Lekce 6: Techniky přenosu dat

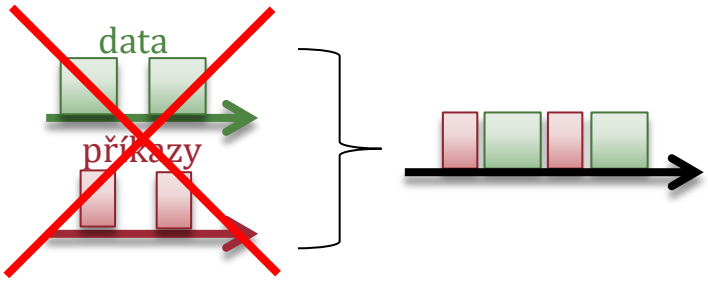
Jiří Peterka

co jsou "techniky přenosu dat"?

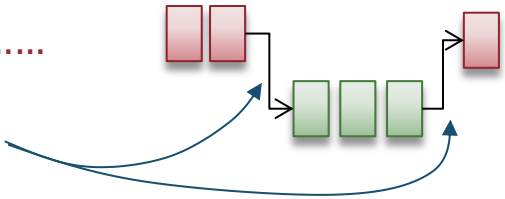
- **obecně:**
  - všechno, co se týká přenosu celých bloků dat
    - metody, postupy, ...
    - ve smyslu:
      - když už máme zajištěn přenos jednotlivých bitů a přenášíme data po větších kvantech (blocích), než jsou jednotlivé bity
- **patří sem:**
  - přenos dat v sítích, fungujících na principu přepojování okruhů
    - tzv. sériové komunikace
  - přenos dat v sítích, fungujících na principu přepojování paketů
    - paketový přenos
      - přenos paketů, rámců, buněk, ...
    - spolehlivý a nespolehlivý přenos
    - spojovaný a nespojovaný přenos
    - přenos best effort vs. podpora QoS
- **dále také (mimo jiné):**
  - framing („rámování“)
    - jak správně rozpoznávat celé bloky dat (rámce, buňky, pakety ...)
      - jak v proudu přijímaných bitů, bytů či znaků rozpoznat začátek a konec bloku
  - zajištění transparence dat
    - aneb: jak poznat, kdy přenášená data jsou
      - příkazy, které je třeba interpretovat
      - „čistá data“, která je třeba přenést a nijak neměnit
  - zajištění spolehlivosti přenosu
    - detekce chyb
    - potvrzování
      - eventuální opakování přenosu
  - řízení toku
    - aby odesilatel nezahltil příjemce
  - předcházení zahlcení
    - aby přenos nezahltil přenosovou síť
  - .....

data vs. příkazy

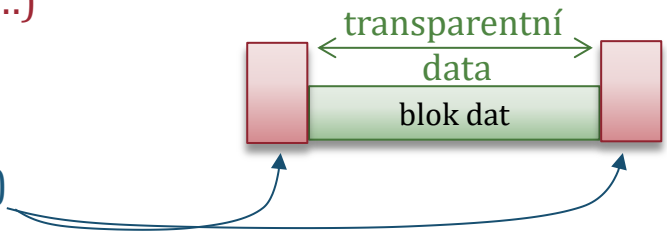
- **o co jde?**
  - po jedné (společné) přenosové cestě přenášíme data, která mají různý význam
    a) něco jsou „čistá data“, která mají být pouze přenesena a nesmí být měněna
    b) něco jsou „příkazy“, které je třeba správně interpretovat (vykonat to, co požadují)
- **co je úkolem?**
  - zajistit, aby vždy bylo jasné, zda jde o a) nebo b)
    - tomu se říká „zajištění transparence dat“
  - a adekvátně nakládat s příkazy i čistými daty



- **kde k tomu dochází?**
  - prakticky všude
    - je to výhodnější než používat samostatné přenosové cesty pro (čistá) data a pro příkazy
  - například:
    - při připojování periferií k počítačům – tiskáren, modemů, myší , ...
      - řeší se nejčastěji pomocí „přepínání interpretací“ (escaping)

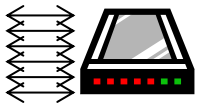


  - ale zejména:
    - při přenosu dat po blocích (paketech, rámcích, buňkách, ...)
      - kdy je třeba správně rozpoznat jednotlivé bloky
    - řeší se pomocí tzv. framing-u („*rámování*“)
      - blok dat se „zarámuje“ (vloží do vhodného ohraničení)



příklad: ovládání modemů

- **původně:**
  - modemy se ovládaly pomocí samostatných signálů
    - co příkaz, to samostatný signál
      - po samostatném „drátu“
        - neúnosné, komplikované



5441324D444D314E54466B4D5455774E

+++ ← přepnutí

OK

at&v ← vypiš údaje o nastavení

ACTIVE PROFILE:
E0 L1 M1 Q0 T V1 X4 &C1 &D2 &G0 &P1
S00:000 S01:000 S02:043 S03:013 S04:010
S05:008 S06:004 S07:060 S08:002
S10:014 S12:050 S29:010

ati3 ← vypiš údaje o sobě

Conexant - Ambit SoftK56 V.90 (V.92) MDC Modem

atdp123456 ← vytoč číslo pulzní volbou

BUSY

ath ← zavěs

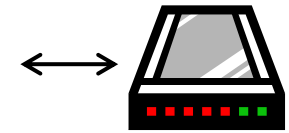
OK

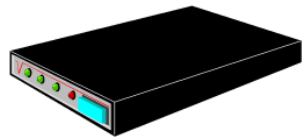
atdt123456 ← vytoč číslo tónovou volbou

CONNECTED 9600

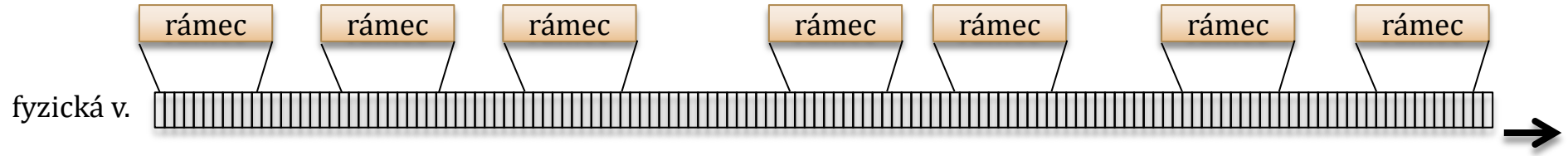
7A497A4E544D774D7A6B7A4D ..... ← přepnutí

- **později:**
  - modem má jediný vstup pro data i příkazy
  - modem má dva režimy:
    - datový
      - v tomto režimu chápe data na svém vstupu jako „čistá data“ a přenáší je
    - příkazový
      - v tomto režimu interpretuje data na vstupu jako příkazy a vykonává je
  - musí existovat mechanismy pro přechod (přepnutí) mezi stavy/interpretacemi
    - z datového do příkazového režimu převádí posloupnost „+++“, následovaná sekundovou prodlevou
    - do datového režimu modem přechází automaticky po navázání spojení
  - musí existovat řídící jazyk, pro zadávání příkazů v příkazovém režimu
    - jazyk AT (od: Attention)
      - zavedla firma Hayes u svého Smartmodemu (1981)

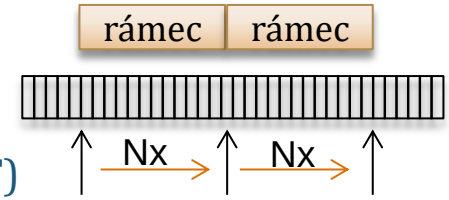




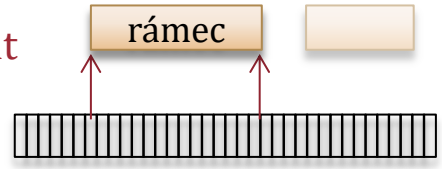
framing (frame encapsulation)



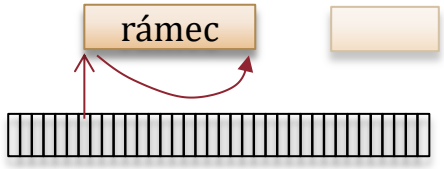
- **aneb:**
  - správné rozpoznání začátku a konce přenášeného bloku dat (rámce)
  - jde o úkol, který se týká hlavně linkové vrstvy
    - protože ta dostává od fyzické vrstvy dále nestrukturovaný proud bitů/bytů/znaků
- **principiální možnosti řešení:**
  - odpočítávat jednotlivé byty
    - pokud mají rámce pevnou velikost a následují hned po sobě
      - například v telekomunikacích u digitální hierarchie (okruhů E a T)



  - vyznačit začátek a konec
    - pomocí speciálních znaků či značek (sekvencí bitů) explicitně vyznačit začátek a konec rámce
      - výhoda: rámce mohou být různě velké
    - pomocí „poruch“ v kódování přenášených dat (vícehodnotová logika)



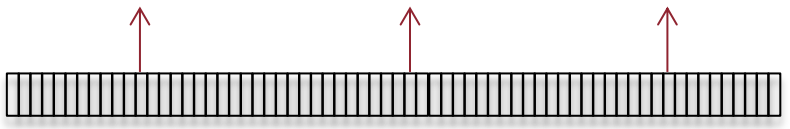
  - vyznačit začátek a odpočítat délku rámce
    - explicitně vyznačit začátek rámce, v jeho hlavičce vyznačit velikost (počet bytů) rámce



  - .....

character, byte a bit stuffing

- **potřebujeme-li vyznačit v proudu přenášených dat určitý bod**
  - začátek linkového rámce, nebo jeho konec



- **můžeme k tomu využít různé techniky:**
  - character stuffing
    - proud přenášených dat tvoří jednotlivé znaky, začátek či konec rámce se vyznačí speciálním znakem, transparence dat se řeší vkládáním (stuffing) celých znaků
  - byte stuffing
    - proud přenášených dat tvoří jednotlivé byty (nikoli znaky), začátek či konec se vyznačí speciálním bytem, transparence dat se řeší vkládáním jednotlivých (celých) bytů
  - bit stuffing
    - proud přenášených dat tvoří jednotlivé bity, začátek či konec se vyznačí pomocí speciální sekvence bitů (tzv. křídlové značky, anglicky: flag), transparence se řeší vkládáním jednotlivých bitů

u všech variant je nutné zajistit, aby se speciální znak/byte či značka nevyskytly v těle rámce (mezi užitečnými daty)
- transparence dat

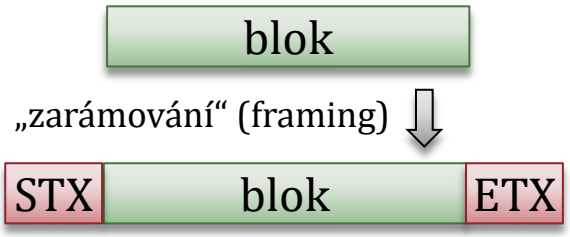
- **podle toho, jakou techniku používají, se linkové protokoly dělí na:**
  - znakově orientované
    - používají techniku character stuffing

    starší protokoly (např. IBM BySync), dnes se již nepoužívají
  - bitově orientované
    - používají techniku byte stuffing nebo bit stuffing

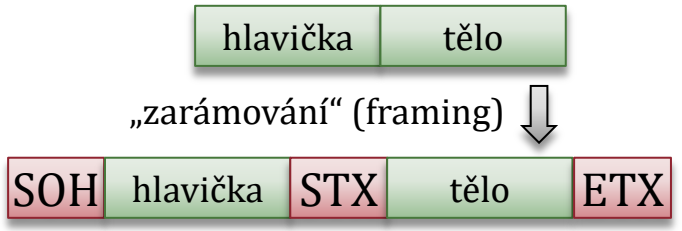
    novější, dnes používané protokoly (např. HDLC, Ethernet, PPP)

znakově orientované linkové protokoly

- **k „rámování“ využívají speciální řídící znaky**
  - nejčastěji: řídící znaky v sadě ASCII:
    - STX (Start of TeXt): pro začátek textu/těla bloku
    - ETX (End of TeXt): pro konec textu / těla bloku



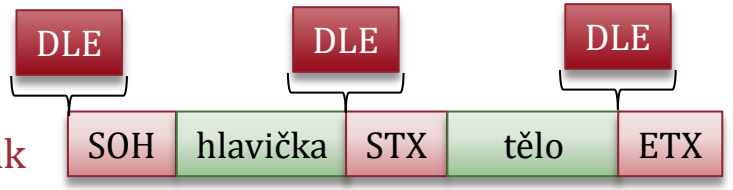
- **je možné i rozlišit strukturu bloku**
  - na hlavičku a tělo, pomocí dalších řídících znaků
    - SOH (Start Of Header): pro začátek hlavičky



- **problém:**
  - co kdyby se některý z řídích znaků (STX, SOH, ETX) vyskytoval v samotném bloku dat (v hlavičce nebo v těle rámce)?
    - jak potom poznat, kdy se výskyt znaku má považovat za řídící, a kdy nikoli?

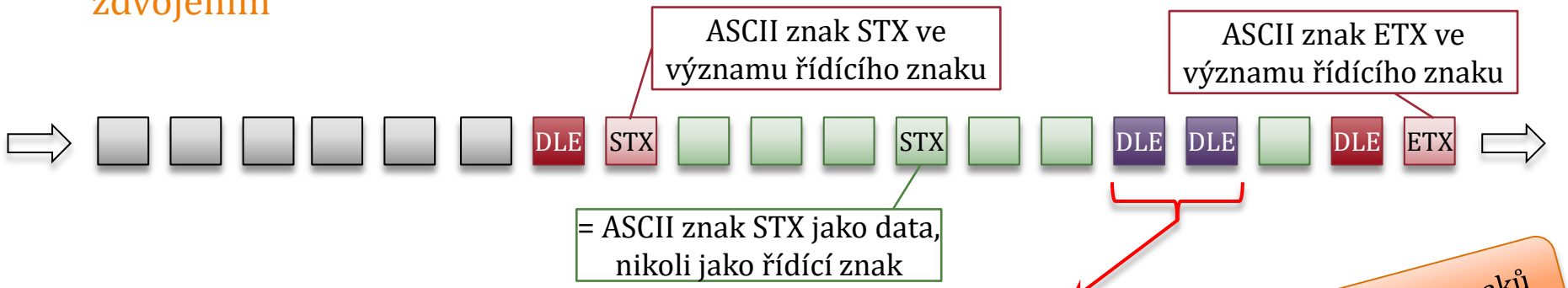
jak zajistit transparenci dat?

- **řešení transparence dat:**
  - řídící znaky se prefixují speciálním řídícím znakem z ASCII sady
    - DLE (Data Link Escape): „únikový“ (ESCAPE) znak
    - význam: následující znak je třeba interpretovat jako řídící



znakově orientované linkové protokoly

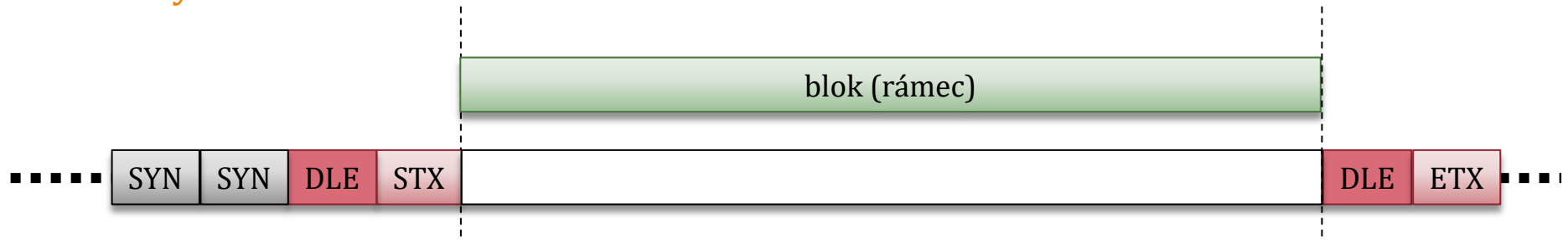
- **řešení transparence dat (pokračování ....)**
  - případný výskyt speciálního řídícího znaku (DLE) v užitečných datech se řeší jeho zdvojením



    - příjemce interpretuje dvojici znaků DLE jako 1 ASCII znak DLE
      - jako „užitečná data“, nikoli ve významu řídícího znaku

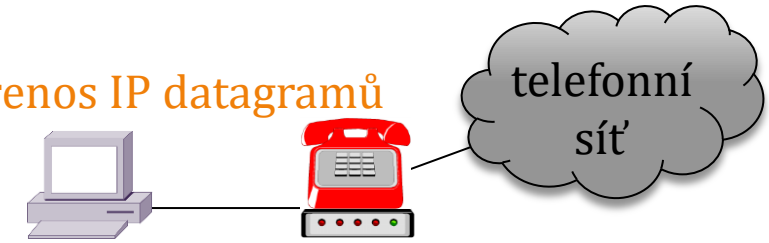
jde o techniku vkládání znaků (character stuffing)

- **řešení synchronizace**
  - jde o pomoc fyzické vrstvě, aby si dokázala zajistit (udržet) synchronizaci
    - aby měla „správně seřízené hodinky“ a správně vyhodnocovala bitové intervaly
  - řešení u znakově orientovaných protokolů: na začátek se připojí (dva) speciální řídící znaky SYN

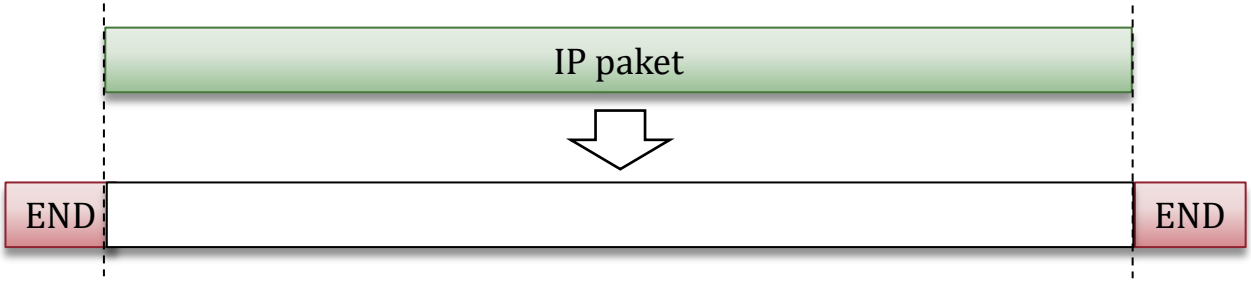


příklad: protokol SLIP

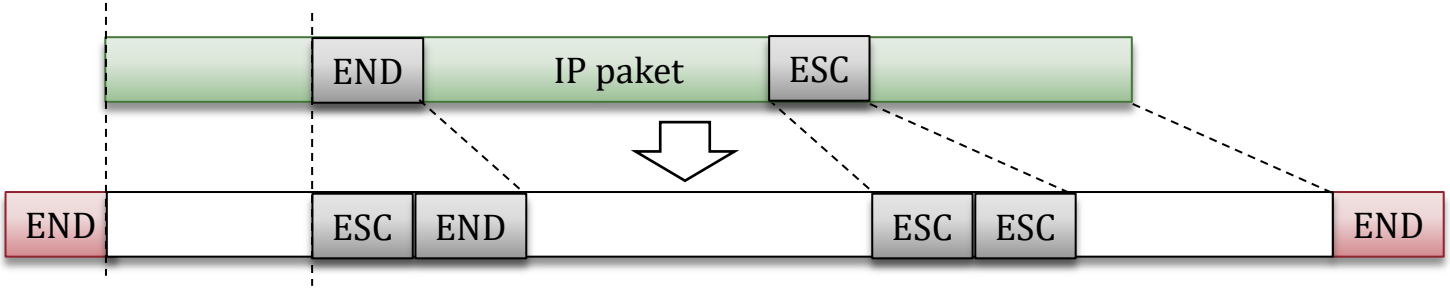
- **SLIP: Serial Line IP**
  - velmi jednoduchý linkový protokol, určený pro přenos IP datagramů po dvoubodových (a plně duplexních) spojích
    - například (po modemu) po telefonních linkách
    - nepotřebuje řešit „nic navíc“ – jen framing (vyznačení začátku a konce linkového rámce)



  - je znakově orientovaný = přenášená data chápe jako posloupnost znaků
    - začátek i konec linkového rámce vyznačuje ASCII znakem END (0xC0)

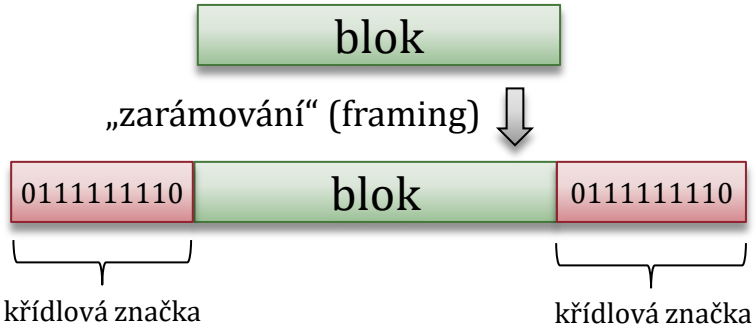


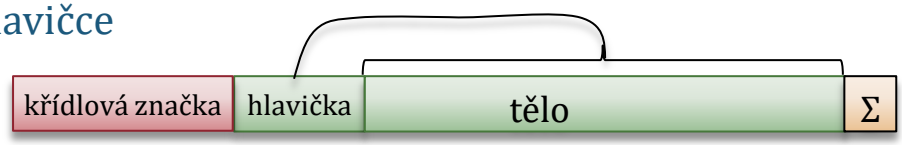
  - případný výskyt řídících znaků v těle IP datagramu řeší pomocí techniky character stuffing
    - znak END nahradí dvojicí znaků ESC (0xDB) a END
    - znak ESC nahradí dvojicí znaků ESC a ESC



bitově orientované linkové protokoly

- **k „rámování“ (framing-u) používají speciální posloupnost bitů**
  - tzv. křídlovou značku (flag)
    - nějaký předem daný „vzorek“ bitů, například určitý počet po sobě jdoucích 1 mezi krajními 0
      - jako: 0111111110 (8x 1)
- **varianty:**
  - křídlová značka je na začátku i na konci
    - pak je nutné zajistit, aby se nevyskytla v bloku
      - musí být vyřešena transparence dat
  - křídlová značka je pouze na začátku
    - pak je nutné nějak určit délku bloku
    - možnosti:
      - „explicitní“: délka bloku je uvedena v hlavičce
        - například u rámců Ethernet IEEE 802.3
      - „jinak“
        - například u rámce Ethernet II je konec rámce určen tím, že „skončí nosná“ (carrier)
          - u kódování Manchester na 10 Mbit/s končí „časování“ (přechody mezi úrovněmi při každém bitovém intervalu, které slouží k synchronizaci)
        - a před začátkem nového rámce nosná znovu „naskočí“ (na preambuli, která slouží k synchronizaci)



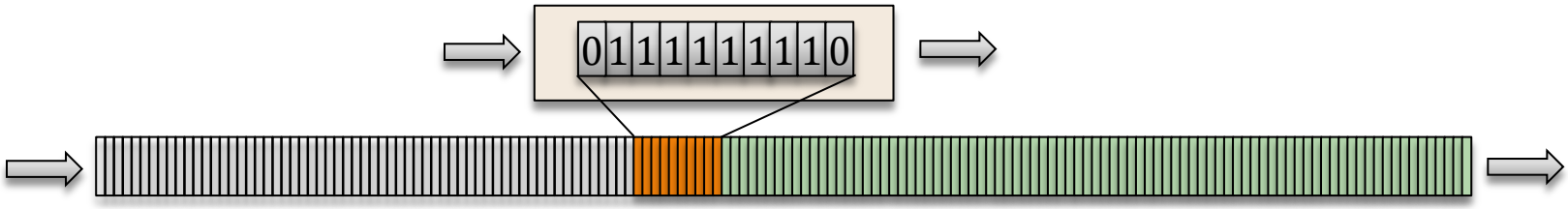


technika „bit stuffing“

- **slouží potřebám bitově orientovaných linkových protokolů**
  - zajišťuje pro ně transparenci dat
    - aby se v přenášeném datovém bloku mohla vyskytovat jakákoli posloupnost bitů
      - včetně té, která jinak má význam křídlové značky

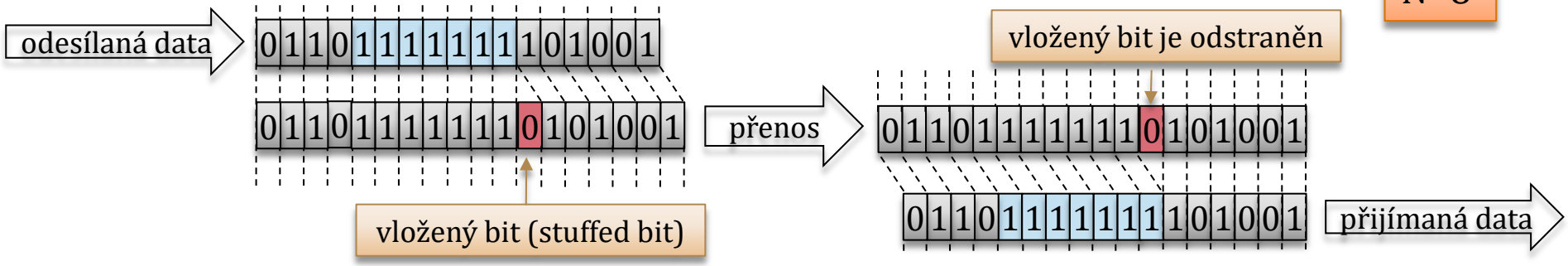
je to nutné jen tam, kde je koncová křídlová značka !!

- **připomenutí:**
  - začátek bloku (linkového rámce) signalizuje speciální posloupnost bitů
    - tzv. křídlová značka (flag), například: 0111111110 (N po sobě jdoucích jedniček)



- **způsob fungování:**
  - pokud se v (čistých) datech vyskytne posloupnost N-1 jedniček, je za ni automaticky přidána jedna nula
    - příjemce automaticky maže první nulu za posloupností N-1 jedniček

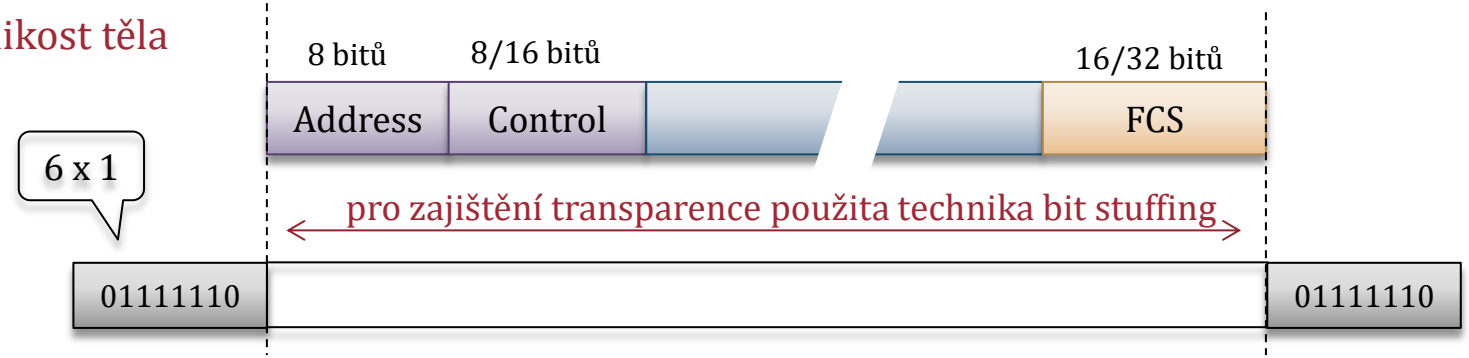
zde: N=8



příklad: HDLC

- **HDLC (High-Level Data Link Control)**
  - příklad bitově orientovaného linkového protokolu pro spoje P-P i P-MP
  - odvozený od staršího (proprietárního) protokolu SDLC firmy IBM
  - standardizován od ISO (ISO 3309, ISO 4335)
  - je základem/inspirací řady dalších linkových protokolů
    - PPP, LLC (Ethernet), LAPD (ISDN), LAPB (X.25), Frame Relay
- **HDLC rámec**
  - linkový rámec protokolu HDLC
    - pevná velikost hlavičky
      - Address + Control
        - Address je adresa příjemce
    - pevná velikost patičky
      - FCS (Frame Check Sequence)
        - kontrolní součet
    - proměnná velikost těla
- **HDLC framing („rámování“)**
  - používá 2 křídlové značky
    - počáteční a koncovou
    - 6 jedniček mezi 0

stejný způsob „rámování“ (HDLC framing) mohou používat i jiné protokoly



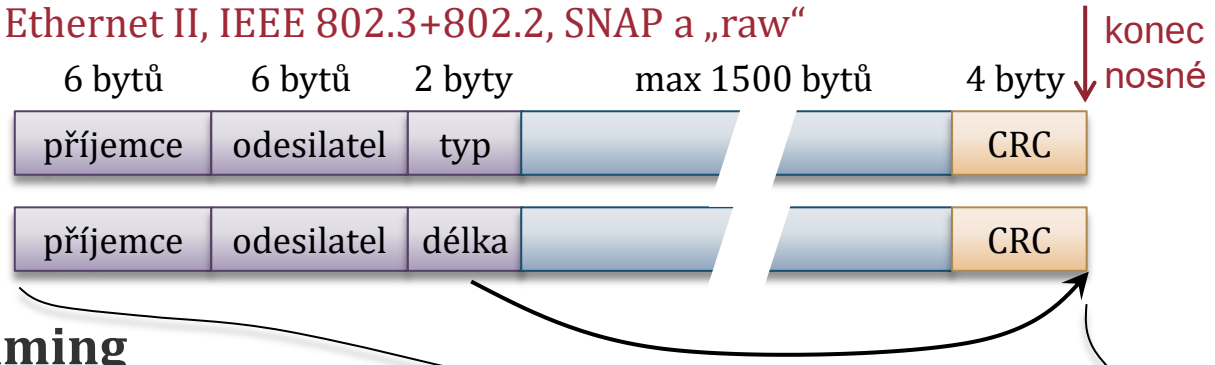
bytově orientované protokoly

- **určitý kompromis mezi bitově a znakově orientovanými protokoly**
  - používají křídlovou značku
    - stejně jako bitově orientované protokoly
    - tato značka ale musí mít velikost (jednoho, nebo několika) bytů
      - někdy této značce předchází více (stejných) bytů pro synchronizaci příjemce
  - pokud používají křídlovou značku i pro vyznačení konce rámce, používají byte stuffing
    - pro zajištění transparence dat vkládají do užitečných dat celé „escape“ byty
      - podobně jako znakově orientované linkové protokoly
        - nejde ale o znaky, nýbrž o byty (faktický rozdíl v tom ale není, jde pouze o rozdílnou interpretaci)
      - je to méně efektivní než u bitově orientovaných protokolů
    - případný výskyt „escape“ bytů v užitečných datech musí být ošetřen
      - zdvojením či prefixací jiným „escape“ znakem
- **příklady:**
  - Ethernet
    - standardní způsob „rámování“ používá křídlovou značku jen na začátku
      - proto nemusí řešit výskyt této značky v těle rámce (v užitečných datech)

  - protokol PPP (Point-to-Point Protocol z rodiny TCP/IP)
    - používá křídlovou značku na začátku i na konci rámce
      - musí řešit transparenci dat – pomocí techniky byte stuffing (vkládáním celých bytů)

příklad: Ethernet

- **Ethernet má vlastní formát linkových rámců**
  - dokonce 4 různé formáty: Ethernet II, IEEE 802.3+802.2, SNAP a „raw“
    - formát Ethernet II:
    - formát IEEE 802.3:

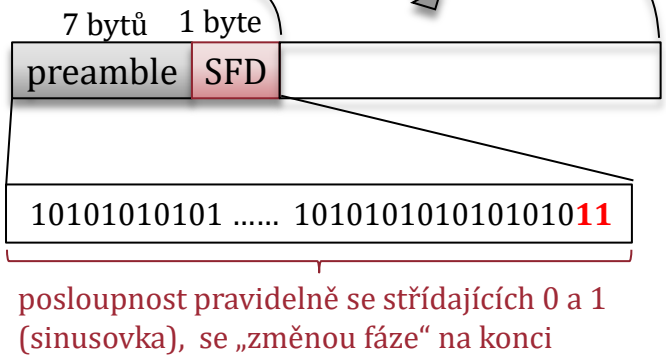


nepotřebuje bit stuffing

- **Ethernet má i vlastní framing**
  - pro synchronizaci používá tzv. preambuli
    - posloupnost 7 bytů s hodnotou 0x55 (10101010)
      - pro synchronizaci
  - a tzv. Start Frame Delimiter (SFD)

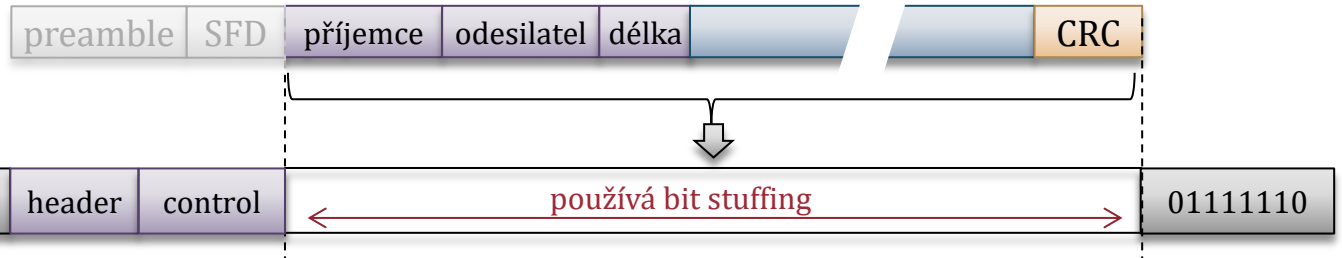
křídlová značka

    - 1 byte o hodnotě 0xD5 (přenášeno jako 10101011)
      - pořadí bitů: konvence Little Endian
      - pořadí bytů: konvence Big Endian



posloupnost pravidelně se střídajících 0 a 1 (sinusovka), se „změnou fáze“ na konci

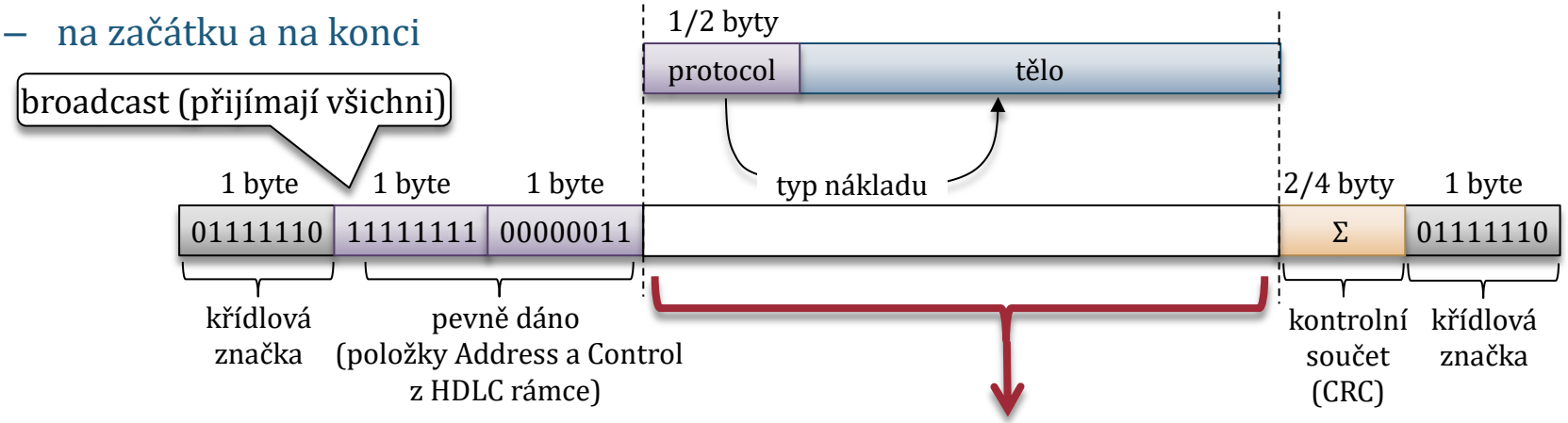
- **ale může používat (dříve používal) i jiný framing**
  - např. HDLC framing



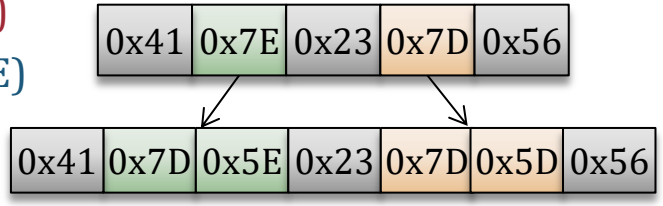
potřebuje bit stuffing

příklad: PPP (Point to Point Protocol)

- **jde o linkový protokol z rodiny TCP/IP, určený pro dvoubodové spoje**
  - lze do něj vkládat pakety různých síťových protokolů
    - v praxi: především IP pakety
- **je odvozen od protokolu HDLC**
  - standardně používá framing („rámování“), převzatý z protokolu HDLC
    - kvůli tomu je bytově orientovaným protokolem: používá křídlové značky v podobě 1 bytu
      - na začátku a na konci



  - pro zajištění transparence dat používá techniku byte stuffing
    - křídlová značka je 01111110 (6x1, 2x0), tj. 0x7E
    - případný výskyt křídlové značky v datech (tj. nikoli v řídícím významu) je prefixován bytem s hodnotou 0x7D (posloupností 01111101, resp. znak ESC)
      - původní křídlová značka je XOR-ována s 0x20 (na 0x5E)
    - případný výskyt znaku 0x7D (ESC) v datech je zdvojen
      - původní ESC znak je opět XOR-ován s 0x20 (na 0x5D)



zajištění spolehlivosti - přehled

- **připomenutí:**
  - zajištění spolehlivosti může být požadováno po různých vrstvách
    - příklad: v TCP/IP se řeší až na transportní vrstvě (protokol TCP)
    - v ISO/OSI je požadováno již po síťové vrstvě (a může být požadováno i po linkové vrstvě)
- **otázka:**
  - co všechno je nutné pro zajištění spolehlivosti datových přenosů?
    1. schopnost detekovat ztrátu celých bloků
       - řeší se skrze počítání bloků (rámců, paketů, zpráv, ….)
       - nebo skrze potvrzování pozice přenesených dat v bytovém proudu (protokol TCP)
    2. schopnost detekovat změnu (chybu) v bloku přenesených dat
       - řeší se pomocí mechanismů detekce chyb (parita, kontrolní součty, CRC)

nejsou nikdy 100% !!

    3. schopnost nápravy
       - ad 1: je nutno řešit **opakovaným přenosem** ztracených dat
         - předpokladem je možnost **potvrzování** (acknowledgement), umožňující vyžádat si opakování přenosu konkrétního bloku dat
       - ad 2: lze také řešit **opakovaným přenosem** celého bloku (poškozených) dat
         - nebo: pokusit se o **(samo)opravu** chybných (poškozených) dat

je k tomu nutná velká redundance (např. použití Hammingových kódů apod.)

- **v praxi:**
  - možnost samoopravy je nákladná a využívá se jen minimálně
    - jen tam, kde neexistuje zpětná vazba a možnost vyžádat si opakování přenosu

jak řešit detekci chyb?

- **chyby mohou být různé:**
  - pozměněná data
    - některé (jednotlivé) bity jsou změněny
  - shluky chyb
    - celé větší skupiny bitů/bytů jsou změněny
  - výpadky dat
    - celé bloky dat jsou ztraceny
- **mechanismů detekce je více**
  - parita
    - příčná parita, podélná parita
  - kontrolní součty
    - v rozsahu 8 bitů, 16 bitů, 32 bitů atd.
  - CRC polynomy
    - také v různém rozsahu
- **co má smysl detekovat?**
  - pokud se náprava řeší opakovaným přenosem celého bloku, je zbytečné zjišťovat:
    - kolik chyb je v daném bloku, jaké druhu jsou a kde přesně v rámci bloku k nim došlo
  - protože stejně se bude daný blok přenášet znovu
- **proto:**
  - stačí detekovat chyby s přesností na celé bloky (pakety, rámce, zprávy, ….)
    - ve smyslu: daný blok je bez chyb / daný blok je chybný

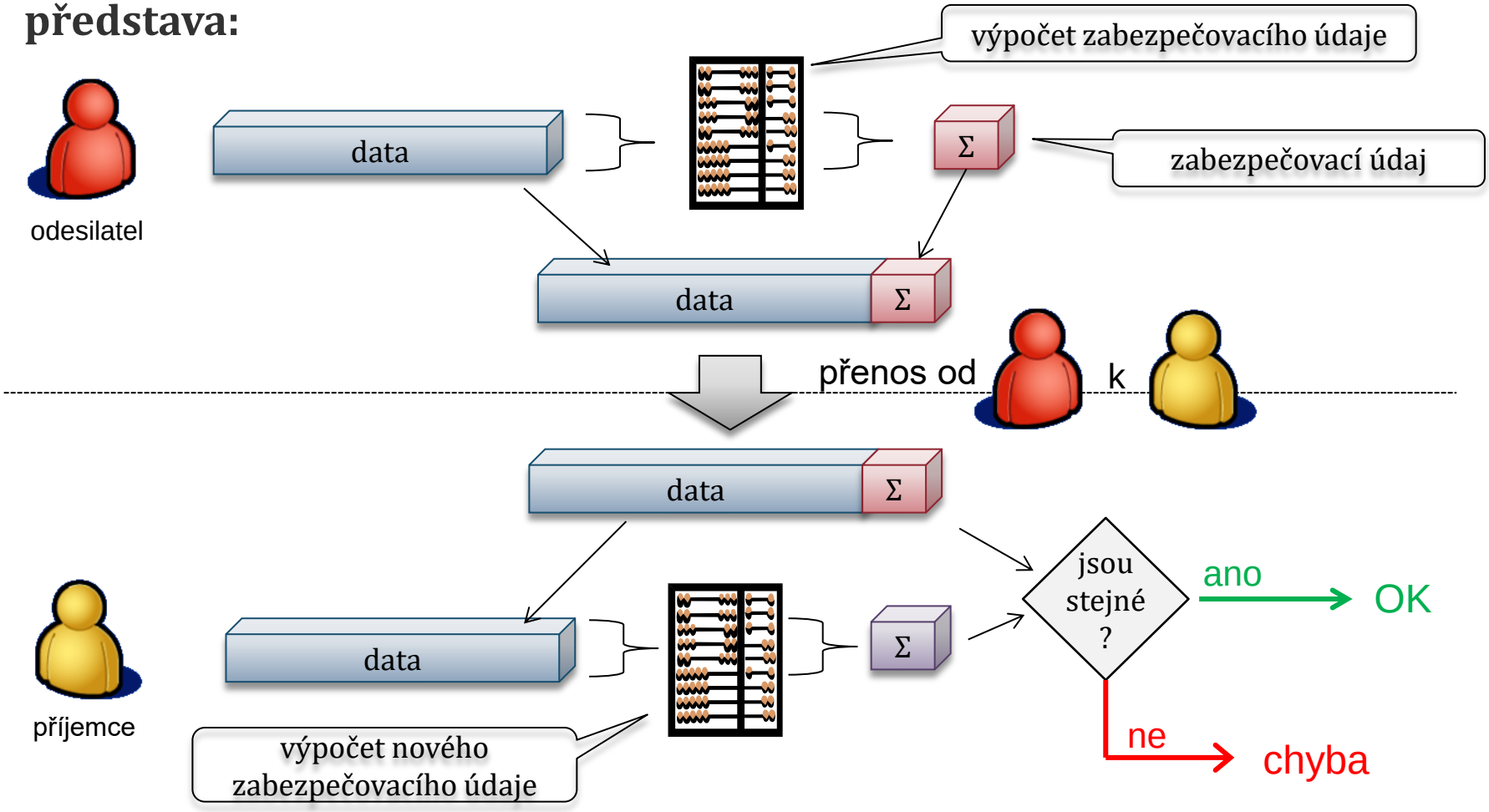
skrze potvrzování se odesilateli potvrdí úspěšný přenos bloku

skrze potvrzování se vyžádá jeho opakovaný přenos

v očekávání, že to již dopadne dobře

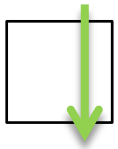
zabezpečení přenášených bloků

- **mechanismy zabezpečení (parita, kontr. součty, CRC) mají stejnou podstatu**
  - k přenášeným blokům dat přidávají „zabezpečovací údaj“
    - paritní bity, kontrolní součet, výsledek po dělení CRC polynomem
  - příjemce využije tento „zabezpečovací údaj“ k detekci, zda došlo k chybě
- **představa:**



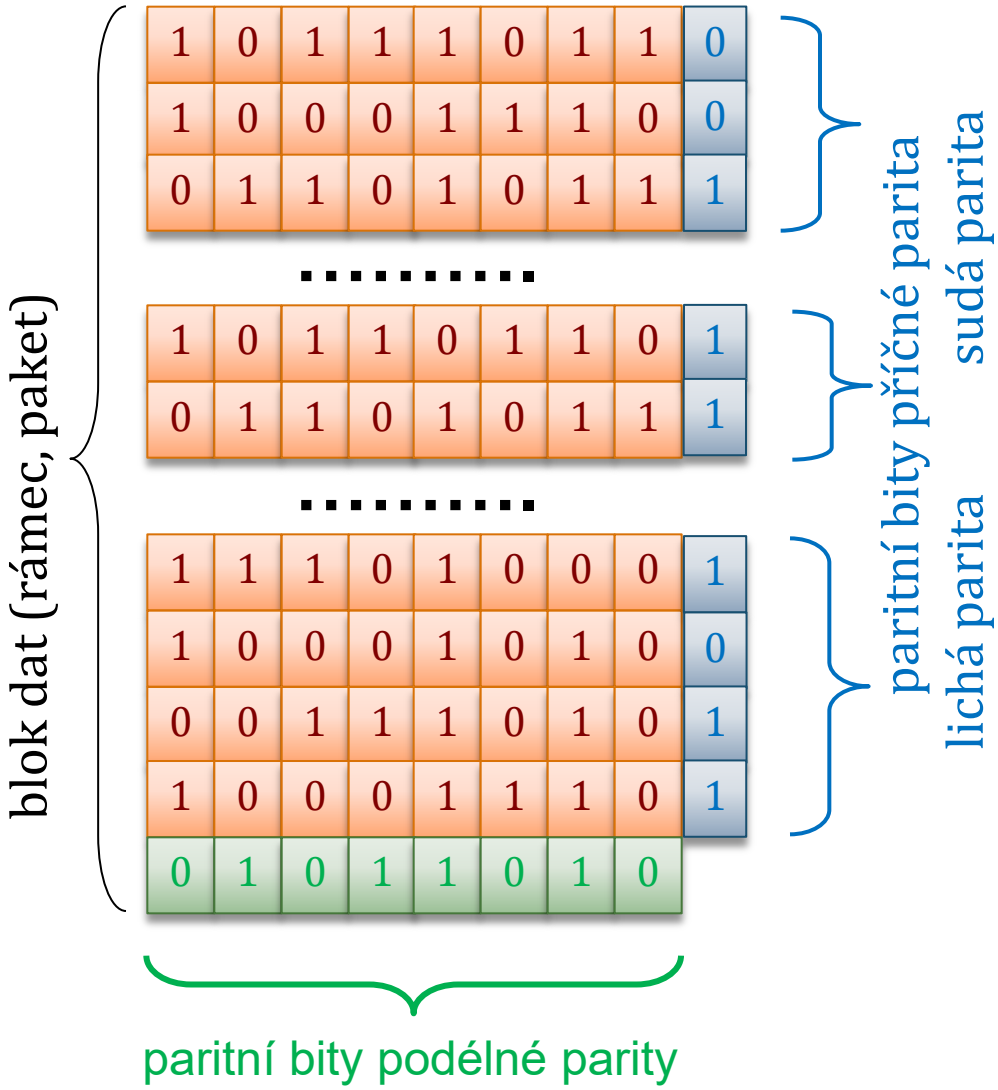
parita

- **parita (paritní bit)**
  - je bit přidaný navíc k datovým bitům
  - sudá parita:
    - paritní bit je nastaven tak, aby celkový počet 1 byl sudý
  - lichá parita:
    - ..... aby byl lichý
  - existuje také:
    - jedničková parita:
      - paritní bit je pevně nastaven na 1
        - nemá zabezpečující efekt
    - nulová parita
      - ... nastaven na 0



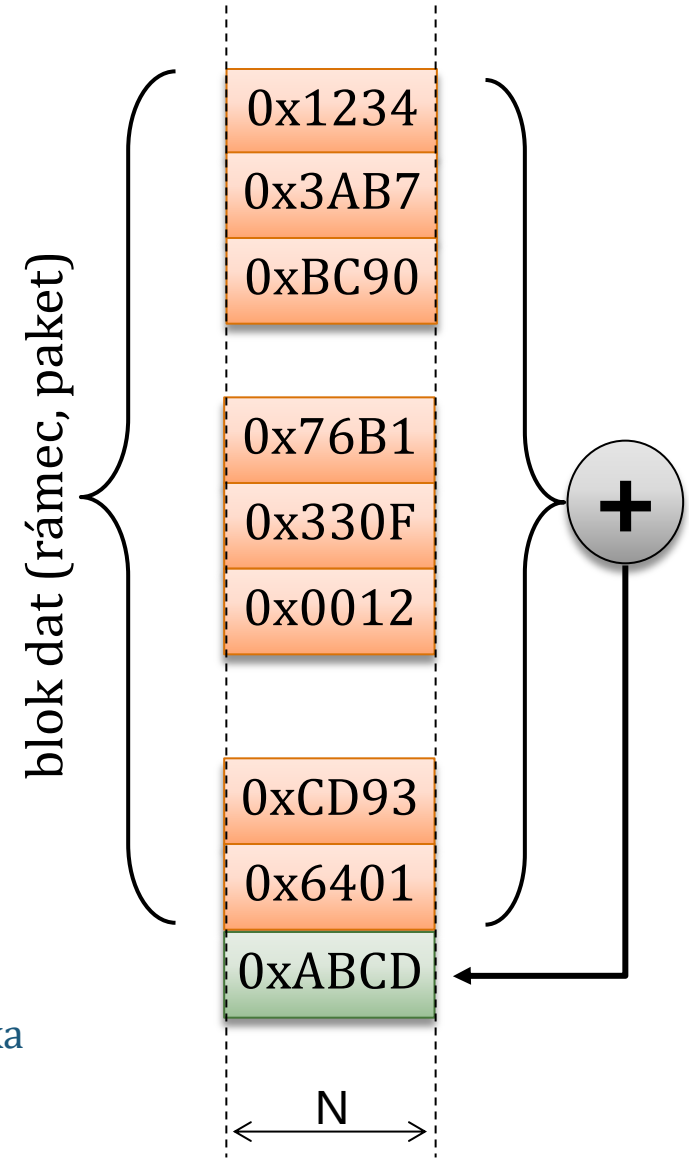
- **podélná parita:**
  - je počítána ze všech stejnolehlých bitů všech bytů/slov
- **příčná parita:**
  - je počítána po jednotlivých bytech/slovech

    - informace o tom, který byte (slovo) je poškozen, je ale nadbytečná
      - stejně se znovu posílá celý blok



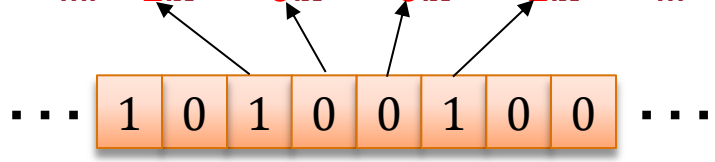
kontrolní součet

- **nevýhoda parity**
  - má malou „účinnost“ – odhalí jen „drobné“ chyby
    - například chyby v jednotlivých bitech
      - zatímco chyby ve dvou bitech se mohou vzájemně „vyrušit“
  - účinnější je kombinace příčné a podélné parity
- **kontrolní součet**
  - je „účinnější“ než parita
    - dokáže detekovat více chyb
      - ale také není zdaleka „dokonalý“ – řadu chyb nedetekuje
  - princip:
    - blok dat, určený k přenosu, se interpretuje jako posloupnost bytů/slov
    - jednotlivé byty/slova této posloupnosti se sečtou
      - alternativa: dělá se jejich XOR
    - výsledný součet se použije jako zabezpečovací údaj
      - přesněji: použije se zbytek modulo N, kde N je šířka bytu/slova



CRC – Cyclic Redundancy Check

- **posloupnost bitů, tvořící blok dat, je interpretována jako polynom**
  - přesněji: jednotlivé bity tvoří koeficienty polynomu nad tělesem charakteristiky 2
    - …. + **1**.x^{14} + **0**.x^{13} + **0**.x^{12} + **1**.x^{11} + …



  - takovýto polynom je vydělen jiným polynomem
    - tzv. charakteristickým polynomem
      - např. (CRC-16): $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
- **výsledkem je podíl a zbytek**
  - v roli zabezpečení se použije zbytek po dělení charakteristickým polynomem
    - chápaný již jako posloupnost bitů

- **schopnosti detekce jsou vynikající**
  - tímto způsobem je možné detekovat:
    - všechny shluky chyb s lichým počtem bitů
    - všechny shluky chyb do velikosti N bitů
      - kde N je stupeň charakteristického polynomu
    - všechny shluky chyb velikosti > N+1 s pravděpodobností 99.99999998%
      - pro CRC-32

musí být volen velmi pečlivě (složitě)

- **přitom**
  - složitost (implementace) výpočtu je minimální
    - lze snadno „zadrátovat“

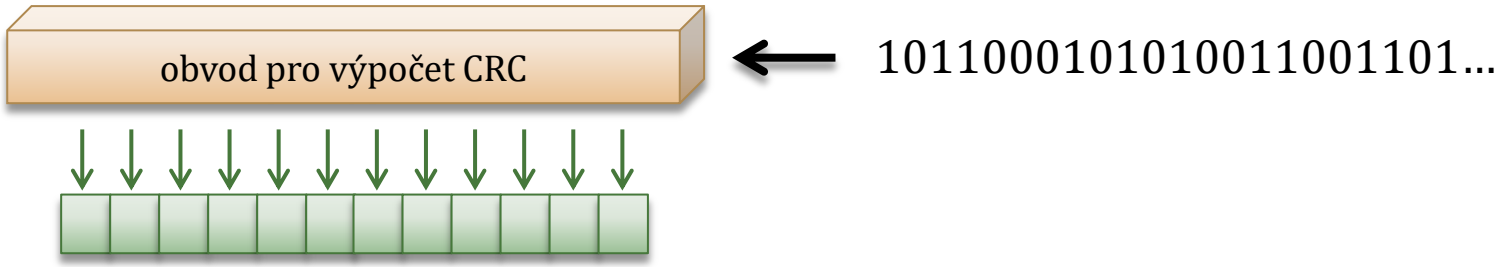
v rozsahu 8/16/32/64/… bitů

charakteristický polynom

zbytek po dělení je zabezpečovacím údajem

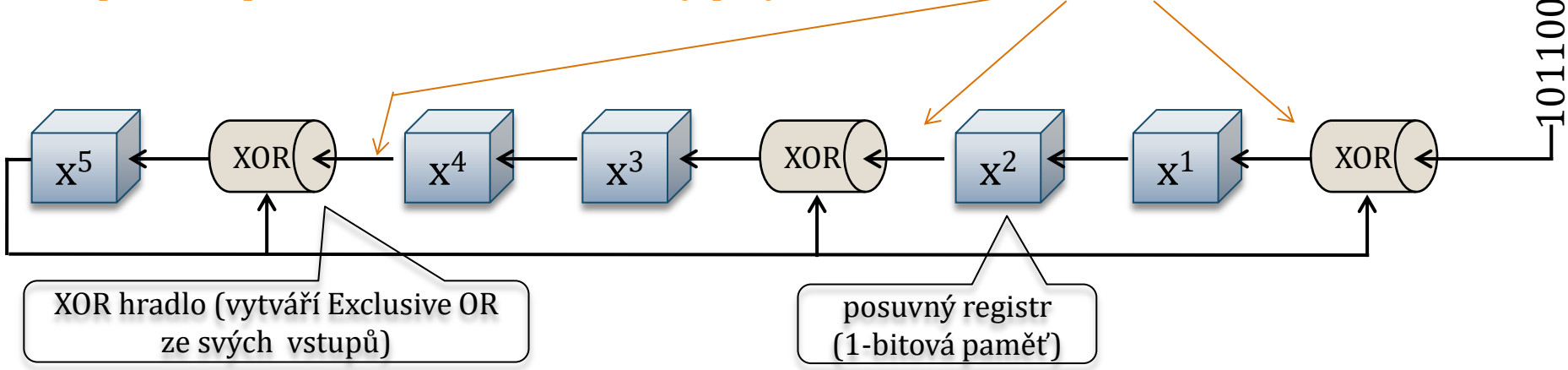
příklad: obvod pro výpočet CRC

- **spolehlivost CRC kódů se opírá o silné teoretické výsledky z algebry**
- **ale:**
  - samotný výpočet CRC-kódu (zbytku po dělení) je velmi jednoduchý
    - může být snadno implementován v HW, pomocí XOR-hradel a posuvných registrů
      - jde o jednoduchý „sériový“ obvod, který postupně přijímá jednotlivé bity



- na konci (postupného vkládání jednotlivých bitů) zůstane v obvodu (v jeho posuvných registrech) zbytek po dělení, který slouží jako zabezpečovací údaj

  - příklad: pro N=6 a charakteristický polynom $x^5 + x^4 + x^2 + 1$



potvrzovací strategie

- **snaha napravit chybu/ztrátu dat opakováním přenosu (retransmission)**
  - očekávání: podruhé k problémům již nedojde
    - což nemusí být splněno – k chybě či ztrátě může dojít znovu
- **podmínkou je:**
  - možnost, aby příjemce dal najevo odesilateli, že má data odeslat znovu (celý blok)
  - řeší se pomocí **potvrzování** (**acknowledgement**)
- **společně je vše označováno jako ARQ (Automatic Repeat reQuest)**
  - jde o potvrzovací strategii (či „potvrzovací schéma“)
    - fakticky jde o celý protokol pro zajištění spolehlivosti přenosu
- **existuje více různých potvrzovacích strategií (ARQ):**
  1. **jednotlivé potvrzování (Stop&Wait ARQ)**
     - využívá jednotlivé potvrzování a před odesláním dalšího bloku čeká na (kladné) potvrzení předchozího bloku
  2. **kontinuální potvrzování s návratem (Go-Back-N ARQ)**
     - využívá kontinuálního potvrzování a při opakování přenosu (retransmission) se vrací k místu, kde k chybě/ztrátě došlo
  3. **kontinuální potvrzování se selektivním opakováním (Selective Repeat ARQ)**
     - využívá kontinuálního potvrzování a při opakování přenosu se nevrací, ale znovu přenese jen poškozený/ztracený blok

jednotlivé potvrzování

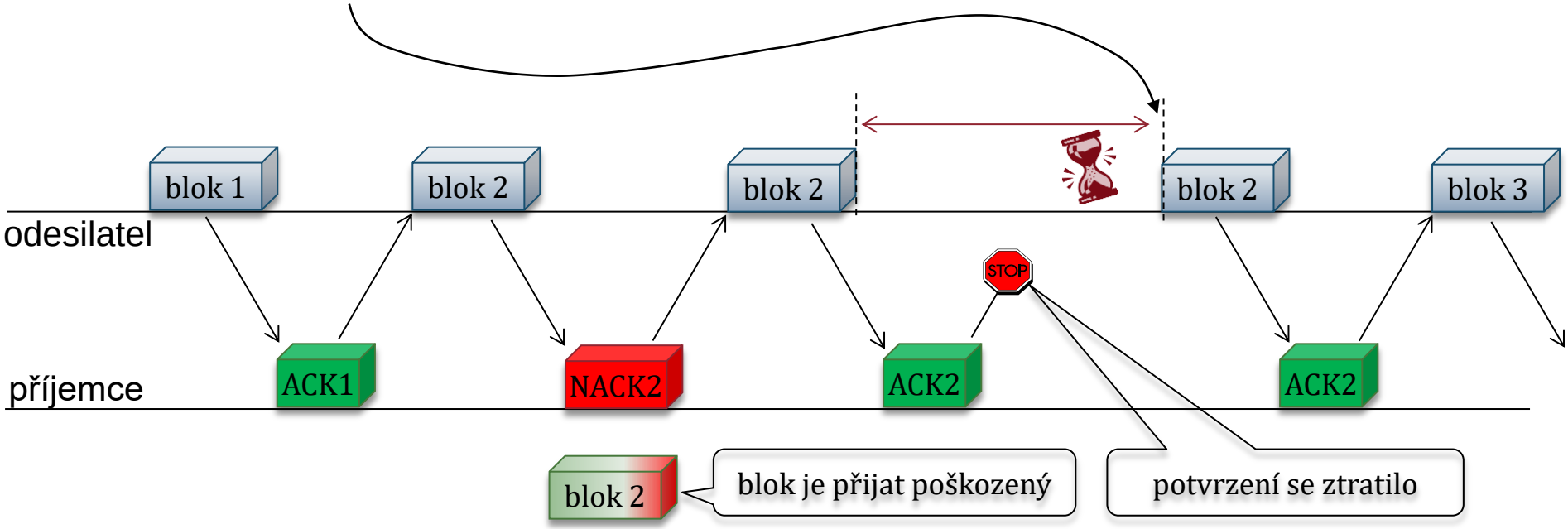
- **princip:**

Stop&Wait ARQ

1. každý blok je potvrzován jednotlivě
   - buď pomocí **kladného potvrzení** (ACK – blok byl přijat bez detekované chyby), nebo
   - pomocí **záporného potvrzení** (Negative ACK, NACK – blok byl přijat s chybou)
     - a je nutné opakovat přenos

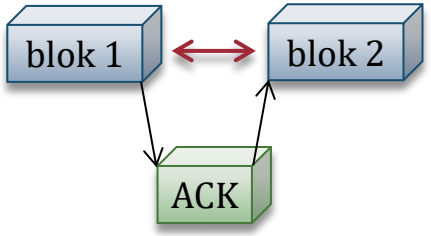
ACK NACK

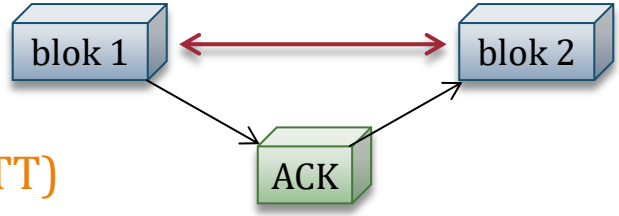
2. po odeslání každého bloku se odesilatel zastaví (STOP) a čeká (WAIT) na potvrzení
   - další blok odešle až po přijetí kladného potvrzení (ACK)
   - v případě přijetí záporného potvrzení (NACK) znovu odešle původní blok
     - to samé v případě, že do doby T (časového limitu / timeout-u) nedostane žádné potvrzení
       - vypršení časového limitu interpretuje jako ztrátu či poškození naposledy uskutečněného přenosu

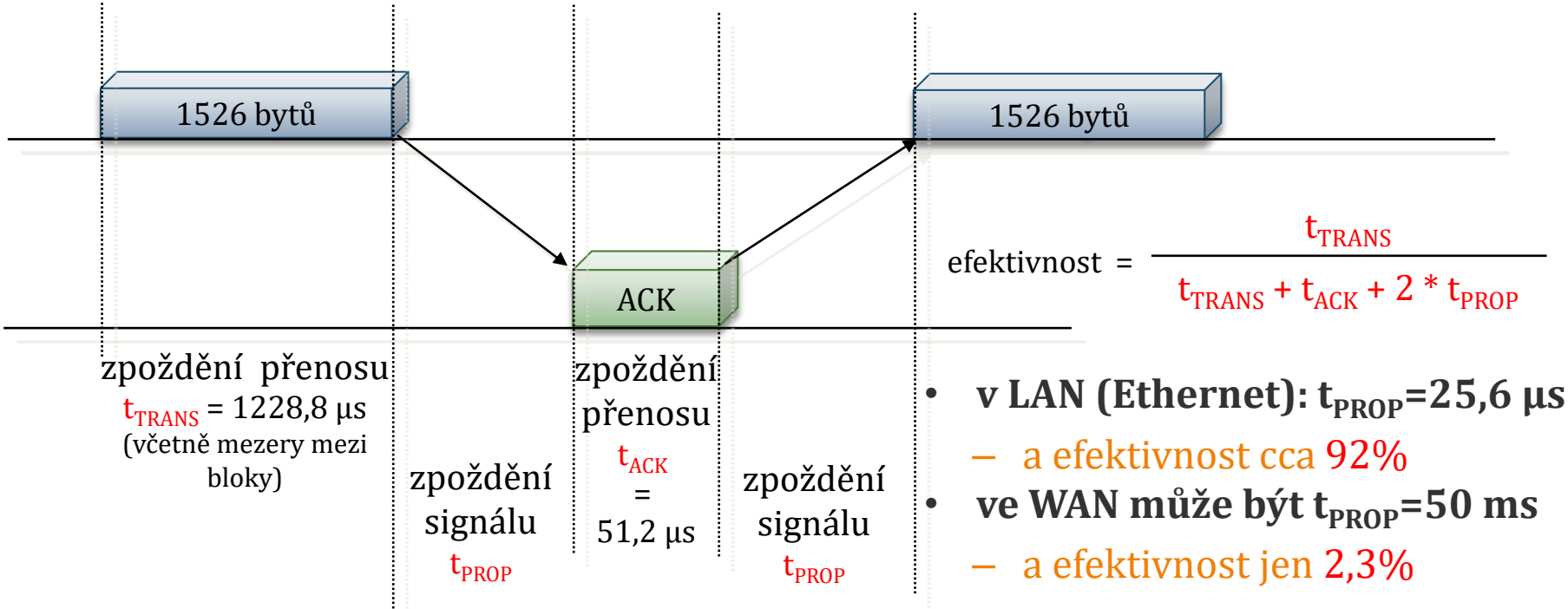


vlastnosti jednotlivého potvrzování

- **jednoduchá a „přímočará“ strategie**
  - snadno se implementuje
    - byla použita např. v protokolech IPX/SPX společnosti Novell
  - jejím důsledkem je polo-duplexní charakter komunikace
    - nikdy se nepřenáší oběma směry současně
- **nevýhody:**
  - je neefektivní v sítích s větší latencí/dobou obrátky (RTT)
  - příklad: 10 Mbit/s Ethernet





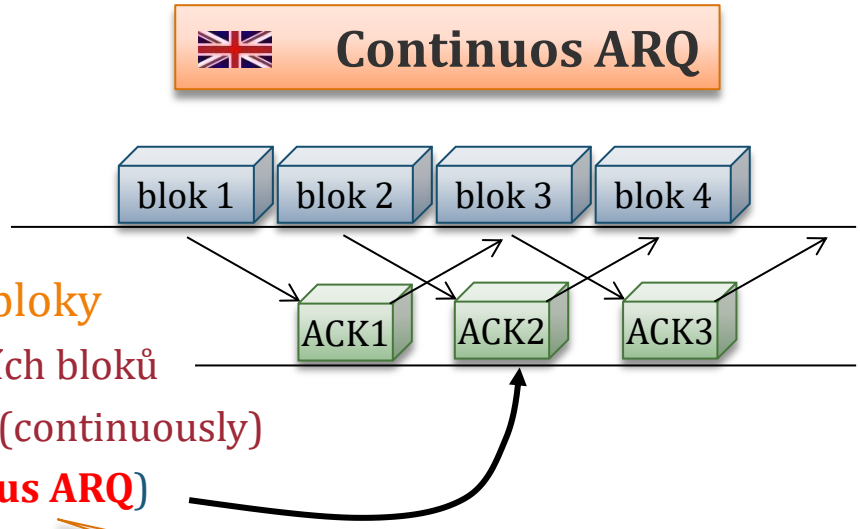


$$\text{efektivnost} = \frac{t_{TRANS}}{t_{TRANS} + t_{ACK} + 2 * t_{PROP}}$$

- **v LAN (Ethernet): t_{PROP}=25,6 µs**
  - a efektivnost cca 92%
- **ve WAN může být t_{PROP}=50 ms**
  - a efektivnost jen 2,3%

kontinuální potvrzování

- **problém jednotlivého potvrzování:**
  - hodí se jen do lokálních sítí
    - nikoli do sítí rozlehlých
- **alternativa pro rozlehlé sítě**
  - nečekat na potvrzení, ale ihned posílat další bloky
    - tedy: ještě dříve, než přijde potvrzení předchozích bloků
    - vlastně: bloky se posílají souvisle, kontinuálně (continuously)
      - proto: **kontinuální potvrzování** (**Continuous ARQ**)
  - potvrzení přichází „až později“ (zpětně) .....
- **praktické aspekty:**
  - co dělat, když nějaké potvrzení nepřijde vůbec (nebo je negativní)?
    - mezitím již mohlo být odesláno více dalších bloků .....
  - možná řešení:
    - **kontinuální potvrzování s návratem** (Go-Back-N ARQ)
      - odesílání se „vrací zpět“ do místa, kde došlo k poškození/ztrátě, dále se pokračuje (znovu) od tohoto místa
        - tj. některé již odeslané bloky se odesílají znovu
    - **selektivní opakování** (Selective Repeat ARQ)
      - odešle se pouze („selektivně“) ten blok, který byl poškozen či ztracen, pak se pokračuje, jako kdyby k žádné chybě nedošlo



TCP používá standardně

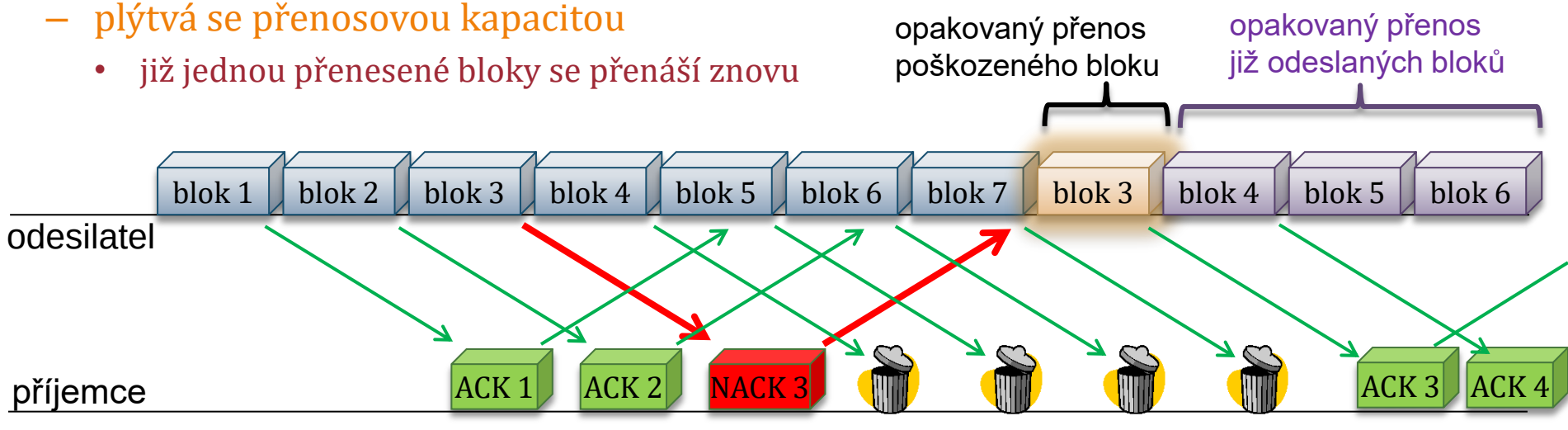
TCP „umí“ volitelně

kontinuální potvrzování s návratem

- **princip:**
  - poškozený/ztracený blok se přenese znovu
  - a po něm se postupně přenáší následující bloky
    - které již mohly být odeslány (a třeba i úspěšně doručeny)
- **výhody:**
  - je to jednodušší na implementaci
  - pro příjemce je to jednodušší
    - když přijme poškozený blok (nebo mu některý blok „vypadne“ kvůli ztrátě), nemusí ukládat další bloky do bufferů a pouze čeká na opakované zaslání poškozeného/ztraceného bloku
      - protože další bloky „dostane“ znovu
- **nevýhoda:**
  - plýtvá se přenosovou kapacitou
    - již jednou přenesené bloky se přenáší znovu

Go-Back-N ARQ
přenos se „**vrací zpět**“
k poškozenému/ztracenému bloku

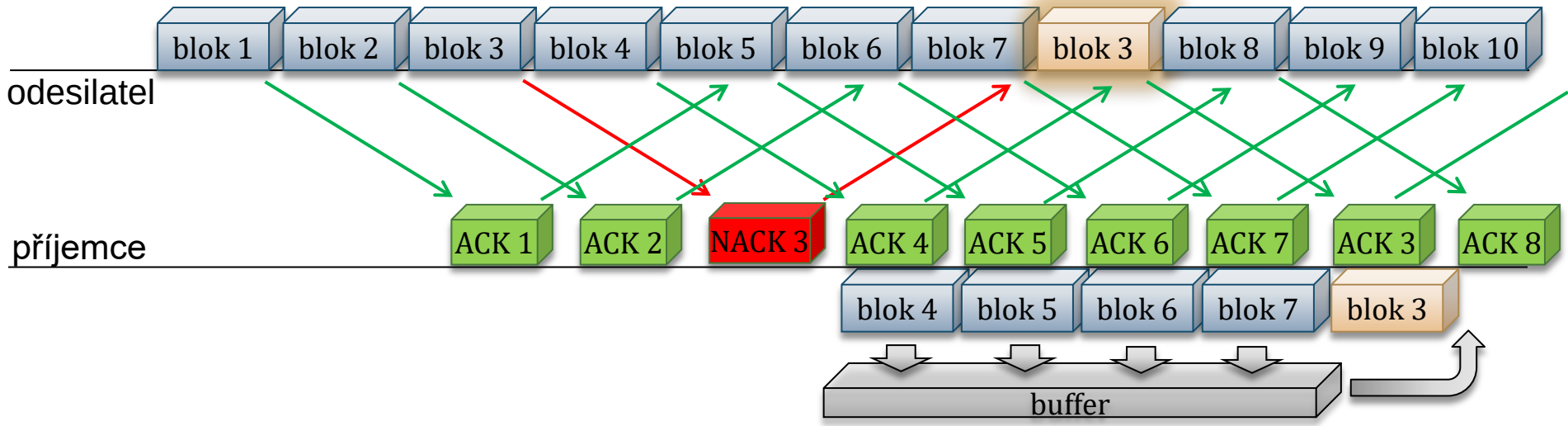
přenáší se znovu ....



selektivní opakování

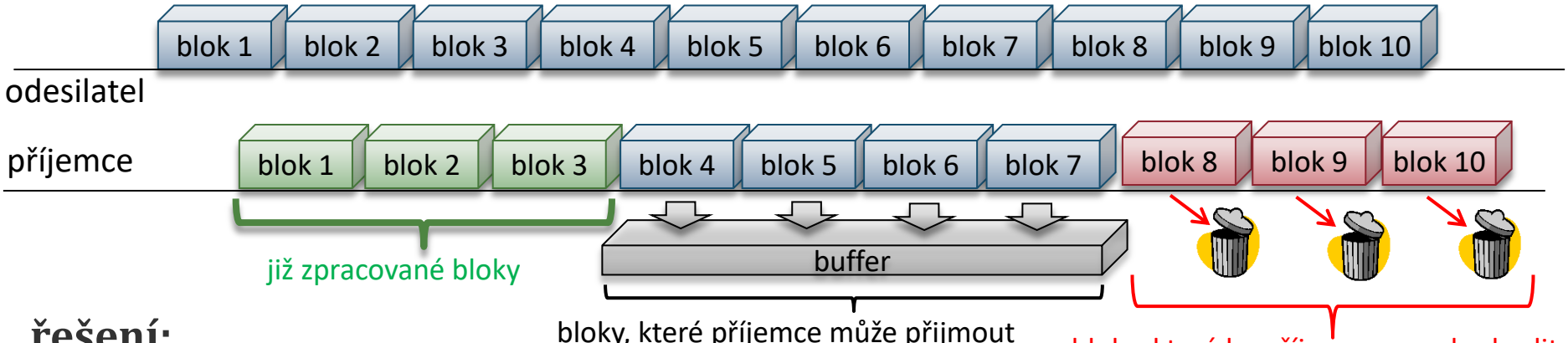
Selective Repeat ARQ
opakuje se (selektivně) pouze přenos poškozeného/ztraceného bloku

- **princip:**
  - poškozený/ztracený blok se přenese znovu
  - dále se pokračuje, jako kdyby k žádné chybě/ztrátě nedošlo
    - jsou přenášeny ty bloky, které ještě nebyly přeneseny
- **výhody:**
  - neplýtvá se přenosovou kapacitou (jednotlivé bloky dat se nepřenáší zbytečně)
- **nevýhoda:**
  - pro příjemce je to náročnější
    - bloky, přenášené po poškozeném/ztraceném bloku, musí ukládat „do zásoby“ (do bufferů), ale ještě je nemůže zpracovávat
      - se zpracováním musí čekat na opakovaný přenos poškozeného/ztraceného bloku

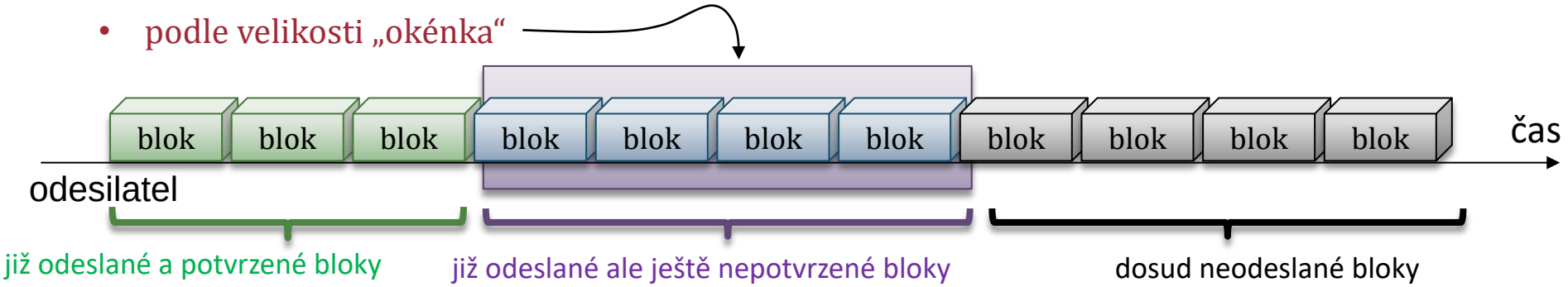


metoda (posuvného) okénka

- **kontinuální potvrzování umožňuje:**
  - odesílat bloky dat maximálním možným tempem
    - dopředu, ještě než přijde jejich potvrzení
- **to nemusí být dobře!!**
  - příjemce nemusí mít dostatečnou kapacitu na zpracování přijatých bloků
    - a může být nucen je zahazovat !!



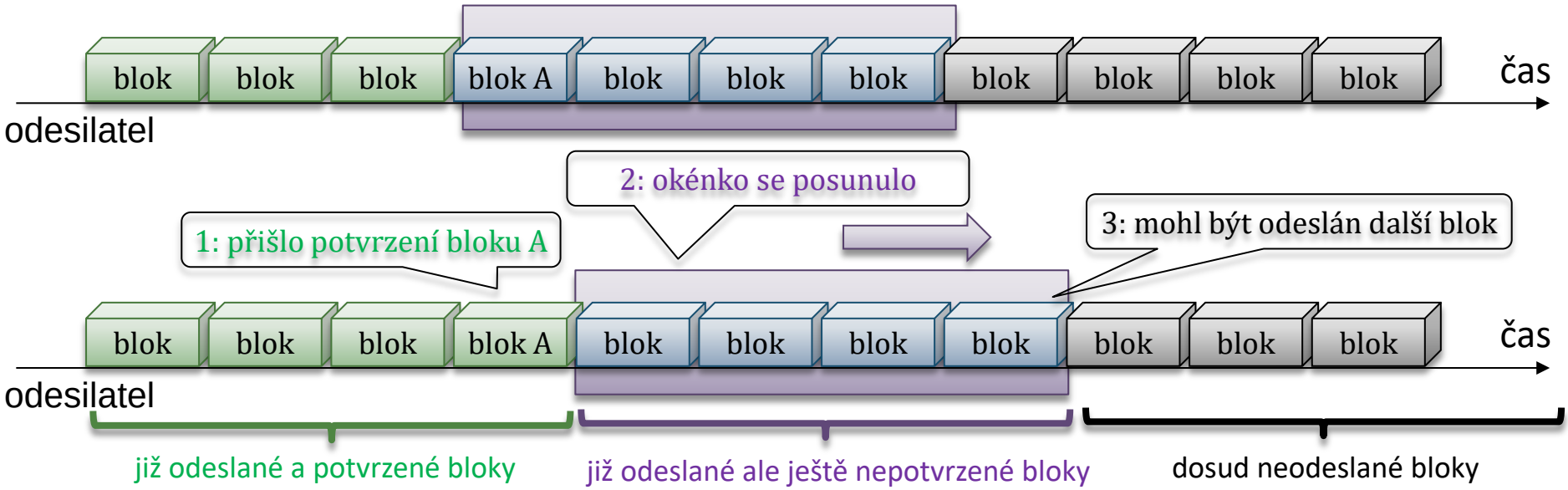
- **řešení:**
  - odeslat „dopředu“ (bez potvrzení) jen tolik bloků, kolik příjemce dokáže přijmout
    - podle velikosti „okénka“



metoda (posuvného) okénka

sliding window

- **proč „posuvné“?**
  - protože s příchodem (kladného) potvrzení se okénko posouvá



- **otázka:**
  - jak volit (optimální) velikost okénka?
- **odpověď:**
  - velikost okénka může stanovovat odesilatel
    - např. podle toho, jak a kdy mu přichází jednotlivá potvrzení
  - velikost okénka může stanovovat i příjemce
    - podle svých možností

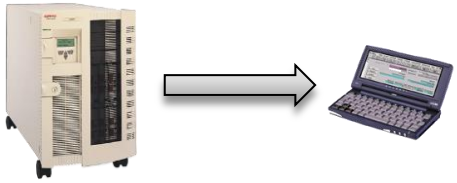
výsledná velikost je minimem z obou hodnot

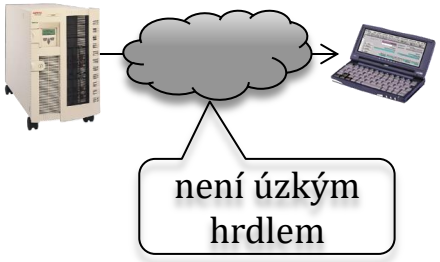
řeší to problém řízení toku

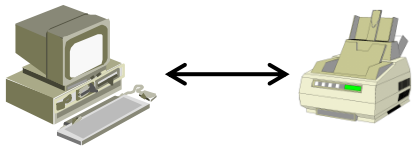
řízení toku

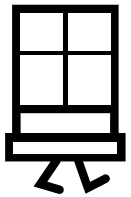
flow control

- **jde o řešení obecného problému:**
  - **jak nezahltit příjemce?**
- **podstata problému:**
  - odesilatel může být mnohem "výkonnější" než příjemce
    - příjemce nemusí „stíhat" tempo, které odesilatel dokáže vyvinout
  - předpokládá se, že propojení (síť) mezi odesilatelem a příjemcem má dostatečnou kapacitu a problém neovlivňuje
    - síť není úzkým hrdlem v komunikaci mezi odesilatelem a příjemcem
- **princip řešení:**
  - odesilatel se při odesílání řídí kapacitními možnostmi příjemce
- **možnosti praktického řešení:**
  - řízení toku může být implementováno na různých vrstvách
    - fyzická/linková:
      - příjemce dává najevo odesilateli, zda má či nemá odesílat
        - pomocí signálů: RTS/CTS, nebo pomocí řídících znaků: XON/XOFF
    - vyšší vrstvy a metoda okénka:
      - příjemce (spolu)určuje maximální velikost posuvného okénka
        - v rámci potvrzení „inzeruje" novou velikost okénka – tím říká, kolik dalších dat je schopen přijmout
          - takto to funguje v protokolu TCP na transportní vrstvě







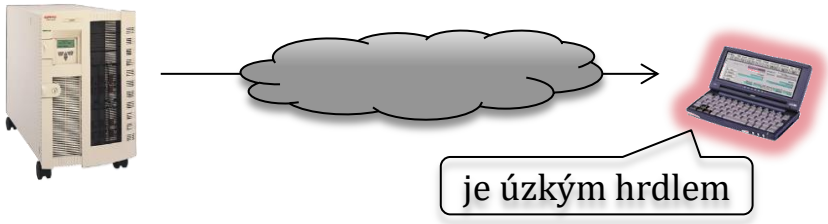


předcházení zahlcení

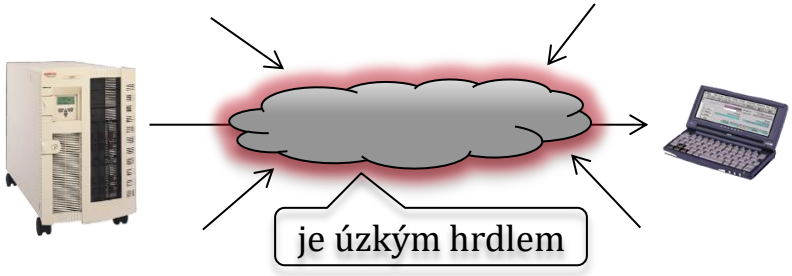
- **jde o řešení jiného problému, než u řízení toku**

congestion control

  - řízení toku:
    - problémem je disproporce mezi kapacitními možnostmi odesilatele a příjemce
    - jejich propojení (síť) do problému nevstupuje – má dostatečnou kapacitu



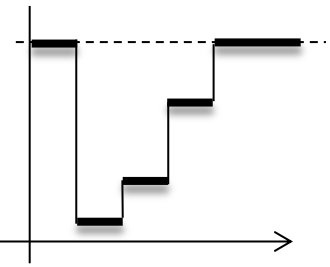
  - předcházení zahlcení:
    - problémem je kapacita propojení (sítě) mezi odesilatelem a příjemcem
      - může být nedostatečná a může dojít k zahlcení této sítě
      - tato síť může být zatěžována také dalšími přenosy, které probíhají souběžně !!!!
    - kapacitní možnosti odesilatele a příjemce jsou dostatečné (problém neovlivňují)



- **řešení (jak předcházet zahlcení):**
  - dopředné techniky
    - snaží se ovlivňovat to, co se posílá do sítě
      - neposílat do sítě takové datové toky, které by způsobily zahlcení
        - konkrétně: techniky „upravování provozu“ (traffic conditioning)
  - zpětnovazební techniky
    - snaží se zpětně reagovat na příznaky zahlcení (či explicitní zprávy/hlášení o zahlcení)
      - omezují další vysílání

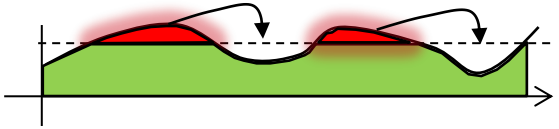
techniky předcházení zahlcení

- **zpětnovazební techniky**
  - potřebují se nějak dozvědět, že došlo k zahlcení přenosové sítě
    - potřebují nějakou formu zpětné vazby
  - možnosti:
    - odesilatel dostane explicitní informaci
      - v TCP/IP: ICMP zpráva Source Quench
        - jednostranný „výkřik“ od směrovače, že se blíží/již nastalo jeho zahlcení
          - moc se nepoužívá
    - dedukce: odesilatel si nějak domyslí, že došlo k zahlcení sítě
      - protokol TCP: když nedostane včas potvrzení, interpretuje to jako zahlcení
        - které způsobil právě on !!!!
        - reaguje přechodem na režim „slow start“
          - přejde na jednotlivé potvrzování a pouze postupně zvětšuje své okénko
            - tj. nejprve odešle jeden blok, pak čeká na potvrzení, pak odešle dva bloky a čeká na jejich potvrzení, pak čtyři bloky atd.



- **dopředné techniky**
  - nepotřebují žádnou zpětnou vazbu
  - snaží se upravovat ten provoz, který teprve vstupuje do přenosové sítě
    - v očekávání, že k zahlcení nedojde
    - obecně: tzv. **traffic conditioning**
  - pracují s určitým předpokladem o tom, co síť ještě „unese“
    - aniž by došlo k jejímu zahlcení
      - jakoby: zná „laťku“

  - možnosti:
    - **traffic shaping**
      - provoz, který je „nad laťku“, se snaží pozdržet a přenést později



    - **traffic policing**
      - provoz, který je „nad laťku“, ihned zahazuje