

Zeitschrift:	Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri
Herausgeber:	Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe
Band:	54 (1976)
Heft:	10
Artikel:	Protection du bois utilisé dans la construction des lignes = La protezione del legno nella costruzione di linee
Autor:	Steinle, Heinrich
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-875852

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Protection du bois utilisé dans la construction des lignes¹

La protezione del legno nella costruzione di linee

Heinrich STEINLE, Bern

621.315.668.1:674.04

Holzschutz im Leitungsbau

Zusammenfassung. Der Telefonanschluss mit einer Freileitung ist in Siedlungsräumen nur noch auf kurze Distanzen anzutreffen. Lange Leitungen beschränken sich auf das Voralpen- und Alpengebiet. Trotzdem hat die Freileitung an Bedeutung nicht verloren. Der Holzmast als wichtigstes Tragelement muss für seine Gesunderhaltung vor schädlichen Einflüssen geschützt werden. Eine Erhöhung seiner Lebensdauer stellt das Ziel einer wirksamen Holzkonservierung dar. Die Langzeitversuche in Stängengärten sind geeignet, über die Konservierungswirkung verschiedener Schutzmittel und Imprägnierverfahren, unter ungleichen Umweltbedingungen, urteilen zu können. Der in den Linien stehende Holzmast erfordert eine periodische Kontrolle und, entsprechend der Standdauer, einen wirksamen Nachschutz.

Résumé. Dans les régions à forte densité de population, le raccordement téléphonique établi sur ligne aérienne ne se rencontre plus que sur de courtes distances. Les longues lignes se limitent à la région des Préalpes et des Alpes. Il n'en demeure pas moins que la ligne aérienne n'a rien perdu de son importance. Le poteau en bois qui en est l'élément porteur le plus important doit, pour être maintenu en bonne santé, être protégé contre des influences nuisibles. Sa durée de vie sera augmentée dans la mesure où la conservation du bois sera efficace. Les essais de longue durée auxquels il a été procédé dans les jardins d'essai des poteaux permettent de juger de l'effet de conservation de différents produits de protection et de procédés d'imprégnation dans des conditions d'environnement inégales. Le poteau en bois utilisé dans les lignes nécessite un contrôle périodique et, suivant son état, une protection complémentaire efficace.

Riassunto. Negli abitati, il collegamento telefonico mediante linea aerea esiste ancora soltanto per brevi tratti. Lunghe linee aeree sono limitate alle regioni delle Prealpi e delle Alpi. Ciononostante esse non hanno ancora perso niente della loro importanza. Il palo di legno, quale elemento di supporto più importante, dev'essere protetto da influssi nocivi, per essere mantenuto in buono stato durante un lungo periodo. I procedimenti protettivi efficaci sono la base per il prolungamento della durata dei pali. I lunghi esperimenti nei sedimi speciali per pali sono adatti per poter fornire giudizi concreti sugli effetti di protezione dei diversi mezzi impiegati e dei diversi generi di sterilizzazione del legno. I pali delle linee aeree devono essere controllati periodicamente e, in base alla loro durata, protetti in modo efficace.

1 Introduction

La ligne aérienne, qui avait à l'origine la suprématie, a été supplante par la technique de transmission moderne et réduite à la portion congrue. En Suisse, le tracé d'un raccordement téléphonique principal sur quatre se termine par une ligne aérienne plus ou moins longue. En dépit de la mise sous câble intensive de ces dernières années et de l'emploi de câbles à gaine en matière synthétique dans les embranchements terminaux, la ligne aérienne n'a absolument rien perdu de son actualité. S'il est vrai que les longues lignes déparant le paysage ont disparu, il n'en demeure pas moins qu'ont subsisté les lignes de raccordement, montées sur poteaux individuels, des régions retirées des Alpes et des Préalpes ainsi que les courtes lignes d'aménée dans les agglomérations compactes.

Alors que, jusqu'à la fin de la décennie de 1960, l'Entreprise des PTT acquérait encore chaque année de 40000 à 50000 poteaux en bois imprégnés, elle ne s'en procurera plus à l'avenir que 10000 à 20000.

Le réseau des lignes compte encore quelque 800000 poteaux qui doivent être entretenus et soignés, car on en attend une durée de vie prolongée et une sécurité d'exploitation étendue. L'exposé qui suit explique ce qu'il y a lieu d'entreprendre pour satisfaire à ces exigences.

2 La forêt, productrice du bois

C'est dans la forêt que naît ce qui doit devenir un bois durable! L'exigence imposée à un poteau en bois résistant, en tant que support de la ligne téléphonique aérienne, ne peut être satisfaite que si le bois a poussé dans des conditions optimales. Ces dernières décennies, la forêt suisse a gravement souffert. Depuis la seconde guerre mondiale, le bostryche a durement éprouvé nos arbres à feuilles aciculaires; les

¹ Deutsche Originalfassung in den Techn. Mitt. PTT Nr. 8/1976 erschienen

1 Introduzione

La moderna tecnica di trasmissione ha soppiantato la predominante linea aerea tradizionale lasciando a quest'ultima soltanto un esiguo spazio.

In Svizzera, ogni quarto raccordo principale consiste, nella parte finale del suo tracciato, in una linea aerea più o meno lunga. Malgrado l'intensiva messa in cavo e l'uso di cavi con isolazione termoplastica, nelle diramazioni finali, verificatisi in questi ultimi anni, la linea aerea non ha per nulla perso della sua attualità.

Le lunghe linee che disturbavano fortemente il paesaggio sono scomparse. Sono però rimaste le linee di collegamento montate su pali isolati, negli abitati sparsi delle alpi e delle prealpi, così come i collegamenti brevi all'interno di agglomerati compatti.

Fino alla fine degli anni sessanta i servizi delle PTT hanno fatto uso annualmente di 40...50000 pali di legno impregnati, mentre si prevede che in futuro ne verranno utilizzati soltanto da 10...20000. In tutta la rete di distribuzione si valutano a circa 800000 i pali ancora in funzione, che necessitano di cure e di manutenzione. In cambio ci si aspetta da loro lunga durata e sicurezza di esercizio. Più avanti descriveremo dunque cosa bisogna intraprendere per raggiungere questo risultato.

2 Il bosco come produttore di legname

È nel bosco che ha inizio la vita di ciò che sarà un legno d'opera durevole! Le caratteristiche richieste ad un buon palo, da utilizzare come supporto per linee telefoniche aeree, possono essere raggiunte soltanto se il legno cresce in ottime condizioni ambientali. Negli ultimi decenni il bosco svizzero ha molto sofferto. Dopo la seconda guerra mondiale il tarlo della corteccia ha intaccato notevolmente le nostre conifere. Sono d'altronde maturate, nel frattempo, anche le

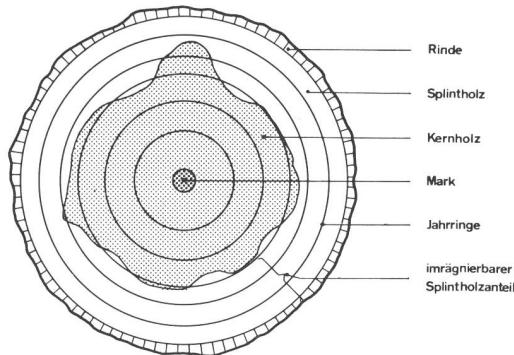


Fig. 1
Coupe transversale d'un tronc d'épicéa – Sezione di tronco di pino
Rinde – Ecorce – Corteccia
Splintholz – Aubier – Alburno
Kernholz – Cœur – Durame
Mark – Sève – Midollo
Jahrringe – Cernes annuels – Anelli di crescita
Imprägnierbarer Splintholzanteil – Partie de l'aubier la mieux
imprégnable – Parte impregnabile dell'alburno

dégâts causés par le poids de la neige et la tempête de ces dernières années, mais aussi partiellement le manque de soins ont laissé des traces.

L'Entreprise des PTT ne peut exercer aucune influence sur le choix des bois; elle achète les poteaux écorcés et traités par l'usine d'imprégnation. Il est très difficile de reconnaître le bois défectueux dans cet état. Les dommages n'apparaissent que beaucoup plus tard. Les poteaux qui sont atteints de ces dommages deviennent inutilisables et doivent être échangés moyennant des frais élevés.

Il est vraisemblable que le nombre élevé de poteaux courts, dont l'Entreprise des PTT a besoin, est un motif supplémentaire ayant pour conséquence que la qualité laisse à désirer. Lorsqu'il s'agit d'éclaircir la forêt, on abat les bois courts ayant poussé dans l'ombre d'autres arbres. Dans nombre de cas, l'épaisseur de l'aubier de ces sapins ou épicéas est insuffisante pour l'imprégnation. Lorsque la croissance a lieu dans des conditions défavorables, les cernes annuels sont étroits (fig. 1). La maladie peut alors s'attaquer sans entrave à l'arbre en train de croître. Sans vouloir critiquer la sylviculture – elle doit, contrairement à ce qui se pratiquait autrefois, observer le principe de rentabilité – on a fréquemment le sentiment que ce bois est considéré comme encore assez bon pour des poteaux téléphoniques.

La forêt suisse se compose, à raison de 80%, de conifères, dont le sapin rouge et le sapin blanc en constituent de loin la partie essentielle. L'Entreprise des PTT utilise presque sans exception ces deux sortes de bois. Il est évident que le mélèze et le pin sylvestre seraient des bois de meilleure qualité, mais ne sont que peu représentés et, de plus, sont en partie protégés. Aussi les PTT doivent-ils se contenter d'un bois qui est généralement difficile à imprégner. Cependant, en faisant preuve d'un certain soin et en acceptant des dépenses un peu plus élevées, on obtient de bons résultats.

3 Les destructeurs du bois

Lorsque les conditions propices à la destruction du bois par les champignons sont optimales, un poteau en bois non imprégné est rendu inutilisable en l'espace de 4 à 6 ans. Les destructeurs du bois sont en premier lieu les champignons et les insectes, au nombre desquels figure aussi le pic. Des milliers de champignons qui existent, les xylophages ne forment qu'une partie infime. Parmi les insectes, ce sont avant tout les cérambycidés des maisons qui s'attaquent au bois.

conseguenze dell'incuria di questi ultimi anni, delle forti nevicate e danni delle intemperie.

I servizi delle PTT si procurano il legno senza alcuna possibilità di scelta; essi comperano i pali dalle ditte specializzate nell'impregnazione del legno. A queste condizioni, eventuali difetti sono difficilmente riscontrabili. I danni appaiono, in generale, solo più tardi. Pali con simili difetti diventano inutilizzabili e devono essere sostituiti con notevole dispendio di mezzi finanziari.

L'utilizzazione da parte dei servizi delle PTT di pali corti, implica l'uso di materiale di qualità inferiore. Infatti essi vengono tagliati laddove si rende necessario lo sfoltimento del bosco. Si tratta quindi di piante cresciute all'ombra di alberi frondosi molto più alti, che in molti casi presentano una zona periferica atta all'impregnazione (alburno) esigua, in quanto gli anelli di crescita sono troppo stretti a causa delle difficili condizioni ambientali (fig. 1). Per questo motivo, già durante la crescita, essi risultano più vulnerabili alle malattie. Senza voler criticare i sistemi di sfruttamento del bosco che si basano, oggi più che ieri, unicamente su principi di economia, si ha sovente l'impressione che tali tronchi vengano considerati ancora sufficientemente buoni per essere utilizzati quali pali telefonici.

L'80% dei boschi svizzeri è costituito da conifere, la maggior parte delle quali sono abeti bianchi e abeti rossi. I servizi delle PTT usano quasi senza eccezione tali tipi di piante. Larici o pini darebbero un legno migliore, però essi sono meno diffusi e parzialmente protetti. Perciò le PTT devono accontentarsi di usare un tipo di legno che in generale è difficile da impregnare. Si possono comunque raggiungere buoni risultati usando cure particolari e maggior quantitativo di materiale.

3 Agenti distruttori del legno

Quando le condizioni per la distruzione del legno sono favorevoli, un palo non impregnato diventa inutilizzabile già dopo 4...6 anni. I principali agenti distruttori del legno sono i funghi, gli insetti e, non da ultimo, anche il picchio. Fortunatamente soltanto una piccola parte delle migliaia di specie di funghi è nociva al legno, mentre che degli insetti il più nocivo è l'*Hylotrupes bajulus*. I funghi vengono suddivisi tra quelli che si possono riconoscere ad occhio nudo e quelli riconoscibili soltanto con l'ausilio di un microscopio. Inoltre vengono suddivisi in Ascomyceti e Basidiomiceti e si parla allora di funghi A o funghi B.

I funghi per poter vivere necessitano di una temperatura che va dai 5 ai 40° C di ossigeno e di umidità. Queste condizioni di vita sono sufficientemente presenti in quella parte dei pali che sporge da terra, per cui essa è particolarmente esposta ai pericoli e necessita di cure speciali. L'85% dei danni si riscontra nella zona di transizione terra-aria.

Senza voler usare l'esatta denominazione di ogni fungo, citiamo qui sotto i più importanti tipi di putrefazione, in uso nel linguaggio corrente:

- Nella *putrefazione bruna* (o rossa) il legno diventa da bruno a bruno-rossiccio, si sbriciola e si rompe in senso trasversale alla fibra.
- Nella *putrefazione bianca* il legno prende una tinta bianca o gialliccia e diventa friabile.
- Parlando di *putrefazione asciutta* si fa uso di un termine improprio, perché per la sua attività l'agente necessita di umidità, anche se può sopportare periodi transitori di siccità.

Les champignons se subdivisent en macroscopiques ou microscopiques, suivant qu'ils sont reconnaissables à l'œil nu ou uniquement à l'aide d'un microscope. En outre, on distingue les basidiomycètes et les ascomycètes et c'est pourquoi on parle de champignons des types B ou A.

Pour pouvoir vivre, les champignons ont besoin d'une température variant entre 5 et 40° C, d'oxygène et d'humidité. Ces conditions de vie sont largement répandues au ras du sol dans la zone air/terre des poteaux implantés, qui est particulièrement exposée et mérite la plus grande attention. 85% des dommages surviennent dans cette zone.

Sans nous attacher à donner une définition exacte des champignons, nous mentionnons ci-dessous les sortes de pourritures les plus importantes en utilisant les désignations usuelles en Suisse:

- Dans le cas de *pourriture brune*, le bois devient brun à brun-rouge, friable et se brise transversalement à la fibre.
- Dans la *pourriture blanche*, le bois devient plus clair et se fend dans le sens des fibres.
- En ce qui concerne la *pourriture sèche*, il s'agit d'une désignation qui induit en erreur, car, pour pouvoir agir, l'agent pathogène a besoin d'humidité. Mais il peut survivre dans un état de dessèchement temporaire.
- La *pourriture mouillée* est reconnaissable aux longues fibres pourries; elle pénètre souvent profondément dans la partie enfouie dans le sol.
- La *pourriture molle* est provoquée par une moisissure (champignon du type A à organisation inférieure) et n'est connue comme destructrice du bois chez nous que depuis le début de la décennie de 1960. Son attaque se fait par couches, en règle générale de l'extérieur vers l'intérieur. Le bois se colore généralement en brun-gris foncé.
- La *pourriture sur pied* se produit déjà lorsque l'arbre croît dans de mauvaises conditions.
- La *pourriture par pression* est une expression d'usage courant servant à désigner une attaque locale du bois. Elle se produit après une période assez longue, lorsque le bois repose sur une assise non appropriée.

4 Conservation du bois

Pour combattre les pourritures dont il est question ci-dessus, il est nécessaire de prendre des mesures garantissant une protection aussi longue que possible du bois contre ses ennemis. Si l'on veut obtenir un effet conservateur, c'est-à-dire un effet qui prolonge sa durée d'utilisation, il s'agit de traiter le bois. C'est précisément dans cette optique que les chimistes ont cherché des produits d'imprégnation agissant de façon optimale en respectant les impératifs de la protection de l'environnement, du pouvoir d'imprégnation, de la résistance au lessivage et aux champignons, tout en étant d'un prix abordable. Une conservation efficace du bois est à même de réduire de façon sensible les dépenses d'exploitation d'une entreprise, d'autant que le rapport entre les frais de matériel et de main-d'œuvre est actuellement de 1 à 3, les augmentations de salaires ayant accru les frais d'échange d'un poteau.

5 Agents protecteurs du bois

Il convient de rendre le bois impropre à la nourriture des végétaux et des animaux destructeurs et de le rendre inhabitable par des moyens appropriés. Etant donné que les fongi-

- La *putrefazione umida* è riconoscibile dalle lunghe fibre decomposte e appare sovente nella zona sotterranea.
- L'*ammuffimento* (fungo di tipo A) da noi è stato scoperto come agente distruttore del legno soltanto agli inizi degli anni sessanta. La sua azione si sviluppa per strati, di regola dall'esterno verso l'interno, e il legno prende generalmente una colorazione grigio-bruna scura.
- La *putrefazione del piede* si presenta già nell'albero cresciuto in condizioni anormali.
- La *putrefazione da compressione* è un termine usato per indicare una menomazione localizzata del legno, rimasto per lungo tempo immagazzinato su appoggi impropri.

4 Conservazione del legno

Le cause di putrefazione descritte sopra richiedono dei mezzi di difesa contro i nemici del legno, che ne garantiscono una lunga protezione; il legno deve perciò subire dei trattamenti idonei a conservarlo il più a lungo possibile. A questo scopo i chimici si sono impegnati nella ricerca di sostanze impregnanti valide, sia dal punto di vista della protezione dell'ambiente che nella funzione impregnante, resistenti all'azione sliscivante, efficaci contro i funghi e, non da ultimo, dal prezzo interessante. Una buona conservazione del legno può ridurre notevolmente i costi d'esercizio di chi ne fa uso. Questo in modo particolare poiché il rapporto tra il costo del materiale e quello della manodopera è attualmente da 1 a 3, ciò che rende la sostituzione di un palo particolarmente onerosa.

5 Sostanze protettive del legno

Con mezzi appropriati bisogna negare agli agenti distruttori del legno, siano essi di natura vegetale o animale, la possibilità di installarsi e di nutrirsi. L'impregnazione del legno, da conservare con sostanze fungicide o insetticida, ha quindi lo scopo di allontanare e avvelenare i distruttori. Per pali in legno è quindi importante che l'impregnazione interessa la più vasta zona periferica possibile. Purtroppo il cuore dell'abete rosso e dell'abete bianco non si può trattare senza ricorrere a misure supplementari. Per questo motivo essi vengono sovente attaccati dall'interno e distrutti.

Questo rapporto parla delle sostanze protettive usate a suo tempo che ancora oggi proteggono pali in esercizio e di quelle nuove utilizzate da oggi in avanti.

Per lunghi decenni il solfato di rame ($CuSO_4$), quale sostanza solubile in acqua, ha rappresentato una protezione efficace ed in pari tempo poco costosa. Piccole e medie ditte di impregnazione del legno, sorte ai bordi dei boschi sfruttabili, hanno costituito un'occasione di lavoro per la popolazione locale. Più tardi, chiariremo il motivo per cui il solfato di rame è stato sostituito da nuove sostanze protettive.

La massiccia richiesta di collegamenti telefonici, avvenuta dopo il 1945, ha fatto aumentare in modo straordinario il fabbisogno di pali. In pari tempo la congiuntura economica e la mancanza di manodopera hanno richiesto l'applicazione di metodi di impregnazione più razionali e mezzi di protezione ancora più efficaci.

La scienza conosce il complicato sistema di sviluppo biologico, chimico e tecnologico del legno. Questa conoscenza rappresenta la base per lo studio e la sperimentazione di mezzi e metodi di conservazione idonei. Il cammino è lungo e irti di difficoltà; innumerevoli esperimenti e prove di concentrazioni e combinazioni si rendono necessari per mettere a

cides et les insecticides utilisés pour l'imprégnation du bois à protéger sont toxiques pour les destructeurs et les repoussent, il est important que les agents protecteurs imprègnent une zone marginale extérieure aussi épaisse que possible des poteaux en bois. Malheureusement, il n'est pas possible de traiter le cœur du sapin blanc et du sapin rouge sans mesure supplémentaire, de sorte que les poteaux sont fréquemment détruits à partir de l'intérieur.

Cet article ne traite, d'une part, que des agents protecteurs qui produisent encore leur effet sur les poteaux implantés et, d'autre part, de ceux qui sont utilisés actuellement et le seront à l'avenir.

Durant des décennies, le sulfate de cuivre ($CuSO_4$), substance soluble dans l'eau, a constitué une protection sûre et en même temps bon marché contre les destructeurs du bois. Des usines d'imprégnation de moyenne et petite importance, établies en bordure des forêts exploitables, offraient du travail à la population indigène. Il sera encore expliqué par la suite pour quel motif le sulfate de cuivre a été supplanté par de nouveaux produits.

La demande de raccordements téléphoniques allant sans cesse en augmentant à partir de 1945, les besoins en poteaux de bois se sont accrus de façon extraordinaire. Parallèlement, la situation économique et la pénurie de main-d'œuvre ont conduit les responsables à rechercher des procédés d'imprégnation plus rationnels et des agents protecteurs encore plus efficaces.

Les processus biologiques, chimiques et technologiques compliqués qui se déroulent dans le bois sont connus par la recherche, cette science qui est la condition sine qua non du développement et de l'expérimentation de moyens de conservation efficaces. Le chemin est long et ardu: il est indispensable de procéder à d'innombrables essais et de prélever de très nombreux échantillons, de réaliser force concentrations et compositions, et ce n'est qu'ensuite qu'un essai de durée étendue montre si l'agent protecteur répond à l'attente (tab. I).

A quelles exigences l'agent protecteur du bois doit-il satisfaire?

- Aucune diminution de l'effet de protection due à l'âge et au lessivage
- Aucun gonflement du bois pendant l'application
- Pénétration aussi profonde que possible dans le bois à imprégner
- Aucun danger pour les hommes et les animaux
- Applicabilité à différentes espèces de bois
- Aptitude à être employé pour différents procédés d'imprégnation
- Bonne imprégnabilité pour le bois sec et vert
- Aucun effet corrosif à l'égard des métaux (notamment du fer)
- Absence d'odeur du bois imprégné
- Prix favorable.

Ces nombreuses caractéristiques ne peuvent pas être uniquement testées dans des essais en laboratoire de courte durée. Ce n'est qu'au bout de dix à quinze ans qu'un procédé d'imprégnation est pratiquement couronné de succès.

Rendue attentive aux nombreux dommages subis par des poteaux encore assez jeunes, l'Entreprise des PTT s'est vue contrainte après 1945 de rechercher un produit d'imprégnation plus efficace que le sulfate de cuivre.

Force est de reconnaître que le sulfate de cuivre se fixe mal dans le bois. En outre, certaines espèces de champignons,

punto una sostanza protettiva che risponda alle attese, confermate solo dopo ricerche di lunga durata (tab. I).

Tableau I. Effet fongicide de quelques agents protecteurs
Tabella I. Azioni fungicide di alcuni mezzi di protezione

Type d'agent protecteur Mezzo di protezione tipo	Valeurs limites en kg/m ³ pour Quantitativi in kg/m ³ per			
	Pourriture brune Putrefazione bruna		Pourriture molle Ammuffimento	
	Original Originale	Lessivé Slavato	Original Originale	Lessivé Slavato
Sulfate de cuivre Solfato di rame	25...50	au-dessus de 50 più di 50	4	environ 15 circa 15
Sels CFA Sali CFA	2,5	11	40...50	au-dessus de 60 più di 60
Sels CKA Sali CKA	6	12	7	15
Sels CKB Sali CKB	2,5	20	4	10
Sels CFK Sali CFK	2,8	12	5	6

C = Chrome – Cromo, F = Fluor – Fluoro, A = Arsenic – Arsenico, B = Bore – Boro, K = Cuivre – Rame

Che cosa si esige da una sostanza protettiva del legno?

- Nessuna diminuzione dell'efficacia con il tempo e l'azione sliscivante
- Nessuna tumefazione del legno durante il trattamento
- Massima penetrazione possibile nel legno da imprégner
- Nessun pericolo per l'uomo e gli animali
- Possibile utilizzazione per diversi tipi di legno
- Idoneità ai diversi sistemi di imprégnerazione
- Buona imprégnabilità sia per il legno secco che per quello verde
- Nessun effetto corrosivo nei confronti di metalli (in modo speciale ferro)
- Nessuna emanazione di odori dal legno trattato
- Prezzo conveniente.

Queste numerose qualità non possono venire sperimentate in brevi prove di laboratorio. In questo campo un successo è provato soltanto dopo 10 o 15 anni di pratica.

Dopo il 1945, constatati i numerosi danni a pali relativamente giovani, i servizi delle PTT sono stati obbligati di sviluppare un mezzo di protezione più efficace del solfato di rame.

Il fissaggio di quest'ultimo nel legno è insoddisfacente; oltre a ciò esistono dei tipi di funghi resistenti al rame come, per esempio, la «Poria vaporaria». Inoltre esso non si addice ai moderni sistemi di imprégnerazione. La vita dei pali trattati al solfato di rame era in media di 25 anni e si ridusse però a 19 in breve tempo. Questa durata media è stata ottenuta senza trattamenti supplementari.

In seguito vennero usate combinazioni chimiche al fluoro con l'aggiunta di sali di cromo e, più tardi, sali di arsenico che, fino ad oggi, hanno confermato le qualità da esse attese.

telles que la «*Poria vaporaria*», résistant au cuivre, de sorte que le sulfate de cuivre ne se prête pas à des procédés d'imprégnation modernes. La durée de vie des «poteaux traités au cuivre», qui était en moyenne de 25 ans, est tombée en peu de temps à 19 ans. Cette durée de vie moyenne a été atteinte sans traitement curatif. C'est alors qu'ont été utilisées des combinaisons de fluor avec adjonction de sels de chrome et plus tard de sels d'arsenic, qui ont satisfait jusqu'ici aux propriétés souhaitées.

Ci-dessous, nous énumérons les mélanges de sels avec leurs combinaisons chimiques, qui sont appliqués à l'étranger au bois devant résister à des conditions météorologiques extrêmes.

- Un produit d'imprégnation arsénifère, utilisé aux Etats-Unis d'Amérique, contient entre autres choses: de l'oxyde d'arsenic (III), du sulfate de zinc et de l'acétate de calcium (mais n'a pas donné satisfaction à la longue, en raison du lessivage trop rapide).
- Le produit dit «*Thanalith-U*» est un mélange de sels difficilement lessivable se composant de: *fluorure de sodium, bichromate alcalin, dinitrophénol et arséniate de sodium*.
- Le produit d'imprégnation, connu sous le nom de «*Basilit-UA 11*», facilement soluble dans l'eau, au comportement neutre mais arsénifère, se compose de: *fluorhydrate de potassium, bichromate de potassium, arséniate de potassium, carbonate neutre de potassium et dinitrophénol*.

Bien que la propriété de conserver le bois soit reconnue à l'arsenic depuis plusieurs centaines d'années, il a été tout naturel de se conformer à la conception de la protection de l'environnement et de renoncer à l'emploi ultérieur des sels arsénifères. S'il est vrai que l'arsenic fixé dans le bois ne se lessive pas, il est cependant concevable que par combustion du bois l'arsenic est libéré et devient alors particulièrement nocif lorsque les cendres sont utilisées comme engrais. Il a été d'autant plus aisé de renoncer aux agents protecteurs arsénifères qu'ils ne protégeaient pas de façon suffisante contre la pourriture molle agissant lentement.

Depuis 1968, l'Entreprise des PTT suisses utilise des produits d'imprégnation non arsénifères qui se prêtent aussi bien au procédé par vide et pression alternés qu'à celui par succion en bassin. La désignation et la composition de ces produits de protection du bois, inorganiques et solubles dans l'eau, sont:

«*Wolmanit CB*» qui contient des sels de chrome, de cuivre et de bore

«*Basilit CFK*» qui contient des sels de chrome, de fluor et de cuivre

Lorsqu'on recherche un agent protecteur efficace du bois, il convient aussi de tenir compte de la composition chimique du bois à protéger. Les compositions les plus courantes comprenant environ 50% de carbone, 6,1% d'hydrogène, 0,1...0,2% de sodium, 43% d'oxygène et 0,2...0,6% de cendres sont relativement constantes pour tous les genres de bois. En revanche, les structures anatomiques sont très différentes.

Pour être complet, il y a encore lieu de mentionner les produits d'imprégnation à base d'huiles anthracéniques, que l'Entreprise des PTT suisses n'a toutefois appliqués que dans des cas isolés. Il n'est possible d'utiliser que des distillats de goudron de houille à point d'ébullition élevé pour imprégner le bois. De plus, le goudron de houille ne permet de conserver le sapin blanc et le sapin rouge que très difficilement ou uniquement moyennant des frais assez élevés.

Qui sotto citiamo alcuni miscugli di sali, con le loro combinazioni chimiche, usati all'estero per l'impregnazione del legno che deve resistere a estreme condizioni atmosferiche:

- Un prodotto di disinfezione a base di arsenico, utilizzato negli USA, contiene tra l'altro: ossido di arsenico (III), solfato di zinco e acetato di calcio (con il tempo però non si è affermato a causa del troppo rapido sliscivamento).
- Un composto di sali difficilmente slavabile è il cosiddetto *Thanalit-U* con: *fluoruro di sodio, dicromato di soda, dinitrofenolo e arsenato di sodio*.
- Un prodotto di impregnazione contenente arsenico, conosciuto con il nome di «*Basilit-UA 11*», facilmente solubile in acqua e che si comporta in modo neutrale, si compone di: *fluoruro di potassio idrogenato, bicromato di potassio, arsenato di potassio, carbonato di potassio e dinitrofenolo*.

Benché le proprietà di conservazione del legno mediante l'arsenico fossero note da anni, era naturale che, per riguardo alla protezione dell'ambiente, si rinunciasse all'impiego dei sali arsenicali. Le particelle di arsenico, fissate nel legno, non si lasciano eliminare, per cui è pensabile che con la combustione di detto legno l'arsenico si liberi e l'uso della relativa cenere, quale fertilizzante, potrebbe diventare pericoloso. La rinuncia all'uso di prodotti di disinfezione arsenicali è pure stata facilitata dal fatto che essi rappresentavano un'insufficiente protezione contro l'azione lenta della putrefazione.

Dal 1968 i servizi delle PTT usano prodotti di impregnazione privi di arsenico, adatti sia al sistema ad aspirazione in vasca che a quello a pressione alternata in autoclave. Queste miscele inorganiche, solubili in acqua, hanno le seguenti denominazioni e composizioni:

«*Wolmanit CB*», contenente sali di cromo-rame e boro
«*Basilit CFK*», contenente sali di cromo-rame e fluoro

Nella ricerca di una efficace sostanza protettiva, bisogna tener conto anche della composizione chimica del legno da proteggere. Se la composizione di tutti i tipi di legno è relativamente costante e corrisponde al 50% di carbonio, 6,1% di idrogeno, 0,1...0,2% di sodio, 43% di ossigeno e 0,2...0,6% di ceneri, per contro la loro costruzione anatomica è molto differenziata.

Da ultimo è opportuno menzionare i mezzi di protezione contenenti olio di catrame che, però, hanno trovato presso i servizi delle PTT soltanto una limitata applicazione. Per l'imregnazione del legno, si possono usare i distillati di catrame di carbon fossile soltanto allo stato bollente. L'abete bianco e quello rosso si lasciano difficilmente impregnare con questo prodotto e soltanto a costi elevati.

Siccome questa sostanza usata per la protezione del legno è idrofuga ed evapora difficilmente, l'efficacia della sua azione si protrae per lunghi periodi, per cui i pali, così trattati, raggiungono di regola una durata di vita pari a 30...40 anni. Un inconveniente è dato tuttavia dalla fuoruscita di olio di catrame dal legno, causata dalle alte temperature estive.

Se nei boschi svizzeri i pini ed i larici fossero predominanti, la soluzione del problema della duratura conservazione dei pali sarebbe di molto semplificata. Questi tipi di legno possono venire perfettamente impregnati anche allo stato secco, e il liquido può penetrare profondamente anche attraverso le fenditure naturali ivi presenti.

Ce produit d'imprégnation étant hydrofuge et s'évaporant difficilement, la protection contre les destructeurs du bois subsiste très longtemps. Il est normal que les poteaux ainsi protégés aient une longévité de 30 à 40 ans. Cependant, force est de reconnaître que l'exsudation aux températures estivales est des plus désagréables.

Si les pins sylvestres et les mélèzes constituaient les essences principales des forêts de la Suisse, il serait beaucoup plus simple de conserver de façon durable les poteaux de lignes, attendu que, contrairement à l'épicéa et au sapin, ces espèces peuvent être imprégnées de façon parfaite même à l'état sec et que les fentes de retrait qui existent naturellement seraient aussi imprégnées.

6 Procédés de protection du bois

Outre le bois et l'agent protecteur, le procédé d'imprégnation est le troisième élément d'une protection du bois efficace et sûre.

Il est évident que tous les agents protecteurs ne conviennent pas à chaque procédé d'imprégnation. Souvent, des procédés inadéquats, combinés à des agents protecteurs efficaces et éprouvés, peuvent donner des résultats décevants. Il est en tout temps possible d'adapter les agents protecteurs à l'emploi envisagé du bois à protéger et d'en harmoniser l'application au procédé entrant en considération.

En principe, on fait la distinction entre les procédés par immersion, stockage et déplacement de la sève.

Les procédés de protection du bois d'usage courant actuellement et figurant sous une désignation déterminée sont:

- Procédé Kyan par trempage en bassin (n'est pas appliqué en Suisse)
- Procédé Rüping par trempage en bassin (n'est pas appliqué en Suisse)
- Procédé par osmose (diffusion par compensation de concentration)
- Procédé Boucherie (déplacement de la sève, n'est pratiquement plus appliqué en Suisse)
- Procédé par succion et par succion et pression en cuve
- Procédé par pression en cuve
- Procédé par vide et pression alternés.

En raison du nombre de ces procédés d'imprégnation et moyennant l'adaptation aux bois disponibles, les essais et expériences ont démontré que tant le *procédé par succion en bassin* que le *procédé par vide et pression alternés* étaient les mieux appropriés à une imprégnation rationnelle des poteaux.

Les usines d'imprégnation ont donc transformé leur exploitation pour les méthodes modernes.

61 Procédé par succion en bassin

En principe, il correspond à une combinaison des procédés par trempage en bassin et déplacement de la sève. Les poteaux, dont l'écorce et le cambium ont été enlevés, sont plongés dans des bassins en béton. À l'extrémité supérieure de chaque poteau (sommet), on fixe une calotte d'aspiration qui se verrouille complètement et on la relie à un système de pompes à liquide. Les bassins sont ensuite remplis de la solution d'imprégnation dans laquelle les bois sont entièrement immersés. Selon un cycle bassin – poteau – pompe – bassin, l'agent protecteur est aspiré longitudinalement et radialement par rapport à la fibre du bois à travers l'aubier à imprégner. A cet effet, les poteaux doivent toutefois être à

6 Metodi di protezione del legno

Il procedimento di impregnazione forma, con il legno e il prodotto di disinfezione, il terzo pilastro di una efficace protezione del legno stesso.

Non tutti i mezzi protettivi si addicono ad ogni procedimento di impregnazione, sì che metodi inadatti, usati con buoni e sperimentati prodotti impregnanti, possono portare sovente a risultati deludenti. È sempre possibile adattare i mezzi di protezione all'uso cui il legno è destinato, scegliendo nel contempo il metodo più idoneo per la loro applicazione.

Per principio si fa distinzione tra procedimento di immersione, di immagazzinamento e di espulsione della linfa.

I metodi di protezione del legno oggi maggiormente usati sono:

- Immersione in vasca secondo il metodo Kyan
- Procedimento Rüping per immersione in autoclave
- Per osmosi (diffusione tramite livellamento della concentrazione)
- Procedimento Boucherie (espulsione della linfa)
- Procedimento ad aspirazione e ad aspirazione e pressione in vasca
- A pressione in autoclave
- A pressione alternata (vuoto e pressione).

Considerando la diversità di questi sistemi di impregnazione, in relazione anche alla loro adattabilità al legno di cui disponiamo, le prove e l'esperienza hanno insegnato che, sia il *procedimento ad aspirazione in vasca* sia *quello a pressione alternata* sono i più idonei per un razionale trattamento dei pali.

Gli stabilimenti specializzati nell'impregnazione del legno con il metodo Boucherie hanno dovuto adattare e ammodernare i loro sistemi di lavorazione.

61 Procedimento ad aspirazione in vasca

In principio esso consiste in una combinazione tra il metodo ad immersione in vasca e quello ad espulsione della linfa. I pali, scortecciati e mondati, vengono riposti in vasche di calcestruzzo e sulla cima di ognuno di essi viene applicata una calotta ermetica, collegata ad un sistema di pompe. Le vasche vengono quindi riempite con la soluzione impregnante in modo da coprire completamente i pali. Nel circuito vasca – palo – pompa – vasca, la sostanza protettiva viene aspirata attraverso l'alburno impregnabile, in senso longitudinale e trasversale alle fibre stesse del legno. Per questa operazione i pali devono essere verdi. Siccome durante lo svolgersi del procedimento la linfa, espulsa dai pali, entra in circolazione con il liquido impregnante, di tanto in tanto si devono aggiungere nuovi sali, per mantenere la prescritta concentrazione della soluzione. Questo procedimento, che a seconda della natura del legno dura da 7 a 10 giorni, dà risultati soddisfacenti solo se la temperatura della soluzione non scende mai al disotto dei 5° C (fig. 2 e 3).

62 Procedimento a pressione alternata

Prima ancora che Boucherie scoprisse il sistema ad espulsione della linfa, era già stata realizzata l'idea di migliorare l'impregnazione del legno, con liquidi conservanti, mediante l'utilizzazione alternata del vuoto e della pressione. Più tardi Rüping applicò questo principio alla sua scoperta che con-

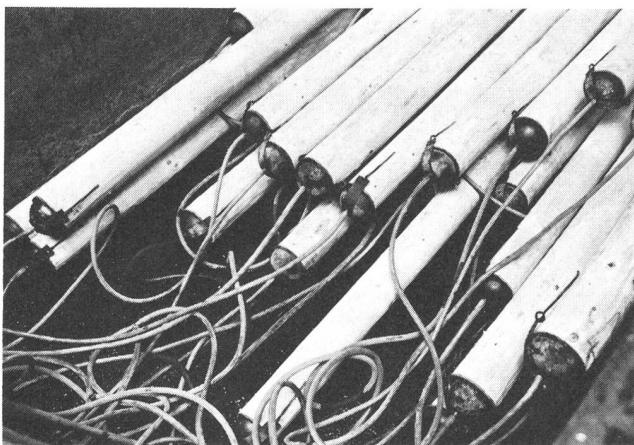


Fig. 2

Calottes de succion appliquées pour l'imprégnation des poteaux selon le procédé par succion en bassin – Calotte di aspirazione per l'impregnazione dei pali nel procedimento ad aspirazione in vasca

l'état vert (à l'état de sève fraîche). Etant donné que la sève du bois s'écoule dans le liquide en circulation pendant le processus d'imprégnation, il est indispensable de rajouter du sel à la solution pour maintenir la concentration prescrite, lors de chaque recharge. Vu qu'une dissociation se produit à la longue pour chaque mélange de sels, les solutions d'imprégnation doivent être régénérées de temps en temps. Le procédé de l'imprégnation par succion en bassin ne peut fournir des résultats fiables que si la température de la solution ne tombe jamais au-dessous de 5° C et si le bois utilisé est en parfait état et à l'état de sève fraîche. Suivant la qualité du bois, la durée d'imprégnation varie entre 7 et 10 jours (fig. 2 et 3).

62 Procédé par vide et pression alternés

La réalisation de l'idée d'améliorer l'imprégnation du bois à l'aide de liquides de conservation appliqués au moyen du vide et de la pression est antérieure au procédé du déplacement de la sève découvert par *Boucherie*. Par la suite, *Rüping* a fait usage du procédé par vide et pression pour son invention appliquant la créosote de houille et a obtenu un succès d'application mondial.

Ainsi que cela a déjà été souligné, les sapins blanc et rouge ne s'imprègnent que difficilement à l'état sec, que ce soit à la créosote ou avec des sels. C'est pour cette raison que des procédés d'imprégnation à l'état de sève fraîche doivent être appliqués, par exemple le procédé par succion en bassin et le procédé par vide et pression alternés, avec des agents protecteurs inorganiques solubles dans l'eau. Dans le procédé par vide et pression alternés, tant la sève que l'air à l'intérieur du bois sont petit à petit chassés vers l'extérieur, et remplacés par la solution d'imprégnation. Pour ce procédé aussi, les poteaux, dont l'écorce et le liber ont été enlevés, sont plongés dans la cuve à pression par paquets. Le processus d'imprégnation proprement dit selon le procédé par vide et pression alternés classique est très compliqué. Nous renvoyons donc les lecteurs qui s'intéressent au problème au «Cahier des charges pour la technique d'imprégnation des poteaux en bois» (PTT 839.06) et à la bibliographie [5].

Dans les 20 heures que dure le processus d'imprégnation, la quantité de substance protectrice nécessaire doit être introduite dans le bois. Les frais d'investissement sont élevés par rapport à l'importance de l'installation. Il convient de reconnaître que l'avantage du procédé par vide et pression al-

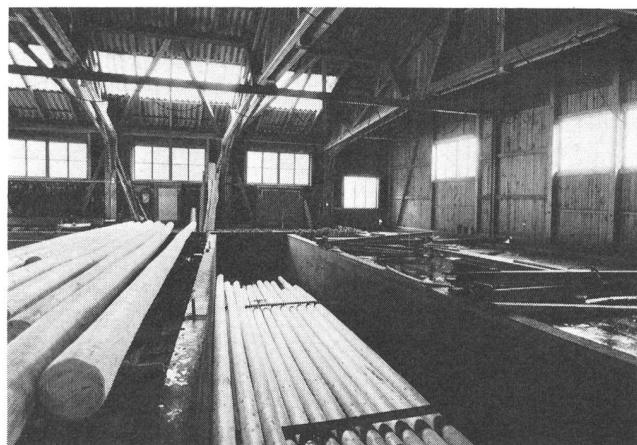


Fig. 3

Poteaux disposés dans le bassin pour l'imprégnation selon le procédé par aspiration en bassin – Pali immersi nella vasca prima dell'impregnazione col procedimento ad aspirazione

siste nell'uso dell'olio di catrame di carbon fossile, raggiungendo così un successo mondiale.

Come già è stato detto, l'impregnazione dell'abete bianco e rosso è possibile solo mediante l'impiego di un elevato quantitativo di olio di catrame. È perciò comprensibile che si cercasse di applicare lo sperimentato sistema a vuoto e pressione, ai mezzi di protezione inorganici e solubili in acqua. Sia la linfa che l'aria, contenute nei pori del legno, vengono espulse dall'alternarsi dei periodi di pressione e di vuoto che agiscono radialmente al palo, per essere infine sostituite dalla soluzione impregnante. Anche per questo procedimento i pali vengono scortecciati e mondati fino all'alburno e immessi a fasci nell'autoclave. Il vero processo d'impregnazione con il classico sistema a pressione alternata è alquanto complicato. Per migliori ragguagli si faccia riferimento al «Capitolato d'oneri tecnico per pali di legno impregnati» (PTT 839.06) e alle pubblicazioni di O. Wälchli [5].

L'operazione di impregnazione si conclude entro 20 ore, tempo in cui la necessaria quantità di soluzione protettiva dovrebbe essere penetrata nel legno. I costi degli investimenti sono alti e proporzionati alle voluminose installazioni. Il vantaggio di questo sistema consiste nel fatto che si può procedere all'impregnazione in qualsiasi stagione (fig. 4).

7 Cosa si pretende dalla conservazione del legno

Così come si parla di conservazione dei beni di consumo, sottoposti ad usura, mediante l'impiego di prodotti conservanti, analogamente si può parlare di miglioramento del materiale nella conservazione del legno. In tale senso sono da adempire numerose condizioni, come ad esempio:

- Impiego di legno sano, esente da funghi e cresciuto in ambiente idoneo
- Un alburno il più largo possibile, perché esso costituisce la sola parte impregnabile
- Nella scortecciatura meccanica dell'abete rosso e di quello bianco bisogna procedere con estrema cautela, in quanto l'alburno presenta sovente dimensioni ridotte (fig. 5)
- L'azione e la composizione del mezzo di protezione sono da adattare al procedimento scelto
- Impiego di soluzioni protettive rivelatesi efficaci non solo in laboratorio, ma anche dopo lunghi e duraturi esperimenti pratici

ternés réside dans le fait que l'imprégnation peut se faire en toute saison (fig. 4).

7 Exigences imposées à la conservation du bois

De même qu'on procède à une bonification du matériel prolongeant la durée d'utilisation d'autres biens de consommation exposés à l'usure, on peut aussi parler d'amélioration dans le cas de la conservation du bois. De nombreuses conditions doivent être satisfaites à cet égard, par exemple:

- Emploi de bois de bonne venue, sain et exempt d'attaques de champignons
- Part d'aubier aussi épaisse que possible, parce que seul ce dernier est imprégnable
- Dans le sapin blanc et le sapin rouge, l'épaisseur de l'aubier est fréquemment assez réduite. C'est pourquoi l'écorçage mécanique exige un travail particulièrement soigné (fig. 5)
- L'action et la composition de l'agent protecteur doivent être adaptées à chaque procédé d'imprégnation
- Emploi d'un agent protecteur qui n'a pas donné uniquement satisfaction dans des conditions de laboratoire, mais aussi dans des essais de durée dans la nature prolongés
- L'agent protecteur doit pénétrer profondément dans le bois et se lier à la fibre ligneuse
- L'absorption de sels en kg/m^3 de bois imprégné ne doit pas être inférieure aux valeurs prescrites (selon le cahier des charges, 12 kg/m^3)
- La quantité d'agent protecteur appliquée doit pouvoir être mesurée
- La concentration des différents composants de la solution, qui pourrait se modifier pendant le processus d'imprégnation, doit être constamment maintenue sous contrôle
- Un lessivage progressif des agents protecteurs appliqués ne doit pas se produire
- L'agent protecteur ne doit engendrer aucune action corrosive sur les parties métalliques
- Une propreté méticuleuse est indispensable durant tout le processus de travail.

Si toutes ces conditions sont satisfaites, on peut espérer à juste titre que le poteau ne subira aucun dommage au cours des 12 premières années d'implantation.

Les arbres des forêts suisses ne se prêtant pas à une imprégnation à la créosote, ils doivent être conservés à l'aide d'autres substances mais n'atteignent pas la durée d'utilisation des pins sylvestres et des mélèzes traités à la créosote. A ce propos, on doit être parfaitement conscient du fait qu'une imprégnation fondamentale ne suffit pas à elle seule à combler les espoirs quant à la durée d'utilisation. Pour que les poteaux de lignes implantés atteignent néanmoins une longévité plus élevée, ils seront soumis à une protection ultérieure. Il s'agit en l'occurrence d'un procédé qui sera encore décrit par la suite.

8 Résultats des essais de durée

En 1952, soit peu de temps après avoir été constituée, la *Commission de l'Union des centrales suisses d'électricité (UCS)* pour la protection des bois dans la construction des lignes, a aménagé un jardin de poteaux près de Lucerne aux

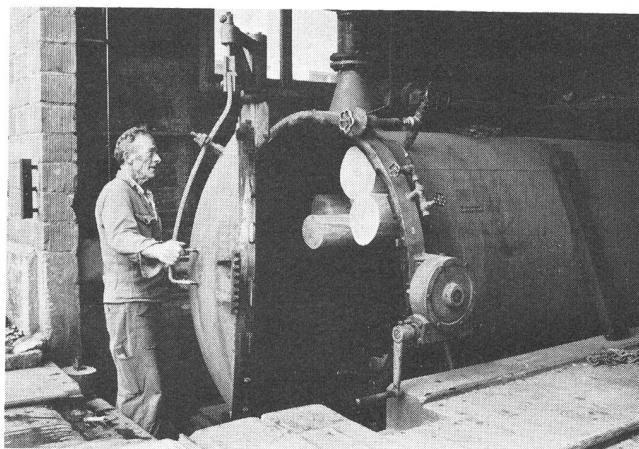


Fig. 4
Poteaux écorcés dans le bassin avant l'imprégnation selon le procédé par vide et pression alternés – Pali mondati posti in autoclave prima dell'impregnazione col metodo a pressione alternata

- Il prodotto deve penetrare profondamente nel legno ed amalgamarsi con le sue fibre
- La quantità di sali assorbiti, in kg per m^3 di legno, non deve essere inferiore ai valori prescritti dal capitolato d'oneri (12 kg/m^3)
- La quantità di sostanza penetrata nel legno deve essere misurabile
- La concentrazione delle singole componenti della soluzione che, durante lo svolgersi del procedimento, potrebbe subire variazioni, è da tenere costantemente sotto controllo
- Non deve verificarsi nessun slavamento progressivo della soluzione penetrata nel legno
- Il mezzo di protezione non deve corrodere le parti metalliche
- In tutto il procedimento di lavorazione è necessaria una assoluta pulizia.

Se tutte queste condizioni sono rispettate, si può contare sul fatto che il palo non subirà danni, per almeno 12 anni.

I pali provenienti dai boschi svizzeri non si prestano all'imprégation mediante l'uso di olio di catrame, ma devono essere conservati con altri mezzi e la loro durata non può così raggiungere quella dei pali di pino silvestre e di larice, trattati con l'olio citato. Da ciò bisogna dedurre che una imprégation di base non basta, da sola, per raggiungere una

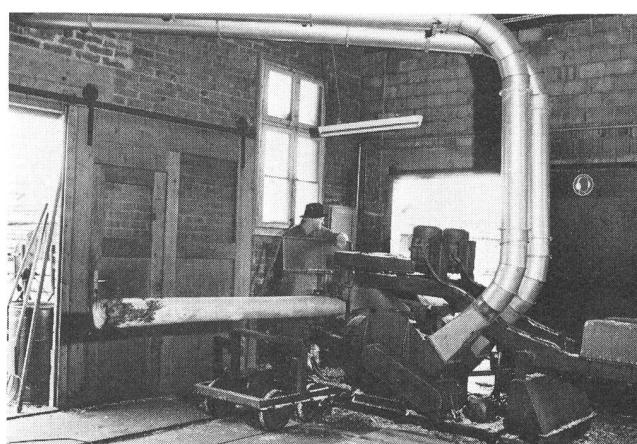


Fig. 5
Ecorçage à la machine d'un tronc d'épicéa – Scortecciatura di un tronco con la macchina per scortecciare e mondare



Fig. 6
Jardin de poteaux pour les essais de durée près de Lucerne – Terreno sperimentale per ricerche a lungo termine, nei pressi di Lucerna

fins d'essais (fig. 6). Une année plus tard, ce jardin a été renforcé par une deuxième installation réalisée dans le Toggenburg. Aujourd'hui, après plus de 20 ans, on a acquis des connaissances qui contribuent à confirmer les essais faits en laboratoire ou à éliminer certains doutes. Au début, le jardin a reçu quelque 150 poteaux de 3 ou 4 m de longueur, qui ont été infectés à une profondeur de 40 cm et tout autour à la surface du sol par un mélange de culture de différents champignons destructeurs du bois. Le mélange contenait les espèces de champignons suivantes *Poria vaillatii*, *Coniophora cerebella*, *Lentinus lepideus*, *Lenzites sepiaria*, *Lenzites abietina*. Il a été nécessaire d'utiliser environ 0,2 kg de cette culture de champignons par poteau.

On savait par expérience que ce mélange de champignons agirait déjà après un bref laps de temps. Au bout de quelques années déjà, les résultats sont clairement apparus. Quelques agents protecteurs et procédés à tester sont énumérés ci-dessous:

- Poteaux non traités mais écorcés, sans agents protecteurs quelconques
- Sulfate de cuivre (poteaux de différentes usines d'imprégnation)
- Traités aux sels Wolmanit UA selon le procédé par succion et pression en bassin
- Traités avec des sublimés selon le procédé Kyan
- Avec huile anthracénique selon le procédé en vase clos
- Avec des sels Wolmanit UA réformé selon le procédé de déplacement de la sève
- Imprégnés avec des sels UA (Wolmanit UARK et UAP) selon le procédé par osmose
- Avec un mélange de parties égales de sels Boliden BIS et de sulfate de cuivre selon le procédé Boucherie
- Avec des sels UA réformé selon le procédé par succion et pression en cuve
- Avec des sels Basilit UA selon le procédé par succion et pression en bassin avec déplacement de la sève
- Imprégnation à la créosote selon le procédé Estrade
- Imprégnation à l'huile anthracénique selon le procédé par piqûres et par immersion en vase clos
- Imprégnation aux sels Boliden (chrome – arsenic) selon le procédé Boucherie
- Avec des sels Xylophen SGR selon le procédé par badi-geonnage

lunga durata d'impiego. Quindi per ottenere un maggior prolungamento della loro vita, i pali devono subire un ulteriore trattamento, di cui parleremo più avanti.

8 Risultati degli esperimenti a lunga durata

Nel 1952, subito dopo la sua fondazione, la commissione preposta allo studio della «Protezione del legno nella costruzione di linee», dell'*Associazione svizzera delle officine elettriche (VSE)*, ha predisposto un terreno sperimentale, nei pressi di Lucerna, nel quale ha infisso dei pali a scopo di studio (fig. 6). Un anno dopo ne venne approntato un secondo nel Toggenburg. Oggi, dopo più di vent'anni di esperimenti, si sono acquisite delle conoscenze tali da contribuire a confermare le prove di laboratorio o a fugare certi dubbi. All'inizio nei terreni sperimentali vennero infissi circa 150 pali della lunghezza fra i 3 e i 4 metri. Attorno ad essi, per una profondità di ca 40 cm, il terreno venne intriso con colture di diversi funghi nemici del legno, come: *poria vaillatii*, *coniophora cerebella*, *lentinus lepideus*, *lenzites sepiaria*, *lenzites abietina* e altri ancora, per un quantitativo di ca 0,2 kg di coltura per ogni palo.

Per esperienza si sapeva che questo preparato avrebbe agito entro breve tempo, infatti i risultati erano chiaramente visibili già dopo pochi anni. Qui sotto elenchiamo alcuni dei mezzi di protezione da sperimentare e il relativo procedimento di impregnazione:

- Pali non trattati, ma scortecciati e privi di qualsiasi mezzo di protezione
- Solfato di rame (pali provenienti da diversi stabilimenti di impregnazione)
- Wolmanit UA usato con il sistema a vuoto e pressione in vasca
- Trattamento in vasca con sublimato, secondo il metodo Kyan
- Con olio di catrame di carbon fossile in autoclave
- Con Wolmanit UA-Reform e il procedimento di espulsione della linfa
- Per osmosi con sali UA (Wolmanit UARK e UAP)
- Con il procedimento Boucherie, usando una composizione in parti uguali di sali di cromo e arsenico BIS e solfato di rame
- Con UA-Reform in autoclave
- Con Basilit UA e il procedimento a vuoto e pressione con espulsione della linfa in vasca
- Impregnazione al creosoto secondo il procedimento Estrade
- Impregnazione con olio di catrame per iniezione e immersione in autoclave
- Con sali di cromo e arsenico secondo il metodo Boucherie
- Con applicazioni di Xylophen SGR mediante pennellatura
- Con Wolmanit CB e il sistema a pressione alternata
- Con Wolmanit CB e il metodo ad assorbimento in vasca
- Con Basilit CFK e il sistema ad assorbimento in vasca.

I pali dei terreni sperimentali sono sottoposti a controlli annuali e aumentati a seconda delle necessità (fig. 7). In tutto vennero infissi ca 600 pali, molti dei quali dovettero già essere sostituiti. Il controllo e la valutazione dei risultati ottenuti, sono affidati al reparto di biologia dell' EMPA di S. Gallo, sotto la guida del prof. Dr. O. Wälchi, in modo da garantire un giudizio neutro e competente.



Fig. 7
Poteau partiellement détruit par le champignon dans le jardin de poteaux – Palo parzialmente distrutto dai funghi in terreno sperimentale

- Avec des sels Wolmanit CB selon le procédé par vide et pression alternée
- Avec des sels Wolmanit CB selon le procédé par succion en bassin
- Avec des sels Basilit CFK selon le procédé par succion en cuve.

Dans les jardins d'essai, les poteaux sont contrôlés chaque année et au besoin leur nombre est accru (fig. 7). Actuellement, près de 600 poteaux sont implantés et bon nombre d'entre eux ont déjà dû être remplacés. La surveillance et l'appréciation incombe à la Division de la biologie du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux à St-Gall, placée sous la direction du professeur *O. Wälchli*. La condition d'une appréciation neutre et objective est ainsi réalisée.

L'état des poteaux est converti en facteurs de pourriture indiqués en pour-cent selon le tableau II.

Après une année, les premiers dégâts sont apparus sur les poteaux protégés avec du sulfate de cuivre appliqué selon le procédé Boucherie: Huit des 30 échantillons étaient attaqués. Après 5 ans, leur nombre était de 15 et au bout de 11 ans de 22, c'est-à-dire que 75% des poteaux étaient endommagés. A la fin de l'essai qui a duré 17 ans, le facteur de pourriture moyen des 30 poteaux dans la zone d'implantation était de 85%, ce qui signifie qu'ils étaient inutilisables depuis fort longtemps (fig. 8).

Les épicéas qui ont été plantés sans avoir été traités étaient entièrement détruits au bout de 4 à 6 ans.

La figure 9 montre le comportement de 10 poteaux traités avec des sels UA selon le procédé de pression en bassin.

Les 10 poteaux traités à l'huile anthracénique selon le procédé de Rüping par pression en cuve confirment l'attente: Après 22 ans d'implantation, aucun poteau ne présente le moindre dommage.

Les poteaux imprégnés selon le procédé Kyan avec des sublimés et selon le procédé par osmose aux sels UA accusent, après 15 ans, un facteur de pourriture de 70...100%.

La condizione dei pali viene valutata secondo la seguente scala che esprime, in valori percentuali, i fattori di putrefazione (tab. II).

Tableau II. Détermination du degré de pourriture des poteaux à essayer
Tabella II. Determinazione del grado di putrefazione dei pali sperimentali

Degré de pourriture Grado di putrefazione	Indice Scala	Facteur de pourriture en % Fattore di putrefazione in %
Aucune attaque Nessun danno	0	0
Attaque faible Danno leggero	1	25
Attaque modérée Danno medio	2	50
Attaque forte Danno elevato	3	75
Attaque très forte Danno molto elevato	4	100

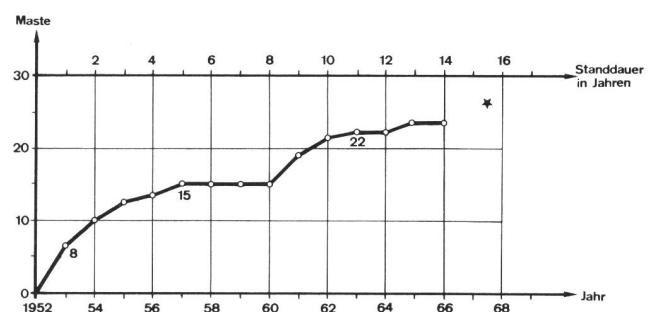
Già dopo un anno si sono verificati i primi danni ai pali trattati con il sulfato di rame, secondo il sistema Boucherie. Infatti 8 dei 30 pali così trattati risultavano intacchiati; dopo 5 anni erano 15 e dopo 11 anni 22, pari cioè al 75% del totale. A conclusione della prova, dopo 17 anni, il fattore medio di putrefazione dei 30 pali esaminati, per la zona di transizione terra-aria, era dell'85%, il che vuol dire che erano da tempo inutilizzabili (fig. 8).

Già dopo 4...6 anni i pali di pino, non trattati, risultavano completamente distrutti.

Il comportamento dei 10 pali, trattati con sali UA tramite il procedimento a vuoto e pressione in vasca, è mostrato dalla figura 9.

I 10 pali trattati all'olio di catrame di carbon fossile con il sistema a pressione in autoclave, secondo il metodo Rüping, confermarono le aspettative. Infatti dopo 22 anni di permanenza nel terreno, non venne riscontrato nessun danneggiamento.

Quelli trattati con sublimato secondo il metodo Kyan, così come quelli impregnati per osmosi con sali UA, dopo 15 anni presentavano un fattore di putrefazione oscillante tra il 70 e il 100%.



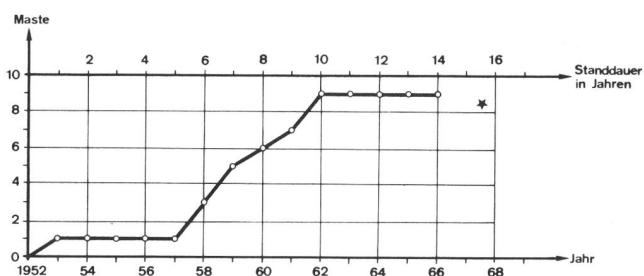
* Le degré de pourriture moyen était de 85 % après 17 ans d'implantation, c'est-à-dire que tous les poteaux étaient détruits – Il grado di putrefazione raggiunse l'85% dopo 17 anni, vale a dire che tutti i pali sono andati distrutti

Fig. 8
Comportement dans le temps des 30 poteaux implantés par rapport au degré de pourriture – Sviluppo del grado di putrefazione dei 30 pali Maste – Poteaux – Pali
Standauer in Jahren – Durée d'implantation en années – Durata in anni
Jahr – Année – Millesimo

Le sel Boliden de chrome-cuivre-arsenic, appliqué selon le procédé par vide et pression alternés, donne de très bons résultats. Aucun dégât n'était encore décelable sur les 8 poteaux implantés 14 ans plus tôt.

Les 25 poteaux imprégnés avec des mélanges de sels non arsénifères de chrome-cuivre-bore et de chrome-cuivre-fluor, appliqués selon les procédés par succion en bassin et par vide et pression alternés, n'étaient affectés que de minimes dégâts isolés après une durée d'implantation variant entre 5 et 9 ans. Au cours des années prochaines, il se révélera si la pourriture progresse ou si elle stagne. Actuellement, ces deux sortes de sels et ces deux procédés sont presque exclusivement employés dans l'Entreprise des PTT pour l'imprégnation de base des poteaux (tab. III).

Après une vingtaine d'années d'exploitation, les jardins de poteaux font clairement ressortir qu'il existe des substances et procédés qui résistent aux attaques des champignons, tandis que d'autres sont moins indiqués pour certaines conditions. Il ne faut cependant pas perdre de vue que des contaminations par des champignons répétées périodiquement au cours de cet essai rigoureux ont notablement accéléré l'atteinte et, partant, la destruction du bois. Le poteau qui est en mesure de résister pendant 20 ans à cette contrainte don-



* Le degré de pourriture moyen était de 90% après 17 ans d'implantation, c'est-à-dire que tous les poteaux étaient détruits – Il tasso medio di putrefazione raggiunse il 90% dopo 17 anni, vale a dire che tutti i pali sono andati distrutti

Fig. 9

Comportement dans le temps des 10 poteaux imprégnés aux sels UA par rapport au degré de pourriture – Sviluppo del grado di putrefazione dei 10 pali impregnati con sali UA

Maste – Poteaux – Pali

Standdauer in Jahren – Durée d'implantation en années – Durata in anni

Jahr – Année – Millesimo

Si sono ottenuti ottimi risultati con i sali al cromo – rame – arsenico, applicati con il sistema a pressione alternata. Agli 8 pali, infissi 14 anni prima, non furono riscontrati danneggiamenti di sorta.

Tableau III. Récapitulation des degrés de pourriture moyens de poteaux imprégnés selon différents procédés et avec divers agents protecteurs

Procédés et agents protecteurs	Durée d'essai totale Années	Nombre d'échantillons			Facteurs de pourriture moyens en %																
		RO*	RW*	St*	Rathausen Est			Dern. 5 ans			Rathausen Ouest			Dern. 5 ans			Starkenbach			Dern. 5 ans	
Poteaux non imprégnés	23	6	4	6	100	100	100	100	94	100	100	100	100	90	100	100	100	100	100		
Imprégnations simples																					
1 Boucherie au sulfate de cuivre	23	18	8		21	57	82	86	87	15	46	61	68	64							
2 Aspiration et pression en bassin avec Basilit UA	23	5	4		17	54	75	90	95	0	31	69	94	100							
3 Osmose avec sel UA	23	5	4		54	78	90	100	100	25	69	100	100	100							
4 Pression en bassin avec créosote	23	6	4		0	0	0	4	0	0	0	0	0	19							
5 Kyan avec des sublimés	23	6	4		4	37	75	97	100	0	44	69	100	100							
6 Badigeonnage avec Xylophen SGR	23	6	4		0	12	25	42	50	0	6	25	25	25							
7 Estrade avec créosote	22	4			0	0	0	0	0												
8 Boucherie avec sels Boliden (Cr-As)	22	2			0	25	33		75												
9 Pression en bassin-piqûres avec créosote	23	4	4		0	0	0	6	0	0	0	0	0	6							
10 Bandage système Schmittutz	23		3								0	17	75	91	100						
11 Piqûres système Kind	21	2	4		0	0	0		0	0	6	25		12							
12 Sels d'émulsions diffusés DD	21	6			4	71	88		100												
13 Idem (poteaux à Starkenbach)	22				5										37	43	82	83	85		
14 Immersion dans le solignan pendant 72 heures	20	5			25	40	70		100												
15 Boucherie avec sels Wolmanit UA réforme	19	7	7		6	11	21		36					0	0	17		32			
16 Osmose avec sels Wolmanit UARK	16	7			6	29	46		54												
17 Osmose avec sels Wolmanit UAP	16	5			33	62		75													
18 Boucherie au sulfate de cuivre et sels Boliden BIS	16	9	9		6	33		17							0	0	0	0	0		
19 Vide et pression alternés avec sels Wolmanit UAR	15	6			0	0	0		13												
20 Pression en bassin avec sels Boliden K 33	14	8	8		0	0	0		0						0	0	0	0	0		
21 Pression en bassin avec sels Wolmanit CB	9	6	4		29				33						0				25		
22 Pression en bassin avec sels Wolmanit UA réforme	9	8			6				56												
23 Aspiration en bassin avec sels Wolmanit CB	8	5	5		0				0							0					
24 Aspiration en bassin avec sels Basilit CFK, 7 jours	8	5	5		0				15							0					
25 Aspiration en bassin avec sels Basilit CFK, 15 jours	5	5	0					0							0						
Doubles imprégnations																					
26 Boucherie + osmose avec sels Basilit UA	23	5	4		15	20	20	45	40	0	0	25	19	6							
27 Boucherie + piqûres (Cobra)	23	6	4		0	0	0	17	21	0	0	19	31	38							
28 Boucherie + Fournose	23	5	4		0	0	20	20	20	19	25	38	50	50							
29 Boucherie + piqûres + Brûlé	23	4			0	0	44	56	56												
30 Boucherie + Goudronné	23		4							0	0	19	38	25							
31 Boucherie + sulfate de cuivre + sels UA (pied)	23	3	2		25	33	50	55	75	0	12	62	50	38							
32 Boucherie + piqûres + Goudronné	23	3	3		8	17	33	42	42	0	0	25	58	50							
33 Boucherie + bandage (Schmittutz)	23		2							0	0	25	12	0							
34 Kyan profond + Estrade (créosote)	22	3			0	0	0	0	0												
35 Boucherie + sels d'émulsion diffusés DD	21	2	3		38	50	50	50	50	0	0	42	34	42							
36 Boucherie avec sels Boliden BIS + sulfate de cuivre	20	5			0	25	35		35												
37 Boucherie + injection Sipra	1	10							5												
Traitements curatifs																					
38 Boucherie + bandage Wecker avec sels Basilit	23	6	5		0	75	83	83	83	0	6	75	56	50							
39 Boucherie + osmose avec Penetrit U	23	6	4		0	0	33	46	46	0	6	6	38	25	25	67	83				
40 Bandage à base de sels Wolmanit TS sur poteaux bruts 18/17	5		3		75	100	100		100												
41 Perforations avec sels Fluralsil BFB	13	5			0	65			65												
42 Imprégnation fondamentale avec sels UA + bandages avec sels Wolmanit CB	10	3			0	0															
43 Bandages avec sels Wolmanit CB uniquement	10	3			10	25			25												
44 Bandages Wolmanit TS sur différentes imprégnations fondamentales	13	3	1		0	0				0	0	0									
45 Bandage enveloppant Wortmann DEB sur procédé Boucherie	20	2			(50)	(50)	(75)		100												
46 Bandages Pol-Nu-Pack sur différentes imprégnations fondamentales	14	5			0	0			10												

*RO = Rathausen Est, RW = Rathausen Ouest, St = Starkenbach

() = Anciens dommages demeurés pratiquement stables

(Publié avec l'aimable autorisation du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux à St-Gall)

nera certainement aussi toute satisfaction dans les réseaux de lignes exploités dans des conditions normales.

Bien que l'huile anthracénique occupe le premier rang du point de vue de l'efficacité dans l'essai de durée, elle ne peut pas être utilisée comme agent protecteur. Seuls les produits de conservation du bois éprouvés, mais cependant moins virulents sont à même de la remplacer. Les défauts qui apparaissent sur le long chemin séparant la forêt du lieu d'implantation des poteaux doivent être pris en considération. Jusqu'ici, les espoirs d'une durée de vie de 40...50 ans ne se sont pas réalisés. Des échecs et des déceptions ont toujours été enregistrés dans le traitement du bois et ne pourront pas non plus être évités à l'avenir.

Par conséquent, l'imprégnation de base ne suffit pas pour obtenir une durée de vie élevée. Il est indispensable de prendre des mesures de protection supplémentaires.

9 Double imprégnation et procédés curatifs

Les destructions de poteaux dues aux actions des champignons et des insectes se répartissent à raison de 85% dans la zone d'implantation et à raison de 15% seulement dans la zone englobant la tige et le sommet.

I 25 pali trattati con soluzioni di cromo - rame - boro e cromo - rame - fluoro, prive di arsenico, mediante i procedimenti ad aspirazione in vasca e a pressione alternata, mostravano soltanto piccoli danni isolati, dopo una permanenza di 5...9 anni nel suolo. Nei prossimi anni sarà possibile constatare se il procedimento di putrefazione tenderà a svilupparsi ulteriormente o meno. Attualmente i servizi delle PTT usano, quasi esclusivamente, questi due composti di disinfezione e relativi procedimenti per l'impregnazione di base dei sostegni (tab. III).

Dopo circa 20 anni di attività, i terreni sperimentali hanno dimostrato chiaramente che esistono mezzi e procedimenti atti a proteggere i pali dall'azione distruttiva dei funghi, mentre altri, per motivi diversi, si sono rivelati meno idonei. È bene osservare che questi esperimenti intensivi, con ripetute applicazioni periodiche di colture di funghi, hanno di molto accelerato il danno e di conseguenza la distruzione del legno. Dal momento che con questo trattamento forzato i pali resistono per circa 20 anni, è lecito ritenere che, in condizioni normali, essi possano durare molto più a lungo.

Benché in quanto ad efficacia nella prova di durata, l'olio di catrame di carbon fossile stia al primo posto, esso non può venire usato quale mezzo di protezione del legno. Al suo

Tabella III. Rappresentazione del grado medio di putrefazione dei pali impregnati con i diversi procedimenti e mezzi di protezione

Procedimenti e sostanze protettive	Durata degli esperim. anni	No. delle prove	Fattore medio di putrefazione in %																	
			Rathausen est			Sitz. 5 anni			Rathausen ovest			Sitz. 10 anni			Starkenbach			Sitz. 15 anni		
			RO*	RW*	St*	100	100	100	100	100	94	100	100	100	100	100	90	100	100	
Pali non trattati																				
Impregnazione semplice																				
1 Boucherie - solfato di rame	23	18	8			21	57	82	88	87	15	46	61	68	64					
2 Sistema a vuoto e pressione in vasca - Basilit UA	23	5	4			17	54	75	90	95	0	31	69	94	100					
3 Sali UA per osmosi	23	5	4			54	79	90	100	100	25	69	100	100	100					
4 Sistema a pressione in autoclave - olio di catrame	23	6	4			0	0	0	4	0	0	0	0	0	19					
5 Metodo Kyan - sublimato	23	6	4			4	37	75	97	100	0	44	69	100	100					
6 Pennellatura di Xylophen SGR	23	6	4			0	12	25	42	50	0	6	25	25	25					
7 Metodo Estrade - olio di catrame	22	4				0	0	0	0											
8 Boucherie - sali di cromo e arsenico	22	2				0	25	33												
9 A iniezione e pressione in autoclave - olio di catrame	23	4	4			0	0	0	6	0	0	0	0	0	6					
10 Fasciature Schmittutz	23		3																	
11 Iniezioni Kind	21	2	4			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12				
12 Reimpresione con sali OD differenziati	21	6				4	71	88		100										
13 Iden (pali a Starkenbach)	22					5										37	43	82	83	85
14 Bagno Solignum (72 ore)	20	5				25	40	70		100										
15 Boucherie - Wolmanit UA-Reform	19	7				7	6	11	21		36					0	0	17		32
16 Wolmanit UARK per osmosi	16	7					6	29	46		54									
17 Wolmanit UAP per osmosi	16	5					33	62		75										
18 Boucherie - sali di cromo e arsenico BIS	16	9				9	6	33		17						0	0	0	0	0
19 Sistema a vuoto e pressione in autoclave - Wolmanit UAR	15	6					0	0		13										
20 Sistema a pressione alternata - sali Boliden K 33	14	8				8	0	0		0						0	0	0	0	0
21 Sistema a pressione alternata - Wolmanit CB	9	6				4	29			33						0			25	
22 Sistema a pressione alternata - Wolmanit UA Reform	9	8					6			56										
23 Proced. ad aspiraz. in vasca - Wolmanit CB	8	5				5	0			0						0			0	
24 Proced. ad aspiraz. in vasca - Basilit CFK, 7 giorni	8	5				5	0			15						0			0	
25 Proced. ad aspiraz. in vasca - Basilit CFK, 15 giorni	5	5				5	0			0						0			0	
Pali con doppia impregnazione del piede																				
26 Boucherie + Basilit UA per osmosi	23	5	4			15	20	20	45	40	0	0	25	19	6					
27 Boucherie + iniezioni (Cobra)	23	6	4			0	0	0	17	21	0	0	19	31	38					
28 Boucherie + Fournose	23	5	4			0	0	20	20	20	19	25	38	50	50					
29 Boucherie + iniezioni + Brûlé	23	4				0	0	44	56	56			0	0	19	38	25			
30 Boucherie + catramatura (piede)	23		4										0	0	19	38	25			
31 Boucherie + solfato di rame + sali UA	23	3	2			25	33	50	55	75	0	12	62	50	38					
32 Boucherie + iniezioni + catramatura	23	3	3			8	17	33	42	42	0	0	25	58	50					
33 Boucherie + fasciatura (Schmittutz)	23		2										0	0	25	12	0			
34 Sistema Kyan in profondità+Estrade (olio di catrame)	22	3				0	0	0	0	0										
35 Boucherie + emulsioni diff. di sali OD	21	2	3			38	50	50	50	50	0	0	42	34	42					
36 Boucherie con Boliden BIS + solfato di rame	20	5				0	25	35		35										
37 Boucherie + iniezioni Sipra	1	10								5										
Trattamenti supplementari																				
38 Boucherie + fasciatura Basilit Wecker	23	6	5			0	75	83	83	83	0	6	75	56	50					
39 Boucherie + pennellatura con Penetrat U	23	6	4			0	0	33	46	46	0	6	6	38	25	25	67	83		83
40 Fasciatura con Wolmanit FS su pali greggi	18/17	5		3		75	100	100		100										
41 Trattamento al Fluralsil BFB	13	5				0	65			65										
42 Impr. di base con sali UA+fasciatura al Wolmanit CB	10	3				0	0													
43 Solo fasciatura al Wolmanit CB	10	3				10	25			25										
44 Fasciatura al Wolmanit TS su diverse impregnazioni di base	13	3	1			0	0			0	0	0				0				
45 Fasciatura Wortmann DEB su trattamento Boucherie	20	2				(50)	(50)	(75)		100										
46 Fasciatura PDL - Nu - Pak su diverse impregnazioni di base	14	5				0	0			10										

*RO = Rathausen est, RW = Rathausen ovest, St = Starkenbach

() = Vecchi danneggiamenti praticamente invariati

(Pubblicata per gentile concessione del Laboratorio federale di prova dei materiali ed Istituto sperimentale di San Gallo)

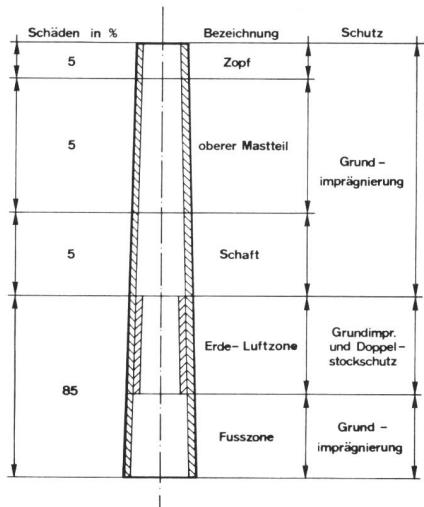


Fig. 10
Coupe longitudinale d'un poteau à double protection (double imprégnation) – Sezione longitudinale di un palo con doppia protezione del piede

Schäden in % – Dommages en % – Danni in %

Bezeichnung – Désignation – Designazione

Zopf – Sommet – Cima

Oberer Mastteil – Partie supérieure du poteau – Parte superiore del palo

Schaft – Tige – Tronco

Erde-Luft-Zone – Zone d'implantation – Zona terra-aria

Fusszone – Zone du pied – Piede

Schutz – Protection – Protezione

Grundimprägnierung – Imprégnation de base – Impregnazione di base
Grundimprägnierung und Doppelstockschutz – Imprégnation de base et double imprégnation – Impregnazione di base e doppio protezione del ricco

L'imprégnation de base ne permet malheureusement pas de faire pénétrer, sans autre forme et suivant les besoins, l'agent protecteur là où il doit agir tout spécialement. Lorsqu'il est nécessaire d'appliquer une quantité d'agent protecteur plus grande dans la zone d'implantation, il y a lieu de procéder à une opération supplémentaire.

91 *Double imprégnation*

La double imprégnation (voir *fig. 10*) est appliquée à la suite de l'imprégnation de base (environ 4 mois plus tard), à la zone d'implantation des poteaux entreposés à l'usine d'imprégnation. Dans ce domaine aussi, il existe un grand choix de sels protecteurs, de méthodes et de procédés, dont les prix diffèrent énormément les uns des autres. Cela conduirait toutefois trop loin de vouloir tous les décrire. C'est pourquoi nous nous bornerons à ne traiter ci-après que le principe et l'application pratique de la protection supplémentaire.

La double imprégnation est une méthode sûre permettant d'exclure le plus possible les pourritures prématurées des poteaux protégés par l'imprégnation de base et les frais élevés de leur remplacement qui en découlent. Le procédé consiste à injecter à une profondeur de 5...6 cm dans le bois (procédé Cobra) une pâte protectrice à l'aide d'aiguilles creuses elliptiques. Le mélange de sels déposé dans le bois est réparti par diffusion grâce à l'humidité régnant dans la zone exposée au danger et assure une protection renforcée.

92 Procédés curatifs

En règle générale, le traitement ultérieur n'est effectué que lorsque le poteau qui a reçu l'imprégnation de base est posé depuis quelques années. Il devrait commencer après une durée d'implantation de 6 ans. Le procédé par injection Cobra décrit peut être appliqué à cet effet aussi au poteau

posto si possono usare soltanto i mezzi e i metodi sperimentati, tuttavia di minor valore protettivo. Le peripezie che si presentano, tra il momento del taglio dell'albero e quello della messa in opera del palo, non possono essere evitate. Nel trattamento del legno si sono sempre incontrati contratti tempi e delusioni e se ne incontreranno ancora e le speranze di ottenere delle durate di vita dei pali di 40...50 anni sono fino ad ora risultate vane.

L'impregnazione di base non è quindi sufficiente per ottenere una lunga durata di vita per cui si rendono necessarie ulteriori misure di protezione.

9 Doppia protezione del piede e procedimenti integrativi

La distruzione del palo, conseguente all'azione di funghi e insetti, si manifesta per l'85% nella zona di transizione terrena e per il 15% nella parte rimanente.

Con l'impregnazione di base, la penetrazione del liquido di disinfezione non può, purtroppo, essere indirizzata secondo le necessità, in quei punti ove dovrebbe esercitare la propria azione in modo particolare. Siccome la zona di transizione terra-aria necessita di un maggior quantitativo di sostanze protettive, queste vi devono essere immesse con un secondo trattamento.

91 Doppia protezione del piede

La doppia protezione (vedi *fig. 10*) viene applicata ai pali, giacenti negli stabilimenti di impregnazione, circa 4 mesi dopo la conclusione dell'impregnazione di base. Anche per questa operazione esiste una grande scelta di sali protettivi, nonché di metodi e procedimenti di applicazione, che si differenziano notevolmente nei costi. La loro elencazione ci condurrebbe troppo lontano, per cui ci limitiamo a citare soltanto il principio e l'applicazione pratica.

La doppia protezione del piede è un mezzo sicuro per evitare scarti prematuri di pali, già trattati con l'impregnazione di base, e le conseguenti forti spese di sostituzione. Il procedimento consiste nell'iniettare nel palo una sostanza protettiva, alla profondità di 5...6 cm, mediante aghi cavi di forma ellittica (procedimento *Cobra*). La miscela di sali iniettata nel legno si diffonde nella zona minacciata grazie all'umidità, aumentandone così notevolmente il grado di protezione.

92 *Procedimenti integrativi di protezione*

In generale si fa capo a questi procedimenti circa 6 anni dopo la posa del palo, inizialmente trattato solo con l'imregnazione di base. Per i pali in opera bisogna far capo al procedimento a iniezione **Cobra**, descritto sopra, che permette di intervenire direttamente nella zona minacciata. Grazie ad esso, le sostanze protettive, iniettate nel durame, esercitando la loro azione in profondità, ne impediscono la putrefazione. Naturalmente, per ottenere buoni risultati, queste operazioni devono essere affidate a personale specializzato.

Ai pali in opera si possono pure applicare i mezzi di protezione, solubili in acqua, mediante la fasciatura della zona di transizione terra-aria. Per essere valida essa deve contenere, come minimo, $1\frac{1}{2}$ kg di sostanze protettive per m^2 . Poiché per provocare la penetrazione dei sali nel legno è indispensabile l'umidità contenuta nel piede del palo, la fasciatura deve essere ermetica verso l'esterno. I vantaggi di questo sistema sono rappresentati dalla semplicità d'applicazione e dalla rapida azione protettiva esercitata dall'esterno verso l'interno. Pali leggermente intaccati in superficie vengono così preservati in breve tempo da ulteriori danni.

debout, dans la zone exposée au danger, étant entendu que les agents protecteurs pénètrent dans la zone du cœur et empêchent sa pourriture grâce à leur effet en profondeur. Mais ce résultat n'est garanti que si ce traitement ultérieur est confié à des spécialistes.

On peut aussi appliquer les agents protecteurs solubles dans l'eau sous la forme d'un bandage pressé autour du poteau debout, dans la zone de son implantation. Mais, pour qu'un bandage agisse efficacement, il doit contenir au moins 1,5 kg/m² d'agents protecteurs. En apposant le bandage, on veillera tout spécialement à ce qu'il adhère parfaitement au poteau, car l'humidité du pied du poteau est indispensable à la diffusion des sels dans la zone à protéger. Les avantages de cette protection complémentaire résident dans son application simple au poteau, ne recourant à aucun moyen auxiliaire, ainsi que dans l'effet protecteur immédiat agissant de l'extérieur vers l'intérieur. Les poteaux atteints de légers dégâts superficiels peuvent être épargnés de toute nouvelle attaque en très peu de temps.

Les deux procédés de protection complémentaire sont de nature à stopper la progression du foyer de la pourriture et à prolonger la durée de vie du poteau. On pourrait obtenir une méthode ultérieure optimale, en alternant les injections et les bandages.

Le choix des produits à utiliser pour la protection complémentaire est très important. En effet, on doit observer une certaine harmonisation avec les produits employés pour l'imprégnation de base, si l'on veut éviter une influence réciproque défavorable des différents composants des sels.

Le prix et la rentabilité obligent à choisir des moyens de protection et des procédés qui utilisent des sels se fixant rapidement pour l'imprégnation de base tandis que, pour l'entretien ultérieur, les moyens de protection ont le temps de pénétrer jusqu'au cœur du poteau.

Au cours des années, les sels employés pour la protection complémentaire perdent leur efficacité sous l'effet du lessivage naturel. C'est pourquoi le traitement curatif devrait être répété après 8 ans environ. Mais il coule de source qu'une bonne imprégnation de base est la condition sine qua non d'un entretien ultérieur efficace. Tout dépend de la façon dont le propriétaire d'une ligne se place à l'égard de l'état de ses poteaux et dont il juge la qualité et la durabilité des nouveaux poteaux qu'il achète.

10 Entreposage des poteaux, nature du sol et loi sur les toxiques

Les procédés de l'imprégnation de base avec des bois verts, utilisés couramment en Suisse, recèlent le danger que, lorsque les poteaux imprégnés sont entreposés trop longtemps, des fentes de retrait se produisent par perte d'humidité. Il s'ensuit que la zone du cœur non protégée est mise par endroits à nu, donnant librement accès aux spores des champignons qui provoquent la pourriture du cœur lorsque le poteau est planté. La formation de fissures du bois abattu est sciemment favorisée par séchage dans le procédé par pression en cuve, pour que les endroits ouverts soient suffisamment protégés à la suite de l'imprégnation.

Les poteaux imprégnés qui sont longtemps entreposés subissent une perte de qualité. Après la diffusion complète des agents protecteurs, ils devraient être immédiatement plantés, attendu qu'un poteau debout est nettement moins soumis au lessivage qu'un poteau couché.

Ambidue questi sistemi sono atti ad arrestare il procedimento di putrefazione e, di conseguenza, a prolungare la vita dei pali. Un trattamento supplementare ottimale consiste nell'impiego alternato di questi due procedimenti (Cobra e fasciatura).

La scelta del materiale di disinfezione, per la protezione supplementare, è molto importante. Si devono infatti usare soltanto prodotti compatibili con quelli dell'impregnazione di base, per evitare reazioni dannose fra le diverse componenti dei singoli sali.

Per motivi di ordine economico si fa uso, per l'impregnazione di base, di mezzi di protezione e di procedimenti ad azione rapida, mentre che per quella supplementare le sostanze protettive dispongono di tutto il tempo necessario per penetrare in profondità.

Con il passare degli anni i sali, impiegati per la doppia protezione, perdono gradatamente la loro efficacia. È quindi necessario ripetere il trattamento dopo circa 8 anni. Una valida impregnazione di base è indispensabile per poter ottenere un buon risultato con quella supplementare. Naturalmente tutto ciò dipende dall'importanza che il proprietario delle linee dà alla qualità e allo stato dei pali al momento dell'acquisto.

10 Immagazzinamento dei pali, natura del terreno e legge sui veleni

I procedimenti di impregnazione di base su legno verde, usati in Svizzera, presentano l'inconveniente, per i pali depositati troppo a lungo, dell'apparizione di fenditure causate dalla perdita dell'umidità. Di conseguenza il cuore del palo viene a trovarsi esposto qua e là alla facile penetrazione delle spore dei funghi che, dal momento della messa in opera, ne provocheranno la putrefazione. Durante l'essicramento, con il metodo a pressione in autoclave, si cerca di favorire l'allargamento delle fessure prodotti nel legno, affinché con l'impregnazione possano ricevere una sufficiente protezione.

Per i pali impregnati, un lungo periodo di immagazzinamento significa perdita di qualità. Dopo la completa penetrazione dei sali protettivi essi dovrebbero venire utilizzati al più presto, perché nei pali in posizione verticale la perdita di efficacia, per slisciamiento dei mezzi di protezione, risulta inferiore a quella dei sostegni depositati orizzontalmente.

La resistenza del legno all'azione distruttiva dei funghi dipende dalla natura del suolo e dalla sua temperatura. Il valore pH dei terreni varia sostanzialmente da zona a zona. Per esempio i funghi distruttori del legno si sviluppano meglio nei terreni debolmente acidi che in quelli alcalini. Le esperienze, acquisite in altri paesi e quelle ricavate da prolungate osservazioni nei terreni sperimentali, hanno sufficientemente dimostrato che la durata di un palo infisso in terreno acido è di gran lunga più breve di quella dello stesso sostegno infisso in terreno calcareo.

Contro gli sforzi profusi per ottenere un buon palo, la natura reagisce nel senso che alcuni funghi producono notevoli quantità di sostanze acide (acido ossalico, acido malico, ecc.) che ne favoriscono la crescita.

Una valida conservazione del legno senza l'uso di sostanze velenose è impossibile. Il grado di velenosità di un

La capacité de résistance du bois aux atteintes des champignons est fonction de la nature des sols et des températures qui y prédominent. Les valeurs du pH de la terre sont très différentes suivant la région. Ainsi, les champignons destructeurs du bois se développent mieux sur des couches nourricières faiblement acides que sur des couches alcalines. Les expériences faites dans d'autres pays ainsi que les essais de durée entrepris dans les jardins de poteaux ont suffisamment prouvé que la durée de vie d'un poteau dans un sol acide peut être nettement plus courte que celle du même poteau dans un terrain calcaire.

Au détriment des efforts que les hommes déploient pour obtenir un poteau sûr, la nature pourvoit à ce que quelques champignons produisent eux-mêmes des quantités considérables d'acide (acide oxalique, acide malique, etc.), pour trouver le degré d'acidité le plus propice à leur croissance.

Il est impensable de vouloir conserver le bois avec succès sans recourir à des produits toxiques. Le degré de toxicité d'un agent protecteur dépend des valeurs limites requises et, partant, de la concentration de la quantité d'agent protecteur injecté dans le bois. L'Entreprise des PTT suisses exige du fournisseur de poteaux une quantité de sels protecteurs de 12 kg/m³ de bois pour le Wolmanit CB et de 7 kg/m³ de bois pour le Basilit CFK, ce qui est nettement supérieur à ce que demandent les utilisateurs de poteaux à l'étranger. Si les sels non arsénifères utilisés actuellement sont plus inoffensifs que les sels UA employés antérieurement, ils peuvent néanmoins, lorsqu'ils ne sont pas appliqués convenablement, être presque tout aussi dangereux pour les hommes et les animaux.

La loi fédérale sur le commerce des toxiques (loi sur les toxiques), entrée en vigueur le 1er avril 1972, précise aussi que les agents protecteurs utilisés pour l'imprégnation des poteaux de ligne doivent être considérés comme des toxiques. Elle fait clairement ressortir quels agents protecteurs sont interdits et lesquels sont autorisés. Bien avant l'entrée en vigueur de ces ordonnances, l'Entreprise des PTT et les usines électriques avaient décidé d'utiliser des agents protecteurs exempts d'arsenic, mais néanmoins efficaces. Il avait donc été satisfait de bonne heure à l'exigence que le monde civilisé devait être protégé par de telles dispositions légales.

11 Conclusions

On a tenté de présenter d'une manière compréhensible pour chacun les problèmes que posent la protection du bois et la situation actuelle des efforts que déploie l'Entreprise des PTT pour obtenir un poteau en bois sûr, et en outre d'indiquer le long chemin semé d'embûches qu'il a fallu parcourir pour réaliser une protection optimale du bois.

Etant donné que, par rapport au câble, la ligne aérienne, en particulier le poteau de ligne, a une longévité assez courte, les frais d'exploitation annuels sont proportionnellement plus élevés. Attendu toutefois que, malgré la mise sous câble progressive des raccordements d'abonnés, le poteau de ligne ne disparaîtra jamais totalement et que les frais d'échange des poteaux ne diminueront pour ainsi dire pas, il est important d'avoir des poteaux sains.

Même si la zone d'implantation qui est la plus exposée aux atteintes reçoit une protection supplémentaire, l'imprégnation de base ne suffit généralement pas à elle seule à obtenir une durée de vie moyenne de 30 ans. Il est indispensable de procéder à un entretien curatif et au contrôle météorologique.

(suite p. 393 à gauche)

mezzo di protezione è strettamente legato ai risultati che si vogliono ottenere e dipende quindi dalla concentrazione dei veleni in esso contenuti. I servizi svizzeri delle PTT prescrivono ai fornitori di pali l'impiego di 12 kg di sostanze impregnanti per m³ di legno, ciò che supera largamente il quantitativo prescritto in altri paesi. I sali privi di arsenico, usati oggi, sono più innocui dei sali UA impiegati a suo tempo, di modo che non mettono in pericolo la vita degli esseri viventi più evoluti.

Con la legge federale sull'uso di sostanze velenose, entrata in vigore il 1^o aprile 1972, anche i mezzi di protezione, usati nell'impregnazione del legno, sono da considerare tali. Essa indica in modo chiaro quali sostanze sono proibite e quali no. Ancor prima dell'entrata in vigore di questa regolamentazione, i servizi delle PTT, come pure le officine elettriche, avevano deciso di usare mezzi di protezione privi di arsenico, ma altrettanto efficaci, anticipando in tal modo le richieste del mondo civile di essere protetto.

11 Considerazioni finali

Si è cercato di esporre in modo comprensibile i problemi inerenti alla protezione del legno, i risultati degli sforzi intrapresi per fornire ai servizi delle PTT dei pali sicuri e il lungo cammino, irti di difficoltà, per ottenere una protezione ottimale del legno.

La durata di una linea aerea e in modo particolare dei suoi pali è relativamente breve, se confrontata con quella dei cavi sotterranei, per cui i costi di manutenzione risultano maggiori. Poiché i sostegni delle linee aeree, malgrado la progressiva messa in cavo dei raccordi d'abbonato, non scompariranno mai completamente e i costi per la loro sostituzione continueranno a salire, è importante poter disporre di pali sani e duraturi.

L'impregnazione di base, pur considerando che la parte interrata viene doppiamente protetta con trattamenti supplementari, di regola non è sufficiente per ottenere una durata media di vita di 30 anni. È perciò necessario procedere a ulteriori controlli e trattamenti, se si vuole migliorare notevolmente l'economicità e l'efficienza della linea.

Per conservare un palo in buona salute non sono determinanti unicamente gli aspetti economici, bensì anche la protezione del personale e la sicurezza d'esercizio, assai più importanti.

In generale si può affermare che il palo, grazie ai suoi innumerevoli vantaggi nella costruzione delle linee, è e rimane un elemento insostituibile, per cui è pur sempre interessante sostenere delle spese per la sua conservazione.

Bibliographie

- [1] v. *Mahlke, Troschel und Liese*. Handbuch der Holzkonservierung. 3. Auflage. Berlin, Springer-Verlag, 1950.
- [2] *Wolman K.* 60 Jahre Holzschutz. Sinzheim/D, 1963.
- [3] *Wälchli O.* Berichte über die Untersuchung von Holzmasten in Stangengärten 1954...1975. EMPA St. Gallen.
- [4] Technische Berichte und Empfehlungen der Kommission «Holzschutz im Leitungsbau». Verband Schweiz. Elektrizitätswerke (VSE).
- [5] *Wälchli O.* Stand und Verfahren der Mastenimprägnierung. Bulletin des SEV 63 (1972) S. 535...540.
- [6] *Wälchli O.* Les causes de la pourriture prématuée des poteaux en bois pour lignes électriques. Bulletin des SEV 67 (1976) S. 642...651.

ceux de tous les poteaux plantés, si l'on veut améliorer sensiblement la rentabilité et, partant, les résultats d'exploitation.

Il est évident que les aspects économiques ne sont pas seuls déterminants pour la conservation d'un poteau de ligne en parfait état; la sécurité du personnel et l'exploitation

sans perturbations de l'installation sont tout aussi importantes. Ces exigences passent avant les économies.

D'une manière générale, on peut constater que, grâce à ses nombreux avantages, le poteau en bois est et restera un élément irremplaçable dans la construction des lignes et qu'il vaut la peine de consentir des dépenses pour le maintenir en parfait état.

Literatur - Bibliographie - Recensioni

Pippert W. (ed.) Feste und bewegliche Funkdienste - Angewandte Funktechnik 1. = Postleitfaden. Hamburg, R. v. Decker's Verlag, G. Schenck GmbH, 1975. 392 S., 200 Abb., zahlr. Tab. Preis DM 81.40.

Im vorliegenden Buch geben verschiedene Autoren unter der Leitung von Erich Frommer eine gründliche Übersicht über die festen und beweglichen Funkdienste der Deutschen Bundespost. Es werden dabei folgende Sachgebiete behandelt: Der Europa- und Überseefunk, der terrestrische und der Satellitenrichtfunk, der bewegliche Land- und Seefunk, der Flugfunk und der europäische Funkruf. Was sonst nur mühsam und unvollständig in Einzelberichten und Fachzeitschriften zu finden ist, wird hier in übersichtlicher Form dargelegt, so dass man sich schnell über die wesentlichen Probleme und den gegenwärtigen Stand der verwendeten Systeme und Techniken orientieren kann. Ein kurzer geschichtlicher Rückblick führt jeweils in die einzelnen Dienstzweige ein. Dann wird auf die wichtigsten Normen und internationalen Empfehlungen (CCIR, CEPT usw.) hingewiesen. Nebst den Funktions- und Betriebsbeschreibungen folgen grundsätzliche Angaben über die Geräte- und Anlagetechnik. Es werden die wichtigsten Streckenplanungs- und Netzgestaltungsfragen, die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit, die Frequenzplanung, die Codierung u.a.m. behandelt. Wie aus dem Titel hervorgeht, wurde das Buch als Leitfaden für die berufliche Ausbildung geschrieben. Dank der vielen Daten, Diagramme und Spezifikationen eignet es sich jedoch auch vorzüglich als Nachschlagewerk für den in Verwaltung und Industrie praktisch tätigen Fachmann.

E. Wey

Hölzler E. und Holzwarth H. Pulstechnik: Grundlagen. Band 1. Berlin, Springer-Verlag, 1975. 422 S., XIV + 176 Abb. Preis DM 112.-.

Das vorliegende Werk stellt eine Erweiterung und Neubearbeitung des 1957 erschienenen und vergriffenen Buches «Theorie und Technik der Pulsmodulation» dar. Die Erkenntnisse der letzten 20 Jahre wurden bei dem theoretischen *Grundlagen* berücksichtigt (überarbeitet von R. Kersten, und H. Larsen). Der noch nicht erschienene Band II wird in den *Anwendungen* auf die Fülle der seit 1957 gemachten Fortschritte

bei den digitalen Nachrichtensystemen eingehen. Im vorliegenden Grundlagenband sind nach der Einleitung in 9 Kapiteln folgende Themen behandelt: Signalbeschreibung im Zeit- und Frequenzbereich für zeitkontinuierliche sowie zeitdiskrete Vorgänge; Abtasttheoreme; Spezielle Pulse und Verformungsprobleme; Stochastische Vorgänge; Analog- und Digitalsignale, Quantisierung und Codierung; Informationstheoretische Grundlagen der Pulsmodulation; Digitale Modulation. Schon diese Titel deuten an, dass auf den mehr als 400 Seiten eine ausserordentliche Vielfalt von Grundlageninformation angeboten wird. Es sei deshalb festgehalten, dass die Ueberarbeitung der immer noch sehr bekannten ersten Ausgabe über Pulsmodulation gut gelungen ist und eine Bereicherung der deutschsprachigen Fachliteratur darstellt.

Zur Bearbeitung einer weiteren Veröffentlichung schlägt der Berichterstatter vor, die Abtasttheoreme vor dem Kapitel über diskrete und schnelle Fouriertransformation zu behandeln. Auch würde das Verständnis für die praktische Bedeutung gewisser Kapitel erleichtert, wenn die Klassifikation der Pulsmodulationsverfahren bereits auszugsweise in der Einleitung enthalten wäre. Bei den Betrachtungen über Pulsformen und Übertragungscodes könnte die zu wenig eindeutige Trennung der Senden- und Empfangsseite unter Umständen zu Unklarheiten führen, besonders bei so globalen Aussagen wie «Unzweckmässigkeit der Verwendung von Rechtecksignalen». Es ist zu erwarten, dass derartige Feststellungen zudem im 2. Band in einem neuen Licht erscheinen werden, wenn die Theorie auf realen Übertragungspfaden angewendet wird.

Die Abschnitte über Pulsmodulationsverfahren können noch nicht abschliessend beurteilt werden, da der 2. Band über Anwendungen und Systeme erst später erscheinen soll. Es ist aber zu hoffen, dass dies rasch geschieht, füllt doch das Werk eindeutig eine Lücke in der nachrichtentechnischen Fachliteratur. A. Kündig

Heckl M. und Müller H. A. (ed.) Taschenbuch der Technischen Akustik. Berlin, Springer-Verlag, 1975. 536 S., 372 Abb., 79 Tab. + XVIII. Preis DM 98.-.

Ce manuel de plus de 500 pages est une remarquable publication contenant 23 chapitres traitant toute l'acoustique techni-

que. Les auteurs n'ont rédigé que quelques-uns d'entre eux et ils ont fait appel à d'éminents spécialistes allemands dont plusieurs ont une réputation mondiale pour condenser la matière qui leur est familière.

D'une manière bien ordonnée, les premiers chapitres sont consacrés aux bases physiques, aux transducteurs acoustiques et à la technique des mesures en acoustique. Ils contiennent en particulier les recommandations internationales et les normes DIN qui en dérivent, concernant les sonomètres, l'étalonnage absolu des microphones, les capteurs de vibrations et la mesure de l'absorption des matériaux en chambre réverbérante.

A la suite d'une description de l'oreille, de ses propriétés et des réactions psychiques aux bruits, on aborde les prescriptions relatives aux limites admissibles des niveaux continus et intermittents. Divers auteurs exposent chacun dans leur domaine particulier la théorie de la production du bruit et les moyens de l'atténuer dans les machines électriques, les transformateurs, les moteurs à explosion, la turbulence dans les conduites, les boîtes d'engrenages, les machines de construction du bâtiment, la circulation routière, le trafic aérien (y compris le «bang» supersonique), les véhicules sur rails et les bateaux.

Une place importante est consacrée à la théorie de l'absorption des sons par les résonateurs, les matériaux poreux, les silencieux et les gaines de ventilation revêtues d'absorbant à l'intérieur; cet ensemble constitue une documentation très complète concernant la lutte contre le bruit et le traitement acoustique des locaux. L'acoustique des bâtiments, spécialement en ce qui concerne l'isolement contre les sons aériens et les bruits de choc, forme un excellent résumé d'un domaine d'autant plus important que des normes sont établies à ce sujet. Pour terminer, l'acoustique géométrique, la réverbération et la sonorisation des salles font une diversion presque sans théorie contrairement à ce qui est le cas pour tous les autres chapitres.

En conclusion, cet ouvrage fait une excellente impression; il n'est pas seulement un manuel de l'acoustique technique pour les spécialistes mais aussi une source très précieuse de renseignements pour les ingénieurs d'autres branches. Ils y trouveront non seulement des chapitres condensés mais aussi une très vaste bibliographie faisant suite à chacun d'eux. P.-H. Werner