

Návrh ploché střechy z hlediska transportu vlhkosti

Ing. Petr Slanina¹

1. Úvod

Článek se zabývá návrhem střešního pláště plochých střech z pohledu transportu vlhkosti. Úvodní část článku je zaměřena na objasnění některých pojmů, které se týkají šíření vlhkosti ve střešních konstrukcích. Další kapitoly se věnují obecnému návrhu střešního pláště plochých střech a jsou zaměřeny především na návrh jednoplášťové ploché střechy s klasickým pořadím vrstev, její stabilizaci a na umístění jednotlivých vrstev z pohledu transportu vlhkosti ve střešním plášti. Závěry tohoto článku vycházejí z tříletého výzkumu měření difúzních vlastností materiálů, který je prováděn na Fakultě stavební, ČVUT v Praze.

2. Terminologie

V technických normách se setkáváme s výrazy, které jsou nepřesné nebo jsou doposud nedostatečně vymezené. V následujícím odstavci se zaměřím na technické výrazy, které souvisí především s transportem vodních par v obalových konstrukcích. Jsou jimi:

Parotěsnicí vrstva – je vrstva stavební konstrukce omezující pronikání vodní páry obvykle z vnitřního prostředí do stavební konstrukce, kde by v důsledku poklesu teploty došlo ke kondenzaci vodních par. Zkondenzované množství vodní páry následně ohrožuje požadovanou funkci nebo zkrátí životnost stavební konstrukce. Omezením pronikání vodní páry se rozumí omezení difúze (pohyb vodní páry vyvolaný gradientem částečného tlaku vodní páry) a proudění (pohyb vodní páry vyvolaný prouděním vzduchu). Není vhodné používat termín „parotěsná vrstva“, neboť mylně vede k domněnku, že vrstva je zcela nepropustná pro vodní páru, přestože dochází k určitému pohybu vlhkosti skrz tuto vrstvu. Viz [1][2].

Difúzní most – je místo v konstrukci, kde vlivem nehomogenity vrstvy popřípadě v místě detailu dochází k větší hustotě hmotnostního toku vlhkosti, než je hustota hmotnostního toku vlhkosti v ploše celistvé neporušené vrstvy. Například difúzní most vzniká v místě protřetí parotěsnicí vrstvy, kde v místě otvoru dochází k několikanásobně většímu transportu vlhkosti než v místě, které je neporušené. (Je možno použít analogii s vedením tepla v konstrukci, neboť v místě tepelného mostu dochází k výraznému úniku tepla skrz detail nebo porušenou vrstvu konstrukce.)

Součinitel difúzní propustnosti materiálu,

[s] – je správné označení fyzikální veličiny ze vztahů (1). Tyto vztahy jsou využívány v tepelně technických normách popisující transport vodních par. Součinitel difúzní propustnosti materiálu lépe vystihuje podstatu transportu vodní páry materiálem (vyvolaným rozdílem parciálních tlaků vodní páry) i lépe odpovídá anglickému překladu „water vapour permeability of material“. V českých normách se bohužel objevuje nevhodný termín „součinitel difúzní vodivosti materiálu“, který se zde objevil díky nedokonalému překladu a podobnosti s termínem „součinitel tepelné vodivosti materiálu“. Více [3][4].

$$\dot{g} = \delta \text{ grad } p \text{ respektive } g = \delta_p \frac{\Delta p}{d} \quad (1)$$

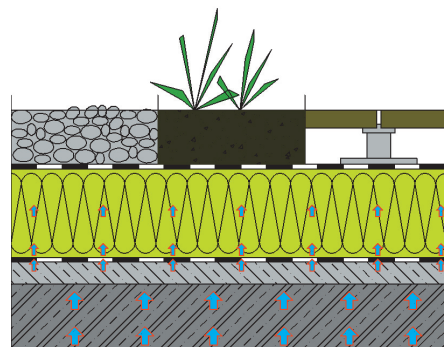
3. Střešní plášť obecně

- 1) Pro navržení střešního pláště z hlediska transportu vodní páry skrz střešní plášť je důležité rozmístění jednotlivých vrstev střešního pláště takovým způsobem, aby difúzní odpor jednotlivých vrstev klesal postupně od interiéru k exteriéru. Proto z hlediska transportu a kondenzace vlhkosti uvnitř střešního pláště je výhodnější navrhnout střešní plášť s obráceným pořadím vrstev, kde při v hodně zvolené tloušťce tepelné izolace nebude docházet ke kondenzaci vodních par.
- 2) Z hlediska transportu vlhkosti je vhodné navrhnout dvouplášťovou střešní konstrukci. Při navržení dvouplášťové konstrukce je nezbytné, aby docházelo k dostatečnému proudění vzduchu v provětrávané dutině a nedocházelo ke kondenzaci vodních par v případě bezvětrí.
- 3) Nejméně vhodný návrh z hlediska transportu vlhkosti je střešní plášť s klasickým pořadím vrstev. V tomto případě je riziko kondenzace vodních par uvnitř konstrukce největší, neboť vlhkost v podobě vodní páry postupně difunduje z interiéru do střešního pláště, kde vlivem snížení teploty pod rosný bod dochází k její kondenzaci. Z důvodu omezení transportu vodních par do střešního souvrství se navrhuje u jednoplášťových střech s klasickým pořadím vrstev i vrstva parotěsnicí. To vyžaduje správný tepelnotechnický návrh střešního pláště i dokonalou realizaci jednotlivých střešních vrstev.

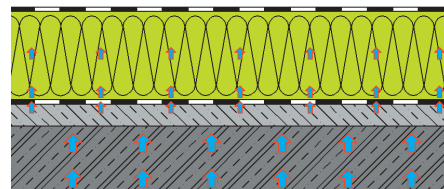
4. Stabilizace střešního pláště

Každý střešní plášť je nezbytné stabilizovat k nosné konstrukci objektu tak, aby nedošlo k jeho destrukci nebo porušení hydroizolační funkce způsobené povětrnostními vlivy. Avšak ne všechny známé způsoby stabilizace střešního pláště jsou stejně vhodné z hlediska difúze vodních par.

- 1) Vhodný způsob stabilizace střešního pláště z hlediska transportu vlhkosti skrz střešní plášť je použití stabilizační vrstvy (říční oblázky, dlaždice, provozní souvrství), neboť při použití stabilizační vrstvy nedochází k porušení ostatních vrstev střešního pláště (při použití vhodné separační vrstvy) – obrázek 1a.
- 2) Výhodné je i lepení jednotlivých vrstev střešního pláště vzájemně k sobě, neboť opět při dodržení technologických postupů nedojde k porušení jednotlivých vrstev střešního pláště – obrázek 1b.
- 3) Nejméně vhodným způsobem stabilizace střešního pláště je použití kotevnic prvků, které z důvodu statických musí procházet skrz celé střešní souvrství a které způsobují tepelné a difúzní mosty. Zvyšuje se tak únik tepla z interiéru do exteriéru a hlavně dochází i k zvýšení transportu vodní páry, které se dostanou do střešního pláště. V místě

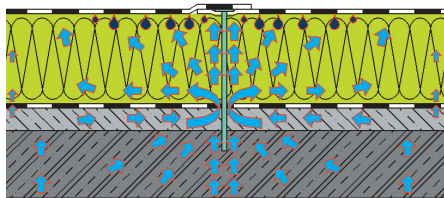


obrázek 1a – Schéma stabilizace střešního pláště použitím stabilizační vrstvy (říční kamenivo, zemina, dlaždice). Ve střešním plášti dochází k rovnoměrnému transportu vodní páry, a tak nedochází ke kondenzaci.



obrázek 1b – Schéma stabilizace střešního pláště lepením jednotlivých vrstev vzájemně k sobě. Ve střešním plášti dochází k rovnoměrnému transportu vodní páry a nedochází ke kondenzaci.

¹Katedra konstrukcí pozemních staveb, Fakulta stavební, ČVUT v Praze



Obrázek 1c – Schéma stabilizace střešního pláště pomocí kotevnic prvků. V místě kotvy vzniká difúzní most a do střešního pláště se dostává nadměrné množství vodní páry, která kondenzuje pod hydroizolační vrstvou.

kotvy dochází k zvýšení transportu vlhkosti a k nadměrné kondenzaci vodních par pod hydroizolačním souvrstvím. V blízkém okolí kotevního prvku bude docházet k nižší kondenzaci vodních par pod hydroizolačním souvrstvím, neboť kotva je současně i tepelný most a zvýšení teploty v okolí kotvy sníží množství kondenzovaných vodních par – obrázek 1c. Stažení fóliových, popřípadě asfaltových parozábran kolem dřívku kotvy, zatím nebylo potvrzeno. Taktéž nebyl zatím vyhodnocen vliv přitlačení proděravěné parozábrany ke konstrukčním prvkům.

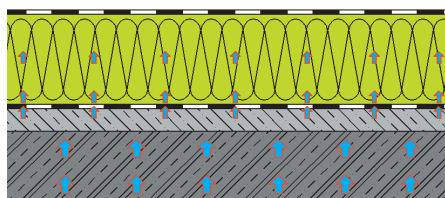
5. Konstrukce jednoplášťové ploché střechy s klasickým pořadím vrstev

Návrh jednoplášťové ploché střechy s klasickým pořadím vrstev je nejrizikovější konstrukcí z obalových konstrukcí vůbec z hlediska kondenzace vodních par, proto se v následujících odstavcích zaměřím na řešení jednotlivých vrstev této střešní konstrukce.

5.1 Hydroizolační vrstva

1) Materiál hydroizolační vrstvy

Z hlediska transportu vlhkosti v jednoplášťových střeších s klasickým pořadím vrstev záleží na materiálu hydroizolačního souvrství. Důležité je, aby hydroizolační souvrství mělo co nejmenší difúzní odpor, neboť vodní pára, která se dostane do střešního souvrství, bude moci difundovat skrz hydroizolační vrstvu do exteriéru a nebude docházet k nadměrné kondenzaci vodních par – obrázek 2a. Z tohoto důvodu je výhodné používat fóliové systémy, které jsou jednovrstvé a mají menší difúzní odpor než větší dvouvrstvé hydroizolační systémy z asfaltových pásů. Z fóliových materiálů není vhodné používat pro jednoplášťové střechy s klasickým pořadím vrstev výrobky z PO (polyolefinů) a PE (polyethylenů), které mají velmi vysoký faktor difúzního odporu cca $\mu_{PO} = 140\ 000 - 160\ 000 [-]$ a $\mu_{PE} = 120\ 000 - 165\ 000 [-]$. Vhodnější jsou materiály na bázi mPVC (měkčený polyvinyl-chloridu) nebo VAE (vinyl-acetát-etylenu), kde se faktor difúzního odporu pohybuje $\mu_{PVC} = 8\ 000 - 20\ 000 [-]$, $\mu_{VAE} = 11\ 000 [-]$.



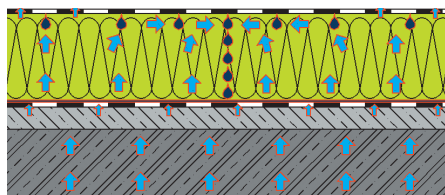
Obrázek 2a – Schéma střešního pláště v případě vhodné navržené hydroizolační vrstvy. Vodní pára může difundovat ze střešního pláště do vnějšího prostředí a nekondenzuje pod hydroizolační vrstvou.

Vysoké hodnoty difúzního odporu hydroizolačního souvrství brání difundaci vlhkosti z konstrukce střešního pláště do exteriéru.

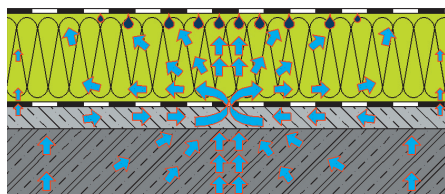
Vlhkost se do střešního pláště dostane například porušením hydroizolačního souvrství – obrázek 2b, nebo porušením parotěsnicí vrstvy – obrázek 2c. Tato vlhkost se bude dlouhodobě akumulovat ve střešním souvrství, kde může způsobit degradaci tepelněizolačních materiálů, zatékání vlhkosti do interiéru budovy, degradaci nosných dřevěných prvků nebo přetížení nosné konstrukce.

2) Konstrukce hydroizolační vrstvy

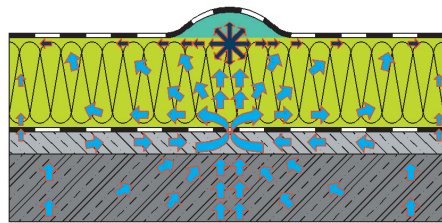
Pod každou hydroizolační vrstvou v jednoplášťových střeších s klasickým pořadím vrstev je nezbytné umístit expanzní vrstvu. Ta může být součástí hydroizolační vrstvy (například u asfaltových pásů – systém integrovaných kanálků) nebo se použije dělicí vrstva z materiálů, které jsou difúzně propustné pro vodní páru (u fóliových hydroizolačních systémů – tkaniny). Umístění expanzní vrstvy pod hydroizolační souvrství je důležité z důvodu transportu vlhkosti, neboť při vzniku difúzních mostů v místech nad porušením parotěsnicí vrstvy bude docházet



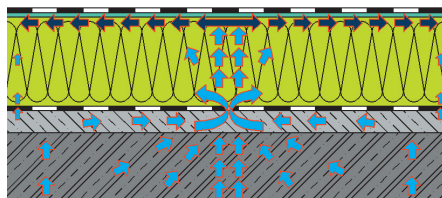
Obrázek 2b – V případě porušení hydroizolační vrstvy se dostane do střešního souvrství voda. Ta je zcela uzavřena mezi parotěsnicí a hydroizolační vrstvou a nemůže difundovat do vnějšího prostředí. Dochází pak k postupné degradaci tepelněizolační vrstvy.



Obrázek 2c – V případě porušení parotěsnicí vrstvy se dostane do střešního souvrství nadměrné množství vodní páry a dochází k její kondenzaci. Zkondenzovaná vlhkost je zcela uzavřena mezi parotěsnicí a hydroizolační vrstvou a nemůže difundovat do vnějšího prostředí. Dochází pak k postupné degradaci tepelněizolační vrstvy.



Obrázek 3a – Nad místem porušení parotěsnicí vrstvy bude docházet ke kondenzaci vodní páry pod hydroizolační vrstvou. Změna teploty (oslunění, mráz) způsobí změnu objemu zkondenzované vlhkosti, to vyvolá lokální tlaky a hrozí poškození hydroizolační vrstvy v případě, že v plášti není expanzní vrstva.



Obrázek 3b – V případě použití expanzní vrstvy pod hydroizolační vrstvou dojde k rychlému rozptýlení vlhkosti do plochy střechy, a tak nedojde k porušení hydroizolační vrstvy.

zet k hromadění vlhkosti pod hydroizolačním souvrstvím. Vlivem střídání teplot (oslunění, mráz) bude docházet k rychlé změně objemu akumulované vlhkosti, bude vyvolán tlak na hydroizolační souvrství a může dojít k porušení hydroizolačního souvrství – obrázek 3a. Při použití expanzní vrstvy dojde k rychlému rozptýlení vlhkosti pod hydroizolačním souvrstvím do plochy střechy, a tak k omezení lokálních tlakům vyvolaným díky objemovým změnám naakumulované vlhkosti na hydroizolační souvrství – obrázek 3b.

5.2 Spádová vrstva

Spádová vrstva má ve většině případů (materiál i umístění) zanedbatelný vliv na transport vlhkosti ve střešním plášti. Pouze pokud je spádová vrstva tvořena klíny z tepelné izolace a parotěsnicí vrstvou je umístěna nad spádovou vrstvou, je důležité, posoudit místo s největší tloušťkou spádové vrstvy z důvodu možné kondenzace vodních par pod parotěsnicí vrstvou.

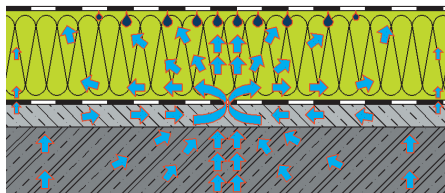
5.3 Parotěsnicí vrstva

1) Materiál parotěsnicí vrstvy

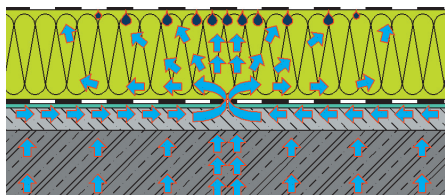
Materiál pro parotěsnicí vrstvu z hlediska transportu vodních par by měl mít takový difúzní odpor, aby parotěsnicí vrstva zabránila nadměrnému transportu vodních par dále do střešního pláště. Množství propuštěné vlhkosti parotěsnicí vrstvou se musí v průběhu ročního cyklu vypařit. Nezáleží tak, zda-li parotěsnicí vrstva bude tvořena asfaltovými nebo fóliovými pásy.

2) Umístění parotěsnicí vrstvy

Parotěsnicí vrstva se umísťuje co nejbližší vnitřnímu prostředí (prostředí s velkým parciálním tlakem) pokud možno



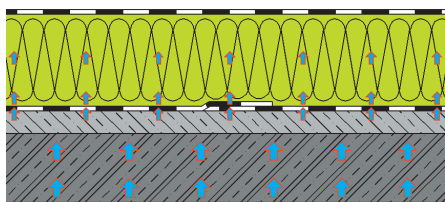
obrázek 4a – V případě, že parotěsnicí vrstva je přímo napojena na konstrukci, nedochází k tak velkému transportu vodních par z interiéru do místa porušení parotěsnicí vrstvy jako na předchozím obrázku – správné řešení.



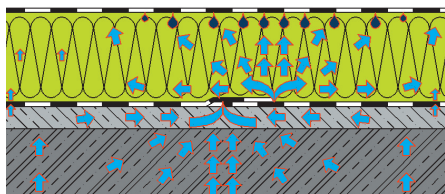
obrázek 4b – V případě, že parotěsnicí vrstva není přímo napojena na konstrukci, nebo je pod parotěsnicí vrstvou umístěna expanzní vrstva, zvětší se transport vodních par z interiéru do místa porušení parotěsnicí vrstvy – nevhodné řešení.

vždy pod tepelněizolační souvrství. Vhodné je parotěsnicí vrstvu přímo napojit na podklad (konstrukci), neboť v případě porušení parotěsnicí vrstvy nedojde k rychlému transportu vodní páry z interiéru do onoho místa porušení – obrázek 4a. Tedy není vhodné pod parotěsnicí vrstvu umísťovat jakoukoli expanzní vrstvu – obrázek 4b. Parotěsnicí vrstva by měla být umístěna i tak, aby došlo k jejímu minimálnímu poškození, ať z důvodu konstrukčního nebo technologického.

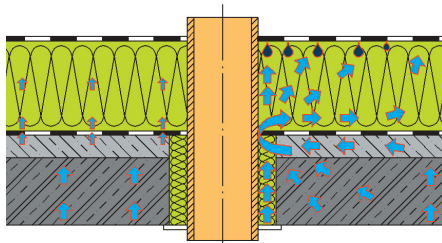
3) Konstrukční řešení parotěsnicí vrstvy Každá parotěsnicí vrstva musí být souvislá. To znamená, že jednotlivé pásy (folie, asfaltové pásy) musí být napojeny vzájemně k sobě nejlépe stejným materiálem nebo materiálem, který má větší difúzní odpor než materiál parotěsnicí vrstvy – obrázek 5a. A ten-



obrázek 5a – Pásy parotěsnicí vrstvy jsou vzájemně k sobě napojeny. Nevznikají difúzní mosty a dochází k rovnoměrnému transportu vlhkosti. Nedochází ke kondenzaci vodních par pod hydroizolační vrstvou.



obrázek 5b – Pásy parotěsnicí vrstvy nejsou vzájemně k sobě napojeny (jsou pouze přes sebe položeny), dochází k vzniku difúzních mostů a do střešního pláště se dostává nadměrné množství vodních par, které kondenzují pod hydroizolační vrstvou.



obrázek 5c – Vlevo – Parotěsnicí vrstva je správně napojena na prostupující prvky a nevznikají tak difúzní mosty.

Vpravo – Parotěsnicí vrstva není napojena na prostupující prvky, vzniká difúzní most a do střešního souvrství se dostává nadměrné množství vodních par, které kondenzují.

to spojovací materiál musí mít i stejnou životnost jako materiál parotěsnicí vrstvy. Není vhodné jednotlivé pásy přes sebe pouze překládat – obrázek 5b. Parotěsnicí vrstva musí být napojena na všechny prostupující prvky, tak aby nedocházelo ke vzniku difúzních mostů v místě prostupujících prvků. Napojení na prostupující prvky musí být opět provedeno pomocí materiálů, které mají stejný nebo vyšší difúzní odpor než materiál parotěsnicí vrstvy a stejnou nebo větší životnost – obrázek 5c.

6. Závěrečné shrnutí

Na základě tříletého výzkumu v oblasti transportu vlhkosti ve střešním pláště v plochých střeších uvádím shrnující doporučení pro navrhování a provádění plochých střešů.

- 1) Z hlediska transportu vlhkosti je výhodnější navrhnou dvouplášťovou střešou případně střešní plášť s obřádným pořadím vrstev.
- 2) Z hlediska transportu vlhkosti je pro stabilizaci střešního pláště vhodné použít stabilizační vrstvu (říční obložky, dlaždice, provozní souvrství) nebo jednotlivé vrstvy střešního pláště lepit vzájemně k sobě. Nevhodné je použití kotevních prvků, které způsobují tepelné a difúzní mosty.
- 3) Materiál hydroizolační vrstvy u ploché jednoplášťové střešy s klasickým pořadím vrstev by měl mít co nejmenší difúzní odpor. Proto je z hlediska transportu vlhkosti méně vhodné používat dvouvrstvé hydroizolační systémy z asfaltových pásů nebo hydroizolační fólie na bázi polyetylenů a polyolefinů. Vhodné jsou fólie s malým difúzním odporem na bázi mPVC nebo VAE.
- 4) U jednoplášťových střešů s klasickým pořadím vrstev je nutné navrhnout pod hydroizolační vrstvu i vrstvu expanzní.
- 5) Materiál pro parotěsnicí vrstvu by měl být vybrán až na základě tepelně vlhkostního posouzení střešního pláště takovým způsobem, aby se jednak zabránilo nadměrnému pro-

nikání vodních par do střešního pláště (tj. zabránilo nadměrné kondenzaci a akumulaci vlhkosti ve střešním pláště v průběhu ročního cyklu), ale současně, aby docházelo k minimální možné výměně vlhkosti a vzduchu mezi interiérem a exteriérem.

- 6) Parotěsnicí vrstva by měla být navržena co nejlépe k interiéru – nejlépe pod tepelněizolační vrstvou tak, aby nedošlo k jejímu poškození, ať z důvodu konstrukčního nebo technologického.
- 7) Parotěsnicí vrstva musí být celistvá a parotěsně napojena na prostupující prvky, takovým způsobem, aby se zabránilo vzniku difúzních mostů.
- 8) Pod parotěsnicí vrstvou je nevhodné navrhovat expanzní vrstvu.
- 9) Při provádění parotěsnicí vrstvy je důležité dbát na nepoškození této vrstvy a je také třeba důkladné napojení na všechny prostupující konstrukce. □

Text byl zpracován za podpory MSM 6840770001

Literatura

- [1] SLANINA, P. Parotěsná vrstva – terminologie, rozdělení, navrhování. *Tepelná ochrana budov*. 2004. ročník 7. číslo 3. s. 13 – 16
- [2] SLANINA, P. Všeobecně o parozábranách střešů. *Střešy, fasády, izolace*. 2004. ročník 11. číslo 9. s. 76 – 78.
- [3] ČERNÝ, R., TOMAN, J., HOŠKOVÁ, Š. Nestacionární metoda stanovení součinitele difúze vodní páry ve stavebních materiálech. *Stavební obzor*. 1994, č. 10, s. 304-306.
- [4] BINKO, J. *Veličiny a jednotky v stavební fyzice*. Bratislava: Alfa, 1975. 102 s.
- [5] HANZALOVÁ, L., ŠILAROVÁ, Š. *Ploché střešy*. Informační centrum ČKAIT, Praha 2005. 328 s. ISBN 80-86769-71-2
- [6] ČSN 730540-1-4 : 2005 *Tepelná ochrana budov – Část 1 až Část 4*.
- [7] ČSN 731901 : 1999. *Navrhování střešů – Základní ustanovení*.
- [8] ČSN EN ISO 13788 : 2002 *Tepelně vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků – Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce – Výpočtové metody*.
- [9] ČSN EN 12524 : 2001 *Stavební materiály a výrobky – Tepelně vlhkostní vlastnosti – Tabulkové návrhové hodnoty*.

Recenzovala doc. Ing. Šárka Šilarová, CSc.