelnost propojovacích uzlů

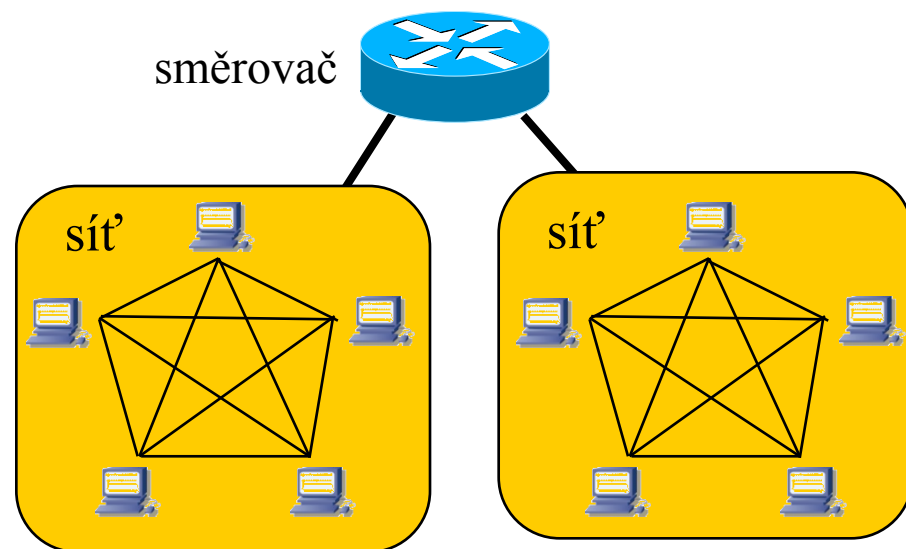
- na úrovni síťové vrstvy:
 - propojovací uzel je viditelný pro ostatní uzly, tyto si uvědomují jeho existenci a počítají s ní
 - přenášené pakety nesou v sobě síťovou adresu koncového příjemce, ale jsou odesílány na linkovou adresu propojovacího uzlu



skutečnost
(skutečné zapojení)



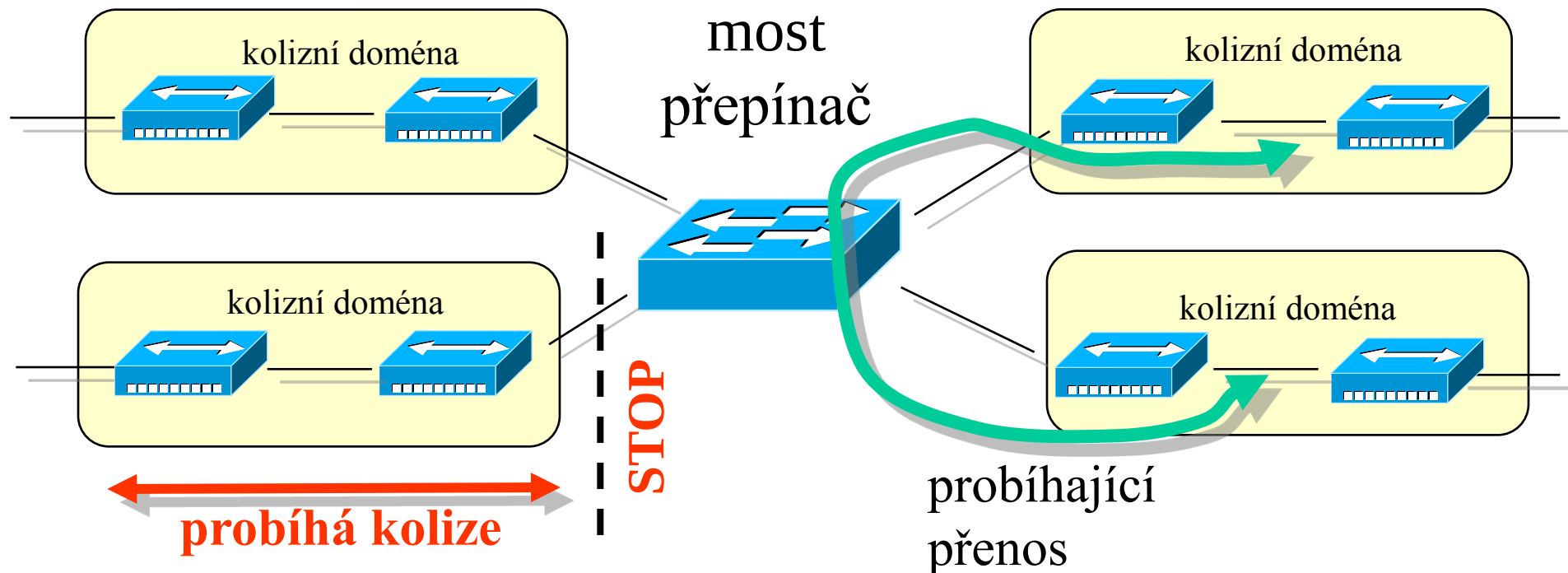
představa
(chování při přenosu na úrovni síťové vrstvy)



- 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" ;

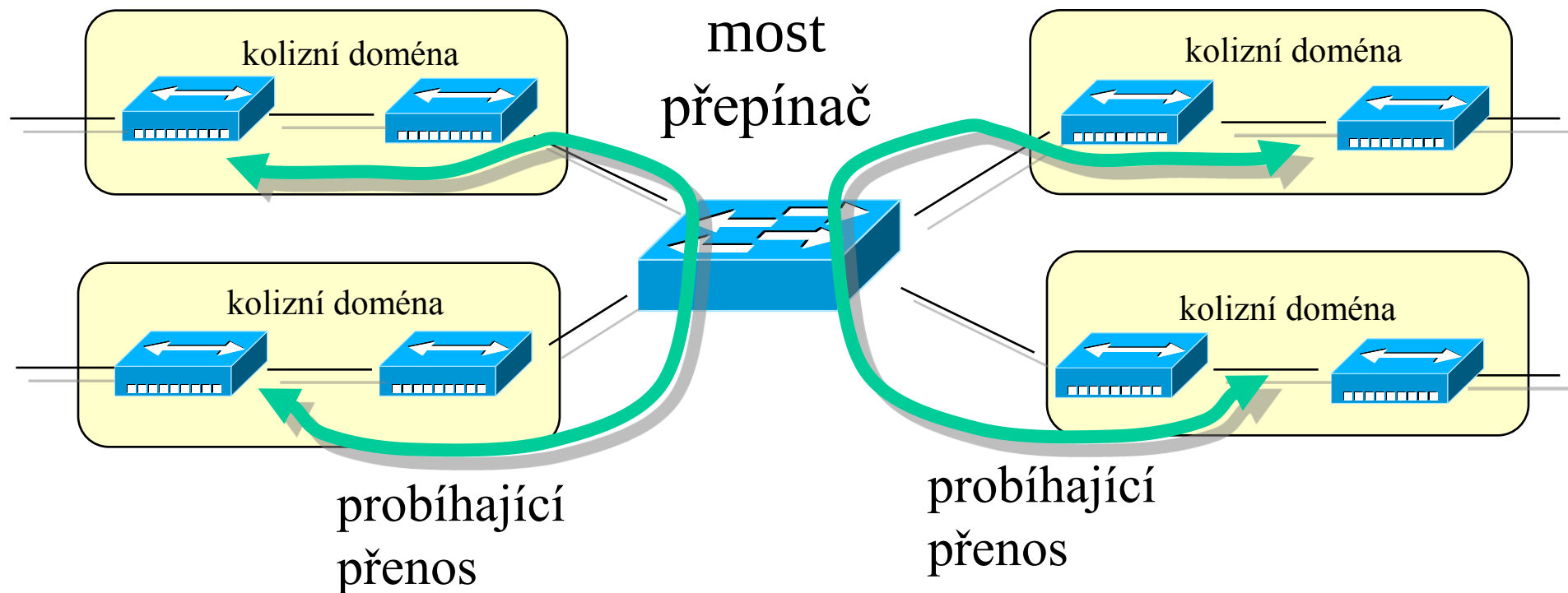
chování propojovacího uzlu na úrovni linkové vrstvy

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



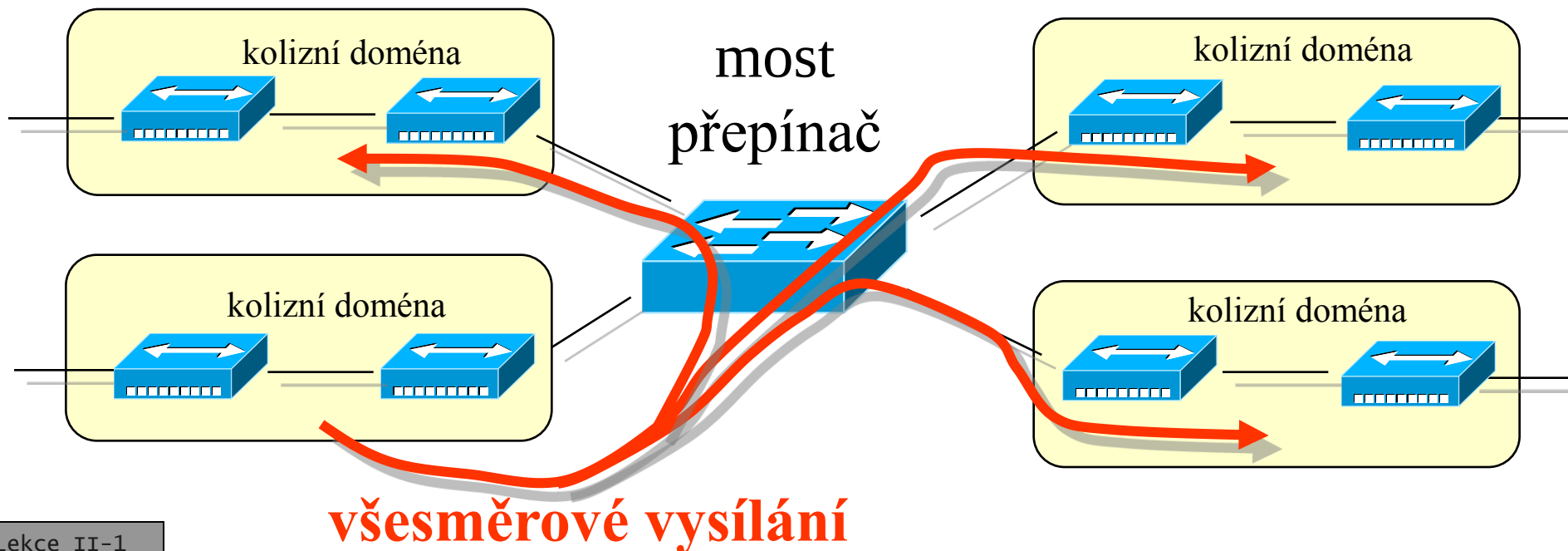
chování propojovacího uzlu na úrovni linkové vrstvy

- 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)



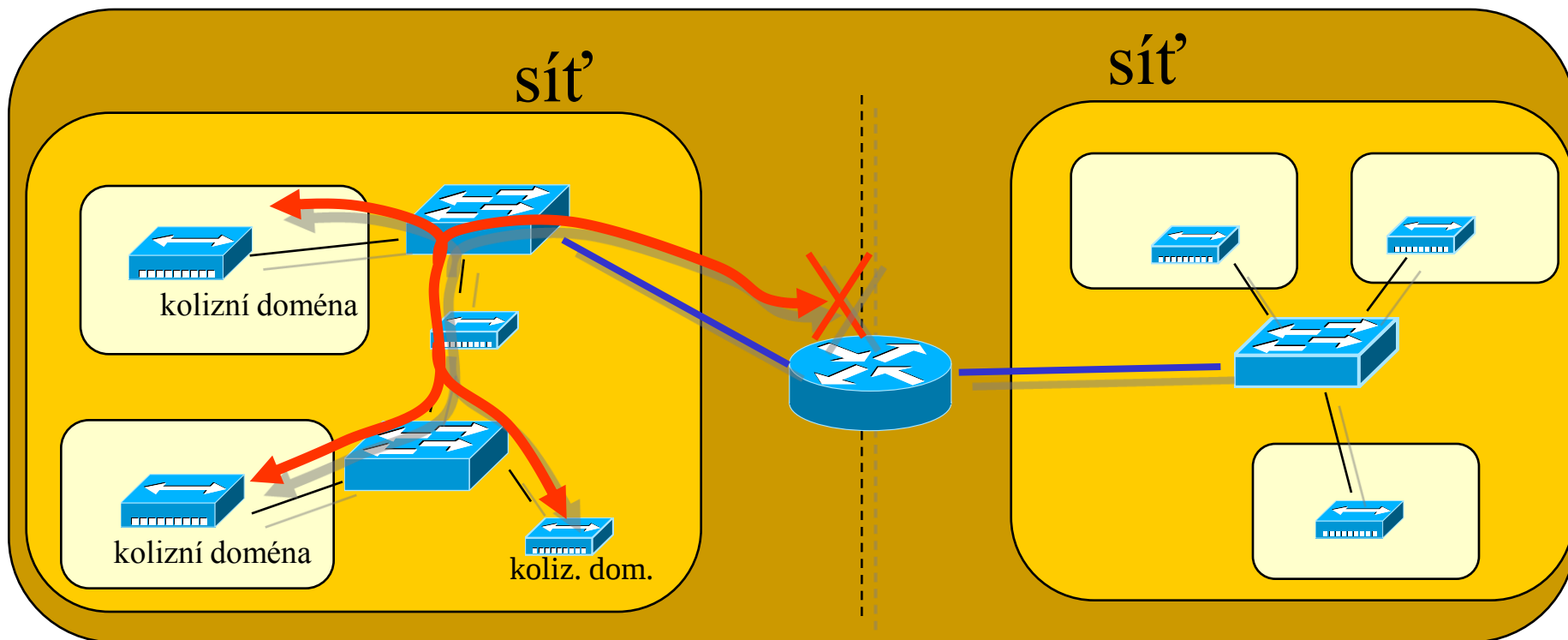
chování propojovacího uzlu na úrovni **linkové** vrstvy

- 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)

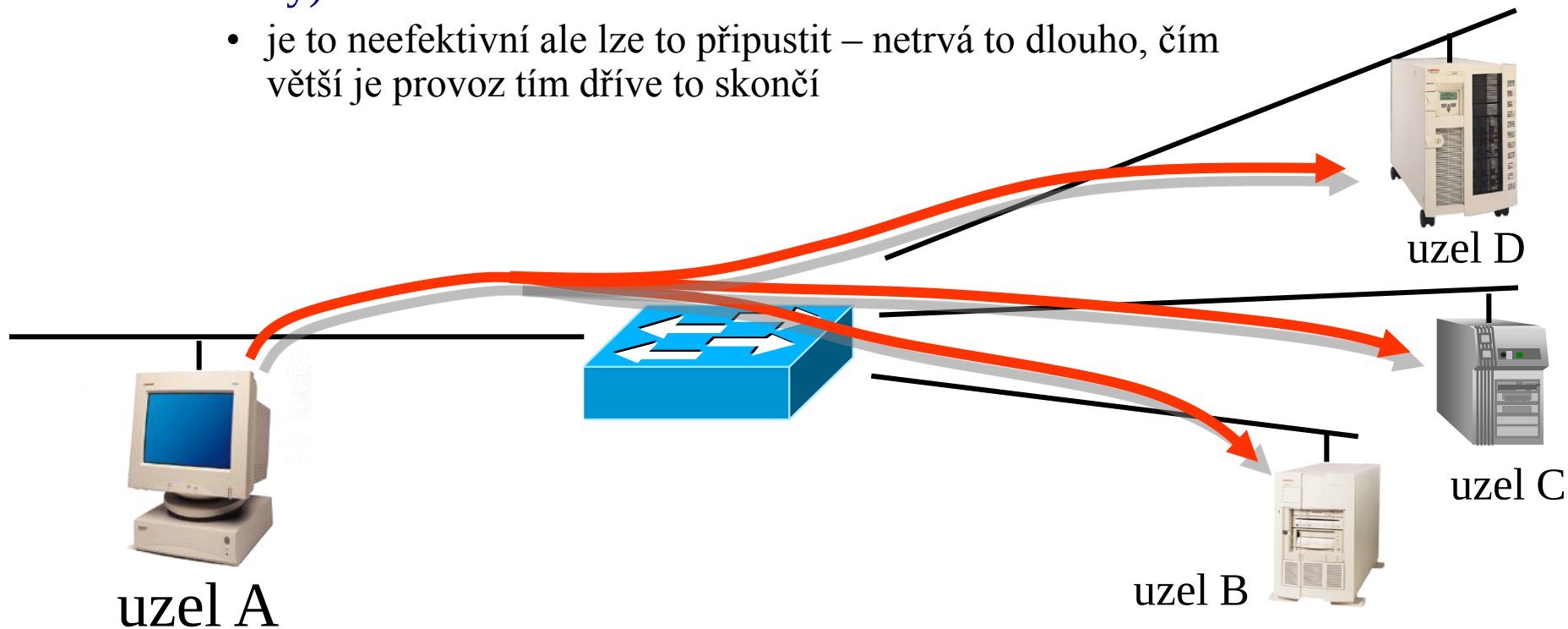


co musí znát propojovací uzly?

- 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

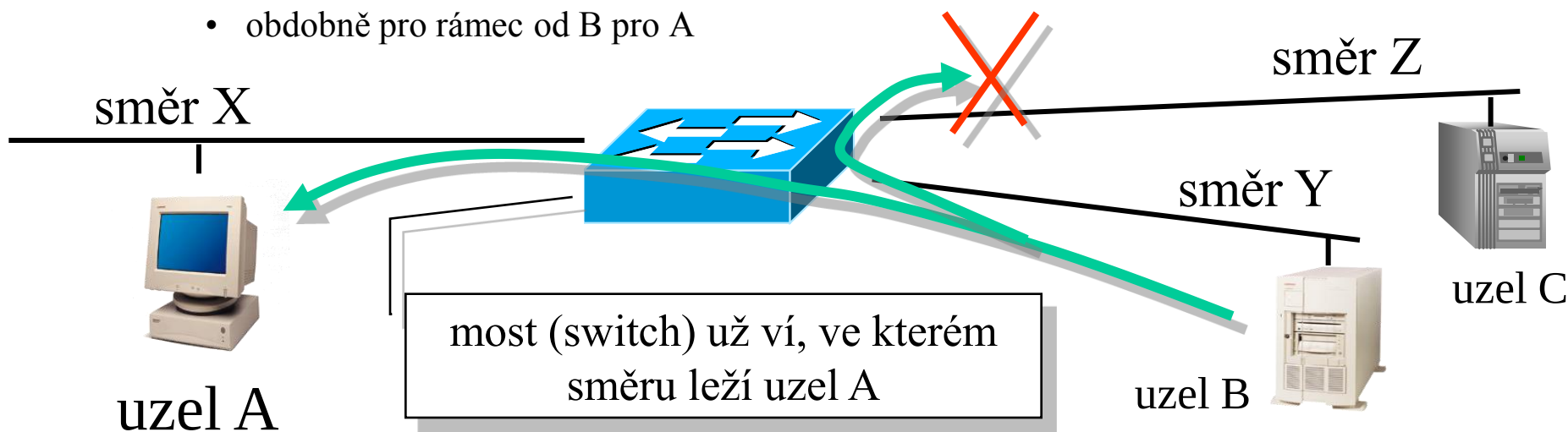
princip zpětného učení (používaný v Ethernetu)

- 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



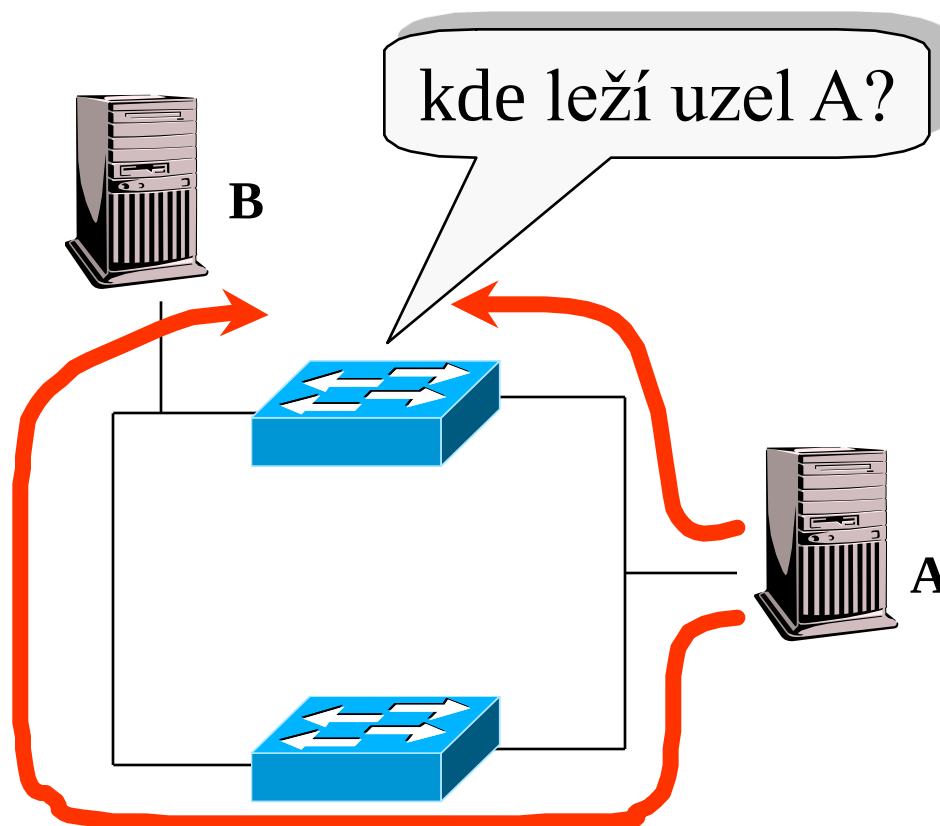
princip zpětného učení

- 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

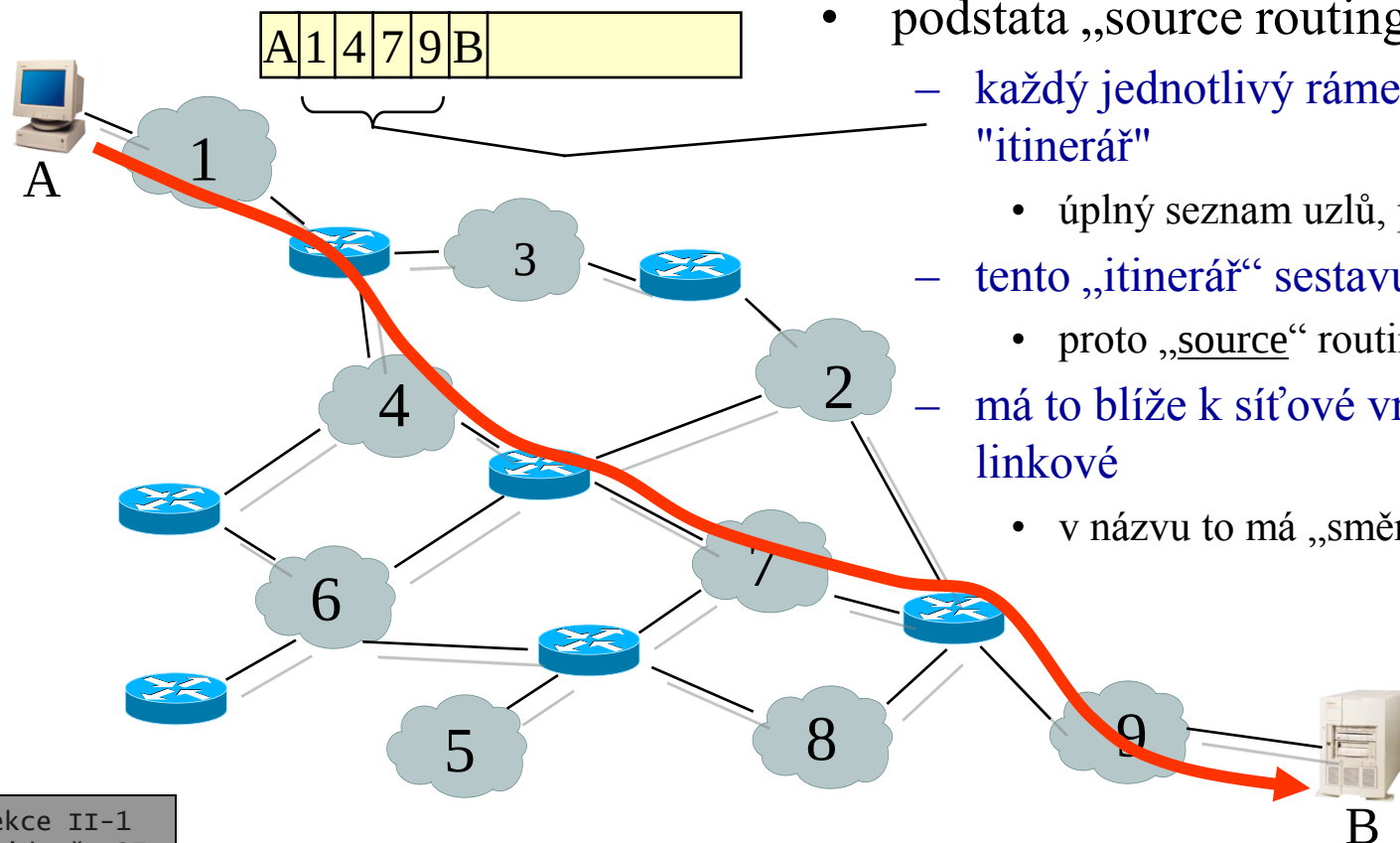


Source Routing

- v sítích Ethernet:
 - používají se výhradně samoučící se mosty (přepínače)
- v sítích Token Ring:
 - používají se mosty fungující na principu „source routing“
 - doslova: zdrojové směřování, směřování prováděné zdrojem

- podstata „source routing“:

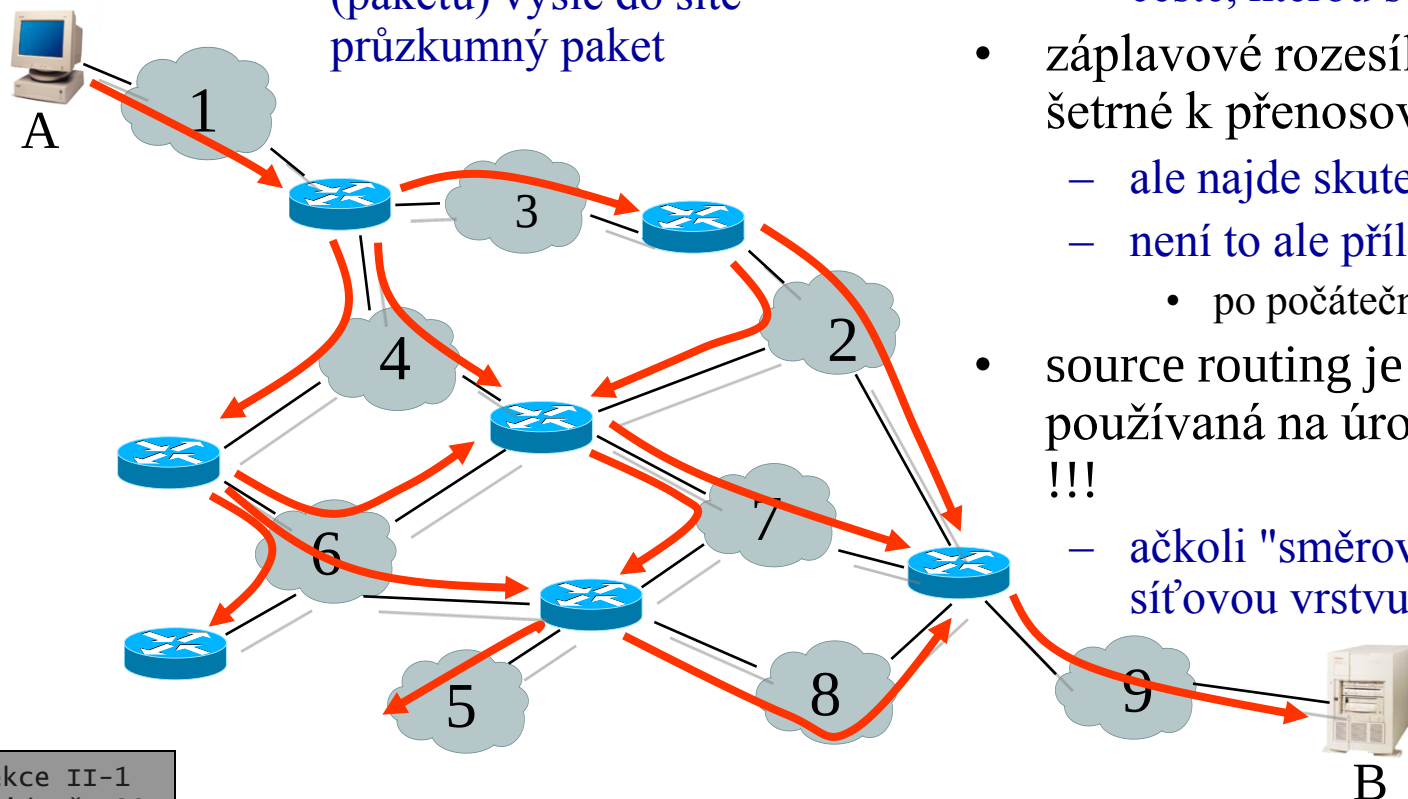
- každý jednotlivý rámec si v sobě nese úplný „itinerář“
 - úplný seznam uzlů, přes které má projít
- tento „itinerář“ sestavuje odesílající uzel
 - proto „source“ routing
- má to blíže k síťové vrstvě než k vrstvě linkové
 - v názvu to má „směřování“ (routing)



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
-