

Úloha V.P ... napjatý strom

10 bodů; průměr 6,22; řešilo 51 studentů

Popište co nejdíc přírodních vlivů, které způsobí vyvrácení/silné poškození osamocené stromu na louce. Jeden z nich zkuste co nejlépe kvalitativně rozebrat. Jaký je rozdíl mezi listnatým stromem a jehličnanem?

Bonus Některý z vlivů rozeberte i kvantitativně.

Danka sledovala, jak se stromy ohýbají ve větru.

Nejprve si popíšeme stavbu listnatého stromu a vysvětlíme, jak na něj působí základní přírodní vlivy. Na konci textu pak porovnáme vlastnosti listnatých a jehličnatých stromů.

První třetina výšky listnatého stromu nad zemí je tvořena kmenem, který se dále větví. Stromy rostoucí na loukách mají dostatek prostoru, světla a živin, jelikož jim nekonkurují ostatní stromy, a tudíž je jejich koruna poměrně mohutná a hustě rozvětvená.

V podzemní části pak můžeme pozorovat kořenový systém. Jeho stavba se mezidruhově podstatně liší a rozdělujeme několik typů kořenového systému. Pro naše úvahy však stačí rozdělení na mělkokořenné a hlubokokořenné druhy. Na loukách můžeme předpokládat měkké podloží, nemělo by tedy docházet k zploštění kořenového systému v důsledku překážek jako je skála a podobně. Naopak, čím méně výživná půda je, tím více je kořenový systém mohutnější (strom musí obsáhnout větší objem půdy, aby získal potřebné živiny). Podoba kořenového systému, a tedy i fyzikální model stromu na louce se může velmi lišit v závislosti na druhu stromu či konkrétním stanovišti.

Osamocené strom uprostřed louky je vystaven řadě přírodních jevů, které jej mohou poškodit. Nyní si alespoň část z nich vyjmenujeme a stručně popíšeme. Budeme se věnovat popisu viditelných větších poškození, tedy vynecháme vlivy jako sucho a nedostatek živin způsobující uhynutí stromu.

Silný vítr

Listnatý strom má díky své mohutné koruně vysoko položené těžiště, navíc - především u olistěného stromu - představuje koruna velkou plochu. V případě silného větru je tak na vrchol stromu vyvíjena velká síla (při bouřce jsou stromy mnohdy velmi viditelně nahnuté ve směru větru). Tu můžeme popsát Newtonovým odporovým vzorcem

$$F = \frac{1}{2} C \rho S v^2, \quad (1)$$

kde S je průřez větve kolmý na směr proudění vzduchu, ρ je hustota vzduchu a v velikost jeho rychlosti. C je pak experimentálně určený koeficient odporu větve.

Pomocí principu páky sčítáme jednotlivé příspěvky momentů sil působení větru na větvev. To lze vyjádřit pomocí integrálu

$$M = \int_0^l \frac{1}{2} C \rho R(x) v^2(x) x dx.$$

Moment síly působení větru na větvev délky l zde počítáme klasicky jako součin síly v bodě x a vzdálenosti tohoto bodu od počátku soustavy souřadnic (tedy x), kam jsme si umístili působíště daného momentu sil. Plochu průřezu větve ve směru větru z rovnice (1) jsme zde aproximovali obdélníkem se stranou délky $R(x)$, což může být poloměr větve v daném místě a druhou stranu jsme zvolili infinitezimálně malou, tedy dx .

Síla je takto přenášena po větvích přes kmen až do kořenového systému, kde dojde k disipaci takto získané energie, tedy k její přeměně na teplo.

Moment síly působícího větru je vyrovnán momentem tlakových sil uvnitř větve. Napětí závisí na modulu pružnosti v ohybu, který je specifický pro každý materiál, působící síle a také na tvaru průřezu větve.

$$M = \left| \int_S \sigma y dS \right|,$$

kde y je vzdálenost elementu plochy od středu průřezu.

Napětí lze pak vyjádřit jako

$$\sigma = \frac{M}{W_0}.$$

W_0 je průřezový modul v ohybu, který lze nalézt v technických tabulkách. Pro kruhový průřez si jej lze představit jako podíl níže uvedeného kvadratického momentu průřezu (viz rovnici (2)) a poloměru tohoto kruhu.

Pro představu přikládáme ukazující závislost momentu působících sil a poloměru ohybu větve R

$$M = \frac{E}{R} I_a,$$

kde E je modul pružnosti v ohybu ($\sim 10\,000$ MPa)¹ a R poloměr ohybu. I_a je kvadratický moment průřezu popisující jak daleko od středu větve (y) se nachází element plochy průřezu.

$$I_a = \int_S y^2 dS. \quad (2)$$

Vidíme tedy, že čím větší je působící moment sil, tím menší je poloměr R a tím více se ohne větev (nekonečný poloměr odpovídá rovné větvi), což je intuitivní výsledek². Při působení síly se větev ohne tak, aby se vyrovnaly momenty. Je však třeba počítat s tím, že ohnutá větev má menší efektivní průřez, na který působí vítr a tudíž se změní i Newtonova odporová síla.

V případě, že v určité části stromu toto napětí překročí mez pružnosti (~ 100 MPa), dojde k odlomení některé z jeho částí. Ulomení větve je pravděpodobnější než vyvrácení celého stromu, jelikož je k tomu třeba menší síla. Navíc koruna, stejně jako vítr, není homogenní, některé části jsou tedy namáhány více než jiné. Starší suché větve jsou ke zlomení více náchylné, jelikož již nemají takovou pružnost. U mladých tenkých větví nacházíme větší podíl lýkové části než u větví starších. Z tohoto důvodu vykazují mladé větve větší elasticitu.

Listnaté stromy mají poměrně silný kmen (až na některé druhy jako je bříza), a tedy jejich zlomení je méně pravděpodobné.

V některých případech, kdy je narušen kořenový systém nebo je podloží velmi nestabilní, může dojít i k vyvrácení stromu.

¹<https://www.drevenekonstrukce.cz/co-je-to-vaznik-krov-a-jak-drevene-vazniky-vybirat>

²podrobnější popis ohybu můžete najít například zde:

https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/www/fyzika.html

To, k jakému případu dojde, opět velmi závisí na daných podmínkách. Jak je vidět, celý problém je velmi složitý už jen při popisu fyzikálního modelu. Pro získání konkrétních čísel je třeba přistoupit k numerickému řešení a metodám matematického modelování.³

Blesk

Při bouři také může docházet k přírodním elektrickým výbojům - bleskům. Blesk vždy uhoří do místa v jeho okolí, které má nejvyšší elektrický náboj. K takovýmto místům patří špičky budov, popřípadě stromů. V případě bouře nad loukou s jedním osamoceným stromem pak blesk uhoří s nejvyšší pravděpodobností právě do tohoto stromu. Tělem stromu pak výboj putuje až do země cestou, která má nejmenší elektrický odpor - tedy je i nejkratší. Přitom dochází především k velkému přenosu tepelné energie. V závislosti na velikosti blesku, tedy množství energie, které stromu předá, pak může dojít k poškození kůry (blesk zanechá viditelné stopy), rozštěpení či dokonce k zažehnutí stromu. K podobnému poškození může dojít i v případě přenosu ohně na strom jiným způsobem. Stromy lze před blesky chránit, podobně jako domy, správným uzemněním.

Náchylnost stromu k zasažení bleskem závisí na výšce samotného stromu a jeho vodivosti. Velmi vysokou náchylnost má například akát, naopak poměrně nízkou náchylností disponují buky.⁴

Sesuv půdy

V oblastech se silnou důlní aktivitou, případně po zemětřesení může docházet k sesuvům půdy. Mnohdy dojde k odtržení velké části svahu a spolu se zeminou jsou strženy i stromy. Může tak dojít k částečnému poškození jejich kořenového systému, či dokonce k úplnému vyvrácení. Tento jev lze častěji pozorovat v odlesněných oblastech, kde půda není zpevněna kořenovými systémy stromů (náchylnější jsou tedy opět osamocené stromy s plochým kořenovým systémem).

Zvířata, houby a jiné parazitní organismy

Všechny výše uvedené jevy mají horší následky pro slabé a dříve poškozené stromy. K tomuto poškození pak silně přispívají různé parazitní houby či drobní živočichové jako kůrovec, které narušují homogenitu dřeva. Dále mohou být menší stromky poškozeny větší zvěří, která okusuje lístky a menší větvičky či stromy cíleně kácí pro stavbu obydlí (bobr). Přirozeně může k poškození dojít také (a to především) lidskou činností.

Existuje samozřejmě mnoho dalších vlivů, které mohou stromy poškodit. Ty však již nejsou tak běžné a nebudeme se jim dále věnovat.

Strom, který roste osamocený, je na rozdíl od stromů žijících v těsné blízkosti ostatních stromů lépe stavěný, a tudíž jako jedinec více odolný. Stromy v lese jsou ale více chráněny okolními stromy. Pravděpodobnost poškození větrem je tak výrazně menší. Snáze se zde však šíří různí parazitní živočichové, a to zejména z důvodu jednodruhové skladby lesa (paraziti jsou většinou potravní specialisté).

Jehličnaté stromy rostoucí na volném prostranství mají větve již velmi blízko u země, na rozdíl od listnatých stromů (což neplatí například u borovice lesní). Zároveň však mají v průměru

³Podobný postup výpočtu a také ukázky z modelování dané situace můžete najít v dokumentu, který vznikl při vyšetřování pádu vánočního stromu na Staroměstském náměstí v Praze v roce 2003: https://akela.mendelu.cz/~xcep1/inobio/inovace/Biomechanika_stromu/2_vanocni_strom.pdf

⁴<https://szkt.cz/wp-content/uploads/2020/01/blesky1.pdf>

mělcí kořenový systém než stromy listnaté. Proto dochází u jehličnanů k vývratům častěji. Většina jehličnatých stromů má také v průměru slabší kmen a můžeme tedy pozorovat i častější polomy.

Kateřina Charvátová
katerina.charvatova@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků. Realizace projektu byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.