

SPÔSOB IZOLÁCIE TUNELOV V SEVERSKÝCH KRAJINÁCH

Method of tunnel water & frost insulation in Nordic countries

Ivan Vida¹

ABSTRAKT

Nórska štátna železničná spoločnosť (NSB) v súčasnosti realizuje niekoľko významných projektov v kraji Vestfold vo východnom Nórsku. Dlhodobým plánom je vybudovanie vysokorýchlostnej železnice z mesta Lillehammer cez Oslo do mesta Skjen a neskôr až po mesto Kristiansand na juhu krajiny.

Pracovníci spoločnosti Skanska SK – Závod Tunely SK sa podieľali na realizácii dvoch častí tohto rozsiahleho projektu, okrem iného aj budovaním vode a mrazu odolnej izolácie. Boli to projekty Holm-Nikyrke (UHN-Holmestrand) a UFP01-Vetsfold pri meste Larvik. V ďalšej časti príspevku sú popísané skúsenosti z realizovania prác na izolácii tunela na projekte Holm – Nikyrke.

ABSTRACT

Norwegian national railway company (NSB) currently executes several significant projects in Vestfold region in East Norway. Longterm plan for this service provider is to build high speed railway from Lillehammer to Skjen leading via Oslo and later on to build the railway up to Kristiansand town in the south of country.

The employees of Skanska SK a. s. company – Tunneling Branch SK have been participating on construction of two parts of these huge projects with works on tunnel's water & frost protection and other works. It was Holm-Nikyrke (UHN-Holmestrand) project and UFP01-Vetsfold project near by Larvik town. Following in this article our experience from water and frost insulation works execution on the project Holm – Nikyrke are described in details.

1 Základné údaje o projekte

Súčasťou projektu Holm-Nikyrke je aj výstavba železničného dvojkoľajového tunela dĺžky 12,3 km s podzemnou železničnou stanicou v meste Holmestrand aj s prístupovou výťahovou šachtou z útesu nad mestom priamo do staničnej haly. Tunel je projektovaný, rovnako ako celá trasa železnice od Lillehammeru až po Skjen, na prejazdovú rýchlosť 250 km/h, čo je podľa nórskeho projektanta realizované po prvýkrát v histórii výstavby tunelov v Nórsku a dokončený a odovzdaný do prevádzky bude v roku 2016.

Projekt je rozdelený na 5 častí:

UHN 03 HOLM – realizuje Skanska Norge AS

UHN 01 SJOSKOGEN – realizuje LNS

UHN 04 STASJON – realizuje Skanska Norge AS

UHN 06 FIBO – realizuje Skanska Norge AS

UHN 07 SNEKESTAD – realizuje Marti/IAV

¹Ing. Ivan Vida., Skanska SK, Krajná 29, 821 04 Bratislava, Závod Tunely SK, Košovská cesta č.16, 971 74 Prievidza, tel.: +421 903 804 824, e-mail: ivan.vida@skanska.sk

Výstavba tunela bola realizovaná prostredníctvom „Nórskej tunelovacej metódy“ (NTM), ktorá má na prvý pohľad v porovnaní s „Novou rakúskou tunelovacou metódou“ (NRTM) veľa spoločného, no v skutočnosti sa od nej líši principiálne. Rozdiel je v hodnotení geológie tzv. Q-systém, v spôsobe vystužovania a v neposlednom rade v spôsobe izolácie diela proti priesakom a namrzaniu vody.

Pri razení NTM sa nevyužíva systém primárneho a sekundárneho ostenia a nepoužíva sa medziľahlá izolácia. Na izoláciu priesakov vody sa pri samotnom razení využíva hĺbková systematická injektáž predpolia, ktorej úlohou je izolovať tunel od prítokov vody ako aj zabrániť poklesu hladiny spodnej vody v masíve. Striekaný betón a svorníky, zabudované počas razenia, sú aktívnou súčasťou definitívneho ostenia. V rámci tohto projektu na úsekoch realizovaných Skanka bolo použitých 88 000 ks SN svorníkov v dĺžkach 3 – 18 m, 38 000 m³ striekaného betónu s polypropylénovými vláknami a 197 000 m² vode a mrazu odolnej izolácie – PE peny.

2 Spôsoby izolácie tunela proti priesakom vody

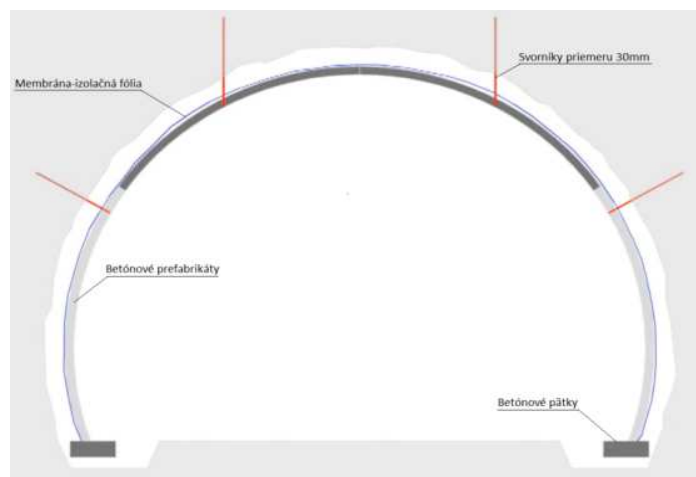
Ako bolo uvedené, pri NTM sa v Škandinávii nepoužíva medziľahlá izolácia. V prípade, že injektáž z rôznych dôvodov nedokáže dostatočne eliminovať priesaky vody do tunela, po dokončení razenia sa inštaluje vnútorná – izolačná časť ostenia (inner lining). Uplatňuje sa niekoľko typov vnútorného ostenia:

- Hydroizolačná membrána + prefabrikované betónové elementy.
- PE pena + striekaný betón s polypropylénovými vláknami + montáž oceľovej kari siete, v niektorých prípadoch aj bez montáže oceľovej kari sieťoviny.
- Kombinácia typov – prefabrikované betónové elementy na bokoch chodieb + PE pena a striekaný betón v strope chodieb.
- Montovaná hydroizolačná membrána + oceľová kari sieť + striekaný betón s PP vláknami.
- Striekaná membrána + oceľová výstuž + striekaný betón s PP vláknami.

Pri výstavbe tunela na úsekoch realizovaných firmou Skanska v celkovej dĺžke 5 300 m bola v rámci Nórskej tunelovacej metódy aplikovaná kombinácia prvých troch spôsobov hydroizolácie a finálnej úpravy ostenia uvedených vyššie. Preto sa v ďalšej časti príspevku zameriam na ich podrobnejšie popísanie a na záver bude stručne popísaný spôsob zabezpečenia izolácie voči priesakom v objekte podzemnej železničnej stanice, špeciálne v tzv. „trumpetách“.

2.1. Montovaná hydroizolačná membrána zavesená na oceľových kotvách priemeru 33 mm s kvalitnou protikoróznou úpravou a prefabrikované betónové elementy v celom profile tunela

Pri tejto alternatíve sú ako prvé osadené betónové základové pätky, na ktoré sa neskôr kladú betónové prefabrikáty. Následne sa vrtajú diery podľa vopred zadaných smerov a dĺžok po obvodu chodby tak, ako je to zrejmé z obrázku, do ktorých sa montujú kotvy priemeru 33 mm lepené do cementovej malty. Min. 48 hod. po osadení svorníkov sa môžu svorníky začať testovať na ťah (110 kN). Vrtanie je realizované svorníkovacím vrtným vozom AMV, ktorý je vybavený lafetou s dvomi paralelnými kladivami, aby bolo možné vrtat' dva vrty súčasne. Po otestovaní svorníkov je na ne zavesená hydroizolačná membrána, osádzaná prostredníctvom mechanizovaného voza a v mieste zavesenia je utesnená pritlačením dvoch oceľových platničiek s gumeným tesnením.



Obr. 1 Schematické zobrazenie montáže svorníkov, membrány a betónových prefabrikátov
 Fig. 1 Scheme with bolt installation, membrane and concrete elements



Obr. 2 Montáž hydroizolačnej membrány prostredníctvom mechanizovaného voza
 Fig. 2 Installation of waterproof insulation membrane with mechanized platform

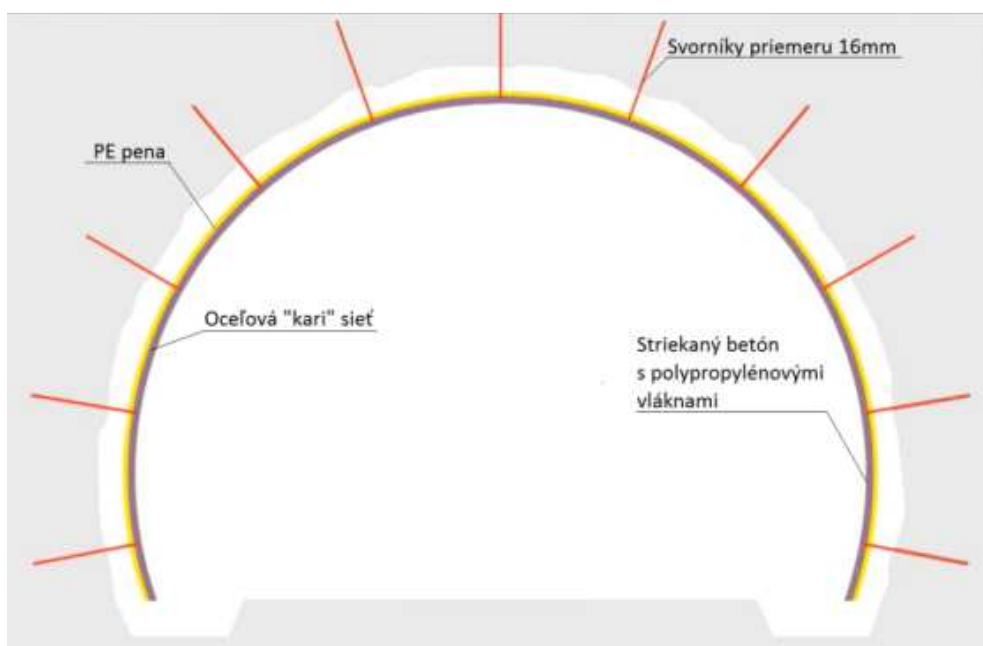
Jednotlivé pásy membrány sú spojené tepelným zváraním podobne ako pri medziľahlej izolácii pri Novej rakúskej tunelovacej metóde s tým rozdielom, že tu fólia visí na kotvách a priestor medzi výrubom resp. striekaným betónom a membránou je voľný. Uvedený voľný priestor je v rozsahu 0,5 – 1,5 m a cez inšpekčné otvory v prefabrikovaných betónových elementoch sa dá do týchto priestorov vstúpiť a vykonať kontrolu tesnosti membrány, stability ostenia a pod. Na záver sú do celého profilu chodby montované betónové prefabrikované elementy pomocou hydraulických diaľkovo ovládaných montážnych strojov AMV so systémom vákuového uchopenia elementov na manipulačných ramenách.



Obr. 3 Montáž prefabrikovaných betónových elementov
 Fig. 3 Installation of precast concrete elements

2.2. PE pena hrúbky 60 mm, oceľová kari sieť a striekaný betón s polypropylénovými vláknami v celom profile tunela

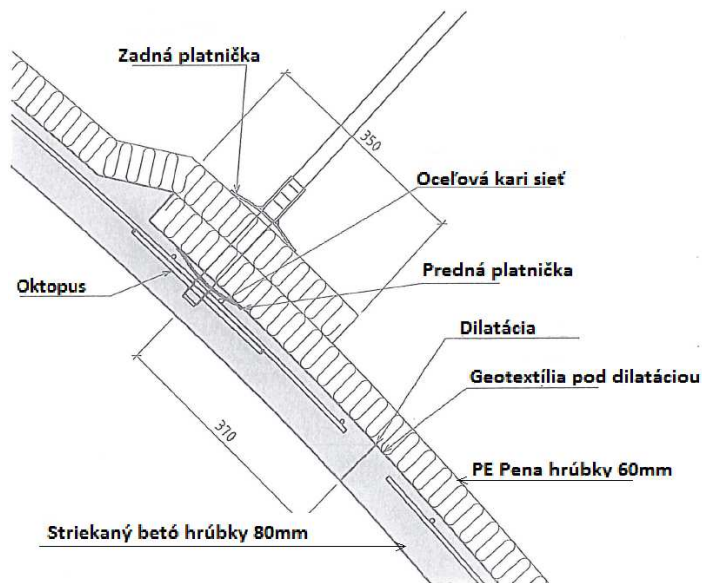
Pri tejto alternatíve sú ako prvé navrhované diery a osadené svorníky priemeru 16 mm v celom profile chodby, pričom vzdialenosť svorníkov medzi líniami je 1,2 m a po obvode línie 1,0 m. Svorníky sú lepené dvojzložkovým lepidlom „Lokset“. Týmto spôsobom vznikne sieť svorníkov radiálne osadených v profile pre dosiahnutie optimálneho tvaru chodby. Na svorníky je nainštalovaná (napichnutá) PE pena, ktorej pásy sú dodávané v šírke 2,7 m a dĺžke podľa potreby vo vzťahu k obvodu tunelovej chodby, avšak maximálna dĺžka pásu je obmedzená na cca 20 m pre schopnosť manipulácie vo výške, dopravu z výrobného závodu a váhu materiálu.



Obr. 4 Schematické zobrazenie montáže svorníkov, PE peny, oceľovej kari siete a striekaného betónu

Fig. 4 Scheme with bolts installation, PE foam, steel wiremesh and shotcrete

Pre dosiahnutie tesnosti medzi jednotlivými pásmi PE peny je predpísané preloženie min. 35 cm a v mieste napichnutia peny na svorník je PE pena stlačená prednou a zadnou oceľovou platničkou proti sebe vhodným momentom tak, aby nedochádzalo k pretrhnutiu a poškodeniu PE peny na okrajoch platničiek (viď obrázok detailu montáže všetkých dielov tejto metódy). Na osadenú PE penu sa montujú plastové dištančníky, oceľové kríže – tzv. oktopusy, ktoré sú osádzané na každý svorník pre zabezpečenie lepšieho previazania oceľovej kari siete, samotná oceľová kari sieť a na záver je aplikovaný striekaný betón hrúbky 80 mm.



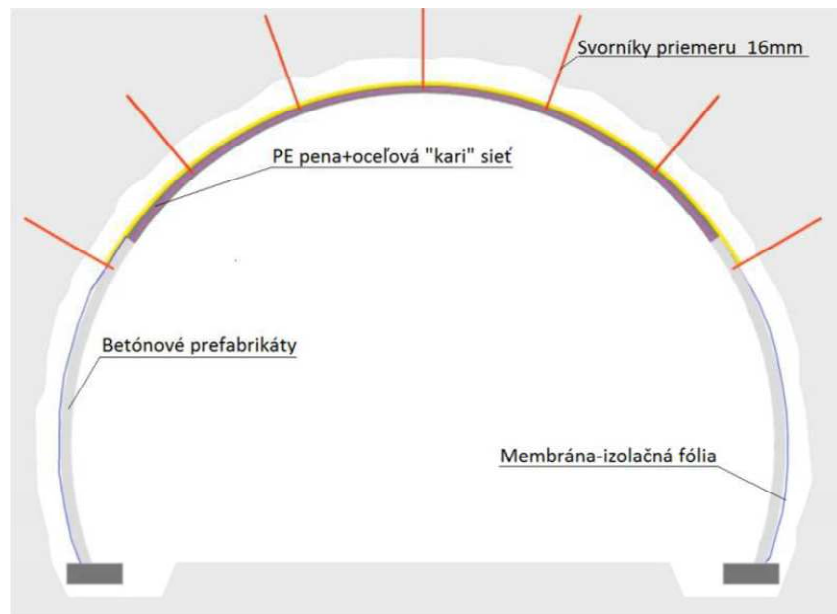
Obr. 5 Detailný obrázok montáže všetkých častí popisovanej metódy izolácie
 Fig. 5 Detailed picture of assembling all parts of insulation described above



Obr. 6 Osadenie PE peny napichnutím na predmontované svorníky
 Fig. 6 Assembling of PE foam insulation on preinstalled bolts

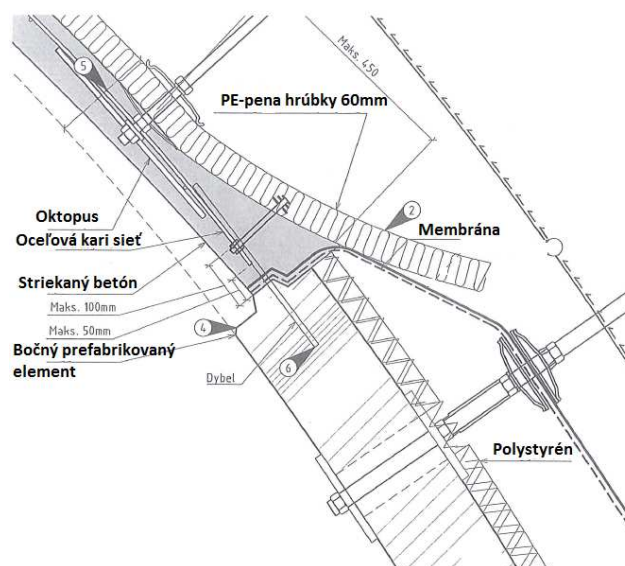
2.3. Kombinácia montovanej hydroizolačnej membrány a prefabrikovaných bočných elementov na bokoch tunela, s PE penou, ocel'ovou kari sieťou a striekaným betónom v strope tunela

Ako vyplýva z nadpisu tejto alternatívy jedná sa o kombináciu dvoch predchádzajúcich spôsobov izolácie tunela voči priesakom vody, pričom na boky tunela je najskôr zavesená hydroizolačná membrána, následne sú zabudované len bočné prefabrikované elementy a do stropu chodby je osadená PE pena a striekaný betón technológiou, ktorá bola popísaná vyššie.



Obr. 7 Schematické zobrazenie kombinácie montáže dvoch predošlých spôsobov
Fig. 7 Scheme showing combination of assembling of two previous methods

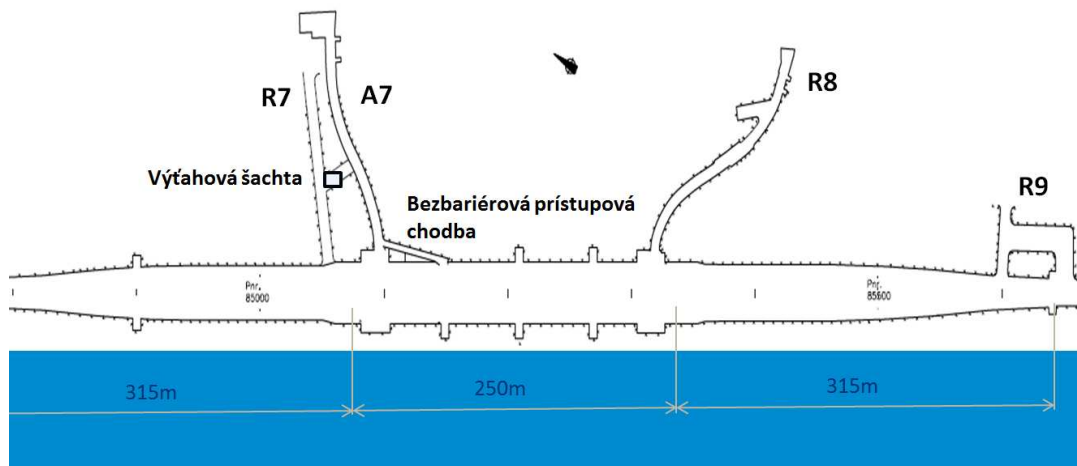
Na obrázku nižšie je znázornený detail napojenia PE peny na bočný element, z ktorého je vidieť preloženie v mieste kontaktu PE peny a elementu a spôsob prechodu medzi striekaným betónom a prefabrikovaným elementom.



Obr. 8 Detail napojenia PE peny na bočný prefabrikovaný element
Fig. 8 Detailed picture of connection of PE foam insulation with wall precast element

3 Montáž PE peny v objekte staničnej haly

Ako bolo spomenuté v úvode najzaujímavejšou a zároveň najťažšou časťou výstavby tohto tunela bola výstavba objektu podzemnej železničnej stanice. Dĺžka tohto objektu je 880 m a rozdelená je do troch častí. Dve tvoria tzv. „trumpety“, pri ktorých sa profil tunela postupne zväčšuje na dĺžke 315 m z 95 m^2 až na 362 m^2 a tvoria severnú a južnú časť staničného objektu a jednu časť tvorí nástupište, ktorého dĺžka je 250 m a profil dosahuje hodnotu 362 m^2 . Ako je zrejmé z obrázku, vstup do staničnej haly je zabezpečený cez prístupovú chodbu A7 a R8 a výtahovú šachtu, ktorá zabezpečuje vstup do tunela z bradla nad mestom Holmestrand. Chodba označená na obrázku ako R7 bude slúžiť ako vyrovnávacia chodba pri pretlaku počas vchádzania vlakovej súpravy do objektu stanice a naopak pri podtlaku počas výjazdu súpravy zo stanice. Úlohu postupného znižovania tlaku vzduchu vznikajúceho tlačением vzduchu vlakovou súpravou idúcou rýchlosťou 250 km/h pri vstupe do objektu nástupíšť plnia aj spomínané „trumpety“ práve v dôsledku zväčšenia prierezu tunela a tým zníženia rýchlosti prúdenia vetrov v objekte nástupíšť.



Obr. 9 Schematické zobrazenie staničného objektu s prístupovými chodbami
Fig. 9 Scheme showing the station objects with entrance passages



Obr. 10 Vizualizácia umiestnenia podzemnej železničnej stanice aj s prístupovou výtahovou šachtou

Fig. 10 Visualization of placing the underground railway station with entrance lift shaft

V dôsledku tohto riešenia eliminácie vysokých tlakov v objekte stanice musel projektant pristúpiť k alternatíve zabezpečenia izolácie objektu voči priesakom vody a ich namrznaniu v zimných mesiacoch spôsobom montáže PE peny do celého profilu „trumpiet“. Vzhľadom k veľkej výške chodby, v najvyššej časti to bolo 18 m, musela byť montáž PE peny rozdelená na dve etapy. V prvej etape bola na počvu tunela navezená hlušina do výšky cca 6 m, čím sa dosiahla požadovaná výška chodby od počvy po strop tunela vo vzťahu k dosahu používaných mechanizmov na montáž všetkých prvkov izolácie a samozrejme striekaného betónu a neskôr po odtlačení hlušiny bola domontovaná spodná časť izolácie na bokoch tunelovej chodby. Na obrázku vidieť postupné zmenšovanie profilu chodby a osadenú PE penu so všetkými prvkami izolácie vrátane prvej vrstvy striekaného betónu na väčšine profilu tunela. Na tomto príklade sa dá poukázať na technologickú náročnosť takéhoto spôsobu zabezpečenia izolácie tunela voči priesakom vody. Na každom rozširujúcom sa úseku tunela (trumpete) bolo osadených cca 8 800 ks svorníkov, čo si vyžadovalo dôslednú prípravu a dozor nad kvalitou osádzania svorníkov pomocou lepidla, osádzania PE peny vo vzťahu k dodržiavaniu presnosti prekladania jednotlivých pásov peny a dot'ahovania platničiek vhodným momentom, aby bola zabezpečená vodotesnosť v mieste napichnutia PE peny na svorník. Každá maličkosť pri nedodržaní kvality montáže by mohla viesť v konečnom dôsledku k priesakom vody na povrch striekaného betónu, čo je samozrejme nežiaduce.



Obr. 11 Profil „trumpety“ s osadenou PE penou + kari sieťovinou a nedokončenou prvou vrstvou striekaného betónu

Fig. 11 Profile of „trumpet“ with installed PE foam & wiremesh and unfinished first layer of shotcrete

4 Záver

Odlíšnosti spôsobu výstavby tunelov Nórskou tunelovacou metódou a Novou rakúskou tunelovacou metódou vyplývajú z historických skúseností v jednotlivých krajinách, ale hlavne z geologických podmienok, prevažného zastúpenia horninových typov, tektonického porušenia masívov a v neposlednom rade z veku geologického prostredia. Okrem už spomenutých odlišností je to hlavne systém klasifikácie horninového masívu, tzv. Q-metóda oproti ÖNORM 2203 používanej v NRTM, ďalej razenie plného profilu, ako aj absencia princípu spolupôsobenia horninovej klenby po prebehnutí konvergencií a taktiež

pre nás iný systém primárneho a sekundárneho ostenia. Všeobecne je možno konštatovať, že škandinávске krajiny majú geologické prostredie vhodnejšie na stavbu podzemných diel, výstavba je podstatne lacnejšia a jednoduchšia. Stálo by za uváženie niektoré technológie, prvky, či princípy aplikovať aj v našich podmienkach, hlavne v kvalitnejších výrubových triedach.